

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ЧАСТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"СТАВРОПОЛЬСКИЙ МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ КОЛЛЕДЖ"**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к практическим занятиям и практической подготовке обучающихся  
по дисциплине «Основы электротехники»  
специальности: «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений»**

**Ставрополь, 2023**

*сведения о сертификате ЭЦ*

Владелец: Кандаурова Наталья  
Владимировна, директор  
Сертификат:  
0298d2a100a6b37d85433743564d5a7918  
Действителен: с 01.12.2025 12:39:11 по  
01.03.2027 12:49:11

Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе студентов специальности «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений» составлены в соответствии с ФГОС СПО и программой дисциплины «Основы электротехники». В методических указаниях представлен краткий теоретический и практический материал для проведения практических занятий по данной дисциплине.

Составитель К.С. Савинова

Рассмотрено на заседании методического объединения УГС 08.00.00 «Техника и технологии строительства», 09.00.00 «Информатика и вычислительная техника», Протокол № 7 от 24 мая 2023 г.

Рекомендовано Методическим советом СмК Протокол № 7 от 25 мая 2023г

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b>	4
<b>Практическое занятие 1.</b> Источник постоянной ЭДС	6
<b>Практическое занятие 2 .</b> Исследование зависимости сопротивления проводников от различных факторов и характеристик.	12
<b>Практическое занятие 3.</b> Изучение основных законов электрических цепей постоянного тока	23
<b>Практическое занятие 4 .</b> Нелинейная электрическая цепь постоянного тока с последовательным соединением элементов	31
<b>Практическое занятие 5 .</b> Испытательные режимы трансформатора	36
<b>Практическое занятие 6.</b> Расчёт характеристик трансформатора	42
<b>Практическое занятие 7.</b> Применение схемотехнических обозначений для проектирования электронных и электрических схем	48
<b>Практическое занятие 8.</b> Логические, фотоэлементы и элементы коммутации	58
<b>Практическое занятие 9.</b> Расчет режимов работы трехфазной электрической цепи	64
<b>Список рекомендуемой литературы</b>	73

## Введение

Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе студентов специальности «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений» составлены в соответствии с ФГОС СПО и программой дисциплины «Основы электротехники».

В методических указаниях представлен краткий теоретический и практический материал для проведения практических занятий по данной дисциплине.

Пособие состоит из 9 практических занятий по 2 часа, в каждом из которых приводятся необходимые теоретические сведения, состоящие из определений и основных понятий данного раздела. При этом наиболее трудные вопросы теории для лучшего усвоения сопровождаются раскрытием этих понятий во 2-х частях практических занятий выполненных в виде презентаций. В конце каждого занятия приводятся задания для самостоятельной работы и контрольные вопросы по теме занятия. В конце методических указаний приведен список рекомендуемой литературы основной и дополнительной.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях постоянного изменения правовой базы.

ПК 2.1. Организовывать и выполнять подготовительные работы на строительной площадке.

ПК 2.2. организовывать и выполнять строительно-монтажные, ремонтные и работы по реконструкции строительных работ.

ПК 4.3. Выполнять мероприятия по технической эксплуатации конструкций и инженерного.

ПК 3.5. Обеспечивать соблюдение требований охраны труда, безопасности жизнедеятельности и защиту окружающей среды при выполнении строительно-монтажных, в том числе отделочных работ, ремонтных работ и работ по реконструкции и эксплуатации строительных объектов.

ЛР14 Способный ставить перед собой цели под для решения возникающих профессиональных задач, подбирать способы решения и средства развития, в том числе с использованием информационных технологий;

ЛР 16 Способный искать и находить необходимую информацию используя разнообразные технологии ее поиска, для решения возникающих в процессе производственной деятельности проблем при строительстве и эксплуатации объектов капитального строительства;

### **УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ**

1. Перед началом занятий необходимо пройти инструктаж по специальной инструкции по технике безопасности для студентов, выполняющих учебные занятия в лаборатории общей электротехники. Инструктаж фиксируется в специальном журнале по технике безопасности. Студенты, не прошедшие инструктаж, к работе не допускаются.
2. Работы на установках должны выполняться не менее чем двумя лицами.
3. Перед началом сборки цепи следует убедиться в том, что стенд обесточен.
4. Не допускается сборка схемы, имеющей неисправные элементы, использование проводов с поврежденной изоляцией и без наконечников.
5. Собранная цепь должна быть проверена преподавателем и может включаться только по его разрешению.
6. Все необходимые переключения нужно производить только при выключенном напряжении. Любое изменение в схеме должно быть

- проверено преподавателем.
7. В ходе работы запрещается оставлять включенную схему без наблюдения.
  8. Лабораторные столы не загромождать посторонними предметами. Проходы должны быть свободны от стульев.
  9. Во время сборки схемы нужно прокладывать провода так, чтобы было меньше пересечений. Неиспользованные соединительные провода следует убрать с лабораторного стола. О включении напряжения следует предупредить всех членов бригады, совместно выполняющих эту работу.
  10. После окончания испытания или при перерыве в работе схему отключают от сети.
  11. При неисправностях в аппаратах, приборах, проводах схему отключить и известить об этом преподавателя.
  12. Разборку осуществлять по разрешению преподавателя.

## **Практическое занятие 1**

### **Источник постоянной ЭДС**

#### **1. Теоретическая часть**

Элементы электрической цепи можно разделить на элементы, генерирующие энергию (источники питания, активные элементы), и элементы, преобразующие электромагнитную энергию в другие формы энергии (резистивные элементы), и элементы, запасающие и отдающие энергию (реактивные элементы). Свойства первых двух групп элементов можно описывать зависимостями тока через них от напряжения (вольт амперными характеристиками). Исследовать их свойства, можно применяя сигналы, не изменяющиеся во времени. Токи и напряжения в реактивных элементах связаны интегро-дифференциальными зависимостями, и для исследования их свойств необходимо генерировать изменяющиеся во времени сигналы.

##### **1.1. Независимые идеальные источники питания.**

Простейшими источниками питания в электротехнике являются идеальные источник тока и напряжения. Они имеют бесконечно большую

мощность.

Свойства и обозначения основных типов идеальных источников (активных двухполюсников), использующихся в электротехнике и имеющих в, приведены в *таблице 1*.

### 1.2. Зависимые источники питания.

Зависимые источники питания представляются четырехполюсниками и являются идеальными источниками питания, управляемые входным сигналом тока или напряжения. При этом величина выходного напряжения или тока в каждый момент времени определяется мгновенным значением входного управляющего сигнала и коэффициентом передачи четырехполюсника в соответствии с таблицей 2.

Таблица 1- Обозначения и свойства двухполюсных идеальных источников питания



Типы источников	Ток	Напряжение	Обозначения	
			Российский стандарт	Стандарт США
Идеальный источник постоянной ЭДС	Зависит от нагрузки	Неизменное		
Идеальный источник постоянного тока	Неизменный	Зависит от нагрузки		
Идеальный источник гармонической ЭДС	Зависит от нагрузки	Гармоническое с неизменной амплитудой и фазой	-	
Идеальный источник гармонического тока	Гармонический с неизменной амплитудой и фазой	Зависит от нагрузки	-	

Таблица 2 - Обозначения и свойства управляемых (четырёх полюсных) идеальных источников питания

Типы источников	Ток	Напряжение	Коэффициент передачи $K_{\pi}$	Обозначения
				Стандарт США
Источник ЭДС, управляемый напряжением	Зависит от нагрузки	Определяется входным напряжением и $K_{\pi}$	Безразмерный $K_{\pi} = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$	
Источник тока, управляемый напряжением	Определяется входным напряжением и $K_{\pi}$	Зависит от нагрузки	Безразмерный $K_{\pi} = I_{\text{вых}} / I_{\text{вх}}$	
Источник ЭДС, управляемый током	Зависит от нагрузки	Определяется входным током и $K_{\pi}$	Сопротивление $K_{\pi} = U_{\text{вых}} / I_{\text{вх}}$	
Источник тока, управляемый током	Определяется входным током и $K_{\pi}$	Зависит от нагрузки	Безразмерный $K_{\pi} = I_{\text{вых}} / I_{\text{вх}}$	

Таблица 3- Обозначения и свойства резисторов

Типы	Величина	Величина	Обозначения
------	----------	----------	-------------

источников	тока	Напряжения	Российский Стандарт	Стандарт США
Резистор	$I = U \cdot G$ $I = U/R$	$U = I \cdot R$ $U = I/G$		

### 1.3. Резистор.

Вольтамперная характеристика линейного резистора выражается законом Ома, который и является для этого элемента компонентным уравнением (таблица 3).

### 1.4. Источники напряжения и источники тока.

Источники электрической энергии преобразуют другие виды энергии (химическую, тепловую, механическую и т.д.) в электрическую.

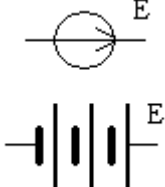
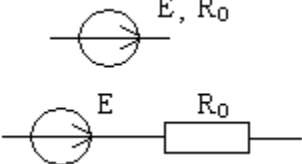
Электродвижущая сила (ЭДС) – работа перемещения заряда равного единице в электрическом поле по некоторому контуру.

Буквенное обозначение ЭДС –  $E$  или  $e$ .

Работа перемещения единичного заряда с данной точки поля в бесконечность называется потенциалом этой точки поля, обозначение –  $\varphi$ . Разность потенциалов двух точек называют напряжением. Обозначение –  $U$  или  $u$ . Единица измерения потенциала, ЭДС и напряжения – Вольт (В), измеряется вольтметром. На электрической схеме обозначается как




Источники напряжения обозначаются:

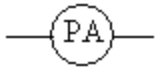
Идеальный	Реальный
 $R \text{ внутреннее} = 0$	 Где $R_0$ (внутреннее сопротивление) не равно 0

Источник напряжения – источник, у которого с изменением тока

величина напряжения остаётся неизменной.


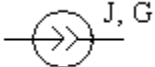
Электрический ток – направленное движение электрических зарядов (носителей зарядов). Электрический ток – носитель особого вида энергии – электрической энергии. Электротехника основывается на использовании разнообразных свойств электрического тока.

Количественная мера электрического тока – сила тока (количество электричества, протекающее за одну секунду через сечение цепи, по которому идёт ток). Единица силы тока – Ампер (обозначение А), измеряется амперметром. На электрической схеме обозначается как  или



Источник тока – источник, у которого с изменением напряжения величина тока не изменяется (ток источника тока обозначается буквой  $J$ ).

