

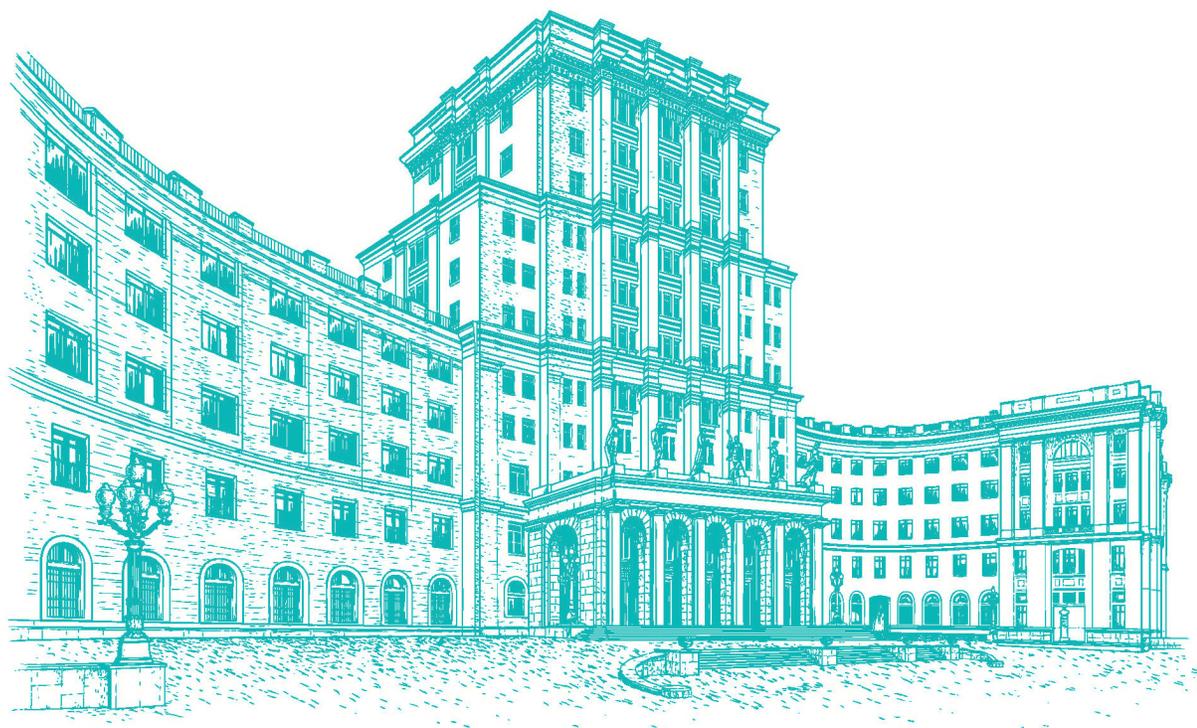
Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана

Центр целевых студентов  
МГТУ им. Н.Э. Баумана



# Инженерный практикум электричество и магнетизм

*Лабораторный практикум —  
школьным инженерным классам*



# **Инженерный практикум: электричество и магнетизм**

Учебно-методическое пособие

Калуга

2025

УДК 62.396  
ББК 32.844  
И62

Авторы:

*Адамова А.А., Балыбердин Ю.А., Власов А.И., Кузичкин О.Р.,  
Косовский А.В., Родионов И.А., Сухоцкий В.А., Юдин А.В.*

Рецензент

д-р техн. наук, профессор Московского авиационного института  
(национального исследовательского университета) *А.В. Назаров*

**Инженерный практикум: электричество и магнетизм** : учебно-методическое пособие / [А. А. Адамова и др.]. — Калуга: Манускрипт, 2025. — 106, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-94627-261-2

Рассмотрены базовые положения раздела курса физики «Электричество и магнетизм». Кратко изложены основные теоретические сведения и экспериментальные техники. Основное внимание уделено практическим работам, в рамках которых учащиеся закрепляют навыки применения средств измерений электрических величин и сигналов: силы тока, напряжения, сопротивления, частоты и др. Представлены методики и порядок выполнения практических работ инженерного практикума.

Для учащихся общеобразовательных школ и техникумов, ориентированных на создание карьерно-образовательного трека «школа—вуз—предприятие» в рамках развития в МГТУ им. Н.Э. Баумана Центра целевых студентов. Проведение инженерного практикума способствует формированию интереса к целевому обучению у абитуриентов, обеспечивает мотивацию, а в дальнейшем адаптацию обучающихся в учебной и профессиональной сфере.

Представляет интерес для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 2.2.9 «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры» и изучающих дисциплину «Компонентная база электронных средств», а также для студентов, преподавателей и специалистов, изучающих электронную компонентную базу.

Электронная версия пособия имеет свободный доступ: приведенный материал можно читать, загружать, копировать, размещать, печатать и ссылаться на полные или частичные тексты с указанием авторства без каких-либо ограничений. Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

УДК 62.396  
ББК 32.844

## Предисловие

Данное издание направлено на расширение базовых знаний по курсу физики «Электричество и магнетизм», а также будет полезно изучающим электронную компонентную базу. Основное внимание уделено практическим работам, проводимым на базе университетских ресурсных центров, школьных научных лабораторий и центров коллективного пользования при поддержке Департамента образования и науки г. Москвы, в рамках развития ресурсных центров политехнического образования для инженерных классов.

В учебно-методическом пособии приведены материалы по одному из направлений политехнической подготовки школьников в рамках деятельности ресурсного центра МГТУ им. Н.Э. Баумана по школьному политехническому образованию. Пособие является практическим руководством к экспериментальным исследованиям с использованием модульного конструктора «Знаток». Для реализации активных методов обучения оно построено исходя из концепции рабочей тетради, которая содержит план выполнения работ, основные наиболее важные положения теории и практики, вместе с тем предоставляя обучаемому возможность самостоятельно, после анализа литературных источников, сформулировать кратко базовые теоретические положения, провести расчеты, внести результаты экспериментов и сделать выводы.

Особое внимание уделено основам аналоговой схемотехники, в частности рассмотрены схемы обработки электрических сигналов, изучив которые, учащиеся научатся создавать простейшие электронные устройства. Издание направлено на формирование и закрепление навыков самостоятельного расчета, построения и непосредственной сборки электрических цепей по созданным схемам макетов устройств с применением модульного электронного конструктора «Знаток 999 схем».

Авторы выражают благодарность рецензенту — профессору кафедры «Информационные технологии конструирования РЭУ» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) А.В. Назарову и магистранту кафедры ИУ4 МГТУ им. Н.Э. Баумана Г.А. Волкову за помощь и ценные замечания при подготовке пособия. Авторы будут признательны читателям за замечания по содержанию учебного пособия, которые следует направлять по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4.

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1. Основные понятия теории электрических цепей

Электрическая цепь представляет собой систему электротехнических устройств, образующих путь для прохождения электрического тока [1], и в состав электрической цепи входят генераторы, источники питания, например, гальванические элементы и аккумуляторы, а также приемники или потребители электроэнергии и устройства передачи и преобразования этой энергии — кабели, провода и другие элементы.

**Электрический ток** представляет собой направленное движение заряженных частиц — электронов или ионов — в проводниках, жидкостях и газах [1]. Для образования электрического тока в веществе необходимо создать электрическое поле с помощью источников тока. Электрический ток имеет различные характеристики в зависимости от его направления и изменений во времени.

*Постоянный ток* характеризуется постоянством направления и величины.

*Переменный ток* изменяет свою величину и направление во времени.

При анализе и синтезе электрических цепей используются следующие понятия [1–4]:

– **электродвижущая сила (ЭДС)  $E$**  — представляет собой работу, проведенную над зарядом при его перемещении по электрической цепи; единица измерения вольт (В);

– **напряжение  $U$**  — характеризует разность электрического потенциала между двумя точками цепи; единица измерения вольт (В);

– **сила электрического тока  $I$**  — представляет собой количество заряда, проходящего через поперечное сечение проводника за единицу времени; единица измерения ампер (А);

– **сопротивление  $R$**  — определяет способность вещества препятствовать прохождению тока; единица измерения ом (Ом);

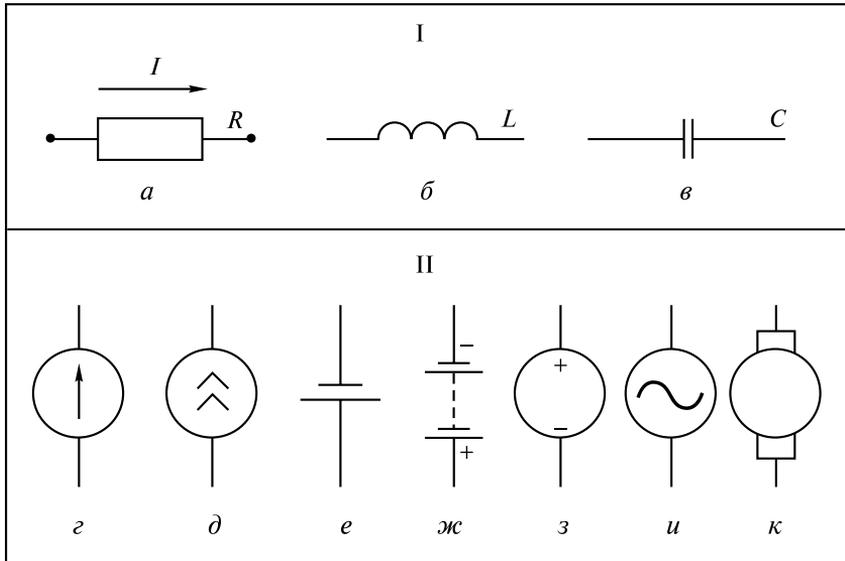
– **проводимость  $G$**  — величина, обратная сопротивлению, единица измерения сименс (См);

– **индуктивность  $L$**  — характеризует способность проводника создавать электромагнитное поле при прохождении тока через него; единица измерения генри (Гн);

– **емкость  $C$**  — определяет способность системы сохранять электрический заряд; единица измерения фарада (Ф).

На схемах электрических цепей указывают электрорадиоэлементы (ЭРЭ) с использованием условных графических обозначений (УГО) [4], что облегчает их анализ и проектирование.

Условные графические обозначения основных ЭРЭ и источников электрической энергии приведены на рис. 1.1.



**Рис. 1.1.** Условные графические обозначения основных ЭРЭ (I) и источников электрической энергии (II):

*a* — активное сопротивление; *б* — индуктивность; *в* — емкость; *г* — источник ЭДС (общее обозначение); *д* — источник тока (общее обозначение); *е* — химический источник электрической энергии; *ж* — батарея химических источников; *з* — источник постоянного напряжения; *и* — источник переменного напряжения; *к* — генератор

Направление тока определяется как направление движения положительно заряженных частиц или направление, противоположное движению электронов, которые являются основными носителями заряда в проводнике.

Сила тока представляет собой физическую величину, определяемую как отношение единичного электрического заряда  $dQ$ , протекающего через поперечное сечение проводника, за время  $dt$

$$I = \frac{dQ}{dt}.$$

Сила тока измеряется **амперметром**, единица измерения электрического заряда — кулон (Кл) [5].

Если сила и направление тока с течением времени не изменяются, то ток считается постоянным. Для постоянного тока:

$$I = \frac{Q}{t},$$

где  $Q$  — заряд, переносимый через поперечное сечение проводника за конечное время  $t$ .

Энергетической характеристикой электрического поля является потенциал  $\Phi$ . Заряды, распределенные в пространстве, создают электрическое поле. При перемещении точечного заряда в данном поле его потенциальная энергия изменяется. Разделив значение этой энергии на значение заряда, получим физическую величину, характеризующую только электрическое поле в данной точке, потенциал  $\Phi$  электрического поля.

Разность потенциалов между двумя точками электрического поля с потенциалами  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , обозначаемая  $U = \Phi_2 - \Phi_1$ , называется **напряжением**.

Напряжение представляет собой энергию или работу, затраченную на перемещение единичного положительного заряда из точки с низким потенциалом в точку с более высоким потенциалом. Для измерения напряжения используется **вольтметр**.

В 1826 г. немецкий физик Г. Ом экспериментально установил, что сила тока  $I$ , протекающего по однородному металлическому проводнику, в котором не действуют сторонние силы, пропорциональна напряжению  $U$  на концах проводника [1–4]:

$$I = \frac{U}{R} \text{ или } RI = U,$$

где  $R = \text{const}$ .

Данное соотношение выражает закон Ома для участка электрической цепи. Электрическое сопротивление  $R$  представляет собой величину, характеризующую способность проводника сопротивляться прохождению электрического тока. Проводник, обладающий электрическим сопротивлением и являющийся элементом электрической цепи, называется резистором.

## 1.2. Основные законы электротехники

Электрической цепью является совокупность устройств и элементов, предназначенных для передачи, распределения и преобразования электрической энергии. Основные законы электротехники подробно представлены в литературе, например в работах [3, 5–20], ниже приведено их краткое описание.

### Закон Ома для участка электрической цепи

Под напряжением участка цепи понимают разность потенциалов между крайними точками ветви цепи. Ток течет от большего потенциала  $\varphi_1$  к меньшему  $\varphi_2$  (рис. 1.2).

Пусть  $\varphi_1 > \varphi_2$ ,  
тогда

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2;$$

$$I = \frac{U_{12}}{R} = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{R}.$$

Часто сопротивление резистора остается постоянным и не зависит от напряжения, приложенного к нему. Однако существуют элементы, у которых сопротивление нелинейно зависит от приложенного напряжения. Для описания работы таких элементов используется не закон Ома для участка цепи, а их вольт-амперные характеристики (ВАХ). Примерами таких элементов являются диоды и светодиоды. Далее будут подробно рассмотрены их особенности и принципы работы.

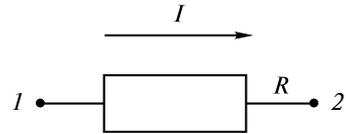


Рис. 1.2. Участок электрической цепи с резистором:

$1 - \varphi_1; 2 - \varphi_2$

### Закон Ома для полной электрической цепи

Пусть имеется электрическая цепь, включающая источник ЭДС с внутренним сопротивлением  $r$ , соединенная с резистором  $R$  (рис. 1.3).

Падение напряжения на резисторе  $U_R = IR$ .

Падение напряжения на источнике ЭДС

$$U_{\text{вн}} = Ir.$$

Электродвижущая сила

$$E = U_R + U_{\text{вн}} = I(R + r).$$

Из этого следует  $I = \frac{E}{(R + r)}$ .

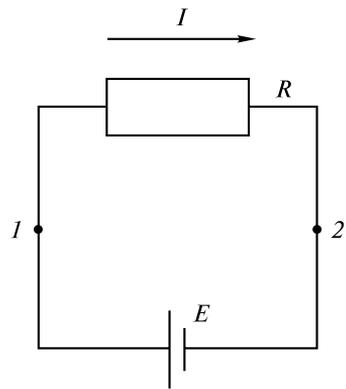


Рис. 1.3. Замкнутая электрическая цепь с ЭДС

### Первый закон Кирхгофа

Пусть в электрической цепи есть узлы, т. е. точки, в которых соединены три и более элементов (рис. 1.4).

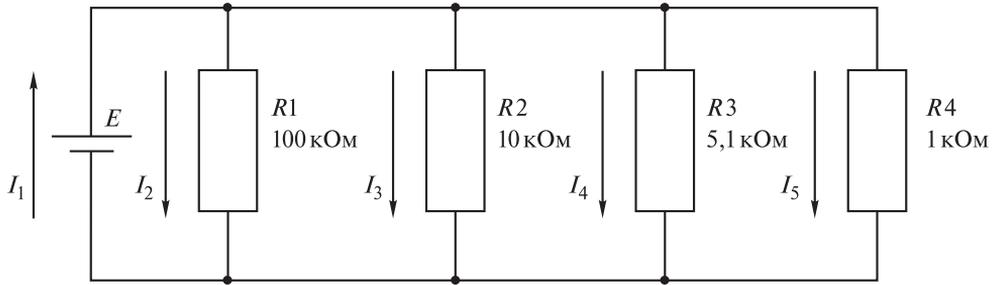
Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в любом  $k$ -м узле электрической цепи равна нулю [6]:

$$\Sigma I_k = 0, \quad I_2 + I_3 + I_4 + I_5 - I_1 = 0,$$

или сумма токов, втекающих в узел, равна сумме токов, вытекающих из него, т. е.

$$I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = I_1.$$

*Правило:* если ток направлен в узел, то перед ним в уравнении ставится знак «+», если от узла, то знак «-» .

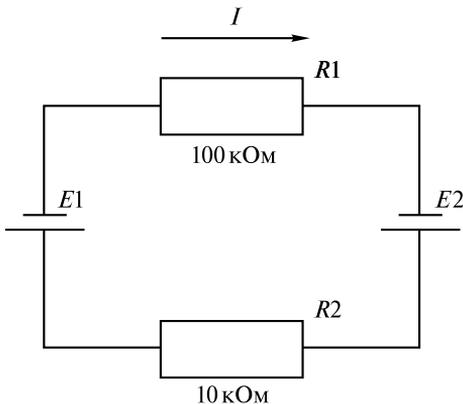


**Рис. 1.4.** Замкнутая электрическая цепь, состоящая из четырех элементов —  $R_1$ – $R_4$ ;  $I_2$ – $I_5$  — номера элементов

Другими словами, первый закон Кирхгофа говорит о том, что в узле электрической цепи не может накапливаться заряд.

### Второй закон Кирхгофа

Алгебраическая сумма падений напряжений (постепенное уменьшение напряжения вдоль проводника, по которому течет электрический ток, обусловленное тем, что проводник обладает активным сопротивлением) в любом замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС внутри этого контура (рис. 1.5).



**Рис. 1.5.** Пример электрической цепи

Для приведенной на рис. 1.5 электрической цепи можно записать

$$\sum E_k = \sum I_i R_i;$$

$$E_1 + E_2 = IR_1 + IR_2.$$

*Правило:* если направления тока и ЭДС совпадают с направлением обхода по замкнутому контуру, то в уравнении ток берется со знаком «+», если не совпадает, то со знаком «-».

Другими словами, второй закон Кирхгофа говорит о том, что при выходе тока из одной точки замкнутого контура и при возвращении в нее ее потенциал не изменяется.

### 1.3. Основные виды электрорадиоэлементов

#### Резистивный элемент (резистор)

Резистор является пассивным элементом, который характеризуется резистивным сопротивлением. Это сопротивление определяется геометрическими размерами тела резистора и свойствами материала, из которого он изготовлен [4].

Удельное сопротивление  $\rho$  — сопротивление проводника единичной длины с поперечным сечением, равным единице, выражается в омах. Удельное сопротивление вещества — сопротивление куба с ребром 1 м, изготовленного из данного вещества, при направлении протекающего по нему тока, параллельном ребру куба. Величина, обратная удельному сопротивлению, называется удельной проводимостью  $\sigma$ .

В простейшем случае для однородного цилиндрического проводника длиной  $l$ , сечением  $S$  и удельным сопротивлением  $\rho$  его сопротивление определяется выражением

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma S} \text{ [Ом]}.$$

Ниже приведены УГО и ВАХ резистивных элементов (рис. 1.6).

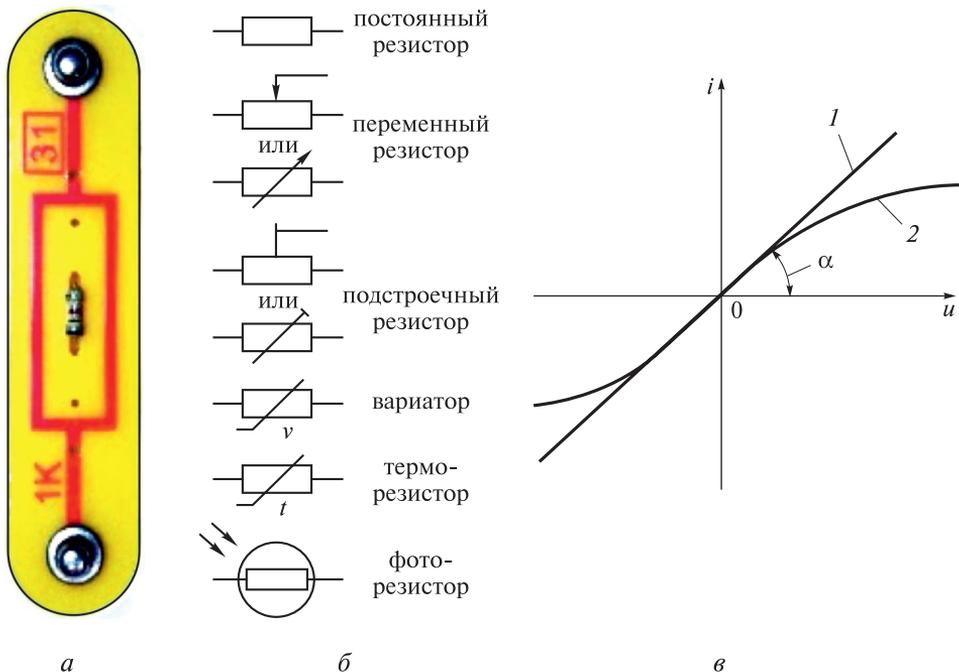


Рис. 1.6. Общий вид (а), условные обозначения (б) и ВАХ (в) резистивных элементов:

1 — линейный резистор; 2 — нелинейный резистор

В общем случае определение сопротивления связано с расчетом электрического поля в проводящей среде, разделяющей два электрода. Основной характеристикой резистивного элемента является ВАХ — зависимость  $u(i)$  или  $i(u)$ . Если зависимость  $u(i)$  представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (рис. 1.6, поз. 1), то резистор называется линейным и описывается соотношением [7]:

$$u = Ri = m_R i \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$i = gu.$$

Здесь  $m_R$  — коэффициент нелинейности резистора;  $g = \frac{1}{R}$  — проводимость; при этом  $R = \operatorname{const}$ .

Нелинейный резистивный элемент, у которого ВАХ не является линейной (см. рис. 1.6, в поз. 2), характеризуется несколькими параметрами. В частности, безынерционному резистору ставится в соответствие статическое сопротивление  $R_{\text{ст}} = \frac{U}{I}$ .

### Последовательное и параллельное включение резисторов

При последовательном подключении резисторов они располагаются один за другим, и ток проходит через них последовательно друг за другом. Суммарное сопротивление цепи в последовательном включении резисторов равно сумме сопротивлений каждого резистора:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i.$$

При параллельном подключении резисторов они соединены параллельно друг другу и на каждый из них подается одинаковое напряжение. Суммарное сопротивление цепи в параллельном включении резисторов рассчитывается по формуле для величин, обратных  $R$ :

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}.$$

Параллельное включение резисторов обычно применяется для уменьшения суммарного сопротивления цепи, а последовательное — для его увеличения.

### Индуктивный элемент (катушка индуктивности)

Условное графическое изображение катушки индуктивности приведено на рис. 1.7. Катушка является пассивным элементом электрической цепи, характеризующимся своей индуктивностью. Индуктивность катушки опре-

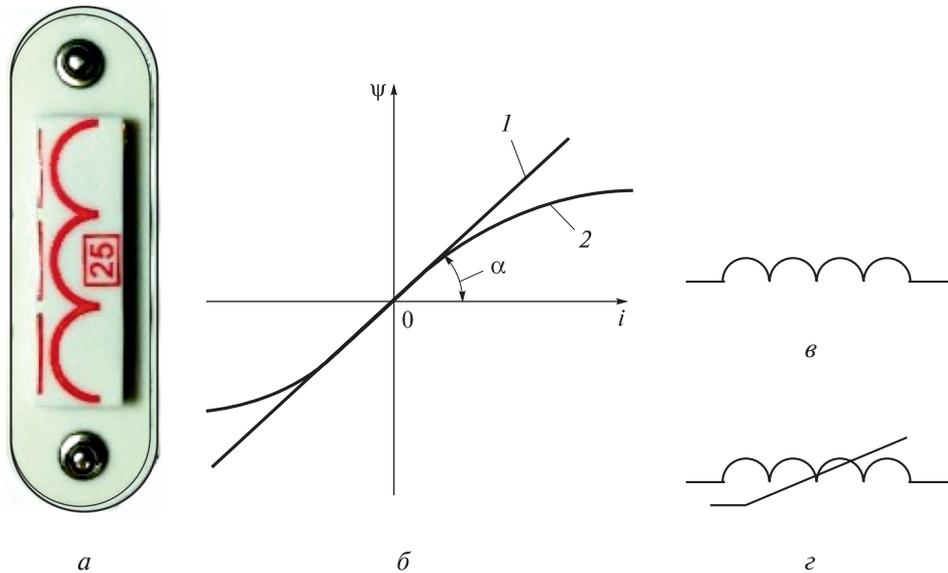


Рис. 1.7. Общий вид (а), ВАХ (б) и условные обозначения линейных (б) и нелинейных (з) индуктивных элементов

деляется геометрическими параметрами самой катушки — количеством витков и их формой, конструктивными характеристиками (с сердечником или без), а также свойствами материала, используемого для ее изготовления. Следует отметить, что катушки широко применяются в электронике и электротехнике для фильтрации сигналов, создания индуктивных нагрузок, а также в качестве элементов управления и фиксации тока.

Индуктивность определяется отношением потокосцепления  $d\Psi$  к току, протекающему по виткам катушки,

$$L = \frac{d\Psi}{di} \text{ [Гн]}.$$

Потокосцепление равно сумме произведений потока, пронизывающего витки катушки, и числа этих витков:

$$\Psi = \sum_{k=0}^n w_k \Psi_k,$$

где  $\Psi_k = \int_{S_k} \vec{B} dS$  ( $B$  — магнитная индукция;  $S$  — поверхность, ограниченная контуром, в котором определяется магнитный поток);  $w$  — число витков катушки;  $k$  — номер витка, с которым сцеплен магнитный поток.

Основной характеристикой катушки индуктивности является зависимость силы тока  $\psi(i)$ , называемая вебер-амперной характеристикой. Для линейных катушек индуктивности зависимость  $\psi(i)$  представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (см. рис. 1.7, б, поз. 1); при этом  $L = m_L \text{tg}\alpha = \text{const}$  (где  $m_L$  — коэффициент отношения масштабов потокосцепления и тока).

Нелинейные свойства катушки индуктивности (рис. 1.7, поз. 2) определяют наличие у нее сердечника из ферромагнитного материала, для которого зависимость магнитной индукции  $\vec{B}$  от напряженности электрического поля  $\vec{H}$  нелинейна. Без учета явления магнитного гистерезиса нелинейная катушка характеризуется статической  $L_{\text{ст}} = \frac{\Psi}{i}$  и дифференциальной  $L_{\delta} = \frac{d\Psi}{di}$  индуктивностями.

### Емкостный элемент (конденсатор)

Условные графические обозначения конденсатора и его ВАХ приведены на рис. 1.8. Конденсатор является пассивным элементом электрической цепи, который характеризуется электрической емкостью. Для расчета емкости необходимо анализировать электрическое поле внутри конденсатора. Емкость определяется как отношение заряда  $Q$  на обкладках конденсатора к напряжению  $U$  между ними и зависит от геометрии обкладок и свойств диэлектрика, находящегося между ними:

$$C = \frac{dQ}{dU} [\Phi].$$

Большинство диэлектриков, применяемых на практике, обладают линейными свойствами, т. е. их относительная диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ ) постоянна. В этом случае зависимость  $Q(U)$  представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (см. рис. 1.8, б, поз. 1) и  $C = m_C \text{tg}\alpha = \text{const}$  (где  $m_C$  — коэффициент отношения заряда и напряжения).

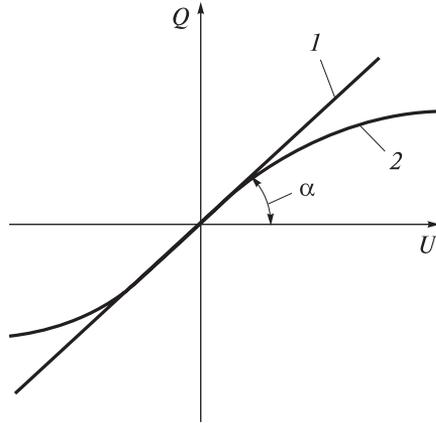
У нелинейных диэлектриков (сегнетоэлектриков) диэлектрическая проницаемость является функцией напряженности электрического поля, что обуславливает нелинейность зависимости  $Q(U)$  (рис. 1.8, б, поз. 2). В этом случае без учета явления электрического гистерезиса нелинейный конденсатор характеризуется статической  $C_{\text{ст}} = \frac{U}{q}$  и дифференциальной  $C_{\delta} = \frac{dQ}{dU}$  емкостями.

### Последовательное и параллельное подключение конденсаторов

При последовательном подключении полярных конденсаторов их положительные выводы подключают к отрицательным выводам другого полярного конденсатора.



