

**УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВИТЕБСКОГО ОБЛАСТНОГО  
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО КОМИТЕТА  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
“ОРШАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕХАНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ”**

**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора по УР

\_\_\_\_\_ М.В. Баранов

“ ” \_\_\_\_\_ 2016

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА  
С ОСНОВАМИ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Методические рекомендации  
по изучению учебной дисциплины,  
задания для контрольных работ и рекомендации к их выполнению для уча-  
щихся, обучающихся в заочной форме получения образования,  
специальности 2-50 01 32 “Технология пряжи, нетканых материалов, тканей и  
тканых изделий”.

**Орша  
2016**

Составитель: Д.А. Коцебуров, преподаватель Учреждения образования “Оршанский государственный механико-экономический колледж”

Разработано на основе типовой учебной программы дисциплины “Электротехника с основами электроники”, для учреждений, обеспечивающих получение среднего специального образования по специальности 2-50 01 32 “Технология пряжи, нетканых материалов, тканей и тканых изделий”., утвержденной Министерством образования Республики Беларусь от 15.08.2007г.

Рассмотрено на заседании цикловой комиссии педагогических работников специальности “Техническая эксплуатация автомобилей” и рекомендовано к утверждению.

Протокол № \_\_\_\_ от “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Председатель цикловой комиссии педагогических работников специальности “Техническая эксплуатация автомобилей”:

А.В. Кудлаенко

Методист

В.П. Лукашева

## Содержание

1. Пояснительная записка
2. Примерный тематический план
3. Методические рекомендации по изучению разделов, тем дисциплины
4. Вопросы для самоконтроля
5. Задания для домашней контрольной работы и методические рекомендации по её выполнению
6. Критерии оценки домашней контрольной работы
7. Перечень теоретических вопросов к экзамену по дисциплине “Электротехника с основами электроники”
8. Примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся
9. Перечень рекомендуемой литературы

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программой дисциплины “Электротехника с основами электроники” предусматривается изучение процессов, происходящих в электрических цепях постоянного и переменного тока; устройства, принципа действия электроизмерительных приборов, электромагнитных аппаратов, электрических машин и их практического применения; устройства и принципа действия электронных, фотоэлектронных и полупроводниковых приборов.

Дисциплина изучается в тесной связи с такими дисциплинами общеобразовательного компонента, специального и общепрофессиональных циклов, как “Физика”, “Химия”, “Математика”, “Охрана окружающей среды и энергосбережение”, “Охрана труда”, “Экономика организации”, процессов”.

При изложении учебного материала необходимо использовать наглядные пособия: образцы приборов, машин и аппаратов, макеты, плакаты, схемы и диаграммы.

Для закрепления и углубления теоретических знаний учащихся программой предусматривается проведение лабораторных и практических занятий. Перед лабораторными занятиями учащимся даются указания о целях и методах проведения работ, о мерах безопасности труда. Лабораторные работы рекомендуется выполнять непосредственно после изучения соответственной темы.

По всем темам программы сформулированы основные цели их изучения на основе деятельности обучаемого и уровней усвоения содержания изучаемого материала, прогнозируются конкретные результаты достижения этих целей.

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

1. Физические принципы действия основных электротехнических и электронных приборов;
2. Классификацию электроизмерительных приборов;
3. Обозначения по стандартам электротехнических и электронных приборов;
4. Обозначения по стандартам электротехнических величин и устройств;
5. Основные единицы измерения электрических величин;
6. Основные схемы электроснабжения промышленных предприятий;

*Знать на уровне понимания:*

1. Основные законы электротехники;
2. Закономерности построения электрических схем;
3. Устройство и принцип действия электропривода оборудования;
4. Технические способы и средства, обеспечивающие электробезопасность;

*Уметь:*

1. Анализировать назначение и принцип действия электрических и магнитных машин, аппаратов, электроприводов;
2. Подбирать по назначению электроизмерительные приборы;
3. Пользоваться электрическими аппаратами и приборами.

В программе приведены примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащегося по дисциплине, которые разработаны на основе десятибалльной шкалы и показателей оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях, обеспечивающих получение среднего специального образования (постановление Министерства образования РБ от 29 марта 2004 г. № 17).

### Примерный тематический план

Раздел, тема	В дневной форме получения образования		В заочной форме получения образования		
	Всего	В том числе ЛПР	Всего	В том числе ЛПР	На сам. изучение
1					
Введение	1		0		1
Раздел 1. Электротехника	43	10	8	2	37
1.1 Электрическое поле	1				1
1.2 Электрические цепи постоянного тока	4	2	3	2	1
1.3 Электромагнетизм	4		0,5		3,5
1.4 Электрические машины постоянного тока	2		0,5		1,5
1.5 Электрические измерения	6		0,5		5,5
1.6 Однофазные электрические цепи переменного тока	10	2	1		9
1.7 Трехфазные электрические цепи	6	2	0,5		5,5
1.8 Трансформаторы	4	2	1		3
1.9 Электрические машины переменного тока	4		1		3
1.10 Электропривод и аппаратура управления	1				1
1.11 Передача и распределение электрической энергии	1				1
Раздел 2. Основы электроники	20	2	6	2	14
2.1 Полупроводниковые приборы	10		1		9
2.2 Фотоэлектронные приборы	2				2
2.3 Электронные выпрямители	4	2	3	2	1
2.4 Электронные усилители	1		0,5		0,5
2.5 Электронные генераторы и приборы для отображения информации	1		0,5		0,5
2.6 Интегральные схемы микроэлектроники	2		1		1
<b>ИТОГО</b>	<b>64</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>50</b>

## **Введение**

Цели, задачи, предмет дисциплины “Электротехника с основами электроники”. Значение электротехнической подготовки специалистов среднего звена для освоения новых технологий производства.

Электрическая энергия, ее свойства, особенности и применение. Основные этапы развития отечественной электроэнергетики. Развитие электротехники в Республике Беларусь.

### **Раздел 1. Электротехника.**

#### **Тема 1.1. Электрическое поле.**

Краткие сведения о строении вещества. Понятие “электрический заряд”, “электрическое поле”. Характеристики электрического поля: напряженность, потенциал, электрическое напряжение. Энергия электрического поля конденсатора.

Проводники, диэлектрики и полупроводники. Их краткая характеристика и практическое применение.

Диэлектрик в электрическом поле, поляризация диэлектрика, пробой диэлектрика. Электрическая емкость и ее единицы измерения. Конденсаторы. Соединение конденсаторов.

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

Электрическая цепь. Основные элементы расчета электрических цепей: источники и приемники электрической энергии. Электродвижущая сила (ЭДС) источника и напряжение на его зажимах. Электрический ток, его величина, направление, плотность тока.

Закон Ома для участка 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.

Режимы электрических цепей (номинальный, холостого хода, короткого замыкания). Последовательное, параллельное и смешанное соединение резисторов. Законы Кирхгофа.

#### **Практическая работа №1**

Расчет электрических цепей постоянного тока.

#### **Практическая работа №2**

Изучение правил сборки электрических цепей, мер безопасности при работе с электрооборудованием.

#### **Лабораторная работа № 1.**

Сборка цепей и исследование схем соединения резисторов.

#### **Тема 1.3. Электромагнетизм.**

Магнитное поле. Магнитная индукция. 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 переманчивание. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы.

Явление электромагнитной индукции. ЭДС, возникающая в проводнике при перемещении его в магнитном поле. Правило правой руки. Принцип Ленца. Явление самоиндукции. Индуктивность. Вихревые токи.  
Преобразование механической энергии в электрическую.

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

Классификация машин постоянного тока по назначению и способу возбуждения. Устройство и принцип действия машин постоянного тока. Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением. Электродвигатели постоянного тока. Пуск, регулирование частоты вращения, реверсирование двигателей постоянного тока. Их применение в отрасли.

##### **Лабораторная работа №2**

Снятие регулировочной характеристики двигателя постоянного тока, построение графика.

#### **Тема 1.5. Электрические измерения.**

Виды и методы электрических измерений. Погрешности измерений. Класс точности измерительных приборов. Классификация измерительных приборов и систем их обозначения. Правила эксплуатации и бережения электроизмерительных приборов. Основные правила производства измерений. Измерительные механизмы приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, индукционной и других систем. Измерения тока, напряжения, мощности, электрической энергии и электрического сопротивления. Понятие о цифровых электроизмерительных приборах. Расширение пределов измерения амперметров и вольтметров.

##### **Лабораторная работа № 3.**

Измерение сопротивления резисторов различными методами.

##### **Практическая работа № 3.**

Изучение электромеханических измерительных приборов.

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

Переменный электрический ток. Понятие о получении переменного тока. Мгновенное, амплитудное, действующее и среднее значения переменных Э.Д.С., напряжений и токов. Их период изменения, частота, угловая частота, фаза, начальная фаза, сдвиг фаз. Графическое изображение синусоидальных токов, напряжений, Э.Д.С. в виде волновых и векторных диаграмм. Параметры электрических цепей переменного тока: активное сопротивление, емкость, индуктивность. Физические процессы в цепях переменного тока с R, L и C; при последовательном соединении R и L, R и C, R, L и C. Векторные и волновые диаграммы. Расчетные соотношения. Резонанс напряжений. Физические процессы в цепях переменного тока при параллельном соединении активного сопротивления, индуктивности и емкости. Расчетные соотношения. Резонанс токов. Коэффициент мощности, способы и экономическая целесообразность его повышения. Расчет неразветвленных электрических цепей переменного тока.

##### **Практическая работа №4**

Расчет неразветвленных однофазных цепей переменного тока. Построение вектор-



ных диаграмм.

### **Практическая работа №5**

Расчет разветвленных цепей переменного тока. Построение векторных диаграмм.

### **Лабораторная работа №4**

Составление схемы и исследование работы неразветвленной цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью.

#### **Тема 1.7. Трехфазные электрические цепи.**

Трехфазная ЭДС и трехфазный ток. Получение трехфазных ЭДС.

Трехпроводная и четырехпроводная цепи. Значение нулевого провода.

Получение токов и напряжений в трехфазной системе. Соединение обмоток трехфазного генератора “звездой” и “треугольником”. Соединение потребителей электрической энергии “звездой” и “треугольником”. Линейные и фазные токи и напряжения, соотношения между ними. Расчетные соотношения. Мощности  $P$ ,  $Q$  и  $S$ . Векторные диаграммы. Значение нулевого провода.

### **Лабораторная работа № 5.**

Сборка и исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии “звездой”.

#### **Тема 1.8. Трансформаторы.**

Назначение, принцип действия и устройство однофазного трансформатора. Его основные параметры (коэффициент трансформации, коэффициент мощности, коэффициент полезного действия): физический смысл, расчет по формулам. Холостой ход трансформатора. Работа трансформатора под нагрузкой. Определение параметров трансформатора по опытам холостого хода и короткого замыкания. Трехфазные трансформаторы. Конструкция и системы охлаждения. Специальные типы трансформаторов (измерительные, сварочные, импульсные, автотрансформаторы и др.).

### **Лабораторная работа №6**

Составление схемы и исследование работы однофазного трансформатора.

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

Назначение машин переменного тока, их классификация и применение. Трехфазный асинхронный двигатель, его устройство, принцип действия, 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, асинхронных машинах.

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

Понятие о электроприводе. Аппаратура управления и защиты. Электромагнитный пускатель, его назначение, устройство, схема, принцип действия.

### **Лабораторная работа №7**

Составление и исследование схем электромагнитного пускателя.

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

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

## **Раздел 2. Основы электроники.**

### **Тема 2.1. Полупроводниковые приборы.**

Полупроводниковые приборы, их достоинства и недостатки. Виды примесей и проводимостей в полупроводниках. Собственный и примесный полупроводник. Электронно-дырочный р-п-переход и его свойства. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода. Понятие о пробое диода, виды пробоя. Максимальное обратное напряжение и допустимый ток. Биполярный транзистор. Устройство, принцип действия и применения. Схемы включения транзисторов. Статические входные и выходные характеристики транзистора. Понятие о полевом транзисторе. Тиристоры, их устройство, свойства, применение. Вольт-амперная характеристика. Условно-графические обозначения и буквенно-цифровые обозначения полупроводниковых приборов.

### **Лабораторная работа № 8**

Снятие статических характеристик биполярного транзистора. Построение графиков.

### **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, условные обозначения фотоэлектронных приборов.

### **Тема 2.3. Электронные выпрямители.**

Основные сведения о выпрямителях. Структурная схема выпрямителя. Схемы выпрямителей однофазного тока: однополупериодная и двухполупериодные, с выводом от средней точки и мостовая. Сглаживающие фильтры. Управляемые выпрямители. Трехфазные выпрямители.

### **Практическая работа № 6**

Расчет параметров диодов, выбор диодов для различных схем выпрямления.

### **Лабораторная работа № 9**

Исследование формы и значения напряжения в выпрямителях с фильтром и без него.

### **Тема 2.4. Электронные усилители.**

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

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

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

## Тема 2.6. Интегральные схемы микроэлектроники.

Общие сведения. Понятие о гибридных, толстопленочных, тонкопленочных, полупроводниковых интегральных микро-схемах. Классификация, маркировка и применение микросхем. Логические элементы “ИЛИ”, “И”, “НЕ”.

### Вопросы для самоконтроля:

1. Какое поле называют электростатическим?
2. Что такое напряженность электрического поля? Имеет ли эта величина направление?
3. В каких единицах выражают напряженность электрического поля?
4. Что называют электрическим током? Укажите его направление во внешней и внутренней цепях источника электрической энергии.
5. Напишите закон Ома для всей цепи и для одного ее участка: внешнего и внутреннего.
6. Какую цепь называют сложной? Какие законы используют для ее расчета?
7. Что называют магнитным полем? Начертите магнитное поле вокруг прямолинейного проводника с током, кольцевого тока и катушки с током.
8. Приведите определение основных магнитных величин и их единиц измерения: индукции, магнитного потока, напряженности, абсолютной магнитной проницаемости, магнитной проницаемости, намагничивающей силы.
9. Сформулируйте принцип электромагнитной индукции. Почему при движении проводника в магнитном поле происходит разделение зарядов в проводнике?
10. Сформулируйте закон Ленца.
11. Поясните сущность явления самоиндукции. От каких факторов зависит э.д.с. самоиндукции? Какое направление имеет она при возрастании и убывании тока в цепи?
12. Каково назначение основных частей машины постоянного тока: статор, полюсов, якоря, коллектора, обмоток?
13. В чем заключается явление реакции якоря каковы ее последствия для генератора и двигателя?
14. Поясните принцип самовозбуждения машины постоянного тока. В каких случаях машина может не возбудиться?
15. Какую погрешность называют абсолютной? относительной?
16. Приборы каких систем — магнитоэлектрической, электромагнитной или электродинамической — можно использовать для измерений в цепях постоянного и переменного тока?
17. Составьте таблицу, поясняющую принцип действия, характер шкалы, род измеряемого тока, преимущества и недостатки основных систем электроизмерительных приборов.
18. Почему показания омметра-логометра не зависят от напряжения источника?