#### Графическое обозначение

Идеальный	Реальный
 Внутренняя проводимость $G \rightarrow 0$	 Внутренняя проводимость $G \neq 0$

Основная характеристика источников – внешняя вольтамперная характеристика (ВАХ) – зависимость  $U=f(I)$  – для источника напряжения или – зависимость  $J=f(U)$  – для источника тока (рис. 1).

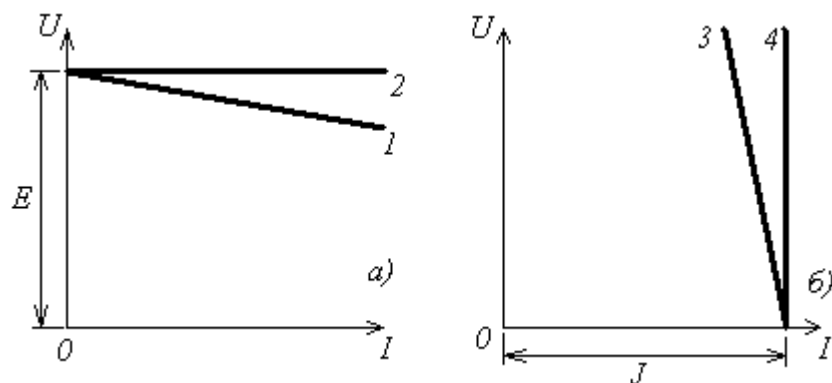


Рисунок 1 – Внешние характеристики источников: а) – источник напряжения (1 – реальный, 2 – идеальный); б) – источник тока (3 – реальный, 4 – идеальный).

2.4 Получить на экране осциллографа характеристики и зарисовать их.

2.5 Сравнить результаты.

2.6 Записать выводы по результатам.

### 3. Выполнение задания

#### 3.1 Подготовка к работе на компьютере

3.1.1 Изучить соответствующий лекционный материал.

3.1.2 Записать в отчёт задание.

3.1.3 Нарисовать схемы цепи (рисунок 2 и 3).

3.1.4 Нарисовать в отчёт таблицу 4.

#### 3.2 Работа на компьютере

3.2.1 Подготовленный отчёт показать преподавателю.

3.2.2 «Собрать» цепи (рисунок 2 и 3).

3.2.3 Размыкая и замыкая переключки у резисторов и источников ЭДС измерить напряжения и токи (рисунок 2).

3.2.4 Результаты занести в таблицу 4.

3.2.5 Размыкая и замыкая переключки у источников ЭДС, получите на экране осциллографа характеристики и зарисуйте их (рисунок 2)

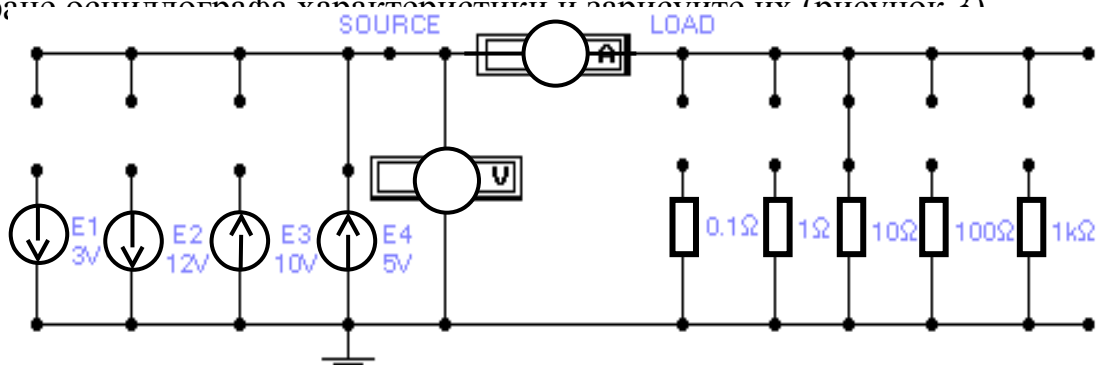


Рисунок 2 – Схема эксперимента

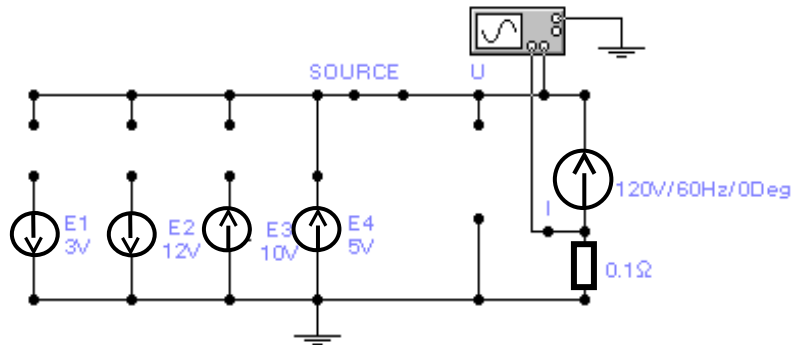


Рисунок 3 – Схема эксперимента

#### 4. По результатам занятия

4.1 По полученным результатам построить внешние характеристики идеальных источников ЭДС и зарисовать их в отчет.

4.2 Получить на экране осциллографа характеристики и зарисовать их в отчет.

4.3 Сравнить результаты.

4.4 Записать выводы.

Таблица 4 - Результаты измерений для построения ВАХ идеального источника ЭДС

Сопротивление, Ом	0,1	1,0	10,0	100	1000
Ток источника E1, А					
Напряжение на E1, В					
Ток источника E2, А					
Напряжение на E2, В					
Ток источника E3, А					
Напряжение на E3, В					

Ток источника E4, А					
Напряжение на E4,В					

### 5. Содержание отчёта

- Номер, название занятия и задание.
- Схема электрической цепи.
- Таблицы.
- Графики .
- Выводы.

### 6. Вопросы к практическому занятию и самостоятельной работе

1. Что такое источник напряжения?
2. Что такое источник тока?
3. Перечислите все возможные типы источников ЭДС, имеющиеся в программе. Каковы их свойства и условные обозначения?
4. Чему равно внутреннее сопротивление идеального источника ЭДС и как его определить?
5. Перечислите все возможные типы источников тока, имеющиеся в программе. Каковы их свойства и условные обозначения?
6. Чему равно внутреннее сопротивление идеального источника тока и как его определить?
7. Изобразить вольтамперную характеристику реального источника тока.
8. Изобразить вольтамперную характеристику идеального источника тока.
9. Изобразить вольтамперную характеристику реального источника напряжения.
10. Изобразить вольтамперную характеристику идеального источника напряжения.

## **Практическое занятие 2**

### **Исследование зависимости сопротивления проводников от различных факторов и характеристик.**

**Цель работы:** Изучить простейшую цепь, материалы, из которых она состоит и их характеристики. Произвести исследования путем вычислений зависимости сопротивления проводников от различных характеристик и воздействий. Сделать выводы.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучить теоретическую часть и в реферативной форме занести в отчет.
2. Произвести расчеты и результаты вычислений (согласно полученному от преподавателя варианту) занести в таблицу.
3. На основании значений в таблицах построить соответствующие графики.
4. Сделать выводы.

5. Отчет представить на защиту преподавателю.

## **1. Теоретическая часть.**

### **1.1 Общие положения**

Простейшая электрическая цепь состоит из 3 элементов: источника электрической энергии (E), приемника электрической энергии (R) и соединительных проводов.

В общем случае электрическая цепь может иметь несколько источников и приемников, выключатели, контрольно-измерительные приборы (КИП), приборы защиты (плавкие предохранители) и т. д.


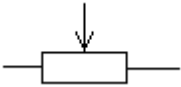
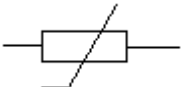
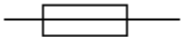

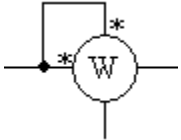
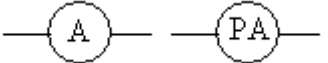
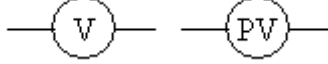

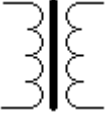


Электрическая цепь называется линейной, если сопротивления ее цепи не зависят от величины протекающего по ним тока или от величины напряжения на их зажимах (пример: сопротивление лампы накаливания зависит от тока). Если в цепи имеется хотя бы один элемент, сопротивление которого зависит от величины тока, то такая цепь называется нелинейной. У линейных элементов зависимость тока от напряжения - вольтамперная характеристика (ВАХ) - представляет собой прямую линию. У нелинейных сопротивлений эта зависимость отличается от прямой линии.

Ток называется постоянным, если его величина и направление неизменны во времени. Ток представляет собой упорядоченное движение заряженных частиц. В металлах заряженными частицами являются электроны, в жидкостях и газах - ионы. Упорядоченное движение зарядов вызывается электрическим полем, созданным источником электрической энергии. Постоянный ток обозначается буквой I, измеряется в амперах (А) или в долях ампера – милли и микроамперах (мА, мкА).

Постоянный ток применяется на железнодорожном транспорте (метро, поезда), в городском транспорте (трамваи, троллейбусы), в

алюминиевой промышленности, в радиолокационных системах, в телевизионных и радиотехнических устройствах.

Все элементы электрической цепи имеют вполне определенные (в соответствии с ГОСТом) условные обозначения. Вот некоторые из них.

Название	Обозначение
Резистор нерегулируемый	
Резистор регулируемый	
Резистор нелинейный	
Предохранитель плавкий	
Гальванический элемент или аккумулятор	
Ваттметр	
Амперметр	
Вольтметр	
Источник ЭДС	
Трансформатор с железным сердечником	
Лампа накаливания	
Конденсатор	

Изображение электрической цепи на рисунке с помощью условных знаков называется электрической схемой .

## 1.2 Сопротивления проводников

Различные элементы электрической цепи оказывают определенное противодействие движению в них электрических зарядов. Это противодействие называется сопротивлением.

Если проводник имеет одну и ту же площадь поперечного сечения (S) по всей длине (L) проводника, то его сопротивление равно

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} [\text{Ом}] \quad (1)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление материала  $\left[ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right]$

Сопротивление металлических проводников при повышении температуры возрастает. Зависимость от температуры выражается следующей приближенной формулой

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)], \quad (2)$$

где  $t_1, t_2$  - начальная и конечная температуры,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$R_1, R_2$  – сопротивления при температурах  $t_1$  и  $t_2$ ,

$\alpha$  - температурный коэффициент  $[1/^{\circ}\text{C}]$ .

Сведения об удельных сопротивлениях и температурных коэффициентах некоторых материалов (наиболее распространенных) приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сведения об удельных сопротивлениях и температурных коэффициентах наиболее распространенных материалов.