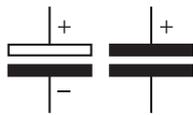
*a*



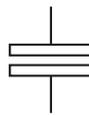
*б*



Конденсатор  
(общее  
обозначение)



Электролитический  
конденсатор



Неполярный  
электролитический  
конденсатор



Подстроечный  
конденсатор



Конденсатор  
переменной  
емкости



Дифференциальный  
конденсатор



Проходной  
конденсатор



Вариконд

*в*

**Рис. 1.8.** Общий вид (*a*), ВАХ (*б*) и УГО (*в*) емкостных элементов

Емкость цепи при последовательном включении конденсаторов:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

При параллельном подключении — положительные и отрицательные выводы всех конденсаторов соединяются попарно, создавая параллельное подключение. Емкости при параллельном подключении конденсаторов складываются:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i.$$

### Громкоговорители

Громкоговорители представляют собой устройства, предназначенные для преобразования электрических колебаний в звуковые. Среди наиболее распространенных типов громкоговорителей следует выделять электродинамические и пьезоэлектрические модели. Основные характеристики громкоговорителей включают в себя сопротивление, диапазон воспроизводимых частот и мощность.

Электродинамический громкоговоритель [10], также известный как динамик (рис. 1.9), состоит из конического диффузора, к которому прикреплена звуковая катушка. Эта катушка помещается внутри кольцевого постоянного магнита, а для обеспечения равномерного магнитного поля внутри ее каркаса используется железный сердечник. Вся конструкция закрепляется в металлическом корпусе. При подаче переменного тока на катушку она начинает двигаться вдоль сердечника, вызывая колебания диффузора. Эти

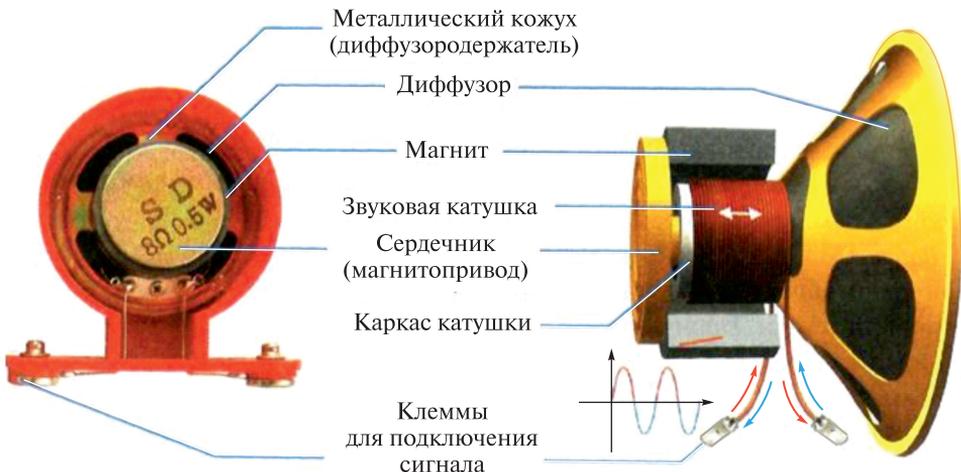


Рис. 1.9. Устройство электродинамического громкоговорителя (динамика)

колебания видны невооруженным глазом на динамиках звуковых колонок, и чем выше громкость, тем больше их амплитуда. Однако при очень больших колебаниях диффузор может разрушиться. Для динамиков с большой акустической мощностью необходимо вместо бумаги использовать материалы более высокой прочности, такие как металл или полимеры.

Поскольку создание динамика, способного воспроизводить весь аудиодиапазон от 20 до 20 000 Гц является технически сложной задачей, в акустических системах обычно используют несколько динамиков с различными характеристиками частотной передачи, которые в совокупности покрывают весь аудиодиапазон.

Пьезоэлектрический громкоговоритель (рис. 1.10), также известный как пьезоизлучатель, представляет собой устройство, состоящее из двух металлических контактов, между которыми размещена пьезоэлектрическая керамическая пластинка.

При подаче переменного тока звуковой частоты на металлические контакты пластинка начинает колебаться, издавая звук, соответствующий частоте и амплитуде тока. Пьезоэлектрические излучатели практически способны воспроизводить средне- и высокочастотные звуки, которые слышны на больших расстояниях.

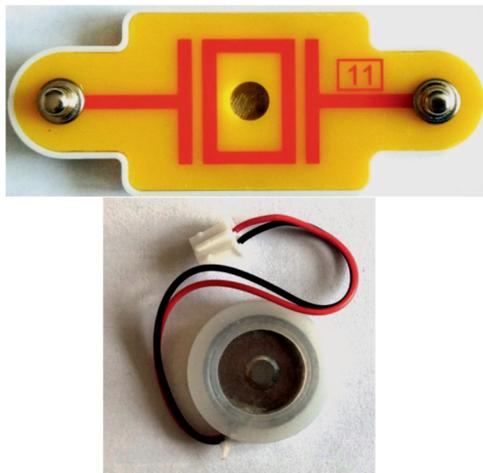


Рис. 1.10. Общий вид пьезоизлучателя

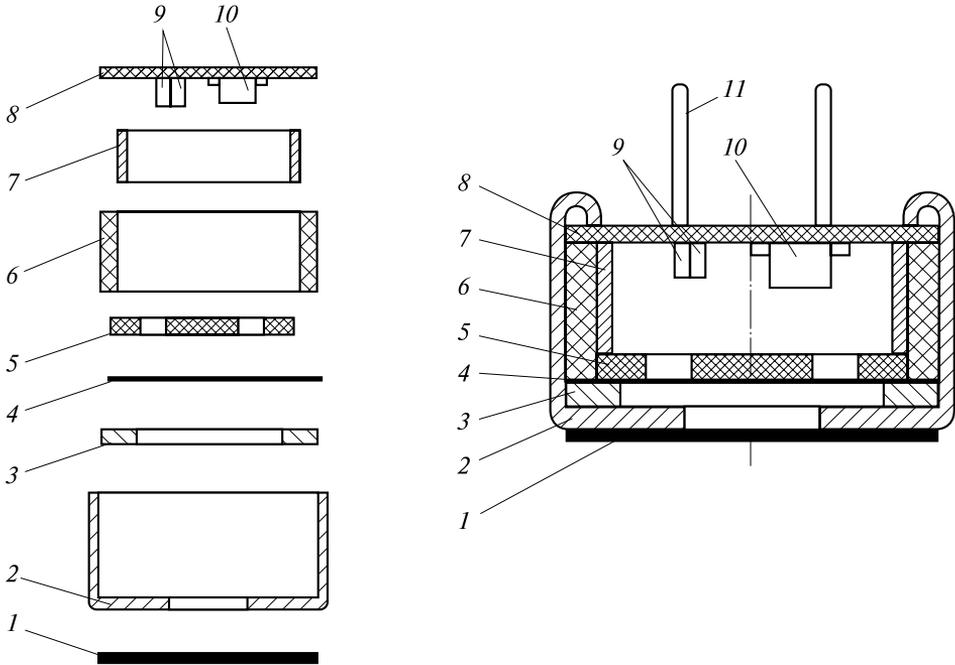
## Микрофоны

Микрофон (рис. 1.11) — устройство, предназначенное для преобразования звуковых колебаний в электрические. Существует несколько типов микрофонов, включая угольные, электродинамические, электромагнитные, пьезоэлектрические и электростатические (конденсаторные и электретные) [10]. Каждый из них обладает своими преимуществами и недостатками.

Основные характеристики микрофонов: чувствительность; импеданс (комплексное сопротивление); диапазон рабочих частот, характеристика направленности (всенаправленный, узконаправленный и т. д.).

Микрофоны находят широкое применение в различных областях, таких как телефония, телевидение, звукозапись и др. Они являются неотъемлемой частью аудио- и видеоборудования, обеспечивая требуемое качество звукового воспроизведения и передачи информации.

Принцип действия **электростатических** (конденсаторных и электретных) микрофонов основан на изменении электрической емкости двух проводящих пластин при изменении расстояния между ними. Одна из этих пластин



**Рис. 1.11.** Устройство электростатического микрофона:

1 — войлок; 2 — корпус; 3 — поляризованная диафрагма; 4 — прослойка; 5 — электрет; 6 — камера (отсек); 7 — медное покрытие; 8 — печатная плата; 9 — конденсатор (2 шт.); 10 — полевой транзистор; 11 — медный штырьковый диод (2 шт.)

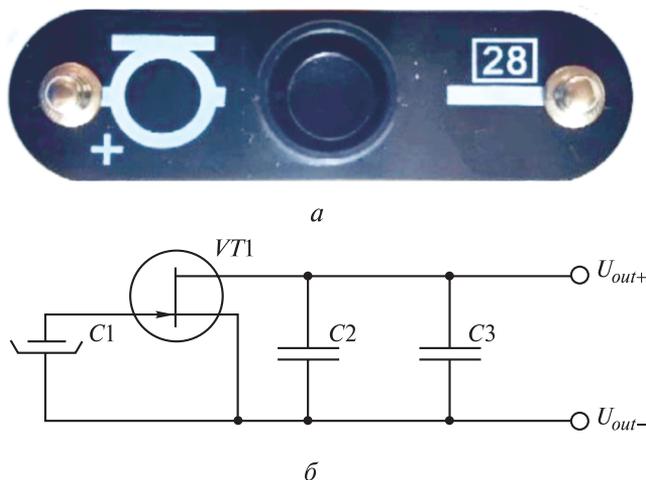
жестко закреплена в корпусе микрофона (рис. 1.11, поз. 5), вторая выступает в роли подвижной мембраны (рис. 1.11, поз. 3). Корпус выполнен из сплава алюминия и магния.

Колебания этой мембраны, вызванные звуковыми волнами, приводят к изменению емкости (рис. 1.12, поз. С1), что в конечном счете приводит к изменению выходного напряжения микрофона.

Поскольку выходной сигнал у такого микрофона мал, требуется усилитель сигнала и питание от источника ЭДС. В электретных микрофонах постоянное напряжение обеспечивается зарядом электрета — тонкого слоя материала, нанесенного на мембрану и способного сохранять этот заряд на протяжении десятилетий (см. рис. 1.11, поз. 5).

Электретные микрофоны широко используются в современных телефонных аппаратах (примерно в 95 % случаев), а также практически во всех мобильных телефонах.

Электродинамические микрофоны (или динамические) работают на принципе колебаний мембраны, соединенной с катушкой индуктивности. При перемещении катушки в поле постоянного магнита в ней наводится ЭДС, амплитуда которого пропорциональна скорости перемещения мембра-



**Рис. 1.12.** Общий вид (а) и электрическая принципиальная схема (б) электростатического микрофона

ны. Эти микрофоны по конструкции очень похожи на электродинамические громкоговорители, что позволяет в некоторых случаях использовать динамик в качестве микрофона, и наоборот.

**Пьезоэлектрические микрофоны** работают по принципу деформации пьезоэлемента, обусловленной колебаниями мембраны, которая жестко связана с этим элементом. Под воздействием звуковых волн мембрана начинает колебаться, что приводит к деформации пьезоэлемента. В результате деформации на выходе пьезоэлемента возникает электрическое напряжение, амплитуда которого пропорциональна скорости перемещения мембраны.

Пьезоэлектрические микрофоны способны преобразовывать воздушные колебания в очень маленький электрический ток, поэтому в большинстве случаев для усиления сигнала требуется усилитель. Такие микрофоны обладают высокой чувствительностью и точностью.

Пьезоэффект обратим, поэтому в качестве пьезоэлектрического микрофона используется пьезоизлучатель.

Расположение ЭРЭ в конструкторе «Зналок 999 схем» представлено на рис. 1.13. В набор входят такие пассивные элементы, как конденсаторы 0,02 мкФ, 0,1 мкФ; электролитические конденсаторы 10 мкФ, 100 мкФ, 470 мкФ; резисторы 100 Ом, 1 кОм, 5,1 кОм, 10 кОм, 100 кОм; катушка индуктивности 30 мГн, фоторезисторы, лампы накаливания, кнопки, переключатели состояний и др. Также в набор «Зналок» входят активные компоненты: красный и зеленый светодиоды; транзисторы PNP и NPN; тиристоры; усилители; семисегментный индикатор и большое число различных интегральных схем со множеством функций. Для подключения компонентов между собой предоставляются провода, проводники и разъемы (конекторы).

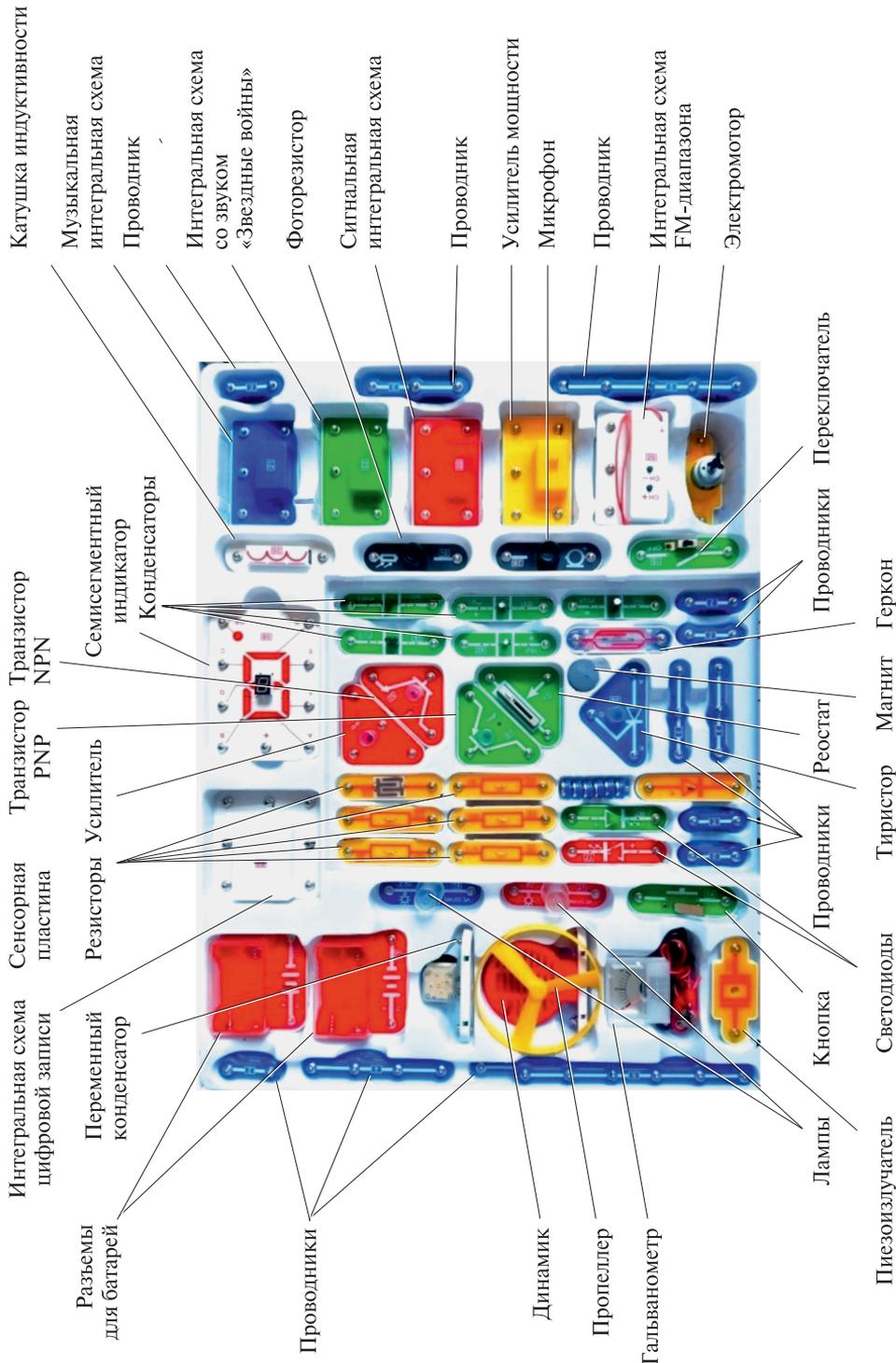


Рис. 1.13. Расположение элементов в конструкторе «Знаток 999 схем» [11]

## 1.4. Источники питания, батареи, аккумуляторы

Источники питания являются неотъемлемой частью электрических схем [12].

Батареи представляют собой компактный, независимый от электрической сети источник питания гальванического типа. Принцип работы простейшего гальванического элемента заключается в том, что два электрода из разных металлов (анод — из цинка, катод — из меди) погружают в жидкость — электролит. В результате протекания химических реакций между электродами образуется разность потенциалов — напряжение [11, 12].

Различие таких источников питания заключается в материалах, используемых при их изготовлении. Известны следующие основные виды батареек: солевые; щелочные; ртутные; кислотные; серебряные; литиевые и др.

Солевые батарейки — их электроды выполнены из оксида марганца и цинка. Кроме того, каждый из этих элементов находится в своем электролите — в обоих случаях это хлорид аммония. Контактуют катод и анод с помощью соединяющего их моста. Чаще всего солевые батареи используются в пультах, часах, игрушках для детей и др. Преимущества солевых батареек: самая низкая стоимость среди всех элементов. Недостатки: резкое падение напряжения во время разрядки элемента; снижение емкости на 40 % в конце допустимого срока хранения, а также при нахождении на морозе.

Щелочные (алкалиновые — от англ. *alkaline*). В качестве электролита используется гидроксид калия. Электроды выполняются из цинка и диоксида марганца. Щелочные батарейки применяются чаще любых других гальванических элементов. Их устанавливают в мобильные телефоны, планшеты и другое портативное оборудование. Преимущества щелочных батареек: повышенная емкость, а значит, долгий рабочий период; невосприимчивость к перепаду температуры и ее минусовым значениям; прочный корпус — не протекают и не портят другие детали в устройстве; срок службы до пяти лет; малый саморазряд — не более 10 % к первому году. Недостатки щелочных батареек: саморазряд все-таки присутствует; цена намного выше по сравнению с солевыми; большая масса (в среднем превышает массу солевых на 20...25 %).

Ртутные батарейки — анод у их элементов выполнен из цинка, катод — из оксида ртути. Разделение этих двух электродов осуществляется с помощью диафрагмы, напитанной раствором электролита, и специального сепаратора. В качестве электролита используется 40%-ный щелочной раствор. Главное отличие ртутных батареек от алкалиновых заключается в более стабильном напряжении и повышенной емкости. К недостаткам можно отнести токсичность, особенно при нарушении целостности оболочки и вытекании ртути, стоимость на порядок выше стоимости алкалиновых и утилизация.

Серебряные батарейки — материал анода — цинк, катода — оксид серебра. Электролитом является щелочь — гидроксид натрия или калия. По многим характеристикам серебряные батарейки очень похожи на ртутные,

а именно стабильное напряжение; длительный период хранения; долгим сроком службы (на 40 % больше, чем у литиевых), а также повышенная энергетическая плотность. Однако главное отличие серебряных батареек от ртутных заключается в большей емкости элемента на единицу массы и полном отсутствии токсичности. Недостатком является высокая стоимость.

Литиевые батарейки имеют следующую конструкцию: катод выполнен из лития, анод — из разных материалов (оксида меди, йода, диоксида серы и т. д.). Органический электролит напичивается в диафрагму и сепаратор, функция которых заключается в разделении катода и анода. Преимущества заключаются в отсутствии зависимости емкости от значения тока нагрузки, т. е. при очень больших нагрузках по току литиевые элементы продолжают функционировать существенно дольше их щелочных аналогов. Кроме того, период их хранения очень велик и составляет порядка 11–12 лет. Недостатком является высокая стоимость.

Аккумуляторы, в отличие от батареек, являются перезаряжаемыми гальваническими элементами. Они способны восстанавливать свою работоспособность через зарядку — процесс пропускания тока в обратном направлении по сравнению с разрядкой [12].

К ключевым параметрам батарей и аккумуляторов относятся напряжение и емкость (количество энергии, которое они могут выдать при разрядке до определенного уровня напряжения). Емкость измеряется в ампер-часах (А·ч) или миллиампер-часах (мА·ч). Большая емкость обеспечивает большее время работы устройства от батареи.

## 1.5. Электроизмерительные приборы

**Гальванометр** — измерительный прибор, предназначенный для обнаружения и измерения тока и напряжения.

В зависимости от схемы его подключения в электрическую цепь он может использоваться как *амперметр*, *вольтметр*, *омметр*, *спидометр*, *тахометр* и др. [13].

Работа гальванометра основана на использовании электромагнитных явлений.

Устройство и УГО гальванометра показаны на рис. 1.14. Магнитоэлектрические приборы, такие как гальванометр, имеют многовитковую рамку, расположенную между полюсами дугообразного постоянного магнита. Рамка является центральным элементом таких приборов. Она удерживается в нулевом положении пружиной и крепится к полуосям, что позволяет ей вращаться в некотором диапазоне вокруг своей оси.

Ток, подаваемый к катушке на подвижной рамке, создает вокруг нее магнитное поле. Это магнитное поле взаимодействует с полем постоянного магнита, вызывая поворот рамки и, следовательно, отклонение стрелки. Чем сильнее ток, тем больше угол поворота стрелки. При выключении тока пружина возвращает стрелку к нулевой отметке на шкале.

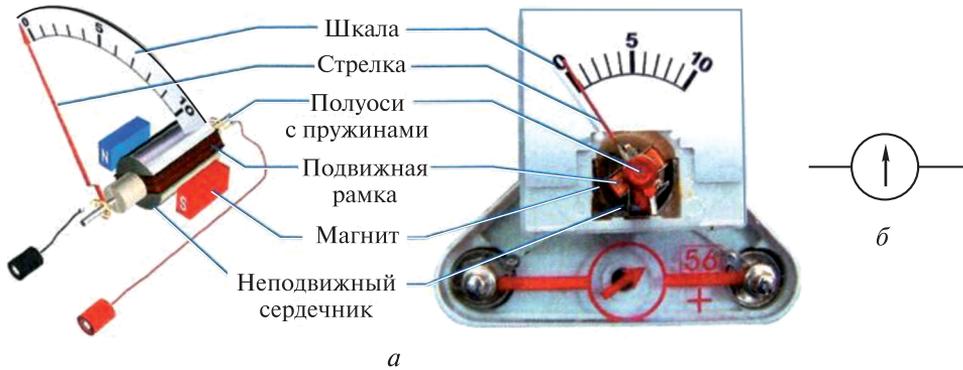


Рис. 1.14. Устройство (а) гальванометра и УГО (б) на электрических схемах [11]

Такой принцип работы гальванометра применяется в измерительных приборах для измерения постоянного тока. Однако, если на гальванометр подать переменный ток, отклонение стрелки будет соответствовать среднему значению этого сигнала. Например, если подать синусоидальный ток, то гальванометр покажет нулевое отклонение.

**Амперметр** — прибор для измерения силы тока, в котором используется гальванометр как основа с дополнительным калиброванным резистором, называемым шунтом, включенным параллельно с рамкой гальванометра (рис. 1.15, б). От сопротивления шунта  $R_{ш}$  зависит диапазон измерения амперметра — чем меньше сопротивление, тем больше диапазон измерения. Шунт позволяет (по аналогии с параллельным подключением резисторов) учитывать часть тока, который проходит через гальванометр, и таким образом обеспечивает более широкий диапазон измерений [13].

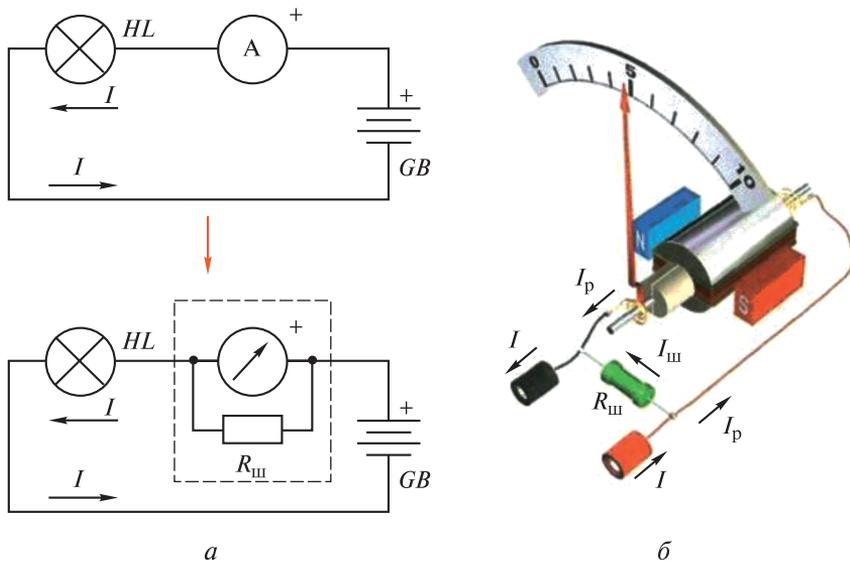
В электрическую цепь амперметр подключается последовательно с элементом, в котором он измеряет силу тока (рис. 1.15, а), и поэтому должен иметь сопротивление, близкое к нулю. Шкала амперметра градуируется в мкА, mA или А.

**Вольтметр** — прибор для измерения ЭДС и напряжения, базирующийся на гальванометре, в его состав входит добавочный резистор, подключенный последовательно с катушкой гальванометра (рис. 1.16, б) [13].

В электрическую цепь вольтметр включается параллельно с элементом, напряжение на котором необходимо измерить, или источником питания (рис. 1.16, а), поэтому должен иметь большое сопротивление. Вольтметр выводит результат на шкалу, которая градуируется в мкВ, мВ, В или кВ.

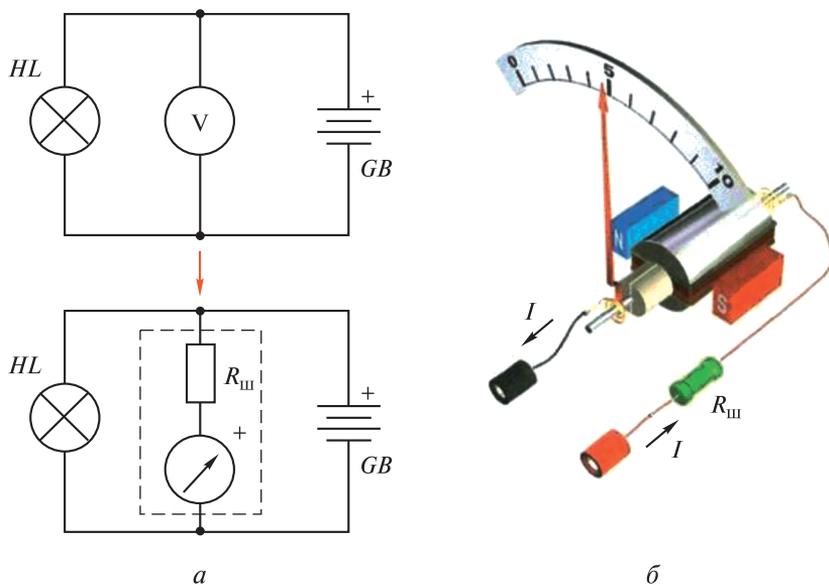
При включении этого прибора через него потечет ток. Чем больше измеряемое напряжение, тем больше отклонение стрелки.

По форме отображения данных электроизмерительные приборы подразделяют на аналоговые (со стрелочным указателем) и цифровые, которые выводят информацию на цифровой дисплей (рис. 1.17).



**Рис. 1.15.** Схема включения в электрическую цепь (а), устройство и принцип действия (б) амперметра [10]:

$HL$  — светодиод;  $GB$  — батарейка;  $I_p$  — ток резистора;  $I_{ш}$ ,  $R_{ш}$  — ток и сопротивление шунта



**Рис. 1.16.** Схема подключения в электрическую цепь (а), устройство и принцип действия (б) вольтметра [10]



Рис. 1.17. Общий вид цифрового мультиметра

**Мультиметр** представляет собой универсальное цифровое устройство, объединяющее функции вольтметра и амперметра. Кроме того, он может обладать дополнительными возможностями, такими как частотомер электрического сигнала, осциллоскоп, анализатор электрических компонентов и др. [13].

## **2. ИНЖЕНЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

### **Лабораторная работа № 1 Анализ коммутационных структур**

#### **Содержание задания**

Цель лабораторной работы — ознакомление с компонентами и возможностями электронного конструктора «Зналок 999 схем» [11]. Изучение свойств коммутационных структур [14].

В лабораторной работе рассматриваются базовые понятия раздела курса физики «Электричество и магнетизм» в части структуры и состава электрических цепей и основных ЭРЭ [4].

Задачами работы являются:

- ознакомление с основными коммутационными структурами;
- изучение коммутационного шасси, представленного в наборе.

