

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
Институт гражданской защиты
Кафедра общепрофессиональных дисциплин

Электротехника, электроника и автоматизация

Сборник описаний лабораторных работ

Издательский центр «Удмуртский университет»
Ижевск 2020

УДК 621.3(075.8) + 004(075.8)
ББК 31.2я73-5 + 32.85я73-5 + 32.965я73-5
Э455

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим Советом УдГУ

Рецензент: д.т.н., профессор Г.В. Миловзоров

Составители: Сивков А.М., Чирков Б.В., Радикова А.В.

Э455 Электротехника, электроника и автоматизация: сборник описаний лабораторных работ / сост. А.М. Сивков, Б.В. Чирков, А.В. Радикова. – Ижевск: Изд. центр «Удмуртский университет», 2020. – 89 с.

Сборник описаний лабораторных работ для студентов, обучающихся на бакалавриате технологических нетехнических направлений обучения высшего образования 20.03.01 «Техносферная безопасность», 20.03.02 «Природообустройство и водопользование», 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 19.03.01 «Биотехнология», содержит ознакомительную информацию по основам электротехники, электроники и автоматизации и задания по проведению лабораторных работ.

УДК 621.3(075.8) + 004(075.8)
ББК 31.2я73-5 + 32.85я73-5 + 32.965я73-5

© А.М. Сивков, Б.В. Чирков, А.В. Радикова, сост., 2020

© ФГБОУ ВО «Удмуртский
государственный университет», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. РЕЗИСТОРЫ	7
1.1 Общие сведения о резисторах.....	7
1.2 Вольт-амперная характеристика резистора	9
1.3 Лабораторная работа № 1 «Исследование	11
вольт-амперных характеристик резисторов».....	11
2. ЗАКОН ОМА	14
2.1 Последовательное и параллельное соединение проводников.....	15
2.2 Лабораторная работа № 2 «Закон Ома»	17
3. ЗАКОНЫ (ПРАВИЛА) КИРХГОФА	23
3.1 Алгоритм расчета схемы по законам Кирхгофа	26
3.2 Лабораторная работа № 3 «Законы (правила) Кирхгофа»	27
4. КОНДЕНСАТОРЫ	31
4.1 Ёмкость и напряжение конденсатора	33
4.2 Параллельное и последовательное подключение конденсаторов	34
4.3 Заряд и разряд конденсатора – RC-цепочка.....	36
4.4 Лабораторная работа № 4 «Исследование конденсатора. RC-цепь»	40
5. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ.....	44
5.1 Лабораторная работа № 5 «Вольт-амперные характеристики диода» ..	51
6. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ	54
6.1 Структура транзисторов.....	54
6.2 Режимы работы транзистора.....	57
6.3 Лабораторная работа № 6 «Вольт-амперные характеристики	60
биполярного транзистора».....	60
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	64
Приложение П.1	65
Приложение П.1.1.....	66

Приложение П.1.2.....	70
Приложение П.2	77
Приложение П.3	78
Приложение П.4	80
Приложение П.5	81

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие человеческого общества происходит в наибольшей степени под влиянием научно-технического прогресса.

Жизнь людей изменилась благодаря машинам, работающим на тепловой и электрической энергии, начиная от машин для передвижения по дорогам и заканчивая машинами для полётов в космическое пространство. Космические ракеты, электростанции и другие промышленные объекты, использующие тепловые и электрические машины, всегда были автоматизированы в той или иной степени. Но автоматизация в прошлую эпоху опиралась на громоздкие, дорогие и не всегда надёжные компьютеры и поэтому была не слишком частым делом.

Положение изменилось с появлением микроконтроллеров. Благодаря низкой стоимости микроконтроллеров и их универсальности в нашем веке происходит всеобщая автоматизация технических устройств, вплоть до бытовых. Они используются в управлении различными устройствами и их отдельными блоками:

- в вычислительной технике: материнские платы, контроллеры дисководов жестких и гибких дисков, CD и DVD, калькуляторах;
- электронике и разнообразных устройствах бытовой техники, в которой используется электронные системы управления: стиральные машины, микроволновые печи, посудомоечные машины, телефоны и современные приборы, различные роботы, системы «умный дом», и др.
- в промышленности: устройства промышленной автоматики – от программируемого устройства реле и встраиваемых систем до ПЛК (программируемый логический контроллер), системы управления станками.

Важно, что получение и обработка входной информации, а также выдача управляющих воздействий производятся ныне исключительно в электрической форме. Поэтому тот, кто решил сделать автоматизацию своей профессией, должен глубоко понимать суть электрических процессов, законы электрического тока, иметь практические навыки проектирования, изготовления и обслуживания электрических и электронных устройств.

Настоящее учебно-методическое пособие как раз и является руководством по выполнению лабораторных работ в этой области. В нём содержатся также необходимые для лабораторных работ теоретические и справочные сведения.

Пособие «Электротехника, электроника и автоматизация» предназначено для изучения части одноименного курса образовательных программ по направлениям подготовки 20.03.01 «Техносферная

безопасность» (ОПК-5 – готовность к выполнению профессиональных функций при работе в коллективе; ПК-6 – способность принимать участие в установке (монтаже), эксплуатации средств защиты; ПК-14 – способность определять нормативные уровни допустимых негативных воздействий на человека и окружающую среду), 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» (ПК-4 – способность оперировать техническими средствами при производстве работ по природообустройству и водопользованию, при измерении основных параметров природных и технологических процессов; ПК-16 – способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач), 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» (ОПК-7 – способность участвовать в настройке и наладке программно-аппаратных комплексов; УК-1 – способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач), 19.03.01 «Биотехнология» (ПК-1 – способность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров биотехнологических процессов, свойств сырья и продукции; ПК-2 – способность к реализации и управлению биотехнологическими процессами; ПК-9 – способность проводить стандартные и сертификационные испытания сырья, готовой продукции и технологических процессов).

1. РЕЗИСТОРЫ

1.1 Общие сведения о резисторах

Резисторы применяются практически во всех видах радиоэлектронной аппаратуры для регулирования и распределения электрической энергии. Они классифицируются по назначению, способам монтажа и защиты, виду вольтамперной характеристики (ВАХ), характеру изменения сопротивления, материалу резистивного (токопроводящего) элемента [7].

В зависимости от назначения резисторы делятся на общего и специального (прецизионные, сверхпрецизионные, высокочастотные, высоковольтные, высокоомные) назначения.

Резисторы общего назначения имеют диапазон номинальных сопротивлений от 1 Ом до 10 МОм, допускаемые отклонения от номинального сопротивления ± 1 , ± 2 , ± 5 , ± 10 , ± 20 , ± 30 %, номинальные мощности рассеяния от 0,062 до 100 Вт.

Прецизионные и сверхпрецизионные резисторы отличаются более высокими стабильностью параметров и точностью изготовления (допуск от $\pm 0,0001$ до 5%) и имеют более широкий диапазон номинальных сопротивлений, но меньшие мощности рассеяния (до 2 Вт); применяются в измерительных приборах и вычислительных устройствах.

Высокочастотные резисторы отличаются небольшими собственными индуктивностью и емкостью и способны работать на частотах до сотен мегагерц (непроволочные) и до сотен килогерц (проволочные); применяются для работы в высокочастотных цепях, кабелях и волноводах.

Высоковольтные резисторы имеют рабочие напряжения до десятков киловольт и применяются в качестве искрогасителей, поглотителей и делителей в высоковольтных цепях.

Высокоомные резисторы имеют диапазон номинальных сопротивлений от десятков мегаом до единиц тераом, малые рабочие напряжения (100...400 В) и мощности (до 0,5 Вт); применяются в электрических цепях с малыми рабочими токами.

По характеру изменения сопротивления резисторы подразделяются на постоянные (с фиксированным сопротивлением) и переменные (подстроечные и регулировочные). Переменные регулировочные резисторы допускают изменение сопротивления в процессе их функционирования в аппаратуре. Сопротивление переменных подстроечных резисторов изменяется, как правило, при разовой или периодической регулировке и не

изменяется в процессе функционирования аппаратуры. Переменные резисторы выполняются одноэлементными и многоэлементными (сдвоенные, строенные, счетверенные и спятеренные), с круговым и прямолинейным перемещением подвижного контакта, однооборотными и многооборотными, с выключателем и без выключателя, с упором и без упора, с фиксацией и без фиксации положения подвижной системы, с дополнительными и без дополнительных отводов.

В зависимости от материала резистивного элемента резисторы подразделяются на проволочные (резистивный элемент из волоочной или литой проволоки с высоким удельным сопротивлением), металлофольговые (резистивный элемент из фольги) и непроволочные. Непроволочные резисторы подразделяются на тонкопленочные (металлодиэлектрические, металлоокисные и металлизированные с резистивным элементом в виде композиционного слоя; углеродистые и бороуглеродистые), толстопленочные (лакосажевые, лакопленочные, керметные и на основе проводящих пластмасс) и объемные. Объемные резисторы обладают большим уровнем шумов, но хорошо выдерживают импульсные перегрузки.

Металлоокисные резисторы имеют меньшие значения температурного коэффициента сопротивления, чем углеродистые.

Металлопленочные резисторы могут рассеивать относительно большую мощность при небольших размерах, имеют малый уровень шумов и положительный температурный коэффициент.

Проволочные резисторы изготавливаются с обычной или безындуктивной намоткой и применяются в тех случаях, когда требуется высокая стабильность и большая рассеиваемая мощность. Из-за конструктивных особенностей они не выпускаются на большие сопротивления. При работе с большими токами проволочные резисторы могут сильно нагреваться, поэтому их необходимо располагать на плате так, чтобы можно было обеспечивать вентиляцию и устранять влияние высокой температуры на соседние элементы.

В зависимости от способа монтажа резисторы могут выполняться с жесткими или мягкими, аксиальными или радиальными выводами, в виде лепестков, для микромодулей и микросхем.

В зависимости от способа защиты от внешних воздействий резисторы конструктивно выполняются изолированными, неизолированными (не допускают касания своим корпусом шасси), герметизированными (в керамических, металлических и пластмассовых корпусах) и вакуумными (в стеклянных колбах).

В зависимости от вида вольтамперной характеристики резисторы подразделяются на линейные и нелинейные.

К нелинейным резисторам относится широкий класс приборов, принцип действия которых основан на использовании свойств ряда полупроводниковых материалов изменять свое электрическое сопротивление (в отличие от линейных) под воздействием различных управляющих факторов: температуры (терморезисторы, термисторы, позисторы), электрического поля (варисторы), электромагнитного и теплового излучения (фоторезисторы, болометры), магнитного поля (магниторезисторы), состав газа (газорезисторы).

1.2 Вольт-амперная характеристика резистора

Поведение резистора при включении его в электрическую цепь характеризуется его электрическими параметрами и характеристиками. Функциональная зависимость между величиной приложенного напряжения и значением электрического тока, протекающего через резистор, в соответствии с законом Ома, называется вольт-амперной характеристикой [3].

Иногда в технической литературе используется сокращённая аббревиатура – ВАХ. График этой зависимости (рисунок 1.2.1), в декартовой системе координат «напряжение – U , ток – I » имеет вид прямой линии, проходящей через начало координат.

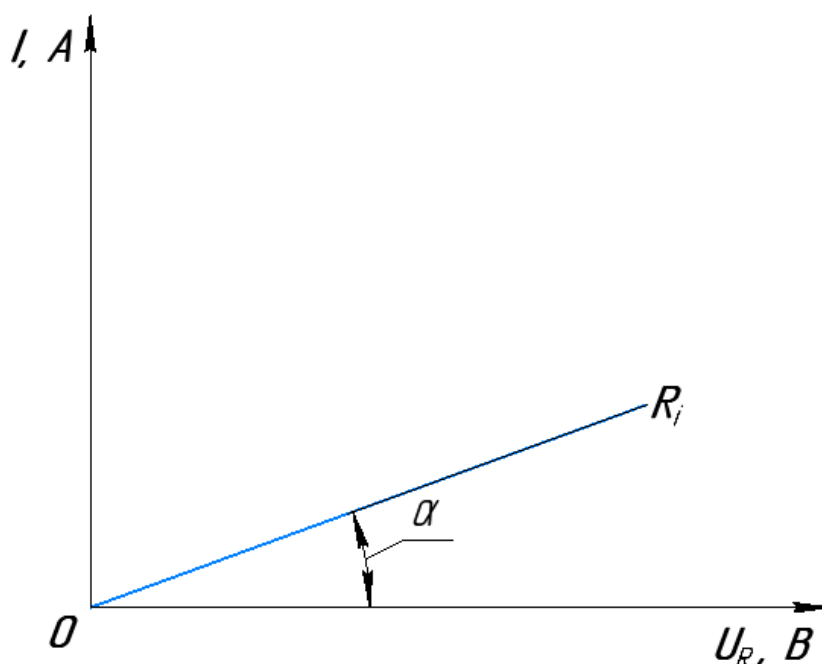


Рисунок 1.2.1 – График зависимости приложенного напряжения от электрического тока, протекающего через резистор

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) – это зависимость напряжения на сопротивлении от силы тока, проходящего через это сопротивление.

Если к резистору приложено положительное напряжение, ток протекает в положительном направлении.

При изменении полярности приложенного напряжения, направление протекающего тока также меняется на противоположное.

Чем больше номинальное сопротивление резистора, тем меньше угол наклона « α » вольт-амперной характеристики к оси абсцисс, тем более полого на графике располагается вольт-амперная характеристика.

Если к резистору приложить напряжение U_1 , то, в соответствии с приведённым графиком, через резистор будет протекать ток I_1 .

1.3 Лабораторная работа № 1 «Исследование вольт-амперных характеристик резисторов»

1 Цель работы:

- 1) ознакомление с применением, назначением, видами и характеристиками резисторов;
- 2) изучение приборов для работы с электрической цепью и ее элементами;
- 3) изучение вольт-амперных характеристик резисторов.

2 Оборудование:

- 1) Мультиметр.
- 2) Лабораторный блок питания.
- 3) Резисторы в диапазонах 1-15 Ом, 300-700 Ом, 1 кОм, 10-100 кОм, 1-10 МОм – 5 штук (по одному резистору из каждого диапазона).
- 4) Макетная плата.
- 5) Соединительные провода (2 штуки).

3 Ход работы:

- 1) Подобрать соответствующие заданию резисторы и измерить их реальное сопротивление, используя мультиметр (правила использования мультиметра представлены в Приложении П.1).
- 2) Найти в сети Интернет таблицу с представленной в ней цветовой схемой резисторов и справочным сопротивлением (допускается использовать Приложение П.2).
- 3) Зафиксировать характеристики каждого резистора в таблице 1.3.1.

Таблица 1.3.1 – Характеристики резисторов

Резистор	Реальное сопротивление, Ом	Справочное сопротивление, Ом	Цветовая маркировка
R ₁			
R ₂			
R ₃			
R ₄			
R ₅			

- 4) Собрать схему на макетной плате (устройство макетной платы представлено в Приложении П.3), представленную на рисунке 1.3.1, для выбранных резисторов.

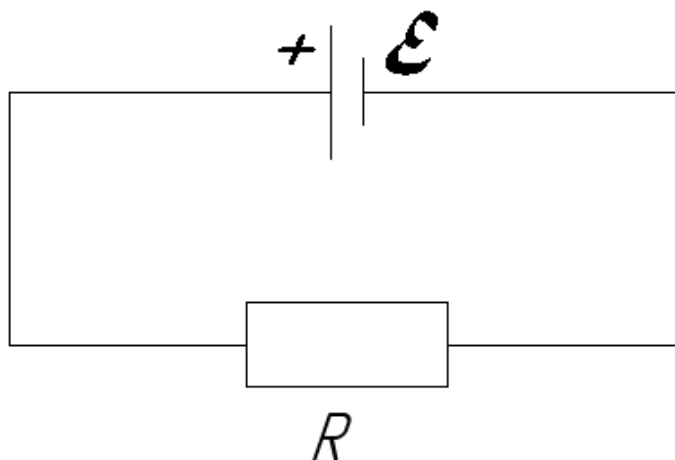


Рисунок 1.3.1 – Схема цепи

- 5) Выполнить измерения силы тока от 0 В при повышении напряжения с шагом 0,5 В до 4 В и с шагом 1 В при напряжении более 4 В (рисунок 1.3.2), заполнить таблицу 1.3.2.

Внимание! Для резистора <15 Ом максимальное напряжение – 4 В; в диапазоне 300-700 Ом – 7-10 В; для остальных – 15 В. Замерять ток в цепи необходимо на каждом шаге по напряжению. При измерении тока в цепи с малым сопротивлением предварительно необходимо измерить напряжение на зажимах источника питания.

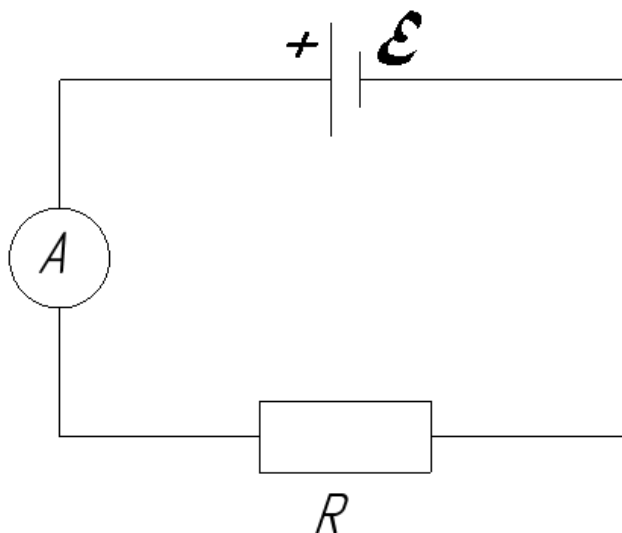


Рисунок 1.3.2 – Схема подключения амперметра

Таблица 1.3.2 – Результаты измерений

U, В	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
	I, А	I, А	I, А	I, А	I, А
0,5					
1,0					
...					
3,5					
4					
5	—				
...	—				
~7-10	—				
...	—	—			
15	—	—			

6) Построить графики ВАХ резисторов (пример одного из графиков представлен на рисунке 1.2.1). Рекомендуется на одном рисунке изображать по два графика ВАХ различных резисторов, показания по которым являются наиболее близкими. Начальные координаты всех графиков имеют значения (0; 0), Графики подписать R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, соответственно.

Содержание отчета:

- 1) Схема цепи (рисунок 1.3.1).
- 2) Заполненная таблица 1.3.1.
- 3) Заполненная таблица 1.3.2.
- 4) Рисунок с представленными на нем графиками ВАХ резисторов.
- 5) Выводы по рисунку.

Контрольные вопросы:

1. Классификация резисторов.
2. Зависимость вольт-амперных характеристик от номинального сопротивления резистора.

Список литературы:

1. Глазачев А.В. Физические основы электроники. Конспект лекций / А.В. Глазачёв, В.П. Петрович. – Томск, 2015. – 224 с.
2. Открытая физика : [сайт]. – Физикон, 1999-2018 – URL: <https://physics.ru/textbook/index.html> (дата обращения: 26.06.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

2. ЗАКОН ОМА

Закон Ома – полученный экспериментальным путем (эмпирический) закон, который устанавливает связь силы тока в проводнике с напряжением на концах проводника и его сопротивлением, был открыт в 1826 году немецким физиком-экспериментатором Георгом Омом [1, 4].

Строгая формулировка закона Ома может быть записана так: сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на его концах (разности потенциалов) и обратно пропорциональна сопротивлению этого проводника.

Формула закона Ома записывается в следующем виде:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.1)$$

где I – сила тока в проводнике, единица измерения силы тока – ампер [А];

U – электрическое напряжение (разность потенциалов), единица измерения напряжения – вольт [В];

R – электрическое сопротивление проводника, единица измерения электрического сопротивления – ом [Ом].

Согласно закону Ома, увеличение напряжения, например, в два раза при фиксированном сопротивлении проводника, приведет к увеличению силы тока также в два раза.

Закон Ома в упомянутой форме справедлив в достаточно широких пределах для металлов. Он выполняется до тех пор, пока металл не начнет плавиться. Менее широкий диапазон применения у растворов (расплавов) электролитов и в сильно ионизированных газах (плазме).

Работая с электрическими схемами, иногда требуется определять падение напряжения на определенном элементе. Если это будет резистор с известной величиной сопротивления (она проставляется на корпусе), а также известен проходящий через него ток, узнать напряжение можно с помощью формулы Ома, не подключая вольтметр.

2.1 Последовательное и параллельное соединение проводников

Проводники в электрических цепях могут соединяться последовательно и параллельно [7].

При **последовательном** соединении проводников (рисунок 2.1.1) сила тока во всех проводниках одинакова.

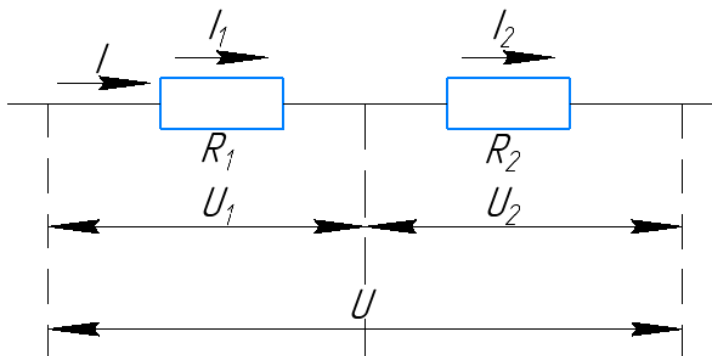


Рисунок 2.1.1 – Последовательное соединение проводников

По закону Ома, напряжения U_1 и U_2 на проводниках равны:

$$U_1 = I \cdot R_1, \quad U_2 = I \cdot R_2. \quad (2.1.1)$$

Общее напряжение U на обоих проводниках равно сумме напряжений U_1 и U_2 :

$$U = U_1 + U_2 = I \cdot (R_1 + R_2) = I \cdot R, \quad (2.1.2)$$

где R – электрическое сопротивление всей цепи. Отсюда следует:

$$R = R_1 + R_2. \quad (2.1.3)$$

При последовательном соединении полное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений отдельных проводников. Этот результат справедлив для любого числа последовательно соединенных проводников.