Материалы	Удельное сопротивл. при 20° $\left[ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right]$	Средний темпера- турный коэффициент (от 0 до 100°)
Медь	0,0175	0,00393
Алюминий	0,0283	0,004
Сталь	0,13	0,00625
Вольфрам	0,055	0,005
Нихром	1,1	0,0001
Манганин	0,4-0,48	0,000006

Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью, а величина, обратная удельному сопротивлению, - удельной проводимостью.

$$g = \frac{1}{R} [C.M] - \text{Сименс} \quad (3)$$

$$y = \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} \right] \quad (4)$$

**Задание 3.** Вычисление проводимости и удельной проводимости металлических проводников.

Вычислить проводимость (по всем  $R_2$  из таблицы 5) и удельную проводимостью всех металлов из таблицы 1.

### 3. Содержание отчёта:

- название и цель работы;
- результаты исследования характеристик материала (по заданию преподавателя).

#### **4. Вопросы к практическому занятию и самостоятельной работе**

1. Что такое простейшая электрическая цепь?
2. Из какого количества элементов состоит простейшая электрическая цепь?
3. Какая электрическая цепь называется линейной?
4. Какая электрическая цепь называется нелинейной?
5. Какой ток называется постоянным?
6. Приведите примеры применения постоянного тока.
7. Какие обозначения имеют элементы электрической цепи (в соответствии с ГОСТом)?
8. Что называется электрической схемой?
9. Что такое сопротивление?
10. Как называется величина, обратная сопротивлению?

## Изучение основных законов электрических цепей постоянного тока

**Цель:** Экспериментальная проверка соблюдения законов Ома и Кирхгофа в реальных электрических цепях.

### Теоретическая часть

1. Топологические понятия в электрических схемах.

Конфигурация схемы замещения цепи определяется понятиями: ветвь, узел, контур.

Участок электрической цепи, по которому проходит ток одного и того же значения и направления, называется ветвью.

Место соединения трёх и более ветвей, называют узлом.

Замкнутая электрическая цепь, состоящая из одной или нескольких ветвей, называется контуром.

2. Первый закон Кирхгофа является следствием закона сохранения количества электричества, согласно которому в узле электрической цепи заряд одного знака не может ни накапливаться, ни убывать.

В узловой точке электрической цепи постоянного тока алгебраическая сумма токов равна нулю.

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0,$$

где  $I_k$  – ток в каждой ветви, присоединенной к узлу,

$n$  – число ветвей, подходящих к узлу.

Токи, направленные к узлу, подставляют в уравнение со знаком плюс, а от узла – со знаком минус (или наоборот).

3. Второй закон Кирхгофа справедлив для замкнутых электрических контуров, приведем его формулировку:

В замкнутом электрическом контуре электрической цепи постоянного тока алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжения.

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n I_k R_k,$$

где  $E_k$  – ЭДС, входящие в контур,

$I_k R_k$  – падение напряжения  $k$ -той ветви, входящей в контур.

В это уравнение ЭДС, напряжения и токи, совпадающие по направлению с выбранным направлением обхода контуров, подставляют со знаком плюс, а противоположно направленные – со знаком минус.

Второй закон Кирхгофа описывает тот факт, что при обходе контура и возвращении в исходную точку потенциал последней не может измениться, т. к. иначе не соблюдался бы закон сохранения энергии.

4. Обобщенный закон Ома устанавливает связь между током участка цепи, его сопротивлением, ЭДС и напряжением для участка цепи, содержащего источник ЭДС, т. е. активного участка (рисунок 1).

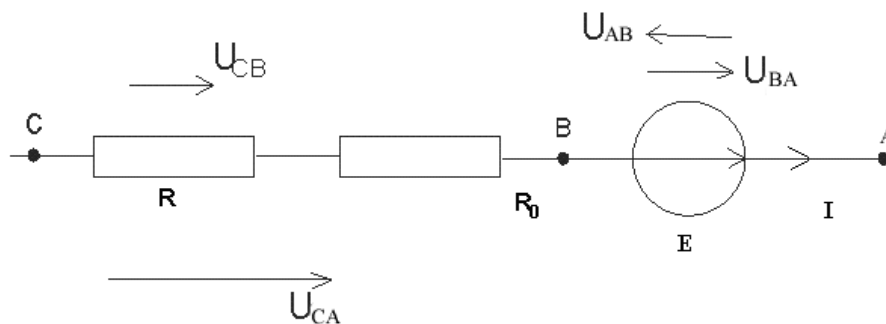


Рисунок 1 – Активный участок электрической цепи

Как видно из рисунка 1, напряжение  $U_{CA}$  равно алгебраической сумме напряжений на участках цепи:

$$U_{CA} = (R + R_0) \cdot I - E,$$

где  $U_{AB} = E$ , откуда

$$I = \frac{U_{CA} + E}{R + R_0}.$$

Если ЭДС в схеме будет направлена навстречу току, то получаем соотношение

$$I = \frac{U_{CA} - E}{R + R_0}.$$

Таким образом, закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС, запишется обобщенно в виде

$$I = \frac{U \pm E}{\sum_{k=1}^n R_k}.$$

Линейной цепью постоянного тока является цепь, не содержащая нелинейные элементы и в которой ток не меняет своего направления в любой момент времени.

При расчете цепей необходимо предварительно выбрать условные положительные направления токов. Положительные направления напряжений тоже выбираются произвольно, но желательно, чтобы они совпадали с положительными направлениями токов.

5. Баланс мощностей представляет собой закон сохранения энергии для электрической цепи, который соблюдается в любой момент времени. Физический смысл его – алгебраическая сумма энергии источников, равна арифметической сумме энергии потребителей:

$$\sum_{k=1}^n E_k I_k = \sum_{k=1}^n I_k^2 R_k$$

## 2. Методика и порядок выполнения работы

### I. Изучение законов Кирхгофа.

1. Ознакомиться с лабораторной установкой и измерительными приборами, определить цену деления шкалы. Собрать по рисунку 2 вариант схемы, указанный преподавателем по таблице вариантов 1, и представить для проверки.

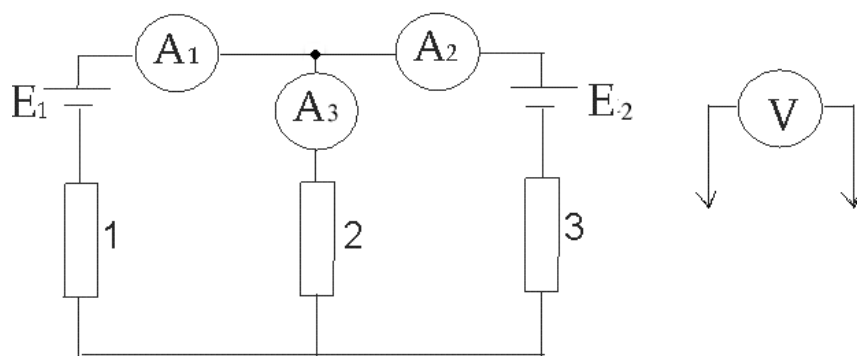


Рисунок 2 – Схема для изучения законов Кирхгофа

Таблица 1 – Варианты сопротивлений для рабочих заданий (самостоятельной работы)

Вариант	Номер резистора по месту на схеме			Вариант	Номер резистора по месту на схеме		
	1	2	3		1	2	3
1	1	2	3	27	2	3	5
2	1	2	4	28	2	3	6
3	1	2	5	29	2	4	1
4	1	2	6	30	2	4	3
5	1	3	2	31	2	4	5
6	1	3	4	32	2	4	6
7	1	3	5	33	2	5	1
8	1	3	6	34	2	5	3
9	1	4	2	35	2	5	4
10	1	4	3	36	2	5	6
11	1	4	5	37	2	6	1
12	1	4	6	38	2	6	3
13	1	5	2	39	2	6	4
14	1	5	3	40	2	6	5
15	1	5	4	41	3	1	2
16	1	5	6	42	3	1	4

17	1	6	2	43	3	1	5
18	1	6	3	44	3	1	6
19	1	6	4	45	3	2	1
20	1	6	5	46	3	2	4
21	2	1	3	47	3	2	5
22	2	1	4	48	3	2	6
23	2	1	5	49	3	4	1
24	2	1	6	50	3	4	2
25	2	3	1	51	3	4	5
26	2	3	4	52	3	4	6

2. Произвести измерения токов в ветвях, ЭДС и напряжений на участках цепи, прикасаясь оголенными концами проводов от вольтметра к выводам источников и потребителей. Результаты измерений и расчетов записать в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений

Измерено								Вычислено		
$E_1$	$E_2$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$
Вольт					Ампер			Ом		

3. Проверить: а) баланс токов в узле по первому закону Кирхгофа;  
б) баланс напряжений и ЭДС по второму закону Кирхгофа.  
Сделать вывод о подтверждении законов Кирхгофа.
4. Проверка выполнения закона Ома.

Используя схему рисунка 3, по вычисленным в таблице 2 величинам сопротивлений (вариант задается преподавателем) рассчитать ток цепи и результат внести в таблицу 3. Величина ЭДС источника задается преподавателем.

Собрать схему по рисунку 3, соответствующую расчетному варианту (вариантам), измерить ток в цепи. Результат внести в таблицу 3.

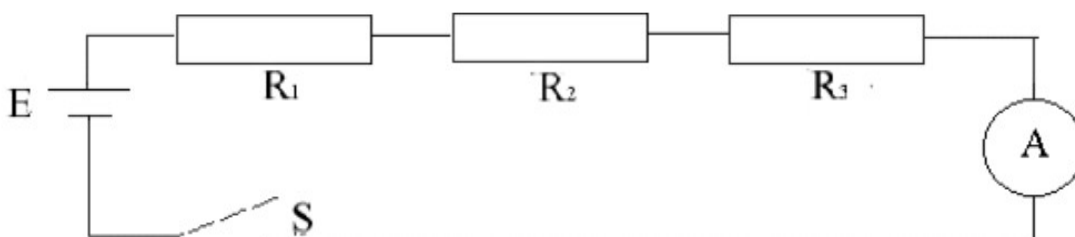


Рисунок 3 – Схема для проверки выполнения закона Ома

Таблица 3 – Проверка выполнения закона Ома

№ Варианта	Потребители	Расчетный ток, А	Измеренный ток, А
1	$R_1$		
2	$R_2$		
3	$R_3$		
4	$R_1 + R_2$		
5	$R_1 + R_3$		
6	$R_2 + R_3$		
7	$R_1 + R_2 + R_3$		

Сделать вывод о выполнении закона Ома.

### 3. Содержание отчёта

Отчёт должен содержать

- наименование и цель работы;
- схемы экспериментов;
- таблицы с результатами экспериментов;
- выводы по работе.