#### **Теоретическая часть**

Электрическая цепь состоит из источников питания, потребителей, переключателей, проводов и других компонентов, соединенных в определенном порядке.

Для реализации электрической схемы на практике требуется создание специальных структур, соединяющих ее элементы.

В электронике коммутационная структура представляет собой элемент, который соединяет элементы электрической цепи — резисторы, конденсаторы и др. Коммутационные структуры в электронике могут быть очень сложными и включать в себя множество элементов, соединенных различными способами для достижения определенных целей [14].

Существуют следующие коммутационные структуры.

1. Печатная плата — основа электронного устройства, на которой расположены все компоненты электрической цепи (рис. Л1.1). Она представляет собой пластину из диэлектрического материала, на которую нанесены токопроводящие дорожки и контактные площадки для установки компонентов. Печатные платы используются в различных электронных устройствах, таких как компьютеры, мобильные телефоны, бытовая техника и др.

2. Монтаж накруткой — способ монтажа без печатной платы, широко применялся в 1960–1970 годах. В настоящее время данный способ используется для прототипирования. При этом способе электронные компоненты

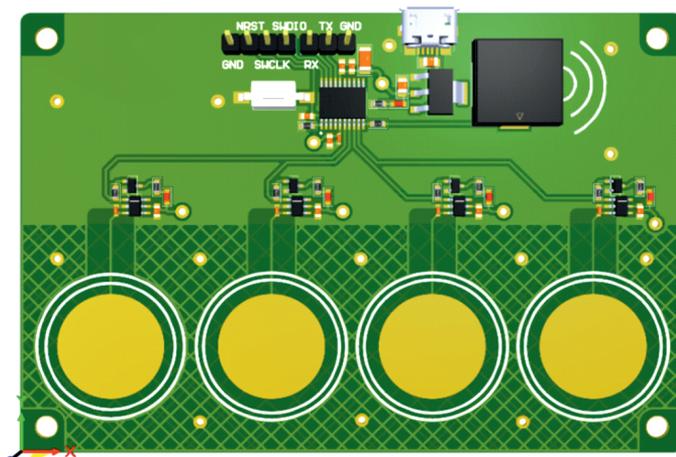


Рис. Л1.1. Печатная плата

вставляют в разъемы, с другой стороны которого расположены штырьки. На эти контактные элементы наматывают провода, коммутирующие разные элементы (рис. Л1.2).

3. Макетная плата — печатная плата, не имеющая дорожек, на ней располагаются отверстия с контактными площадками (рис. Л1.3). Шаг между отверстиями 2,54 мм. Макетные платы изготавливают с применением процесса пайки, они предназначены только для выводных элементов, возможен планарный монтаж электронных элементов и через отверстия.

4. Беспаячная макетная плата — разновидность макетной платы, на которой для соединения проводов не используется пайка, провода просто вставляются в специальные контакты на плате (рис. Л1.4). Это облегчает



Рис. Л1.2. Монтаж накруткой [14]

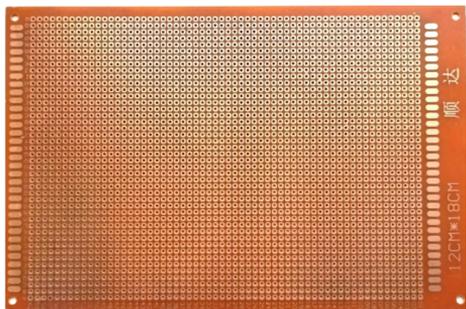


Рис. Л1.3. Макетная плата

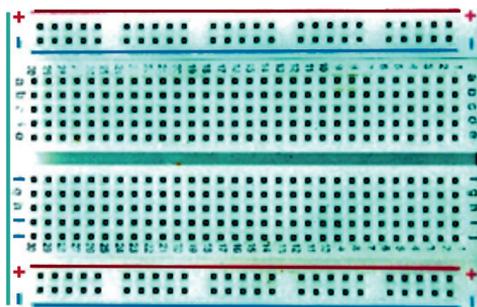


Рис. Л1.4. Общий вид безопасной макетной платы

процесс создания прототипов и позволяет быстрее тестировать различные схемы.

5. Навесной монтаж — вид монтажа без основной несущей части, контакты элементов соединяются напрямую либо через провода (рис. Л1.5). Следует отметить, что автоматизировать процесс навесного монтажа практически невозможно.

6. Металлическая рамка представляет собой базовую коммутационную структуру, применяемую в схемах сборки электронных устройств для обеспечения механической поддержки и распределения теплоты (рис. Л1.6). Она представляет собой площадку, изготовленную из металлического материала, чаще всего алюминия или стали, отличающегося высокой прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям. Основной функцией металлической рамки яв-

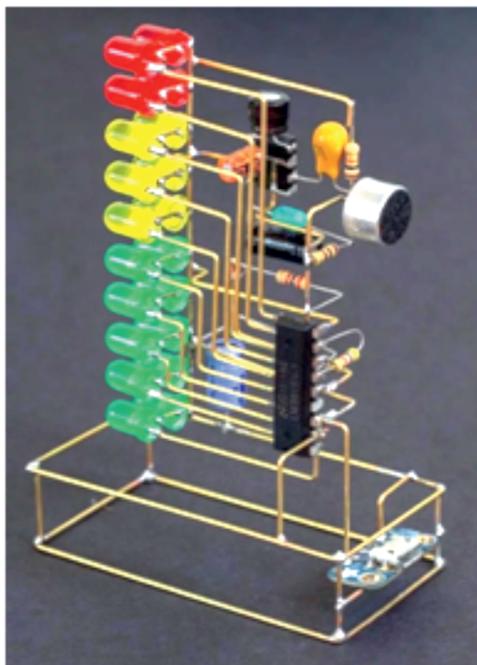


Рис. Л1.5. Пример навесного монтажа

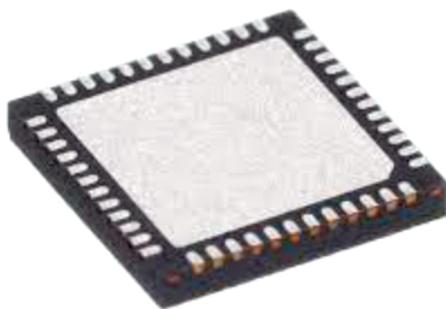


Рис. Л1.6. Общий вид металлической рамки

ляется обеспечение надежного крепления электронных компонентов. Путем припаивания или крепления элементов к этой структуре достигается стабильное положение компонентов в рамках электронного устройства. Кроме того, металлическая рамка выполняет важную функцию по распределению теплоты, образующейся в процессе работы электронных компонентов.

7. Концепция модульной конструкции представляет собой методологию, основанную на установке различных модулей или плат с электронными компонентами в специальные разъемы или коннекторы на базовую структуру (рис. Л1.7). Этот подход аналогичен вставке модуля оперативной памяти в материнскую плату компьютера, где каждый модуль представляет собой отдельный функциональный блок, работающий в рамках общей системы. Это обеспечивает высокую степень гибкости и масштабируемости, позволяя легко адаптировать систему под различные требования и изменения в ее функциональности.

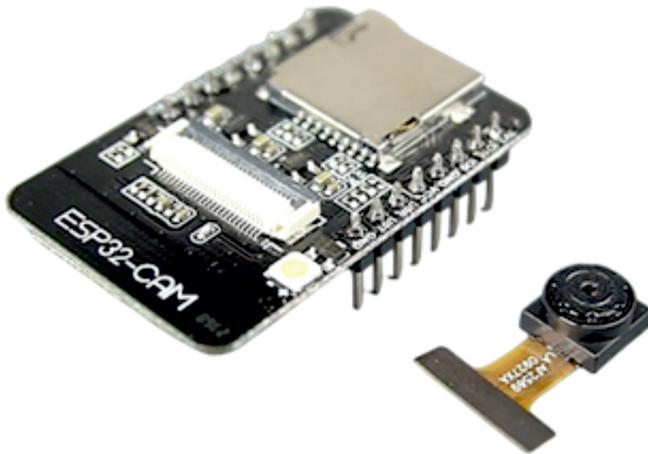


Рис. Л1.7. Пример модульности монтажа

Подробная информация о коммутационных структурах изложена в работе [14].

### **Порядок выполнения лабораторной работы**

Перед началом работы необходимо проанализировать электрическую схему устройства по варианту задания (рис. Л1.8), сформировать комплект элементов из набора модельного электронного конструктора [11], продумать компоновку элементов на коммутационном шасси. Размещение элементов рекомендуется проводить от центра коммутационного шасси к периферии, наиболее связанные элементы располагать в центре, менее связанные — по периферии. При компоновке необходимо следить, чтобы вес монтируемых

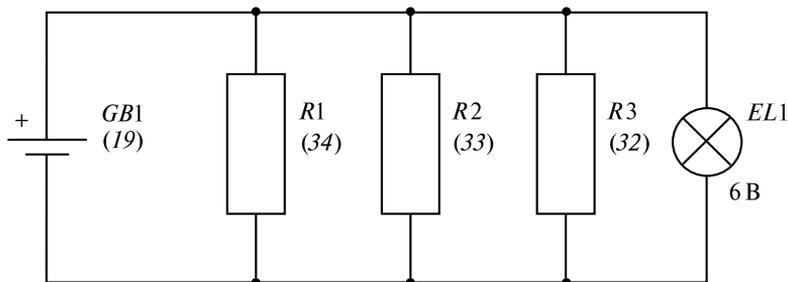


Рис. Л1.8. Принципиальная электрическая схема с комплектом элементов

элементов был распределен по всему коммутационному шасси. Коммутация компонентов осуществляется специальными соединительными проводниками, число которых в наборе ограничено, необходимо заранее продумать компоновку схемы с позиции минимизации внутренних связей.

Электронный модульный конструктор обеспечивает сборку схемы без применения пайки за счет механических защелок. Для сборки схемы согласно рис. Л1.8 разместить на рабочем столе антистатический коврик, на нем установить центральное коммутационное шасси (рис. Л1.9).

Перед сборкой схемы следует отсоединить элементы питания, так как во время коммутации через некоторые элементы при сборке может протекать большой ток и испортить их.

Необходимо обращать внимание на элементы, имеющие свою полярность, такие элементы имеют знак «+». При неправильной установке таких компонентов и включении схемы возможна их поломка.

Монтаж электрической схемы следует начать с габаритных компонентов — отсеков для питающих элементов, или интегральных схем (рис. Л1.10).

Далее рекомендуется монтировать элементы небольших размеров. Если количество параллельных соединений большое, следует установить два про-

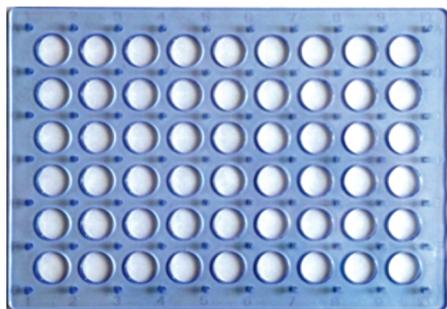


Рис. Л1.9. Общий вид коммутационного шасси

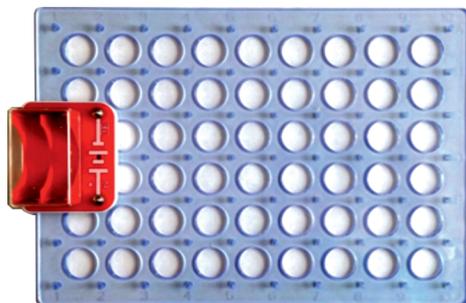
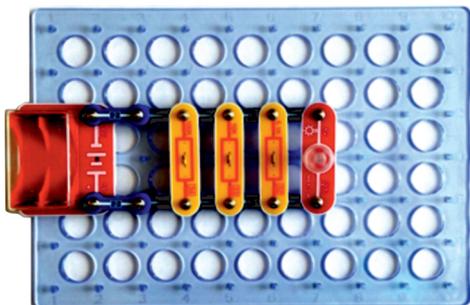
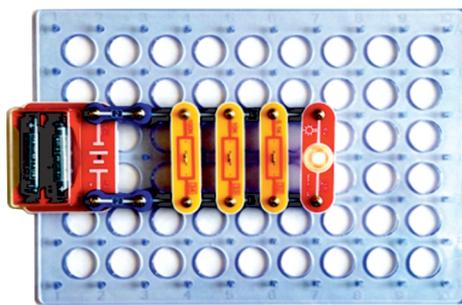


Рис. Л1.10. Коммутационное шасси с отсеком для батареек

водника, а после этого присоединить компоненты, стоящие параллельно (рис. Л1.11). При этом резисторы и конденсаторы удобно рассматривать как отдельный проводник для уменьшения коммутационной структуры.



**Рис. Л1.11.** Коммутационное шасси с параллельным соединением



**Рис. Л1.12.** Коммутационное шасси с собранной схемой

После сборки схемы следует удостовериться в правильности соединений компонентов, и только после этого можно устанавливать батарейки (рис. Л1.12).

### Содержание отчета

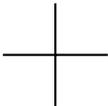
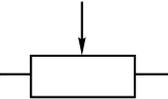
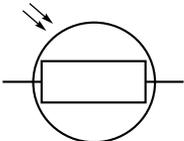
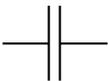
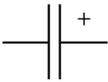
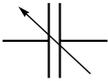
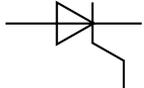
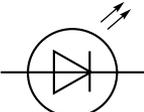
В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) принципиальная электрическая схема стенда и описание ее работы;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 4) методика подготовки к эксперименту;
- 5) меры безопасности при проведении эксперимента;
- 6) результаты экспериментальных исследований;
- 7) анализ полученных данных и результатов;
- 8) выводы по итогам экспериментальных данных.

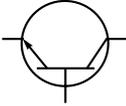
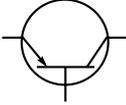
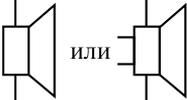
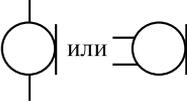
### Контрольные вопросы и задания

1. Приведите определение электрической цепи.
2. Что такое коммутационная структура?
3. Какие коммутационные структуры существуют?
4. Для каких коммутационных структур требуется пайка?
5. Изучите основные ЭРЭ, приведите их названия и краткие характеристики согласно приведенным УГО в табл. Л1.1.

Таблица Л1.1

Условное графическое обозначение	Название элемента
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	

Окончание табл. Л1.1

Условное графическое обозначение	Название элемента
	
	
	
	
	
	
	
	
	

## Лабораторная работа № 2 Анализ электрических цепей

### Содержание задания

Цель лабораторной работы — ознакомление с компонентами и возможностями электронного конструктора «Зналок 999 схем» [11], свойствами ЭРЭ, основами построения электрических цепей, проведения расчетов и измерений параметров электрических цепей.

В лабораторной работе рассматриваются базовые понятия раздела курса физики «Электричество и магнетизм» в части структуры и состава электрических цепей и основных ЭРЭ [4].

Задачами работы являются:

- ознакомление с основными ЭРЭ;
- изучение электрических цепей.

### Теоретическая часть

Гальванометр работает на основе принципа электромагнитной индукции, открытого М. Фарадеем. Чем больший ток проходит через катушку гальванометра, тем больше угол отклонения стрелки.

Для анализа электрических цепей необходимо иметь возможность измерять напряжения и токи в широком диапазоне значений. Для того чтобы гальванометр получил такие возможности, его следует модифицировать.

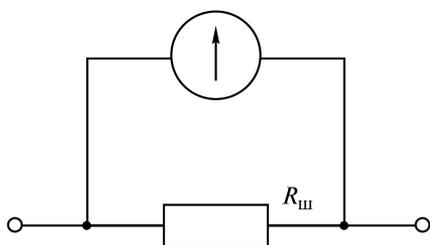


Рис. Л2.1. Электрическая схема амперметра

Если параллельно гальванометру подключить резистор (рис. Л2.1), сопротивление которого меньше, чем у гальванометра, то большая часть тока потечет через резистор. Общее сопротивление амперметра в первую очередь зависит от номинала шунтирующего резистора  $R_{ш}$ . Идеальный амперметр должен иметь нулевое сопротивление, чтобы были минимальными погрешности измерения.

Пусть через гальванометр с параллельно подключенным резистором течет ток  $I$ . Тогда на резисторе и гальванометре будет одинаковое напряжение  $U$ . Через гальванометр течет ток

$$I_r = \frac{U}{R_r},$$

через шунтирующий резистор ток

$$I_{ш} = \frac{U}{R_{ш}}.$$

По первому закону Кирхгофа

$$I = I_r + I_{ш} = \frac{U}{R_r} + \frac{U}{R_{ш}} = \frac{U(R_r + R_{ш})}{R_{ш}R_r}.$$

В результате деления общего тока на ток гальванометра получим коэффициент расширения диапазона амперметра:

$$n = \frac{I}{I_r} = \frac{\frac{U(R_r + R_{ш})}{R_{ш}R_r}}{\frac{U}{R_r}} = \frac{(R_r + R_{ш})}{R_{ш}} = \frac{R_r}{R_{ш}} + 1.$$

Выразим сопротивление шунта при известном коэффициенте расширения диапазона:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_{\Gamma}}{(n-1)}.$$

Если к гальванометру последовательно подключить резистор (рис. Л2.2), сопротивление которого больше, чем у гальванометра, то большая часть напряжения будет снижаться на резисторе. Общее сопротивление вольтметра в первую очередь зависит от сопротивления резистора. Идеальный вольтметр должен иметь бесконечное сопротивление.

Вольтметр состоит из двух частей: резистора с сопротивлением  $R_p$  и гальванометра с сопротивлением  $R_{\Gamma}$ . Пусть вольтметр подключен к источнику напряжения  $U$ . Тогда через него течет ток  $I$ , и можно записать

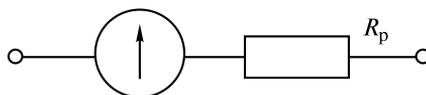


Рис. Л2.2. Электрическая схема вольтметра

$$U = IR = I(R_p + R_{\Gamma}).$$

Напряжение гальванометра

$$U_{\Gamma} = IR_{\Gamma}.$$

При делении общего напряжения на напряжение гальванометра получим коэффициент расширения диапазона вольтметра:

$$n = \frac{U}{U_{\Gamma}} = \frac{I(R_p + R_{\Gamma})}{IR_{\Gamma}} = \frac{R_p}{R_{\Gamma}} + 1.$$

### Порядок выполнения лабораторной работы

Для исследования принципов измерения тока в электрической цепи необходимо собрать из элементов конструктора электрическую схему, представленную на рис. Л2.3.

Алгоритм сборки:

1) взять батарейку (19), к плюсу батарейки подключить гальванометр (56);

2) к гальванометру подключить кнопку (14), далее подключить резистор  $R2$  с сопротивлением 10 кОм (33), как показано на электрической схеме (см. рис. Л2.3);

3) соединить резистор (33) со вторым выводом батарейки (19). Резистор (32) подключить к схеме в последнюю очередь. После подключения резистора стрелка гальванометра отклонится от нулевой отметки (рис. Л2.4).

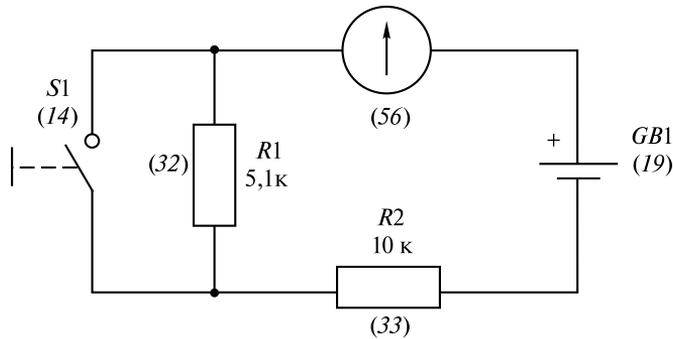


Рис. Л2.3. Электрическая схема для проведения эксперимента

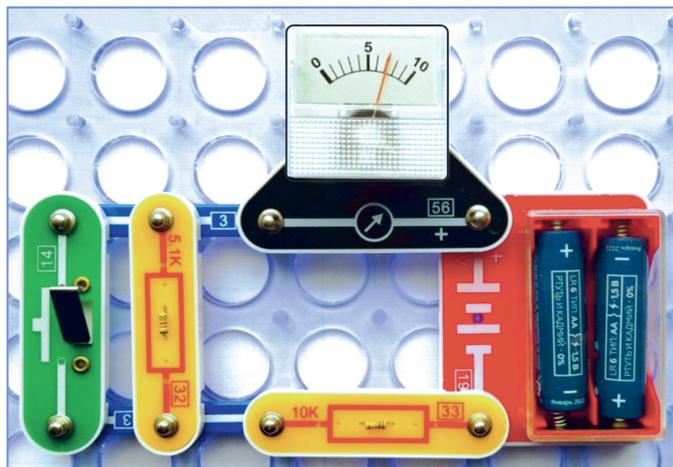


Рис. Л2.4. Общий вид электрической схемы, собранной с помощью конструктора «Зналок 999 схем»

Нажмите на ключ — общее сопротивление цепи уменьшится, ток увеличивается и стрелка гальванометра сильно отклонится от нуля. Определите новые показания прибора.

Зафиксируйте показания приборов (рис. Л2.5).

Определите силу тока в цепи, учитывая, что диапазон измерения гальванометра 300 мкА. Сначала необходимо рассчитать цену деления шкалы прибора: из максимального числа отметки на измерительном приборе вычитается минимальное, затем эту разность делят на число делений. Формула расчетов:

$$\begin{aligned} \text{Цена деления} &= \frac{\text{Минимальное значение} - \text{Максимальное значение}}{\text{Количество делений}} = \\ &= \frac{0 - 300 \text{ мкА}}{10} = 30 \text{ мкА}. \end{aligned}$$

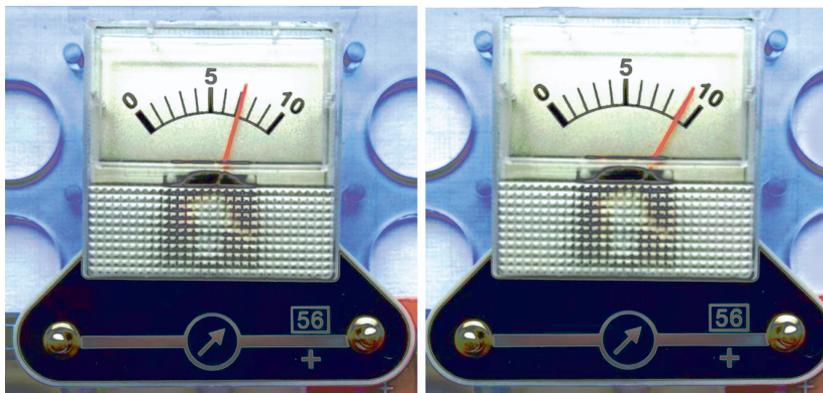


Рис. Л2.5. Показания приборов

Результаты измерений следует внести в табл. Л2.1.

Проведите измерения силы тока дважды: при замкнутой кнопке и при разомкнутой. Используя закон Ома и зная сопротивления резисторов и напряжение питания, рассчитайте силу тока в цепи и сравните с показаниями прибора.

Когда ключ разомкнут, ток течет через сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ , их сопротивления суммируются:

$$R = R_1 + R_2 = 10 \text{ кОм} + 5,1 \text{ кОм} = 15,1 \text{ кОм};$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3 \text{ В}}{15,1 \text{ кОм}} = 198 \text{ мкА}.$$

Когда ключ замкнут, ток через сопротивление  $R_1$  не течет, поэтому общее сопротивление равняется сопротивлению  $R_2$ :

$$R = R_2 = 10 \text{ кОм} = 10 \text{ кОм};$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3 \text{ В}}{10 \text{ кОм}} = 300 \text{ мкА}.$$

Результаты расчетов следует внести в табл. Л2.1.

Таблица Л2.1

#### Результаты эксперимента

№ п/п	Напряжение источника питания, В	Сопротивление резистора (32), кОм	Сопротивление резистора (33), кОм	Сила тока, мкА	Показания прибора, мкА
1	3	5,1	10	198	180
2	3	5,1	10	300	270

Проверьте, совпадают ли практические значения с теоретическими расчетами.

Практические значения силы тока ниже теоретических. Такой результат был получен потому, что гальванометр имеет собственное сопротивление, равное 900 Ом.

Рассчитайте силу тока в цепи с учетом сопротивления гальванометра.

Когда ключ разомкнут, ток течет через сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_r$ , сопротивление которых суммируется:

$$R = R_1 + R_2 + R_r = 10 \text{ кОм} + 5,1 \text{ кОм} + 0,9 \text{ кОм} = 16 \text{ кОм};$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3 \text{ В}}{16 \text{ кОм}} = 188 \text{ мкА}.$$

Когда ключ замкнут, ток через сопротивление  $R_1$  не течет, поэтому общее сопротивление равняется сопротивлению  $R_2$ :

$$R = R_2 + R_r = 10 \text{ кОм} + 0,9 \text{ кОм} = 10,9 \text{ кОм};$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3 \text{ В}}{10,9 \text{ кОм}} = 275 \text{ мкА}.$$

Новые значения с учетом сопротивления гальванометра более близки к измеренным значениям, чем предыдущие, но различаются. Это различие может быть вызвано другими случайными причинами. Например, отклонения сопротивлений резисторов от номинала, разряд батареек (чем меньше заряд, тем меньше напряжение на них), неправильная градуировка на измерительном устройстве.

Соберите схему измерения тока в цепи, представленную на рис. Л2.6. Согласно алгоритму, реализуйте схему, изображенную на рис. Л2.6 и выполните теоретический расчет силы тока в цепи.

Алгоритм сборки:

1) возьмите батарейку (19), к плюсу батарейки подключить гальванометр (56) и резистор сопротивлением 100 Ом (30);

2) объедините выводы резистора (30) и гальванометра (56), как показано на электрической схеме (см. рис. Л2.6), и подключить к ним резистор  $R_1$  сопротивлением 1 кОм (31);

3) после резистора (31) последовательно ему включите светодиод (17) и ключ (15);

4) соедините ключ (15) со вторым выводом батарейки (19).

Фактически гальванометр и без каких-либо дополнительных элементов работает как амперметр, но с очень маленьким диапазоном измерения (0...300 мкА, т. е. как микроамперметр).

Для того чтобы увеличить диапазон измеряемого тока, часть его необходимо пропускать не через гальванометр, а через параллельно подключенную электрическую цепь.

Допустим, надо увеличить диапазон измерения в 10 раз, для этого требуется подключить шунт. Подставив в формулу вычисления коэффициента расширения диапазона амперметра значения сопротивления рамки гальванометра  $R_r = 900 \text{ Ом}$  и коэффициент расширения диапазона  $n = 10$ , получим

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_r}{(n-1)} = \frac{900 \text{ Ом}}{(10-1)} = 100 \text{ Ом}.$$

В качестве шунта будем использовать обычный резистор. Гальванометр с параллельно включенным резистором сопротивлением 100 Ом представляет собой амперметр с диапазоном измерения от 0 до 3 мА. Теперь с помощью получившегося амперметра измерьте ток, протекающий через светодиод. Соберите электрическую схему (см. рис. Л2.6). Замкните выключатель (рис. Л2.7).

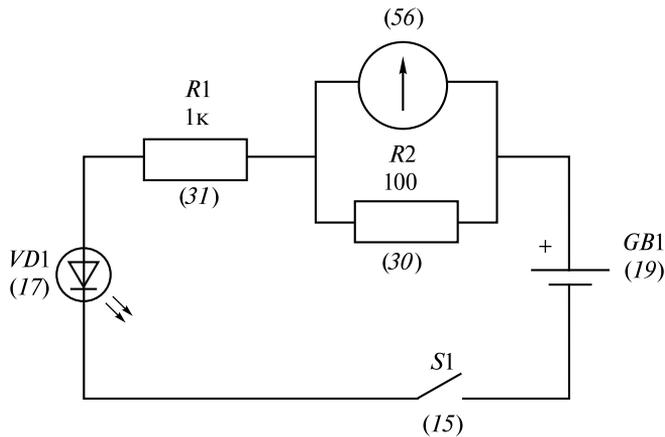


Рис. Л2.6. Электрическая схема лабораторного стенда для измерения силы тока

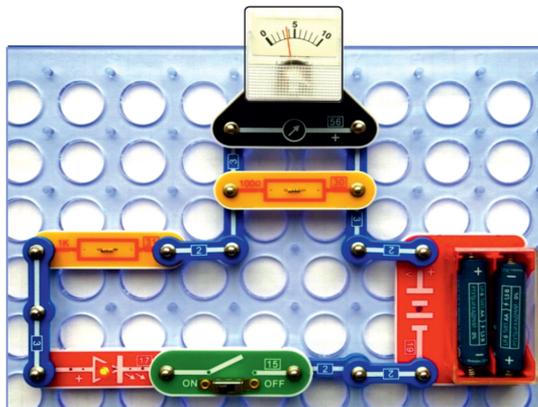


Рис. Л2.7. Общий вид электрической схемы лабораторного стенда с резистором

Рассчитайте цену деления и определите показания прибора, заполните табл. Л2.2

Выполните расчет цены деления прибора:

$$\begin{aligned} \text{Цена деления} &= \frac{\text{Минимальное значение} - \text{Максимальное значение}}{\text{Число делений}} = \\ &= \frac{0 - 3 \text{ мА}}{10} = 0,3 \text{ мА}. \end{aligned}$$

Проведите теоретический расчет силы тока через резистор и светодиод.