19. Поясните принцип работы урвнемера с использованием реостатного датчика.
20. Как измерить деформацию детали проволочным датчиком?
21. Поясните принцип действия электрического тахометра.
22. Каким образом можно получить э.д.с. синусоидальной формы и от каких факторов зависит ее значение?
23. Что называют мгновенным, амплитудным и действующим значениями переменного тока и напряжения? К каким из этих значений относятся стандартные напряжения 127, 220, 380, 660 В?
24. Выведите зависимость частоты переменного тока от частоты вращения рамки и числа пар полюсов машины.
25. Что называют начальным фазовым углом и углом сдвига фаз? Как определить угол сдвига фаз между двумя э.д.с., пользуясь их волновыми диаграммами?
26. Как определить ток в неразветвленной части цепи при параллельном соединении сопротивлений?
27. Почему повышение реактивной мощности потребителя приводит к необходимости увеличивать установленную мощность генераторов и трансформаторов?
28. Что называют коэффициентом реактивной мощности?
29. Какую реактивную мощность называют оптимальной?
30. Какими преимуществами обладает трехфазная система перед однофазной?
31. Как получить трехфазную систему э.д.с? Какие стандартные напряжения используются для трехфазных цепей?
32. В каких случаях применяют четырех проводную систему? Какова в ней роль нулевого провода?
33. Как определить активную, реактивную и полную мощности в трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузках?
34. Поясните роль трансформатора в энергетической системе при передаче и распределении электрической энергии.
35. Укажите назначение и устройство основных элементов трансформатора.
36. Поясните принцип действия трансформатора. Почему магнитопровод должен быть изготовлен из ферромагнитного материала и по возможности иметь минимальный зазор?
37. Поясните принцип саморегулируемости трансформатора. Почему при изменении нагрузки вторичной обмотки автоматически изменяется первичный ток? Какова здесь роль э. д. с.  $E_1$
38. Приведите определение номинальных параметров трансформатора: мощности; напряжений обмоток; токов.
39. Какие неисправности могут вызвать понижение вторичного напряжения трансформатора?
40. Поясните получение вращающегося магнитного поля в асинхронном электродвигателе. От чего зависит его частота вращения?
41. Поясните принцип действия асинхронного двигателя. Почему такой двигатель называют асинхронным?

42. Что называют скольжением? Почему увеличение нагрузки на валу вызывает увеличение скольжения?
43. Поясните устройство и принцип действия синхронной машины. Может ли ротор такой машины вращаться асинхронно?
44. Какой режим работы двигателя называют продолжительным, кратковременным и повторно-кратковременным? Начертите диаграммы работы двигателя в этих режимах.
45. Как определить мощность двигателя при продолжительном режиме работы с постоянной и переменной нагрузками?
46. Как включить двигатель после срабатывания тепловой защиты?
47. Поясните устройство реле электромагнитного типа с поворотным якорем и теплового реле.
48. Что называют энергетической системой? Каковы преимущества объединения отдельных электрических станций в общую систему?
49. Чем отличается трансформаторная подстанция от распределительного пункта?
50. Расшифруйте условные обозначения проводов и кабелей: АПР-500; ПРД; ААБГ; АВВГ; ААБ.
51. Что называют собственной и примесной электропроводностью полупроводников?
52. Как устроен полупроводниковый диод? Почему его используют как выпрямитель переменного тока?
53. Какие основные характеристики имеет транзистор? Как по характеристикам определить его основные параметры?
54. Сформулируйте основные законы фотоэффекта.
55. В чем отличие внешнего фотоэффекта от внутреннего?
56. Объясните устройство фоторезистора.
57. Какие электронные элементы можно использовать как выпрямители переменного тока?
58. Для чего в схемах выпрямителей применяют сглаживающие фильтры?
59. Какие электронные элементы используют для построения усилительных каскадов?
60. Приведите классификацию электронных усилителей.
61. Какие основные показатели характеризуют усилительный каскад?
62. Что называют обратной связью и как она влияет на режим работы усилителя?
63. Каков принцип работы электронных генераторов синусоидальных колебаний?
64. Как устроен мультивибратор и для чего он применяется?
65. Объясните принцип работы триггера. Для чего применяется триггер?
66. Как устроены интегральные схемы микроэлектроники?
67. Что понимают под пленочными и гибридными микросхемами?
68. Какие пассивные и активные элементы входят в микросхему?
69. Каковы основные преимущества применения интегральных микросхем?

## **Задания для домашних контрольных работ и методические рекомендации по их выполнению**

Контрольные работы по дисциплине “Электротехника с основами электроники” содержат задачи расчетного характера по всем темам для электротехники и электроники. Варианты для каждого учащегося индивидуальные. Номер варианта определяется двумя последними цифрами шифра учащегося. Если номер шифра выражается одной цифрой (от 1 до 9), то перед ней нужно написать нуль, после чего выбор условия и варианта производится обычным способом. Задачи, выполненные не по своему варианту, не засчитываются и возвращаются учащемуся.

Учащийся должен выполнить одну контрольную работу. Она состоит из 6 задач, номера 4 из которых по электротехнике находятся в таблице №1. В таблице №1 учащийся находит для своего варианта номера задач из контрольных работ А и Б, которые он должен решить, остальные 2 задачи по основам электроники, берутся из контрольной работы В методических указаний

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради, желательно в клетку. Условия задач следует переписывать полностью. Необходимо оставлять поля шириной 25-30 мм для замечаний рецензента, а в конце тетради 1-2 страницы для рецензии. Страницы тетради обязательно должны быть пронумерованы. Формулы и расчеты пишут чернилами, а чертежи и схемы выполняют карандашом, на графиках и векторных диаграммах указывают масштаб. Решение задач обязательно ведут в Международной системе единиц (СИ).

После получения работы с оценкой и замечаниями преподавателя надо исправить отмеченные ошибки, выполнить все его указания и повторить недостаточно усвоенный материал. Если контрольная работа “не зачтена”, то учащийся выполняет ее снова по старому или новому варианту в зависимости от указаний рецензента и отправляет на повторную проверку. В случае возникновения затруднений при выполнении контрольной работы учащийся должен обратиться в колледж для получения письменной или устной консультации.

Таблица 1. Номера вариантов и задач по электротехнике

Номер варианта	Номера задач из контрольных работ				Номер варианта	Номера задач из контрольных работ			
	А		Б			А		Б	
01	1	2	1	8	51	1	3	1	8
02	1	2	2	9	52	1	3	2	9
03	1	2	2	10	53	1	3	2	10
04	1	2	3	11	54	1	3	3	11
05	1	2	4	12	55	1	3	4	12
06	1	2	5	13	56	1	3	5	13
07	1	2	5	14	57	1	3	5	14
08	1	2	6	15	58	1	3	6	15
09	1	2	6	16	59	1	3	6	16
10	1	2	7	17	60	1	3	7	17
11	1	2	1	8	61	1	3	1	8
12	1	2	2	9	62	1	3	2	9
13	1	2	2	10	63	1	3	2	10
14	1	2	3	11	64	1	3	3	11
15	1	2	4	12	65	1	3	4	12
16	1	2	5	13	66	1	3	5	13
17	1	2	5	14	67	1	3	5	14
18	1	2	6	15	68	1	3	6	15
19	1	2	6	16	69	1	3	6	16
20	1	2	7	17	70	1	3	7	17
21	1	2	1	8	71	1	3	1	8
22	1	2	2	9	72	1	3	2	9
23	1	2	2	10	73	1	3	2	10
24	1	2	3	11	74	1	3	3	11
25	1	2	4	12	75	1	3	4	12
26	1	2	5	13	76	1	3	5	13
27	1	2	5	14	77	1	3	5	14
28	1	2	6	15	78	1	3	6	15
29	1	2	6	16	79	1	3	6	16
30	1	2	7	17	80	1	3	7	17
31	1	2	1	8	81	1	3	1	8
32	1	2	2	9	82	1	3	2	9
33	1	2	2	10	83	1	3	2	10
34	1	2	4	11	84	1	3	3	11
35	1	2	1	12	85	1	3	4	12
36	1	2	5	13	86	1	3	5	13
37	1	2	5	14	87	1	3	5	14
38	1	2	6	15	88	1	3	6	15
39	1	2	6	16	89	1	3	6	16
40	1	2	7	17	90	1	3	7	17
41	1	2	1	8	91	1	3	1	8
42	1	2	2	9	92	1	3	2	9
43	1	2	2	10	93	1	3	2	10
44	1	2	3	11	94	1	3	3	11
45	1	2	4	12	95	1	3	4	12
46	1	2	5	13	96	1	3	5	13
47	1	2	5	14	97	1	3	5	14
48	1	2	6	15	98	1	3	6	15
49	1	2	6	16	99	1	3	6	16
50	1	2	7	17	00	1	3	7	17

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА А

**Задача 1 (варианты 01—00).** 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 и величина, подлежащая определению, приведены в табл. 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 также мощность, потребляемую всей цепью, и расход электрической энергии цепью за 8 ч работы.

Пояснить с помощью логических рассуждений характер изменения электрической величины, заданной в таблице вариантов (увеличится, уменьшится, останется без изменения), если один из резисторов замкнуть накоротко или выключить из схемы. Характер действия с резистором и его номер указаны в табл. 3. При этом считать напряжение  $U_{AB}$  неизменным. При трудностях логических пояснений ответа можно выполнить расчет требуемой величины в измененной схеме и на основании сравнения ее в двух схемах дать ответ на вопрос.

**Указание.** См. решение типового [примера 1](#).

**Задача 2(варианты 01—50).** Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы, индуктивности, емкости), включенные последовательно. Схема цепи приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка и значения сопротивлений всех элементов, а также один дополнительный параметр заданы в табл. 4.

Начертить схему цепи и определить следующие величины, относящиеся к данной цепи, если они не заданы в табл. 4: 1) полное сопротивление  $Z$ ; 2) напряжение  $U$ , приложенное к цепи; 3) ток  $I$ ; 4) угол сдвига фаз (по величине и знаку); 5) активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощность цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение. С помощью логических рассуждений пояснить характер изменения (увеличится, уменьшится, останется без изменения) тока, активной, реактивной мощности в цепи при увеличении частоты тока в два раза. Напряжение, приложенное к цепи, считать неизменным.

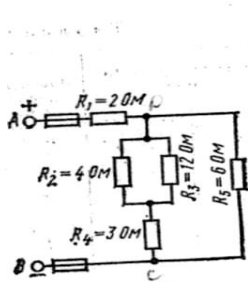


Рис. 11

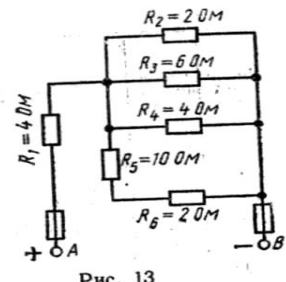


Рис. 13

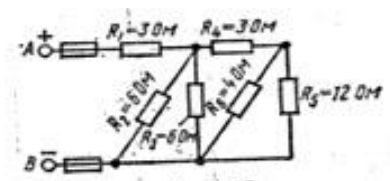


Рис. 15

11

251658240

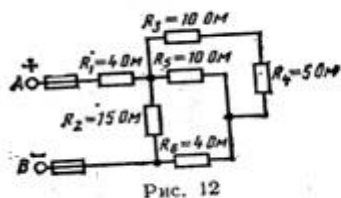


Рис. 12

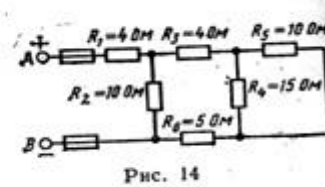


Рис. 14

251658240



Таблица 3

Номер варианта	Номер рисунка	Задаваемая величина	Определить	Действие с резистором		Изменение какой величины рассмотреть
				замыкается накоротко	выключается из схемы	
01	11	$U_{AB} = 100 \text{ В}$	$I_3$	$R_1$	—	$I_5$
02	11	$I_1 = 20 \text{ А}$	$I_4$	—	$R_4$	$U_5$
03	11	$U_2 = 30 \text{ В}$	$I_6$	$R_5$	—	$I_1$
04	11	$I_5 = 10 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_2$	$I_5$
05	11	$U_{AB} = 50 \text{ В}$	$I_1$	$R_2$	—	$U_3$
08	11	$I_2 = 3,75 \text{ А}$	$I_5$	—	$R_5$	$U_1$
07	11	$I_4 = 5 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_4$	—	$I_3$
08	11	$U_5 = 30 \text{ В}$	$I_1$	—	$R_3$	$U_4$
09	11	$I_3 = 1,25 \text{ А}$	$U_1$	$R_3$	—	$I_2$
10	11	$U_{AB} = 80 \text{ В}$	$U_4$	—	$R_4$	$I_5$
11	11	$I_3 = 1 \text{ А}$	$U_5$	$R_2$	—	$U_1$
12	11	$U_1 = 20 \text{ В}$	$I_4$	—	$R_5$	$I_4$
13	11	$I_5 = 5 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_5$	—	$U_1$
14	11	$I_1 = 12 \text{ А}$	$I_3$	—	$R_2$	$U_4$
15	11	$U_5 = 60 \text{ В}$	$I_1$	$R_1$	—	$U_5$
16	11	$U_{AB} = 5 \text{ В}$	$U_4$	—	$R_5$	$I_3$
17	11	$I_2 = 3 \text{ А}$	$I_5$	$R_4$	—	$U_1$
18	11	$U_2 = 12 \text{ В}$	$U_1$	—	$R_4$	$I_5$
19	11	$U_4 = 36 \text{ В}$	$I_1$	$R_4$	—	$U_5$
20	11	$I_4 = 12 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_4$	$U_5$
21	12	$U_{AB} = 50 \text{ В}$	$I_3$	$R_1$	—	$I_6$
22	12	$I_2 = 2 \text{ А}$	$U_{AB}$	—	$R_2$	$U_1$
23	12	$I_1 = 5 \text{ А}$	$U_4$	$R_3$	—	$I_1$
24	12	$U_5 = 18 \text{ В}$	$I_1$	—	$R_6$	$I_2$
25	12	$I_3 = 1,2 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_5$	—	$U_1$
26	12	$I_5 = 6 \text{ А}$	$I_1$	—	$R_3$	$U_2$
27	12	$U_{AB} = 80 \text{ В}$	$I_6$	$R_1$	—	$U_5$
28	12	$I_6 = 3 \text{ А}$	$U_1$	—	$R_5$	$U_1$
29	12	$U_4 = 10 \text{ В}$	$U_{AB}$	$R_3$	—	$I_6$
30	12	$U_1 = 20 \text{ В}$	$I_4$	—	$R_2$	$I_5$
31	12	$I_4 = 2 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_6$	—	$I_1$
32	12	$U_2 = 30 \text{ В}$	$I_1$	—	$R_4$	$I_5$
33	12	$I_2 = 4 \text{ А}$	$U_1$	$R_5$	—	$U_3$
34	12	$U_3 = 20 \text{ В}$	$U_{AB}$	—	$R_6$	$U_1$
35	12	$U_{AB} = 60 \text{ В}$	$I_5$	$R_4$	—	$I_4$
36	12	$I_1 = 20 \text{ А}$	$I_4$	—	$R_3$	$U_5$
37	12	$U_0 = 24 \text{ В}$	$U_1$	$R_6$	—	$I_2$
38	12	$U_1 = 40 \text{ В}$	$I_6$	—	$R_5$	$I_4$
39	12	$I_6 = 6 \text{ А}$	$U_1$	$R_4$	—	$U_1$
40	12	$U_{AB} = 120 \text{ В}$	$I_6$	—	$R_2$	$U_6$
41	13	$I_1 = 12 \text{ А}$	$U_{AB}$	$R_1$	—	$U_3$
42	13	$I_4 = 3 \text{ А}$	$I_5$	—	$R_2$	$U_1$
43	13	$U_{AB} = 120 \text{ В}$	$U_6$	$R_2$	—	$I_1$
44	13	$U_3 = 24 \text{ В}$	$U_{AB}$	—	$R_6$	$I_3$
45	13	$I_6 = 4 \text{ А}$	$U_1$	$R_6$	—	$U_2$
46	13	$I_1 = 24 \text{ А}$	$I_4$	—	$R_3$	$I_2$
47	13	$U_{AB} = 30 \text{ В}$	$U_5$	$R_1$	—	$I_4$
48	13	$U_1 = 96 \text{ В}$	$I_2$	—	$R_4$	$I_1$
49	13	$I_5 = 2 \text{ А}$	$I_1$	$R_3$	—	$U_1$
50	13	$U_{AB} = 60 \text{ В}$	$I_3$	—	$R_2$	$I_3$
51	13	$U_2 = 12 \text{ В}$	$U_{AB}$	$R_5$	—	$I_3$
52	13	$I_1 = 3 \text{ А}$	$U_6$	—	$R_5$	$U_1$
53	13	$I_2 = 6 \text{ А}$	$I_1$	$R_1$	—	$I_6$