## **Практическое занятие 4**

### **Нелинейная электрическая цепь постоянного тока с последовательным соединением элементов**

**1. Цель работы:** Экспериментальное получение вольтамперных характеристик линейных и нелинейных резистивных элементов, графический расчет неразветвленной нелинейной цепи постоянного тока и экспериментальная проверка результатов расчета.

#### **2. Теоретическая часть**

Под нелинейной электрической цепью понимают электрическую цепь, содержащую нелинейные элементы (нелинейные сопротивления, нелинейные индуктивности, нелинейные емкости). Нелинейным элементом называют такой элемент электрической цепи, параметры которого зависят от электрического напряжения, электрического заряда, электрического тока или

магнитного потока. Нелинейные элементы, в отличие от линейных, имеют нелинейные вольтамперные характеристики.

Основной характеристикой нелинейного элемента является его вольтамперная характеристика  $U=f(I)$  (Рис.1), из которой видно, что каждому значению постоянного тока (напряжения) соответствует свое определенное значение постоянного напряжения (тока).

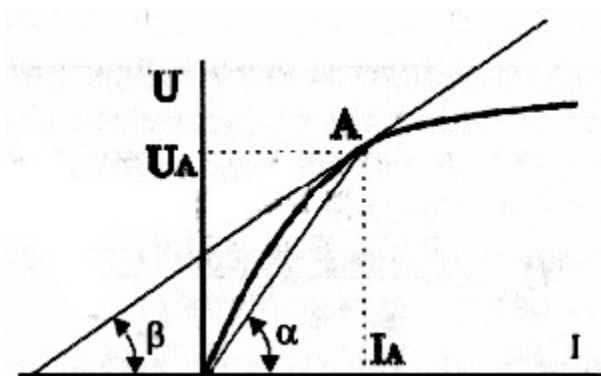


Рисунок 1 – Вольтамперная характеристика нелинейного элемента

У нелинейных элементов различают статическое и динамическое сопротивления. По вольтамперной характеристике определяют статическое сопротивление нелинейного элемента и данной точке А  $R_{ст}=U/I$  и его дифференциальное (динамическое) сопротивление как отношение бесконечно малых приращений напряжения  $dU$  и тока  $dI$   $R_d=dU/dI$ . Динамическое сопротивление пропорционально тангенсу угла наклона  $\beta$  касательной к вольтамперной характеристике в данной точке. Для экспериментального получения вольтамперной характеристики нелинейного элемента необходимо измерить ряд значений постоянного напряжения и постоянного тока и цепи с данным нелинейным элементом.

К нелинейным цепям применимы законы Кирхгофа. Математическая модель нелинейной цепи постоянного тока состоит из уравнений Кирхгофа и уравнений характеристик нелинейных резистивных элементов.

Так как характеристики нелинейных элементов  $U=f(I)$  или  $I=f(U)$  часто определяются экспериментально или задаются в виде таблиц или графиков, то нелинейные цепи рассчитывают графическим

(графоаналитическим) методом. При этом последовательность операций сохраняется примерно той же, что и при расчете линейных цепей, только вместо сложения и вычитания напряжений и токов в соответствии с законами Кирхгофа производится сложение и вычитание абсцисс или ординат соответствующих вольтамперных характеристик. Расчет сводится к построению эквивалентной вольтамперной характеристики цепи. В соответствии с законами Кирхгофа при последовательном соединении элементов характеристики складывают при одинаковых значениях тока, при параллельном соединении при одинаковых значениях напряжения.

#### Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Количество
Потенциометр ППБ-3А –150Ом	1
Лампа накаливания А12-1,2W2*4,6d	1
Резистор 2Вт 100 Ом	1

## 2. Порядок выполнения работы

2.1 Ознакомиться с лабораторной установкой.

2.2 Собрать электрическую цепь для снятия вольтамперных характеристик элементов цепи (Рис 2.) и предъявить её для проверки преподавателю. В качестве регулируемого источника постоянного напряжения использовать минимодуль потенциометра RP1. В качестве амперметра использовать цифровой прибор. В качестве вольтметра использовать стрелочный прибор.

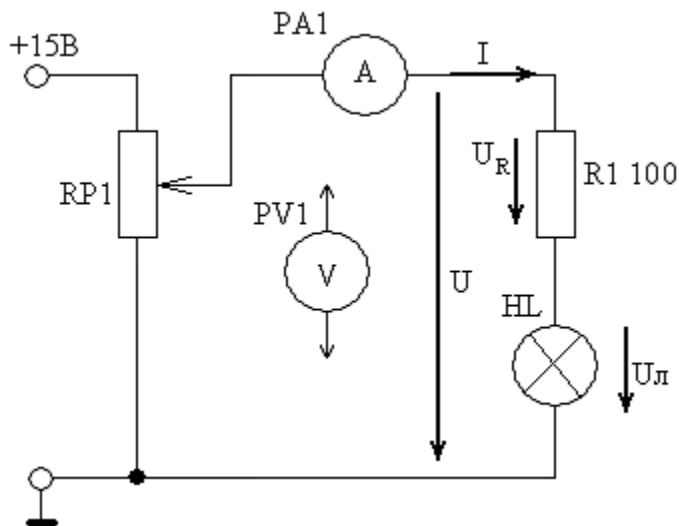


Рисунок 2- Схема для снятия вольтамперных характеристик элементов цепи

2.3. Снять вольтамперные характеристики лампы накаливания, резистора и всей цепи. Для этого установить ручку потенциометра RP1 в крайнее левое положение. Включить источник питания (выключатель SA3). Увеличивая плавно выходное напряжение потенциометра RP1, провести необходимые измерения при изменении тока от 0 до 80 - 100 мА. Результаты измерений занести в таблицу 1. Выключить источник питания. В одной координатной системе построить вольтамперные характеристики цепи, лампы накаливания HL и резистора R1.

Таблица 1-Результаты измерений

I, A	0								
U, B	0								
U <sub>л</sub> , B	0								
U <sub>R</sub> , B	0								

2.4. Записать уравнение второго закона Кирхгофа для исследуемой цепи. Используя экспериментальные характеристики резистора и лампы накаливания, построить в той же системе координат расчётную

вольтамперную характеристику всей цепи  $U_{расч}=f(I)$  и сравнить её с полученной экспериментально вольтамперной характеристикой цепи  $U_{эсп}=f(I)$ .

2.5 Выполнить графический расчёт тока и напряжения на отдельных участках цепи по рисунку 2 для указанного преподавателем значения входного напряжения. Результаты расчёта занести в таблицу 2.

Таблица 2-Результаты расчёта

	U, В	U <sub>л</sub> , В	U <sub>р</sub> , В	I, А
Расчёт				
Эксперимент				

2.6. Для проверки расчёта нелинейной цепи включить источник питания и установить заданное (расчётное) значение входного напряжения U. Измерить ток I и напряжения U<sub>р</sub> и U<sub>л</sub> на отдельных участках цепи. Результаты занести в таблицу 2.

2.7. Сделать вывод об особенностях применения законов Кирхгофа в нелинейной цепи постоянного тока.

2.8. По указанию преподавателя рассчитать статическое и дифференциальное сопротивления лампы накаливания.

### 3. Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

- наименование и цель работы;
- схемы экспериментов и таблицы с результатами измерений;
- расчётные и экспериментальные вольтамперные характеристики;
- сравнение результатов расчёта с экспериментальными данными;
- выводы.

### 4. Вопросы к практическому занятию

1. Что такое «нелинейный элемент» в электрической цепи?
2. Привести примеры нелинейных элементов электрических цепей и их вольтамперные характеристики.
3. Почему для нелинейных цепей удобен графический способ анализа?
4. Справедливы ли для нелинейных цепей законы Кирхгофа?
5. Как построить вольтамперную характеристику последовательного соединения нелинейных элементов?
6. Как построить вольтамперную характеристику параллельного соединения нелинейных элементов?
7. Как определяется статическое сопротивление нелинейных элементов? Будет ли оно одинаковое для разных точек вольтамперной характеристики?
8. Как определяется динамическое сопротивление нелинейного элемента? Будет ли оно одинаковое для разных точек вольтамперной характеристики нелинейного элемента?

## **Практическое занятие 5**

### **Испытательные режимы трансформатора.**

**Цель работы:** Экспериментальное определение паспортных величин трансформатора.

#### **1. Теоретическая часть.**

Испытательные режимы трансформатора выполняют для определения паспортных величин, которыми являются

- $I_{1xx}$ , % - ток холостого хода в процентах от номинального тока первичной обмотки  $I_{1н}$  (обычно ( 2-4-10)%);
- $P_{xx}$ - мощность потерь холостого хода, (в единицах мощности) , потери мощности в магнитопроводе ( в стали);

- $U_{кз}$  % - напряжение короткого замыкания в процентах от номинального первичной обмотки  $U_n$  (обычно (2-4-10)% от номинального) ;
- $P_{кз}$  – мощность потерь короткого замыкания (в единицах мощности), потери мощности в обмотках (в меди).

Опыт холостого хода проводится при разомкнутой вторичной обмотке ( $I_2=0$ ) и номинальном первичном напряжении  $U_1=U_{1н}$ .

При разомкнутой вторичной обмотке  $P_2=0$ , а ток в первичной обмотке мал т.е. потери мощности в первичной обмотке тоже малы, следовательно, мощность холостого хода идёт на покрытие потерь в магнитопроводе (в стали).

Расчет коэффициента трансформации  $n$  при опыте холостого хода определяется отношением напряжений в первичной и вторичной цепях:

$$n = \frac{U_{1н}}{U_{2хх}} = \frac{W_1}{W_2},$$

где  $W_1$  и  $W_2$  – число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора соответственно.

Коэффициент мощности холостого хода трансформатора определяется по формуле:

$$\cos \varphi_{xx} = \frac{P_{xx}}{U_{1н} I_{1xx}}$$

Режим короткого замыкания (к.з.) при номинальном значении первичного напряжения немедленно отключается средствами автоматики (аварийный режим).

В качестве испытательного используется режим номинального короткого замыкания когда вторичная обмотка замкнута накоротко, а на первичную подаётся такое ПОНИЖЕННОЕ напряжение, чтобы токи в обмотках были равны номинальным.

Напряжение первичной обмотки в этом случае обычно составляет (5-10)% от номинального и называется напряжением короткого замыкания  $U_{кз}$ , %, при этом также измеряют  $P_{кз}$ .

Так как в режиме номинального короткого замыкания токи в обмотках равны номинальным, а потери в магнитопроводе составляют лишь 0,005-0.1 потерь при номинальном режиме вследствие пониженного напряжения на первичной обмотке, то мощность  $P_{кз}$  есть мощность потерь в обмотках при номинальном режиме работы трансформатора.