Будем считать, что на красном светодиоде при прямом подключении (ток течет от анода к катоду) падает напряжение:  $U_c = 8 \text{ В}$ , тогда

$$I = \frac{U - U_c}{R} = \frac{3\text{В} - 8\text{В}}{1\text{кОм}} = 2 \text{ мА}.$$

В таблицу с результатами эксперимента впишите значения показаний прибора с учетом того, что его цена деления изменилась.

Внесите результаты эксперимента в табл. Л2.2.

Таблица Л2.2

#### Результаты эксперимента

№ п/п	Напряжение источника питания, В	Сопrotивление резистора (31), кОм	Сопrotивление резистора (30), Ом	Сила тока, мА	Показания прибора, мА
1	3	1	100	2	1

Сравните теоретические значения силы тока с полученными практическими. В этот раз теоретические и экспериментальные значения различаются, поскольку созданный амперметр не идеальный и имеет сопротивление 100 Ом. Кроме того, падение напряжения на светодиоде незначительно варьируется от светодиода к светодиоду.

Соберите схему измерения напряжения, представленную на рис. Л2.8. Согласно алгоритму, реализуйте схему, изображенную на рис. Л2.9, и выполните измерения падения напряжения на светодиодах.

Алгоритм сборки:

1) возьмите батарейку (19), к плюсу батарейки подключите реостат R1 (53) (реостат — резистор, сопротивление которого можно изменять, смещая положения ползунка);

2) к реостату (53) подключите светодиод (26), как показано на рис. Л2.6;

3) соедините катод светодиода (26) с минусом батарейки (19) через резистор сопротивлением 100 Ом (30);

4) параллельно светодиоду (26) включите последовательно соединенные ключ (15), гальванометр (56) и резистор сопротивлением 10 кОм (33).

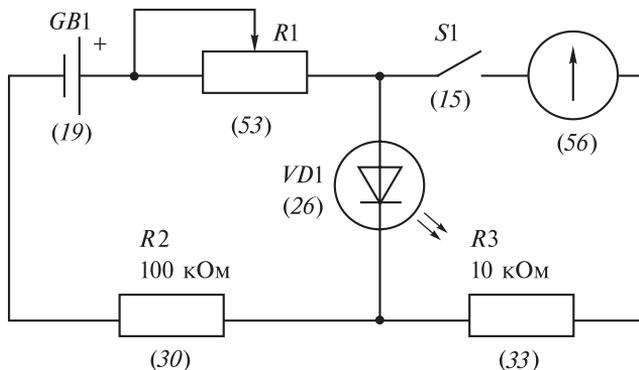


Рис. Л2.8. Электрическая схема лабораторного стенда для измерения напряжения

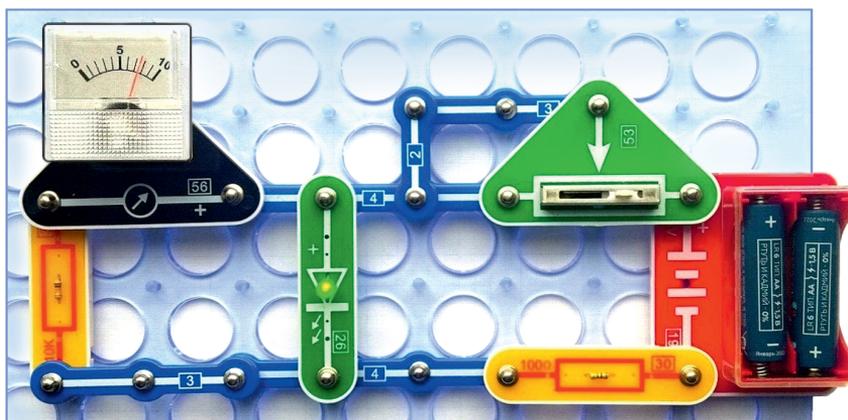


Рис. Л2.9. Общий вид электрической схемы лабораторного стенда для измерения напряжения

Гальванометр с последовательно включенным резистором превращается в вольтметр. На электрической схеме показано, как с помощью получившегося вольтметра измерить падение напряжения на светодиоде (см. рис. Л2.8).  
 Рассчитайте цену деления прибора и определите величину падения напряжения на светодиоде.

Расчет цены деления прибора.

По заданию  $R_p = 10 \text{ кОм}$ . Рассчитайте коэффициент расширения диапазона вольтметра:

$$n = \frac{R_p}{R_r} + 1 = \frac{10 \text{ кОм}}{900 \text{ Ом}} + 1 = 12,11.$$

Поскольку гальванометр можно представить в виде постоянного резистора, который показывает свой ток, несложно получить падение его напря-

жения. Рассчитайте граничные значения, которые может измерить гальванометром по закону Ома:

$$U_{\min} = I_{\min} R = 0 \cdot 900 \text{ Ом} = 0;$$

$$U_{\max} = I_{\max} R = 300 \text{ мкА} \cdot 900 \text{ Ом} = 270 \text{ мВ}.$$

Для определения диапазона следует умножить предельное значение напряжения на коэффициент расширения диапазона:

$$U = U_{\max} n = 270 \text{ мВ} \cdot 12,11 = 3,27 \text{ В}.$$

По известной формуле рассчитайте цену деления:

$$\begin{aligned} \text{Цена деления} &= \frac{\text{Минимальное значение} - \text{Максимальное значение}}{\text{Количество делений}} = \\ &= \frac{0 - 3,27 \text{ В}}{10} = 0,3 \text{ мВ}. \end{aligned}$$

Установите ползунок реостата в крайнее правое положение. Замкните выключатель. Стрелка вольтметра отклонится, но светодиод не горит. Это означает, что через светодиод протекает ток, недостаточный для его свечения. Наблюдая за стрелкой прибора и светодиодом, плавно переместите ползунок реостата в крайнее левое положение. Светодиод засветится, а стрелка отклонится на максимальное значение. Замените зеленый светодиод (26) красным (17). Показания будут различаться. Определите падение напряжения на красном светодиоде, результаты внесите в табл. Л2.3.

Внесите результаты эксперимента в таблицу.

Таблица Л2.3

Результаты эксперимента

№ п/п	Напряжение источника питания, В	Падение напряжения на светодиоде, В	Цвет светодиода
1	3	2,4	Зеленый
2	3	2,1	Красный

Цвет полупроводникового светодиода и падение напряжения в первую очередь зависят от используемых материалов. Светодиод, или светоизлучающий диод, является полупроводниковым прибором с электронно-дырочным переходом (*p-n*-переходом) или контактом металл–проводник, создающим оптическое излучение при прохождении электрического тока через него в прямом направлении.

### Содержание отчета

В отчете о выполненной лабораторной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) принципиальная электрическая схема стенда и описание ее работы;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 4) примеры вычислений и теоретические расчеты:
  - расчеты амперметра;
  - расчеты вольтметра;
  - соответствующие расчеты цен деления измерительного прибора;
- 5) методика проведения измерений;
- 6) результаты экспериментальных исследований:
  - таблица с результатами расчетов и экспериментов с амперметром;
  - таблица с результатами расчетов и экспериментов с вольтметром;
  - таблица с падением напряжений на светодиодах;
- 7) анализ полученных данных и результатов;
- 8) оценка точности и надежности полученных результатов;
- 9) выводы по итогам сравнения расчетных и экспериментальных данных.

### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое гальванометр?
2. Объясните принцип работы гальванометра.
3. Сформулируйте закон Ома.
4. Как измерить силу тока в цепи?
5. Какое сопротивление должен иметь идеальный амперметр?
6. Для каких целей используется шунт?
7. Как измерить напряжение?
8. Какое сопротивление должен иметь идеальный вольтметр?
9. Чем отличается схема включения амперметра и вольтметра в электрическую цепь?
10. Чем можно объяснить различия между теоретическими расчетами и показаниями прибора?
11. Что такое светодиод?
12. Что произойдет, если светодиод подключить напрямую к батарее?

## **Лабораторная работа № 3**

### **Основы измерений параметров электрических цепей с помощью мультиметра**

#### **Содержание задания**

Цель лабораторной работы — изучить основные принципы работы с мультиметром. Освоить методы измерения основных физических величин: напряжения и тока.

В лабораторной работе рассматриваются базовые понятия курса физики «Электричество и магнетизм» в части измерительных методик параметров электрических цепей и основных ЭРЭ [5].

Задачами работы являются:

— ознакомление с элементами управления мультиметром лабораторного стенда;

— изучение методики проведения измерений напряжения и тока с помощью мультиметра.

#### **Теоретическая часть**

Мультиметр — цифровой электроизмерительный прибор, с помощью которого измеряют основные электрические величины, такие как напряжение, ток и сопротивление. Он также может использоваться для проверки целостности электрических цепей и выявления неисправностей в электрооборудовании. Мультиметры широко применяются в электронике, электротехнике и других областях, где необходимо проводить измерения электрических параметров.

У любой измерительной аппаратуры существует ряд характеристик:

1) точность — степень близости результата измерения к истинному значению измеряемой величины;

2) погрешность — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины, вызванное несовершенством прибора и другими причинами;

3) диапазон измерений — интервал значений измеряемой величины, в котором возможно проведение измерений с заданной точностью;

4) чувствительность — способность прибора реагировать на изменение измеряемой величины. Выражается в виде отношения изменения выходного сигнала прибора к вызвавшему его изменению измеряемой величины;

5) разрешение — минимальное изменение измеряемой величины, которое может быть зарегистрировано прибором;

6) время реакции — время, необходимое для установления показаний прибора после включения или изменения измеряемой величины;

7) стабильность — свойство прибора сохранять свои характеристики в течение длительного времени;

8) воспроизводимость — способность прибора выдавать одинаковые результаты при повторных измерениях одной и той же величины.

Электрические цепи можно характеризовать двумя параметрами: напряжением и силой тока.

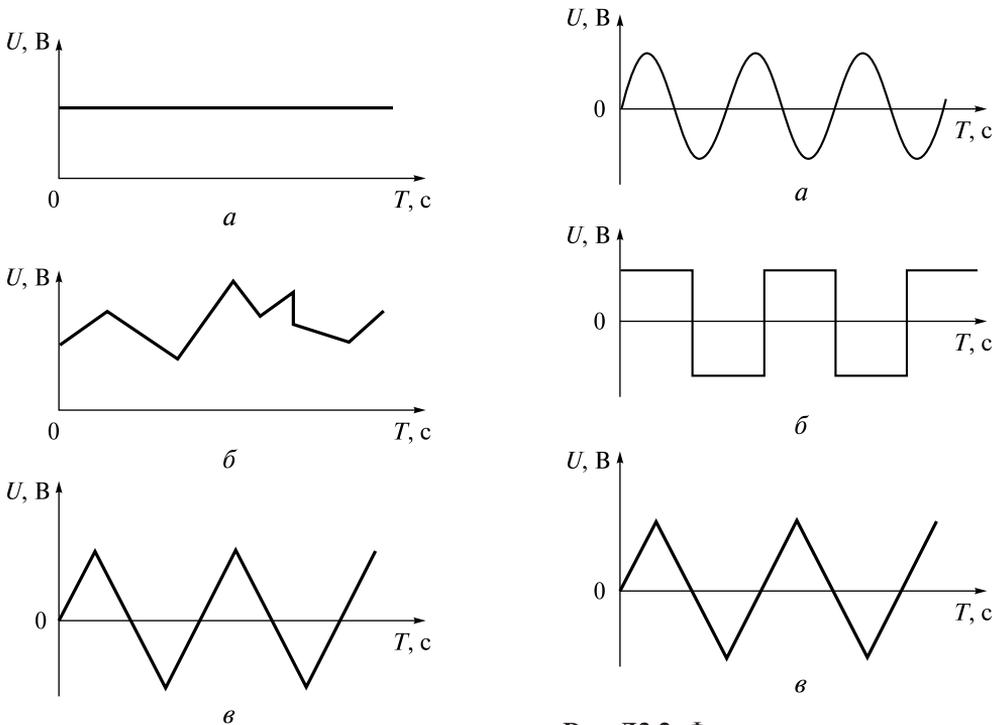
Напряжение — разность потенциалов между двумя точками электрической цепи, и как его определить в цепи? Электрический потенциал точки — это работа электрического поля по перемещению единицы заряда из данной точки в бесконечно удаленную. Таким образом, напряжение — это работа  $A$  по перемещению единичного заряда  $q$  из одной точки к другой:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}.$$

Напряжение в электрических цепях может быть разным: постоянным, переменным, пульсирующим и т. д. (рис. ЛЗ.1).

Постоянное напряжение (рис. ЛЗ.1, *а*) не изменяет своего значения в течение всего времени. Пульсирующее напряжение (рис. ЛЗ.1, *б*) изменяет свое значение во времени, но остается больше нуля. Переменное напряжение (рис. ЛЗ.1, *в*) изменяет свое значение во времени, обычно имеет периодический характер и изменяет свой знак.

Форма сигналов переменного напряжения приведена на рис. ЛЗ.2.



**Рис. ЛЗ.1.** Виды напряжений:

*а* — постоянное; *б* — пульсирующее;  
*в* — переменное

**Рис. ЛЗ.2.** Форма сигналов переменного напряжения:

*а* — синусоида; *б* — меандр; *в* — треугольный сигнал

Для каждого периодического сигнала характерны такие параметры, как частота, амплитуда, действующее значение сигнала.

Сила тока — это количество электрического заряда, проходящего через сечение проводника за единицу времени:

$$I = \frac{q}{t}.$$

Сила тока также различается по виду и форме сигнала.

Для проведения практикума используется мультиметр (рис. Л3.3).

	— напряжение, опасное для жизни
$V_{\dots}$	— напряжение постоянного тока
$V_{\sim}$	— напряжение переменного тока
A	— ампер (определение силы тока)
$\mu$	— микроампер (миллионная часть ампера)
m	— милливольт (одна тысячная вольта)
hFE	— коэффициент усиления транзистора по току
$\circ))$	— «прозвон» на короткое замыкание
$\rightarrow+$	— «прозвон» диодов и транзисторов без их выпаивания
k	— килоом (тысяча Ом)
$\Omega$	— обозначение электрического сопротивления
M	— мегаом (млн Ом)

**Рис. Л3.3.** Условные графические обозначения мультиметра

Подготовка измерительного стенда происходит в следующей последовательности: проверьте установку мультиметра на рабочем месте в необходимой доступности; включите мультиметр, задайте базовые установки параметров измерения (рис. Л3.4).

Подключение мультиметра к электрической схеме лабораторного стенда приведено на рис. Л3.5.

Проведите оценочные измерения напряжения для батарейки с помощью мультиметра, для этого переведите мультиметр в режим измерения напряжения с диапазоном 20 В (см. рис. Л3.4).

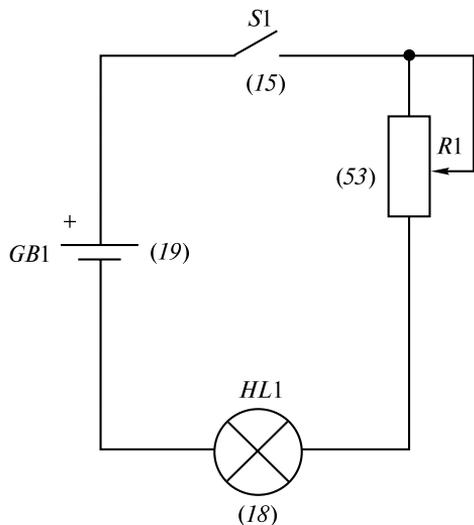


Рис. Л3.4. Электрическая схема лабораторного стенда с мультиметром

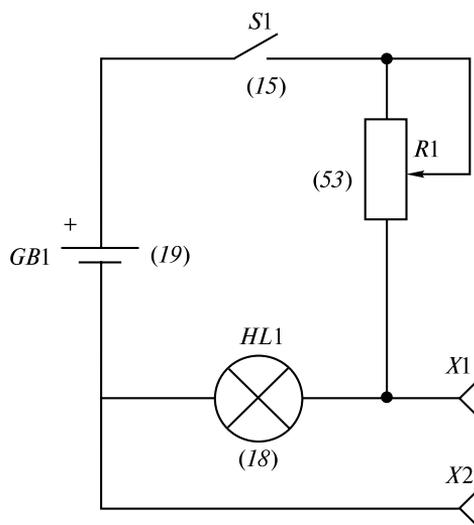


Рис. Л3.5. Подключение мультиметра к электрической схеме лабораторного стенда

### Порядок выполнения лабораторной работы

Соберите схему управления (рис. Л3.4).

Алгоритм сборки схемы управления:

- 1) взять батарейку (19), к плюсу батарейки подключить ключ (15);
- 2) к ключу (15) подключить переменный резистор (53);
- 3) к переменному резистору (53) подключить лампочку (18), как показано на рис. Л3.4.
- 4) лампочку (18) подключите к минусу батареи.

4) лампочку (18) подключите к минусу батареи.

Подключите мультиметр к контактам 1 и 2, изображенным на рис. Л3.6. Изменяя положение движка переменного резистора (53), сделайте несколько измерений (рис. Л3.7) и внесите результаты в табл. Л3.1.

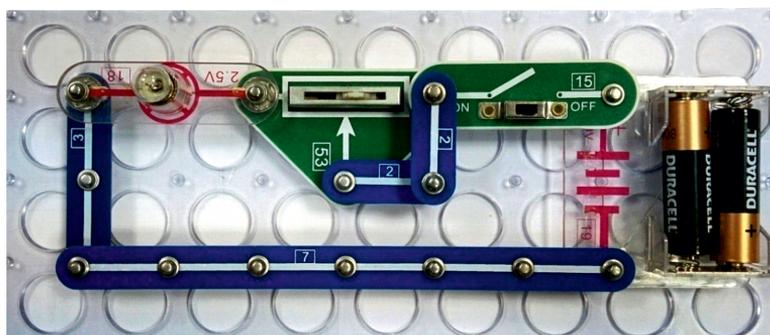


Рис. Л3.6. Общий вид электрической схемы с мультиметром, собранной с помощью конструктора «Зналок 999 схем»

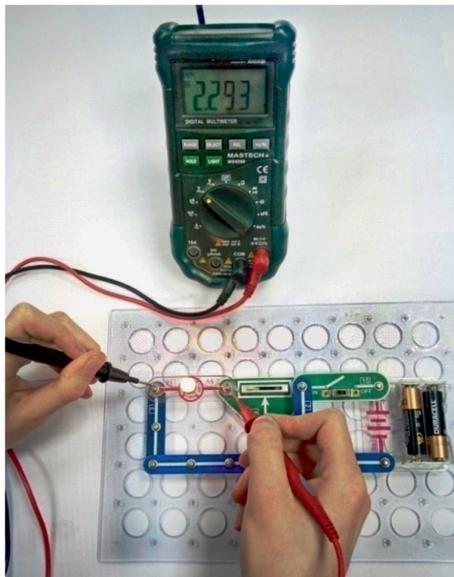


Рис. Л3.7. Снятие измерений с электрической схемы, собранной с помощью конструктора «Знаток 999 схем»

Изменяя положение движка переменного резистора (53), сделайте несколько измерений (рис. Л3.10) и внесите результаты в табл. Л3.2. Что происходит с яркостью свечения лампочки? Объясните разницу в получившихся значениях.



Рис. Л3.8. Мультиметр в режиме измерения тока

Таблица Л3.1

### Результаты измерения напряжения

№ п/п	Напряжение источника питания, В	Показания мультиметра, В
1	2,5	9,40
2	2,5	1,30
3	2,5	0,54
4	2,5	0,21
5	2,5	0

Что происходит с яркостью свечения лампочки? Объясните разницу в получившихся значениях.

Переведите мультиметр в режим измерения силы тока (рис. Л3.8).

Подключите мультиметр к контактам X1 и X2, как показано на рис. Л3.9. Изменяя положение движка переменного резистора (53), сделайте несколько

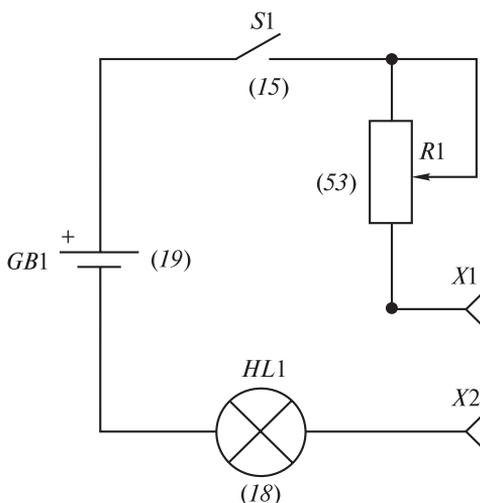
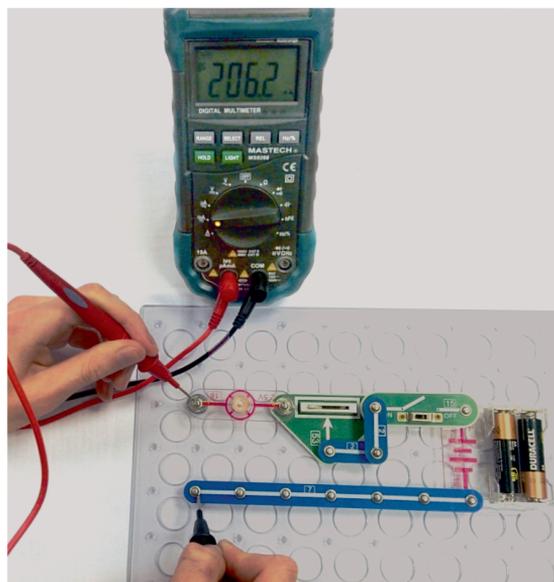


Рис. Л3.9. Подключение мультиметра к электрической схеме лабораторного стенда



**Рис. Л3.10.** Измерение напряжения на электрической схеме, собранной с помощью конструктора «Знаток 999 схем»

*Таблица Л3.2*

### Результаты измерения напряжения

№ п/п	Напряжение источника питания, В	Показания мультиметра, А
1	2,5	0,25
2	2,5	0,21
3	2,5	0,18
4	2,5	0,07
5	2,5	0,02

### Содержание отчета

В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) принципиальная электрическая схема стенда и описание ее работы;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 4) методика проведения измерений;
- 5) результаты экспериментальных исследований:
  - таблица с результатами измерения напряжения;
  - таблица с результатами измерения силы тока;
- 6) анализ полученных данных и результатов;
- 7) выводы по итогам экспериментальных данных.

### Контрольные вопросы и задания

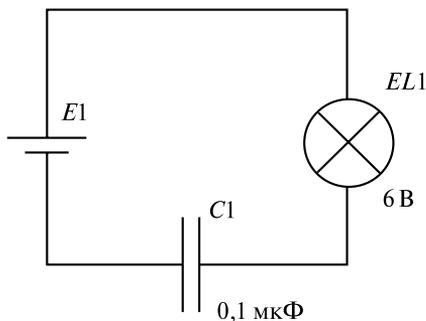


Рис. ЛЗ.11. Последовательное соединение лампы и конденсатора

1. Что такое реостат?
2. Что такое диапазон измерений?
3. В каких единицах измеряются основные электротехнические характеристики?
4. Для чего нужен мультиметр?
5. Что такое источник питания?
6. Посмотрите на рис. ЛЗ.11. Объясните, почему лампа не загорается? Какой элемент нужно заменить, чтобы лампа загорелась?
7. Как изменятся напряжение и сила тока на лампочке, если она нагреется?

## Лабораторная работа № 4 Основы измерений параметров электрических цепей с помощью осциллографа

### Содержание задания

Цель лабораторной работы — изучить основные принципы измерения физических электрических величин: частоты, периода и мощности сигнала. Получить сигнал на экране осциллографа с заданными параметрами, изучить основные принципы работы с генератором сигналов и осциллографом. Освоить методы измерения основных физических величин: напряжения и тока.

В лабораторной работе рассматриваются базовые понятия раздела курса физики «Электричество и магнетизм» в части измерительных методик параметров электрических цепей и основных ЭРЭ.

Задачами лабораторной работы являются:

- отработка навыков работы с элементами управления приборов лабораторного стенда: осциллографа, генератора сигналов, блока питания;
- изучение методики измерения физических величин: частоты, периода, мощности сигнала.

### Теоретическая часть

Электрический сигнал — материальный носитель информации об электромагнитных процессах, происходящих в электрической цепи, в качестве которого используется обычно либо ток, либо напряжение. Посредством совокупности сигналов можно представить различные события.

Характеристики сигналов:

- амплитуда — максимальное значение сигнала;

- частота — число колебаний сигнала в секунду;
- период — время одного полного колебания сигнала;
- фаза — смещение сигнала относительно некоторого начального значения;
- спектр — распределение амплитуд сигнала по частотам.

Каждый вид сигнала имеет свои особенности и преимущества, определяющие их использование в различных областях: телекоммуникации, обработке сигналов, цифровой технике и др.

Анализировать сигналы можно различными способами, существует два основных способа анализа сигналов: временной и частотный.

Временной анализ сигнала — метод исследования сигнала, основанный на изучении его зависимости от времени. В этом методе анализируется форма сигнала, его амплитуда, длительность и другие параметры, которые могут изменяться во времени. Временной анализ используется для изучения свойств сигнала — его периодичности, наличия шумов, а также для обнаружения различных типов искажений.

Частотный анализ сигнала — метод исследования сигнала, основанный на анализе его частотного спектра. В этом методе сигнал преобразуется из временной области в частотную с помощью преобразования Фурье. В результате частотного анализа можно получить информацию о частотных компонентах сигнала, их амплитуде и фазе, а также о наличии гармонических составляющих и других особенностях спектра сигнала. Частотный анализ используется для определения частот, на которых находится основная энергия сигнала, а также для выявления различных видов искажений, связанных с частотной областью.

Синусоидальный сигнал может быть описан следующей зависимостью:

$$Y = A \sin(2\pi ft + \varphi),$$

где  $A$  — амплитуда сигнала;  $f$  — частота сигнала;  $t$  — время;  $\varphi$  — начальная фаза сигнала.

Любой периодический сигнал можно представить в виде ряда Фурье — бесконечной суммы синусоидальных и косинусоидальных функций. Коэффициенты ряда Фурье определяют исходя из формы исходного сигнала.

Ряды Фурье широко применяются в различных областях науки и техники, включая электротехнику, обработку сигналов, акустику.

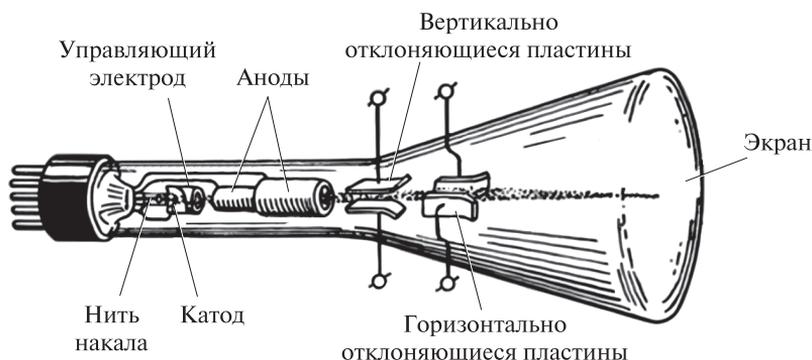
Также ряды Фурье используются в музыке для синтеза звука. Например, для создания звука, который будет звучать как гитара, можно использовать ряд Фурье для аппроксимации формы волны, которую издает гитара, а затем воспроизвести эту форму волны с помощью суммы отдельных генераторов, содержащихся в синтезаторе.

Для измерения характеристик сигналов используется осциллограф.

Осциллограф — прибор для визуализации, измерения и анализа электрических сигналов. Принцип его действия основан на явлении отклонения электронного луча в электрическом или магнитном поле.