При **параллельном** соединении (рисунок 2.1.2) напряжения U_1 и U_2 на обоих проводниках одинаковы:

$$U_1 = U_2 = U. \quad (2.1.4)$$

Сумма токов I_1 и I_2 , протекающих по обоим проводникам, равна току в неразветвленной цепи:

$$I = I_1 + I_2. \quad (2.1.5)$$

Этот результат следует из того, что в точках разветвления токов (узлы A и B) в цепи постоянного тока не могут накапливаться заряды. Например, к узлу A за время Δt подтекает заряд $I\Delta t$, а утекает от узла за то же время назад $I_1\Delta t + I_2\Delta t$. Следовательно, $I = I_1 + I_2$.

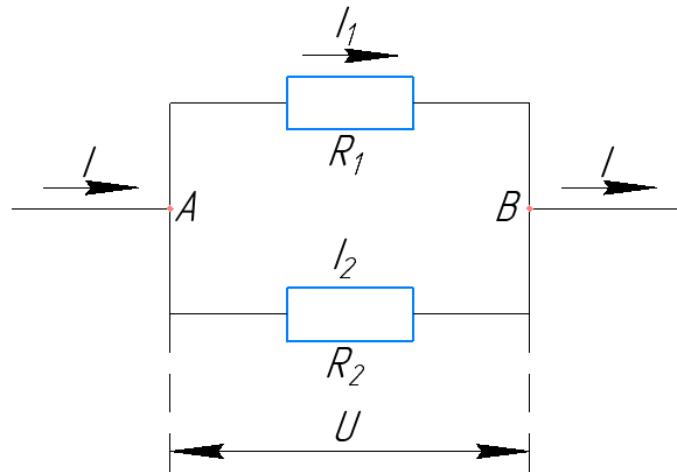


Рисунок 2.1.2 – Параллельное соединение проводников

Записывая на основании закона Ома:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad \text{и} \quad I = \frac{U}{R}, \quad (2.1.6)$$

где R – электрическое сопротивление всей цепи, получим:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \quad (2.1.7)$$

При параллельном соединении проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлениям параллельно включенных проводников. Этот результат справедлив для любого числа параллельно включенных проводников.

2.2 Лабораторная работа № 2 «Закон Ома»

1 Цель работы:

- 1) изучение приборов для работы с электрической цепью и ее элементами;
- 2) изучение электрических характеристик последовательных и параллельных соединений;
- 3) изучение работы закона Ома.

2 Оборудование:

- 1) Мультиметр.
- 2) Лабораторный блок питания.
- 3) Резисторы различных номиналов – 6 штук (разница между минимальным и максимальным значениями резисторов не должна превышать двух порядков, например, 1 Ом и 100 Ом; 2 кОм и 200 кОм; 10 кОм и 1 МОм и т.п.).
- 4) Макетная плата.
- 5) Соединительные провода.

3 Ход работы:

Внимание! Здесь и далее напряжение во всех работах **5 В**, если не указано другое. **Вольтметр** подключается в цепь **параллельно**, **амперметр** – **последовательно** (см. Приложение П.1).

- 1) Подобрать соответствующие заданию резисторы среди имеющихся и измерить их реальное сопротивление. Зафиксировать характеристики каждого резистора в таблице 2.2.1.

Таблица 2.2.1 – Характеристика резисторов

Резистор	Реальное сопротивление, Ом	Справочное сопротивление, Ом	Цветовая маркировка
R ₁			
R ₂			
R ₃			
R ₄			
R ₅			
R ₆			

- 2) В браузере перейти по ссылке <https://www.falstad.com/circuit/>, построить схему, изображенную на рисунке 2.2.1, задать параметры напряжения 5 В и сопротивления резисторов (использовать справочное сопротивление любых трех резисторов из шести ранее выбранных) в соответствии с таблицей 2.2.1. Определить силу тока в цепи и падение напряжения на каждом резисторе, результаты записать в строку 1 таблицы 2.2.2. Сделать скриншот экрана.

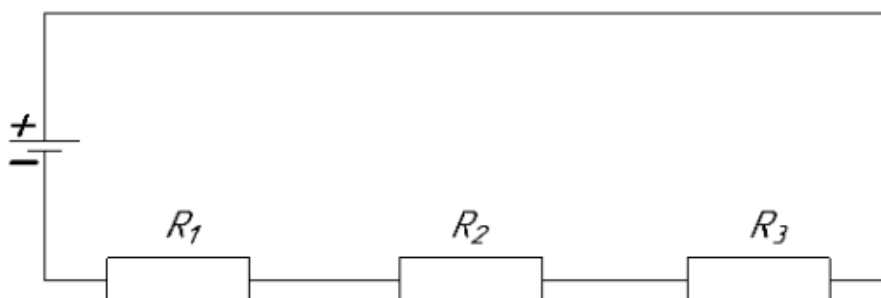


Рисунок 2.2.1 – Схема последовательного соединения резисторов

Таблица 2.2.2 – Результаты измерения силы тока и падения напряжения при последовательном соединении резисторов.

№	Из опыта							Из расчета
	I, А	U ₁ , В (а-б)	U ₂ , В (б-в)	U ₃ , В (в-г)	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R _{общ.} , Ом
1								
2								

- 3) Собрать схему из последовательно соединенных резисторов (рисунок 2.2.1) на макетной плате, выбрав их из уже имеющихся (используемых в пункте 2), реальное сопротивление выбранных резисторов (таблица 2.2.1) занести в строку 2 таблицы 2.2.2.
- 4) Измерить силу тока в цепи и падение напряжения на каждом резисторе (рисунок 2.2.2), замеры вольтметром произвести трижды на участках а-б, б-в, в-г. Результаты записать в строку 2 таблицы 2.2.2.

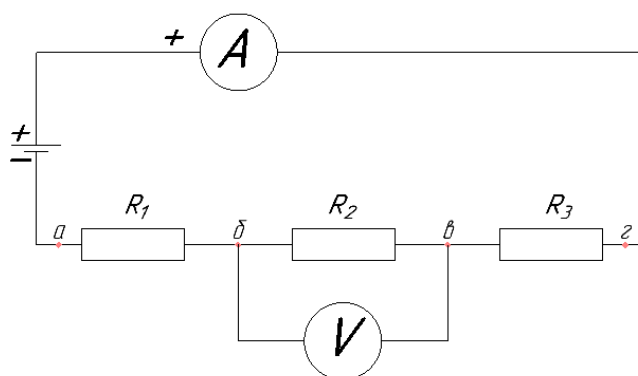


Рисунок 2.2.2 – Схема подключения амперметра и вольтметра при последовательном соединении резисторов

- 5) В браузере перейти по ссылке <https://www.falstad.com/circuit/>, построить схему, изображенную на рисунке 2.2.3, задать параметры напряжения 5 В и сопротивления резисторов (использовать справочное сопротивление ещё не использованных в предыдущих пунктах трех резисторов из шести ранее выбранных) в соответствии с таблицей 2.2.1. Определить силу тока в цепи и падение напряжения на каждом резисторе, результаты записать в строку 1 таблицы 2.2.3. Сделать скриншот экрана.

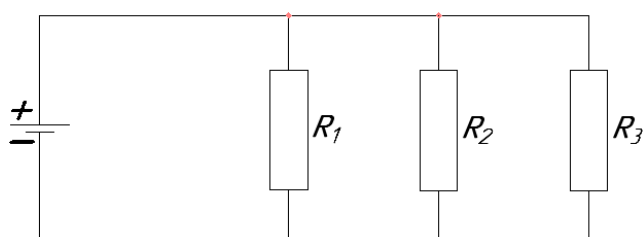


Рисунок 2.2.3 – Схема параллельного соединения резисторов

Таблица 2.2.3 – Результаты измерения силы тока при параллельном соединении резисторов.

№	Из опыта								Из расчета
	U, В	I ₁ , А	I ₂ , А	I ₃ , А	I ₄ , А	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R _{общ.} , Ом
1									
2									

- 6) Собрать схему из параллельно соединенных резисторов (рисунок 2.2.3) на макетной плате, выбрав их из уже имеющихся (используемых в пункте 5), реальное сопротивление выбранных резисторов (таблица 2.2.1) занести в строку 2 таблицы 2.2.3.

- 7) Измерить силу тока в ветвях цепи (рисунок 2.2.4), результаты записать в строку 2 таблицы 2.2.3.

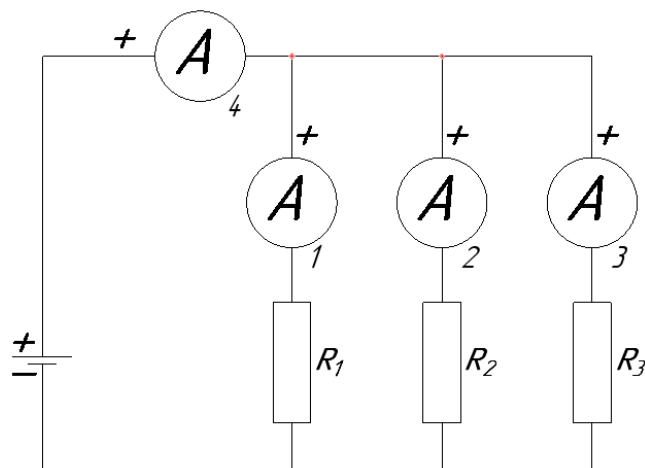


Рисунок 2.2.4 – Схема подключения амперметра при параллельном соединении резисторов

- 8) Используя формулы (2.1.6, 2.1.7), по рисунку 2.2.5 выполнить расчет силы тока при параллельном соединении резисторов. Результаты занести в строку 1 таблицы 2.2.4

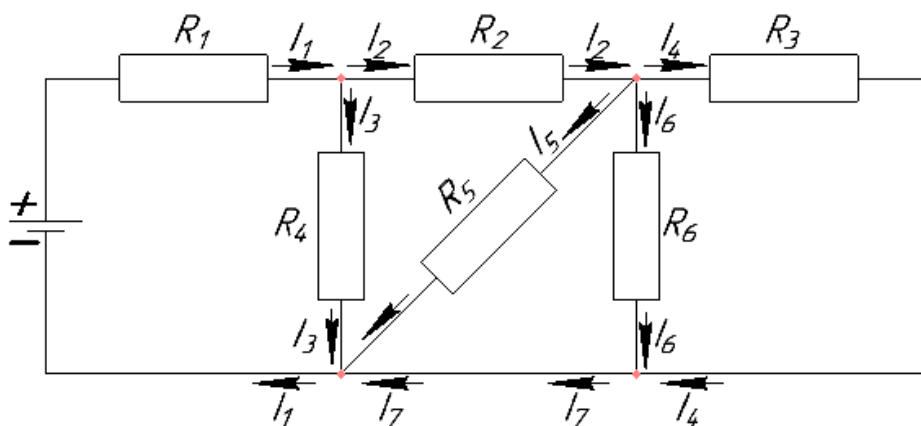


Рисунок 2.2.5 – Схема цепи

Таблица 2.2.4 – Результаты измерения силы тока при параллельном соединении резисторов.

№	Из опыта							Из расчета					
	$I_1, \text{ A}$	$I_2, \text{ A}$	$I_3, \text{ A}$	$I_4, \text{ A}$	$I_5, \text{ A}$	$I_6, \text{ A}$	$I_7, \text{ A}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_5, \text{ Ом}$	$R_6, \text{ Ом}$
1													
2													
3													

- 9) В браузере перейти по ссылке <https://www.falstad.com/circuit/>, построить схему, изображенную на рисунке 2.2.5, задать параметры напряжения 5 В и справочных сопротивлений резисторов (таблица 2.2.1). Определить силу тока в цепи и падение напряжения на каждом резисторе, результаты записать в строку 2 таблицы 2.2.4. Сделать скриншот экрана.
- 10) Собрать схему, приведенную на рисунке 2.2.5, измерить омметром величину сопротивления используемых в схеме резисторов (реальное сопротивление из таблицы 2.2.1), результаты занести в строку 3 таблицы 2.2.4.
- 11) Измерить силу тока в ветвях цепи (рисунок 2.2.6), результаты записать в строку 3 таблицы 2.2.4.

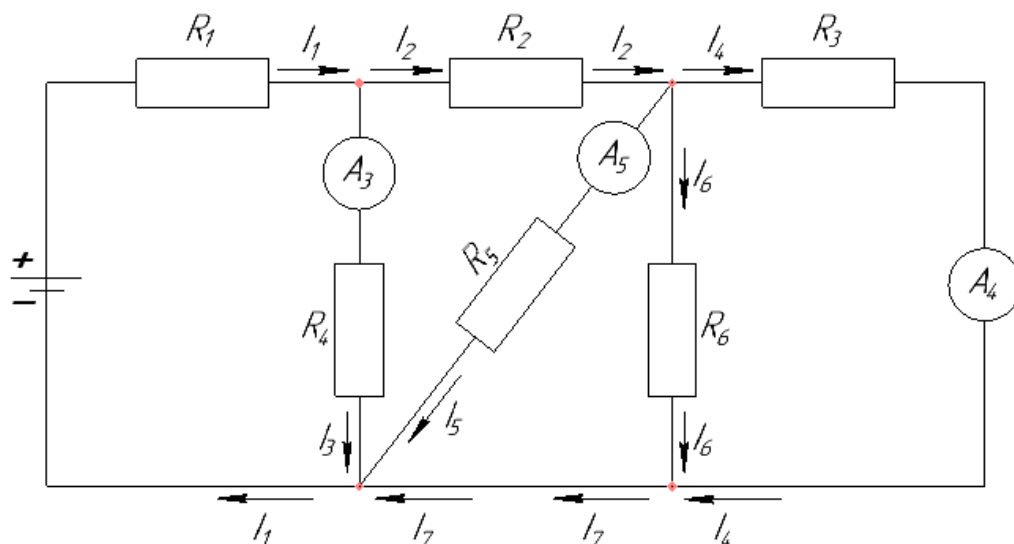


Рисунок 2.2.6 – Схема подключения амперметра

Содержание отчета:

- 1) Заполненная таблица 2.2.1.
- 2) Схема последовательного соединения резисторов (рисунок 2.2.1), заполненная таблица 2.2.2, изображение схемы в симуляторе электронных схем.
- 3) Схема параллельного соединения резисторов (рисунок 2.2.3), заполненная таблица 2.2.3, изображение схемы в симуляторе электронных схем.

- 4) Схема цепи (рисунок 2.2.5), заполненная таблица 2.2.4, ручной расчет по формулам (2.1.6, 2.1.7), изображение схемы в симуляторе электронных схем.

Внимание! Схемы допускается начертить от руки, на изображении схемы симулятора электронных схем подписать все заданные параметры и измеряемые значения.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте Закон Ома.
2. Последовательное соединение проводников.
3. Параллельное соединение проводников.

Список литературы:

1. Борисов Ю.М. Электротехника: учебник для неэлектрических спец. вузов / Ю.М. Борисов, Ю.Н. Зорин, Д.Н. Липатов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 550 с.
2. Иванов И.И. Электротехника: основные положения, примеры и задачи / И.И. Иванов, А.Ф. Лукин, Г.И. Соловьев. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2002. – 191 с.
3. Открытая физика : [сайт]. – Физикон, 1999-2018 – URL: <https://physics.ru/textbook/index.html> (дата обращения: 26.06.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

3. ЗАКОНЫ (ПРАВИЛА) КИРХГОФА

Закон Кирхгофа (правила Кирхгофа), сформулированные Густавом Кирхгофом в 1845 году, являются следствиями из фундаментальных законов сохранения заряда и безвихревости электростатического поля [2].

Для упрощения расчетов сложных электрических цепей, содержащих неоднородные участки, используются правила Кирхгофа, которые являются обобщением закона Ома на случай разветвленных цепей.

Закон Кирхгофа – это соотношения, выполняемые между токами и напряжениями на участках любых электрических цепей. Они позволяют рассчитывать любые электрические цепи: постоянного, переменного или квазистационарного тока.

При формулировании правил Кирхгофа используют такие понятия, как ветвь, контур и узел электрической цепи.

Ветвь – участок электрической цепи с одним и тем же током.

Узел – точка соединения трех или более ветвей.

Контур – замкнутый путь, проходящий через несколько узлов и ветвей разветвлённой электрической цепи.

При обходе надо учесть, что ветвь и узел могут одновременно принадлежать нескольким контурам. Правила Кирхгофа справедливы как для линейных, так и для нелинейных цепей при любом характере изменения во времени токов и напряжений. Правила Кирхгофа широко применяются при решении задач электротехники за счет легкости в расчетах.

В узлах цепи постоянного тока не может происходить накопление зарядов. Отсюда следует *первое правило Кирхгофа* [7]:

Алгебраическая сумма сил токов для каждого узла в разветвленной цепи равна нулю:

$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0. \quad (3.1)$$

В разветвленной цепи всегда можно выделить некоторое количество замкнутых путей (контуров), состоящих из однородных и неоднородных участков. На разных участках выделенного контура могут протекать различные токи. На рисунке 3.2.1 представлен простой пример разветвленной цепи. Цепь содержит два узла *a* и *d*, в которых сходятся одинаковые токи, поэтому только один из узлов является независимым (*a* или *d*).

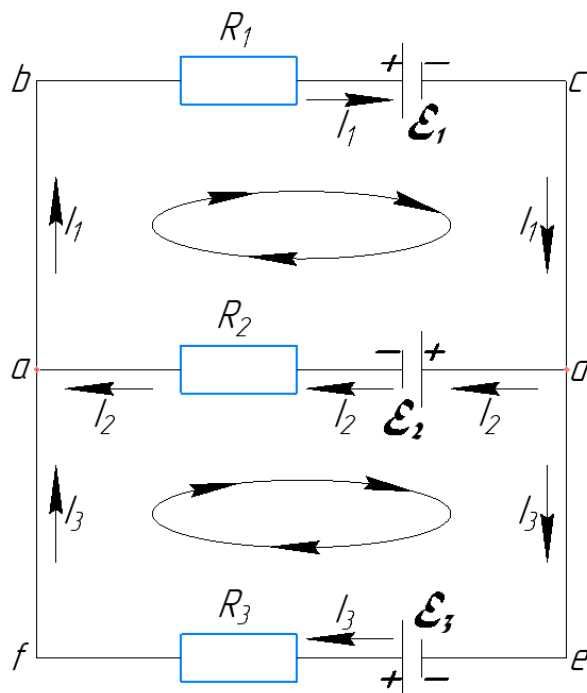


Рисунок 3.2.1 – Пример разветвленной электрической цепи. Цепь содержит один независимый узел (a или d) и два независимых контура (например, $abcd$ и $adef$)

В цепи можно выделить три контура $abcd$, $adef$ и $abcdef$. Из них только два являются независимыми (например, $abcd$ и $adef$), так как третий не содержит никаких новых участков.

2 закон (правило) Кирхгофа [7]:

Второй закон Кирхгофа гласит, что алгебраическая сумма напряжений на резистивных элементах замкнутого контура, равна алгебраической сумме ЭДС, входящих в этот контур. В случае отсутствия источников ЭДС, суммарное напряжение равно нулю.

$$\sum_{k=1}^m E_k = \sum_{k=1}^m U_k, \quad (3.2)$$

где m — число участков контура.

Иначе формулируя второе правило Кирхгофа, можно сказать: при полном обходе контура потенциал, изменяясь, возвращается к начальному значению.

При составлении уравнения напряжений для контура нужно выбрать положительное направление обхода контура (рисунок 3.2.2), при этом падение напряжения на ветви считается положительным, если направление

обхода данной ветви совпадает с ранее выбранным направлением тока ветви, в противном случае – отрицательным.

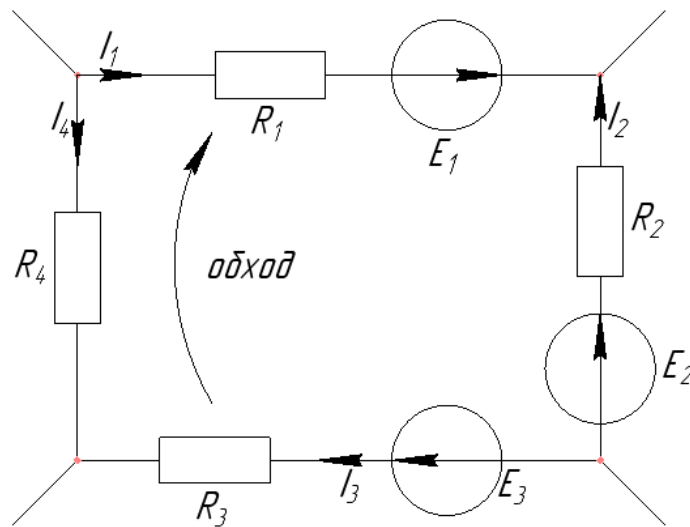


Рисунок 3.2.2 – Направление обхода контура

Определить знак можно по алгоритму:

- 1) Выбираем направление обхода контура (по или против часовой стрелке).
- 2) Произвольно выбираем направления токов через элементы цепи.

Расставляем знаки для напряжений и ЭДС по правилам (ЭДС, создающие ток в контуре, направление которого совпадает с направлением обхода контура со знаком «+», иначе – «-»; напряжения, падающие на элементах цепи, если ток, протекающий через эти элементы совпадает по направлению с обходом контура, со знаком «+», в противном случае – «-»).