Расчет коэффициента трансформации  $n$  в опыте короткого замыкания определяется отношением токов в первичной и вторичной цепи:

$$n = \frac{I_{2кз}}{I_{1н}}$$

Коэффициент мощности определяется по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P_{кз}}{U_{кз} I_{2кз}}$$

Номинальными значениями трансформатора являются:

- $U_{1н}$ ,  $U_{2н}$  - напряжения первичной и вторичной обмоток соответственно;
- $S_{н}$  - номинальная мощность.

## 2. Порядок выполнения работы

2.1 Ознакомиться с лабораторной установкой и номинальными значениями трансформатора (табл. 1).

Таблица 1 – Номинальные значения трансформатора

Тип	$U_{1н}$ , В	$U_{2н}$ , В	$S_{н}$ , ВА
BV 481 1119	220	12	10

2.2. Провести опыт холостого хода. Собрать электрическую цепь (Рис.1) и предоставить её для проверки преподавателю. В качестве амперметра использовать цифровой прибор, в качестве вольтметра использовать стрелочный прибор переменного тока. В качестве первичного напряжения использовать напряжение трёхфазного источника. Включить электропитание стенда (автоматический выключатель QF1 на кожухе и выключатель SA1)

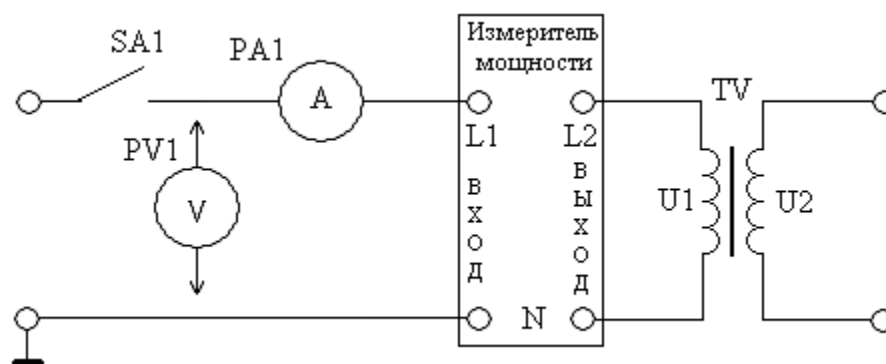


Рисунок 1 – Схема для проведения опыта холостого хода.

Провести измерения первичного напряжения  $U_{10}$ , тока холостого хода  $I_{10}$  и активной мощности трансформатора  $P_{10}$  в режиме холостого хода трансформатора. Результаты измерений занести в таблицу 2. Выключить трансформатор.

Таблица 2 – Значения электрических величин в опыте холостого хода

Измерено				Вычислено		
$U_{1н}$	$U_{2хх}$	$I_{1хх}$	$P_{хх}$	$\eta$	$\cos \varphi_{хх}$	$\frac{I_{1хх}}{I_{1н}}$
В	В	А	Вт			

2.2. Исследовать трансформатор в режиме номинального короткого замыкания для этого собрать электрическую цепь (Рис. 2). Представить схему

для проверки преподавателю. Рассчитать по номинальным значениям номинальные токи трансформатора по формулам.

$$I_{1н} = \frac{S_{н}}{U_{1н}} ; \quad I_{2н} = \frac{S_{н}}{U_{2н}},$$

где  $S_{н}$  – номинальная мощность трансформатора, указанная в его паспортных данных;

$U_{1н}$  – номинальное напряжение на первичной обмотке трансформатора .

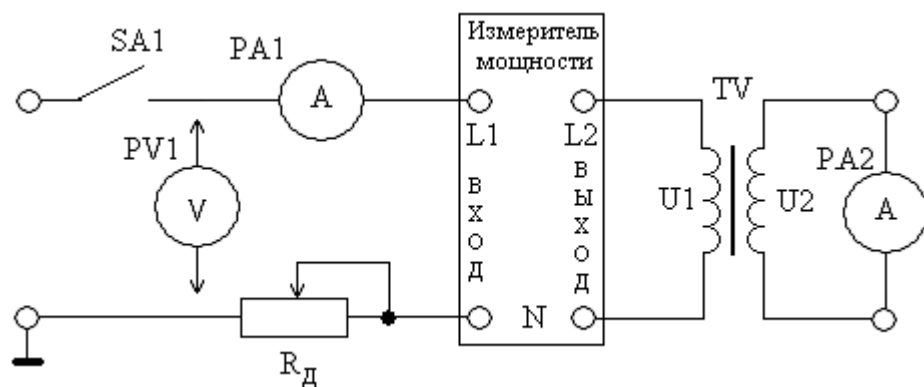


Рисунок 2 – Схема для проведения опыта короткого замыкания

2.3. Включить питание стенда и плавно изменяя величину сопротивления  $R_{д}$

установить номинальное значение тока во вторичной обмотке трансформатора. Измерить величину напряжения короткого замыкания  $U_{кз}$ , первичного тока  $I_{1к}$  и активную мощность  $P_{кз}$ . Результаты измерений занести в таблицу 3. Выключить трансформатор.

Таблица 3 – Значения электрических величин в режиме номинального короткого замыкания

Измерено				Вычислено		
$U_{кз}$	$I_{1н}$	$I_{2кз}$	$P_{кз}$	$\eta$	$\frac{U_{кз}}{U_{2XX}}$	$\cos \varphi_{кз}$
В	В	А	Вт			

--	--	--	--	--	--	--	--

2.4. Заполнить таблицу 4.

Таблица 4 – Паспортные данные трансформатора

$S_H$	$U_{1H}$	$U_{2H}$	$I_{1H}$	$I_{2H}$	$P_{K3}$	$P_{XX}$	$U_{K3}$	$I_{LXX}$
ВА	В	В	А	А	Вт	Вт	%	о.е.

### 3.Содержание отчета

Отчёт должен содержать

- наименование и цель работы;
- схемы экспериментов;
- таблицы с результатами экспериментов
- -выводы по работе.

#### 4. Вопросы к практическому занятию

- 1.Как опытным путём определить коэффициент трансформации?
- 2.Дать определение коэффициента трансформации.
- 3.Для чего предназначены испытательные режимы работы трансформатора?
- 4.Опишите условия проведения опыта холостого хода трансформатора.
- 5.Какие паспортные величины определяют в опыте холостого хода трансформатора?
- 6.Опишите условия проведения опыта короткого замыкания трансформатора.
7. Какие паспортные величины определяют в опыте короткого замыкания трансформатора?
8. Какие процессы характеризует активная мощность, потребляемая в опыте холостого хода трансформатора?

9. Какие процессы характеризует активная мощность, потребляемая в опыте короткого замыкания?

## **Практическая работа 6**

### **Расчет характеристик трансформатора**

#### **1. Теоретическая часть**

В цепях переменного тока использование трансформаторов позволяет изменять напряжения, ток, число фаз, частоту. Чаще всего трансформаторы применяются для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения без изменения частоты, а также для изменения числа фаз. Трансформаторы по назначению подразделяются на три основные группы: силовые, согласующие и импульсные.

Силовые трансформаторы служат для передачи и распределения электрической энергии для различных технологических целей, например сварки (сварочные трансформаторы), а также для электропитания устройств радиоэлектронной аппаратуры, автоматики и вычислительной техники, электробытовых и осветительных приборов.

Электрические станции обычно располагаются вблизи естественных источников энергии и вырабатывают электрическую энергию напряжением 6 - 20 кВ. Для снижения потерь мощности в линиях электропередачи и уменьшения сечения проводов при передаче электроэнергии на дальние расстояния необходимо, чтобы электроэнергия передавалась при больших напряжениях (110, 150, 220, 330, 500, 750, 1150 кВ). Поэтому на

электростанциях устанавливают мощные трансформаторы, повышающие напряжение, причем мощность этих трансформаторов может достигать 1 млн. кВА.

Распределение электроэнергии между городами и населенными пунктами, между промышленными предприятиями и учреждениями городов, а также между цехами предприятий чаще всего осуществляется по воздушным и кабельным линиям при напряжениях 220, 110, 35, 20, 10 и 6 кВ. Следовательно, во всех узлах распределительных сетей необходимо устанавливать трансформаторы, понижающие напряжение. Большинство приемников (потребителей) электроэнергии переменного тока работают при напряжениях 220, 380 и 660 В, поэтому в местах потребления электроэнергии также необходимо устанавливать понижающие трансформаторы. Таким образом, при передаче электроэнергии от электростанций к потребителям она подвергается в трансформаторах многократному преобразованию.

Трансформаторы, предназначенные для согласования напряжений или сопротивлений между каскадами (звеньями) в радиопередающих и радиоприемных устройствах, усилителях и других устройствах, называются согласующими. Эти трансформаторы подразделяют на входные, промежуточные и выходные.

Трансформаторы, используемые для передачи импульсов напряжения или тока из одной электрической цепи в другую, называются импульсными. Эти трансформаторы имеют широкое применение в импульсной технике. По исполнению (числу обмоток) трансформаторы подразделяются на одно-, двух- и многообмоточные. К однообмоточным трансформаторам относятся автотрансформаторы, у которых между первичной и вторичной обмотками существует не только магнитная, но и электрическая связь. Двухобмоточные трансформаторы имеют одну первичную и одну вторичную обмотки, которые электрически изолированы друг от друга. Многообмоточные трансформаторы имеют одну первичную обмотку и несколько вторичных электрически несвязанных обмоток. В зависимости от числа фаз

трансформаторы бывают однофазными и многофазными (в основном трехфазными), причем число фаз первичной обмотки определяется числом фаз источника питания, а число фаз вторичной - назначением трансформатора.

Трансформаторы, предназначенные для повышения напряжения в электрической цепи, называют повышающими, а служащие для понижения напряжения - понижающими.

Трансформатор состоит из двух обмоток, первичной 1 и вторичной 3, размещенных на замкнутом ферромагнитном магнитопроводе 2, который для уменьшения потерь от вихревых токов набран из листов электротехнической стали толщиной 0,35-0,5 мм, легированной кремнием. Магнитопровод служит для усиления магнитной связи между обмотками трансформатора, т. е. для уменьшения магнитного сопротивления контура, через который проходит магнитный поток трансформатора. В воздушных трансформаторах малой мощности, применяемых при частотах свыше ~20 кГц, ферромагнитный магнитопровод отсутствует, так как практически он не может проводить магнитный поток из-за вытеснения его к поверхности магнитопровода.