54	13	$I_4 = 3 \text{ A}$	$I_1$	—	$R_3$	$U_5$
55	13	$U_{AB} = 60 \text{ B}$	$I_2$	$R_3$	—	$I_2$
56	13	$I_5 = 4 \text{ A}$	$U_{AB}$	—	$R_4$	$I_3$
57	13	$U_4 = 36 \text{ B}$	$I_1$	$R_4$	—	$U_1$
58	13	$I_3 = 2 \text{ A}$	$U_{AB}$	—	$R_5$	$I_1$
59	13	$U_5 = 120 \text{ B}$	$U_1$	$R_6$	—	$U_5$
60	13	$I_1 = 24 \text{ A}$	$U_{AB}$	—	$R_2$	$U_6$
61	14	$I_1 = 50 \text{ A}$	$I_3$	$R_3$	—	$U_4$
62	14	$I_2 = 15 \text{ A}$	$U_{AB}$	—	$R_6$	$I_2$
63	14	$U_2 = 120 \text{ B}$	$I_4$	$R_1$	—	$U_3$
64	14	$U_{AB} = 250 \text{ B}$	$I_1$	—	$R_4$	$I_2$
65	14	$I_6 = 8 \text{ A}$	$U_1$	$R_4$	—	$U_1$
66	14	$I_4 = 4 \text{ A}$	$I_2$	—	$R_2$	$I_1$
67	14	$I_5 = 4,8 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_6$	—	$I_2$
68	14	$U_1 = 200 \text{ B}$	$I_6$	—	$R_5$	$U_1$
69	14	$U_4 = 48 \text{ B}$	$U_{AB}$	$R_3$	—	$I_6$
70	14	$I_5 = 6 \text{ A}$	$U_2$	—	$R_6$	$I_2$
71	14	$I_3 = 2,4 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_5$	—	$U_1$
72	14	$U_{AB} = 200 \text{ B}$	$I_5$	—	$R_3$	$I_1$
73	14	$I_1 = 20 \text{ A}$	$I_4$	$R_1$	—	$U_6$
74	14	$I_3 = 20 \text{ A}$	$U_{AB}$	—	$R_2$	$I_4$
75	14	$U_4 = 120 \text{ B}$	$I_2$	$R_3$	—	$U_5$
76	14	$I_1 = 25 \text{ A}$	$U_{AB}$	—	$R_4$	$I_5$
77	14	$U_{AB} = 60 \text{ B}$	$I_4$	$R_5$	—	$I_2$
78	14	$U_5 = 120 \text{ B}$	$U_1$	—	$R_5$	$U_4$
79	14	$I_6 = 10 \text{ A}$	$I_1$	$R_1$	—	$I_4$
80	14	$U_{AB} = 500 \text{ B}$	$U_4$	—	$R_6$	$U_1$
81	15	$I_5 = 1 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_3$	—	$I_1$
82	15	$U_4 = 12 \text{ B}$	$U_1$	—	$R_2$	$U_6$
83	15	$I_3 = 6 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_5$	—	$U_4$
84	15	$U_{AB} = 60 \text{ B}$	$I_1$	—	$R_4$	$I_3$
85	15	$I_1 = 24 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_1$	—	$U_6$
86	15	$U_1 = 54 \text{ B}$	$I_6$	—	$R_6$	$U_1$
87	15	$I_6 = 3 \text{ A}$	$U_1$	$R_4$	—	$I_2$
88	15	$U_5 = 120 \text{ B}$	$I_2$	—	$R_3$	$I_1$
89	15	$I_1 = 12 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_6$	—	$U_1$
90	15	$U_2 = 36 \text{ B}$	$U_1$	—	$R_5$	$I_2$
91	15	$I_6 = 4,5 \text{ A}$	$I_1$	$R_5$	—	$I_3$
92	15	$U_5 = 24 \text{ B}$	$U_1$	—	$R_2$	$U_4$
93	15	$U_3 = 24 \text{ B}$	$U_{AB}$	$R_3$	—	$I_4$
94	15	$I_2 = 8 \text{ A}$	$I_5$	—	$R_5$	$I_3$
95	15	$U_6 = 12 \text{ B}$	$I_1$	$R_2$	—	$I_6$
96	15	$I_4 = 6 \text{ A}$	$U_3$	—	$R_6$	$I_2$
97	15	$I_3 = 4 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_4$	—	$U_5$
98	15	$I_1 = 18 \text{ A}$	$U_5$	—	$R_4$	$I_1$
99	15	$U_{AB} = 90 \text{ B}$	$I_6$	$R_1$	—	$I_4$
00	15	$I_2 = 4 \text{ A}$	$U_5$	—	$R_3$	$U_6$

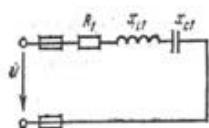


Рис. 16

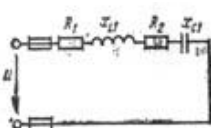


Рис. 17

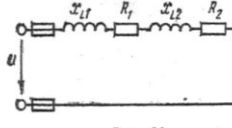


Рис. 20

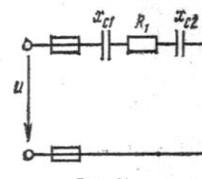


Рис. 21

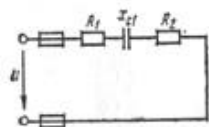


Рис. 18

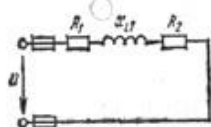


Рис. 19

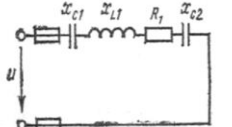


Рис. 22

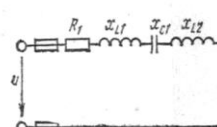


Рис. 23

251658240

Таблица 4

Номер варианта	Номер рисунка	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	X <sub>L1</sub> , Ом	X <sub>L2</sub> , Ом	X <sub>C1</sub> , Ом	X <sub>C2</sub> , Ом	Дополнительный Параметр
01	16	4	—	6	—	3	—	Q <sub>L1</sub> =150 вар
02	17	6	2	3	—	9	—	U = 40 В
03	18	10	6	—	—	12	—	I = 5 А
04	19	6	2	6	—	—	—	P <sub>R1</sub> =150 Вт
05	20	4	4	3	3	—	—	S = 360 В*А
06	21	3	—	—	—	2	2	I = 4 А
07	22	8	—	12	—	4	2	P=200 Вт
08	23	16	—	10	8	6	—	U = 80 В
09	24	10	6	—	—	8	4	I = 2 А
10	25	2	2	5	—	6	2	Q = -192 вар
11	16	3	—	2	—	6	—	U = 50 В
12	17	4	4	4	—	10	—	I = 4 А
13	18	4	2	—	—	8	—	U <sub>R1</sub> = 20 В
14	19	8	4	16	—	—	—	S= 320 В*А
15	20	6	10	8	4	—	—	P = 400 Вт
16	21	6	—	—	—	5	3	S=160 В*А
17	22	12	—	4	—	12	8	I = 4 А
18	23	6	—	8	4	4	—	P = 54 Вт
19	24	8	4	—	—	6	10	S = 180 В*А
20	25	8	8	12	—	4	2	P = 256 Вт
21	16	6	—	10	—	2	—	I = 5 А
22	17	4	2	12	—	4	—	P = 24 Вт
23	18	5	3	—	—	6	—	S=250 В*А
24	19	3	1	3	—	—	—	Q <sub>L1</sub> = 80 вар
25	20	4	8	10	6	—	—	Q=64 вар
26	21	8	—	—	—	4	2	U = 40 В
27	22	6	—	12	—	2	2	U <sub>L1</sub> = 60 В
28	23	4	—	8	4	9	—	Q = 75 вар
29	24	2	6	—	—	4	2	U <sub>R2</sub> = 24 В
30	25	4	2	4	—	8	4	Q <sub>L1</sub> = 16 вар
31	16	8	—	4	—	10	—	P = 800 Вт
32	17	3	3	2	—	10	—	Q <sub>C1</sub> = -160 вар
33	18	2	2	—	—	3	—	P=100 Вт

34	19	4	4	6	—	—	—	$I = 2 \text{ A}$
35	20	2	4	2	6	—	—	$U = 60 \text{ B}$
36	21	16	—	—	—	4	8	$Q = -300 \text{ вар}$
37	22	4	—	10	—	4	3	$U_{C2} = 15 \text{ B}$
38	23	12	—	14	10	8	—	$U_{R1} = 60 \text{ B}$
39	24	4	2	—	—	4	4	$Q_{C2} = -256 \text{ вар}$
40	25	1	2	6	—	8	2	$U_{C1} = 40 \text{ B}$
41	16	12	—	18	—	2	—	$S = 500 \text{ B} \cdot \text{A}$
42	17	8	4	20	—	4	—	$Q_{L1} = 500 \text{ вар}$
43	18	2	1	—	—	4	—	$Q_{C1} = -100 \text{ вар}$
44	19	10	6	12	—	—	—	$U = 100 \text{ B}$
45	20	6	2	4	2	—	—	$I = 4 \text{ A}$
46	21	12	—	—	—	10	6	$P = 48 \text{ Вт}$
47	22	3	—	8	—	2	10	$Q = -400 \text{ вар}$
48	23	6	—	5	3	8	—	$U_{C1} = 16 \text{ B}$
49	24	1	3	—	—	2	1	$Q = -48 \text{ вар}$ :
50	25	10	6	18	—	4	2	$S = 80 \text{ B} \cdot \text{A}$

**Указание.** См. решение типового [примера 2](#).

**Примечание.** В табл. 4, 6 индексы буквенных обозначений следует понимать так:  $Q_{L1}$  — реактивная мощность в первом индуктивном сопротивлении;  $Q_{C1}$  — то же, но в емкостном сопротивлении;  $P_{R1}$  — активная мощность в первом активном сопротивлении;  $U_{R1}, U_{L1}, U_{C1}$  — падения напряжения соответственно в первом активном, индуктивном, первом емкостном сопротивлениях.

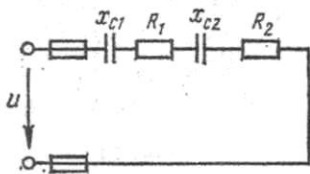


Рис. 24

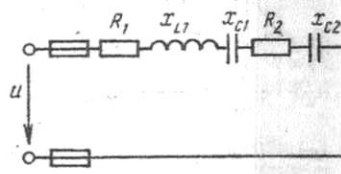


Рис. 25

11с

**Задача 3 (варианты 51—00).** По заданной векторной диаграмме для цепи переменного тока с последовательным соединением элементов (резисторов индуктивностей и емкостей) начертить эквивалентную схему цепи и определить следующие величины: 1) сопротивление каждого элемента и полное сопротивление цепи  $z$ ; 2) напряжение  $U$ , приложенное к цепи; 3) угол сдвига фаз (по величине и знаку); 4) активную, реактивную и полную мощности ( $P, Q, S$ ) цепи.

11

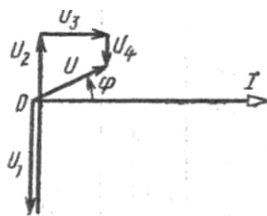


Рис. 34

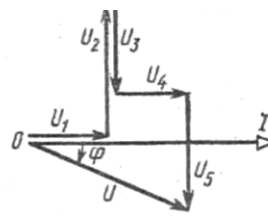


Рис. 35



С помощью логических рассуждений пояснить характер изменения (увеличится, уменьшится, останется без изменения), ток и угол сдвига фаз (по величине и знаку) при уменьшении частоты тока в два раза. Напряжение, приложенное к цепи, считать неизменным. Данные для своего варианта принять из табл. 5.

**Указание.** См. решение типового [примера 3](#), а также примечания к задаче 2.

*Таблица 5*

Номер варианта	Номер рисунка	I, А	U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В	U <sub>3</sub> , В	U <sub>4</sub> , В	U <sub>5</sub> , В
51	26	5	15	15	5	—	—
52	27	4	32	80	16	16	—
53	28	3	60	48	24	—	—
54	29	2	4	8	12	4	—
55	30	4	12	20	16	4	8
56	31	2	16	2	12	6	10
57	32	3	9	3	3	6	—
58	33	5	50	25	50	—	—
59	34	4	32	56	12	8	—
60	35	10	20	40	30	20	40
61	26	2	10	12	6	—	—
62	27	10	30	50	20	10	—
63	28	4	40	12	24	—	—
64	29	5	50	40	30	20	—
65	30	2	12	20	12	4	4
66	31	3	18	6	12	12	30
67	32	4	20	16	12	8	—
68	33	6	18	12	18	—	—
69	34	5	20	80	30	20	—
70	35	8	48	64	32	16	80
71	26	10	10	40	20	—	—
72	27	5	20	30	20	10	—
73	28	2	20	16	8	—	—
74	29	4	4	8	12	4	—
75	30	3	36	36	24	18	24
76	31	4	16	24	20	40	44
77	32	5	50	40	30	20	—
78	33	7	56	70	56	—	—
79	34	2	4	40	32	12	—
80	35	6	12	30	24	6	30
81	26	3	36	36	12	—	—
82	27	2	16	40	8	8	—
83	28	5	50	30	10	—	—
84	29	10	60	20	20	40	—
85	30	5	10	50	40	20	30
86	31	6	30	6	18	12	36
87	32	2	8	20	16	12	—
88	33	4	60	40	60	—	—
89	34	3	6	36	24	12	—
90	35	5	30	40	30	50	70
91	26	4	24	24	8	—	—
92	27	1	10	20	8	6	—
93	28	3	60	48	24	—	—
94	29	8	24	8	8	16	—
95	30	6	48	84	24	24	36
96	31	5	20	20	10	20	40
97	32	6	12	36	24	12	—
98	33	2	36	30	36	—	—
99	34	5	20	50	20	15	—

00	35	10	50	100	60	30	100
----	----	----	----	-----	----	----	-----

Таблица 18.