3.1 Алгоритм расчета схемы по законам Кирхгофа

Для определения токов всех ветвей методом уравнений Кирхгофа необходимо расставить направление токов в ветвях заданной схемы и выбрать направления обхода контура (рисунок 3.1.1) [5].

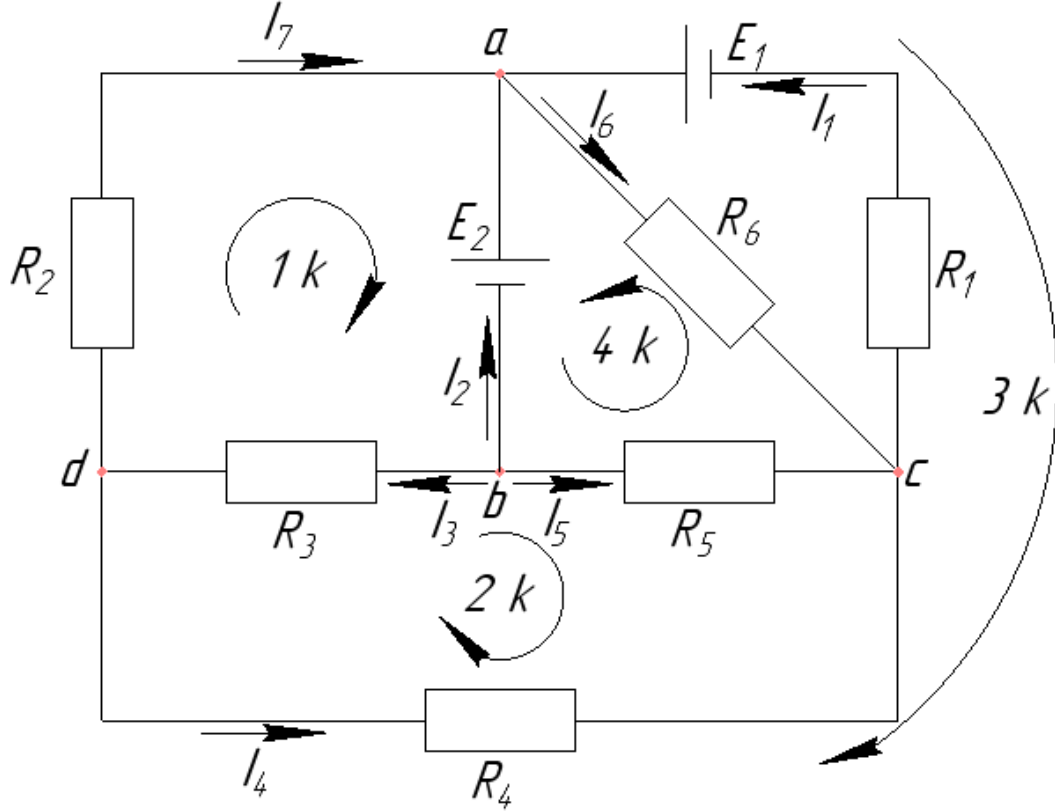


Рисунок 3.1.1 – Схема для расчета

В схеме количество узлов $n_y=4$ (a, b, c, d) и число ветвей $n_e=7$. Значит, по первому закону Кирхгофа необходимо составить $n_I=n_y-1=4-1=3$ уравнения для любых трех узлов (втекающие в узел токи возьмем со знаком «+», вытекающие – со знаком «-»):

$$\begin{aligned} a: I_7 + I_1 + I_2 - I_6 &= 0, \\ b: -I_3 - I_2 - I_5 &= 0, \\ c: I_4 + I_5 + I_6 - I_1 &= 0. \end{aligned} \quad (3.1.1)$$

По 2 закону Кирхгофа составим $n_{II}=n_e-n_I=7-3=4$. В нашей схеме 4 независимых контура, значит по 2 закону Кирхгофа необходимо составить 4 уравнения:

$$\begin{aligned} 1 \text{ к.: } I_7 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 &= -E_2, \\ 2 \text{ к.: } I_5 \cdot R_5 - I_3 \cdot R_3 - I_4 \cdot R_4 &= 0, \\ 3 \text{ к.: } -I_1 \cdot R_1 - I_4 \cdot R_4 + I_7 \cdot R_2 &= -E_1, \\ 4 \text{ к.: } I_5 \cdot R_5 - I_6 \cdot R_6 &= -E_2. \end{aligned} \quad (3.1.2)$$

3.2 Лабораторная работа № 3 «Законы (правила) Кирхгофа»

1 Цель работы:

- 1) Изучение работы законов Кирхгофа.

2 Оборудование:

- 1) Мультиметр.
- 2) Лабораторный блок питания.
- 3) Резисторы различных номиналов – 3 штуки ($> 1 \text{ МОм}$).
- 4) Макетная плата.
- 5) Соединительные провода.

3 Ход работы:

- 1) Заполнить таблицу 3.2.1.

Таблица 3.2.1 – Характеристика резисторов

Резистор	Реальное сопротивление, Ом	Справочное сопротивление, Ом	Цветовая маркировка
R_1			
R_2			
R_3			

- 2) Составить уравнения по Законам Кирхгофа (формулы 3.1.1, 3.1.2) для схемы, представленной на рисунке 3.2.1. Используя приложение *Maxima* (приложение П.4), ввести эти уравнения, полученный результат записать в строку 1 таблицы 3.2.2.

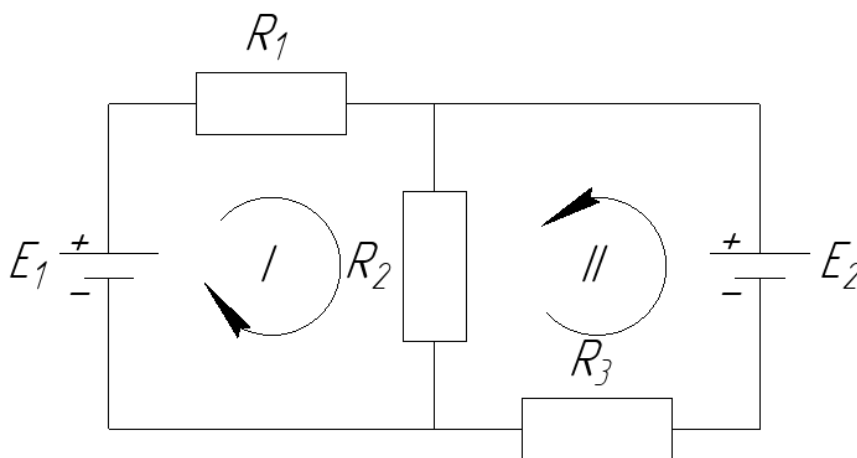


Рисунок 3.2.1 – Схема цепи для исследования второго правила Кирхгофа

Таблица 3.2.2 – Результаты измерения силы тока из расчета.

№	Из расчета							
	$E_1, В$	$E_2, В$	$A_1, А$	$A_2, А$	$A_3, А$	$R_1, МОм$	$R_2, МОм$	$R_3, МОм$
1								
2								

- 3) В браузере перейти по ссылке <https://www.falstad.com/circuit/>, построить схему, изображенную на рисунке 3.2.1, задать параметры напряжения 5 В и 3.3 В и справочные сопротивления выбранных резисторов. Определить силу тока в цепи, результаты записать в строку 2 таблицы 3.2.2. Сделать скриншот экрана.
- 4) Собрать схему, приведенную на рисунке 3.2.1, на макетной плате при $E_1 = 5 В$ и $E_2 = 3,3 В$, измерить омметром величину сопротивления используемых в схеме резисторов (реальное сопротивление из таблицы 3.2.1), результаты занести в таблицу 3.2.3.
- 5) Измерить силу тока в ветвях цепи. Результаты записать в таблицу 3.2.3.

Таблица 3.2.3 – Результаты измерения силы тока из опыта.

№	Из опыта							
	$E_1, В$	$E_2, В$	$A_1, А$	$A_2, А$	$A_3, А$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$
1								

6) «Делитель напряжения»

Для того чтобы получить из исходного напряжения лишь его часть, используется делитель напряжения (voltage divider). Это схема, строящаяся на основе пары резисторов (рисунок 3.2.2).

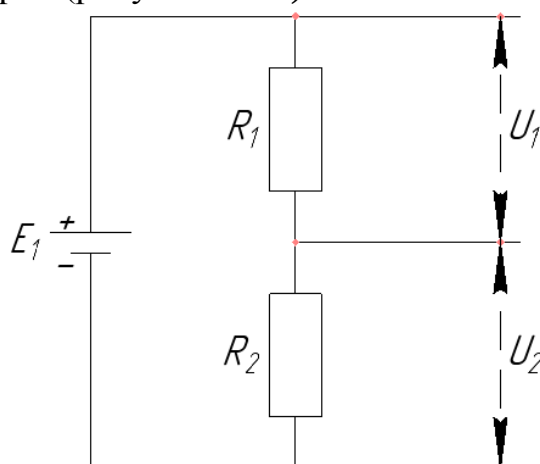


Рисунок 3.2.2 – Схема цепи «Делитель напряжения»

Исходя из закона Ома при известных значениях входного напряжения E_1 и сопротивлений R_1 и R_2 вывести формулу для выходных напряжений U_1 и U_2 . Начать следует с обозначения токов I_1 и I_2 , которые протекают через резисторы R_1 и R_2 соответственно.

Пользуясь законом Ома и законами Кирхгофа, собрать цепь «Делитель напряжения» (рисунок 3.2.2). Собрать 6 схем с различными номиналами резисторов при $E_1 = 5$ В. Проверить выведенную зависимость выходного напряжения от входного напряжения и номиналов резисторов, заполнить таблицу 3.2.4.

Содержание отчета:

- 1) Таблица 3.2.1 – Характеристика резисторов.
- 2) Схема цепи для исследования второго правила Кирхгофа (рисунок 3.2.1).
- 3) Таблицы 3.2.2, 3.2.3 с результатами измерений.
- 4) Схема цепи «Делитель напряжения» (рисунок 3.2.2).
- 5) Таблица 3.2.4 – Результаты измерений «Делитель напряжений».

Таблица 3.2.4 – Результаты измерений «Делитель напряжений».

№	R_1 , Ом	U_1 , В	A_1 , А	R_2 , Ом	U_2 , В	A_2 , А

- 6) Вывести формулу зависимости для «Делителя напряжений».
- 7) Выводы по результатам экспериментов.

Внимание! Схемы допускается начертить от руки.

Контрольные вопросы:

1. Дать определения понятиям ветвь, узел, контур.
2. Первый закон (правило) Кирхгофа.
3. Второй закон (правило) Кирхгофа.
4. Алгоритм расчета схемы по законам Кирхгофа.

Список литературы:

1. Бутырин П.А. Электротехника: учебник для проф. Образования / П.А. Бутырин, О.В. Толчеев, Ф.Н. Шакирзянов ; под ред. П.А. Бутырина. – 12-е изд., стер. – Москва : Академия, 2017. – 266 с.
2. Макенова Н.А. Решебник по электротехнике: учебное пособие / Н.А. Макенова, Т.Е. Хохлова, Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 165 с.
3. Открытая физика : [сайт]. – Физикон, 1999-2018 – URL: <https://physics.ru/textbook/index.html> (дата обращения: 26.06.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

4. КОНДЕНСАТОРЫ

Электрический конденсатор (англ. capacitor) – это устройство, которое может накапливать электрический заряд и хранить его некоторое время. Конденсаторы можно найти практически в любом электронном устройстве. Они бывают разных типов и размеров (рисунок 4.1) [1].



Рисунок 4.1 – Конденсаторы

На электрических схемах конденсаторы обозначают двумя параллельными черточками (рисунок 4.2). При этом, у полярных конденсаторов около положительного электрода дополнительно ставится плюсики.

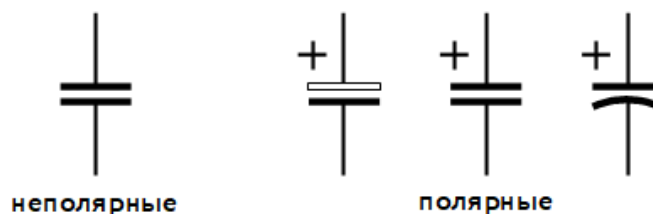


Рисунок 4.2 – Обозначение конденсаторов на схемах

Основные области применения [7]:

- 1) Фильтрация пульсаций в цепях питания. Конденсаторы часто ставят на входе и выходе преобразователей напряжения, на входе питания микросхем. В этом случае конденсаторы служат своего рода амортизаторами, которые могут сгладить неровности напряжения, подобно амортизаторам автомобиля, сглаживающим неровности дороги.

- 2) Временязадающие электрические цепи. Конденсаторы разной ёмкости заряжаются и разряжаются за разное время. Эту особенность используют в устройствах, где необходимо отсчитывать определенные промежутки времени.
- 3) Датчики прикосновения. В роли одной из обкладок конденсатора может выступить человек. Эту особенность нашего тела используют в своей работе сенсорные кнопки, тачскрины и тачпады некоторых видов.
- 4) Хранение данных. Конденсаторы применяются для хранения данных в оперативной памяти – ОЗУ (SRAM). Каждый модуль такой памяти содержит миллиарды отдельных конденсаторов, которые могут быть заряжены или разряжены, что интерпретируется как единица или ноль.

Конденсатор состоит из двух металлических пластин – электродов, называемых также обкладками, между которыми находится тонкий слой диэлектрика (рисунок 4.3).

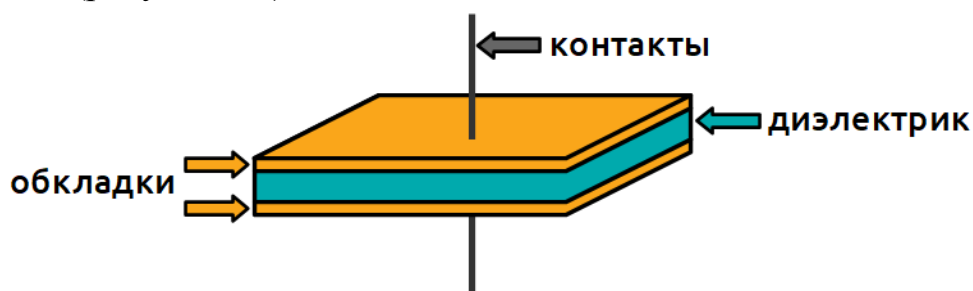


Рисунок 4.3 – Состав конденсатора

Собственно, все конденсаторы устроены именно таким (или почти таким) образом, разве что меняется материал обкладок и диэлектрика. Чтобы увеличить ёмкость конденсатора, не увеличивая его размеры, применяют разные хитрости. Например, если взять две обкладки в виде длинных полосок фольги, проложить между ними хотя бы тот же полиэтилен и свернуть все это как рулет, то получится очень компактный прибор с большой ёмкостью. Именно так устроены плёночные конденсаторы. Если вместо полиэтилена взять бумагу и пропитать её электролитом, то на поверхности фольги образуется тонкий слой оксида, который не проводит ток. Такой конденсатор будет называться электролитическим.

Существует много разных видов конденсаторов: бумажные, плёночные, оксидные алюминиевые и танталовые, вакуумные и т.п.

Очень важным является разделение конденсаторов на **полярные** и **неполярные**. Приборы на основе оксидов: электролитические алюминиевые и танталовые обычно являются полярными, а значит, если перепутать их

полярность – они выйдут из строя. Причём этот выход из строя будет сопровождаться бурной электрохимической реакцией вплоть до взрыва конденсатора.

На полярных конденсаторах всегда имеется маркировка. Как правило, на электролитических конденсаторах на корпусе контрастной полосой отмечается отрицательный вывод (катод), у танталовых (в желтых прямоугольных корпусах) полоской помечается положительный вывод (анод). Если есть сомнения в маркировке, то лучше найти документацию на этот конденсатор и убедиться. неполярные же конденсаторы можно включать в цепь какой угодно стороной. К примеру, многослойные керамические конденсаторы – неполярные.

4.1 Ёмкость и напряжение конденсатора

Ёмкость конденсатора характеризует способность конденсатора накапливать заряд. Это как ёмкость банки, в которой хранится, к примеру, вода. Кстати, не зря одним из первых электрических конденсаторов была так называемая Лейденская банка. Она представляла собой обыкновенную стеклянную посуду, снаружи обмотанную фольгой. В банку была налита токопроводящая жидкость – электролит. Фольга и электролит играли роль обкладок, а стекло банки служило тем самым диэлектрическим барьером. Ёмкость электрического конденсатора измеряют в фарадах. В схемах ёмкость обозначают латинской буквой *C*. Как правило, ёмкость классических конденсаторов варьируется от нескольких пикофарад (*пФ*) до нескольких тысяч микрофарад (*мкФ*). Ёмкость указывается на корпусе конденсатора. Если единицы не указаны – то это пикофарады. Микрофарады часто обозначают как *μF* – так как буква *μ* внешне похожа на греческую букву *μю*, которую используют вместо приставки микро. Существует и особый вид конденсаторов, называемых **ионисторами** (англ. **supercapacitor**), которые имеют ёмкость в несколько фарад! Чем больше ёмкость конденсатора, тем больше энергии в нём может храниться и тем дольше он заряжается, при прочих равных условиях [7].

Номинальное напряжение – второй важный параметр. Это такое напряжение, при котором конденсатор будет работать весь срок службы без критичного изменения своих параметров. Нельзя применять в 12-вольтовой цепи конденсатор на 6 вольт – он быстро выйдет из строя. Именно эти два параметра обычно наносят на поверхность корпуса конденсатора

(рисунок 4.2.1 – изображён электролитический конденсатор ёмкостью 470 мкФ и номинальным напряжением 16 Вольт).

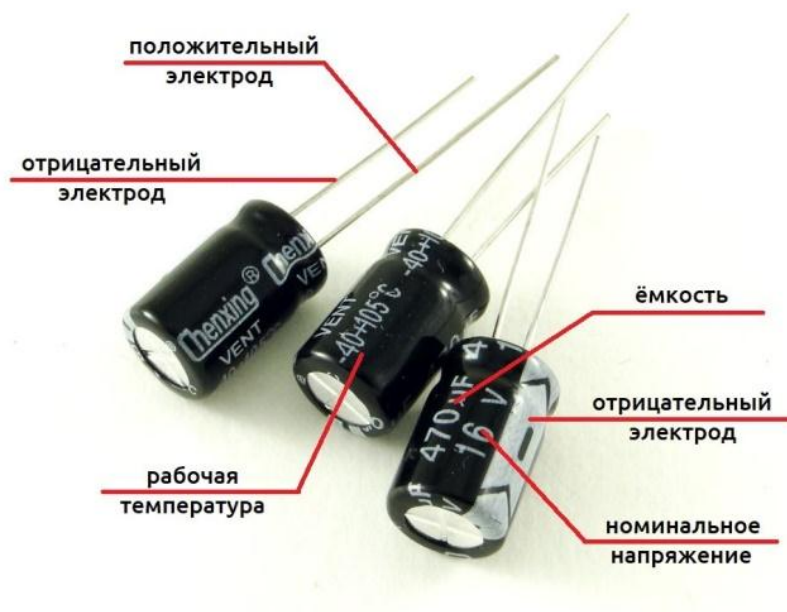


Рисунок 4.1.1 – Маркировка конденсатора

4.2 Параллельное и последовательное подключение конденсаторов

Как и в случае резисторов, конденсаторы можно составлять в цепочки. Это бывает нужно, когда в схеме необходима какая-то конкретная ёмкость, а у вас нет такого конденсатора [4].

В отличие от резисторов, при параллельном подключении конденсаторов (рисунок 4.1) их ёмкости складываются:

$$C_{Tot} = C_1 + C_2 + \dots + C_{N-1} + C_N. \quad (4.2.1)$$

Например, если нужно получить ёмкость 3000 мкФ, и есть два конденсатора по 1000 мкФ, и 10 штук по 100 мкФ, нужно поставить их параллельно и получится: $1000 \cdot 2 + 100 \cdot 10 = 2000 + 1000 = 3000$ мкФ.

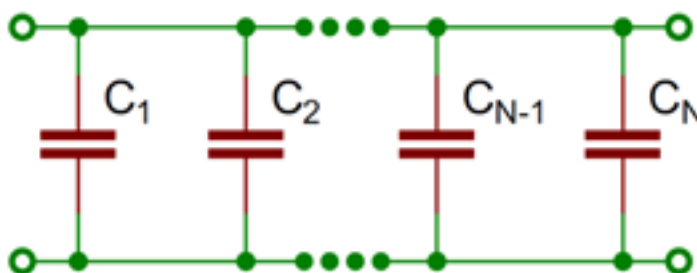


Рисунок 4.2.1 – Параллельное подключение конденсаторов

При последовательном подключении (рисунок 4.2.2) конденсаторы ведут себя как резисторы, соединённые параллельно. Например, суммарная ёмкость двух конденсаторов на 100 мкФ, соединённых последовательно, представлена в выражении (4.2.2).

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2} = \frac{100 + 100}{100 \cdot 100} = \frac{200}{10000} = \frac{1}{50}. \quad (4.2.2)$$

Суммарная ёмкость $C_{tot} = 50 \text{ мкФ}$.



Рисунок 4.2.2 – Последовательное подключение конденсаторов

4.3 Заряд и разряд конденсатора – RC-цепочка

Когда конденсатор заряжен, он ведет себя почти как короткое замыкание – ток через него течет без ограничений, устремляясь в бесконечность, а напряжение на нем стремится к нулю. Когда же он разряжен, то становится как обрыв и ток через него течь перестает, а напряжение на нем становится равным заряжающему источнику. Получается интересная зависимость – есть ток, нет напряжения, есть напряжение – нет тока [7].