Основными элементами аналогового осциллографа являются электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), генератор развертки и блок управления. Электронно-лучевая трубка представляет собой вакуумный сосуд, внутри которого находится электронная пушка с ускорителем, система, отклоняющая электронный луч как по горизонтали (развертка во времени), так и по вертикали (характеристика сигнала), и экран. Генератор развертки изменяет положение электронного луча по оси времени. Блок управления позволяет изменять параметры генератора развертки, такие как амплитуда, частота и фаза, что дает возможность изменять отображение сигнала на экране ЭЛТ, делая его пригодным для визуального анализа, — масштабировать, панорамировать, «замораживать» и т. д.

Когда генератор развертки включен, электронный луч начинает движение. При этом на вертикальную отклоняющую систему подается исследуемый сигнал (рис. Л4.1). В результате луч как бы рисует график изменения сигнала во времени, и за счет свечения люминофора на экране ЭЛТ появляется осциллограмма.



**Рис. Л4.1.** Электронно-лучевая трубка аналогового осциллографа с электростатической системой отклонения электронного луча

Осциллографы используются для исследования различных типов сигналов, включая аналоговые и цифровые, а также для измерения их характеристик путем привязки изображения сигнала к координатной сетке на экране ЭЛТ и пересчета значений шага сетки в итоговые значения времени и напряжения сигнала. Возможно применение осциллографов для анализа переходных процессов, измерения параметров цепей и проверки работоспособности электронных компонентов.

Генератор сигналов — устройство, которое создает электрические сигналы различной формы, частоты и амплитуды. Он состоит из нескольких основных компонентов: источника сигнала, усилителя и фильтра.

Источник сигнала может быть аналоговым или цифровым. Аналоговые источники используют генераторы функций различной формы. Цифровые источники генерируют сигналы в виде цифровых слов, которые затем преобразуются через цифро-аналоговые преобразователи в аналоговый вид. Уси-

литель усиливает сигнал до требуемой амплитуды, фильтр позволяет настроить частоту и форму сигнала. Генератор также может иметь дополнительные функции: модуляцию, демодуляцию и генерацию случайных сигналов.

### Экспериментальная техника

Для проведения практикума используется базовый набор электроизмерительных приборов: генератор сигналов, блок питания, осциллограф.

Подготовку измерительного стенда проводят по следующему алгоритму: проверить установку генератора сигналов, блока питания, осциллографа на рабочем месте в необходимой доступности; включить генератор сигналов (рис. Л4.2), нажав кнопку питания. После включения выставить частоту генератора, повернув ручку частоты на указатель 5 Гц. На внешней панели генератора нажать кнопку выбора синусоидального сигнала. Ручку регулировки амплитуды повернуть в крайнее правое положение. Диапазоны частот: синус, треугольник, меандр.

Ниже приведены диапазоны частот и соответствующие им значения разрешения индикатора и погрешности.

Диапазоны частот	Разрешение индикатора	Погрешность
10...1000 мГц .....	1 мГц .....	Не нормируется
0,1...10 Гц .....	0,01 Гц .....	$\pm (3 \% + 2 \text{ е.м.р.}^*)$
1...100 Гц .....	0,1 Гц .....	—
10...1000 Гц .....	1 Гц .....	$\pm (0,3 \% + 1 \text{ е.м.р.})$
100 Гц...10 кГц .....	1 Гц/0,001 кГц .....	—
1...100 кГц .....	0,001 / 0,01 кГц .....	$\pm (0,03 \% + 1 \text{ е.м.р.})$
10...1000 кГц .....	0,01 / 0,1 кГц .....	—
100 кГц...10 МГц .....	0,1 кГц / 0,001 МГц .....	—



Рис. Л4.2. Лицевая панель генератора сигналов

\* е.м.р. — единица младшего разряда; используется для указания точности и разрешающей способности приборов и цифровых индикаторов.



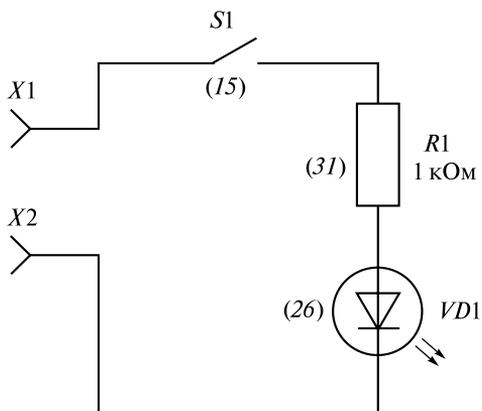
**Рис. Л4.3.** Лицевая панель цифрового осциллографа

В лабораторной работе используется цифровой осциллограф, который многократно оцифровывает подаваемый на него переменный сигнал и затем отображает на цифровом дисплее. Включите осциллограф, изображенный на рис. Л4.3, нажав кнопку питания, находящуюся на верхней панели. После включения с помощью рукоятки регулирования напряжения установите требуемый режим. С помощью рукоятки регулировки развертки отрегулируйте отображение сигнала на экране осциллографа. Для перемещения сигнала используйте рукоятку POSITION.

### Порядок выполнения лабораторной работы

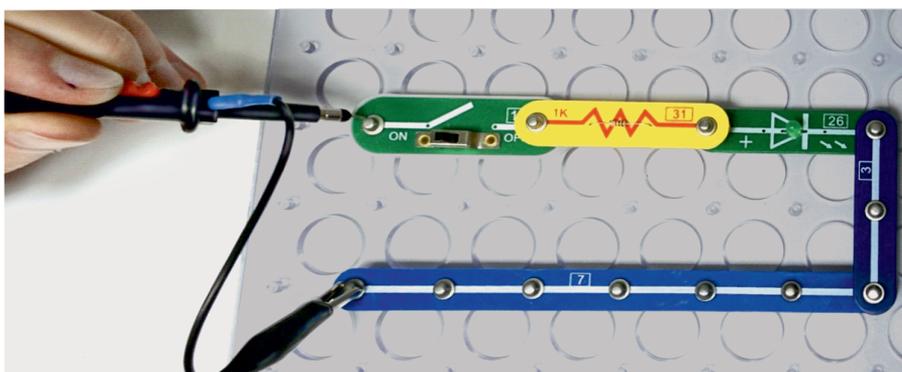
После включения и настройки оборудования подключите генератор сигналов к осциллографу с помощью щупов, измерьте параметры сигнала, формируемого генератором. Используя электрическую схему, приведенную в лабораторной работе № 2, подключите генератор к контактам 1 и 2, как показано на рис. Л4.4. Изменяйте частоту генератора в пределах 0,1...10 Гц. Что происходит со светодиодом? Результаты измерений отразите в выводах.

Вид полученного сигнала зарисуйте в рабочую тетрадь. На рисунке укажите амплитуду и период сигнала и запишите их значения.



**Рис. Л4.4.** Подключение генератора к электрической схеме лабораторного стенда:

X1, X2 — контакты



**Рис. Л4.5.** Снятие измерений на электрической схеме с помощью конструктора «Зналок 999 схем»

### Методика и порядок выполнения лабораторной работы

Зарисуйте вид сигнала, снимаемого при изменении частоты генератора в пределах 0,1...10 Гц (рис. Л4.6), на осциллографе.

На рис. Л4.7 приведено изображение синусоидального сигнала с частотой 0,4 Гц и амплитудой 0,86 В. Видно, что сигнал имеет постоянную составляющую. Рассчитайте период полученного сигнала:

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{0,4 \text{ Гц}} = 2,5 \text{ с.}$$

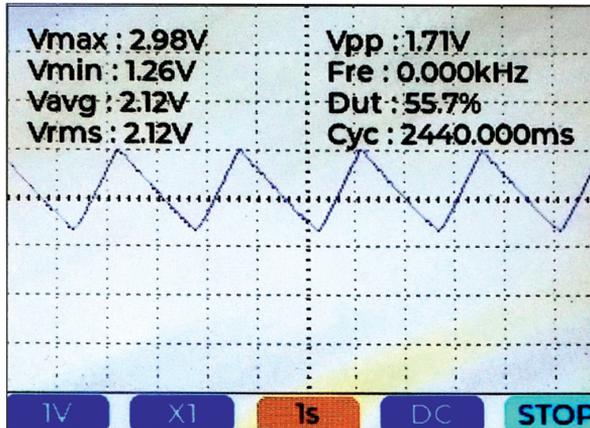


Рис. Л4.6. Вид сигнала на осциллографе

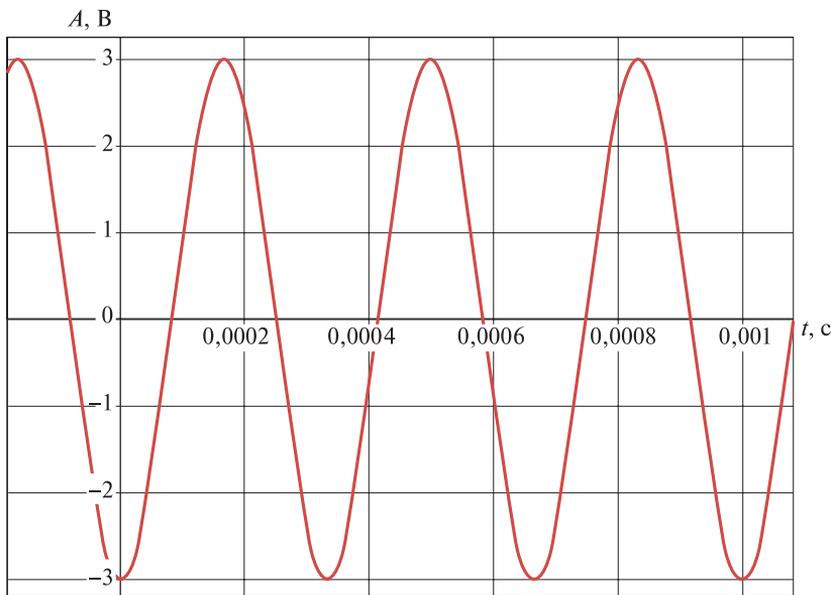


Рис. Л4.7. Изображение синусоидального сигнала

Проведите аналитический расчет синусоидального сигнала. Закон, описывающий поведение синусоидального сигнала во времени, имеет следующий вид:

$$Y = A \sin(2\pi ft + \varphi),$$

где  $A$  — амплитуда сигнала;  $f$  — частота сигнала;  $t$  — время;  $\varphi$  — начальная фаза сигнала.

Для своего варианта найдите в табл. Л4.1 значения амплитуды и частоты сигнала в моменты времени  $t$ , равные 0, 1, 2, 3, 4 и 5 с.

Таблица Л4.1

Значения амплитуды, частоты и фазы сигнала

№ варианта	$A$ , В	$f$ , Гц	$\varphi$
1	1,00	1000	$\pi$
2	3,00	3000	$3\pi/2$
3	0,50	500	0
4	2,00	2000	$\pi$
5	4,00	4000	$3\pi/2$
6	0,25	250	0
7	5,00	5000	$\pi/2$

Синусоидальный сигнал, согласно варианту, схематично изобразите, как показано на рис. Л4.7.

Проведите расчет мощности сигнала. Соберите электрическую схему, представленную на рис. Л4.8, согласно алгоритму.

Алгоритм сборки электрической схемы:

- 1) возьмите батарейку (19), к плюсу батарейки подключите ключ (15);
- 2) к ключу (15) подключите резистор (31), как показано на рис. Л4.9;
- 3) резистор (31) подключите к минусу батареи.

Реализация электрической схемы с помощью конструктора «Зналок 999» представлена на рис. Л4.9.

По закону Ома, зная значение напряжения и номинал резистора (31), определите ток, протекающий через резистор (31). Заменяя резистор (31) на резисторы, номиналы которых представлены в табл. Л4.1, выполните расчет протекающего через них тока.

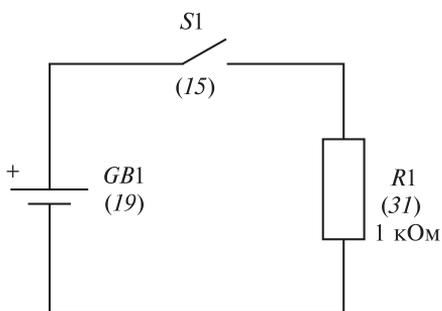


Рис. Л4.8. Электрическая схема лабораторного стенда

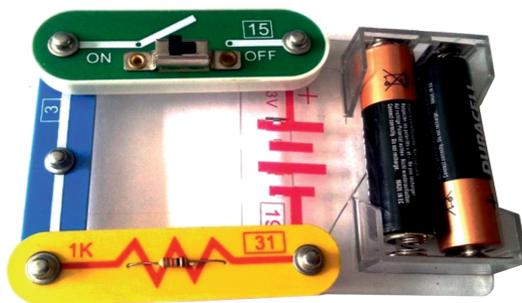


Рис. Л4.9. Общий вид электрической схемы с батарейками, собранной с помощью конструктора «Зналок 999 схем»

Для каждого значения тока рассчитайте мощность. Результаты расчетов внесите в табл. Л4.2.

Мощность — количество работы, совершенной устройством за единицу времени, характеризует скорость выполнения работы или преобразования энергии в физической системе. Электрическая мощность равна произведению напряжения и силы тока:

$$W = UI.$$

Мощность измеряется в ваттах (Вт).  
Внесите результаты расчетов в табл. Л4.2.

Таблица Л4.2

#### Результаты расчетов

$R$ , Ом	$I$ , мА	$W$ , мВт
$R_1 = 100$	30,00	90,0
$R_2 = 1000$	3,00	9,0
$R_3 = 5100$	0,59	77,0
$R_4 = 10\ 000$	0,30	0,9

#### Содержание отчета

В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) принципиальная электрическая схема стенда и описание ее работы;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 4) примеры вычислений и теоретические расчеты:
  - расчеты синусоидального сигнала;
  - расчеты периода и частоты сигналов;
- 5) методика проведения измерений;
- 6) результаты экспериментальных исследований:
  - осциллограмма полученных сигналов;
  - зарисовка рассчитанного синусоидального сигнала;
  - таблица с расчетами мощности;
- 7) анализ полученных данных и результатов;
- 8) выводы по итогам сравнения расчетных и экспериментальных данных.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Опишите понятие сигнала.
2. Приведите классификацию сигналов и их характеристики.
3. Что такое период сигнала?
4. Как связаны частота сигнала и период сигнала?

5. Что такое амплитуда сигнала?
6. Как рассчитать мощность сигнала?
7. Приведите основные характеристики сигналов.
8. Каковы принципы работы генератора сигналов?
9. Каковы принципы работы осциллографа?

## Лабораторная работа № 5

### Исследование схем на основе пассивных элементов: резисторов, конденсаторов

#### Содержание задания

Цель лабораторной работы — изучить основные принципы работы с пассивными компонентами электрических цепей — резисторами, конденсаторами, ознакомиться с основными зависимостями изменения тока и напряжения в них.

В лабораторной работе рассматриваются базовые понятия раздела курса физики «Электричество и магнетизм» в части измерительных методик параметров электрических цепей и основных ЭРЭ.

Задачами лабораторной работы являются:

- ознакомление с основными характеристиками пассивных компонентов: сопротивлением, емкостью, индуктивностью;
- изучение свойства компонентов и области их применения в электрических схемах.

#### Теоретическая часть

Резисторы характеризуются электрическим сопротивлением, рассеиваемой мощностью, точностью и используются для различных целей, например для ограничения тока, деления напряжения и т. д. Внутренняя структура резистора представлена на рис. Л5.1.

Цветовая маркировка на резисторе обозначает его номинал. Каждый цвет соответствует определенной цифре, а все цифры вместе образуют значение сопротивления.

Резисторы бывают различных видов в зависимости от их назначения и характеристик. В зависимости от назначения резисторы подразделяются на следующие виды.

1. Постоянные резисторы — используются для ограничения тока и деления напряжения в электрических цепях.

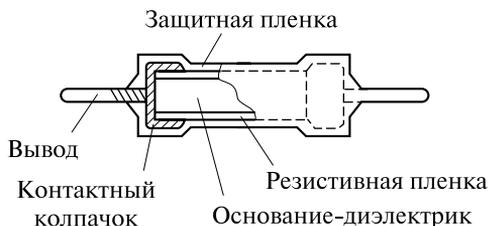


Рис. Л5.1. Внутренняя структура резистора

2. Переменные резисторы — позволяют изменять сопротивление в цепи для регулировки уровня сигнала или напряжения.

3. Подстроечные резисторы — предназначены для точной настройки параметров электрической схемы, но не могут быть изменены пользователем после сборки схемы.

4. Высоковольтные резисторы — специально разработаны для работы при высоких напряжениях и часто используются в качестве ограничителей перенапряжения.

5. Прецизионные резисторы — обеспечивают высокую точность и стабильность сопротивления в широком диапазоне температур и напряжений.

Конденсатор — устройство для накопления электрического заряда (рис. Л5.2). Он состоит из двух проводящих пластин, разделенных диэлектриком. Конденсаторы используются в электрических цепях для хранения энергии, стабилизации напряжения, фильтрации сигналов, разделения частот и др. Конденсаторы обладают емкостью. Электрическая емкость — свойство конденсатора накапливать электрический заряд. Единица измерения емкости — фарада (Ф). На рис. Л5.2 изображена внутренняя структура конденсатора.

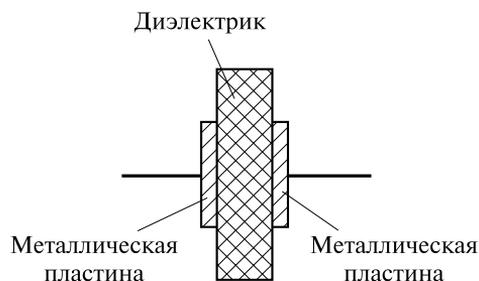


Рис. Л5.2. Внутренняя структура конденсатора

Если конденсатор включен в цепь постоянного тока, то ток через него не течет, что эквивалентно разрыву цепи. Конденсаторы бывают разных типов в зависимости от их конструкции, материала диэлектрика и других характеристик. Наиболее распространенные типы конденсаторов — керамические, электролитические, танталовые и пленочные.

Если конденсатор включен в цепь постоянного тока, то ток через него не течет, что эквивалентно разрыву цепи. Конденсаторы бывают разных типов в зависимости от их конструкции, материала диэлектрика и других характеристик. Наиболее распространенные типы конденсаторов — керамические, электролитические, танталовые и пленочные.

Катушка индуктивности (рис. Л5.3) — элемент электрической цепи, способный накапливать энергию магнитного поля. Катушка индуктивности состоит из провода, свернутого в спираль, и сердечника из перемангничиваемого материала. Катушки индуктивности используются для создания магнитных полей, усиления сигналов в антеннах, фильтрации электрических сигналов и др.

Катушка индуктивности (рис. Л5.3) — элемент электрической цепи, способный накапливать энергию магнитного поля. Катушка индуктивности состоит из провода, свернутого в спираль, и сердечника из перемангничиваемого материала. Катушки индуктивности используются для создания магнитных полей, усиления сигналов в антеннах, фильтрации электрических сигналов и др.

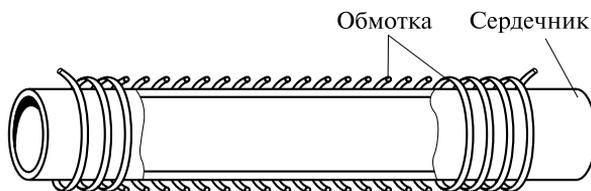


Рис. Л5.3. Внутренняя структура катушки индуктивности

Если индуктивность включена в цепь постоянного тока, то ток через нее течет аналогично проводнику. Катушки индуктивности могут быть различных типов в зависимости от их применения и характеристик. В зависимости от назначения катушки индуктивности подразделяют на следующие виды.

1. Постоянные катушки индуктивности — имеют фиксированную индуктивность и используются в электронных схемах для фильтрации сигналов и разделения частот.

2. Переменные катушки индуктивности — их индуктивность может быть изменена пользователем, что позволяет регулировать параметры электронной схемы: частоту и амплитуду сигнала.

3. Дроссели — применяются для подавления высокочастотных помех и шумов в электрических цепях.

4. Трансформаторы — имеют несколько обмоток, служат для преобразования напряжения или тока в электрической цепи.

5. Звуковые катушки — используются в динамиках для создания магнитного поля, необходимого для движения диффузора динамика.

### Порядок выполнения лабораторной работы

Для подготовки измерительного стенда к работе необходимо собрать электрическую схему с последовательным/параллельным включением резисторов (рис. Л5.4) согласно алгоритму.

Алгоритм сборки.

1. Возьмите батарейку (19), к плюсу батарейки подключите ключ (15).
2. К ключу (15) подключите:
  - последовательно резистор (33) и резистор (31), как показано на рис. Л5.4, а;
  - параллельно резистор (33) и резистор (31), как показано на рис. Л5.4, б.
3. Выход каскада из резистора (33) и резистора (31) подключите к минусу батарейки (19).

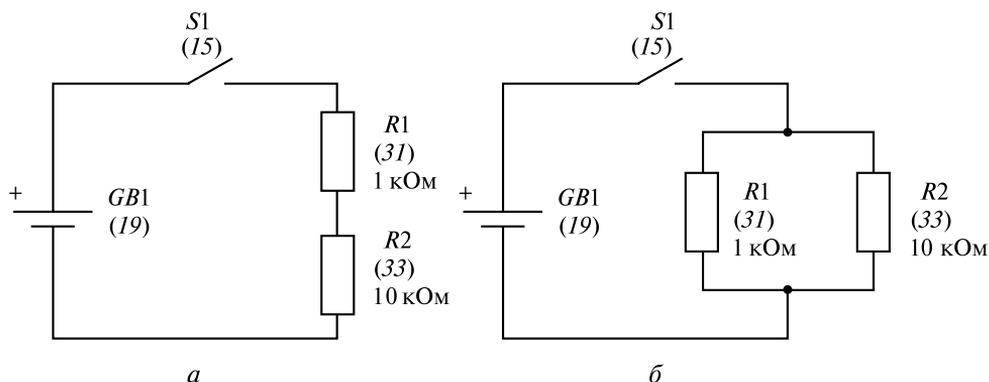


Рис. Л5.4. Электрическая схема подключения резисторов:

а — последовательное; б — параллельное

Общий вид электрической схемы последовательного и параллельного подключения резисторов приведен на рис. Л5.5.



Рис. Л5.5. Общий вид электрической схемы подключения резисторов:

*a* — последовательное; *б* — параллельное

Проведите измерение напряжения и тока при параллельном соединении резисторов. Переведите мультиметр в режим измерения напряжения с диапазоном 20 В.

Выполните измерения напряжения:

- 1) в точках 1 и 2, 3 и 4, как показано на рис. Л5.6, *a*;
- 3) в точках 1 и 2, как показано на рис. Л5.6, *б*;
- 4) внесите результаты в табл. Л5.1.

Сопротивление при параллельном соединении резисторов:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}.$$

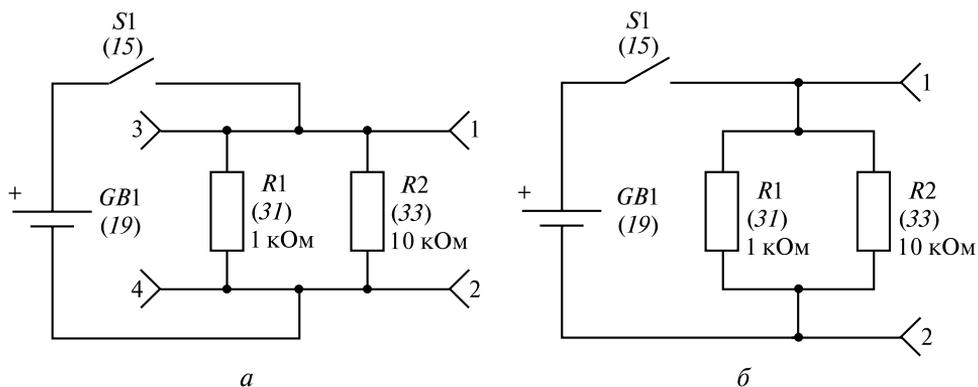


Рис. Л5.6. Подключение вольтметра к электрической схеме:

*a* — при последовательном соединении резисторов; *б* — при параллельном соединении резисторов

Таблица Л5.1

## Результаты измерений напряжения

№ измерения	Номинал сопротивления, Ом	Значение напряжения, В
1	10 000	2,63
2	1000	2,63
3	909	2,63

Переведите мультиметр в режим измерения тока с диапазоном 20 мА.

Выполните измерения силы тока:

- 1) в точках 1 и 2, как показано на рис. Л5.7, а;
- 2) в точках 3 и 4, как показано на рис. Л5.7, б;
- 3) в точках 1 и 2, как показано на рис. Л5.7, в;
- 4) внесите результаты измерений в табл. 5.2.

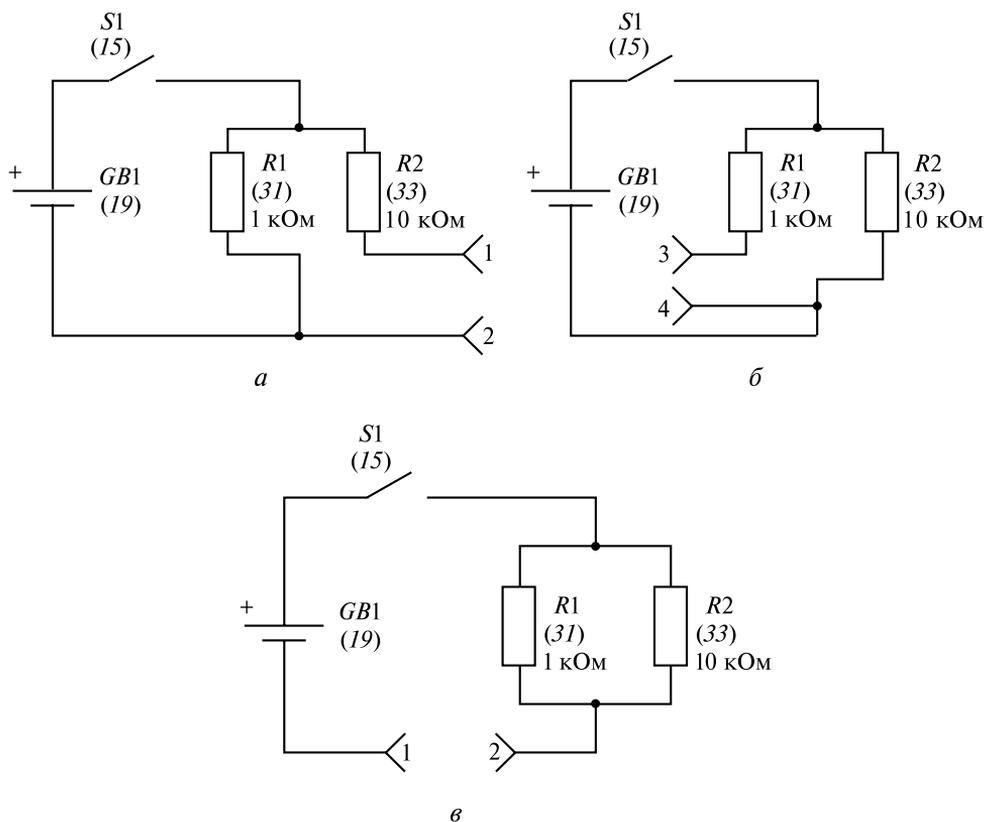


Рис. Л5.7. Подключение амперметра к резисторам электрической схемы:

а — к резистору R2; б — к резистору R1; в — подключение амперметра к электрической схеме

Таблица Л5.2

## Результаты измерений силы тока

№ измерения	Номинал сопротивления, Ом	Значение тока, мА
1	10 000	0,27
2	1000	2,80
3	909	3,07

При параллельном подключении элементы схемы имеют одинаковое напряжение, но ток через них течет разный. Наибольший ток потечет через ветвь с меньшим сопротивлением.

Параллельное подключение элементов может быть использовано в различных ситуациях, например:

1) для увеличения общей проводимости системы. Если подключить несколько резисторов параллельно, то общее сопротивление системы будет уменьшаться, что позволяет увеличить общую проводимость;

2) для создания делителей тока. Если необходимо разделить ток на несколько частей, то можно использовать несколько резисторов, подключенных параллельно;

3) для управления каждым элементом по отдельности. Если каждый элемент имеет свой собственный выключатель, то можно управлять каждым элементом отдельно, не влияя на другие элементы.

Однако следует отметить, что при параллельном подключении элементов увеличивается общая потребляемая мощность.

Проведите измерение напряжения и тока при последовательном соединении резисторов.

Переведите мультиметр в режим измерения напряжения с диапазоном 20 В.

Выполните измерения напряжения как показано на рис. Л5.8.