Технические данные трансформаторов

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}$ кВ* А	Напряжения обмоток, кВ		Потеря мощности, кВт		$U_k$ , %	$I_{1x}$ , %
		$U_{\text{ном1}}$	$U_{\text{ном2}}$	$P_{\text{ст}}$	$P_{\text{о. ном}}$		
ТМ-25/6; 10	25		0,23; 0,4	0,13	0,69	4,7	3,2
ТМ-40/6; 10	40		0,23; 0,4	0,175	1,0	4,7	3,0
ТМ-63/6; 10	63		0,23; 0,4	0,24	1,47	4,7	2,8
ТМ-100/6; 10	100		0,23; 0,4	0,33	2,27	6,8	2,6
ТМ-1С0/6; 10	160	6, 10	0,23; 0,4; 0,69	0,51	3,1	4,7	2,4
ТМ-250/6; 10	250		0,23; 0,4; 0,69	0,74	4,2	4,7	2,3
ТМ-400/6; 10	400		0,23; 0,4; 0,69	0,95	5,5	4,5	2,1
ТМ-G30/6; 10	630		0,23; 0,4; 0,69	1,31	7,6	5,5	2,0
ТМ-1000/5; 10	1000		0,23; 0,4; 0,69	2,45	12,2	5,5	2,8
ТМ-1000/6; 10	1600		0,23; 0,4; 0,69	3,3	18,0	5,5	2,6
ТМ-2500/10	2500	10	0,4; 0,69; 10,5	4,3	24,0	5,5	1,0

**Примечания:** Трансформатор ТМ-630/10 — с масляным охлаждением, трехфазный, номинальная мощность 630 кВ\*А, номинальное первичное напряжение 10 кВ, вторичные напряжения 0,23; 0,4 и 0,69 кВ; 2.  $P_{\text{ст}}$  — потери в стали;  $P_{\text{о. ном}}$  - потери в обмотках;  $U_k$  % — напряженна короткого замыкания;  $I_{1x}$  % — ток холостого хода

Таблица 19

Технические данные комплектных конденсаторных установок напряжением 380 В

Тип установки	$Q_6$ , квар	Тип установки	$Q_6$ , квар	Тип установки	$Q_6$ , квар
УК-0,38-75	75	УК-0,38-220Н	220	УК-0,38-330Н	330
УК-0,38-78	78	УК-0,38-225	225	УК-0,38-430Н	430
УК-0,38-110Н	110	УК-0,38-300Н	300	УК-0,38-450Н	450
УК-0,38-150Н	150	УК-0,38-320Н	320	УК-0,38-540Н	540

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА Б

**Задача 1.** К трехфазному трансформатору с номинальной мощностью  $S_{\text{ном}}$  и номинальными напряжениями первичной  $U_{\text{ном1}}$  и вторичной  $U_{\text{ном2}}$  обмоток присоединена активная нагрузка  $P_2$  при коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2$ . Определить: 1) номинальные токи в обмотках  $I_{\text{ном1}}$  и  $I_{\text{ном2}}$ ; 2) коэффициент нагрузки трансформатора  $k_n$ ; 3) токи в обмотках  $I_1$  и  $I_2$  при фактической нагрузке; 4) суммарные потери мощности  $\sum P$  при номинальной нагрузке; 5) коэффициент полезного действия трансформатора при фактической нагрузке. Данные для своего варианта взять из табл. 23. Недостающие величины взять из табл. 18.

Каково назначение замкнутого стального магнитопровода в трансформаторе? Почему магнитопровод должен иметь минимальный воздушный зазор и выполняться

не сплошным, а из отдельных стальных лисит, изолированных друг от друга лаком?

**Указание.** См. решение типового [примера 11](#).

Таблица 23

Номер варианта	$S_{\text{ном}}$ , кВт*А	$U_{\text{ном1}}$ , кВ	$U_{\text{ном2}}$ , кВ	$P_2$ ,кВ	$\cos \gamma_2$	Номер варианта	$S_{\text{ном}}$ , кВт*А	$U_{\text{ном1}}$ , кВ	$U_{\text{ном2}}$ , кВ	$P_2$ ,кВ	$\cos \gamma_2$
01	1000	10	0,69	850	0,95	51	630	10	0,69	554	0,88
11	160	6	0,4	150	1,0	61	40	6	0,23	35	1,0
21	100	6	0.23	80	0,9	71	1600	10	0,4	1400	0,93
31	250	10	0,4	200	0,85	81	63	10	0,23	56	1,0
41	400	10	0,4	350	0,92	91	630	10	0,4	520	0,9

**Задача2.** Для питания пониженным напряжением цепей управления электродвигателями на пульте установлен однофазный двухобмоточный трансформатор номинальной мощностью  $S_{\text{ном}}$ . Номинальные напряжения обмоток  $U_{\text{ном1}}$  и  $U_{\text{ном2}}$ ; номинальные токи в обмотках  $I_{\text{ном1}}$  и  $I_{\text{ном2}}$  Коэффициент трансформации равен  $K$ - Числа витков обмоток  $w_1$  и  $w_2$ . Магнитный поток в магнитопроводе  $\Phi_m$ . Частота тока в сети  $f=50$ Гц. Трансформатор работает с номинальной нагрузкой. Потерями в трансформаторе можно пренебречь. Используя данные трансформатора, указанные в табл. 24, определить все неизвестные величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить схему включения такого трансформатора в сеть. Ко вторичной обмотке присоединить нагрузку в виде обычного резистора  $R_n$ . Для включения и отключения нагрузки предусмотреть рубильник, а для защиты сетей от токов короткого замыкания включить в цепь обеих обмоток предохранители. Данные для своего варианта взять из [табл. 24](#).

**Указание.** См. решение типового [примера 12](#)

**Задача 3.** Инструментальный цех завода получает питание от подстанции при напряжении  $U_{\text{ном2}}$ . Активная мощность, расходуемая цехом, равна  $P_2$  при коэффициенте мощности  $\cos \gamma_2$ . Определить необходимую мощность трансформаторов на подстанции и выбрать их тип, пользуясь табл.18. На подстанции можно установить не более двух трансформаторов одинаковой мощности с коэффициентом нагрузки 0,9—1,0; поэтому в задаче нужно вычислить коэффициент нагрузки трансформаторов.

Определить необходимое сечение кабеля от подстанции до цехового распределительного пункта, пользуясь табл. 22 допустимых токовых нагрузок. Кабель четырехжильный, проложен в земле. В случае необходимости (при больших токах) можно проложить несколько кабелей. Данные для своего варианта принять из табл. 25.

Какие величины можно определить из опыта холостого хода трансформатора? Начертите схему включения трансформатора и приборов для проведения опыта холостого хода.

**Указание.** Полная мощность для питания цеха  $S=P_2/\cos\gamma_2$ .

Таблица 24

Номер варианта	$S_{\text{ном}}$ , В*А	$U_{\text{ном1}}$ , В	$U_{\text{ном2}}$ , В	$I_{\text{ном1}}$ , А	$I_{\text{ном2}}$ , А	$w_1$	$w_2$	$K$	$\Phi_m$ , Вб
02	—	380	—	1,43	—	—	—	15,8	0,005
12	—	220	24	—	33,4	198	—	—	—
22	1600	—	12	—	—	770	—	31,6	—
32	—	127	—	4,72	25	—	108	—	—



42	3200	380	36	—	—	—	—	—	0,025
52	—	220	24	3,64	—	—	—	—	0,005
62	500	—	—	1,0	—	750	54	—	—
72	—	220	—	—	20,8	400	22	—	—
82	250	500	—	—	—	—	—	20,8	0,0015
92	—	—	12	3,2	—	3000	—	41,6	—
03	400	—	12	—	—	—	—	18,3	0,02
13	—	—	36	1,0	—	—	—	13,9	0,003
23	—	380	—	4,2	—	—	24,4	—	0,002
33	600	220	—	—	—	4970	—	6,12	—
43	—	—	24	—	25	573	—	—	0,001
53	—	500	—	—	13,9	—	—	13,9	0,003
63	100	—	24	—	—	—	30	15,8	—
73	—	—	24	0,5	10,4	—	—	—	0,0018
83	—	380	12	—	133	—	—	31,6	—
93	800	—	—	3,64	—	—	22	9,18	—

Таблица 25

Номер варианта	P <sub>2</sub> , кВт	cos γ <sub>2</sub>	U <sub>ном2</sub> , В	Номер варианта	P <sub>2</sub> , кВт	cos γ <sub>2</sub>	U <sub>ном2</sub> , В
04	600	0,8	380	54	140	0,95	220
14	1350	0,75	660	64	500	0,88	380
24	200	0,85	220	74	1200	0,76	660
34	420	0,9	380	84	350	0,92	220
44	800	0,82	660	94	210	0,87	380

ныи ток и коэффициент

11

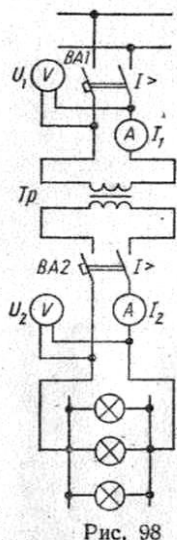


Рис. 98

**Задача 4.** В сборочном цехе машиностроительного завода установлены трехфазные электродвигатели трех типов. Для каждого типа заданы: номинальная (полезная) мощность  $P_{\text{ном}}$ - коэффициент мощности  $\cos \gamma_{\text{ном}}$  и коэффициент полезного действия  $\mu_{\text{ном}}$  и количество двигателей  $n$ . Номинальное напряжение сети 380 В. Все двигатели работают в номинальном режиме. Определить необходимую мощность трансформатора для питания электродвигателей и выбрать его тип по табл. 18; могут быть установлены два трансформатора одинаковой мощности работающие параллельно. Определить, с каким коэффициентом нагрузки будут работать трансформаторы, и вычислить первичный и вторичный токи и коэффициент полезного действия трансформатора при этом коэффициенте нагрузки. Дополнительные сведения о трансформаторе взять из табл. 18. Данные для своего варианта взять из табл. 26.

Какие величины можно определить из опыта короткого замыкания трансформатора? Начертите схему включения трансформатора и приборов для проведения такого опыта.

**Указания:** 1. См. решение типового [примера 11](#). 2. Полную мощность, потребляемую электродвигателями, определяют по формуле  $S = P_{\text{ном}} n / (\cos \gamma_{\text{ном}} \mu_{\text{ном}})$  3. При установке двух трансформаторов все расчеты ведут для одного по половинной нагрузке.

Таблица 26

Величина	Вариант
----------	---------

	05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
$P_{\text{НОМ1}}, \text{кВт}$	11	7,5	22	5,5	15	18,5	37	4	30	45
$\cos \gamma_{\text{НОМ1}}$	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
$\eta_{\text{НОМ1}}$	0,87	0,86	0,89	0,87	0,76	0,88	0,9	0,84	0,9	0,91
$n_1, \text{шт}$	15	10	14	8	10	16	2	10	5	1
$P_{\text{НОМ2}}, \text{кВт}$	7,5	30	4	15	45	11	18,5	22	37	5,5
$\cos \gamma_{\text{НОМ2}}$	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
$\eta_{\text{НОМ2}}$	0,86	0,9	0,84	0,76	0,91	0,87	0,88	0,89	0,9	0,87
$n_2, \text{шт}$	10	5	10	16	6	10	4	12	2	10
$P_{\text{НОМ3}}, \text{кВт}$	22	11	7,5	37	5,5	15	4	30	45	18,5
$\cos \gamma_{\text{НОМ3}}$	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
$\eta_{\text{НОМ3}}$	0,89	0,87	0,86	0,9	0,87	0,76	0,84	0,9	0,91	0,88
$n_2, \text{шт}$	8	10	15	6	20	10	5	5	2	4

**Задача 5.** Для освещения рабочих мест в целях безопасности применили лампы накаливания пониженного напряжения 12, 24, 36 В). Для их питания установили однофазный понижающий трансформатор, номинальной мощностью  $S_{\text{НОМ}}$ , работающий с коэффициентом нагрузки  $k_n$ . Номинальные напряжения обмоток  $U_{\text{НОМ1}}$  и  $U_{\text{НОМ2}}$ ; рабочие токи в обмотках  $I_1$  и  $I_2$ . Коэффициент трансформации равен  $K$ . К трансформатору присоединили лампы накаливания мощностью  $P_{\text{л}}$  каждая в количестве  $n_{\text{л}}$ . Коэффициент мощности ламп  $\cos \gamma_2 = 1,0$ . Схема присоединения ламп к трансформатору приведена на рис. 98. Потерями в трансформаторе можно пренебречь. Используя данные для своего варианта, указанные в табл. 27, определить все неизвестные величины, отмеченные прочерками в таблице.

Каковы особенности внешней, характеристики сварочного трансформатора? Каким образом получают такую характеристику?

**Указания:** 1. См. решение типового [примера 12](#). 2. Для ламп накаливания  $\cos \gamma_2 = 1,0$ , поэтому коэффициент нагрузки  $S = P_{\text{НОМ}} n_{\text{л}} / (\cos \gamma_{\text{НОМ}} \mu_{\text{НОМ}})$

**Задача 6.** Аппаратный цех электротехнического завода потребляет активную мощность  $P_2$  при коэффициенте мощности  $\cos \gamma_2$ . Для питания потребителей цеха на подстанции установили трехфазные трансформаторы с первичным напряжением  $U_{\text{НОМ1}}$ . Однако энергосистема, ограничив потребление реактивной мощности до  $Q_{\text{э}}$ , называемой оптимальной, потребовала установить на низшем напряжении подстанции 380 В конденсаторы. Определить: 1) необходимую мощность конденсаторной батареи  $Q_6$  и выбрать ее тип, пользуясь табл. 19; 2) номинальную мощность трансформатора на подстанции в двух случаях: а) до установки батареи, б) после установки батареи. На основании табл. 18 выбрать тип трансформатора; 3) в обоих случаях определить коэффициент полезного действия трансформатора с учетом фактической нагрузки. Сделать заключение о целесообразности компенсации реактивной мощности потребителей цеха. Данные для своего варианта взять из табл. 28.

*Таблица 27*

Номер варианта	$S_{\text{НОМ}}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	$k_n$	$U_{\text{НОМ1}}, \text{В}$	$U_{\text{НОМ2}}, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$K$	$P_{\text{л}}, \text{Вт}$	$n_{\text{л}}, \text{шт.}$
06	250	—	—	12	—	—	31,7	25	8
16	—	0,75	500	—	0,75	15,6	—	—	15
26	—	0,9	—	24	1,63	15	—	60	—
36	400	0,8	220	24	—	—	—	40	—
46	250	—	—	—	0,91	16,7	—	100	2
56	—	0,8	127	—	3,15	—	10,6	—	10

66	—	0,9	—	12	—	7,5	10,6	15	—
76	400	—	500	36	0,6	—	—	—	5
86	500	—	127	12	—	33,3	—	40	—
96	—	0,8	380	—	—	18,7	—	40	5
07	500	—	—	36	1,12	—	10,6	25	—
17	—	0,8	220	—	—	—	18,35	100	2
27	—	1,0	—	36	0,8	11,1	—	—	4
37	100	—	127	—	0,71	—	10,6	—	6
47	400	—	500	36	—	—	—	100	4
57	—	0,75	—	36	—	8,34	13,9	60	—
67	500	0,85	380	—	—	11,8	—	—	17
77	—	0,9	220	—	—	—	9,18	60	6
87	500	—	—	24	0,75	—	20,8	25	—
97	—	—	—	24	1,45	13,35	—	40	8

Таблица 28

Номер варианта	$P_2$ , кВт	$\cos \gamma_2$	$Q_3$ , квар	$U_{ном1}$ , кВ	Номер варианта	$P_2$ , кВт	$\cos \gamma_2$	$Q_3$ , квар	$P_2$ , кВт
08	1400	0,75	350	10	09	1500	0,77	330	10
18	370	0,8	110	6	19	700	0,75	200	6
28	600	0,85	150	10	29	2000	0,65	1100	10
38	1000	0,8	220	10	39	900	0,75	200	10
48	220	0,75	80	6	49	290	0,8	110	6
58	2300	0,8	700	10	59	550	0,88	150	6
68	1700	0,7	350	10	69	180	0,75	50	6
78	750	0,8	225	6	79	860	0,7	280	10
88	160	0,65	50	6	89	1500	0,8	400	10
98	1150	0,75	350	10	99	300	0,75	110	10

**Указания:** 1. См. решение типового [примера 13](#). 2. На подстанции возможна установка одного трансформатора или двух. Одинаковой мощности. 3. При выборе трансформаторов необходимо обеспечить их коэффициент нагрузки  $k_n$ , равным 0,9—1,0. 4. Первичное напряжение  $U_{ном1}$  задано для выбора типа трансформатора.