Чтобы визуализировать себе этот процесс, можно представить воздушный шарик, который наполняется водой. Поток воды – это ток. Давление воды на упругие стенки – эквивалент напряжения. Когда шарик пуст – вода втекает свободно, большой ток, а давления еще почти нет – напряжение мало. Потом, когда шарик наполнится и начнет сопротивляться давлению, за счет упругости стенок, то скорость потока замедлится, а потом и вовсе остановится – силы сравнялись, конденсатор зарядился. Есть напряжение натянутых стенок, но нет тока!

Теперь, если снять или уменьшить внешнее давление, убрать источник питания, то вода под действием упругости хлынет обратно. Также и ток из конденсатора потечет обратно, если цепь будет замкнута, а напряжение источника ниже, чем напряжение в конденсаторе.

Участок цепи, на котором есть конденсатор и резистор называют RC-цепью (рисунок 4.3.1).

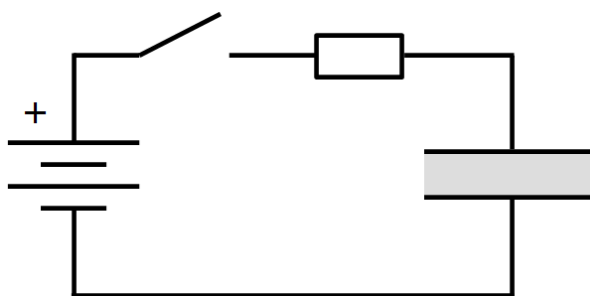


Рисунок 4.3.1 – RC-цепь

При замыкании ключа, в такой цепи образуется электрический ток, сила которого зависит от сопротивления резистора и внутреннего сопротивления самого конденсатора. Заряженные частицы устремятся к конденсатору, но не смогут преодолеть слой диэлектрика (по крайней мере, все разом). Вследствие чего, с одной стороны конденсатора накопятся отрицательно заряженные частицы, а с другой стороны – положительно заряженные. Концентрация заряженных частиц на обкладках создаст мощное электрическое поле между ними (рисунок 4.3.2).

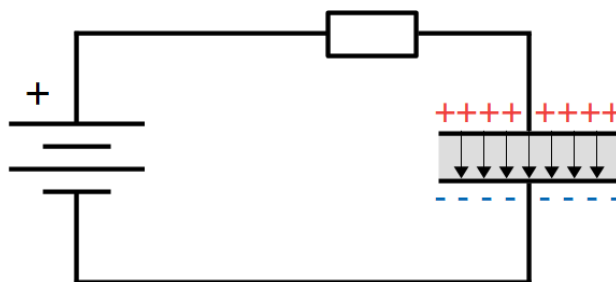


Рисунок 4.3.2 – Электрическое поле между обкладками конденсатора

С течением времени, напряжение на конденсаторе растет, а сила тока падает. После завершения процесса заряда, ток в цепи упадет почти до нуля. Останется только очень маленький **ток утечки**, который образуется благодаря тому, что некоторым заряженным частицам всё же удастся проскочить через слой диэлектрика. Напряжение, напротив, станет практически равным напряжению источника. При отключении конденсатора от источника питания, этот самый ток утечки постепенно разрядит конденсатор. Эта особенность электрических конденсаторов не даёт сделать из них контейнер для длительного хранения энергии. Хотя частично эту проблему решают *ионисторы*.

Резистор ограничивает ток, протекающий через конденсатор. Чем меньше заряженных частиц за единицу времени прибывает в конденсатор, тем больше времени для заряда ему потребуется. Конденсатор заряжается и разряжается по экспоненциальному закону (рисунок 4.3.3). Зная это, можно легко рассчитать время заряда/разряда в зависимости от его ёмкости и от сопротивления резистора [1].

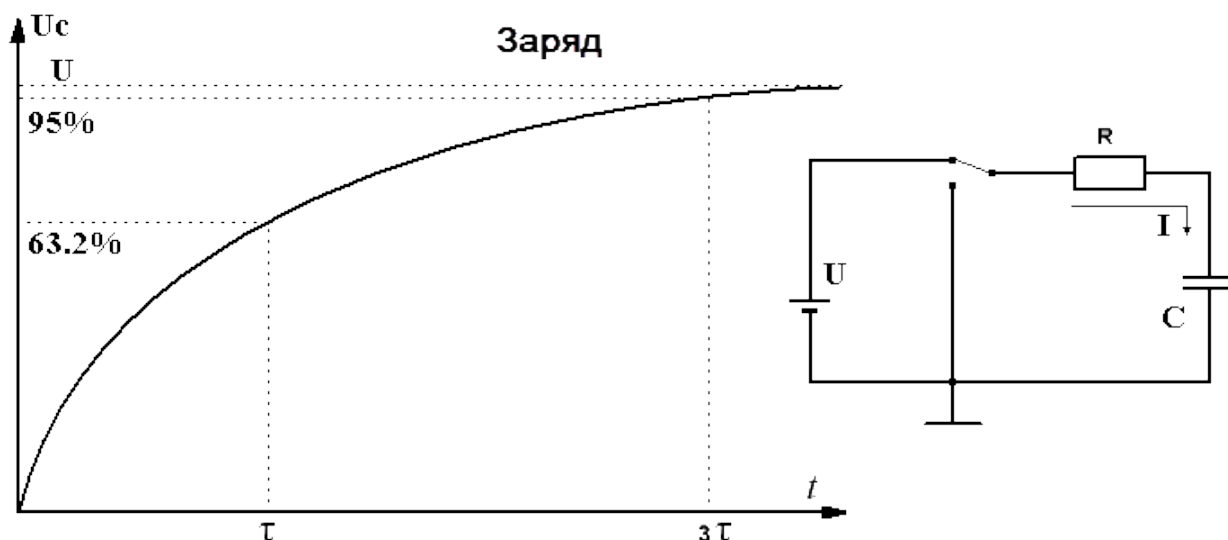


Рисунок 4.3.3 – Схема заряда конденсатора

Если конденсатор емкостью C последовательно с резистором R подключить к источнику постоянного напряжения U , в цепи пойдет ток, который за любое время t зарядит конденсатор до значения U_C и определится выражением (4.3.3).

$$I = C \cdot \left(\frac{d \cdot U_C}{dt} \right) = \frac{U - U_C}{R}. \quad (4.3.1)$$

Напряжение U_C на выводах конденсатора увеличивается от нуля до значения U по экспоненте (рисунок 4.3.3):

$$U_C = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \right). \quad (4.3.2)$$

При $t=RC$, напряжение на конденсаторе составит $U_C=U(1-e^{-1})$.

Время численно равно произведению RC , называется постоянной времени цепи RC и обозначается греческой буквой τ .

За время τ конденсатор зарядится до $(1 - e^{-1}) \cdot 100 \% \approx 63,2 \%$ значения U .

За время 3τ конденсатор зарядится до $(1 - e^{-3}) \cdot 100 \% \approx 95 \%$ значения U .

За время 5τ конденсатор зарядится до $(1 - e^{-5}) \cdot 100 \% \approx 99 \%$ значения U .

Если к конденсатору емкостью C , заряженному до напряжения U , параллельно подключить резистор сопротивлением R , тогда в цепи пойдет ток разряда конденсатора (рисунок 4.3.4).

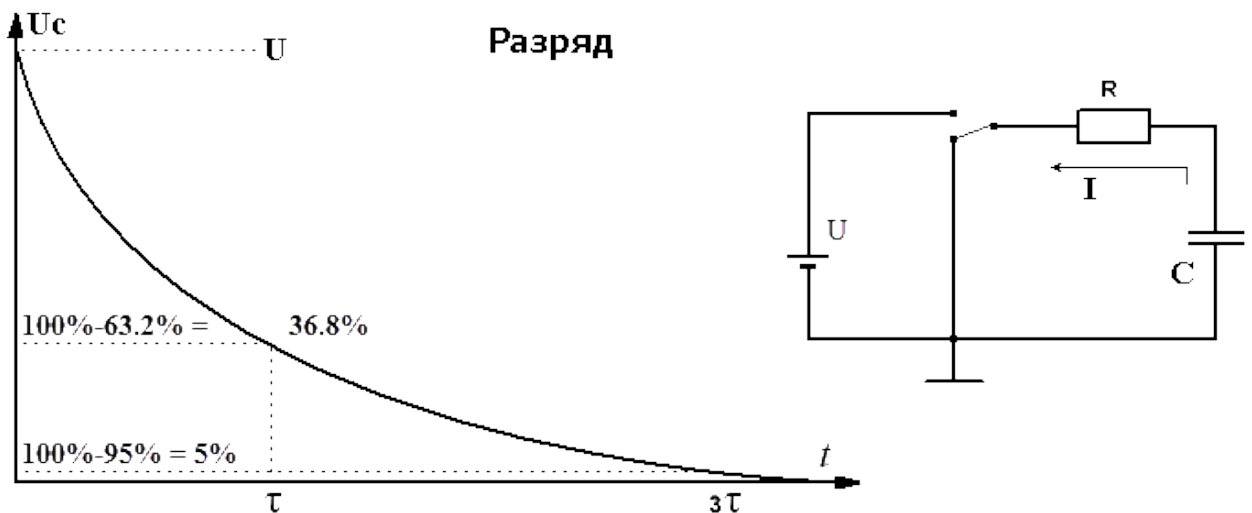


Рисунок 4.3.4 – Схема разряда конденсатора

Напряжение на конденсаторе при разряде будет составлять:

$$U_C = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U}{e^{\frac{t}{\tau}}}. \quad (4.3.3)$$

За время τ напряжение на конденсаторе уменьшится до значения U/e , что составит $(1/e) \cdot 100 \% \approx 36,8 \%$ значения U .

За время 3τ конденсатор разрядится до $(1/e^3) \cdot 100 \% \approx 5 \%$ значения U .

За время 5τ конденсатор разрядится до $(1/e^5) \cdot 100 \% \approx 1 \%$ значения U .

Параметр τ широко применяется при расчетах *RC-фильтров* различных электронных цепей и узлов.

4.4 Лабораторная работа № 4 «Исследование конденсатора. RC-цепь»

1 Цель работы:

- 1) Изучение времени заряда и разряда конденсатора.
- 2) Определение и настройка постоянной времени τ .
- 3) Изучение осциллографа.

2 Оборудование:

- 1) Мультиметр.
- 2) Лабораторный блок питания.
- 3) Осциллограф.
- 4) Макетная плата.
- 5) Соединительные провода.
- 6) Резисторы – 2 штуки ($100 \text{ Ом} < R_1 < 5 \text{ кОм}$, $10 \text{ кОм} < R_2 < 100 \text{ кОм}$).
- 7) Конденсаторы – 2 штуки.

3 Ход работы:

- 1) Записать характеристики используемых конденсаторов и резисторов в таблицы 4.4.1 и 4.4.2.

Таблица 4.4.1 – Характеристика конденсаторов

Конденсатор	Емкость, Ф	Рабочее напряжение, В
C_1		
C_2		

Таблица 4.4.2 – Характеристика резисторов

Резистор	Реальное сопротивление, Ом	Справочное сопротивление, Ом	Цветовая маркировка
R_1			
R_2			

- 2) Собрать схему, приведенную на рисунке 4.4.1, при $E = 5 \text{ В}$.

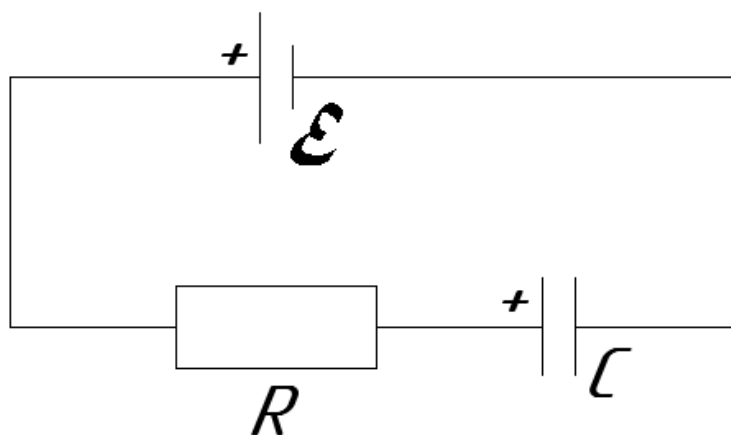


Рисунок 4.4.1 – Схема заряда конденсатора

- 3) Подключить осциллограф к выводам конденсатора и настроить осциллограф, включить лабораторный блок питания (более подробно о работе с осциллографом изложено в приложении П.5). При полном заряде конденсатора остановить график заряда на осциллографе и зарисовать его.
- 4) Возобновить работу осциллографа, отключить питание (схема, приведенная на рисунке 4.4.2), при полном разряде конденсатора остановить график разряда на осциллографе и зарисовать его.

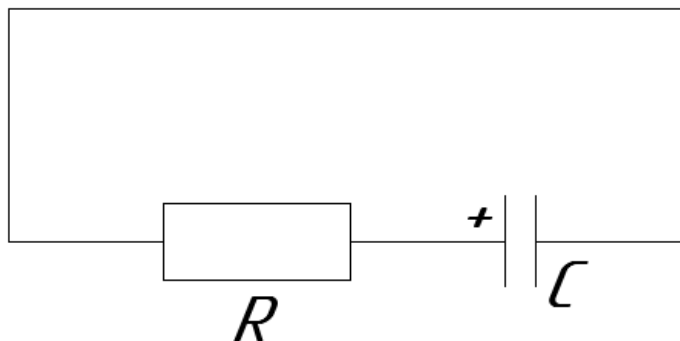


Рисунок 4.4.2 – Схема разряда конденсатора

- 5) Определить по графикам время полного (95-100 %) заряда и разряда конденсатора (должно почти совпасть). Результаты занести в таблицу 4.4.3.

Таблица 4.4.3 – Результаты

Вариант	$t_{зар.}$	$t_{разр.}$	τ	$n\tau_{зар.}$	$n\tau_{разр.}$
C_1+R_1					
C_1+R_2					
C_2+R_1					
C_2+R_2					

- 6) Вычислить τ ($\tau=RC$). Определить уровень заряда 63 % за время τ . Результаты занести в таблицу 4.4.3 и отметить на графиках, полученных на 3 и 4 этапах выполнения работы. По этим же графикам определить уровень заряда конденсатора за время τ в виде, представленном на рисунках 4.3.3, 4.3.4.
- 7) Определить по графикам и проверить численно (все графики заряда должны удовлетворять выражению (4.3.2), все графики разряда должны удовлетворять зависимости (4.3.3)) количество временных отрезков τ за все время заряда/разряда конденсатора. Результаты занести в таблицу 4.4.3, отобразить на графиках.
- 8) Используя полученные графики и численные результаты определите сопротивление, которое требуется для заданного времени заряда/разряда от 1 до 10 с (конденсатор и время, по которому нужно считать, уточнить к преподавателя). Записать ход вычислений и построить графики полученного результата.

Содержание отчета:

- 1) Таблица 4.4.1 – Характеристика конденсаторов.
- 2) Таблица 4.4.2 – Характеристика резисторов.
- 3) Схемы цепи заряда/разряда конденсатора (рисунки 4.4.1, 4.4.2).
- 4) Графики заряда/разряда конденсаторов (должно получиться 8 графиков).
- 5) Таблица 4.4.3 с результатами и записанным ходом вычислений.
- 6) Ход вычислений и графики результатов (должно получиться 2 графика) при определении требуемого сопротивления.
- 7) Выводы по результатам экспериментов.

Внимание! Схемы допускается начертить от руки.

Контрольные вопросы:

1. Определение и обозначение на схемах конденсатора.
2. Области применения конденсаторов.
3. Классификация и маркировка конденсаторов.
4. Основные параметры конденсаторов.
5. Параллельное подключение конденсаторов.
6. Последовательное подключение конденсаторов.
7. RC-цепочка.

Список литературы:

1. Борисов Ю.М. Электротехника: учебник для неэлектрических спец. вузов / Ю.М. Борисов, Ю.Н. Зорин, Д.Н. Липатов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 550 с.
2. Открытая физика : [сайт]. – Физикон, 1999-2018 – URL: <https://physics.ru/textbook/index.html> (дата обращения: 26.06.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

5. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Полупроводниковый диод – это полупроводниковый прибор с одним выпрямляющим электрическим переходом и двумя выводами, в котором используется то или иное свойство выпрямляющего электрического перехода [6].

В полупроводниковых диодах (рисунок 5.1) выпрямляющим электрическим переходом может быть электронно-дырочный (p-n) переход, либо контакт «металл-полупроводник», обладающий вентильным свойством, либо гетеропереход.

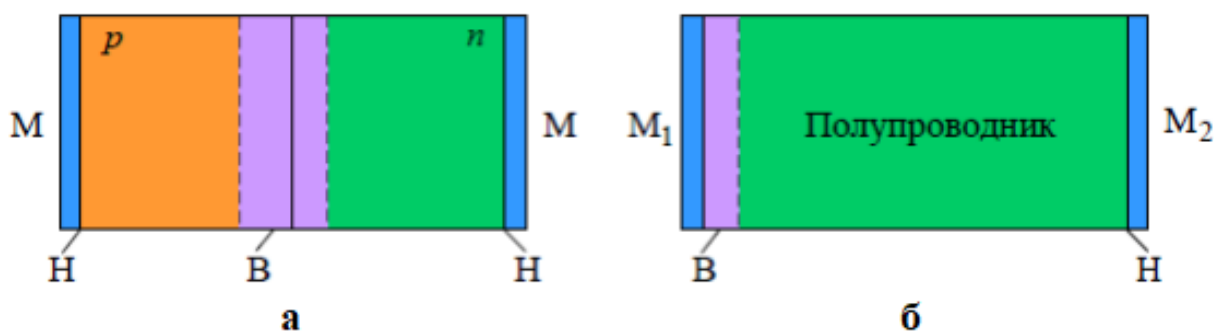


Рисунок 5.1 – Структуры полупроводниковых диодов

а – с выпрямляющим *p-n*-переходом;

б – с выпрямляющим переходом на контакте «металл-полупроводник»;

Н – невыпрямляющий (омический) переход;

В – выпрямляющий электрический переход;

М – металл.

В зависимости от типа перехода полупроводниковые диоды имеют следующие структуры (рисунок 5.1):

а) с *p-n*-переходом или гетеропереходом, в такой структуре кроме выпрямляющего перехода, должно быть два омических перехода, через которые соединяются выводы диода;

б) с выпрямляющим переходом в виде контакта «металл-полупроводник», имеющей всего один омический переход.

В большинстве случаев полупроводниковые диоды с *p-n*-переходами делают несимметричными, т. е. концентрация примесей в одной из областей значительно больше, чем в другой. Поэтому количество неосновных носителей, инжектируемых из сильно легированной (низкоомной) области,

называемой эмиттером диода, в слабо легированную (высокоомную) область, называемую базой диода, значительно больше, чем в противоположном направлении.

Классификация диодов производится по различным признакам:

- по типу полупроводникового материала – кремниевые, германиевые,
- из арсенида галлия;
- по назначению – выпрямительные, импульсные, стабилитроны, варикапы и др.;
- по технологии изготовления электронно-дырочного перехода – сплавные, диффузионные и др.;
- по типу электронно-дырочного перехода – точечные и плоскостные.

Основными классификационными признаками являются тип электрического перехода и назначение диода.

В зависимости от геометрических размеров p - n -перехода диоды подразделяют на плоскостные и точечные.

Плоскостными (рисунок 5.2) называют такие диоды, у которых размеры, определяющие площадь p - n -перехода, значительно больше его ширины. У таких диодов площадь p - n -перехода может составлять от долей квадратного миллиметра до десятков квадратных сантиметров.

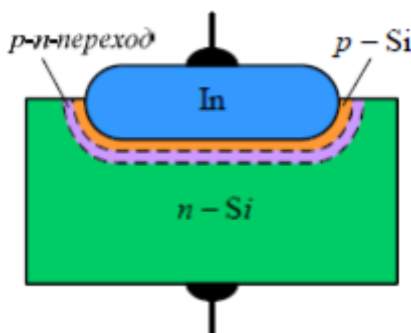


Рисунок 5.2 – Структура плоскостного диода, изготовленного методом сплавления

Плоскостные диоды изготавливают методом сплавления или методом диффузии.

Плоскостные диоды имеют сравнительно большую величину барьерной ёмкости (до десятков пикофард), что ограничивает их предельную частоту до 10 кГц.

Промышленностью выпускаются плоскостные диоды в широком диапазоне токов (до тысяч ампер) и напряжений (до тысяч вольт), что позволяет их использовать как в установках малой мощности, так и в установках средней и большой мощности.

Точечные диоды имеют очень малую площадь p - n -перехода, причем линейные размеры ее меньше толщины p - n -перехода.

Точечные p - n -переходы (рисунок 5.3) образуются в месте контакта монокристалла полупроводника и острия металлической проволоочки – пружинки.

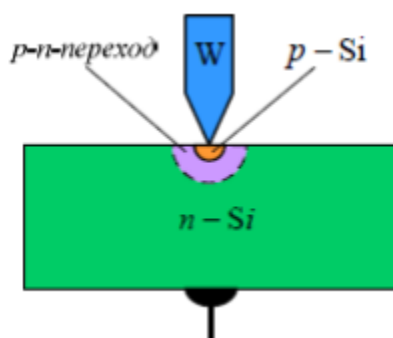


Рисунок 5.3 – Структура точечного диода

Для обеспечения более надежного контакта его подвергают формовке, для чего уже через собранный диод пропускают короткие импульсы тока.

В результате формовки из-за сильного местного нагрева материал острия пружинки расплавляется и диффундирует в кристалл полупроводника, образуя слой иного типа электропроводности, чем полупроводник. Между этим слоем и кристаллом возникает p - n -переход полусферической формы.

Благодаря малой площади p - n -перехода барьерная ёмкость точечных диодов очень незначительна, что позволяет использовать их на высоких и сверхвысоких частотах.