### **Коэффициент трансформации трансформатора:**

$$n = e_1 / e_2 = E_1 / E_2 = w_1 / w_2$$

Коэффициент трансформации – отношение эдс обмотки высшего напряжения (условно  $e_1$  или  $E_1$ ) к эдс обмотки низшего напряжения (условно  $e_2$  или  $E_2$ ). В паспорте трансформатора обычно указывают отношение номинальных напряжений в режиме холостого хода  $U_{1н}/U_{2н}$ , которое практически равно отношению эдс, так как при разомкнутой вторичной обмотке напряжение, приложенное к первичной обмотке, почти целиком

уравновешивается ее эдс ( $U_1 \approx E_1$ ), а вторичное напряжение равно вторичной эдс ( $U_{20} = E_2$ ). Поэтому выражение для коэффициента трансформации можно переписать в виде

$$n = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{U_{1H}}{U_{2H}}$$

Следовательно, коэффициент трансформации равен отношению напряжений на обмотках при холостом ходе трансформатора.

В процессе работы трансформатора в первичной обмотке электрическая энергия, потребляемая им из сети, преобразуется в энергию магнитного поля, а во вторичной обмотке, наоборот, энергия магнитного поля преобразуется в электрическую, отдаваемую затем (в основном) потребителю (нагрузке).

Итак, токи в обмотках трансформатора обратно пропорциональны их напряжениям.

В радиоэлектронике трансформаторы широко используют для согласования сопротивлений между звеньями различной аппаратуры. Если резистор с сопротивлением  $R$  подключить через трансформатор к источнику переменного тока, то для цепи источника значение этого сопротивления будет иным, равным

$$r_1 \approx r_2 = P_1 / I_1^2 \approx P_2 / I_2^2 \approx I_2^2 R / I_1^2 \approx n^2 R$$

где  $P_1$  - мощность, потребляемая трансформатором от источника переменного тока;  $P_2 = I^2 R$  - мощность, потребляемая от трансформатора сопротивлением  $R$ .

#### 4. Вопросы к практическому занятию

1. Что такое трансформатор? Что позволяет изменить использование трансформаторов в цепях переменного тока?
2. На какие группы по назначению подразделяются трансформаторы?
3. Для чего служат силовые трансформаторы?
4. Как называются трансформаторы, предназначенные для согласования напряжений или сопротивлений между каскадами (звеньями) в радиопередающих и радиоприемных устройствах, усилителях и других устройствах? Какие они бывают?
5. Какие трансформаторы называются импульсными? Где они применяются?
6. На какие виды подразделяются трансформаторы по исполнению (числу обмоток)?
7. В зависимости от числа фаз, какие бывают трансформаторы?
8. Из чего состоит трансформатор?

## **Практическое занятие 7**

**На занятии реализуется практическая подготовка**

### **Применение схемотехнических обозначений для проектирования электронных и электрических схем**

**Цель:** Изучить условно-графические обозначения элементов электронной базы. Спроектировать электронные устройства в схемотехническом решении. Произвести расчеты.

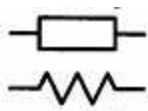
**Порядок выполнения работы:**

1. Изучить теоретическую часть.
2. Выполнить практическую часть (варианты задания)
3. Оформить отчет.
4. Представить преподавателю.
5. Быть готовым ответить на вопросы по теоретической и практической части.

## 1 Теоретическая часть

Используя материалы лекций и практического занятия некоторые аспекты повторить, а некоторые изучить и записать в себе в отчет.

### Резисторы (R)



Резисторы обычно представляют собой наиболее востребованные компоненты любой электронной схемы. Они могут быть как постоянными, так и переменными. Сопротивление постоянного резистора всегда остается фиксированным, а у переменного может изменяться. То, как именно изменяется сопротивление потенциометра, зависит от его конструкции и предназначения. Так, у обычного подстроечного резистора присутствует ручка, с помощью которой можно выставлять необходимую величину сопротивления, а у других резисторов сопротивление меняется само под воздействием света, напряжения или температуры.

### Конденсаторы (C)



Символ, которым обозначают конденсатор, отображает его внутреннее строение: две пластины из проводящего материала, разделенные небольшим зазором. Этот зазор (или материал, заполняющий его) является диэлектриком. Как уже обсуждалось, диэлектриком может служить воздух, жидкость или любой тип изолятора (например, пластик или слюда).

Конденсаторы бывают полярными и неполярными. На принципиальных схемах полярные конденсаторы изображают тем же символом, что и обычные, но обязательно проставляют знак плюс возле соответствующего вывода. При этом на корпусе самого элемента может стоять как знак плюс, так и минус.



### **Катушки индуктивности (L)**



Катушки индуктивности представляют собой витки провода, намотанные на изолятор. Такие часто можно увидеть в радиосхемах, приемниках и передатчиках. Символы различных катушек индуктивности довольно схожи между собой, и их легко отличить от других элементов; единственная разница состоит в том, из какого материала сделан сердечник. Чаще всего сердечник выполняется из железа или отсутствует вообще.

Интегро-дифференциальные соотношения, определяющие связь между токами и напряжениями и величину запасаемой энергии в реактивных элементах, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Обозначения и свойства конденсаторов и катушек индуктивности

Элемент	Зависимость тока от напряжения	Зависимость напряжения от тока	Зависимость для накопленной энергии	Общее обозначение для всех стандартов
Конденсатор C	$i_c(t) = C \frac{du_c}{dt}$	$u_c(t) = U_0 + \frac{1}{C} \int_0^t i_c(\tau) d\tau$	$W_c = \frac{u_c^2 \cdot C}{2}$	
Катушка индуктивности L	$i_L(t) = I_0 + \frac{1}{L} \int_0^t u_L(\tau) d\tau$	$u_L(t) = L \frac{di_L}{dt}$	$W_L = \frac{i_L^2 \cdot L}{2}$	

Некоторые типы электронных компонентов позволяют подстраивать свои рабочие параметры. Таким образом, вместо того, чтобы работать при одном значении некоторого электрического параметра (напряжения, тока, емкости и т.п.), становится возможным перестраивать его под свои нужды.

Наиболее распространены следующие типы подстраиваемых элементов.

**Переменный резистор.** Его еще называют потенциометром. Наверное, это наиболее используемый в электронике тип подстраиваемого радиоэлемента: потенциометры применяют в качестве регуляторов громкости звука, реостатов систем освещения и в сотнях других приложений. Переменный резистор состоит из элемента с определенным сопротивлением, намотанного между двумя выводами (как спираль в лампе накаливания). Вдоль этой спирали скользит третий контакт, посредством которого и меняется сопротивление всего элемента, когда кто-то вращает регулятор. Символ, которым обозначают потенциометр, изображен на следующем рисунке:



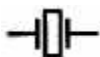
**Переменный конденсатор.** Такие конденсаторы используются довольно часто в схемах подстройки частоты, например в радиоприемниках с амплитудной модуляцией (АМ). Переменная емкость состоит из двух или более металлических пластин, разделенных воздушным зазором. Обороты лимба переменного конденсатора изменяют величину зазора и, таким образом, меняют емкость элемента.



**Переменная катушка индуктивности.** Как и переменный конденсатор, чаще всего катушку с изменяемой индуктивностью можно встретить в схемах подстройки частоты. Типичная конструкция такой радиодетали состоит из провода, намотанного вокруг подвижного металлического сердечника. Перемещая сердечник вдоль катушки, можно плавно изменять индуктивность элемента.



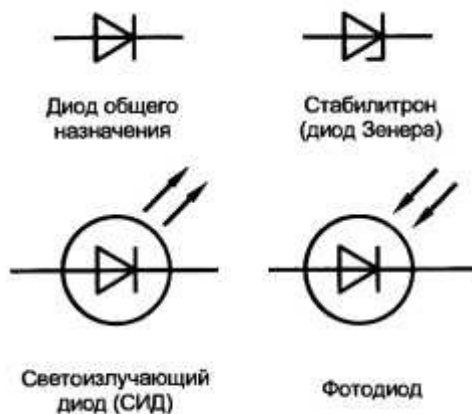
### Кристаллы и резонаторы (G)



Кварцевые кристаллы и резонаторы служат для обеспечения тактирования во времени электронных устройств. При использовании этих компонентов с соответствующей обвязкой пассивных элементов они генерируют импульсы строго определенной частоты, т.е. как бы представляют собой метроном, тактирующий работу всей схемы. Символ осциллятора выглядит почти так же, как и конденсатор, за исключением того,

что в его зазор помещен прямоугольник, обозначающий кристалл генератора между металлическими обкладками.

## Диоды (VD)

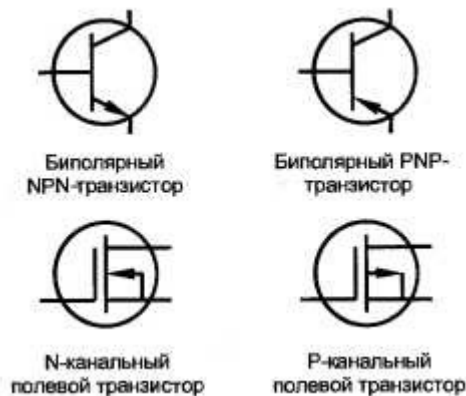


Показана только часть полного ассортимента схематических обозначений наиболее распространенных диодов: это выпрямительный диод, стабилитрон, СИД и фотодиод. На основе светодиода и фотодиода уже можно построить простую систему детектирования. Такое устройство представляет собой сенсор видеомэганитофона, принимающий инфракрасное излучение с пульта дистанционного управления. А выпрямительные диоды, соединенные в группу из четырех элементов в виде моста, можно встретить практически в любом преобразователе переменного тока в постоянный.

## Транзисторы (VT или Q)



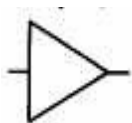
Транзисторы очень часто используются в схемах; их основные функции заключаются либо в переключении сигнала либо в его усилении. Большинство транзисторов имеет три вывода (иногда встречаются экземпляры и с большим количеством). Стрелка на символе биполярного транзистора, указывает тип транзистора и его эмиттерный вывод.



Для биполярного транзистора PNP-типа стрелка рисуется внутрь окружности — к базе. Для NPN-транзистора она идет от базы наружу .

Биполярные транзисторы являются, пожалуй, наиболее распространенными в электронике, однако часто встречаются и другие типы этих элементов: например, полевые или однопереходные транзисторы. Есть, как уже писалось ранее, светочувствительные транзисторы, которые переключаются из непроводящего состояния в проводящее тогда, когда на них попадает свет. В целом, к счастью, символы разных по свойствам транзисторов не сильно отличаются. На рис. изображены схематические символы биполярных и полевых транзисторов разной полярности.