**Задача 7.** На рис. 99 показана векторная диаграмма однофазного трансформатора при холостом ходе. На основании данных диаграммы, приведенных в табл. 29 вариантов, определить: 1) коэффициент трансформации  $K$ ; 2) потери в стали  $P_{ст}$ , пренебрегая потерями на нагревание первичной обмотки; 3) числа витков обеих обмоток при частоте тока питающей сети  $f=50$  Гц. Приняв ток холостого хода составляющим 5% от номинального первичного тока, найти номинальные токи в обмотках  $I_{ном1}$  и  $I_{ном2}$  и номинальную мощность трансформатора  $S_{ном}$ .

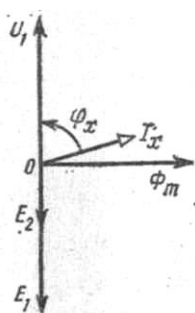


Рис. 99

Почему основной магнитный поток в магнитопроводе трансформатора остается неизменным при любой нагрузке? Выполнение какого условия необходимо для соблюдения такого постоянства потока?

**Указания:** 1. Потери в стали практически равны потерям холостого хода:  $P_{ст} = U_1 I_x \cos \gamma_x$ . 2. Числа витков обмоток определяют из формул для  $E_1$  и  $E_2$  причем при холостом ходе  $E_1 \approx U_1$ ,  $E_2 \approx U_{ном2}$ . 3. Номинальная мощность трансформатора  $S_{ном} = U_{ном2} \cdot I_{ном2}$ , где  $I_{ном2} = K \cdot I_{ном1}$ .

Таблица 29

номер вари-	U <sub>1,В</sub>	I <sub>x,А</sub>	E <sub>2,В</sub>	Φ <sub>m,Вб</sub>	γ° х	Номер вари- анта	U <sub>1,В</sub>	I <sub>x,А</sub>	E <sub>2,В</sub>	Φ <sub>m,Вб</sub>	γ° х
10	500	0,15	36	0,002	85	60	500	0,12	24	0,0016	83
20	380	0,2	220	0,0015	80	70	380	0,25	127	0,0025	84
30	220	0,5	500	0,008	86	80	220	0,3	380	0,002	77
40	127	0,1	12	0,0012	78	90	127	0,16	24	0,001	75
50	660	0,18	24	0,0018	75	00	660	0,22	36	0,002	82

**Задача 8.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с коротко-замкнутым ротором установлен для привода ленточного конвейера. Двигатель потребляет из сети мощность  $P_1$  при номинальном напряжении  $U_{ном}$  и номинальном токе  $I_{ном}$ . Полезная мощность на валу равна  $P_{ном2}$ . Коэффициент полезного действия двигателя  $\eta_{ном}$ . Суммарные потери мощности в двигателе равны  $\sum P$ . Коэффициент мощности двигателя составляет  $\cos\gamma_{ном}$ . Двигатель развивает на валу полезный момент  $M_{ном}$  при частоте вращения ротора  $n_{ном2}$ . При этом двигатель работает со скольжением  $S_{ном}$ . Частота вращения поля статора равна  $n_1$ . Частота тока во вращающемся роторе  $f_{2s}$  частота тока в сети  $f_1=50$  Гц.

Используя данные, приведенные в табл. 30, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Как изменится при увеличении нагрузки на валу двигателя частота вращения ротора  $n_2$ ; частота тока в роторе  $f_{2s}$  и значение тока, потребляемого двигателем из сети? Приведите соответствующие пояснения.

Указание. См. решение типового [примера15](#).

*Таблица 30*

Величина	Варианты										
	01	11	21	31	41	51	61	71	81	91	
$P_1$ , кВт	—	22,6	—	—	—	20,4	5,18	5,36	—	11,36	
$U_{ном}$ , В	380	380	220	220	380	—	220	220	380	380	
$I_{ном}$ , А	12,5	—	16	—	—	38,8	—	17,6	—	22,1	
$P_{ном2}$ , кВт	5,3	—	—	4,5	10	—	4,45	—	17,34	—	
$\eta_{ном}$	0,78	—	—	0,84	0,88	0,85	—	—	—	—	
$\sum P$ , кВт	—	2,6	—	—	—	—	—	0,86	3,06	1,36	
$\cos\gamma_{ном}$	0,81	0,85	0,85	0,8	0,89	0,8	0,85	—	0,8	—	
$M_{ном}$ , Н*м	—	—	29,5	—	—	—	—	45,2	226,8	—	
$n_{ном2}$ , об/мин	2950	—	1440	950	—	730	—	—	—	950	
$S_{ном}$ , %	—	—	4,0	—	2,0	2,67	—	—	—	—	
$n_1$ , об/мин	—	3000	—	1000	1500	—	1500	—	750	—	
$f_{2s}$ , Гц	—	1,3	—	—	—	—	2,0	2,5	—	2,5	

**Задача 9.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с коротко-замкнутым ротором, работая в номинальном режиме приводит во вращение центробежный вентилятор. Двигатель потребляет из сети мощность  $P_1$  при номинальном напряжении  $U_{ном}$  и номинальном токе  $I_{ном}$ . Полезная номинальная мощность на валу  $P_{ном3}$ . Суммарные потери в двигателе равны  $\sum P$ ; его к.п.д.  $\eta_{ном}$ . Коэффициент мощности двигателя равен  $\cos\gamma_{ном}$ . Двигатель развивает на валу вращающий момент  $M_{ном}$  при частоте вращения ротора  $n_{ном2}$ . Максимальный и пусковой моменты двигателя соответственно равны  $M_{max}$  и  $M_n$ ; способность двигателя к перегрузке  $M_{max}/M_{ном}$ , кратность пускового момента  $M_n/M_{ном}$ . Синхронная частота вращения магнитного поля статора равна  $n_1$ ,

скольжение ротора при номинальной нагрузке  $S_{ном}$ . Частота тока в сети  $f_1=50$  Гц. Используя данные, приведенные в табл. 31, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Какими способами осуществляется пуск асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором?

Указание. См. решение типового [примера 15](#).

*Таблица 31*

Величины	Варианты									
	02	12	22	32	42	52	62	72	82	92
$P_1$ , кВт	—	—	59	4,76	—	—	33	—	—	12,5
$U_{ном}$ , В	380	660	380	220	660	—	—	380	220	—
$I_{ном}$ , А	—	—	—	—	32	7,44	32,1	99,7	—	21,1
$P_{ном2}$ , кВт	11	5,5	—	4	30	—	—	55	—	—
$\sum P$ , кВт	—	—	—	—	—	1,3	3	4	0,76	1,5
$\eta_{ном}$	0,88	0,81	0,93	—	0,91	0,81	—	—	0,84	—
$\cos\gamma_{ном}$	0,9	0,8	0,9	0,84	—	0,8	0,9	—	0,84	0,9
$M_{ном}$ , Н*М	—	—	357,3	26,8	—	54,7	—	—	—	—
$n_{ном2}$ , об/мин	—	960	—	—	980	—	—	1470	1425	2900
$M_{max}$ , Н*М	—	120,3	—	—	—	—	584*6	786	59	79,6
$M_n$ , Н*М	—	—	428,8	—	350,8	109,4	—	—	59	57,9
$M_{max}/M_{ном}$ , Н*М	2,2	—	2,2	2,2	2	2,2	2	—	—	—
$M_n/M_{ном}$ , Н*М	1,6	2	—	2,2	—	—	1,2	1,2	—	—
$n_1$ , об/мин	3000	—	1500	—	—	1000	1000	—	1500	3000
$S_{ном}$ , %	3,3	4	—	5	2	—	—	2	—	—

**Задача 10.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором характеризуется следующими величинами: числа витков обмоток статора и ротора соответственно равны  $w_1$  и  $w_2$ ; обмоточные коэффициенты обмоток статора и ротора  $k_{01}$  и  $k_{02}$ ; амплитуда вращающегося магнитного потока  $\Phi_M$ . В каждой фазе обмоток статора и неподвижного ротора наводятся э.д.с.  $E_1$  и  $E_2$ . Число пар полюсов обмотки статора равно  $p$ . При вращении ротора со скольжением  $s$  в фазе обмотки ротора наводится э.д.с.  $E_{2s}$ . Синхронная частота вращения поля равна  $n_1$ , частота вращения ротора  $n_2$ . Частота тока в роторе  $f_{2s}$ , в сети  $f_1=50$  Гц. Используя данные, приведенные в табл. 32, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Пояснить влияние активного сопротивления цепи ротора на значение пускового тока и пускового момента. Начертить зависимость  $M=f(s)$  для двух значений сопротивления цепи ротора:  $R_1$  и  $R_2$ , причем  $R_1 > R_2$ .

Указание. См. решение типового [примера 16](#).

*Таблица 32*

Величины	Варианты									
	03	13	23	33	43	53	63	73	83	93
$w_1$	48	100	—	—	50	180	—	146	60	—
$w_2$	—	70	45	13	—	60	36	—	30	60
$k_{01}$	0,96	0,96	0,94	0,96	0,97	0,96	0,93	0,95	0,97	0,96
$k_{02}$	0,97	0,98	0,95	0,97	0,98	0,96	0,95	0,97	0,95	0,96
$\Phi_M$	0,035	—	0,05	—	0,02	0,0055	—	0,006	—	—
$E_1$ , В	—	200	1000	360	—	—	110	—	130	211
$E_2$ , В	—	—	—	100	—	—	50	200	—	—
$p$	—	—	1	3	—	—	—	—	6	—

S, %	—	8	—	4	—	—	3	—	—	3
E <sub>2s</sub> , В	4	—	—	—	5	—	—	8	—	2,1
n <sub>1</sub> , об/мин	1000	—	—	—	1000	1500	—	—	—	—
n <sub>2</sub> , об/мин	960	920	—	—	950	—	970	1440	—	1445
f <sub>2s</sub> , Гц	—	—	2,5	—	—	1,5	—	—	5	—

Задача 11. В табл. 33 задан тип трехфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором серии 4А. Номинальное напряжение двигателя 380 В. Используя данные о двигателях этой серии из табл. 20, определить: 1) номинальную мощность  $P_{ном2}$ ; 2) синхронную частоту вращения  $n_1$  и частоту вращения ротора  $n_{ном2}$ ; 3) номинальное скольжение  $S_{ном}$ ; 4) номинальный ток  $I_{ном}$ ; 5) пусковой ток  $I_{п}$ ; 6) мощность  $P_1$ , потребляемую из сети; 7) суммарные потери в двигателе  $\sum P$ . Расшифровать условное обозначение двигателя.

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

Указание. См. решение типовых [примеров 14, 15](#).

Таблица 33

Номер варианта	Тип двигателя	Номер варианта	Тип двигателя	Номер варианта	Тип двигателя
04	4А100S4УЗ	44	4А132М2СУ2	84	4А250М8УЗ
14	4А250М4УЗ	54	4А90L4УЗ	94	4АН250М8УЗ
24	4А100L2УЗ	64	4А100L6УЗ	—	—
34	4АР180М6УЗ	74	4АР160М4УЗ	—	—

Задача 12. Трехфазный асинхронный электродвигатель с коротко-замкнутым ротором имеет следующие номинальные характеристики: мощность  $P_{ном2}$ ; напряжение  $U_{ном}$ ; ток статора  $I_{ном}$ ; коэффициент полезного действия  $\eta_{ном}$ ; коэффициент мощности  $\cos\varphi_{ном}$ . Частота вращения ротора равна  $n_{ном2}$  при скольжении  $S_{ном}$ . Синхронная частота вращения  $n_1$ . Обмотка статора выполнена на  $p$  пар полюсов. Частота тока в сети  $f_1$ , частота тока в роторе  $f_{2s}$ . Двигатель развивает номинальный момент  $M_{ном}$ .

Используя данные, приведенные в табл. 34, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить зависимость вращающего момента асинхронного двигателя от скольжения и рассмотреть его работу в устойчивой и неустойчивой областях при увеличении нагрузки на валу.

Указание. См. решение типового [примера 15](#).

Таблица 34

Величины	Варианты									
	05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
$P_{ном2}$ , кВт	—	4,5	—	100	—	18	—	20	—	5
$U_{ном}$ , В	380	220	—	—	380	660	380	220	220	380
$I_{ном}$ , А	—	—	10	114	30	21	—	70	8	—
$\eta_{ном}$	0,85	0,86	0,85	0,91	0,88	—	0,89	0,9	0,89	0,86
$\cos\varphi_{ном}$	0,83	0,82	0,83	0,85	0,85	0,84	0,85	—	0,85	0,8
$n_{ном2}$ , об/мин	—	—	—	980	1450	950	—	2850	—	—
$S_{ном}$ , %	—	5	2	—	—	—	2,5	5	—	—
$n_1$ , об/мин	—	—	—	1000	—	1000	3000	—	750	1500
$p$	3	1	4	—	2	—	—	1	—	—
$f_1$ , Гц	50	100	50	—	50	50	—	—	100	50
$f_{2s}$ , Гц	2,5	—	—	1	—	—	2,5	—	4	2
$M_{ном}$ , Н*М	120	—	60	—	—	—	250	—	—	—

Задача 13. В трехфазном асинхронном электродвигателе с фазным ротором в каждой фазе ротора наводится в момент пуска э.д.с,  $E_2$  и э.д.с  $E_{2s}$  при вращении ротора со скольжением  $s$ . Активное сопротивление фазы ротора  $R_2$  не зависит от частоты. Индуктивное сопротивление фазы неподвижного ротора равно  $x_2$ , а вращающегося со скольжением  $s$  равно  $x_{2s}$ . Частота тока во вращающемся роторе  $f_{2s}$ , в сети —  $f_1=50$  Гц. Число пар полюсов двигателя равно  $p$ . Синхронная частота вращения магнитного поля равна  $n_1$ , ротора —  $n_2$ . В фазе обмотки ротора при пуске возникает пусковой ток  $I_{2п}$ ; ток в роторе при нормальной работе равен  $I_2$ . Используя данные, приведенные в табл. 35, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить энергетическую диаграмму асинхронного двигателя и пояснить ее особенности. Какую мощность называют электромагнитной?

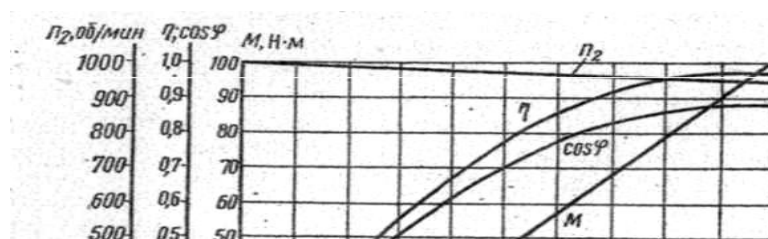
Указание. См. решение типового [примера 16](#).