По аналогии с электровакуумными диодами, ту сторону диода, к которой при прямом включении подключается отрицательный полюс источника питания, называют *катодом*, а противоположную – *анодом*.

Выпрямительные диоды

Выпрямительный диод – это полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный.

Выпрямительные диоды, помимо применения в источниках питания для выпрямления переменного тока в постоянный, также используются в цепях управления и коммутации, в ограничительных и развязывающих

цепях, в схемах умножения напряжения и преобразователях постоянного напряжения, где не предъявляются высокие требования к частотным и временным параметрам сигналов.

Конструктивно выпрямительные диоды оформляются в металлических, пластмассовых или керамических корпусах в виде дискретных элементов (рисунок 5.4, а) либо в виде диодных сборок, к примеру, диодных мостов (рисунок 5.4, б) выполненных в едином корпусе.

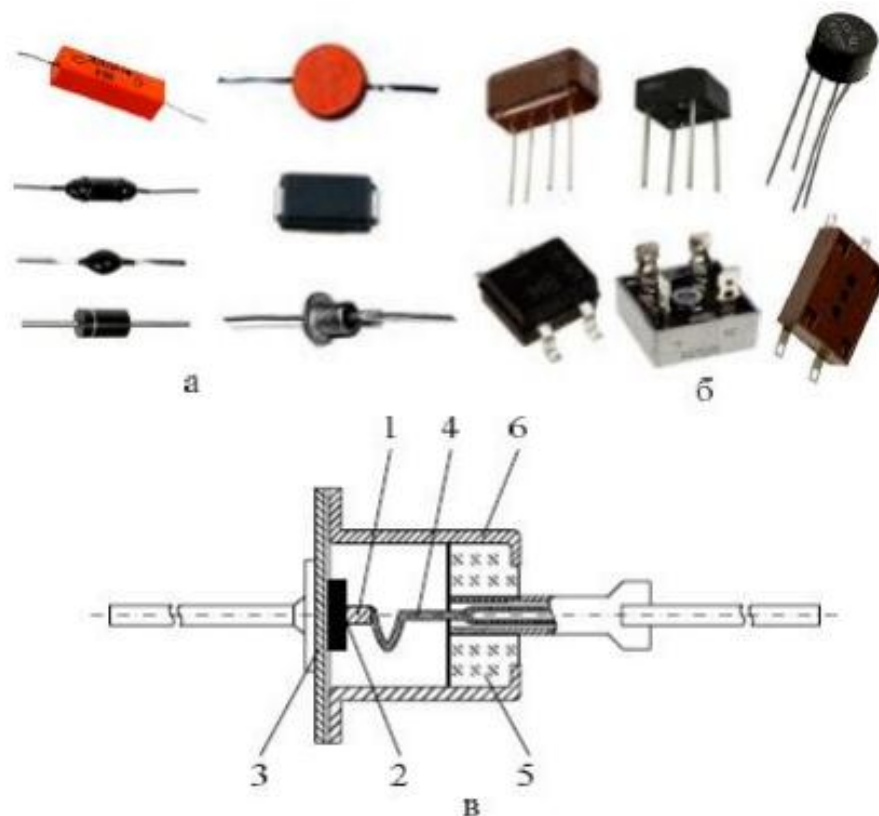


Рисунок 5.4 – Выпрямительные диоды: а – дискретное исполнение; б – диодные мосты; в – конструкция одного из маломощных диодов

На рисунке 5.4, в приведена конструкция выпрямительного маломощного диода, изготовленного методом сплавления. В качестве полупроводникового материала использован германий. Изготовление германиевых выпрямительных диодов начинается с впавления индия 1 в исходную полупроводниковую пластину (кристалл) германия 2 *n*-типа. Кристалл 2 припаивается к стальному кристаллодержателю 3. Основой конструкции является коваровый корпус 6, приваренный к кристаллодержателю. Корпус изолирован от внешнего вывода стеклянным проходным изолятором 5. Внутренний вывод 4 имеет специальный изгиб для уменьшения механических напряжений при изменении температуры. Внешняя поверхность стеклянного изолятора покрывается

светонепроницаемым лаком для предотвращения попадания света внутрь прибора, для устранения генерации пар «электрон-дырка» и увеличения обратного тока p - n -перехода.

Конструкция ряда маломощных кремниевых диодов практически не отличается от конструкции маломощных германиевых диодов. Кристаллы мощных выпрямительных диодов монтируются в массивном корпусе, который имеет стержень с резьбой для крепления диода на охлаждающем (радиаторе) (рисунок 5.5), для отвода выделяющегося при работе прибора тепла.

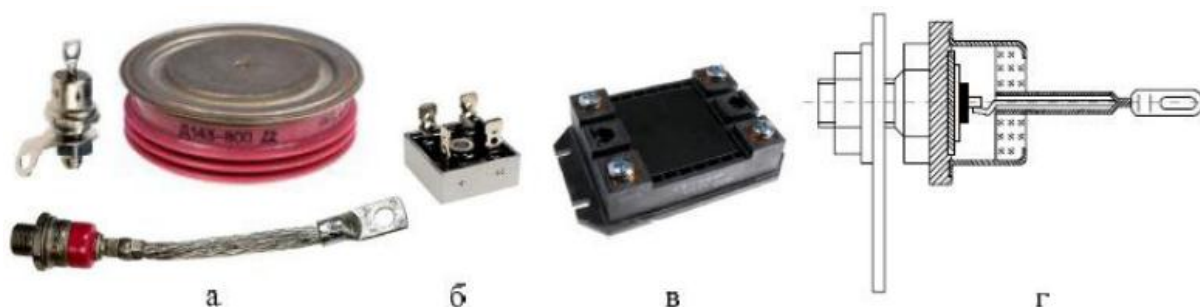


Рисунок 5.5 – Мощные выпрямительные диоды: а – дискретное исполнение; б – диодный мост; в – диодный силовой модуль; г – конструкция одного из маломощных диодов

Для получения p - n -переходов кремниевых выпрямительных диодов вплавляют алюминий в кристалл кремния n -типа или же сплава золота с сурьмой в кремний p -типа. Для получения переходов также используют диффузионные методы.

Выпрямительные диоды должны иметь как можно меньшую величину обратного тока, что определяется концентрацией неосновных носителей заряда или, в конечном счете, степенью очистки исходного полупроводникового материала. Типовая вольт-амперная характеристика выпрямительного диода описывается уравнением (5.4.1) и имеет вид, изображенный на рисунке 5.6.

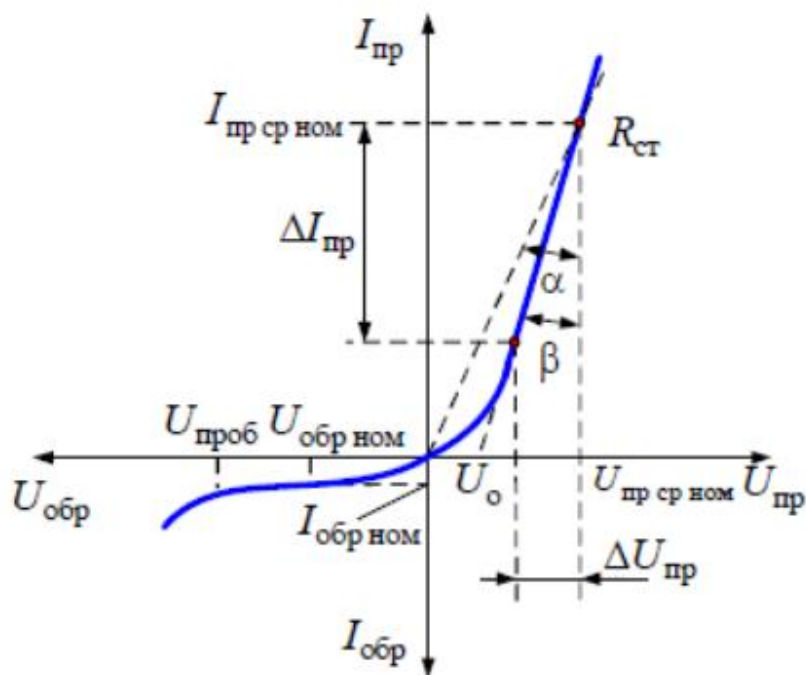


Рисунок 5.6 – Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода

$$I_{p-n} = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U_{BH}}{k \cdot T}} - 1 \right), \quad (5.4.1)$$

По вольт-амперной характеристике выпрямительного диода можно определить следующие основные параметры, влияющие на его работу:

- 1) *Номинальный средний прямой ток $I_{пр.ср.ном.}$* – среднее значение тока, проходящего через открытый диод и обеспечивающего допустимый его нагрев при номинальных условиях охлаждения.
- 2) *Номинальное среднее прямое напряжение $U_{пр.ср.ном.}$* – среднее значение прямого напряжения на диоде при протекании номинального среднего прямого тока. Этот параметр является очень важным для обеспечения параллельной работы нескольких диодов в одной электрической цепи.
- 3) *Напряжение отсечки U_0* , определяемое точкой пересечения линейного участка прямой ветви вольт-амперной характеристики с осью напряжений.
- 4) *Пробивное напряжение $U_{проб.}$* – обратное напряжение на диоде, соответствующее началу участка пробоя на вольт-амперной характеристике, когда она претерпевает излом в сторону резкого увеличения обратного тока.
- 5) *Номинальное обратное напряжение $U_{обр.ном.}$* – рабочее обратное напряжение на диоде; его значение для отечественных приборов составляет $0,5 \cdot U_{проб.}$. Этот параметр используется для обеспечения

последовательного включения нескольких диодов в одну электрическую цепь.

6) *Номинальное значение обратного тока $I_{обр.ном.}$* – величина обратного тока диода при приложении к нему номинального обратного напряжения.

7) *Статическое сопротивление диода:*

$$R_{ст} = \frac{U_{np}}{I_{np}} = tg\alpha, \quad (5.4.2)$$

где I_{np} – величина прямого тока диода;

U_{np} – падение напряжения на диоде при протекании тока I_{np} .

Статическое сопротивление диода представляет собой его сопротивление постоянному току. Кроме рассмотренной системы статических параметров в работе диодов важную роль играет система динамических параметров:

1. *Динамическое (дифференциальное) сопротивление $R_{дин}$:*

$$R_{дин} = \frac{\Delta U_{np}}{\Delta I_{np}} = tg\beta, \quad (5.4.3)$$

где ΔI_{np} – приращение прямого тока диода;

ΔU_{np} – приращение падения напряжения на диоде при изменении его тока ΔI_{np} .

Динамическое сопротивление играет важную роль и в рассмотрении процессов при обратном включении диода, например, в стабилитронах. Там динамическое сопротивление определяется через приращение обратного тока и обратного напряжения.

5.1 Лабораторная работа № 5 «Вольт-амперные характеристики диода»

1 Цель работы:

- 1) изучение приборов для работы с электрической цепью и ее элементами;
- 2) изучение работы закона Ома.

2 Оборудование:

- 1) Мультиметр.
- 2) Лабораторный блок питания.
- 3) Резисторы ~ 1 кОм, ~ 10 кОм, ~ 100 кОм.
- 4) Макетная плата.
- 5) Соединительные провода.
- 6) Диоды – 2 штуки.

3 Ход работы:

- 1) Выбрать диоды и заполнить таблицу 5.1.1.

Таблица 5.1.1 – Характеристика диодов

Резистор	Номер	Электрические характеристики		
		$U_{обр. макс.}, В$	$I_{пр. макс.}, мА$	$U_{пр. при I_{пр.}}, В$
D ₁				
D ₂				

- 2) Выбрать резисторы и заполнить таблицу 5.1.2.

Таблица 5.1.2 – Характеристика резисторов

Резистор	Реальное сопротивление, Ом	Справочное сопротивление, Ом	Цветовая маркировка
R ₁			
R ₂			
R ₃			

- 3) Собрать схемы по рисункам 5.1.1, 5.1.2. Снять ВАХ для каждого диода с каждым резистором. Шаг измерений $0,1 \pm 0,02$ В. Результаты занести в таблицу 5.1.3.

Внимание! Все измерения тока проводить в миллиамперах (mA); выставленное напряжение на лабораторном блоке питания уточнять при помощи вольтметра. Максимальное прямое напряжение определяется электрическими характеристиками U_{np} и I_{np} . При измерениях без резистора $V_{max} = U_{np}$ (таблица 5.1.1), с резистором прямое напряжение (максимальное) увеличивается в связи с ограничением тока и определяется $I_{np. макс.}$.

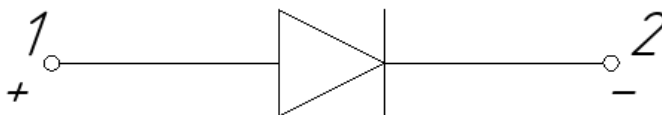


Рисунок 5.1.1 – Направление токов при подключении диода при 1 – анод и 2 – катод: «1-2» – прямое подключение; «2-1» – обратное подключение

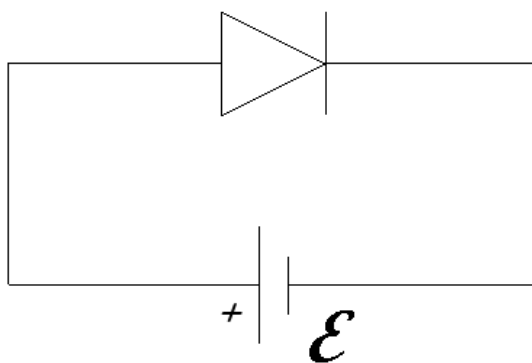


Рисунок 5.1.2 – Схема подключения диода

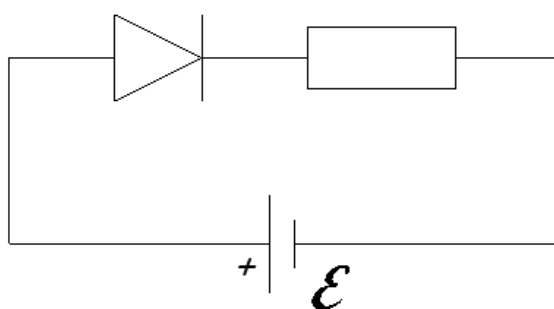


Рисунок 5.1.3 – Схема подключения диода с резистором

Таблица 5.1.3– Результаты измерения силы тока.

V	D ₁	D ₁ +R ₁	D ₁ +R ₂	D ₁ +R ₃	D ₂	D ₂ +R ₁	D ₂ +R ₂	D ₂ +R ₃
	I, mA	I, mA	I, mA	I, mA	I, mA	I, mA	I, mA	I, mA
0,1								
0,2								
...								

4) Построить графики ВАХ (рисунок 5.6).

Внимание! При построении в тетради:

- 1 шаг по напряжению – 1 клетка по оси напряжения;
- по оси тока количество клеток = количеству шагов по напряжению. Вычислить максимальное значение одной клетки можно, разделив наибольшее значение по току на количество шагов по напряжению.

Содержание отчета:

- 1) Заполненные таблицы 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 с пояснениями.
- 2) Схемы подключения диода без резистора и с резистором (перед таблицей 5.1.3).
- 3) Графики ВАХ (8 графиков).
- 4) Наблюдения и выводы (влияние резистора на ВАХ, причины непостоянства тока при измерениях).

Внимание! Схемы допускается начертить от руки.

Контрольные вопросы:

1. Структуры полупроводниковых диодов.
2. Классификация диодов.
3. Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода.

Список литературы:

1. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: справочное руководство / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
2. Открытая физика : [сайт]. – Физикон, 1999-2018 – URL: <https://physics.ru/textbook/index.html> (дата обращения: 26.06.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

6. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

6.1 Структура транзисторов

Биполярный транзистор (обычно его называют просто транзистором) – это полупроводниковый прибор с двумя или более взаимодействующими выпрямляющими электрическими переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических сигналов [7].

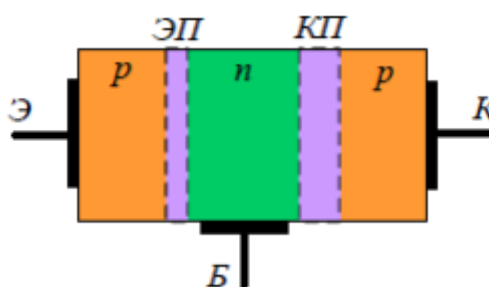


Рисунок 6.1.1 – Структура биполярного транзистора

Транзистор (полупроводниковый триод) был создан американскими учеными Дж. Бардином, У. Браттейном и У. Шокли в 1948 году. Это событие имело громадное значение для полупроводниковой электроники. Транзисторы могут работать при значительно меньших напряжениях, чем ламповые триоды, и не являются простыми заменителями последних, а их можно использовать помимо усиления и генерирования сигналов переменного тока в качестве ключевых элементов. Определение «биполярный» указывает на то, что работа транзистора связана с процессами, в которых принимают участие носители заряда, как электроны, так и дырки.

Структура биполярного транзистора изображена на рисунке 6.1.1. Он представляет собой монокристалл полупроводника, в котором созданы три области с чередующимися типами электропроводности. На границах этих областей возникают электронно-дырочные переходы. От каждой области полупроводника сделаны токоотводы (омические контакты). Среднюю область транзистора, расположенную между электронно-дырочными переходами, называют базой (Б). Примыкающие к базе области обычно делают неодинаковыми. Одну из областей делают так, чтобы из неё наиболее эффективно проходила инжекция носителей заряда в базу, а другую – так, чтобы p - n -переход между базой и этой областью наилучшим образом собирал инжектированные в базу носители заряда, то есть осуществлял экстракцию носителей заряда из базы.

Область транзистора, основным назначением которой является инжекция носителей заряда в базу, называют *эмиттером* (Э), а *p-n*-переход между базой и эмиттером – *эмиттерным* (ЭП). Область транзистора, основным назначением которой является собирание, экстракция носителей заряда из базы, называют *коллектором* (К), а *p-n*-переход между базой и коллектором – *коллекторным* (КП). В зависимости от типа электропроводности крайних слоев (эмиттера и коллектора) различают транзисторы *p-n-p* и *n-p-n* типа. В обоих типах транзисторов физические процессы аналогичны, они различаются только типом инжектируемых и экстрагируемых носителей и имеют одинаково широкое применение.

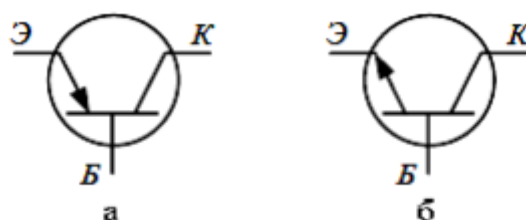


Рисунок 6.1.2 – Условное обозначение транзисторов: а – транзистор *p-n-p* типа; б – транзистор *n-p-n* типа

На принципиальных электрических схемах транзисторы изображают условными графическими обозначениями, представленными на рисунке 6.1.2.

Конструктивно биполярные транзисторы оформляются в металлических, пластмассовых или керамических корпусах (рисунок 6.1.3, а).

При работе транзистора к его электродам прикладываются напряжения от внешних источников питания. В зависимости от полярности напряжений, приложенных к электродам транзистора, каждый из *p-n*-переходов может быть смещен в прямом или в обратном направлении, исходя из этого, возможны четыре режима работы транзистора (таблица 6.1.1).

Таблица 6.1.1 – Режимы работы биполярного транзистора

Эмиттерный переход	Коллекторный переход	Режим работы транзистора
прямое	обратное	Активный (усилительный)
прямое	прямое	насыщения
обратное	обратное	отсечки
обратное	прямое	инверсный

Если на эмиттерном переходе напряжение прямое, и он инжектирует носители в базу, а на коллекторном переходе напряжение обратное, и он собирает носители из базы, то такое включение транзистора называют *нормальным*, а транзистор работает в *активном (усилительном)* режиме.

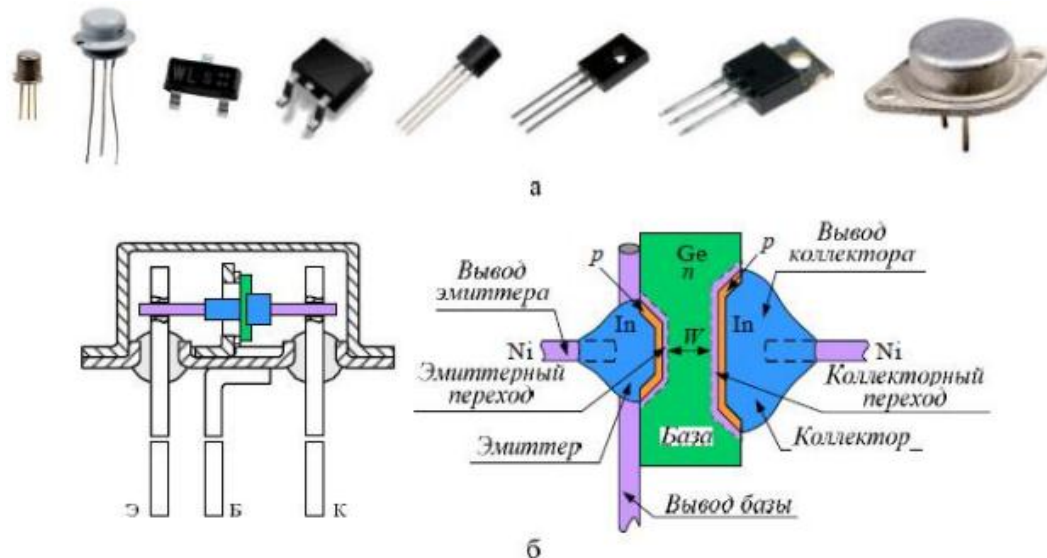


Рисунок 6.1.3 – Общий вид (а) и конструктивное оформление биполярных транзисторов (б)

В режиме насыщения оба р-п-перехода включены в прямом направлении, переходы насыщены подвижными носителями заряда, их сопротивления малы. В режиме отсечки оба р-п-перехода включены в обратном направлении. В электродах транзистора протекают тепловые токи обратновключенных переходов. Если же на коллекторном переходе напряжение прямое, и он инжектирует носители в базу, а на эмиттерном переходе напряжение обратное, и он осуществляет экстракцию носителей из базы, то такое включение транзистора называют инверсным, а транзистор работает в инверсном режиме. При инверсном включении транзистора необходимо учитывать следующие особенности:

- 1) Поскольку эмиттерный переход по площади меньше, чем коллекторный, то из того количества носителей, которые инжектируются коллекторным переходом, меньшее количество собирается эмиттерным переходом, что снижает величину тока этого перехода.
- 2) Это приводит к изменению заряда носителей в базе и, следовательно, к изменению барьерной ёмкости переходов, т. е. к изменению частотных свойств транзистора.