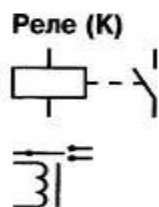
### Операционные усилители (ОУ или DA)



Операционный усилитель относится к классу интегральных схем, поскольку является логически завершенным устройством, выполненным как одно конструктивное целое. ОУ содержит в одном корпусе все необходимые для усиления сигнала компоненты. Схематический символ, которым обозначают операционный усилитель, мало чем отличается от символа простого усилителя. Основной чертой ОУ является наличие двух входов

(один из них дополнительно обозначается знаком плюс, второй — знаком минус) и одного выхода.

### Реле



Реле чаще всего используются для включения или отключения схемы при помощи сигнала, управляющего напряжением обмоток. Реле отличаются друг от друга количеством контактов. Так, символ, изображенный слева, показывает двухполюсное однополярное (DPST) реле. При работе с таким элементом необходимо следить, чтобы управляющее напряжение (оно показано подключенным к катушке) не попало на выходные контакты (подключенные к контактам реле), поскольку они, скорее всего, будут иметь различные уровни, не предназначенные для непосредственной коммутации.

### Трансформаторы (Т)



Трансформаторы выполняют функцию, о которой полностью свидетельствует их название: они преобразуют электрическое напряжение в более высокий или, наоборот, более низкий уровень.

## 3. Содержание отчёта

- Ответы на вопросы, заданные преподавателем;
- Описать спроектированное устройство и изобразить схему.

## 4. Вопросы к практическому занятию

1. Что такое конденсатор?
2. Каким символом обозначается конденсатор и что отображает этот символ?

3. Какие конденсаторы бывают?
4. Что такое кварцевые кристаллы и резонаторы?
5. Для чего служат кварцевые кристаллы и резонаторы?
6. Что такое диод? Устройство, назначение.
7. Назовите наиболее распространенные диоды и их схематические обозначения.
8. Что такое катушка индуктивности и что она из себя представляет?
9. Каким символом обозначается катушка индуктивности?
10. Что такое операционные усилители?
11. Каким символом обозначаются операционные усилители?
12. Что такое резисторы?
13. Какие бывают резисторы и каким символом они обозначаются?
14. Что такое транзисторы?
15. Какие бывают транзисторы, и каким символом они обозначаются?
16. В чем заключаются основные функции транзисторов?
17. Что такое трансформаторы?
18. Каким символом обозначаются трансформаторы?
19. Какую функцию выполняют трансформаторы?

### **Задания для практической подготовки**

#### **Вариант 1**

Произвести проектирование схемотехнического решения № 1, которое называется «Исполнительное устройство».

**Задание представить в виде схемы.** (Элементы выделены)

**Источник питания 24 В, понижающий трансформатор** до 12 В, реле **К** (которое управляется **однополосным однонаправленным переключателем**), которое будет включать **светоизлучающий диод**. Произвести расчет **I**, если сопротивление обмотки реле **R = 0,5 Ом**.

## Вариант 2

Произвести проектирование схемотехнического решения № 2, которое называется «Питающее устройство».

**Задание представить в виде схемы.** (Элементы выделены)

**Источник питания 24 В**, понижающий **трансформатор** до 12 В, реле **К** перед которым установлен резистор **R** (которое управляется однополосным однонаправленным переключателем), которое будет включать **пьезоэлектрический звуковой генератор**. Произвести расчет **R**, если ток в электрической цепи равен **5 mA**.

## Вариант 3

Произвести проектирование схемотехнического решения № 3, которое называется «Тактовый генератор».

**Задание представить в виде схемы.** (Элементы выделены)

**Источник питания 24 В**, понижающий **трансформатор** до 6 В, **фоторезистор R**, резонатор **G** параллельно ему конденсатор **C** и громкоговоритель. Произвести расчет **R** громкоговорителя, если ток в электрической цепи равен **3 mA**.

## Вариант 4

Произвести проектирование схемотехнического решения № 4, которое называется «Регулятор тока».

**Задание представить в виде схемы.** (Элементы выделены)

**Источник питания 24 В**, понижающий **трансформатор** до 8 В, переменный резистор **R**, измерительный прибор **амперметр**. Произвести

расчет внутреннего сопротивления прибора  $R_{пр}$ , если ток в электрической цепи равен 6 мА. (примечание при измерении переменный резистор имеет номинал 2 Ом).

## Практическое занятие 8

### Логические, фотоэлементы и элементы коммутации

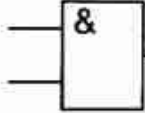
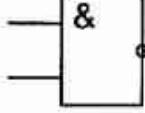

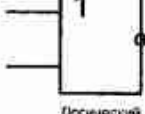
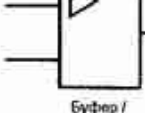

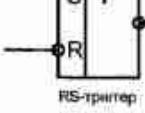
**Цель практического занятия:** Изучить условно-графические обозначения логических элементов и элементов коммутации.

#### 1 Теоретическая часть:

##### *Символы логических элементов*

Очень многие принципиальные схемы содержат символы, обозначающие логические элементы. Эти обозначения в некоторой степени показывают функцию, выполняемую данным элементом в ответ на воздействие уровней напряжения на входах. В цифровых системах эти уровни одновременно могут иметь лишь одно из двух состояний (включен/выключен), представляющих простейшую единицу информации. Символы наиболее распространенных логических элементов показаны в табл. 1.

Таблица 1 - Символы наиболее распространенных логических элементов

Название элемента	Символ	Описание функционирования
И	 Логический элемент И	Сигнал на выходе равен логической 1, только если оба входных сигнала равны 1
И-НЕ	 Логический элемент И-НЕ	То же, что элемент И, но выход инверсный (при тех же условиях сигнал на выходе равен 0)
ИЛИ	 Логический элемент ИЛИ	Сигнал на выходе равен логической 1, если хотя бы один из входных сигналов равен 1
ИЛИ-НЕ	 Логический элемент ИЛИ-НЕ	То же, что элемент ИЛИ, но выход инверсный (в тех же условиях сигнал на выходе равен 0)
Буфер	 Буфер / усилитель	Обеспечивает защиту от перегрузок по току и обладает высокой нагрузочной способностью
Инвертор	 Инвертор (логический элемент НЕ)	То же, что буфер, но выход инверсный
Триггер	 RS-триггер	Выходной сигнал может переключаться из 1 в 0 и наоборот по тактированию сигналом синхронизации

Хотя элементы И, ИЛИ и другие состоят из транзисторов, включенных в той или иной комбинации, значительно удобнее использовать уже готовые интегральные микросхемы (ИМС или ИС). Одна такая микросхема может содержать сразу несколько логических элементов. К примеру, ИС 7400 (К155ЛА3) состоит из четырех элементов И-НЕ, питание и земля которых являются общими.

Иногда на принципиальных схемах логические элементы одной микросхемы указывают по отдельности, иногда же их так и рисуют — в

одном корпусе. Пример различного обозначения одних и тех же элементов показан на рис. В любом случае, функциональность ИМС от этого не меняется; нужно только смотреть, чтобы на схеме были указаны выводы питания и земли.

На принципиальных схемах время от времени можно встретить некоторые другие условные символы, обозначающие те или иные электрические либо электромеханические детали. Обычно символика принята такой, что элементы на схеме говорят сами за себя, т.е. понять их свойства можно даже чисто интуитивно;

Схемотехнические символы электрических ключей обязательно включают указание на количество полюсов (контактов) и позиций элемента. Каждый полюс служит для подключения к определенному напряжению тех или иных частей схемы. Теперь составим список наиболее широко распространенных типов переключателей и их вариаций, с которыми можно столкнуться при разработке электронных устройств.

**Однополюсный однонаправленный ключ** имеет две позиции (вкл./выкл.) и одну пару контактов.

**Двухполюсный двунаправленный ключ** имеет три позиции (вкл./вкл. или вкл./выкл./вкл.) и два или три контакта.

**Другие варианты включают двухполюсный однонаправленный ключ** и вообще ключи с тремя и более полюсами.

В дополнение к количеству полюсов и направлению переключения некоторые переключатели характеризуются подпружиненными контактами (они называются ключами без фиксации или ключами с самовозвратом). Такие элементы бывают нормально разомкнутыми или нормально замкнутыми, т.е. уже по названию видно, в каком обычно положении они находятся. К примеру, контакты нормально разомкнутого ключа не соприкасаются до тех пор, пока ключ не будет нажат.

В табл. 2 показаны символы наиболее употребляемых переключателей, а также некоторых других элементов: динамиков, батареи, лампы накаливания.

Таблица 2 - Символы наиболее употребляемых элементов.

Название элемента	Символ
Однополюсный однонаправленный переключатель (SPST)	
Однополюсный двунаправленный переключатель (SPDT)	
Двухполюсный двунаправленный переключатель (DPDT)	
Нормально разомкнутый ключ (кнопка)	
Нормально замкнутый ключ (кнопка)	
Громкоговоритель	
Пьезоэлектрический звуковой генератор (зуммер)	
Батарея	
Измерительный прибор (с аналоговой шкалой)	
Лампа накаливания	

Согласно принятым правилам изображения УГО, размыкающий контакт (т.е. нормально замкнутый ключ) изображается в замкнутом положении, а замыкающий (т.е. нормально разомкнутый) контакт — в разомкнутом. Следовательно, простая кнопка, которая замыкает контакт, имеет точно такой же символ, как и общее обозначение ключа, а размыкающая кнопка, отличается только положением своего контакта.

### Фоточувствительные элементы

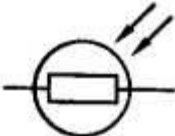
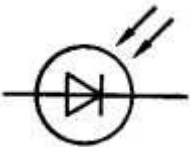

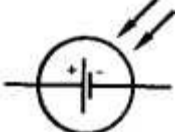
В электронике есть такие светочувствительные резисторы, диоды и транзисторы, которые реагируют на изменение внешнего освещения.

То есть значение некоторого параметра элемента (сопротивления для резисторов, проводимости для диодов и транзисторов) меняется в зависимости от количества попадающего света.

На большинстве принципиальных схем такие радиоэлементы показывают при помощи одной или двух стрелок, идущих к телу элемента.

В табл. 3 показаны наиболее распространенные условные символы светочувствительных компонентов: фотоэлементов/фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов и, наконец, солнечных батарей.

Таблица 3 - Наиболее распространенные условные символы светочувствительных компонентов

Название элемента	Символ	Описание функционирования
Фотоэлемент/Фоторезистор		Светочувствительный резистор
Фотодиод		Светочувствительный диод
Фототранзистор		Светочувствительный транзистор
Солнечная батарея		Элемент питания, генерирующий электроэнергию под воздействием падающего на него света

## 2. Содержание отчёта

Ответы на вопросы, заданные преподавателем.