Таблица 35

Величины	Варианты									
	06	16	26	36	46	56	66	76	86	96
$E_2, В$	120	—	—	250	—	750	125	150	—	—
$E_{2s}, В$	—	6	—	—	5	—	—	—	10	3,6
$S, \%$	3	—	2	4	—	—	4	4	—	—
$R_2, Ом$	0,15	—	0,3	—	0,6	—	—	0,5	0,25	—
$x_2, Ом$	0,5	1,5	—	0,5	—	2	2,5	—	—	—
$x_{2s}, Ом$	—	—	0,04	—	0,1	—	—	0,06	0,02	0,015
$f_{2s}, Гц$	—	—	—	—	2	1	—	—	—	1,5
$P$	—	—	4	2	—	—	1	4	—	3
$n_1, об/мин$	1000	750	—	—	—	—	—	—	1500	—
$n_2, об/мин$	—	720	—	—	2880	735	—	—	1440	—
$I_{2п}, А$	—	95	—	449	—	371	—	—	—	231
$I_2, А$	—	—	50	—	—	—	8,22	—	—	—

Задача 14. На рис. 100 приведены рабочие характеристики трехфазного асинхронного электродвигателя, т. е. графики зависимостей от коэффициента нагрузки  $k_H=P_2/P_{ном2}$  частоты вращения ротора  $n_2$ , полезного момента  $M$ , коэффициента полезного действия  $\eta$  и коэффициента мощности  $\cos \gamma$ . Пользуясь характеристиками, определить для заданного в табл. 36 значения коэффициента нагрузки  $k_H$  следующие величины: 1) полезный момент  $M$ , развиваемый двигателем на валу; 2) частоту вращения ротора  $n_2$ ; 3) коэффициент полезного действия  $\eta$ ; 4) коэффициент мощности  $\cos \gamma$ . Вычислить при заданной нагрузке: 1) полезную мощность (на валу)  $P_2$ ; 2) потребляемые из сети мощность  $P_1$ , и ток  $I_1$ ; 3) суммарные потери в двигателе  $\sum P$ ; 4) скольжение  $s$ . Определить номинальную мощность  $P_{ном 2}$ , т. е. полезную мощность при  $k_H=1,0$ , номинальное скольжение  $s_{ном}$ .

Почему при определении к.п.д. асинхронного двигателя не учитывают потери в стали ротора? Можно ли пренебречь этими потерями, если двигатель работает в режиме частых пусков?



Указания: 1. Полезную мощность при заданной нагрузке можно определить из формулы вращающего момента, зная значение момента  $M$  и частоту вращения ротора  $n_2$ . Таким же образом вычисляют номинальную мощность, но значения  $M$  и  $n_2$  берут при  $k_n = 1,0$ . 2. Потребляемую мощность  $P_1$  вычисляют из формулы для к.п.д. двигателя. 3. Для определения номинального скольжения из рабочих характеристик находят частоту вращения ротора  $n_2$  при  $k_n = 1,0$ .

*Таблица 36*

Номер варианта	$k_n$	Номер варианта	$k_n$	Номер варианта	$k_n$
07	0,5	47	0,85	87	0,65
17	0,8	57	0,75	97	0,7
27	0,9	67	0,55	—	—
37	0,6	77	0,4	—	—

**Задача 15.** Для трехфазного асинхронного электродвигателя в табл. 37 даны следующие величины при номинальной нагрузке: суммарные потери мощности в двигателе  $\Sigma P$ ; коэффициент полезного действия  $\eta_{ном}$  синхронная частота вращения поля  $n_1$  и частота тока в роторе  $f_{2s}$ . Частота тока в сети равна  $f_1 = 50$  Гц. Определить: 1) потребляемую  $P_1$  и номинальную полезную  $P_{ном2}$  мощности; 2) скольжение  $S_{ном}$  3) частоту вращения ротора  $n_{ном2}$ ; 4) число пар полюсов двигателя  $p$ ; 5) полезный вращающий момент  $M_{ном}$ . Пользуясь табл. 20, указать тип двигателя и расшифровать его условное обозначение.

Как изменяются в роторе асинхронного двигателя частота тока  $f_{2s}$ , индуктивное сопротивление  $x_{2s}$ , э.д.с.  $E_{2s}$  и ток  $I_2$  при увеличении нагрузки на валу? Приведите соответствующие формулы, пояснения и т. д.

Указания: 1. Номинальную полезную мощность находят из формулы для к.п.д.:  $\eta_{ном} = P_{ном2} / (P_{ном2} + \Sigma P)$  2. Потребляемая мощность  $P_1 = P_{ном2} + \Sigma P$ . 3. См. решение типового примера 15.

*Таблица 37*

Номер варианта	$\Sigma P, \text{кВт}$	$\eta_{ном}$	$n_1, \text{об/мин}$	$f_{2s} \text{ Гц}$	Номер варианта	$\Sigma P, \text{кВт}$	$\eta_{ном}$	$n_1, \text{об/мин}$	$f_{2s} \text{ Гц}$
08	0,65	0,86	3000	2	58	0,76	0,84	1500	2,5
18	1,5	0,88	3000	1,67	68	2,14	0,875	1000	1,25
28	1,64	0,87	1500	1,67	78	1,22	0,86	750	1,33
38	3,33	0,9	1500	1,33	88	4,78	0,92	1000	0,75
48	4,11	0,9	750	0,67	98	2,4	0,885	1500	1,17

**Задача 16.** В табл. 38 задан тип трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором серии 4А. Номинальное напряжение двигателя 380 В. Используя данные о двигателях этой серии, приведенные в табл.20, определить: 1) номинальную мощность  $P_{ном2}$ ; 2) синхронную частоту вращения поля  $n_1$  и частоту



вращения ротора  $n_{\text{ном}2}$  3) номинальное скольжение  $s_{\text{ном}}$ ; 4) номинальный ток  $I_{\text{ном}}$ ; 5) пусковой ток  $I_{\text{п}}$ ; 6) мощность  $P_1$ , потребляемую из сети; 7) номинальный  $M_{\text{ном}}$ , пусковой  $M_{\text{п}}$  и максимальный  $M_{\text{мах}}$  моменты. Расшифровать условное обозначение двигателя. Для двухскоростных двигателей эти величины определить для каждой частоты вращения ротора. Пояснить принцип действия асинхронного двигателя. Почему такой двигатель называют асинхронным?

Указание. См. решение типовых [примеров 14, 15](#).

*Таблица 38*

Номер варианта	Тип двигателя	Номер варианта	Тип двигателя	Номер варианта	Тип двигателя
09	4A160S8/4Y3	49	4A90L4Y3	89	4A1250M8Y3
19	4A112M2CY3	59	4A1250M6Y3	99	4A160M8/4Y3
29	4A180S4Y3	69	4A180S4/2Y3	—	—
39	4A160S4/2Y3	79	4A250M4Y3	—	—

*Таблица 39*

Величины	Варианты									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	00
$P_{\text{ном}2}$ , кВт	11	30	37	15	5,5	15	7,5	18,5	45	2,2
$U_{\text{ном}}$ , В	380	660	380	380	660	380	660	380	660	380
$n_{\text{ном}2}$ , об/мин	2900	1460	740	975	2880	1465	730	970	740	1400
$\eta_{\text{ном}}$	0,88	0,9	0,9	0,875	0,87	0,865	0,86	0,87	0,91	0,8
$\cos\gamma_{\text{ном}}$	0,9	0,87	0,83	0,83	0,91	0,83	0,75	0,8	0,84	0,83
$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	7,5	7,5	6	7	7,5	7,5	6,5	6,5	6	6
$M_{\text{мах}}/M_{\text{ном}}$	2,2	2,2	1,7	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,7	2,2
$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	1,6	2	1,2	2	2	2	1,8	2	1,2	2
Тип проводника	Провод	Кабель	Провод	Кабель	Провод	Кабель	Провод	Кабель	Провод	Кабель
Способ прокладки проводника	В трубе	Открыто	В трубе	В земле	Открыто	Открыто	В трубе	В земле	Открыто	Открыто

Задача 17. Трехфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором имеет технические данные, приведенные в табл. 39. Пользуясь ими, определить следующие величины: 1) номинальный  $I_{\text{ном}}$  и пусковой  $I_{\text{п}}$  токи; 2) номинальный  $M_{\text{ном}}$ , максимальный  $M_{\text{мах}}$  и пусковой  $M_{\text{п}}$  моменты при номинальном напряжении; 3) кратность пускового тока  $I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$ , кратность пускового момента  $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$  и способность к перегрузке  $M_{\text{мах}}/M_{\text{ном}}$  при снижении напряжения в сети на 10%. Возможен ли в этом случае пуск двигателя при полной нагрузке? Пользуясь данными табл. 21, определить сечение алюминиевых проводников для питания электродвигателя. Тип проводника и способ его прокладки указаны в табл. 39.

В таблице вариантов заданы: номинальная мощность  $P_{\text{ном}2}$ , номинальное напряжение  $U_{\text{ном}}$ ; частота вращения ротора  $n_{\text{ном}2}$  к.п.д. двигателя  $\eta_{\text{ном}}$  коэффициент мощности  $\cos\gamma_{\text{ном}}$ ; кратность пускового тока  $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$ ; способность к перегрузке  $M_{\text{мах}}/M_{\text{ном}}$ ; кратность пускового момента  $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$ .

Какой вид имеет векторная диаграмма асинхронного двигателя? Пояснить с помощью векторной диаграммы, почему мал пусковой момент асинхронного двига-

теля, несмотря на большой пусковой ток.

Указание. См. решение типового [примера 15](#).

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА В

**Задача 1 (вариант 1—10).** Составить схему мостового выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 62. Мощность потребителя  $P_d$  (Вт) с напряжением питания  $U_d$  (В). Пояснить порядок составления схемы для диодов с приведенными параметрами. Данные для своего варианта взять из табл. 52.

**Задача 1 (вариант 11—20).** Трехфазный выпрямитель, собранный на трех диодах, должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя  $P_d$  (Вт) при напряжении  $U_d$  (В). Следует выбрать один из трех типов полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в табл. 62 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из табл. 53.

*Таблица 52*

Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В	Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В
1	Д7Г	80	100	6	Д207	30	100
2	Д224	200	50	7	Д302	250	150
3	Д217	150	500	8	Д243Б	300	200
4	Д305	300	20	9	Д221	250	200
5	Д214	600	80	10	Д233Б	500	400

*Таблица 53*

Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В	Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В
11	Д224	90	30	16	Д305	100	40
	Д207				Д302		
	Д214Б				Д222		
12	Д215А	100	400	17	Д243А	600	200
	Д234Б				Д233Б		
	Д218				Д217		
13	Д244А	60	80	18	КД202А	150	150
	Д7Г				Д215Б		
	Д210				Д205		
14	Д232	900	150	19	Д231Б	400	80
	КД202Н				Д242А		
	Д222				Д221		
15	Д304	200	40	20	Д242	500	20
	Д244				Д226А		
	Д226				Д224А		

**Задача 1 (варианты 21-30).** Составить схему двухполупериодного выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 62. Мощность потребителя  $P_d$  (Вт) с напряжением питания  $U_d$  (В). Пояснить порядок составления схемы для диодов с приведенными параметрами. Данные для своего варианта взять из табл. 54.

**Задача 1 (варианты 31-40).** Однополупериодный выпрямитель должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя  $P_d$  (Вт) при напряжении  $U_d$  (В). Следует выбрать один из трех типов полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в табл. 62 для схемы выпрямителя и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из табл.55.

Таблица 54

Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В	Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В
21	Д207	20	60	26	Д209	30	100
22	Д242Б	180	70	27	Д305	150	20
23	Д222	240	180	28	Д232	1000	200
24	Д303	400	80	29	КД202А	120	15
25	Д214А	800	50	30	Д226А	80	150

Таблица 55

Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В	Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В
31	Д242Б	50	10	36	Д211	30	20
	Д244А				Д226А		
	Д221				Д304		
32	Д209	100	40	37	Д217	20	250
	Д303				Д222		
	Д7Г				Д243Б		
33	Д224Б	20	80	38	Д214А	60	80
	Д302				Д243Б		
	Д205				КД202Н		
34	Д214	70	100	39	Д244	40	60
	КД202Н				Д214Б		
	Д215Б				Д302		
35	Д243	150	50	40	Д210	30	120
	Д214А				Д221		
	Д226				Д242		

**Задача 1 (варианты 41—50).** Составить схему трехфазного выпрямителя на трех диодах, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 62. Мощность потребителя  $P_d$  (Вт) с напряжением питания  $U_d$  (В). Пояснить порядок составления схемы для диодов с приведенными параметрами. Данные для своего варианта взять из табл. 56

Таблица 56

Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В	Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В
41	Д210	60	300	46	Д205	300	3000
42	Д303	300	100	47	Д224А	600	40
43	Д214Б	400	40	48	Д222	400	200
44	Д242	800	80	49	Д213	200	400
45	Д244	500	50	50	Д243Б	600	150

**Задача 1 (варианты 51—60).** Мостовой выпрямитель должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя  $P_d$  (Вт) при напряжении питания  $U_d$  (В). Следует выбрать один из трех типов полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в табл. 62 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из табл. 57.

Таблица 57

Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В	Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В
51	Д218	150	300	56	Д214	300	40
	Д222				Д215Б		
	Д232Б				Д224А		
52	Д221	100	40	57	Д205	100	150
	Д214Б				Д217		
	Д244				Д302		
53	Д7Г	150	100	58	Д243А	40	250
	Д209				Д211		
	Д304				Д226А		
54	Д242Б	120	20	59	Д214А	500	100
	Д224				Д243		
	Д226				КД202Н		
55	Д215	700	50	60	Д303	150	20
	Д242А				Д243Б		
	Д210				Д224		

**Задача 1 (варианты 61-70).** Составить схему двухполупериодного, выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры приведены в табл. 62. Определить допустимую мощность потребителя, если значение выпрямленного напряжения  $U_d$  (В). Данные для своего варианта взять из табл. 58.

Таблица 58

Номер варианта	Тип диода	$U_d$ , В	Номер варианта	Тип диода	$U_d$ , В
61	Д218	300	66	Д233Б	150
62	Д7Г	80	67	Д214Б	50
63	Д244	20	68	Д244А	30
64	Д226	200	69	Д205	100
65	Д222	160	70	Д215	120

**Задача 1 (варианты 71-80).** Двухполупериодный выпрямитель должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя  $P_d$  (Вт), при напряжении  $U_d$  (В). Следует выбрать один из трех типов полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в табл. 62 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из табл. 59.

Таблица 59

Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В	Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В
71	Д244Б	150	20	76	Д243А	400	80
	Д214				Д226		
	Д243Б				Д231Б		
72	Д218	30	50	77	Д224А	200	30
	Д221				Д242		
	Д214А				Д303		
73	Д302	60	40	78	КД202Н	40	250
	Д205				Д243		
	Д244Б				Д214А		
74	Д242А	150	50	79	Д224	70	20
	Д222				Д214Б		
	Д215Б				Д302		
75	Д7Г	20	150	80	Д215А	800	120
	Д217				Д231		
	Д242Б				Д234Б		

**Задача 1 (варианты 81-90).** Составить схему однополупериодного выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 62. Мощность потребителя  $P_d$ (Вт), с напряжением  $U_d$ (В). Пояснить порядок составления схемы для диодов с приведенными параметрами. Данные для своего варианта взять из табл. 60

Таблица 60

Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В	Номер варианта	Тип диода	$P_d$ , Вт	$U_d$ , В
81	Д217	40	250	86	Д233	300	20
82	Д215Б	150	50	87	Д209	20	10
83	Д304	100	50	88	Д244А	200	30
84	Д232Б	200	200	89	Д226	30	150
85	Д205	60	100	90	КД202А	40	10

Таблица 61

Номер варианта	Тип диода	$U_d$ , В	Номер варианта	Тип диода	$U_d$ , В
91	Д214А	80	96	Д232	300
92	Д244Б	50	97	Д215	100
93	Д215Б	110	98	Д233Б	200
94	Д242Б	50	99	Д7Г	200
95	Д224	40	100	Д211	300

**Задача 1 (варианты 91—100).** Составить схему мостового выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 62. Определить допустимую мощность потребителя, если значение выпрямленного напряжения  $U_d$ (В). Данные для своего варианта взять из табл. 61.