6.2 Режимы работы транзистора

На рисунке 6.2.1 представлен каскад усиления на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером. При изменении величины входного сигнала будет изменяться ток базы I_B . Ток коллектора I_K изменяется пропорционально току базы [7]:

$$I_K = \beta \cdot I_B. \quad (6.2.1)$$

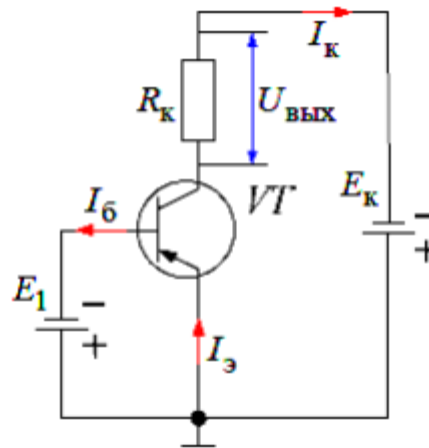


Рисунок 6.2.1 – Схема усилительного каскада

Изменение тока коллектора можно проследить по выходным характеристикам транзистора (рисунок 6.2.2). На оси абсцисс отложим отрезок, равный E_K – напряжению источника питания коллекторной цепи, а на оси ординат отложим отрезок, соответствующий максимально возможному току в цепи этого источника:

$$I_{Kmax} = \frac{E_K}{R_K}. \quad (6.2.2)$$

Между этими точками проведена прямая линия, которая называется *линией нагрузки* и описывается уравнением:

$$I_K = \frac{E_K - U_{КЭ}}{R_K}, \quad (6.2.3)$$

где $U_{КЭ}$ – напряжение между коллектором и эмиттером транзистора;

R_K - сопротивление нагрузки коллекторной цепи.

Из (6.2.3) следует:

$$R_K = \frac{E_K}{I_{Kmax}} = tg\alpha, \quad (6.2.4)$$

И, следовательно, наклон линии нагрузки определяется сопротивлением R_K . Из рисунка 6.2.2 следует, что в зависимости от тока базы I_B , протекающего во входной цепи транзистора, рабочая точка транзистора, определяющая его коллекторный ток и напряжение $U_{КЭ}$, будет перемещаться вдоль линии нагрузки от самого нижнего положения (точки 1, определяемой пересечением линии нагрузки с выходной характеристикой при $I_B = 0$), до точки 2, определяемой пересечением линии нагрузки с начальным крутовозрастающим участком выходных характеристик.

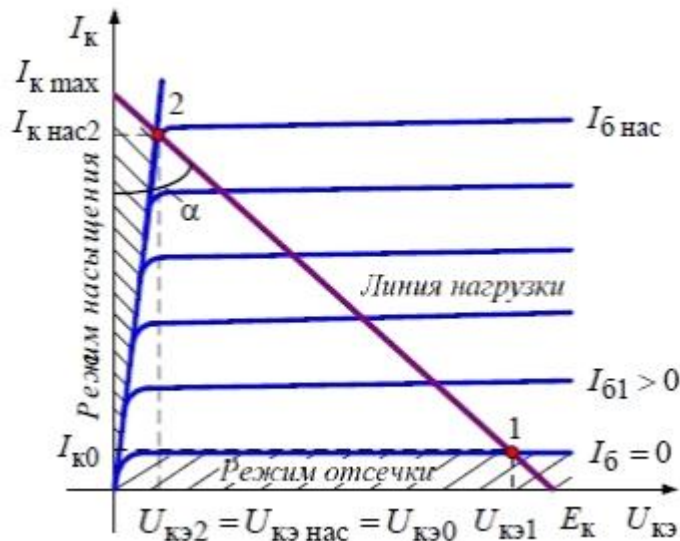


Рисунок 6.2.2 - Режим работы биполярного транзистора

Зона, расположенная между осью абсцисс и начальной выходной характеристикой, соответствующей $I_B = 0$, называется *зоной отсечки*. Она характеризуется тем, что оба перехода транзистора – эмиттерный и коллекторный смещены в обратном направлении. Коллекторный ток при этом представляет собой обратный ток коллекторного перехода – I_{K0} , который очень мал и поэтому почти все напряжение источника питания E_K падает между эмиттером и коллектором закрытого транзистора:

$$U_{КЭ} \approx E_K. \quad (6.2.5)$$

А падение напряжения на нагрузке U_{R_K} очень мало и равно:

$$U_{R_K} = I_K \cdot R_K. \quad (6.2.6)$$

Говорят, что в этом случае транзистор работает в *режиме отсечки*. Поскольку в этом режиме ток, протекающий по нагрузке исчезающе мал, а почти все напряжение источника питания приложено к закрытому транзистору, то в этом режиме транзистор можно представить в виде разомкнутого ключа.

Если теперь увеличивать базовый ток I_B , то рабочая точка будет перемещаться вдоль линии нагрузки, пока не достигнет точки 2. Базовый ток, соответствующий характеристике, проходящей через точку 2, называется *током базы насыщения* $I_{Bнас}$. Здесь транзистор входит в режим насыщения и дальнейшее увеличение базового тока не приведет к увеличению коллекторного тока I_K . Зона между осью ординат и круто изменяющимся участком выходных характеристик называется *зоной насыщения*.

В этом случае оба перехода транзистора смещены в прямом направлении; ток коллектора достигает максимального значения и почти равен максимальному току источника коллекторного питания:

$$I_{Kmax} \approx I_{Kнас2}, \quad (6.2.7)$$

а напряжение между коллектором и эмиттером открытого транзистора $U_{КЭ0}$ оказывается очень маленьким. Поэтому в режиме насыщения транзистор можно представить в виде замкнутого ключа.

Промежуточное положение рабочей точки между зоной отсечки и зоной насыщения определяет работу транзистора в режиме усиления, а область, где она находится, называется активной областью. При работе в этой области эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный – в обратном.

6.3 Лабораторная работа № 6 «Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора»

1 Цель работы:

- 1) исследование работы биполярного транзистора;
- 2) построение вольт-амперных характеристик;
- 3) определение рабочей точки.

2 Оборудование:

- 1) Мультиметр.
- 2) Лабораторный блок питания.
- 3) Резисторы.
- 4) Макетная плата.
- 5) Соединительные провода.
- 6) Биполярный транзистор КТ3102 (n-p-n) / КТ3107 (p-n-p).

3 Ход работы:

- 1) Получить биполярный транзистор, найти в интернете его характеристики и назначение, заполнить таблицу 6.3.1.

Таблица 6.3.1 – Характеристика транзистора

Транзистор	Маркировка	Назначение	Электрические характеристики
T ₁			

- 2) Собрать схему с общим эмиттером (рисунок 6.3.1).

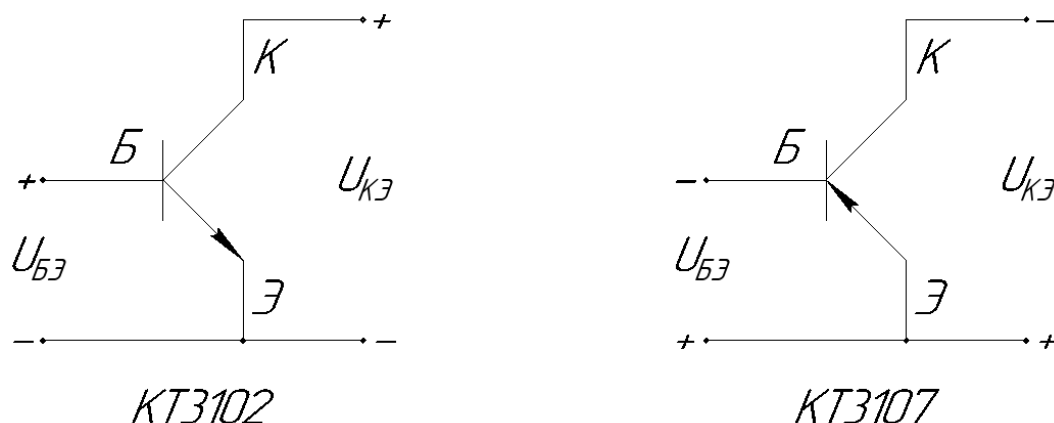


Рисунок 6.3.1 – Схема с общим эмиттером

- 1.1) Заполнить таблицу 6.3.2 и построить по данным графики входных характеристик транзистора.

Таблица 6.3.2 – Входные характеристики транзистора

$U_{КЭ}, В$	$U_{БЭ}, В$	$I_B, А$		$U_{КЭ}, В$	$U_{БЭ}, В$	$I_B, А$		$U_{КЭ}, В$	$U_{БЭ}, В$	$I_B, А$
0	0,2		3,3	5	–	–	5	–	–	
	0,3				0,3			0,3		
	0,4				0,4			0,4		
	0,5				0,5			0,5		
	0,6				0,6			0,6		
	0,7				0,7			0,7		
	0,8				0,8			0,8		
	0,9				0,9			0,9		
	1,0				1,0			1,0		

Внимание! Все графики необходимо построить отдельно (должно получиться 3 графика).

- 1.2) Ограничить ток базы (таблица 6.3.3) с помощью резистора (резисторы нужных номиналов подобрать самостоятельно), напряжение $U_{БЭ}$ принять равным 5 В (рисунок 6.3.2). Занести используемые резисторы в таблицу 6.3.3.

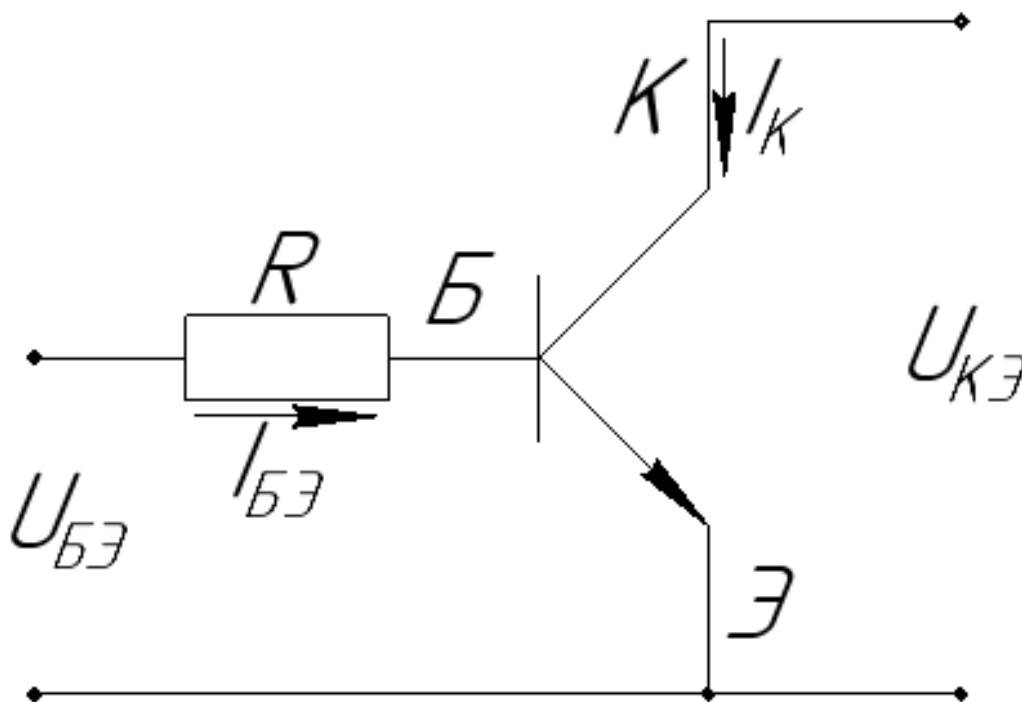


Рисунок 6.3.2 – Схема подключения резистора

Таблица 6.3.3 – Характеристики резисторов

Резистор	Реальное сопротивление	Справочное сопротивление	Цветовая маркировка
R_1			
R_2			
...			
R_n			

1.3) Заполнить таблицу 6.3.4 и построить по данным графики выходных характеристик транзистора.

Таблица 6.3.4 – Выходные характеристики транзистора

$U_{кэ}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I_b	$I_k, \text{мА}$									
0,2										
0,4										
0,6										
0,8										
1,0										
1,2										

Внимание! Все графики разместить на одном рисунке.

3) Важным параметром транзисторов является максимальная рассеиваемая мощность. Это та мощность, которая в транзисторе превращается в тепло (6.3.1).

$$P = U_{кэ} \cdot I_k. \quad (6.3.1)$$

Содержание отчета:

- 1) Заполненные таблицы 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 с пояснениями.
- 2) Схемы подключения транзистора без резистора и с резистором (перед таблицей 5.1.3).
- 3) Графики ВАХ (8 графиков).
- 4) Наблюдения и выводы (влияние резистора на ВАХ, причины непостоянства тока при измерениях).

Внимание! Схемы допускается начертить от руки.

Контрольные вопросы:

1. Структура биполярного транзистора.
2. Режимы работы транзистора.

Список литературы:

1. Открытая физика : [сайт]. – Физикон, 1999-2018 – URL: <https://physics.ru/textbook/index.html> (дата обращения: 26.06.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов Ю.М. Электротехника: учебник для неэлектрических спец. вузов / Ю.М. Борисов, Ю.Н. Зорин, Д.Н. Липатов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 550, [2] с. ; 84х108/32. – Предм. указ. : с. 538-543. – Рус. яз. – Текст: непосредственный.
2. Бутырин П.А. Электротехника: учебник для проф. Образования / П.А. Бутырин, О.В. Толчеев, Ф.Н. Шакирзянов ; под ред. П.А. Бутырина. – 12-е изд., стер. – Москва : Академия, 2017. – 266, [1] с. : ил. ; 60х90/16. – (Профессиональное образование). – Библиогр.: с. 263. – ISBN 978-5-4468-5112-6. – Текст: непосредственный.
3. Глазачев А.В. Физические основы электроники. Конспект лекций / А.В. Глазачев, В.П. Петрович. – Томск, 2015. – 224 с. – Текст: непосредственный.
4. Иванов И.И. Электротехника: основные положения, примеры и задачи / И.И. Иванов, А.Ф. Лукин, Г.И. Соловьев. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2002. – 191 с. ; 84х108/32. – Библиогр.: с. 188. – ISBN 5-8114-0460-3. – Текст: непосредственный.
5. Макенова Н.А. Решебник по электротехнике: учебное пособие / Н.А. Макенова, Т.Е. Хохлова, Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 165 с. – Текст: непосредственный.
6. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: справочное руководство / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с. : ил. – Пер. с нем. – Библиогр.: с. 498-500. – Рус. яз. – Текст: непосредственный.
7. Открытая физика : [сайт]. – Физикон, 1999-2018 – URL: <https://physics.ru/textbook/index.html> (дата обращения: 26.06.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

Использование мультиметра

Мультиметр – это портативный специализированный прибор для измерения с большим цифровым ЖК-дисплеем, а также подсветкой, обеспечивающей удобство снимать показания. Выбор диапазона можно настраивать одной рукой, что делает измерения удобными. В приборе имеются защита от перегрузки и индикация разряженной батареи.

Мультиметр может использоваться для измерения постоянного и переменного напряжения и тока, сопротивления, проверки целостности цепи и тестирование диодов, обнаруживает разрыв в кабельных линиях, отслеживает маршруты кабельных линий, а также обнаруживает сеть, целостность кабеля.

В ходе выполнения лабораторных работ будут использоваться цифровые мультиметры фирмы Mastech моделей MS8235 (рисунок П.1.1.1) и MY68 (рисунок П.1.2.1).

Для обеспечения безопасной работы с приборами следует соблюдать ряд правил:

- 1) Щупы должны быть в исправном состоянии. Перед использованием убедитесь в том, что щупы и изоляция проводников не повреждена.
- 2) При работе в режиме ручного диапазона, когда заранее неизвестна величина измеряемого сигнала, установите изначально наивысший диапазон.
- 3) Если мультиметр подключен к измерительной цепи, не прикасайтесь к неиспользованным разъемам.
- 4) Работая со щупами, держите пальцы за защитными ограничителями.
- 5) Не подключайте щупы мультиметра к источнику напряжения при включенном режиме измерения тока, сопротивления, диодного теста или проверки целостности цепи. Это может привести к повреждению цепи.
- 6) Перед изменением положения поворотного переключателя для выбора режима и диапазона, отключите щупы от исследуемой цепи.

Мультиметр Mastech MS8235



Рисунок П.1.1.1 – Устройство мультиметра Mastech MS8235

Таблица П.1.1.1– Устройство мультиметра Mastech MS8235

№ позиции	Название	Назначение
1	Индикатор	Бесконтактное обнаружение напряжения
2	ЖК-дисплей	Отображение информации
3	Кнопка HOLD	Функция удержания показаний (измеритель находится в режиме DATA-HOLD)

Окончание таблицы П.1.1.1

4	Кнопка MAX	Фиксация максимального значения измерений
5	Кнопка RANGE	Переключение между ручным и автоматическим выбором диапазона
6	Кнопка FUNC	Переключение функций измерений
7	Кнопка	Включение подсветки
8	Кнопка Test	Для проверки сетевого кабеля на целостность
9	Панель прибора	Список измерений
10	Поворотный переключатель	Выбор диапазонов
11	Гнездо mA/μA/V/Ω	Гнездо для измерений тока, напряжения, сопротивления, проверки диодов
12	COM гнездо	Для подключения общего провода для всех измерений (подключается черный провод или "Com")
13	10 A гнездо	Для измерения тока в диапазоне 0,2-10 А
14	Защитная крышка	Защитная функция

Внимание! При низком диапазоне напряжений непостоянные показания появляются прежде, чем вы подключите щупы к цепи. Это нормально, потому что мультиметр является высокочувствительным прибором. Когда подключите щупы к цепи, истинное значение будет отображаться на дисплее.

Применение прибора

1) *Функции переключения:*

1.1 Нажмите кнопку "**FUNC**" для переключения между измерениями переменного и постоянного тока в текущем диапазоне.

1.2 Нажмите кнопку "**FUNC**" для переключения между режимом тестирования диодов и проверки непрерывности цепей.

2) *Функции переключения диапазона:*

2.1 Когда мультиметр включается, у него по умолчанию выбрана функция автоматического выбора диапазона для измерения тока, напряжения, сопротивления.

2.2 Нажмите кнопку "**RANGE**", чтобы войти в ручной режим выбора диапазонов. Диапазон будет увеличиваться каждый раз при нажатии кнопки и вернется к самому низкому уровню при достижении наивысшего уровня значения.

2.3 Нажмите и удерживайте кнопку "**RANGE**" более 2х секунд, чтобы вернуться в автоматический режим.

3) *Функция Максимальное значение измерений:*

3.1 Функция максимального значения измерений может быть использована при измерении тока и напряжения.

3.2 Для отображения измеренного максимального значения во время измерения нажмите кнопку “**MAX**”, и измеренное максимальное значение появится на дисплее.

3.3 Нажмите кнопку “**MAX**” еще раз для выхода из функции максимальное значение измерения.

4) *Функция фиксации значения:*

4.1 Зафиксируйте значение во время измерения, нажав кнопку “**HOLD**”, и измеренное значение зафиксируется на ЖК-дисплее.

4.2 Нажмите кнопку “**HOLD**” еще раз для выхода из режима.

5) *Функция подсветки:*

5.1 Если слишком темно, нажмите и удерживайте кнопку  более 2х секунд, чтобы включить подсветку; для выключения подсветки еще раз нажмите и удерживайте кнопку более 2х секунд.

5.2 После включения подсветки, если кнопку  не удерживать более 2х секунд, подсветка будет автоматически выключена через 15 секунд.

Измерение постоянного напряжения

- 1) Подключите черный и красный щупы к гнездам COM и V соответственно.
- 2) Нажмите кнопку "RANGE", чтобы выбрать автоматический или ручной режим выбора диапазона.
- 3) Подключите щупы к источнику напряжения или нагрузке в параллели для измерений.
- 4) Снимите показание измерений на основной части отображения ЖК-дисплея. Индикация полярности покажет полярность гнезда, к которому подключен красный щуп.

Внимание!

- 1) В ручном режиме, если на ЖК-дисплее появится значок "OL" , это означает, что измерения превысили диапазон и более широкий предел должен быть выбран для этих измерений.
- 2) В ручном режиме, если предел измеренных значений заранее неизвестен, то высокий диапазон должен быть установлен, а затем постепенно его уменьшать по необходимости.

Измерение постоянного тока

- 1) Подключите черный щуп к гнезду COM. Когда ток для измерения ниже 200мА, подключите красный щуп к гнезду мкА / мА, когда измеряемый ток выше 200мА, но ниже 10А, подключите красный щуп к гнезду 10А.

- 2) Установить выбор диапазона в позицию $\approx$.
- 3) Нажмите кнопку “**FUNC**” для переключения в режим измерения постоянного тока, и нажмите кнопку “**RANGE**”, чтобы выбрать автоматический или ручной режим выбора диапазона.
- 4) Подсоедините щупы к цепи последовательно для измерений.
- 5) Снимите показание, отображенное на основной части ЖК-дисплея. Индикация полярности покажет полярность гнезда, подключенного к красному щупу.