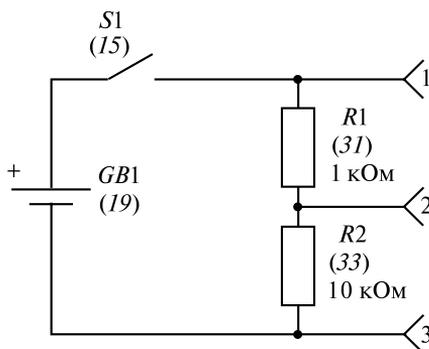


Рис. Л5.8. Подключение вольтметра к электрической схеме при последовательном соединении резисторов

1) в точках 1 и 2;  
2) в точках 2 и 3;  
3) введите в электрическую схему контакты 3 и 4 и измерьте в них напряжение;

4) внесите результаты измерений в табл. Л5.3.

Сопротивление при последовательном соединении резисторов:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i.$$

Переведите мультиметр в режим измерения тока с диапазоном 20 мА.

Таблица Л5.3

## Результаты измерений напряжения

№ измерения	Номинал сопротивления, Ом	Значение напряжения, В
1	1000	0,25
2	10 000	2,44
3	11 000	2,68

Выполните измерения силы тока, как показано на рис. Л5.9:

- 1) в точках 1 и 2, как показано на рис. Л5.9, а;
- 2) в точках 3 и 4, как показано на рис. Л5.9, б;
- 3) в точках 5 и 6, как показано на рис. Л5.9, в;
- 4) внесите результаты измерений в табл. Л5.4.

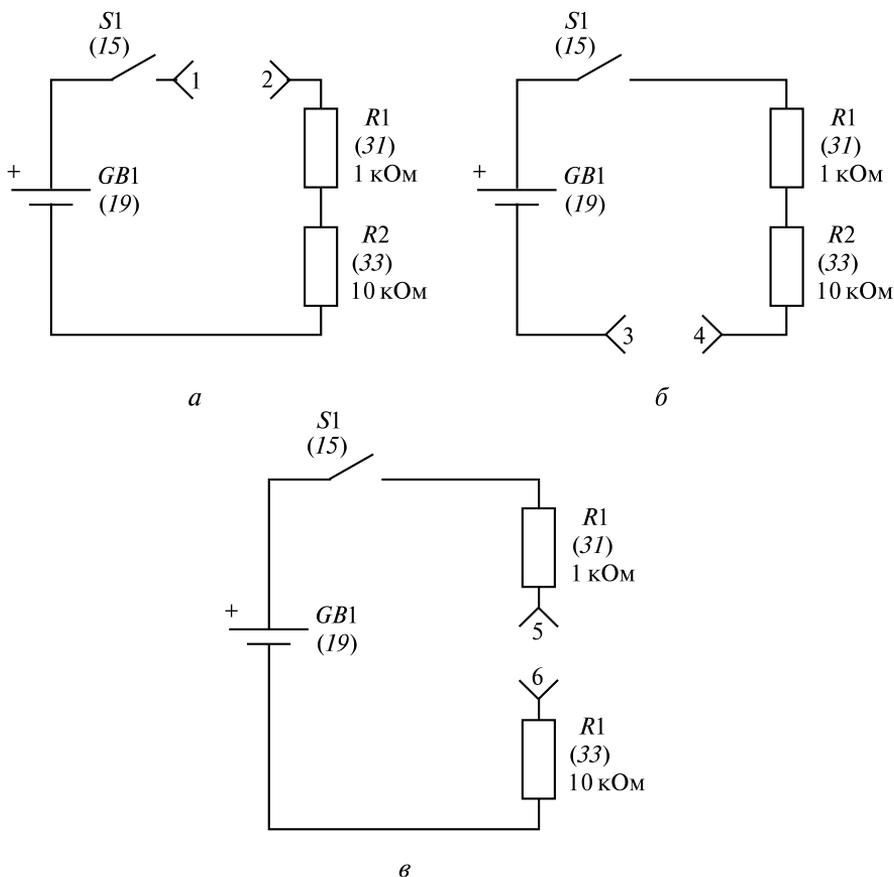


Рис. Л5.9. Варианты подключения амперметра к электрической схеме:

а — к точкам 1 и 2; б — к точкам 3 и 4; в — к точкам 5 и 6

Таблица Л5.4

## Результаты измерений силы тока

№ измерения	Точки измерения силы тока	Значение силы тока, мА
1	1, 2	0,25
2	3, 4	
3	5, 6	

При последовательном подключении элементов все элементы соединяются друг за другом, и ток должен пройти через них, чтобы достичь конца цепи. При таком соединении общее напряжение равно сумме напряжений на каждом элементе, а общий ток во всей цепи одинаков. Такое соединение используется, когда необходимо создать цепь с определенным сопротивлением или соединить элементы, работающие на разных напряжениях.

Последовательное соединение может быть эффективно в следующих случаях.

1. Если необходимо создать цепь с определенным сопротивлением, например, подключить резистор с сопротивлением 1 кОм. Тогда подключают несколько резисторов последовательно, чтобы получить требуемое сопротивление.

2. Если необходимо соединить элементы, работающие на разных напряжениях, например, источник питания на 12 В и нагрузка на 5 В. Тогда можно подключить их последовательно, чтобы уменьшить напряжение до требуемого значения.

3. Если нужно уменьшать равно пропорционально напряжение для следующего каскада или элемента электрической цепи используют делитель напряжения (рис. Л5.10, а).

4. Если необходимо ограничить ток в цепи. Последовательное соединение резисторов позволяет ограничивать ток, что позволит защитить элементы цепи от перегрузки.

Соберите схему с последовательным/параллельным включением конденсаторов, показанную на рис. Л5.10, согласно алгоритму.

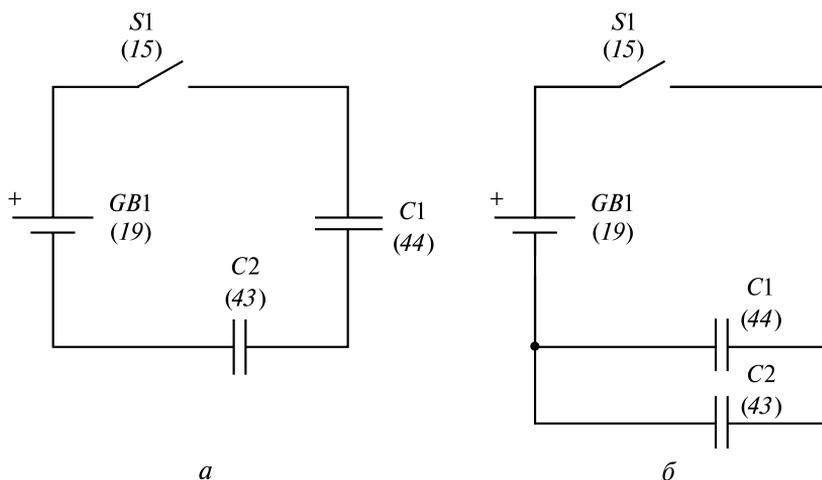
Алгоритм сборки последовательного соединения конденсаторов:

- 1) возьмите батарейку (19), к плюсу батарейки подключите ключ (15);
- 2) к ключу (15) подключите последовательно конденсаторы (43) и (44), как показано на рис. Л5.10, а.

Алгоритм сборки параллельного соединения конденсаторов:

- 1) возьмите батарейку (19), к плюсу батарейки подключите ключ (15);
- 2) параллельно подключите конденсаторы (43) и (44), как показано на рис. Л5.10, б.

Проведите измерение емкости при последовательном и параллельном соединении конденсаторов. Переведите мультиметр в режим измерения емкости.



**Рис. Л5.10.** Электрическая схема подключения конденсаторов:

*a* — последовательное; *б* — параллельное

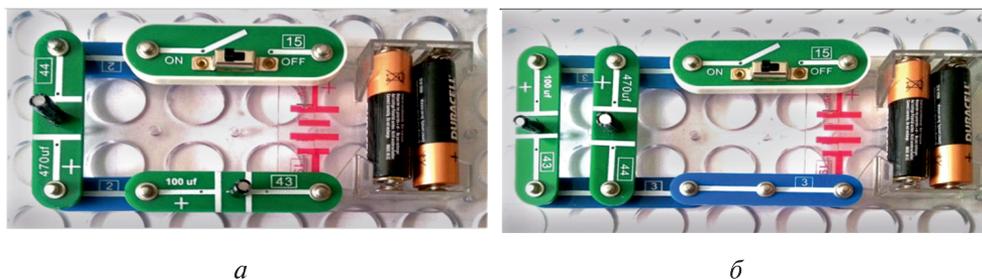
Общий вид электрической схемы при подключении конденсаторов приведен на рис. Л5.11.

Алгоритм измерения напряжения (рис. Л5.12):

- 1) переключите ключ в положение off;
- 2) измерьте напряжение в точках 1 и 2, как показано на рис. Л5.12, *a*;
- 3) в точках 3 и 4, как показано на рис. Л5.12, *б*.

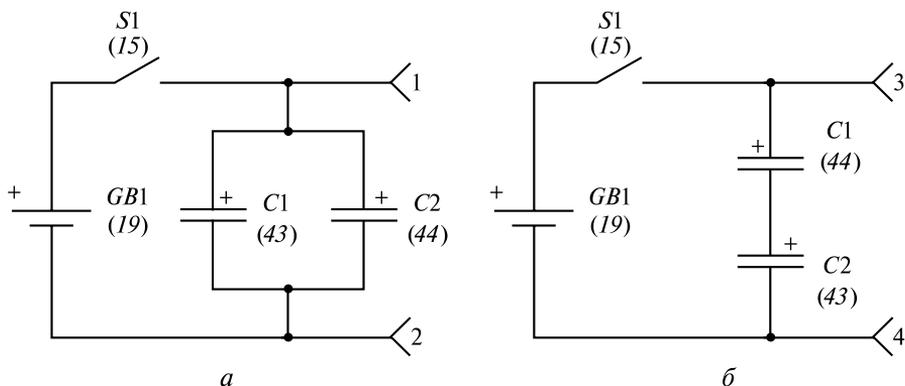
Емкость при последовательном соединении конденсаторов

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$



**Рис. Л5.11.** Общий вид электрической схемы при подключении конденсаторов:

*a* — последовательное соединение; *б* — параллельное



**Рис. Л5.12.** Измерение емкости конденсаторов:  
*a* — параллельное подключение; *б* — последовательное

Емкость при параллельном соединении конденсаторов

$$C = \sum_{i=1}^n C_i.$$

Внесите результаты измерений емкостей в табл. Л5.5.

Таблица Л5.5

#### Результаты измерений емкости

Соединение	Измеренное значение емкости, Ф	Расчетное значение емкости, мкФ
Последовательное	90,1	82,5
Параллельное	537	570

Проведите измерения емкости без подключенного элемента питания, сделайте выводы по полученным результатам.

Выполните расчеты индуктивности при последовательном и параллельном соединении двух катушек индуктивности номиналом  $L = 30$  мГн, внесите результаты в табл. Л5.6.

Таблица Л5.6

#### Результаты расчетов индуктивности

Соединение	Расчетное значение индуктивности, мГн
Последовательное	60
Параллельное	15

Индуктивность при последовательном соединении катушек индуктивности:

$$L = \sum_{i=1}^n L_i.$$

Индуктивность при параллельном соединении катушек индуктивности:

$$\frac{1}{L} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i}.$$

### Содержание отчета по лабораторной работе

В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) принципиальная электрическая схема стенда и описание ее работы;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 4) примеры вычислений и теоретические расчеты:
  - параллельного соединения элементов;
  - последовательного соединения элементов;
- 5) методика проведения измерений;
- 6) результаты экспериментальных исследований:
  - таблицы с результатами измерений силы тока и напряжения при параллельном соединении элементов;
  - таблицы с результатами измерений силы тока и напряжения при последовательном соединении элементов;
  - таблица с результатами измерением емкости последовательного и параллельного соединения конденсаторов;
- 7) анализ полученных данных и результатов измерений;
- 8) выводы по итогам сравнения расчетных и экспериментальных данных.

### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое резистор?
2. Что такое конденсатор?
3. Обоснуйте, в чем заключается отличие параллельного и последовательного включения?
4. Каково суммарное сопротивление при последовательном включении резисторов?
5. Каково суммарное сопротивление при параллельном включении резисторов?
6. Какова суммарная емкость при последовательном включении конденсаторов?
7. Какова суммарная емкость при параллельном включении конденсаторов?
8. Что такое делитель тока и для чего он используется?
9. Что такое делитель напряжения и для чего он используется?

## Лабораторная работа № 6

### Исследование переходных процессов в электрических цепях

#### Содержание задания

Цель лабораторной работы — ознакомление с переходными процессами в электрических цепях; изучение высокочастотных и низкочастотных фильтров.

В лабораторной работе рассматриваются базовые понятия раздела курса физики «Электричество и магнетизм» в части измерительных методик параметров электрических цепей и основных ЭРЭ.

Задачами лабораторной работы являются:

- ознакомление с основной характеристикой переходных процессов — временем переходного процесса;
- изучение свойств фильтров и резонансных контуров;
- ознакомление с принципом построения пассивных фильтров, с методами расчета характеристик фильтров.

#### Теоретическая часть

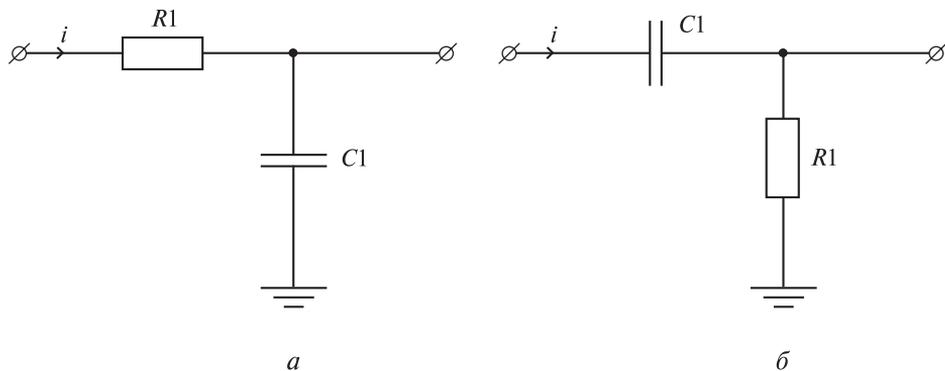
Дифференцирующая цепь — электронная схема, которая может имитировать математическую операцию дифференцирования, т. е. взятие производной функции (рис. Лб.1). Такие схемы используются в различных областях, где требуется быстрое изменение сигнала, например, при обработке сигналов, изображений, в радиолокации и др.

Дифференцирующие цепи могут быть реализованы с использованием пассивных элементов — резисторов и конденсаторов, или активных элементов — операционных усилителей. Принцип работы таких схем основан на том, что конденсатор не может моментально изменять свой заряд, создавая таким образом быстрый отклик на изменение входного сигнала.

Фильтр высоких частот (ФВЧ) по своей структуре похож на дифференцирующую цепь. Фильтр высоких частот (рис. Лб.1, а) — электронный или любой другой фильтр эффективно пропускает высокие частоты входного сигнала и подавляет низкие частоты (рис. Лб.1, б). Степень подавления зависит от выбранного порядка фильтра.

Интегрирующая цепь — электронное устройство, которое может выполнять математическую операцию интегрирования, т. е. вычислять интеграл функции (см. рис. Лб.1, б). Интегрирующие цепи используются в различных приложениях, где необходимо обрабатывать сигналы с изменяющейся во времени амплитудой, например в системах управления, при обработке сигналов и др.

Интегрирующие цепи также могут быть построены с использованием пассивных элементов (конденсаторов и резисторов) или активных элементов (операционные усилители). Работа таких цепей основана на том, что



**Рис. Лб.1.** Электрическая схема подключения фильтров:  
*a* — ФНЧ; *б* — ФВЧ

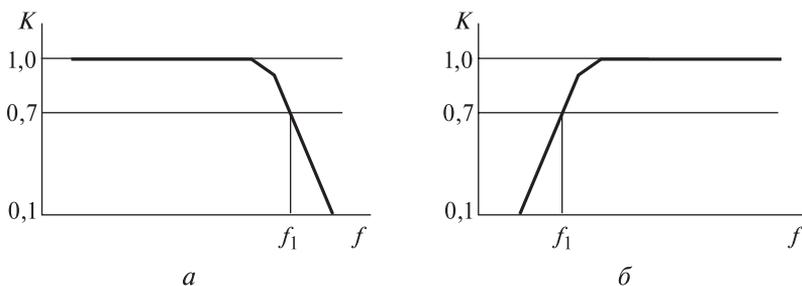
конденсаторы могут накапливать заряд, что позволяет интегрировать входной сигнал по времени.

Фильтр низких частот (ФНЧ) по своей структуре похож на интегрирующую цепь. Он подавляет высокие частоты сигнала и пропускает низкие (см. рис. Лб.1, *a*), часто используется в аудиотехнике для удаления высокочастотных шумов и для создания эффекта эха.

Фильтры на пассивных элементах подавляют амплитуду сигналов определенной частоты.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) — зависимость амплитуды сигнала от его частоты — используется для описания фильтров, сравнения различных типов фильтров и выбора наиболее подходящего для конкретной задачи (рис. Лб.2). Это позволяет определить, какие частоты сигнала усиливаются или ослабляются при прохождении через фильтр.

Важной характеристикой фильтра является частота среза. Частота среза фильтра — диапазон частот, в котором фильтр начинает ослаблять или усиливать сигнал. Это характеристика фильтра, которая показывает, какие частоты он способен отфильтровать. Частота среза может быть определена



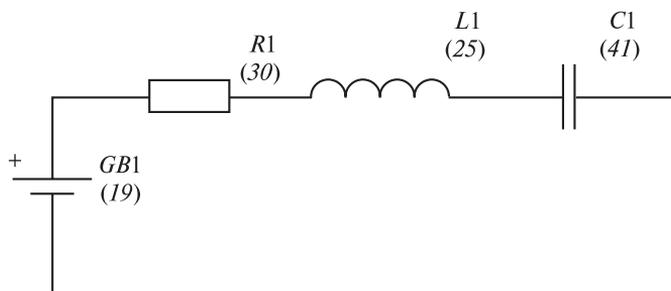
**Рис. Лб.2.** Амплитудно-частотная характеристика фильтров:  
*a* — ФНЧ; *б* — ФВЧ

с помощью АЧХ. Частота среза — это точка 0,7 амплитуды или  $-3$  дБ. Для ФВЧ и ФНЧ частота среза

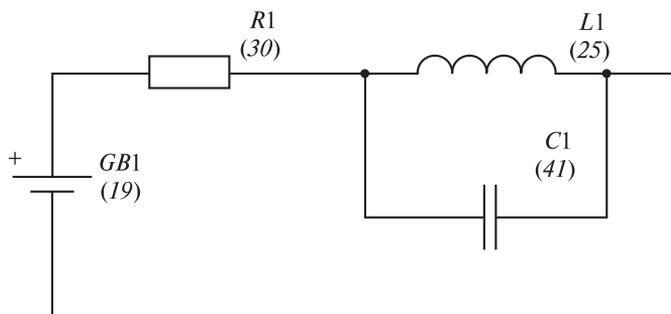
$$f = \frac{1}{2\pi RC}.$$

Если в электрических цепях находятся одновременно катушка индуктивности и конденсатор, то при определенной частоте поступающего сигнала может возникнуть резонанс. *Резонанс* — явление, при котором амплитуда колебаний системы увеличивается при вынуждающем периодическом воздействии на нее с определенной частотой. Резонанс возникает, когда собственная частота колебаний системы совпадает с частотой внешнего воздействия. В электронике различают два вида резонанса: последовательный и параллельный.

*Последовательный резонанс* представляет собой феномен, возникающий в последовательной цепи, когда резистор, катушка индуктивности и конденсатор соединены последовательно (рис. Л6.3, а). При определенной частоте входного напряжения воздействие катушки индуктивности и конденсатора взаимно компенсируется, и в результате цепь проявляет поведение, аналогичное резистивной цепи.



а



б

**Рис. Л6.3.** Электрическая схема резонанса:

а — последовательного; б — параллельного

Частота последовательного резонанса

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

*Параллельный резонанс* представляет собой частоту работы параллельного соединения катушки индуктивности и конденсатора (рис. Лб.3, б). Катушка индуктивности воздействует на конденсатор при определенной частоте питания. Это явление приводит к достижению максимального общего импеданса в цепи, при котором ток, протекающий через цепь, минимален.

Последовательный резонанс широко применяется в различных областях, включая настройку оборудования, конструкции генераторов, усилители напряжения, ФВЧ и др.

Параллельный резонанс используется в усилителях тока, системах индукционного нагрева, фильтрах, устройствах для усиления радиочастотных сигналов и других электронных конструкциях.

Добротность контура — характеристика резонансных свойств колебательной системы, которая определяется отношением энергии, накопленной в контуре, к энергии, рассеиваемой за один период колебаний. Это показатель эффективности передачи энергии в системе на резонансной частоте. Например, в электрических контурах добротность выражается отношением реактивной составляющей к активной составляющей сопротивления.

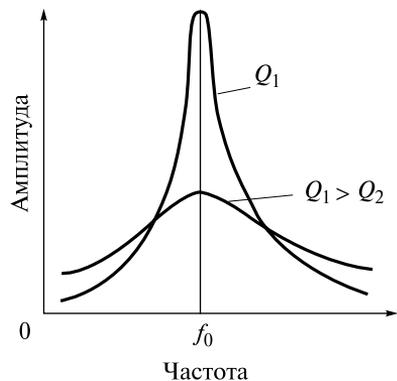
Добротность играет важную роль в резонансах, так как она определяет ширину резонансной кривой (рис. Лб.4). Чем выше добротность системы, тем уже резонансная кривая и тем лучше система может быть настроена на определенную частоту. В электронике высокая добротность позволяет создавать более точные фильтры и усилители.

*Переходный процесс* — процесс перехода системы из одного состояния в другое. Он может произойти, например, при включении или выключении системы, изменении нагрузки или параметров системы. Переходные процессы могут вызывать нежелательные колебания в системе, поэтому их часто стараются минимизировать или устранить.

*Время переходного процесса* — время, за которое система переходит из одного состояния в другое. Оно зависит от многих факторов, таких как тип системы, начальные условия, параметры системы и т. д. Для  $RC$ -цепочки постоянная времени заряда конденсатора

$$\tau = RC$$

при условии, что конденсатор был разряжен.



**Рис. Лб.4.** Резонансные кривые при разных уровнях добротности

### Порядок выполнения лабораторной работы

Для проведения практикума используется базовый набор электроизмерительных приборов: генератор сигналов, блок питания, осциллограф.

Подготовка измерительного стенда включает сборку электрической схемы с ФНЧ и ФВЧ (рис. Л6.5) согласно алгоритму. Следует проверить полярность компонентов и разрядку конденсатора перед установкой.

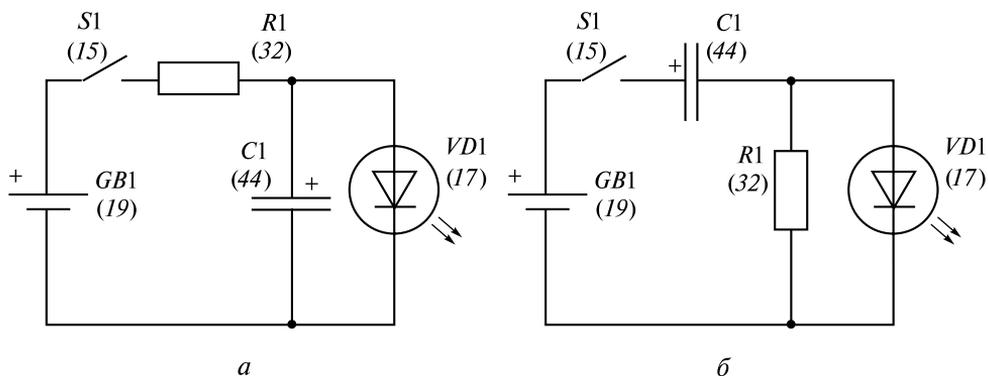


Рис. Л6.5. Электрическая схема ФНЧ (а) и ФВЧ (б)



Рис. Л6.6. Общий вид электрической схемы ФНЧ (а) и ФВЧ (б)

Алгоритм сборки:

- 1) возьмите батарейку (19), к плюсу батарейки подключите ключ (15);
- 2) разрядите конденсатор (44). Для этого с помощью проводника замкните его контакты;
- 3) к ключу (15) подключите:
  - последовательно резистор (32) и конденсатор (44);
  - последовательно конденсатор (44) и резистор (32);
- 4) параллельно конденсатору или резистору в зависимости от фильтра подключите красный светодиод (17).

Общий вид электрической схемы ФНЧ и ФВЧ приведен на рис. Л6.6.

Выполните следующие измерения:

- 1) напряжения светодиода на осциллографе, соединенного с ФНЧ (рис. Л6.7), при переключении ключа;
- 2) напряжения светодиода на осциллографе, соединенного с ФВЧ (рис. Л6.8), при переключении ключа.

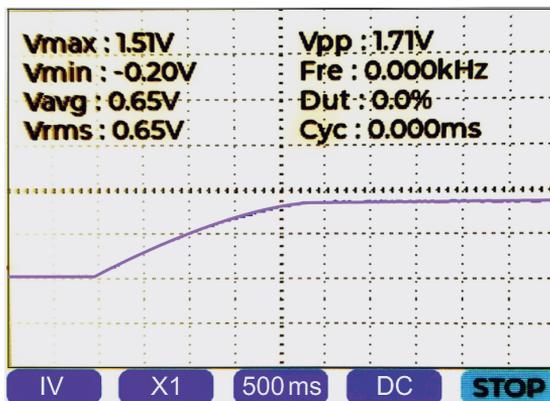


Рис. Л6.7. Осциллограмма напряжения светодиода с ФНЧ

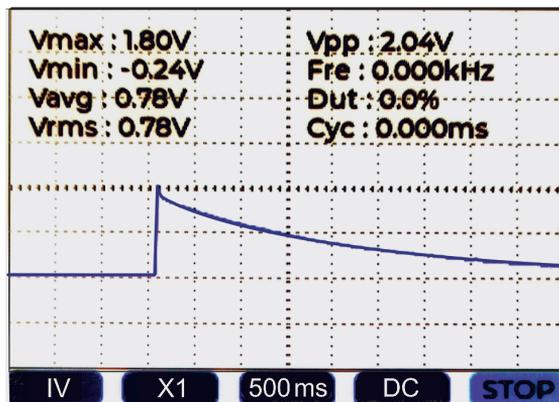


Рис. Л6.8. Осциллограмма напряжения светодиода с ФВЧ

Рассчитайте время переходного процесса. Внесите результаты в табл. Л6.1.

Таблица Л6.1

#### Результаты измерений

№ измерения	Время переходного процесса для ФНЧ, с	Время переходного процесса для ФВЧ, с	Расчетное время переходного процесса, с
1	2,7	3,5	2,4

Перед экспериментом убедитесь, что конденсатор разряжен, для этого закоротите его контакты проводящим предметом, например отверткой. Если в случае ФНЧ светодиод не загорается плавно, или в случае ФВЧ резко не загорается, а затем гаснет, значит конденсатор перед установкой не был разряжен.

Для схемы ФВЧ (см. рис. Лб.3, а) выполните расчеты времени переходного процесса:

- 1) выполните несколько расчетов времени для одного номинала резистора, но для разных конденсаторов;
- 2) выполните несколько расчетов времени для одного номинала конденсатора, но для разных резисторов;
- 3) внесите результаты в табл. Лб.2.

Таблица Лб.2

## Результаты измерений

№ измерения	Время переходного процесса для ФНЧ, мс	Емкость конденсатора, мкФ	Сопротивление резистора, кОм
1	0,1	0,1	1,0
2	10	10	1,0
3	100	100	1,0
4	47	470	0,1
5	2397	470	5,1
6	4700	470	10,0

Рассчитайте частоту резонанса электрической схемы с последовательным/параллельным резонансом (см. рис. Лб.3), учитывая, что индуктивность катушки  $L = 30$  мГн.

**Дано:**

$$L = 30 \text{ мГн}; R = 100 \text{ Ом}; C = 0,1 \text{ мкФ}.$$

**Решение:**

Резонансная частота

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 2905 \text{ Гц};$$

$$Q = \frac{\sqrt{L}}{R\sqrt{C}} = 5,47.$$

**Дано:**

$$L = 30 \text{ мГн}; R = 100 \text{ Ом}; C = 0,1 \text{ мкФ}.$$

**Решение:**

Резонансная частота

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 2905 \text{ Гц};$$

$$Q = \frac{\sqrt{L}}{R\sqrt{C}} = 5,47.$$

### Содержание отчета

В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) принципиальная электрическая схема стенда и описание ее работы;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 4) примеры вычислений и теоретические расчеты:
  - времени переходного процесса ФНЧ;
  - времени переходного процесса ФВЧ;
  - параллельного резонанса;
  - последовательного резонанса;
- 5) методика проведения измерений;
- 6) результаты экспериментальных исследований:
  - таблицы с временем переходных процессов ФНЧ и ФВЧ;
  - эскизы соответствующих осциллограмм;
- 7) анализ полученных данных и результатов;
- 8) выводы по итогам сравнения расчетных и экспериментальных данных.