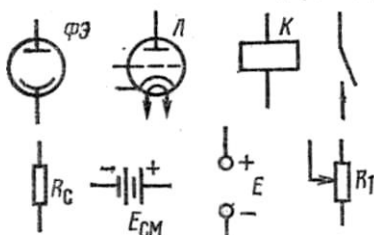


Рис. 109

**Задача 2 (вариант 1—10).** Составить схему фотоэлектронного реле из элементов, указанных на рис. 109. Указать назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 63.

**Задача 2 (вариант 11—20).** Составить структурную схему электронного ос-

циллографа из элементов, указанных на рис. 110. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 64.

**Задача 2 (вариант 21—30).** Составить схему оконечного трансформаторного усилителя мощности на транзисторе из элементов, указанных на рис. 111. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 65.

Таблица 62.

Технические данные полупроводниковых диодов

Тип диода	$I_{\text{доп}}, \text{A}$	$U_{\text{обр}} \text{ В}$	Тип диода	$I_{\text{доп}}, \text{A}$	$U_{\text{обр}} \text{ В}$
Д7Г	0,3	200	Д231	10	300
Д205	0,4	400	Д231Б	5	300
Д207	0,1	200	Д232	10	400
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	Д243Б	2	200
Д218	0,1	100 0	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	КД202 Л	3	50
			КД202 Н	1	500

**Задача 2 (варианты 31—40).** Составить схему симметричного полупроводникового мультивибратора из элементов, указанных на рис. 112. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 66.

**Задача 2 (варианты 41—50).** Составить схему триггера из элементов, указанных на рис. 113. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 67

**Задача 2 (варианты 51 —60).** Составить схему реле времени из элементов, указанных на рис. 114. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 68.

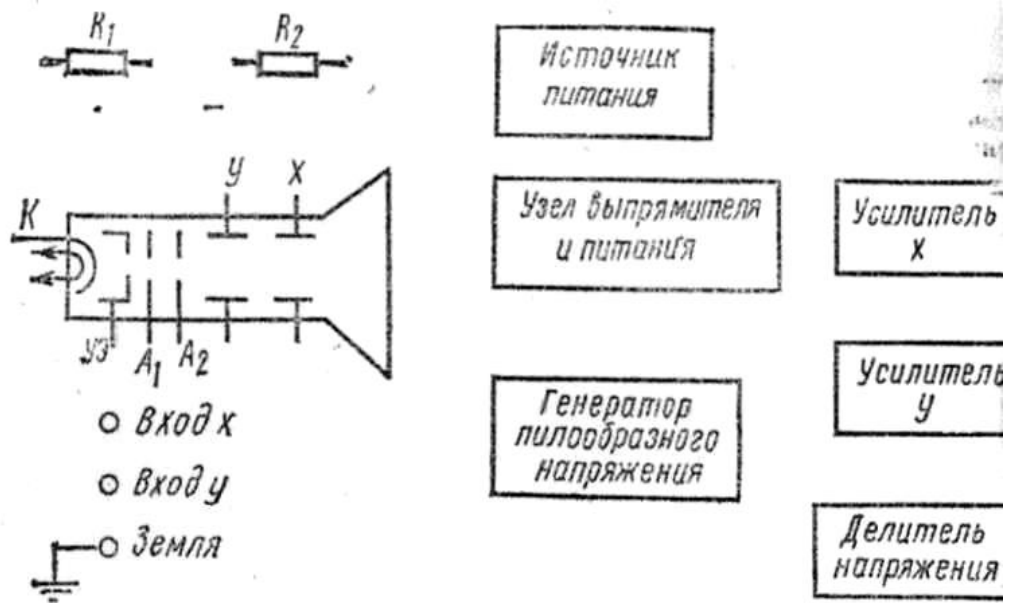


Рис. 110

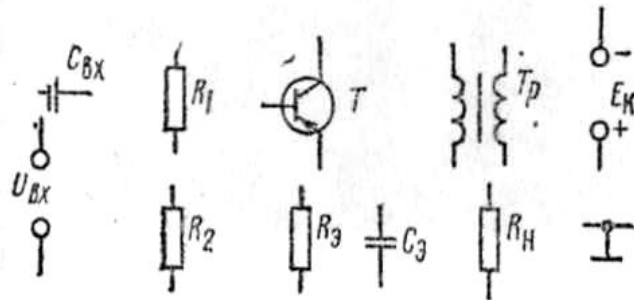


Рис. 111

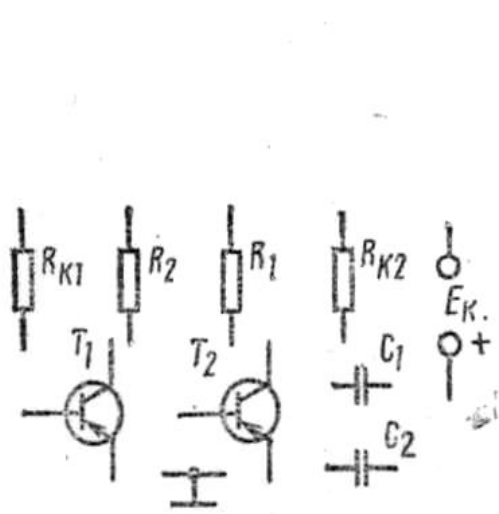


Рис. 112

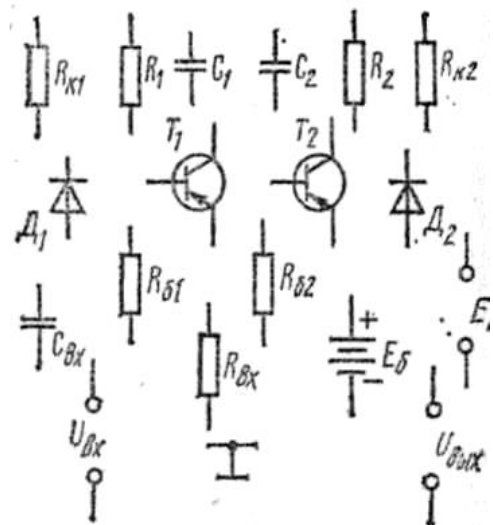


Рис. 113

251658240

Таблицы 63,64,65,66,67,68

Номер варианта	Вопрос
1	Объяснить принцип работы данной схемы
2	Сделать рисунок фотоэлемента и объяснить его устройство
3	Как производится настройка схемы при затемненном фотоэлементе?
4	В какие точки схемы и какие приборы надо включить для измерения анодного тока и анодного напряжения?
5	Объяснить физический смысл внешнего фотоэффекта, который используется при работе фотоэлемента
6	Какие неисправности возможны в схеме, если при освещении фотоэлемента не произойдет срабатывания реле?
7	Привести примеры практического использования фотоэлектронных реле, в том числе данной схемы
8	Как будет работать данная схема, если фотоэлемент постоянно освещен?
9	Что называют световой и вольт-амперной характеристикой фотоэлемента?
10	Как изменится работа схемы, если движок реостата $R_1$ передвинуть сначала в крайнее левое, а затем в крайнее правое положение?
11	Объяснить устройство электронно-лучевой трубки, примененной в осциллографе
12	Как осуществляется изменение яркости и фокусировка электронного луча на экране трубки?
13	Для чего в электронно-лучевой трубке применяется вертикальное и горизонтальное отклонение луча?
14	Какие типы электронно-лучевых трубок используются в осциллографах? Привести примеры и дать расшифровку обозначения (маркировки) трубок
15	Что называют чувствительностью электронно-лучевой трубки и как с помощью осциллографа определить измеряемое напряжение?
16	Как с помощью генератора пилообразного напряжения осуществляется развертка электронного луча?
17	Объяснить устройство электронного прожектора трубки
18	Объяснить различия между электронно-лучевой трубкой с электростатическим и магнитным отклонением луча
19	Указать область применения осциллографа. Какие процессы наблюдают на экране трубки и для каких целей?
20	Начертить кривую исследуемого напряжения, наблюдаемого на экране осциллографа, и напряжения развертки и пояснить их
21	Написать формулу коэффициента усиления и объяснить, как его определить для данной схемы
22	В чем отличие данного усилителя от аналогичного усилителя, собранного на электронной лампе триоде?
23	Начертить выходные характеристики транзистора и объяснить, как происходит усиление мощности в режиме класса А
24	Почему данный усилитель называют усилителем мощности?
25	В чем отличие трансформаторного усилителя от усилителя на сопротивлениях?
26	Какие электрические устройства могут быть включены на выходе данного усилителя как сопротивление нагрузки $R_n$ ?
27	В каких электронных устройствах находят применение усилители данного типа?
28	В какие точки схемы и какие приборы надо включить, чтобы определить по ним коэффициент усиления?
29	Как изменится работа схемы, если от базы транзистора отсоединить резистор $R_1$ ?
30	Чем данная схема отличается от промежуточного трансформаторного усилителя напряжения?
31	Дать определение мультивибратору и объяснить принцип его действия
32	Почему данный мультивибратор называют симметричным?



33	В чем преимущества полупроводниковых мультивибраторов перед ламповыми?
34	Почему при работе мультивибратора происходит поочередное закрытие и открытие транзисторов $T_1$ и $T_2$ ?
35	Каким образом можно регулировать частоту срабатывания мультивибратора?
36	Почему мультивибратор называют генератором импульсов? Начертить примерную форму импульсов напряжения, которые вырабатывает мультивибратор
37	Как действуют цепи обратной связи в схеме мультивибратора?
38	Какой электронный прибор и каким образом можно использовать для настройки и контроля работы мультивибратора?
39	Как изменяется работа схемы, если емкость конденсаторов $C_1$ и $C_2$ уменьшить в два раза?
40	Как конденсатор $C$ влияет на работу транзистора $T$ ?
41	Дать определение триггеру и объяснить принцип его действия
42	В каких электронных устройствах и для чего применяются триггеры?
43	Как выполняется перевод триггера из одного устойчивого состояния в другое?
44	Начертить примерную форму импульсов напряжения, которые вырабатывает триггер, и пояснить по ним его работу
45	В чем преимущества триггера на транзисторах перед триггерами на электронных лампах?
46	Какая обратная связь применена в работе триггера и как она влияет на его работу?
47	Почему триггер применяется как ячейка запоминающего устройства ЭВМ?
48	Как осуществляется подача запускающего импульса для работы триггера?
49	Каким образом можно изменить скорость перехода триггера из одного устойчивого состояния в другое?
50	Почему триггер называют бесконтактным электронным реле?
51	Указать возможное применение реле времени в электронных устройствах автоматики
52	Написать уравнение изменения напряжения на конденсаторе и пояснить, как по нему определить время срабатывания реле
53	Каким образом можно регулировать выдержку времени при работе схемы?
54	Объяснить процесс зарядки и разрядки конденсатора при работе реле
55	Какие неисправности возможны в схеме, если после размыкания ключа $K$ после требуемой выдержки времени не происходит срабатывания реле?
56	Как изменится работа схемы, если увеличить сопротивление $R_4$ ?
57	Как изменится работа схемы, если будет пробит конденсатор $C$ ?
58	В какие точки схемы и какие приборы надо включить для определения напряжения на конденсаторе и тока срабатывания реле?
59	Как изменится работа схемы, если параллельно конденсатору $C$ подсоединить конденсатор такой же емкости?
60	Какие электронные элементы питаются от источника напряжения $E$ ?
61	Почему данный усилитель называют усилителем мощности?
62	Объяснить по выходным характеристикам транзистора работу данного усилителя в режиме класса А
63	В чем преимущества и недостатки двухтактного усилителя мощности по сравнению с усилителями других типов?
64	В чем отличия данной схемы от однотактного усилителя мощности с выходным трансформатором?
65	Почему в данной схеме усилителя применены два трансформатора со средней точкой?
66	Объяснить работу данной схемы усилителя в режиме класса В
67	В чем отличия данной схемы от схемы аналогичного усилителя, собранного на электронных лампах — триодах?
68	Написать формулу коэффициента усиления и объяснить, как его определить для данной схемы
69	В какие точки схемы и какие приборы надо включить, чтобы определить по ним коэффициент усиления?

70	Чем отличается бестрансформаторный двухтактный усилитель мощности на транзисторах от данной схемы?
71	Объяснить принцип усиления напряжения в данной схеме
72	Написать формулу коэффициента усиления и объяснить, как его определить для данной схемы
73	Начертить анодно-сеточную характеристику триода и объяснить на графике, как происходит усиление напряжения в режиме класса А
74	Каким образом и с помощью каких элементов выбирают рабочую точку по характеристикам для данного усилителя?
75	В какие точки схемы и какие приборы надо включить, чтобы по ним определить коэффициент усиления?
76	Каким образом и для чего в данной схеме создается отрицательное напряжение смещения — $U_{см}$ на управляющей сетке лампы?
77	Как изменится работа схемы, если произойдет обрыв сопротивления $R_k$ ?
78	В чем отличия данной схемы от схемы аналогичного усилителя, собранного на транзисторе?
79	Начертить анодные характеристики триода и объяснить, как по ним определить коэффициент усиления лампы
80	Указать назначение усилителей низкой частоты в схемах промышленной электроники
81	Каков порядок проведения работы при снятии выходных характеристик транзистора?
82	Как изменится работа схемы, если база транзистора соединится с эмиттером?
83	Как определить коэффициент усиления транзистора по показаниям измерительных приборов?
84	Каким способом в данной схеме можно увеличить ток коллектора транзистора?
85	Как в данной схеме осуществляется запирающее напряжение транзистора (т. е. $I_k=0$ )?
86	Каков порядок проведения работы при снятии входных характеристик транзистора?
87	Какие электрические величины и для чего измеряются приборами в данной схеме?
88	Как и почему изменяются показания миллиамперметра $A_2$ при увеличении с помощью потенциометра $R_1$ отрицательного напряжения $U_{аб}$ , подаваемого на базу транзистора?
89	Каким способом в данной схеме можно уменьшить ток коллектора транзистора?
90	Почему в цепь коллектора транзистора включается миллиамперметр, а в цепь базы — микроамперметр?
91	Написать формулу коэффициента усиления. Как его определить для данной схемы?
92	Каким образом и с помощью каких элементов выбирают рабочую точку по выходным характеристикам транзистора для данного усилителя?
93	Объяснить принцип усиления напряжения в данной схеме
94	Почему данную схему называют усилителем на транзисторе с общим эмиттером?
95	В чем отличия данной схемы от схемы аналогичного усилителя, собранного на электронной лампе — триоде?
96	В какие точки схемы и какие приборы надо включить для измерения тока коллектора и тока базы транзистора?
97	Как изменится работа схемы, если произойдет обрыв сопротивления $R_x$ ?
98	Какую роль в данной схеме усилителя выполняют электроды транзистора: эмиттер, коллектор и база?
99	В каком случае транзистор будет полностью закрыт и какое при этом должно быть напряжение на входе и выходе усилителя?
100	Какой электронный прибор и в какие точки схемы надо включить, чтобы увидеть форму входного и выходного напряжений усилителя?