Внимание!

- 1) В ручном режиме, если на ЖК-дисплее отображается “**0L**” только, это означает, что измерения превысили предел, и более высокий диапазон должен быть выбран.
- 2) В ручном режиме диапазоне, если предел измеренных значений заранее неизвестен, то высокий диапазон должен быть установлен, а затем постепенно его уменьшать по необходимости.
- 3) Строго соблюдайте диапазоны и соответствующее подключение щупов.

Мультиметр Mastech MY68



Рисунок П.1.2.1 – Устройство мультиметра Mastech MY68

Таблица П.1.2.1– Устройство мультиметра Mastech MS8235

№ позиции	Название	Назначение
1	Кнопка RANGE	Переключение между ручным и автоматическим выбором диапазона
2	Кнопка DATA-H	Включение/выключение фиксации показания

Окончание таблицы П.1.2.1

3	Кнопка AC/DC / 	Выбор режима проверки диодов или «прозвонки» цепи/выбор режима измерения постоянного или переменного тока/отключение функции автоматического выключения прибора
4	Колодка для подключения транзистора для проверки	
5	Поворотный переключатель/выключатель питания	Выбор диапазонов
6	Входное гнездо V/ Ω/f/cX	Гнездо входа для подключения штекера красного щупа при измерении напряжения, сопротивления, частоты, емкости, проверке диодов и «прозвонке» цепи
7	Входное гнездо COM	Для подключения общего провода для всех измерений (подключается черный провод или «Com»)
8	Входное гнездо mA / 	Гнездо входа при измерении тока в диапазоне 0.1мкА.400мА для подключения штекера красного щупа или штекера « $\pm$ » приставки токоизмерительные клещи
9	Входное гнездо 10 A	Гнездо входа для подключения штекера красного щупа при измерении тока в диапазоне 400мА,10А

Применение прибора

- 1) *Режим фиксации текущего показания* позволяет остановить обновление показания на дисплее и зафиксировать текущее показание. При включении режима фиксации текущего показания при автоматическом выборе диапазона мультиметр переходит в режим ручного выбора, сохраняя текущий диапазон. Режим фиксации будет выключен при изменении режима измерения, нажатии кнопки **RANGE** или повторном нажатии кнопки **HOLD**. Для включения и выключения режима фиксации показания:

- 1.1 Нажмите кнопку **HOLD** (короткое нажатие); на экране будет зафиксировано текущее показание и появится символ "H".

- 1.2 Повторное нажатие этой кнопки вернет обычный режим работы мультиметра.

2) *Режимы.* Этот мультиметр имеет ручной и автоматический режимы выбора диапазона. Прибор производит его выбор, обеспечивая наилучшее разрешение в соответствии с величиной входного сигнала. Это позволяет не заботиться при измерении о перегрузке мультиметра. При ручном выборе диапазон выбирается оператором. Это позволяет проводить измерение при заданном диапазоне. Автоматический выбор диапазона прибор производит, если режим измерения имеет более одного диапазона. Индикатор этого режима – символ **AUTO** на дисплее. Для включения и выключения режима ручного выбора диапазона:

2.1 Нажатие кнопки **RANGE** включает режим ручного выбора диапазона, индикатор **AUTO** исчезает, и каждое последующее нажатие кнопки **RANGE** последовательно увеличивает диапазон, после достижения максимального диапазона включается минимальный.

2.2 для возврата к автоматическому выбору диапазона нажмите и удерживайте нажатой кнопку **RANGE** более двух секунд, после включения режима автоматического выбора на дисплее появится индикатор **AUTO**.

Внимание! Ручной режим выбора выключается после использования фиксации текущего показания.

3) *Измерение напряжения постоянного или переменного тока.*

Полярность напряжения переменного тока изменяется в течение времени; полярность напряжения постоянного тока неизменна. Диапазоны измерения напряжения постоянного тока: 400.0 мВ, 4.000 В, 40.00 В, 400.0 В и 1000 В. Диапазоны измерения напряжения переменного тока: 400.0 мВ, 4.000 В, 40.00 В, 400.0 В и 750 В (диапазон измерения напряжения переменного тока 400.0 мВ доступен только при ручном выборе диапазона). Для измерения напряжения постоянного или переменного тока:

3.1 Установите поворотный переключатель в положение измерения напряжения постоянного или переменного тока.

3.2 Вставьте щетки черного и красного щупов соответственно в гнезда **COM** и **Ω**.

3.3 Подключите щупы к выводам исследуемой цепи.

3.4 Прочитайте на дисплее показание результата измерения; полярность для точки подключения красного щупа будет отображена на ЖК-дисплее при измерении напряжения постоянного тока.

Внимание! Во избежание электрического шока и/или повреждения прибора не допускается измерение напряжения выше 1000 В для постоянного или 750 В для переменного тока. Во избежание электрического шока и/или повреждения прибора не допускается превышать напряжение между входом **COM** и землей выше 1000 В для постоянного или 750 В для переменного тока. Нестабильное показание может быть при неподключенных щупах,

особенно при использовании диапазона 400 мВ. В этом случае нужно закоротить входы **V** и **COM** и убедиться в нулевом показании прибора. Для получения наилучшей точности измерения напряжения переменного тока при постоянном смещении сначала измерьте напряжение переменного тока. Затем измерьте напряжение постоянного тока, вручную выбрав диапазон, такой же, как в предыдущем измерении или выше. Это увеличит точность измерения напряжения постоянного тока за счет гарантии несрабатывания входных защитных схем прибора.

4) *Измерение сопротивления.* Для измерения сопротивления этот прибор подает в измеряемую цепь небольшой тестовый ток, который проходит через все цепи, подключенные к щупам. Поэтому прибор покажет сопротивление всех цепей, подключенных к щупам. Диапазоны измерения сопротивления: 400.0 Ом, 4.000 кОм, 40.00 кОм, 400.0 кОм, 4.000 Мом и 40.00 Мом. Для измерения сопротивления:

4.1 Установите поворотный переключатель в положение **Ω**.

4.2 Вставьте щекеры черного и красного щупов соответственно в гнезда **COM** и **Ω**.

4.3 Подключите щупы к выводам исследуемой цепи и прочитайте на дисплее показание результата измерения.

Внимание! Во избежание электрического шока и/или повреждения прибора отключите питание измеряемой цепи и разрядите все высоковольтные конденсаторы перед измерением сопротивления. При измерении сопротивления непосредственно в схеме полученное значение может отличаться от указанного на резисторе номинального значения. Причина этого может быть в том, что ток между точками подключения щупов протекает всеми возможными путями. Для получения наилучшей точности при измерении малых сопротивлений сначала закоротите щупы и запомните показание. Значение этого показания необходимо вычесть в дальнейшем из полученного результата измерения сопротивления. При измерении сопротивления напряжение на щупах может быть достаточным для прямого смещения переходов кремниевых диодов и транзисторов, приводя их в проводящее состояние. По этой причине нельзя использовать диапазон 40 МОм при измерении сопротивления непосредственно в схеме. При диапазонах 40 МОм для установления показания мультиметра может потребоваться несколько секунд. Это нормально для измерения высокого сопротивления. Если щупы не подключены, то на дисплее будет отображаться только один символ «**OL**», означающий состояние перегрузки.

5) *Проверка диодов.* Этот режим предназначен для проверки диодов или других полупроводниковых приборов. В этом режиме мультиметр пропускает определенный ток через полупроводниковый переход и при этом измеряет падение напряжения на нем. Падение напряжения при прямом смещении исправного кремниевого перехода должно быть от 0.5 В до 0.8 В. Для проверки диода вне схемы:

5.1 Установите поворотный переключатель в положение .

5.2 Нажатием кнопки включите режим проверки диодов.

5.3 Вставьте щекеры черного и красного щупов соответственно в гнезда **COM** и **VΩ**.

5.4 Для проверки напряжения прямого смещения любого кремниевого компонента подключите красный щуп к аноду, а черный к катоду компонента.

5.5 Мультиметр покажет приближенное значение падения напряжения при прямом смещении диода. При проверке непосредственно в схеме значение падения напряжения при прямом смещении исправного диода должно быть от 0.5 В до 0.8 В; однако при обратном подключении щупов показание мультиметра будет зависеть от сопротивления схемы в точках подключения.

Внимание! Во избежание электрического шока и/или повреждения прибора отключите питание измеряемой цепи и разрядите все высоковольтные конденсаторы перед проверкой диодов.

6) *«Прозвонка» цепи* позволяет проверить возможность протекания в ней электрического тока. При низком сопротивлении исследуемой цепи мультиметр оповестит об этом непрерывным звуковым сигналом. Продолжительность сигнала определяется временем контакта щупов с исследуемым участком цепи. Для «прозвонки» цепи:

6.1 Установите поворотный переключатель в положение .

6.2 Нажатием кнопки  включите режим «прозвонка».

6.3 Вставьте щекеры черного и красного щупов соответственно в гнезда **COM** и **Ω**.

6.4 Подключите щупы к выводам исследуемой цепи и приступайте к измерению.

6.5 При сопротивлении исследуемого участка цепи ниже 50 Ом мультиметр оповестит об этом непрерывным звуковым сигналом.

Внимание! Во избежание электрического шока и/или повреждения прибора отключите питание измеряемой цепи и разрядите все высоковольтные конденсаторы перед «прозвонкой» цепи. «Прозвонка» цепи позволяет выявить разрыв или короткое замыкание.

7) *Измерение емкости.* Емкость – это электрическая характеристика, определяющая способность компонента накапливать электрический заряд. Единица измерения емкости – Фарада (Ф). Наиболее распространенные емкости измеряются в диапазонах микро- или нанофард. В процессе измерения прибор заряжает емкость конденсатора определенным током в течение определенного времени, измеряет напряжение на выводах конденсатора и вычисляет его емкость. Продолжительность измерения около одной секунды на диапазон. Диапазоны измерения емкости: 4.000 нФ, 40.00 нФ, 400.0 нФ, 4.000 мкФ, 40.00 мкФ и 200.0 мкФ. Для измерения емкости:

7.1 Установите поворотный переключатель в положение **Cap**.

7.2 Вставьте штекеры черного и красного щупов соответственно в гнезда **COM** и **Cx**.

7.3 Подключите щупы к выводам емкости и прочитайте на дисплее показание результата измерения.

Внимание! Во избежание электрического шока и/или повреждения прибора отключите питание измеряемой цепи и разрядите все высоковольтные конденсаторы перед измерением емкости. Используйте режим измерения постоянного напряжения, чтобы убедиться, что конденсаторы разряжены. Для установления показания может потребоваться несколько секунд (диапазон 200.0 мкФ, 30 секунд). Это нормально при измерении большой емкости. Для более точного измерения емкости менее 4 нФ вычтите из измеренного значения величину собственной емкости щупов мультиметра.

8) *Измерение частоты:*

8.1 Установите поворотный переключатель в положение **Hz**.

8.2 Вставьте штекеры черного и красного щупов соответственно в гнезда **COM** и **Hz**.

8.3 Подключите щупы параллельно к выводам исследуемой цепи и прочитайте на дисплее показание результата измерения.

Внимание! Во избежание электрического шока и/или повреждения прибора не допускается производить измерение частоты в цепях с высоким напряжением (>250 В). В условиях шумов рекомендуем использовать для измерения малых сигналов экранированный кабель.

9) *Проверка транзисторов:*

9.1 Установите поворотный переключатель в положение **hFE**.

9.2 Определите тип транзистора (**NPN** или **PNP**) и расположение его выводов эмиттер, коллектор и база.

9.3 Вставьте выводы транзистора в одноименные гнезда колодки **hFE**.

9.4 Мультиметр покажет приближенное значение **hFE** при базовом токе 10 мкА и напряжении коллектор-эмиттер 2.8 В.

Внимание! Во избежание электрического шока и/или повреждения прибора перед установкой транзистора в колодку прибора для проверки убедитесь, что соединительные провода отключены от любых измеряемых цепей.

10) *Измерение тока.* Диапазоны измерения тока: 400.0 мкА, 4000 мкА, 40.00 мА, 400.0 мА и 10.00 А. Для измерения тока:

10.1 Выключите питание схемы, в которой предполагается измерить электрический ток, и разрядите в ней все высоковольтные конденсаторы.

10.2 Установите поворотный переключатель в положение требуемого диапазона μA , mA или A .

10.3 Нажатием кнопки  выберите режим измерения постоянного или переменного тока.

10.4 Вставьте штекер черного щупа в гнездо **COM**, а штекер красного щупа в гнездо **mA** для измерения тока до 400 мА, или в гнездо **10A** для измерения тока до А.

10.5 Разорвите участок с измеряемым током.

10.6 Подключите черный щуп к точке разрыва с отрицательным потенциалом, а красный щуп к точке разрыва с положительным потенциалом (обратное подключение приведет к обратной полярности результата измерения, но не повредит мультиметр).

10.7 Включите питание исследуемой схемы и прочитайте на дисплее показание результата измерения; обратите внимание на отображаемую справа от результата размерность (μА, mA или A); появление одиночного символа «OL» на ЖК-дисплее означает состояние перегрузки и необходимость выбора большего диапазона измерения.

10.8 Выключите питание схемы, разрядите в ней все высоковольтные конденсаторы и затем отключите мультиметр и восстановите ранее разорванную цепь.

Внимание! Во избежание травм и повреждения прибора в результате выхода из строя предохранителя не допускается измерять электрический ток, если напряжение на контактах разомкнутой цепи относительно земли больше 250 В. Во избежание повреждения прибора проверьте исправность предохранителя мультиметра перед проведением измерения. Правильно выбирайте соответствующие предстоящим измерениям входы, режим работы и диапазон измерения мультиметра. Не допускается подключать соединительные провода или щупы мультиметра параллельно цепи или компоненту при измерении тока.

Цветовая маркировка резисторов

Определить номинал резистора можно, измерив сопротивление мультиметром, переведя его в положение Ω , или по его цветовой маркировке (рисунок П.2.1).

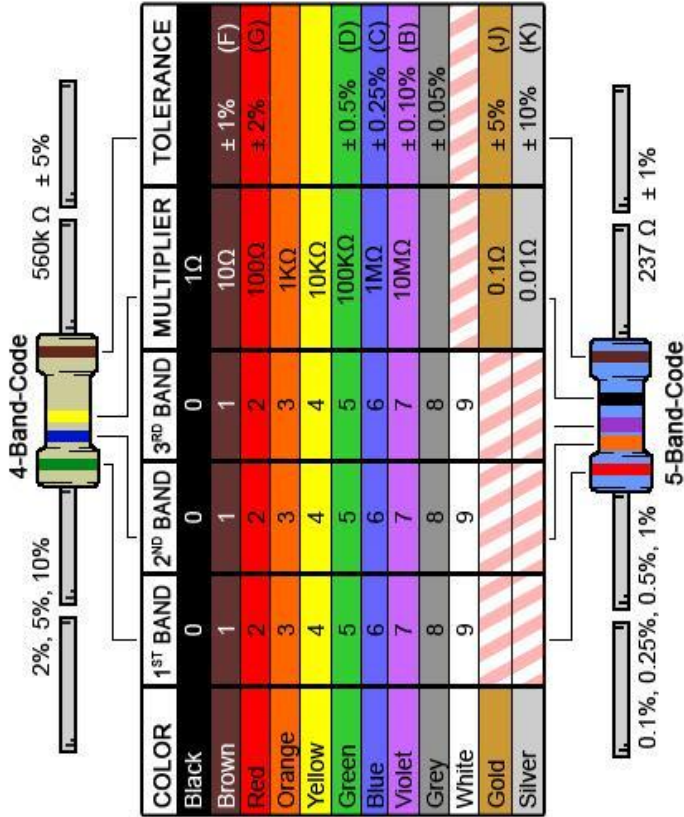
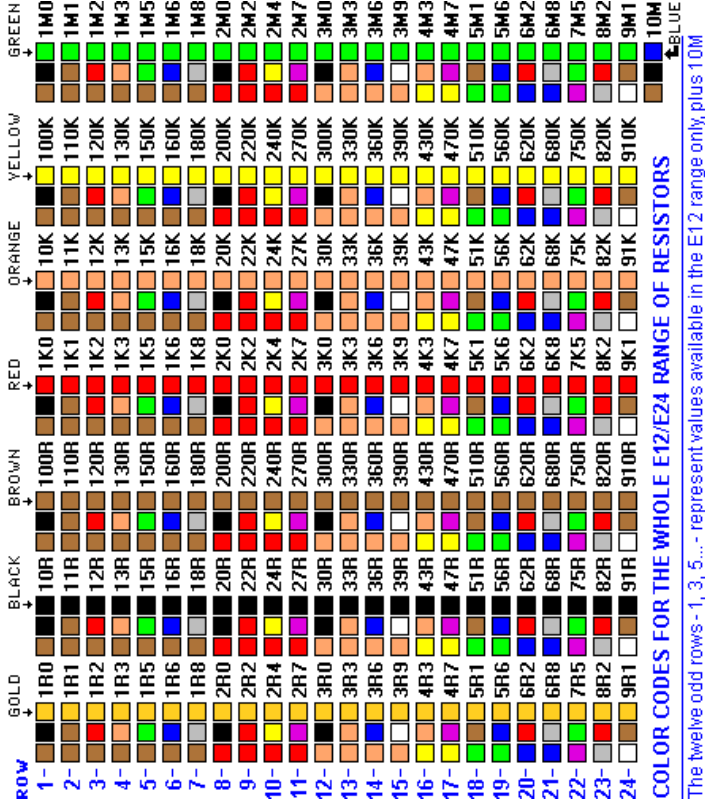


Рисунок П.2.1 – цветовая маркировка резисторов

Устройство макетной платы

Беспаячная макетная плата (рисунок П.3.1) состоит из пластмассового основания в котором имеется набор токопроводящих контактных разъёмов. Этих контактных разъёмов очень много. В зависимости от конструкции макетной платы контактные разъёмы объединяются в строки, например, по 5 штук. В результате образуется пятиконтактный разъём. Каждый из разъёмов позволяет подключать к нему выводы электронных компонентов или токопроводящих проводников диаметром, как правило, не более 0,7 мм.

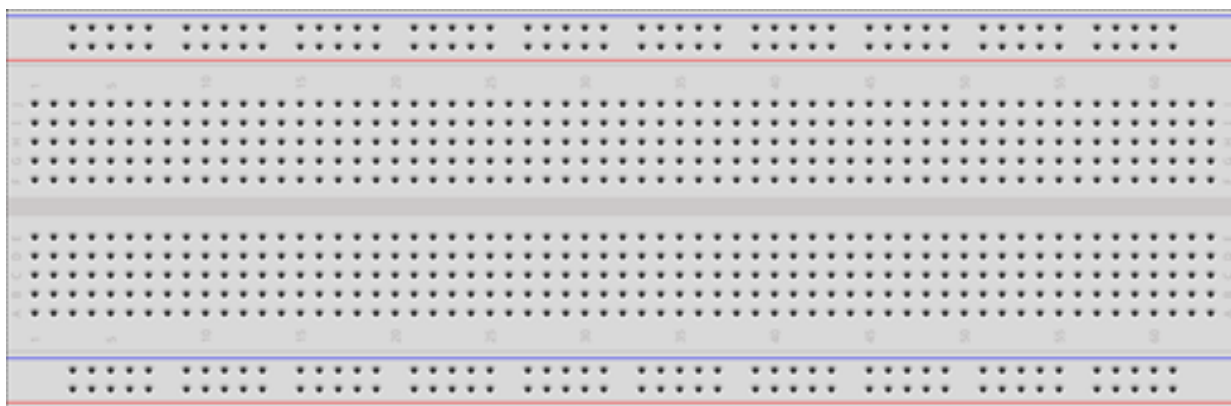


Рисунок П.3.1 – Макетная плата без пайки

Основа макетной платы – ABS пластик. Контактные разъёмы выполнены из фосфористой бронзы и покрыты никелем. Благодаря этому, контактные разъёмы (точки) рассчитаны на 50 000 циклов подключения/отключения. Контактные разъёмы позволяют подключать выводы радиодеталей и проводники диаметром от 0,4 до 0,7 мм.

Точки (разъёмы) на макетной плате соединены на макетной плате особым образом (рисунок П.3.2). Так, например, беспаячная макетная плата имеет 4 независимые контактные зоны. Две по краям – это шины питания (плюсовая «+» и минусовая «-»), они маркированы красной и синей линией вдоль контактных точек. Все точки шины электрически соединены между собой и, по сути представляют собой один проводник но с кучей точек-разъёмов. Центральная область разделена на две части. Посередине эти две части разделяет своеобразная канавка. В каждой части 64 строки по 5 точек-разъёмов в каждой. Эти 5 точек-разъёмов в строке электрически соединены между собой.