### Контрольные вопросы и задания

1. Почему конденсатор не может моментально изменить свое напряжение?
2. Что такое фильтр?
3. Назовите виды фильтров.
4. С помощью каких компонентов можно изготовить ФНЧ?
5. С помощью каких компонентов можно изготовить ФВЧ?
6. В чем заключается отличие параллельного и последовательного резонансов?
7. Где используют резонансные цепи?
8. Что такое частота среза фильтра?
9. Как определить частоту среза фильтра?
10. Что такое добротность контура?
11. Как рассчитать добротность контура?
12. Что такое переходной процесс?
13. Как определить время переходного процесса?

## Лабораторная работа № 7

### Исследование полупроводников и диодов

#### Содержание задания

Цель лабораторной работы — ознакомление с принципом работы диодов, изучение ВАХ диодов и светодиодов.

В лабораторной работе рассмотрены базовые понятия раздела курса физики «Электричество и магнетизм» в части измерительных методик параметров электрических цепей и основных ЭРЭ [5].

Задачами лабораторной работы являются:

- ознакомление с основными характеристиками полупроводников;
- изучение принципа работы диода;
- ознакомление с ВАХ диодов и светодиодов.

### Теоретическая часть

Существует три вида материала в зависимости от их проводимости: проводники, диэлектрики и полупроводники.

Проводник — вещество, которое проводит электрический ток; применяется для изготовления электрических проводов и кабелей.

Диэлектрик — вещество, которое не проводит электрический ток; используется для изоляции электрических проводов и компонентов в электронных устройствах.

Полупроводник — материал, который проводит электричество хуже, чем металлы, но лучше, чем диэлектрики. Полупроводники применяются в полупроводниковых приборах, транзисторах и других элементах, которые являются основой современной электроники. Вся современная микроэлектронная промышленность основана на полупроводниках, что обусловлено их свойствами, которые зависят от содержания примесей в них.

Примесь — дополнительное вещество, с валентностью отличной от основного вещества, которое добавляют в чистый полупроводник для изменения его свойств, для изменения проводимости полупроводника, например для создания *p-n*-проводимости.

В чистом полупроводнике электроны вследствие теплового движения покидают ядро, оставляя на этом месте «дырки», которые вскоре займут другие электроны, и т. д. Собственный полупроводник — полупроводник, в котором число электронов и «дырок» равно (полупроводник без примесей). В таком состоянии полупроводник не проводит ток, так как нет свободных носителей заряда. При добавлении примесей или изменении температуры свойства полупроводника могут изменяться, что позволяет управлять электропроводностью материала.

Электроны — отрицательно заряженные частицы, которые находятся в атомах. Когда атом теряет электрон, он становится ионом с положительным зарядом, — это и есть «дырка».

В полупроводниковых материалах, таких как кремний и германий валентность равна четырем. Если в материале есть свободные «дырки», они могут перемещаться и создавать ток, это явление называется дырочной проводимостью. Аналогично, если в материале есть свободные электроны, то они создают электронную проводимость.

Когда электрон переходит из одного атома в другой, он может заполнить «дырку» в этом атоме, создавая новую пару электрон—«дырка». Этот процесс называется рекомбинацией.

Если к полупроводнику приложить напряжение, то электроны и дырки будут перемещаться в разные стороны, создавая ток, это явление называется полупроводниковой проводимостью.

Существует несколько видов примесей, которые используются для создания примесных полупроводниковых материалов.

1. Донорные примеси — химические элементы, которые добавляют в полупроводник для увеличения концентрации электронов. Они создают *n*-тип полупроводника. Донорные примеси имеют «лишний» электрон, который они отдают полупроводнику, так как их валентность равна пяти, что больше на единицу, чем у чистого полупроводника.

2. Акцепторные примеси — химические элементы, которые добавляют в полупроводник для увеличения концентрации «дырок». Они создают *p*-тип полупроводника. Акцепторные примеси имеют вакантное место для электрона, которое считается «дыркой».

*N*-полупроводник — это полупроводник, в котором основными носителями заряда являются электроны. Он образуется путем добавления донорных примесей в полупроводниковый материал, таких как мышьяк или сурьма. Эти примеси создают свободные электроны.

*N*-полупроводники имеют более высокую проводимость по сравнению с другими типами полупроводников.

*P*-полупроводник — это полупроводник, в котором основными носителями заряда являются «дырки». Он образуется путем добавления акцепторных примесей в полупроводниковый материал, таких как бор или галлий. Эти примеси создают «дырки», т. е. условно положительные свободные заряды.

*P*-полупроводники имеют более низкую проводимость по сравнению с *N*-полупроводниками.

Диод состоит из двух типов полупроводников: *N*- и *P*-типа (рис. Л7.1). Как видно на рис. Л7.1, *p*–*n*-переход — это область контакта двух полупроводников с разной примесной концентрацией. В одном полупроводнике (допустим, *n*-типа) концентрация примеси больше, чем в другом (*p*-типа). Вследствие этого в *p*–*n*-переходе возникает электрическое поле, которое препятствует движению электронов из *n*-области в *p*-область.

Если подключить диод к источнику постоянного напряжения так, чтобы «плюс» был подключен к аноду, а «минус» к катоду, то диод будет пропускать ток. Это происходит потому, что электрическое поле внутри запирающего слоя *p*–*n*-перехода способствует движению электронов в требуемом направлении.

Если же подключить диод к обратной полярности, то внешнее электрическое поле увеличивает электрическое поле запирающего слоя, из-за этого перемещение зарядов невозможно. В результате диод будет блокировать прохождение тока в обратном направлении.

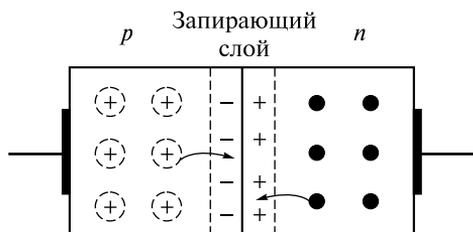
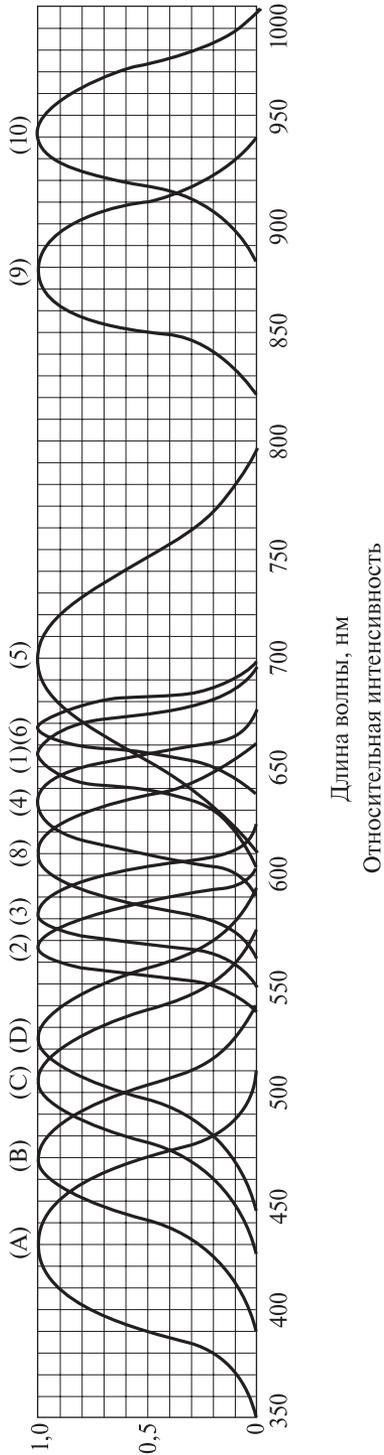


Рис. Л7.1. Структура диода



- (1) – GaAsP/GaAs 655 nm/Red
- (2) – GaP 570 nm/Yellow Green
- (3) – GaAsP/GaP 585 nm/Yellow
- (4) – GaAsP/GaP 635 nm/Orange & Hi-Eff Red
- (5) – GaP 700 nm/Bright Red
- (6) – GaAlAs/GaAs 660 nm/Super Red
- (8) – GaAsP/GaP 610 nm/Super Red
- (9) – GaAlAs 880 nm
- (10) – GaAs/GaAs & GaAlAs/GaAs 940 nm
- (A) – GaN/SiC 430 nm/Blue
- (B) – InGaN/SiC 470 nm/Blue
- (C) – InGaN/SiC 505 nm/Ultra Green
- (D) – InGaAl/SiC 525 nm/Ultra Green

**Рис. Л7.2.** Материалы и цвета светодиодов

Светодиод по своей структуре схож с диодом, но отличается тем, что материалы примесей и полупроводников у него другие. Когда в запирающем слое встречаются электрон и дырка, происходит рекомбинация, причем испускается световая электромагнитная волна. У светодиодов так подобраны материалы, чтобы это излучение происходило с длинами волн в видимом спектре. Материалы полупроводников и соответствующие длины волн излучения приведены на рис. Л7.2.

### Порядок выполнения лабораторной работы

Для проведения практикума используется базовый набор электроизмерительных приборов: генератор сигналов, блок питания, осциллограф.

Подготовка измерительного стенда включает сборку электрической схемы с диодом с прямым и обратным подключением (рис. Л7.3, Л7.4) согласно алгоритму. Следует проверить полярность компонентов.

Алгоритм сборки:

- 1) возьмите батарейку (19), к плюсу батарейки подключите ключ (15);
- 2) к ключу (15) подключите последовательно резистор (30) и светодиод (17);
- 3) последовательно светодиоду (17) подключите диод (57).

Соберите электрическую схему диода с обратным подключением (см. рис. Л7.5, б), установите переключатель в позицию off. Установите контакты 1 и 2 и измерьте мультиметром силу тока через точки 1 и 2.

Соберите электрическую схему диода с прямым подключением, установите переключатель в позицию off. Измерьте силу тока мультиметром через точки 1 и 2 в соответствии с рис. Л7.5.

Внесите результаты в табл. Л7.1.

Соберите электрическую схему для снятия ВАХ (рис. Л7.6) согласно алгоритму.

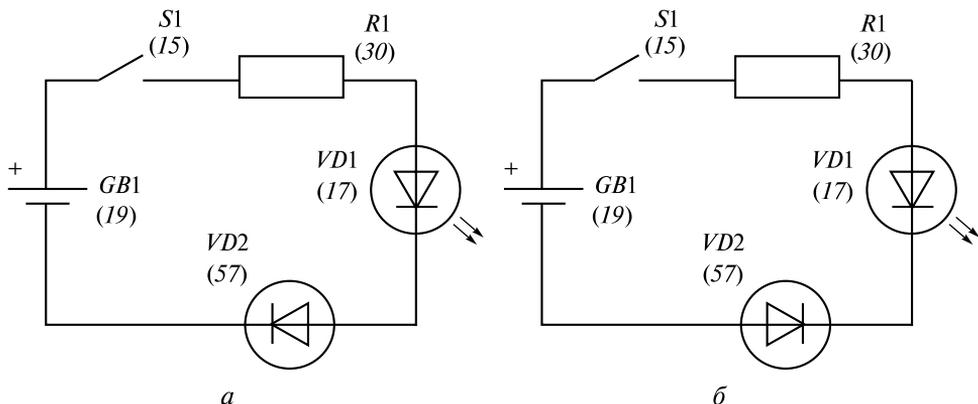
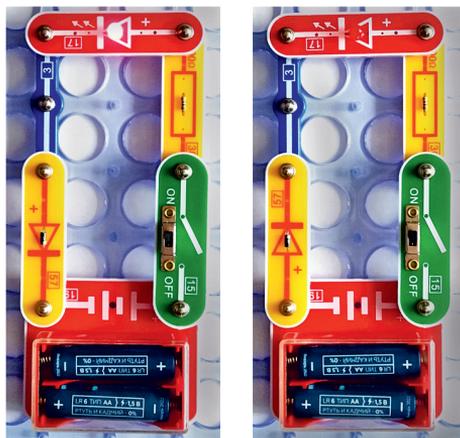


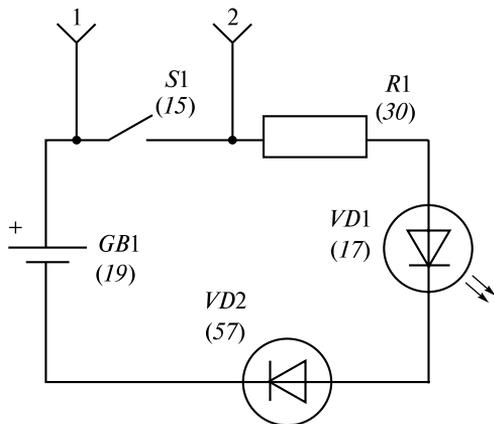
Рис. Л7.3. Электрическая схема диода с прямым (а) и обратным (б) подключением



а

б

**Рис. Л7.4.** Общий вид электрической схемы диода с прямым (а) и обратным (б) подключением

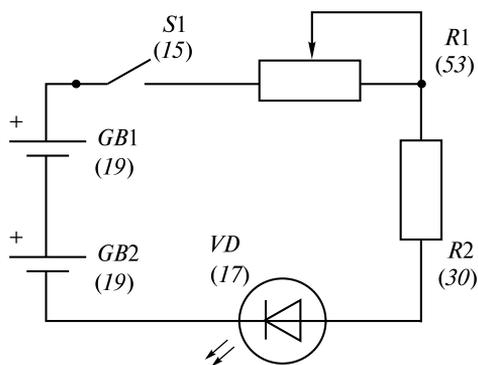


**Рис. Л7.5.** Электрическая схема диода с прямым подключением с контактами для измерения тока

Таблица Л7.1

#### Результаты измерений

№ измерения	Светодиод (горит/ не горит)	Ток через диод, мА
1. Диод с обратным подключением	Не горит	0
2. Диод с прямым подключением	Горит	95



**Рис. Л7.6.** Электрическая схема для снятия ВАХ

Алгоритм сборки:

- 1) возьмите две батарейки (19), соедините их последовательно, к «плюсу» батарейки подключите ключ (15);
- 2) к ключу (15) подключите переменный резистор (53);
- 3) к переменному резистору (53) подключите последовательно резистор (30) и светодиод (17), как показано на рис. Л7.6;
- 4) светодиод (17) подключите к «минусу» батарейки (19).

Соберите схему для снятия ВАХ (рис. Л7.7) и выполните следующие операции:

- 1) соберите схему и переключите переключатель в положение on;
- 2) измерьте напряжение диода (рис. Л7.8);

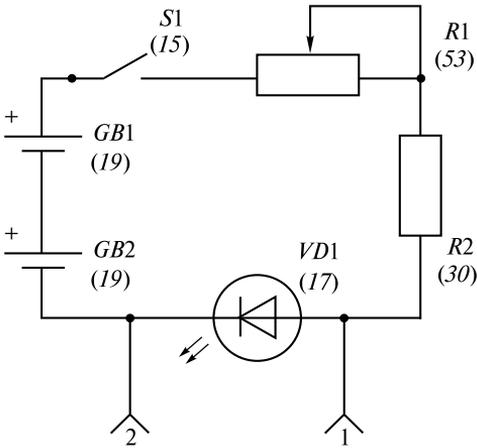


Рис. Л7.7. Электрическая схема для снятия ВАХ с контактами для измерения напряжения

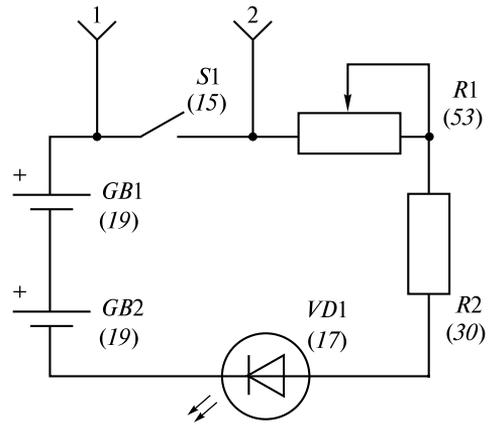


Рис. Л7.8. Электрическая схема для снятия ВАХ с контактами для измерения силы тока

- 3) переключите переключатель в положение off;
- 4) измерьте ток диода (рис. Л7.9);
- 5) внесите результаты в табл. Л7.2;
- 6) выполните те же операции с другим светодиодом.

Для более точных измерений можно также изменить номинал резистора (30) (см. рис. Л7.6–Л7.8).

Зарисуйте полученные ВАХ (рис. Л7.10) и запишите наименования осей графика.

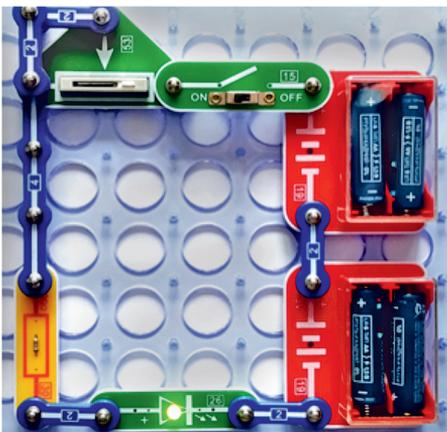


Рис. Л7.9. Вид схемы для измерения ВАХ

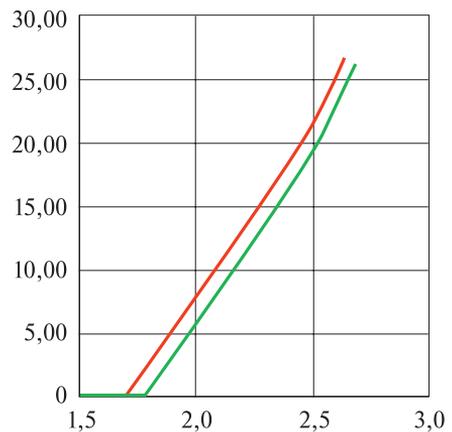


Рис. Л7.10. Полученные ВАХ

Таблица Л7.2

## Результаты измерений

№ измерения	Напряжение на красном светодиоде, В	Ток на красном светодиоде, мА	Напряжение на зеленом светодиоде, В	Ток на зеленом светодиоде, мА
1	2,63	26,60	2,67	26,20
2	2,40	18,40	2,46	18,30
3	7,00	0,16	79,00	0,15
4	69,00	0,09	76,00	0,09
5	68,00	0,06	75,00	0,07

## Содержание отчета

В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) принципиальная электрическая схема стенда и описание ее работы;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 4) методика проведения измерений;
- 5) результаты экспериментальных исследований:
  - таблицы с измерениями тока при прямом и обратном подключении диода;
  - таблицы с измерениями напряжения и тока светодиодов;
  - ВАХ красного и зеленого светодиодов;
- 6) анализ полученных данных и результатов;
- 7) выводы по итогам сравнения расчетных и экспериментальных данных.

## Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные принципы работы полупроводникового диода.
2. Каким образом изменяется пороговое напряжение диода при изменении типа материала и концентрации примесей?
3. Что такое обратный ток диода и почему он возникает?
4. В чем заключается принцип действия светодиода и какие у него особенности по сравнению с обычным полупроводниковым диодом?
5. Как можно использовать диоды в различных электронных устройствах и системах?
6. В чем заключается роль диодов в схемах выпрямления и стабилизации напряжения?
7. Каким образом влияет температура на электрические характеристики полупроводниковых диодов? Какие меры предосторожности необходимо принимать при работе с ними?
8. Назовите факторы, которые могут привести к выходу из строя полупроводникового диода. Как можно предотвратить такие ситуации?

## Лабораторная работа № 8 Исследование биполярных транзисторов и усилителей

### Содержание задания

Цель лабораторной работы — ознакомление с биполярными транзисторами и усилителями, построенными на них; изучение основных характеристик  $n-p-n$ - и  $p-n-p$ -транзисторов.

В лабораторной работе рассматриваются базовые понятия раздела курса физики «Электричество и магнетизм» в части измерительных методик параметров электрических цепей и основных ЭРЭ [5].

Задачами лабораторной работы являются:

- ознакомление с основными характеристиками биполярных транзисторов;
- изучение принципа работы биполярных транзисторов;
- ознакомление с основными видами усилителей на биполярных транзисторах.

### Теоретическая часть

Транзистор — это электронный компонент, который позволяет управлять током в электрической цепи.

Биполярный транзистор состоит из двух  $p-n$ -переходов (рис. Л8.1), соединенных вместе, и имеет три вывода: коллектор, базу и эмиттер. Принцип

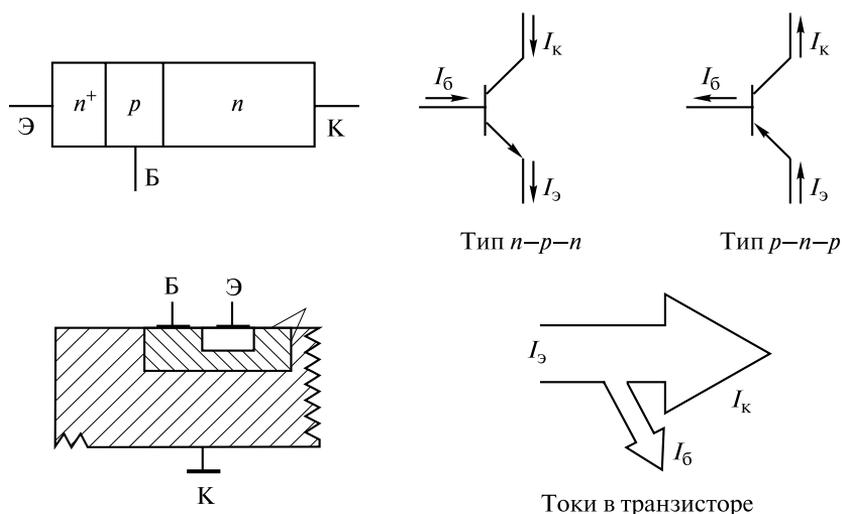


Рис. Л8.1. Структура биполярного транзистора:

Б — база; К — коллектор; Э — эмиттер;  $I_Б$ ,  $I_Э$ ,  $I_К$  — токи соответственно базы, эмиттера, коллектора

работы биполярного транзистора основан на управлении током в цепи коллектора с помощью тока в базе. Когда на базу  $n-p-n$ -транзистора подается напряжение или ток, происходит протекание тока через базу. При этом область базы обогащается носителями заряда, что обуславливает формирование слоя с большой концентрацией носителей. Под действием этого слоя электронов (в случае  $n-p-n$ -транзистора) или дырок (в случае  $p-n-p$ -транзистора) происходит диффузия в область коллектора. Это вызывает увеличение тока коллектора. Таким образом, ток коллектора зависит от тока базы, и эта зависимость называется коэффициентом усиления транзистора.

Основные виды транзисторов в зависимости от структуры:

- биполярные — управление током коллектора с помощью тока базы;
- полевые — управление током стока с помощью напряжения на затворе;

- IGBT (*insulated-gate bipolar transistor*) — биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ) — комбинация биполярного и полевого транзистора;

- МОП-транзисторы (MOSFET — *metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*) — управление током стока с помощью напряжения на затворе с изолированным слоем диэлектрика;

- однопереходные — применяются для генерации колебаний;

- составные — используются для усиления сигналов.

Основные характеристики транзисторов:

- тип транзистора — биполярный, полевой, IGBT (БТИЗ);

- структура транзистора — NPN (*Negative-Positive-Negative* — с одним коллектором и двумя эмиттерами) или PNP (*Positive-Negative-Positive* — с одним эмиттером и двумя коллекторами);

- коэффициент усиления по току ( $\beta$ ) — отношение тока коллектора к току базы; указывает на способность транзистора усиливать входной сигнал;

- напряжение пробоя ( $V_{CEO}$ ,  $V_{CES}$ ,  $V_{CEO(sus)}$ ) — максимальное напряжение, которое может быть приложено к транзистору без его повреждения.  $V_{CEO}$  — максимальное напряжение между коллектором и эмиттером, когда база не подключена.  $V_{CES}$  — максимальное напряжение коллектор–эмиттер при заземленной базе,  $V_{CEO(sus)}$  — напряжение пробоя коллектор–эмиттера с ограниченным током;

- максимальный ток коллектора ( $I_{C\max}$ ) — максимальный ток, который может протекать через коллектор–эмиттерный переход без повреждения транзистора;

- мощность рассеяния PD (*Power Dissipation*) — максимальная мощность, которую транзистор может рассеять без перегрева.

Модель Эберса — Молла (рис. Л8.2) — математическая модель, описывающая поведение полупроводниковых диодов, транзисторов и других подобных устройств. Эта модель основана на зависимости электрического тока через полупроводниковый диод или транзистор от приложенного к нему напряжения и от температуры.

Модель Эберса — Молла учитывает два основных механизма переноса заряда в полупроводнике: диффузию и дрейф. Диффузия происходит вследствие разности концентраций носителей заряда в разных областях полупроводника, а дрейф вызван электрическим полем, вызывающим движение зарядов.

Модель включает в себя уравнения, описывающие ток через диод или транзистор в зависимости от приложенного напряжения и температуры. Эти уравнения учитывают влияние тепловой энергии на движение носителей заряда и образуют основу для расчетов и проектирования электронных устройств на основе полупроводников.

Следует отметить, что модель Эберса — Молла является одной из основных моделей, используемых в электронике для анализа и проектирования полупроводниковых устройств. Она широко применяется инженерами и учеными для понимания и оптимизации работы полупроводниковых устройств в различных приложениях: интегральных схемах, диодах, транзисторах и других электронных компонентах.

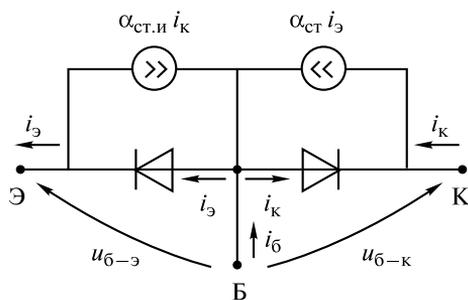
Области применения транзисторов: радиоэлектроника — в качестве усилителей и генераторов; вычислительная техника — для построения логических элементов; автомобильная промышленность — для управления системами двигателя; бытовая техника — для управления питанием устройств; телекоммуникационное оборудование — для обеспечения передачи сигналов.

В основном биполярные транзисторы используют для построения транзисторно-транзисторной логики и для построения усилительных каскадов.

Усилитель — устройство, увеличивающее мощность электрического сигнала. Он состоит из входного каскада, принимающего сигнал, выходного каскада, усиливающего сигнал, и схемы обработки сигнала, которая обеспечивает необходимую обработку сигнала между входом и выходом.

Усилители можно классифицировать по различным параметрам: тип сигнала (аналоговый, цифровой); назначение (для звука, радио, видео); технология усиления (ламповые, транзисторные, интегральные схемы) и др. Некоторые распространенные типы усилителей:

- аналоговые — для усиления аналоговых сигналов, таких как звуковые сигналы в аудиосистемах;
- цифровые — для усиления цифровых сигналов, таких как сигналы в компьютерах и других электронных устройствах;



**Рис. Л8.2.** Простейшая схема низкочастотной модели Эберса — Молла:

$\alpha_{ст.и}$  — коэффициент передачи коллекторного тока в инверсном режиме;  $i_э$ ,  $i_к$  — токи, текущие через переходы (Э — эмиттер, К — коллектор);  $i_б$  — ток базы (Б — база);  $u_{б-э}$  — напряжение база-эмиттер;  $u_{б-к}$  — напряжение база-коллектор

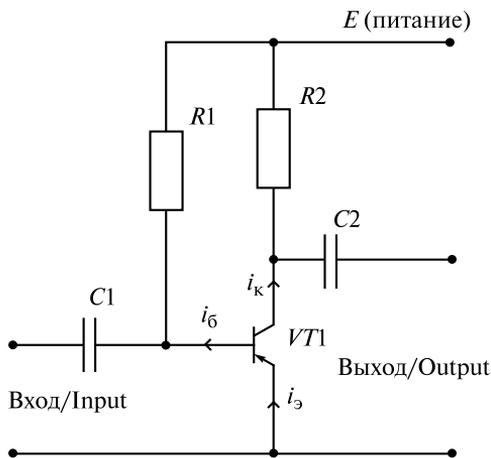


Рис. Л8.3. Электрическая схема включения транзистора с общим эмиттером

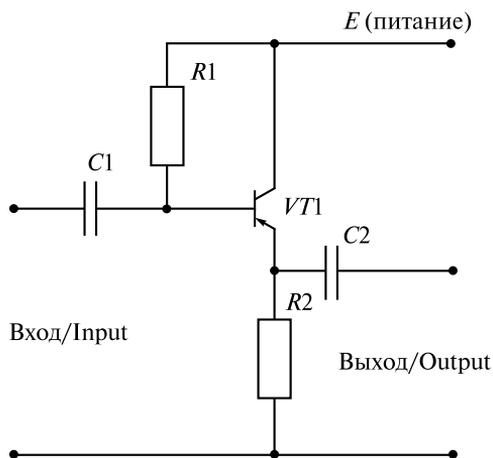


Рис. Л8.4. Электрическая схема включения транзистора с общим коллектором

идеальным для использования в схемах, где необходимо согласовать высокое сопротивление источника сигнала с низким сопротивлением нагрузки. Выходной сигнал общего коллектора имеет высокое выходное сопротивление, что делает его идеальным для подключения к низкоомной нагрузке.