## 3. Вопросы к практическому занятию

1. Каким символом обозначается логический элемент «И».
2. Функциональное назначение логического элемента «И».
3. Каким символом обозначается логический элемент «ИЛИ».
4. Функциональное назначение логического элемента «ИЛИ».
5. Каким символом обозначается логический элемент «НЕ».
6. Функциональное назначение логического элемента «НЕ».
7. Каким символом обозначается логический элемент «И-НЕ».
8. Функциональное назначение логического элемента «И-НЕ».
9. Каким символом обозначается логический элемент «ИЛИ-НЕ».
10. Функциональное назначение логического элемента «ИЛИ-НЕ».
11. Каким символом обозначается элемент триггера.
12. Функциональное назначение триггерного элемента.
13. Обозначение в электрических схемах и назначение светочувствительных элементов.

## На занятии реализуется практическая подготовка

### Расчет режимов работы трехфазной электрической цепи

**Цель работы:** изучение режимов работы трехфазной цепи при эксплуатации электрооборудования.

#### Теоретическая часть

#### Задание для практической подготовки

Три приёмника с сопротивлениями  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$ , соединены и питаются от трёхфазной сети с линейным напряжением  $U_L=220$  В. Начертить схему цепи. Определить фазное напряжение  $U_\phi$ ; фазные  $I_\phi$  и линейные  $I_L$  токи; полную  $S$ , активную  $P$  и реактивную  $Q$  мощности; коэффициент мощности  $\cos\varphi$  трёхфазного потребителя. Построить в масштабе  $m_U=40$  В/см,  $m_I=2$  А/см векторную диаграмму напряжений и токов. Подобрать материал и сечение проводников для питания потребителя. Численные значения и тип соединения приведены в таблице.

Таблица

Вариант	$Z_A$ , Ом	$Z_B$ , Ом	$Z_C$ , Ом	Тип соединения
1	$12+j1$	$12+j6$	12	звезда
2	$2+j1$	$12+j6$	12	треугольник
3	$12+j16$	$12+j6$	$12-j6$	звезда
4	$12-j16$	$12+j6$	$12-j6$	треугольник
5	$2+j16$	2	$12-j6$	звезда
6	$2+j16$	2	$j6$	треугольник
7	$2+j16$	8	12	звезда
8	$20+j16$	8	$j12$	треугольник
9	$2+j6$	$8-2j$	12	звезда

10	$2-j3$	8	10	треугольник
11	$12-j6$	$2+j6$	$2-j6$	звезда
12	$3-j6$	$2+j6$	$6-j6$	треугольник
13	12	$j6$	$3-j6$	звезда
14	$2-j6$	$2+j2$	$2-j2$	треугольник
15	2	$2+j2$	$2-j3$	звезда
16	$10+j10$	$10+j5$	$6+j6$	треугольник
17	$2-j3$	8	10	звезда
18	$4+j6$	$2+j6$	$3-j6$	треугольник
19	3	$6+j6$	$6-j6$	звезда
20	12	6	$3-j6$	треугольник
21	$2-j6$	2	$2-j2$	звезда
22	2	$2+j4$	$3-j3$	треугольник
23	10	$10+j5$	$6+j6$	звезда
24	$2+j3$	5	10	треугольник
25	$4-j6$	$2+j6$	$j6$	звезда

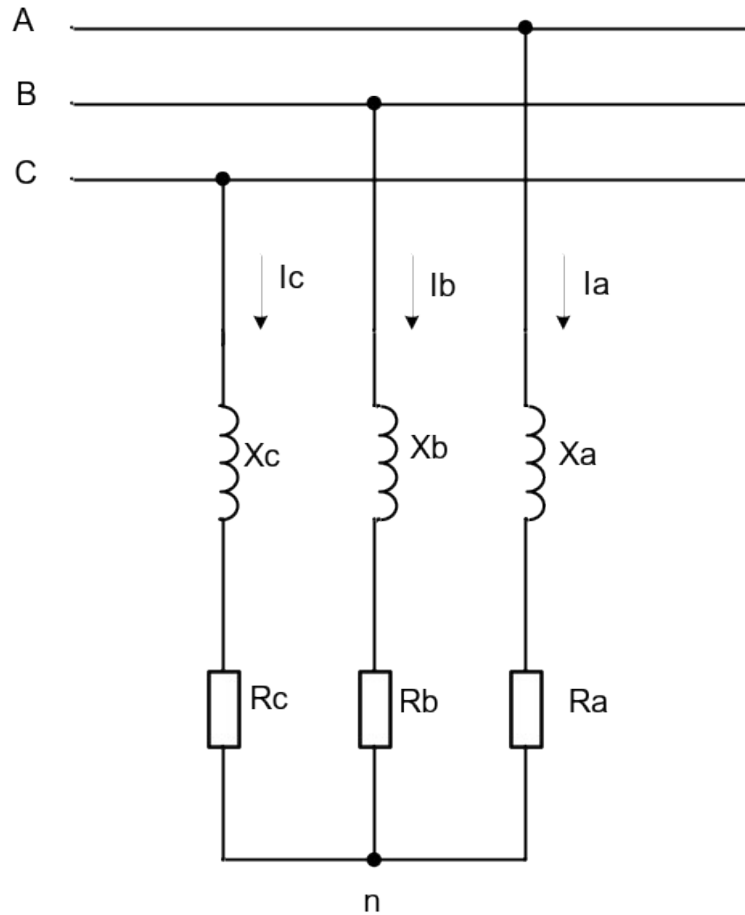
### Пример расчета

Три одинаковых приёмника с сопротивлениями  $Z_A=Z_B=Z_C=12+j16$  Ом, соединены звездой и питаются от трёхфазной сети с линейным напряжением  $U_{л}=220$  В. Начертить схему цепи. Определить фазное напряжение  $U_{\phi}$ ; фазные  $I_{\phi}$  и линейные  $I_{л}$  токи; полную  $S$ , активную  $P$  и реактивную  $Q$  мощности; коэффициент мощности  $\cos\phi$  трёхфазного потребителя. Построить в масштабе  $m_u=40$  В/см,  $m_I=2$  А/см векторную диаграмму напряжений и токов.

**Дано :**  $Z_A=Z_B=Z_C=12+j16 \text{ Ом}$  ;  $U_{\text{л}}=220 \text{ В}$

**Найти :**  $U_{\phi}$  ,  $I_{\phi}$  ,  $I_{\text{л}}$  ,  $S$  ,  $P$  ,  $Q$  ,  $\cos\phi$ .

**Решение.**



Так как приёмник симметричный, то полное сопротивление фаз :

$$Z=Z_A=Z_B=Z_C=\sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{12^2 + 16^2} = 20 \text{ Ом.}$$

$$\text{Фазное напряжение : } U_{\phi}=U_{\text{л}}/\sqrt{3}=220/\sqrt{3}=127 \text{ В}$$

Так как приёмник соединён звездой, то фазные и линейные токи равны :

$$I_{\phi}=I_{\text{л}}=U_{\phi}/Z=127/20=6.35 \text{ А.}$$

Коэффициент мощности цепи :  $\cos\phi=R/Z=12/20=0.6$  ; угол сдвига фаз между током  $I_{\phi}$  и напряжением  $U_{\phi}$  :  $\phi=\arccos(0.6)=53^{\circ}$

$$\text{Активная мощность цепи : } P=3I_{\phi}^2R=3\times 6.35^2\times 12=1452 \text{ Вт.}$$

$$\text{Реактивная мощность цепи : } Q=3I_{\phi}^2X=3\times 6.35^2\times 16=1935 \text{ вар}$$

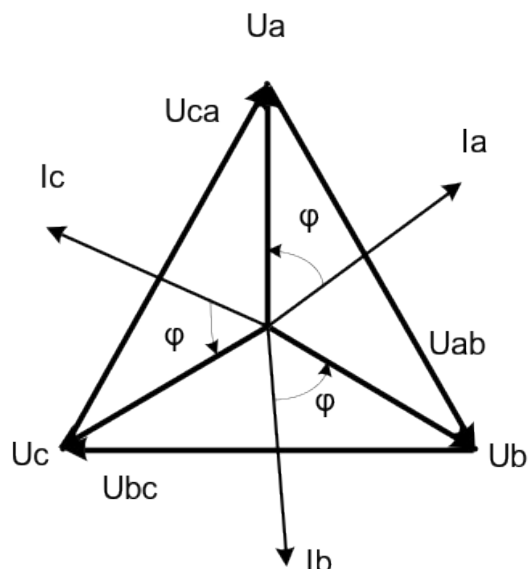
Полная мощность цепи :  $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1452^2 + 1935^2} = 2419 \text{ В}\cdot\text{А}$ .

Для построения векторной диаграммы найдём длины векторов :

$$l_{U\phi} = U_{\phi}/m_u = 127/40 = 3.2 \text{ см} ; \quad l_{I\phi} = I_{\phi}/m_I = 6.35/2 = 3.2 \text{ см}.$$

Построение диаграммы начинаем с построения векторов фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$  и  $U_C$ , которые откладываем под углом  $120^\circ$  относительно друг – друга, предварительно отложив вектор  $U_A$  вдоль вещественной оси.

Вектора фазных токов откладываем под углом  $\varphi = 53^\circ$  от соответствующих фазных напряжений. Соединив концы векторов фазных напряжений, получим треугольник линейных напряжений.



**Ответ :**  $U_{\phi} = 127 \text{ В} ; I_{\phi} = 6,35 \text{ А} ; S = 2419 \text{ В}\cdot\text{А} ; P = 1452 \text{ Вт} ; Q = 1935 \text{ вар} ; \cos\varphi = 0.6.$

## 1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	удельное сопротивление $\times 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{мм}$	Удельная проводимость, Сим/м

Медь проводниковая	8900	0,0176	57
Алюминий	2700	0,0278	35
Латунь	8500	0,04	25
Вольфрам	19100	0,0612	16,34
Стальная проволока	7900	0,13	7,6
Олово	7300	0,143	7
свинец	11400	0,221	4,52
Нихром	8200	0,98	1,02
Константан	8800	0,4 – 0,51	2,5 – 1,98
Фехраль	7600	1,4	0,7
Манганин	8100	0,42	2,38

## Список рекомендуемой литературы

### Основные источники:

1. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. — 3-е изд. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 136 с. — (Среднее профессиональное образование). - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/933905>

### Дополнительные источники

2. Теоретические основы электротехники : учебник / Е.А. Лоторейчук. — Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2019. — 317 с. — (Среднее профессиональное образование). - Текст : электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/992810>