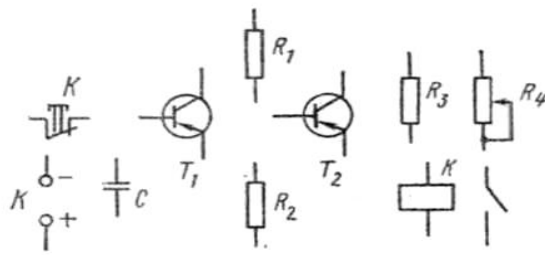


Рис. 114

11

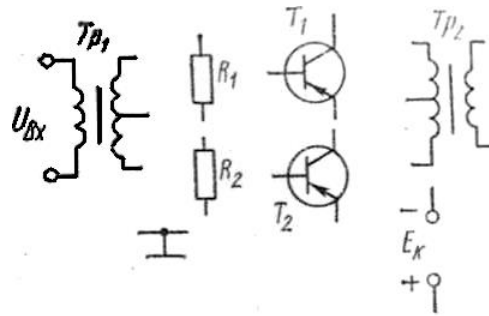


Рис. 115

**Задача 2 (варианты 61—70).** Составить схему двухтактного усилителя мощности из элементов, указанных на рис. 115. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 69,

**Задача 2 (варианты 71—80).** Составить схему усилителя низкой частоты на триоде из элементов, указанных на рис. 116. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 70.

**Задача 2 (варианты 81—90).** Составить схему для снятия характеристик транзистора из элементов, указанных на рис. 117. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 71.

11

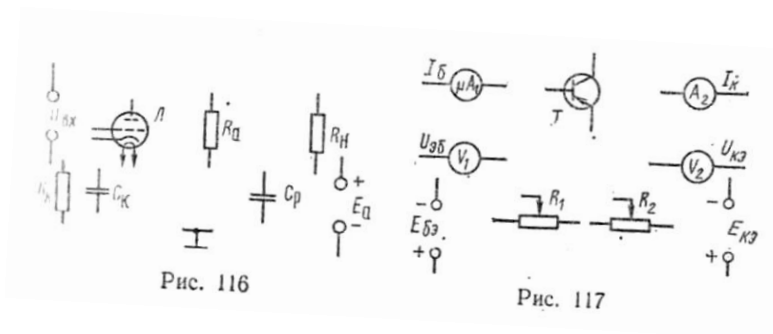


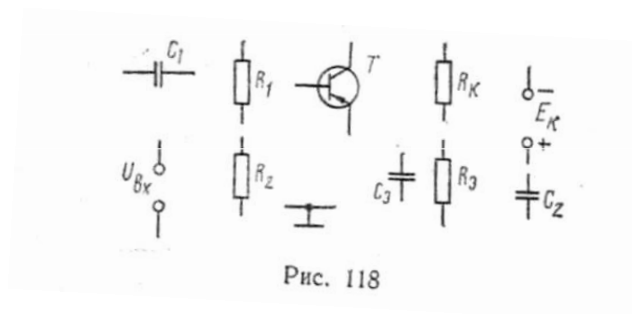
Рис. 116

Рис. 117

Таблицы 69, 70, 71, 72

**Задача 2 (варианты 91—100).** Составить схему усилителя низкой частоты на транзисторе, включенного по схеме с общим эмиттером, из элементов, указанных на рис. 118. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 72.

11



## Критерии оценки домашней контрольной работы

Домашняя контрольная работа является формой текущей аттестации для учащихся, обучающихся в заочной форме получения образования, и выполняется в целях определения уровня усвоения учащимися знаний, умений, навыков в соответствии с учебной программой дисциплины.

Работа считается зачтенной:

1. При полном, правильном решении задач, полным раскрытии теоретических вопросов, присутствующих в задачах
2. При правильном оформлении решения задач, с использованием чертежного инструмента, выполнении условных графических обозначений согласно ЕСКД.
3. При наличии перечня используемой как основной, так и дополнительной литературы.

Контрольная работа, в которой учащимися выполнено правильно не более 70% заданий, в котором имеются грубые ошибки при решении задач или освещении теоретических вопросов не засчитывается и возвращается учащемуся с подробной рецензией для дальнейшей работы над учебным материалом.

Зачтенные контрольные работы являются необходимым условием допуска к экзамену по изучаемой дисциплине.

**Перечень  
теоретических вопросов к экзамену  
по дисциплине: “Электротехника с основами электроники”**

1. Электрическое поле, его характеристики.
2. Электрическая емкость и единицы ее измерения. Соединение конденсаторов.
3. Постоянный ток, законы Ома.
4. Законы Кирхгофа.
5. Последовательное, параллельное и смешанное соединение резисторов.
6. Режимы электрических цепей (номинальный, холостого хода, короткого замыкания)
7. Основные свойства и характеристики магнитного поля.
8. Магнитные свойства веществ.
9. Вихревые токи, явление электромагнитной индукции.
10. Преобразование механической энергии в электрическую и электрической в механическую.
11. Общие сведения об электрических измерениях и измерительных приборах.
12. Измерительные механизмы приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем.
13. Включение амперметра, вольтметра в электрическую цепь.
14. Измерение мощности и энергии, измерение электрического сопротивления.
15. Переменный синусоидальный ток, определение, получение, его характеристики.
16. . Неразветвленная цепь переменного тока, содержащая  $L$ ,  $R$ ,  $C$ .
17. Разветвленная цепь переменного тока, содержащая  $L$ ,  $R$ ,  $C$ .
18. Трехфазная ЭДС, трехфазный ток, преимущества трехфазного тока перед однофазным.
19. Соединение обмоток трехфазных генераторов (потребителей) звездой.
20. Соединение обмоток трехфазных генераторов (потребителей) треугольником.
21. Краткие сведения об аварийных режимах в трехфазных цепях.
22. Трансформаторы, устройство, принцип действия, работа.
23. Режимы работы трансформаторов, виды трансформаторов.
24. Устройство машин постоянного тока, параметры машин постоянного тока.
25. Устройство, принцип действия машин переменного тока. Асинхронный электродвигатель.
26. Понятие об электрическом приводе, выбор электродвигателя по механическим характеристикам.
27. Режимы работы электродвигателей.
28. Схемы управления электродвигателями, магнитный пускатель.
29. Понятие об энергосистеме и электрической системе, простейшие схемы электропитания
30. Элементы устройства электрических сетей, выбор проводов и кабелей.
31. Защитное заземление в электроустановках, контроль изоляции на промышленных предприятиях отрасли.
32. Проводники, полупроводники и диэлектрики.
33. Электрический пробой диэлектрика. Электрическая прочность изоляции.
34. Коэффициент мощности, его технико-экономическое значение.
35. Причины низкого коэффициента мощности, способы его повышения.
36. Электропроводимость полупроводников.

37. Электронно-дырочный переход и его свойства.
38. Полупроводниковый диод, назначение, устройство, маркировка.
39. Стабилитроны и стабилитроны.
40. Биполярный транзистор: назначение, устройство.
41. Способы включения биполярного транзистора
42. Характеристики и параметры биполярного транзистора.
43. Полевые транзисторы. Маркировка транзисторов.
44. Тиристоры и их применение. Маркировка тиристоров.
45. Электронно-лучевая трубка: назначение, устройство.
46. Электронный осциллограф: назначение, устройство.
47. Импульсные генераторы.
48. Электронные генераторы синусоидальных колебаний.
49. Внешний и внутренний фотоэффект.
50. Фоторезисторы, фотодиоды: устройство, применение.
51. Фототранзисторы: устройство, применение.
52. Усилитель мощности.
53. Общие сведения о выпрямителях.
54. Однофазные выпрямители.
55. Трехфазные выпрямители.
56. Мостовые выпрямители.
57. Управляемые выпрямители.
58. Сглаживающие фильтры.
59. Назначение и классификация усилителей.
60. Усилительный каскад. Назначение элементов усилительного каскада.
61. Обратная связь в усилителях.
62. Светоизлучающие диоды, оптроны.
63. Триггеры.
64. Общие сведения об толстопленочных, тонкопленочных гибридных ИС.
65. Полупроводниковые ИС.
66. Современные приборы отображения информации.
67. Основные логические операции.
68. Логические схемы. Логическое обеспечение микропроцессоров и микро ЭВМ.
69. Устройство и работа микро ЭВМ.
70. Применение микропроцессоров и микро ЭВМ.

## Примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся

Отметка в баллах	Показатели оценки
1 (один)	Узнавание отдельных объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (основных электротехнических терминов, понятий, определений и т. д.); наличие многочисленных существенных ошибок, исправляемых с непосредственной помощью преподавателя
2 (два)	Различение объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (основных электротехнических терминов, понятий, определений и т. д.); осуществление соответствующих практических действий (элементарный расчет цепей постоянного и однофазного переменного тока, расчет параметров полупроводниковых диодов и т. д.); наличие существенных ошибок, исправляемых с непосредственной помощью преподавателя
3 (три)	Воспроизведение части программного учебного материала по памяти (фрагментарный пересказ и перечисление основных законов цепей постоянного тока, однофазного и трехфазного переменного тока; назначения и применения трансформаторов, электрических машин переменного тока, электронно-лучевой трубки; устройства и применения: полупроводниковых, фотоэлектронных приборов и т. д.); осуществление умственных и практических действий по образцу (элементарный расчет цепей постоянного и однофазного переменного тока, определение назначения электроизмерительных приборов, расчет параметров полупроводниковых диодов и т. д.); наличие отдельных существенных ошибок
4 (четыре)	Воспроизведение большей части программного   учебного материала (описание с элементами объяснения основных параметров электрического поля, проводников, диэлектриков, полупроводников,, закона Ома, законов Кирхгофа, явления электромагнитной индукции, классификации электроизмерительных приборов, параметров однофазного и трехфазного переменного тока; устройства и применения трансформаторов, электрических машин переменного тока, электронно-лучевой трубки, полупроводниковых и фотоэлектронных приборов и т. д.); применение знаний в знакомой ситуации по образцу (расчет цепей постоянного тока, подбор по назначению электроизмерительных приборов, расчет параметров полупроводниковых диодов и т. д.); наличие единичных существенных ошибок
5 (пять)	Осознанное воспроизведение большей части программного учебного материала (описание основных параметров электрического поля, проводников, диэлектриков, полупроводников, закона Ома, законов Кирхгофа, основных параметров магнитного поля; принципа действия электрических машин постоянного тока; классификации электроизмерительных приборов; электромагнитного пускателя; назначения а применения электронно-лучевой трубки, электронных выпрямителей, электронных усилителей; описание с объяснением сущности электромагнитной индукции, самоиндукции; параметров однофазного и трехфазного переменного тока; устройства и применения полупроводниковых и фотоэлектронных приборов и т. д.); применение знаний в знакомой ситуации по образцу (расшифровка условных обозначений на шкале прибора, подбор по назначению электромеханических измерительных приборов, расчет цепей постоянного и однофазного переменного тока, параметров полупроводниковых диодов и т. д.); наличие несущественных ошибок



Отметка в баллах	Показатели оценки
6 (шесть)	<p>Полное знание и осознанное воспроизведение всего программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (описание и объяснение характеристик электрического поля, характеристик проводников, диэлектриков и полупроводников, закона Ома, законов Кирхгофа; основных параметров магнитного поля; явления электромагнитной индукции, самоиндукции; принципа действия электрических машин постоянного тока; классификации электроизмерительных приборов; параметров однофазного переменного тока, трехфазного тока; назначения, применения, принципа действия трансформаторов, электрических машин переменного тока, электромагнитного пускателя; устройства и принципа действия электроннолучевой трубки, полупроводниковых и фотоэлектронных приборов; назначения и области применения электронных выпрямителей, усилителей, интегральных микросхем; выявление и обоснование выбора схем включения потребителей в трехфазную цепь, трансформаторов, электрических Машин переменного тока, полупроводниковых и фотоэлектронных приборов для применения в различных устройствах и т. д.), выполнение заданий по образцу, на основе предписаний: расшифровка условных обозначений на шкале прибора, подбор по назначению электромеханических измерительных приборов, чтение схем включения в цепь различных измерительных приборов, определение цены деления приборов, расчет цепей постоянного: и однофазного переменного тока, параметров полупроводниковых диодов, составление схем выпрямителей и т. д.); наличие несущественных ошибок</p>
7 (семь)	<p>Полное, прочное знание и воспроизведение программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (развернутое описание и объяснение характеристик электрического поля, проводников, диэлектриков и полупроводников, закона Ома, законов Кирхгофа; основных параметров магнитного поля; принципа действия электрических машин постоянного тока; классификации электроизмерительных приборов; параметров однофазного переменного тока, трехфазного тока; назначения, применения, принципа действия трансформаторов, электрических машин переменного тока, электромагнитного пускателя; устройства и принципа действия электронно-лучевой трубки, полупроводниковых и фотоэлектронных приборов; назначения и области применения электронных выпрямителей, усилителей, интегральных микросхем и т. д.; раскрытие сущности явлений электромагнитной индукции, самоиндукции; обоснование величин однофазного тока, формулирование выводов и т. д., недостаточно самостоятельное выполнение заданий: расшифровка условных обозначений на шкале прибора, выбор по назначению электромеханических измерительных приборов, чтение схем включения в цепь различных измерительных приборов, определение цены деления приборов, расчет цепей постоянного и однофазного переменного тока, параметров полупроводниковых диодов, составление схем выпрямителей и т. д.); наличие единичных несущественных ошибок</p>
8 (восемь)	<p>Полное, прочное, глубокое знание и воспроизведение программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в знакомой ситуации (развернутое описание и объяснение характеристик электрического поля, проводников, диэлектриков и полупроводников, закона Ома, законов Кирхгофа; основных параметров магнитного поля; принципа действия электрических машин постоянного тока; классификации электроизмерительных приборов; параметров однофазного переменного тока, трехфазного тока; назначения, применения, принципа действия трансформаторов, электрических машин переменного тока, электромагнитного пускателя; устройства и принципа действия электронно-лучевой трубки* полупроводниковых и фотоэлектронных приборов; назначения и области применения электронных выпрямителей, усилителей, интегральных микросхем; раскрытие сущности явлений электромагнитной индукции, самоиндукции; обоснование величин однофазного тока, формулирование выводов и т. д.;</p>

Отметка в баллах	Показатели оценки
	самостоятельное выполнение заданий: расшифровка условных обозначений на шкале прибора, выбор по назначению электромеханических измерительных приборов, чтение схем включения в цепь различных измерительных приборов, определение цены деления приборов, расчет цепей постоянного и однофазного переменного тока, параметров полупроводниковых диодов, составление схем выпрямителей и т. д.); наличие единичных несущественных ошибок
9 (девять)	Полное, прочное, глубокое системное знание программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в частично измененной ситуации (применение учебного материала для составления схем смешанного соединения резисторов, параллельного соединения потребителей энергии разного характера в однофазных цепях переменного тока, соединения потребителей энергии треугольником в трехфазной цепи и т. д.; выдвижение предположений о возможности использования электрических машин постоянного и переменного тока в автоматических устройствах оборудования отрасли и т. д., наличие действий творческого характера для расчета параметров полупроводниковых приборов и т. д.)
10 (десять)	Свободное оперирование программным учебным материалом; применение знаний и умений в незнакомой ситуации (самостоятельные действия по описанию и объяснению устройства и принципа действия новых типов трансформаторов, электрических машин постоянного и переменного тока, полупроводниковых приборов и интегральных микросхем и т. д., выполнение творческих заданий по расчету электрических цепей постоянного тока, однофазного и трехфазного переменного тока, полупроводниковых приборов и т. д.)

Примечание: При отсутствии результатов учебной деятельности обучающихся в учреждении, обеспечивающим получение среднего специального образования, выставляется “0” (ноль) баллов.

## Перечень рекомендуемой литературы

**Данилов, И.А.** Общая электротехника с основами электроники/ И. А. Данилов, П.М. Иванов. М., 2000.

**Попов, В. С.** Общая электротехника с основами электроники/ В. С. Попов, С. А. Николаев. М., 1976.

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

**Шихин, А.Я.** Электротехника/ А. Я. Шихин. М., 2001