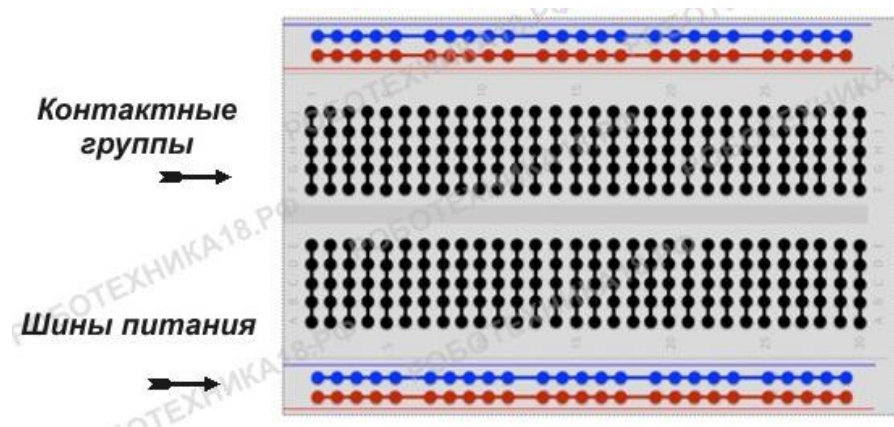


Рисунок П.3.2 – Схема соединений между отверстиями

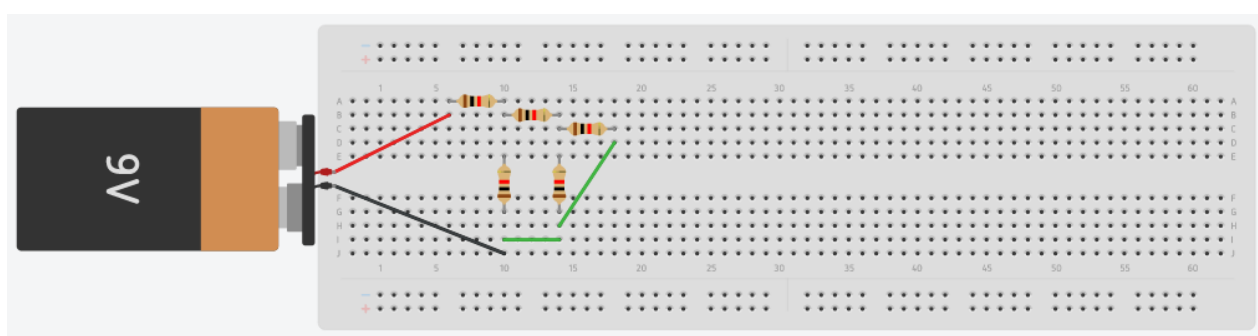


Рисунок П.3.3 – Пример собранной на макетной плате схемы соединения резисторов

Система компьютерной алгебры Maxima

Maxima – система для работы с символьными и численными выражениями, включающая дифференцирование, интегрирование, разложение в ряд, преобразование Лапласа, обыкновенные дифференциальные уравнения, системы линейных уравнений, многочлены, множества, списки, векторы, матрицы и тензоры. Maxima производит численные расчеты высокой точности, используя точные дроби, целые числа и числа с плавающей точкой произвольной точности. Система позволяет строить графики функций и статистических данных в двух и трех измерениях.

Скачать последнюю версию программы для установки на ПК можно с её сайта в сети Интернет: <http://maxima.sourceforge.net/>. Русская локализация сайта: <http://maxima.sourceforge.net/ru/>. Для установки приложения на телефон нужно скачать приложение Maxima в Google play/App Store.

При работе на ПК:

- 1) Запустить терминал/командную строку.
- 2) Набрать команду «maxima», нажать клавишу Enter – запустится приложение.
- 3) Далее, соблюдая синтаксис, ввести полученную систему уравнений: $\text{solve}([i1 + i2 + i3, i1 \cdot r1 + i2 \cdot r = e1, i2 \cdot r2 + i3 \cdot r3 = e2], i1, i2, i3), r1 = 1000, r2 = 4700, r3 = 100000, e1 = 3.3, e2 = 5;$ »,

где $[i1 + i2 + i3, i1 \cdot r1 + i2 \cdot r = e1, i2 \cdot r2 + i3 \cdot r3 = e2]$ – непосредственно полученная система уравнений;

$i1, i2, i3$ – переменные, значения которых необходимо найти;

$r1 = 1000, r2 = 4700, r3 = 100000, e1 = 3.3, e2 = 5$ – входные данные.

После ввода данных необходимо нажать клавишу Enter, результат представится в виде дробей. **Внимание!** Не забывайте в конце строки ставить точку с запятой.

- 4) Для того, чтобы преобразовать дроби в десятичные, нужно выполнить еще одну команду «float(%)».

При работе на телефоне тот же самый алгоритм действий, начиная с третьего пункта.

Работа с осциллографом

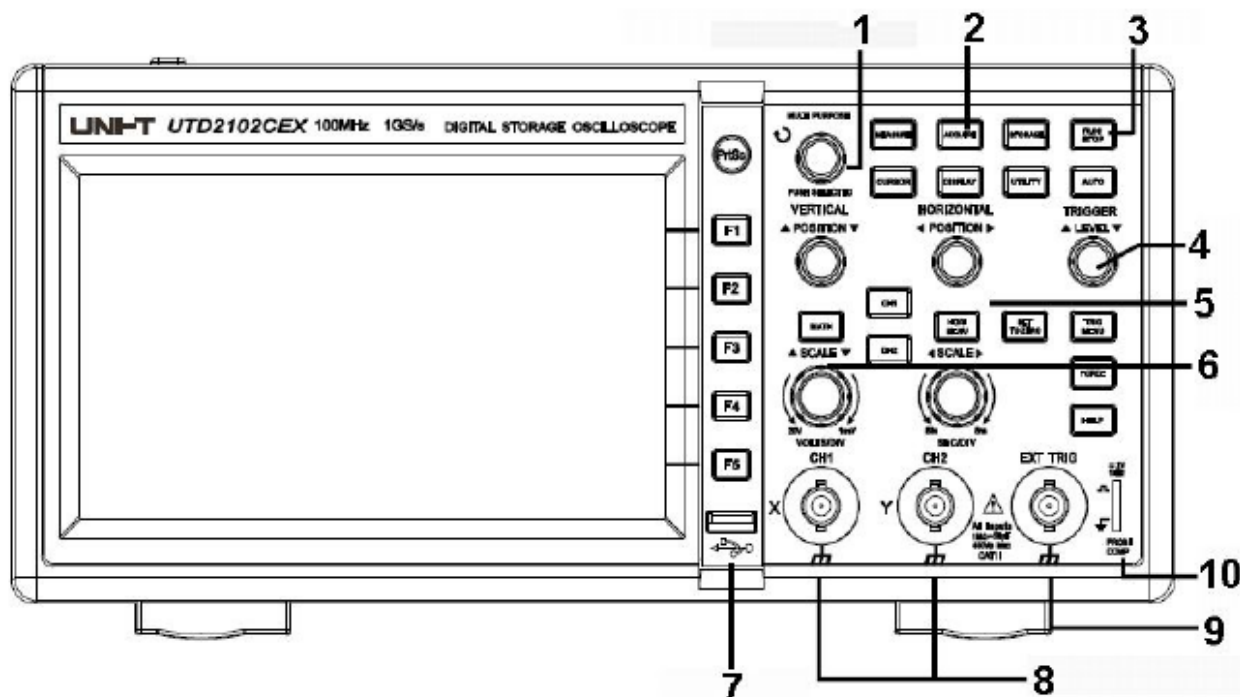


Рисунок П.5.1 – Передняя панель генератора

Перечень элементов панели управления (рисунок П.5.1):

- 1) Многофункциональный поворотный регулятор.
- 2) Общее меню.
- 3) Управление измерительными операциями.
- 4) Управление запуском.
- 5) Управление горизонтальной шкалой.
- 6) Управление вертикальной шкалой.
- 7) Интерфейс связи с компьютером.
- 8) Входы аналогового сигнала.
- 9) Вход внешнего синхросигнала.
- 10) Выход сигнала для компенсации щупа.

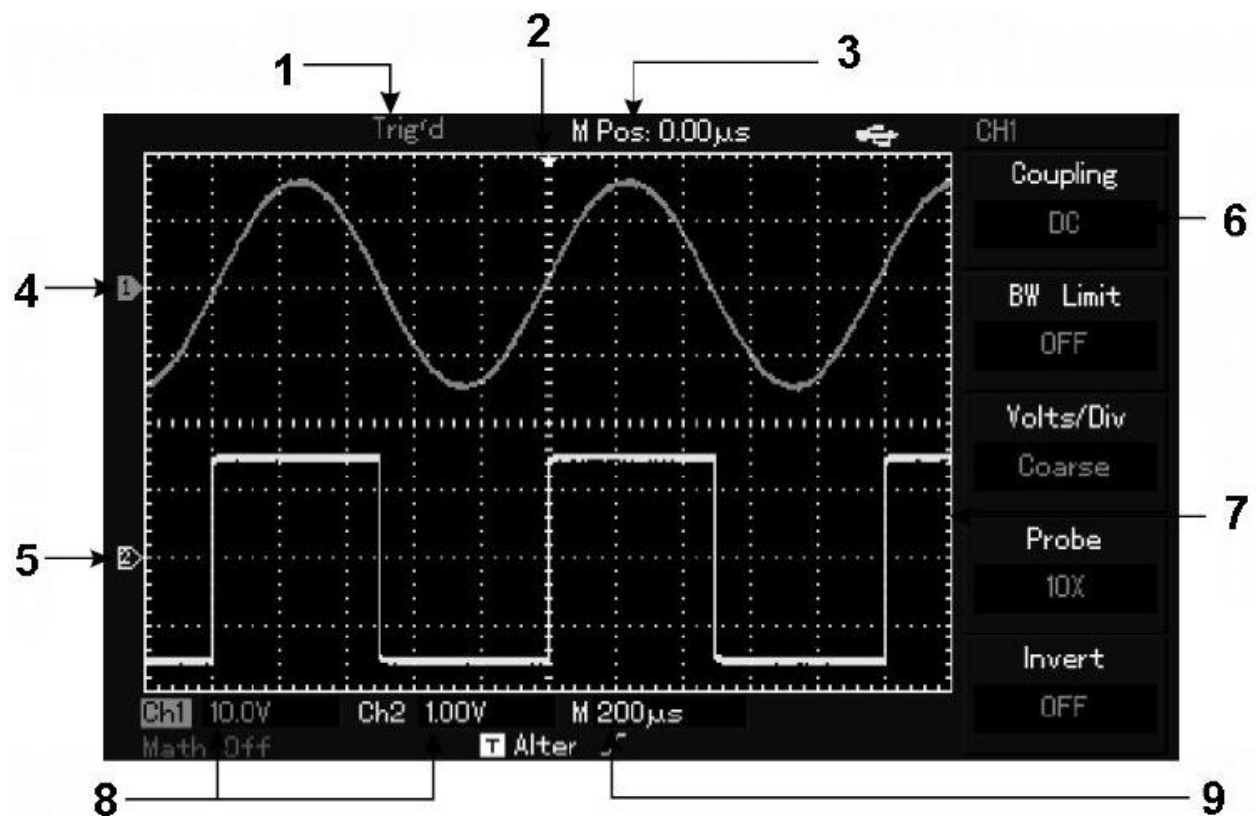


Рисунок П.5.2 – Схема интерфейса дисплея

Перечень элементов интерфейса дисплея (рисунок П.5.2):

- 1) Индикатор состояния запуска.
- 2) Индикатор момента запуска.
- 3) Момент времени, соответствующий центральной линии шкалы.
- 4) Метка осциллограммы канала 1.
- 5) Метка осциллограммы канала 2.
- 6) Меню, определяемое функциональными кнопками.
- 7) Окно отображения осциллограмм.
- 8) Цена деления горизонтальной шкалы.
- 9) Цена деления вертикальной шкалы для каждого канала.

Подача сигнала осциллографа

Осциллограф оснащен двумя входными каналами и одним входным каналом запуска от внешнего синхросигнала. Сигналы подаются в следующем порядке:

- 1) Подсоединить щуп ко входу **CH1** и установить переключатель коэффициента ослабления в положение **10X** (рисунок П.5.3).

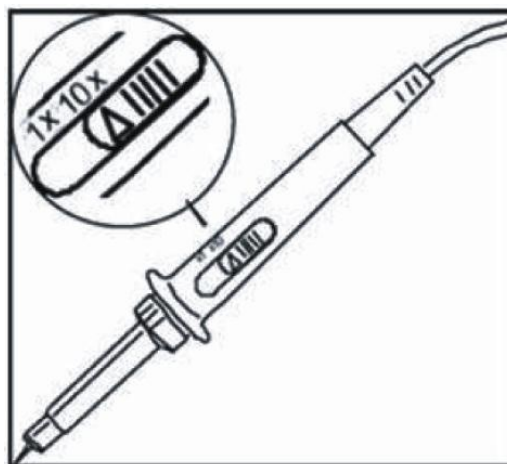


Рисунок П.5.3 – Установка переключателя ослабления

- 2) Установить коэффициент ослабления щупа в настройках осциллографа (рисунок П.5.4). Этот коэффициент позволяет изменять вертикальную шкалу таким образом, чтобы амплитуда измеренного сигнала корректно отображалась на дисплее. Для установки коэффициента ослабления нужно нажать кнопку **[F4] (Probe)**, при этом на дисплее отобразится **10X**.

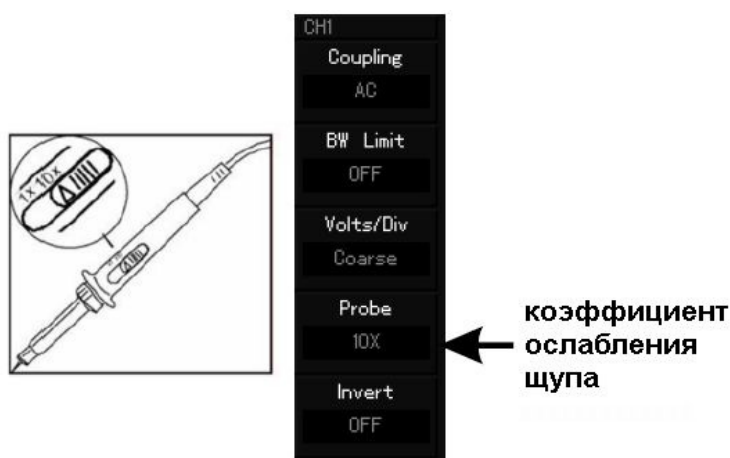


Рисунок П.5.4 – Установка коэффициента ослабления в настройках осциллографа

- 3) Подсоединить кончик щупа и зажим заземления к соответствующим выводам сигнала компенсации щупов. Нажать кнопку **[AUTO]**, и через несколько секунд на дисплее должен отобразиться прямоугольный сигнал на частоте 1 кГц с амплитудой около 3 В (рисунок П.5.5). После этого провести аналогичную проверку второго канала (**CH2**). Для отключения первого канала нажать кнопку **[CH1]**, а затем нажать функциональную кнопку **[CH2]** для включения второго канала. Повторить шаги 2 и 3.

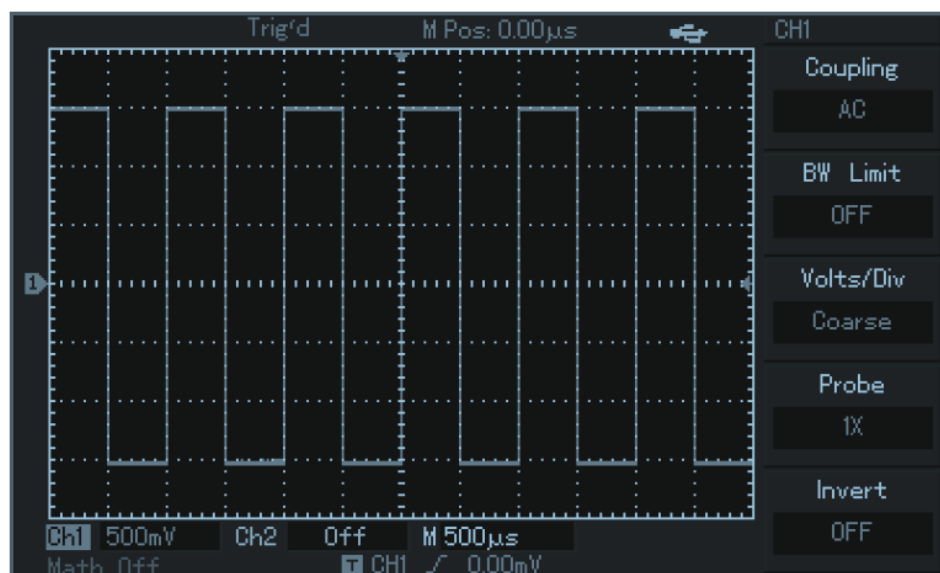


Рисунок П.5.5 – Сигнал на частоте 1 кГц

Компенсация щупов

При подсоединении щупа к какому-либо из входных каналов в первый раз провести эту корректировку, чтобы согласовать параметры щупа и входного канала. Пропуск этого этапа калибровки может привести к ошибкам в измерениях. Провести компенсацию щупов следующим образом:

- 1) В меню настройки щупов выбрать значение коэффициента ослабления **10X**. Установить переключатель на щупе в положение **10X** и подсоединить щуп к первому каналу (**CH1**). Обеспечить надежный контакт входного разъема со щупом. Подсоединить кончик щупа к разъему выхода сигнала компенсации щупов, а зажим заземления – к заземляющему проводу компенсации щупов. Далее включить канал **CH1** и нажать кнопку [**AUTO**].
- 2) Проверить форму сигнала на дисплее (рисунок П.5.6).



Рисунок П.5.6 – Коррекция компенсации щупов

- 3) Если форма сигнала соответствует перекомпенсации или недокомпенсации, подстроить переменную емкость на щупе с

помощью отвертки с неметаллической рукояткой так, чтобы получить форму сигнала, соответствующую правильной компенсации.

Внимание! Во избежание поражения электрическим током при измерении высоких напряжений обеспечить целостность изоляции провода щупа. Не прикасаться к металлическим частям щупа, если он находится в контакте с высоким напряжением.

Автоматическая настройка осциллограммы

Функция автоматической настройки позволяет автоматически настраивать вертикальную и горизонтальную развертку и смещение, а также режим запуска в соответствии с характеристиками входного сигнала для корректного отображения осциллограммы. При этом в соответствии с требованиями к автоматической настройке частота измеряемого сигнала должна быть не менее 50 Гц, а коэффициент заполнения должен превышать 1 %.

- 1) Подать измеряемый сигнал на входной канал осциллографа.
- 2) Нажать кнопку [AUTO]. Осциллограф автоматически устанавливает величины смещения, коэффициенты развертки и режим запуска. Если требуется более детальная настройка, можно вручную подстроить все параметры после проведения автоматической настройки для оптимального отображения сигнала.

Система вертикальной развертки (рисунок П.5.7):



Рисунок П.5.7 – Зона управления вертикальной шкалой на панели управления осциллографа

- 1) Поворотом регулятора вертикального смещения сигнала поместить осциллограмму в центр окна. Регулятор вертикального смещения сигнала позволяет управлять положением осциллограммы по вертикальной оси. При повороте регулятора значок, отображающий уровень потенциала земли будет перемещаться вниз или вверх вместе с осциллограммой.
- 2) Для быстрого возвращения к нулевому положению обоих аналоговых каналов по вертикали следует использовать кнопку **[SET TO ZERO]**.

Внимание! Кнопка **[SET TO ZERO]** позволяет сбрасывать вертикальное смещение / горизонтальное смещение / задержку в нулевое положение (центральную точку).

Система горизонтальной развертки (рисунок П.5.8):



Рисунок П.5.8 – Зона управления горизонтальной разверткой на панели управления осциллографа

- 1) Поворотом регулятора горизонтальной развертки изменяется цена деления горизонтальной шкалы, соответственно изменяется информация в столбце состояния. Чтобы изменить диапазон развертки в секундах на деление (**SEC/DIV**), нужно повернуть регулятор горизонтальной шкалы **[SCALE]**.
- 2) Использовать регулятор горизонтального смещения **[POSITION]** для настройки положения осциллограммы на горизонтальной шкале. Регулятор горизонтального смещения управляет сдвигом запуска. Когда эта функция используется для сдвига позиции запуска, при повороте регулятора горизонтального смещения осциллограмма будет перемещаться по горизонтали.

- 3) Для отображения меню приближения осциллограммы (**ZOOM**) нужно нажать кнопку [**HORI MENU**]. Находясь в этом меню, нажать кнопку [**F3**] для включения режима увеличения фрагмента окна (**Window Extension**). Для выхода из режима увеличения фрагмента окна нажать [**F1**] и вернуться к основной временной шкале (**Main**). В этом меню можно установить время задержки (**Hold off**).

Система запуска (рисунок П.5.9):



Рисунок П.5.9 – Зона управления запуском на панели управления осциллографа

- 1) Использовать регулятор для измерения уровня запуска. На дисплее отображается значок, указывающий уровень запуска. Значок перемещается вниз или вверх соответственно повороту регулятора. В процессе изменения уровня запуска на дисплее отображается изменяющееся значение уровня запуска.
- 2) Чтобы вызвать меню настройки запуска для изменения настроек (рисунок П.5.10), нужно нажать кнопку [**TRIGGER MENU**]:
 - нажать [**F1**] и выбрать значение **Edge** (запуск по фронту) для типа запуска (параметр **Type**);
 - нажать [**F2**] и выбрать значение **CH1** параметра Source (источник запуска);
 - нажать [**F3**] и выбрать значение **Rise** (нарастающий фронт) параметра **Slope** (тип фронта);
 - нажать [**F4**] и выбрать значение **Auto** (автоматический) параметра **Mode** (режим запуска);
 - нажать [**F5**] и выбрать значение **AC** (связь о переменному току) параметра **Coupling** (развязка запуска).



Рисунок П.5.10 – Меню настройки запуска

- 3) Для принудительной генерации однократного сигнала запуска, которая обычно используется в режимах нормального и однократного запуска, использовать кнопку [**FORCE**].

Учебное издание

Сивков Анатолий Михайлович,

Чирков Борис Владимирович,

Радикова Анна Владимировна

Электротехника, электроника и автоматизация

Сборник описаний лабораторных работ

Авторская редакция

Отпечатано с оригинал-макета заказчика

Подписано в печать 26.06.2020. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$.

Усл. печ. л. ... Уч.-изд. л. ...

Тираж 25 экз. Заказ №...

Типография

Издательского центра «Удмуртский университет»

426034, Ижевск, Университетская, д. 1, корп. 2