**Общая база** — схема включения транзистора, в которой база является общей для входного и выходного сигналов (рис. Л8.5). В этой схеме входной сигнал подается на эмиттер, а выходной сигнал снимается с коллектора. Общая база имеет самое высокое входное сопротивление из всех схем включения транзистора, что обуславливает ее использование в высокочувстви-

— радиочастотные — в радиоприемниках для усиления радиосигналов;

— видеоусилители — в телевизорах и других устройствах для усиления видеосигналов.

На биполярных транзисторах строят три вида каскадов.

**Общий эмиттер** — схема включения биполярного транзистора, при которой эмиттер является общим для входного и выходного сигналов (рис. Л8.3). В этой схеме входной сигнал подается на базу, а выходной снимается с коллектора. Общий эмиттер обеспечивает усиление по напряжению и наибольшее усиление сигнала среди всех схем включения транзисторов. Высокая нагрузочная способность позволяет ему работать с различными типами нагрузок. Выходной сигнал с общего коллектора инвертирован по сравнению с входным сигналом.

**Общий коллектор** представляет собой схему включения транзистора, в которой коллектор является общим для входного и выходного сигналов (рис. Л8.4). В этой схеме входной сигнал подается на базу, а выходной — снимается с эмиттера. Общий коллектор обеспечивает усиление по току. Самое низкое входное сопротивление среди всех схем включения транзисторов делает его

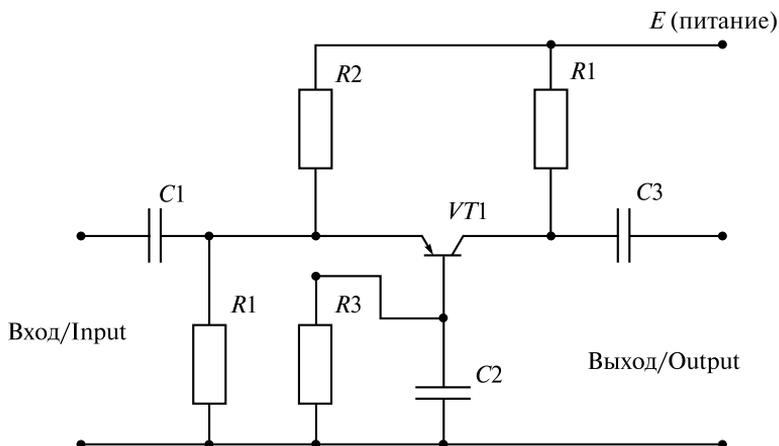


Рис. Л8.5. Электрическая схема включения транзистора с общей базой

тельных схемах, где важно минимизировать влияние на источник сигнала. Низкое выходное сопротивление общей базы делает ее подходящей для использования в качестве драйвера нагрузки.

### Порядок выполнения лабораторной работы

Для проведения практикума используется базовый набор электроизмерительных приборов: генератор сигналов, блок питания, осциллограф.

Для подготовки измерительного стенда к работе необходимо собрать **схему без транзистора**, приведенную на рис. Л8.6, согласно алгоритму.

Алгоритм сборки электрической схемы без транзистора:

1) возьмите батарейку (19), к плюсу батарейки подключите фоторезистор (16) (компонент, изменяющий сопротивление в зависимости от количества падающего на него света);

2) к фоторезистору (16) подключите последовательно резистор (30);

3) к резистору (30) подключите последовательно светодиод (17) (см. рис. Л8.6).

После сборки электрической схемы без транзистора измерьте ток, протекающий через светодиод, и внесите результаты в табл. Л8.1.

Светодиод горит тускло, так как через него течет малый ток. Для устранения этого следует использовать транзистор.

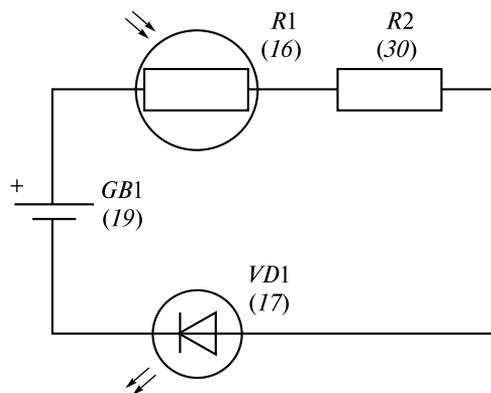


Рис. Л8.6. Электрическая схема без транзистора

## Результаты измерений

Схема измерения	Ток светодиода, мкА	Ток базы, мкА	Коэффициент усиления $k$
Без транзистора	69	—	—
С $p-n-p$ -транзистором	3880	15	259
С $n-p-n$ -транзистором	3420	14	244



Рис. Л8.7. Общий вид электрической схемы без транзистора

Соберите схему с  $p-n-p$ -транзистором, приведенную на рис. Л8.7 согласно алгоритму.

Алгоритм сборки электрической схемы с  $p-n-p$ -транзистором:

1) возьмите батарейку (19), к ее плюсу подключите ключ (15);

2) к ключу (15) подключите последовательно резистор (32) и резистор (33);

3) параллельно резисторам включите в цепь  $p-n-p$ -транзистор (51) и светодиод (17);

4) соедините базу транзистора (51)

и делитель напряжения из резисторов (32) и (31) с помощью фоторезистора (16) (рис. Л8.8).

Схема с общим эмиттером измеряет освещенность с помощью фоторезистора, а с помощью транзистора позволяет усилить ток, и светодиод светится тем ярче, чем больше освещен фоторезистор.

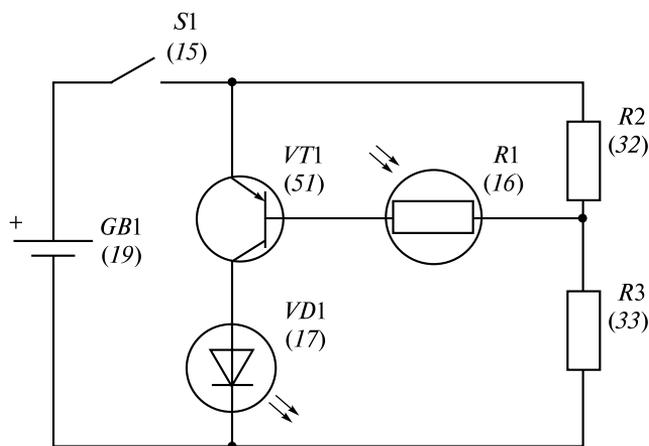


Рис. Л8.8. Электрическая схема с общим эмиттером с  $p-n-p$ -транзистором

После сборки электрической схемы с  $p-n-p$ -транзистором (рис. Л8.9) выполните следующие операции:

- 1) установите переключатель (15) в позицию on;
- 2) измерьте ток, протекающий через светодиод (17);
- 3) внесите результаты в табл. Л8.1;
- 4) измерьте ток, протекающий через базу транзистора (51);
- 5) внесите результаты в табл. Л8.1;
- 6) рассчитайте коэффициент усиления по формуле  $h = \frac{\text{ток светодиода}}{\text{ток базы}}$ ;

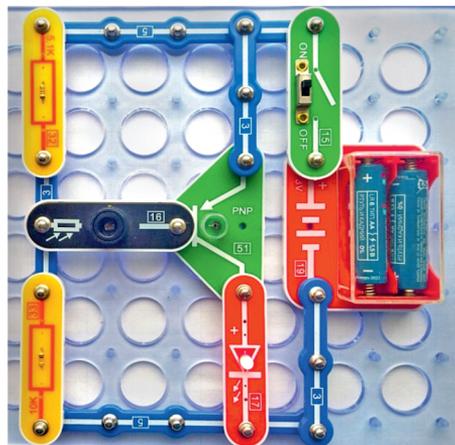


Рис. Л8.9. Общий вид электрической схемы с  $p-n-p$ -транзистором

- 7) внесите результаты в табл. Л8.1.
- Соберите электрическую схему с общим эмиттером (рис. Л8.10) согласно алгоритму.

Алгоритм сборки электрической схемы с общим эмиттером и  $n-p-n$ -транзистором:

- 1) возьмите батарейку (19), к ее плюсу подключите ключ (15);
- 2) к ключу (15) подключите последовательно резистор (33) и резистор (32);
- 3) параллельно резисторам включите в цепь  $n-p-n$ -транзистор (52) и светодиод (17);
- 4) соедините базу транзистора (52) и делитель напряжения из резисторов (32) и (31) с помощью фоторезистора (16) (рис. Л8.11).

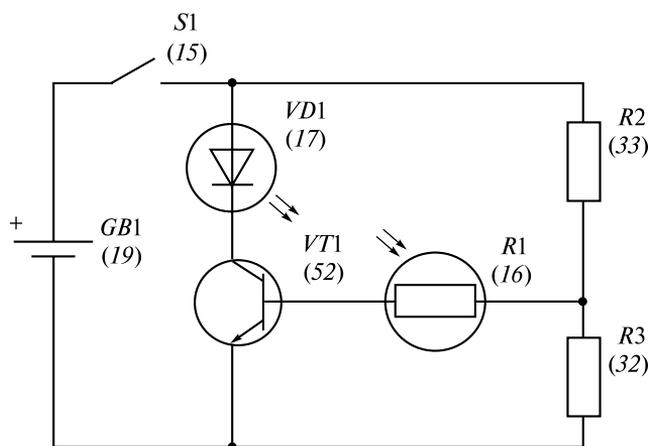


Рис. Л8.10. Электрическая схема с общим эмиттером на  $n-p-n$ -транзисторе

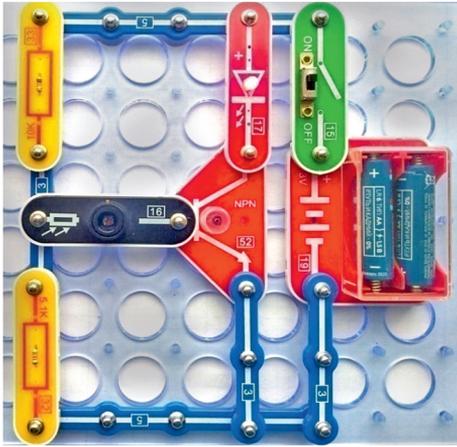


Рис. Л8.11. Общий вид электрической схемы с  $n-p-n$ -транзистором

Соберите электрическую схему с  $n-p-n$ -транзистором и выполните следующие операции:

1) установите переключатель (15) в позицию on; измерьте ток, протекающий через светодиод (17), и внесите результаты в табл. Л8.1;

2) измерьте ток, протекающий через базу транзистора (51), и внесите результаты в табл. Л8.1;

3) рассчитайте коэффициент усиления по формуле  $h = \frac{\text{ток светодиода}}{\text{ток базы}}$

и внесите результаты в табл. Л8.1.

Схема с  $n-p-n$ -транзистором отличается от схемы  $p-n-p$ -транзистора тем, что токи, проходящие через транзисторы, противоположны, вследствие этого схема «отзеркаливается».

Соберите электрическую схему с общим коллектором (рис. Л8.12) согласно алгоритму.

Алгоритм сборки электрической схемы с общим коллектором на  $n-p-n$ -транзисторе:

1) возьмите батарейку (19), к ее плюсу подключите ключ (15);

2) к ключу (15) подключите последовательно резистор (31) и потенциометр (53);

3) параллельно переменному делителю напряжения включите в цепь  $n-p-n$ -транзистор (52);

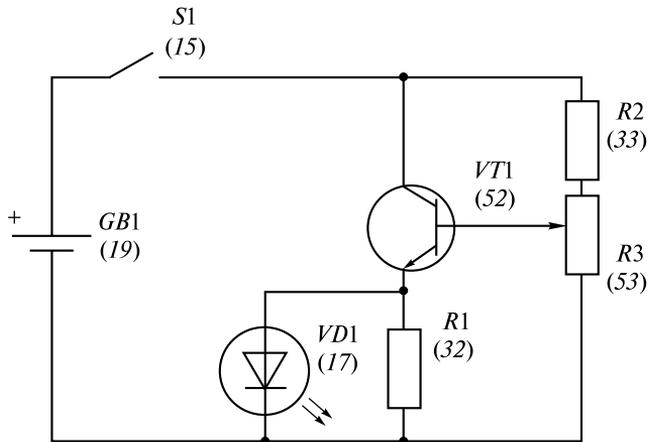


Рис. Л8.12. Электрическая схема с общим коллектором на  $n-p-n$ -транзисторе

4) соедините базу транзистора (52) и делитель напряжения из резисторов (53) и (31);

5) к эмиттеру транзистора подключите резистор (32);

6) параллельно резистору (32) подключите светодиод (17) (рис. Л8.13).

После сборки электрической схемы с общим коллектором выполните следующие операции:

1) установите переключатель (15) в позицию *on*;

2) установите потенциометр (53) в крайнее нижнее положение;

3) измерьте ток, протекающий через светодиод (17), и внесите результаты в табл. Л8.2;

4) измерьте ток, протекающий через базу транзистора (52), и внесите результаты в табл. Л8.2;

5) установите потенциометр (53) в крайнее верхнее положение (см. рис. Л8.13);

6) повторите пункты 2–4.



Рис. Л8.13. Вид схемы с общим коллектором на *n-p-n*-транзисторе

Таблица Л8.2

### Результаты измерений

Положение потенциометра	Ток светодиода, мкА	Ток базы, мкА
Крайнее нижнее	0	0
Крайнее верхнее	19	1628

Когда потенциометр находится в крайнем нижнем положении, база коммутирует с землей, между базой и эмиттером нет падения напряжения, ток не течет. Если потенциометр переместить в крайнее верхнее положение, в базу потечет ток, соответственно от коллектора к эмиттеру тоже потечет ток. Схема с общим коллектором усиливает сигнал по току, об этом свидетельствуют экспериментальные данные.

Соберите электрическую схему с общим эмиттером (рис. Л8.14) согласно алгоритму.

Алгоритм сборки электрической схемы с общим эмиттером на *n-p-n*-транзисторе:

1) возьмите батарейку (19), к плюсу батарейки подключите ключ (15);

2) к ключу (15) подключите последовательно резистор (33) и потенциометр (53);

3) параллельно переменному делителю напряжения включите в цепь *n-p-n*-транзистор (52) и резистор (30);

4) параллельно транзистору подключите светодиод (17) (рис. Л8.15).

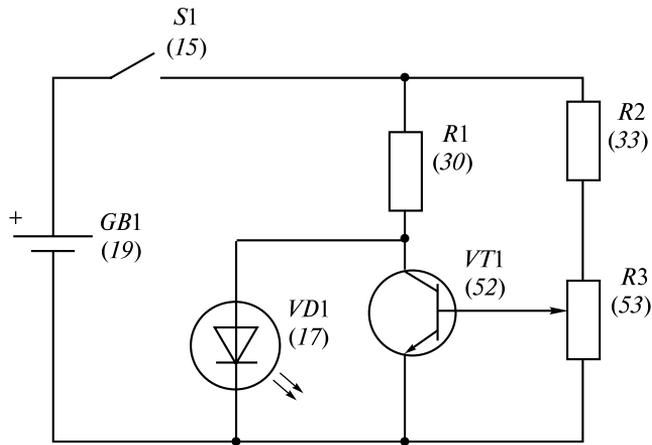


Рис. Л8.14. Электрическая схема с общим эмиттером на  $n-p-n$ -транзисторе



Рис. Л8.15. Вид схемы с общим эмиттером на  $n-p-n$ -транзисторе

После сборки электрической схемы с общим эмиттером выполните следующие операции:

- 1) установите переключатель (15) в позицию on;
- 2) установите потенциометр (53) в крайнее нижнее положение;
- 3) измерьте напряжение светодиода (17) и занесите результаты в табл. Л8.3;
- 4) измерьте напряжение база–эмиттер транзистора (52) и занесите результаты в табл. Л8.3;
- 5) установите потенциометр (53) в крайнее верхнее положение (см. рис. Л8.15);
- 6) повторите пункты 3, 4.

Таблица Л8.3

#### Результаты измерений

Положение потенциометра	Напряжение база–эмиттер, В	Напряжение светодиода, В
Крайнее нижнее	0	2,03
Крайнее верхнее	0,71	0,08

На выходе каскада с общим эмиттером всегда будет усиленный инвертированный сигнал. Когда потенциометр находится в крайнем нижнем

положении, напряжение база–эмиттер равняется нулю, транзистор заперт. Ток потечет через резистор на светодиод. Когда потенциометр находится в крайнем верхнем положении, напряжение база–эмиттер не равняется нулю, транзистор открыт. Ток потечет через резистор и открытый транзистор на землю, минуя светодиод.

### Содержание отчета

В отчете о выполненной лабораторной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) принципиальная электрическая схема лабораторного стенда и описание ее работы;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 4) примеры вычислений и теоретические расчеты:
  - расчеты коэффициентов усиления транзисторов;
- 5) методика проведения измерений;
- 6) результаты экспериментальных исследований:
  - таблицы с данными снятых с  $n-p-n$ - и  $p-n-p$ -транзисторов;
  - таблица с входными и выходными сигналами схемы подключения транзистора с общим коллектором;
  - таблица с входными и выходными сигналами схемы подключения транзистора с общим эмиттером;
- 7) анализ полученных данных и результатов;
- 8) выводы по итогам сравнения расчетных и экспериментальных данных.

### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое транзистор?
2. Приведите структуру транзистора.
3. Назовите типы транзисторов.
4. Зачем нужны транзисторы?
5. Назовите основные характеристики транзисторов.
6. Что такое коэффициент усиления?
7. Как рассчитать коэффициент усиления?
8. Чем отличается электрическая схема с общим эмиттером от электрической схемы с общим коллектором?

## Лабораторная работа № 9 Исследование обратной связи в электрических схемах

### Содержание задания

Цель лабораторной работы — ознакомление с принципом работы обратных связей, изучение положительной и отрицательной обратной связи.

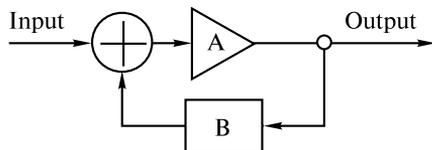
В лабораторной работе рассмотрены базовые понятия раздела курса физики «Электричество и магнетизм» в части измерительных методик параметров электрических цепей и основных ЭРЭ [2].

Задачами лабораторной работы являются:

- ознакомление с основными видами обратной связи;
- расчет параметров обратной связи каскадов с биполярными транзисторами;
- экспериментальное исследование работы электрических схем с обратными связями, а также анализ полученных результатов.

### Теоретическая часть

В электронике обратная связь — это подача (подмешивание) части выходного сигнала на его вход (рис. Л9.1). Это позволяет улучшить стабильность, точность и усиление системы. Существует два основных типа обратной связи в электронике: положительная и отрицательная.



**Рис. Л9.1.** Схема с обратной связью: А — усилитель; В — обратная связь; знак «+» — суммирование (сложение)

Отрицательная обратная связь — тип обратной связи, при которой выходной сигнал системы или устройства подается на его вход с противоположным знаком. Это означает, что сигнал, поступающий на вход, имеет знак, противоположный знаку исходного сигнала. Этот тип обратной связи используется для стабилизации системы и уменьшения ее чувствительности к изменениям входных параметров. Отрицательная обратная связь позволяет системе сохранять стабильность и точность даже при наличии шумов и внешних воздействий.

Положительная обратная связь — тип обратной связи, при которой выходной сигнал системы или устройства подается на его вход без изменения знака. Этот тип обратной связи может привести к ухудшению стабильности системы и даже к ее разрушению, так как может вызвать нарастающий процесс, который не останавливается сам по себе. Однако положительная обратная связь может быть полезна в некоторых случаях, например для создания колебательных систем или для усиления сигналов.

Одним из важных применений обратной связи в электронике является создание усилителей и генераторов, где она используется для увеличения мощности сигнала или для создания колебаний. Также обратная связь используется в системах автоматического регулирования, например, в термостатах, где она позволяет системе автоматически поддерживать заданный параметр — температуру.

В каскадах с биполярными транзисторами используют два вида обратной связи: по напряжению и по току.

Обратная связь по напряжению используется в электрической схеме с общим эмиттером для того, чтобы стабилизировать ток покоя и напряжение на коллекторе. Обратная связь имеет вид делителя напряжения, который соединяется с выходом — коллектором (рис. Л9.2). Так, на рис. Л9.2 на коллекторе получается стабильное напряжение, почти не зависящее от коэффициента усиления транзистора.

Рассчитаем напряжение на коллекторе  $U_k$ .

Будем считать, что через резистор  $R_2$  и  $R_3$  течет ток, значительно больший, чем ток базы, тогда током базы можно пренебречь.

Через резистор  $R_2$  и  $R_3$  течет ток

$$I = \frac{U_6}{R_3},$$

тогда напряжение на коллекторе

$$U_k = IR_2 + U_6 = \frac{R_2 U_6}{R_3} + U_6 = \left( \frac{R_2}{R_3} + 1 \right) U_6.$$

Как следует из выражения, напряжение на коллекторе не зависит от коэффициента усиления на биполярном транзисторе.

Обратная связь по току используется в схеме с общим эмиттером для того, чтобы выходной сигнал не зависел от коэффициента усиления транзистора. Обратная связь имеет вид резистора в цепи коллектора (рис. Л9.3).

Рассчитаем коэффициент усиления электрической схемы обратной связи по току.

Пусть напряжение базы изменится на  $u_6$ . Поскольку падение напряжения между базой и эмиттером остается постоянным, изменится напряжение на эмиттере, причем  $u_3 = u_6$ . Тогда ток через эмиттер

$$i_3 = \frac{u_3}{R_3} = \frac{u_6}{R_3}.$$

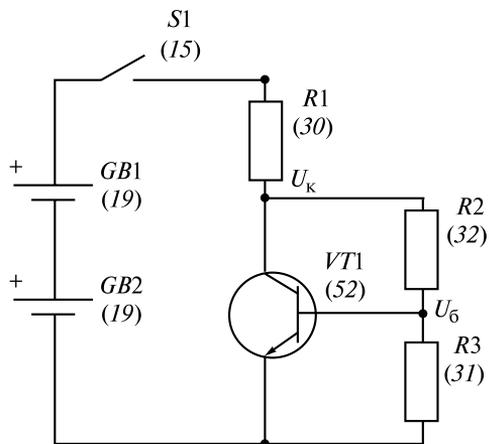


Рис. Л9.2. Электрическая схема обратной связи по напряжению

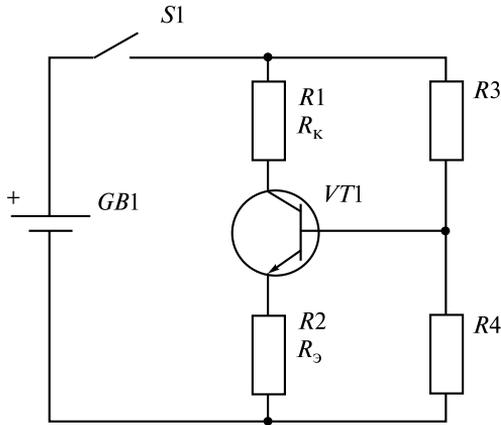


Рис. Л9.3. Электрическая схема обратной связи по току

Ток через коллектор изменяется приблизительно на то же самое значение (ток базы не учитываем, считаем, что ток коллектора намного больше тока базы), точка  $I_3 = I_K$ . Изменение напряжения на коллекторе:

$$u_k = i_k R_k = -\frac{u_6}{R_3} R_k,$$

знак «минус» обусловлен тем, что схема общего эмиттера инвертирует сигнал. Из этого следует коэффициент усиления

$$\frac{u_k}{u_6} = \frac{-\frac{u_6}{R_3} \cdot R_k}{u_6} = -\frac{R_k}{R_3}.$$

Другими словами, динамический коэффициент усиления почти не зависит от параметров биполярного транзистора.

### Порядок выполнения лабораторной работы

Для проведения практикума используется базовый набор электроизмерительных приборов: генератор сигналов, блок питания, осциллограф.

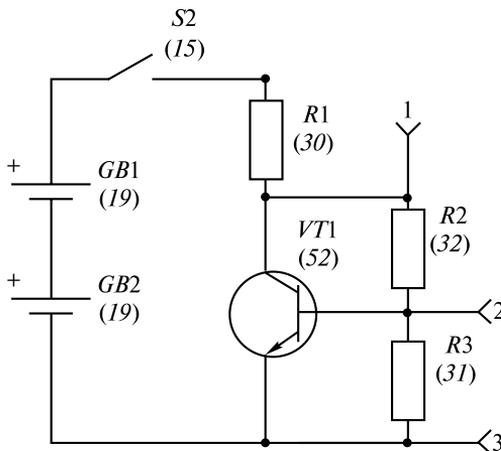


Рис. Л9.4. Электрическая схема с обратной связью по напряжению:

1–3 — контакты для измерений

Для подготовки измерительного стенда необходимо собрать электрическую схему с обратной связью по напряжению (рис. Л9.4) согласно алгоритму.

Алгоритм сборки:

1) возьмите две батарейки (19), соедините их последовательно, к «плюсу» батарейки подключите ключ (15);

2) к ключу (15) подключите последовательно резистор (30);

3) последовательно резистору (30) подключите транзистор (52);

4) соберите делитель напряжения из резисторов (32) и (31) и подключите его параллельно коллектору;

5) соедините базу транзистора (52) и делитель напряжения из резисторов (32) и (31) (рис. Л9.5).

После сборки электрической схемы с обратной связью по напряжению с *n-p-n*-транзистором выполните следующие операции:

1) установите переключатель (15) в позицию on;

2) измерьте напряжение базы (см. рис. Л9.4, контакты 2, 3) и внесите результаты в табл. Л9.1;

3) измерьте напряжение коллектора (см. рис. Л9.4, контакты 1–3) и внесите результаты в табл. Л9.1.

Рассчитайте напряжение на коллекторе транзистора, используя формулу из теоретической части:

$$U_k = \left( \frac{R_2}{R_3} + 1 \right) U_6 = \left( \frac{5,1 \text{ кОм}}{1 \text{ кОм}} + 1 \right) \cdot 0,67 \text{ В} = 4,09 \text{ В}.$$

Таблица Л9.1

**Результаты измерений**

Измеренное напряжение база–эмиттер, В	Измеренное напряжение коллектор–эмиттер, В	Рассчитанное напряжение коллектор–эмиттер, В
0,67	4,29	4,09

Теоретические и рассчитанные значения практически совпадают, различия вызваны тем, что в формуле не учитывается ток базы.

Соберите схему с обратной связью по току (рис. Л9.6) согласно алгоритму.

Алгоритм сборки:

1) возьмите две батарейки (19), соедините их последовательно, к «плюсу» батарейки подключите ключ (15);

2) к ключу (15) подключите последовательно резистор (32);

3) последовательно к резистору (32) подключите транзистор (52) и резистор (31);

4) соберите делитель напряжения из резисторов (33) и (34) и фоторезистора (16), подключите его параллельно транзистору (52);

5) соедините базу транзистора (52) и делитель напряжения, как на рис. Л9.7.

Выполните следующие операции:

1) соберите электрическую схему с обратной связью по току с *n-p-n*-транзистором;

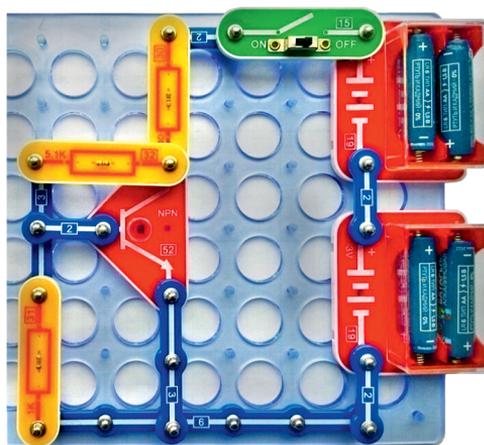


Рис. Л9.5. Общий вид электрической схемы с обратной связью по напряжению

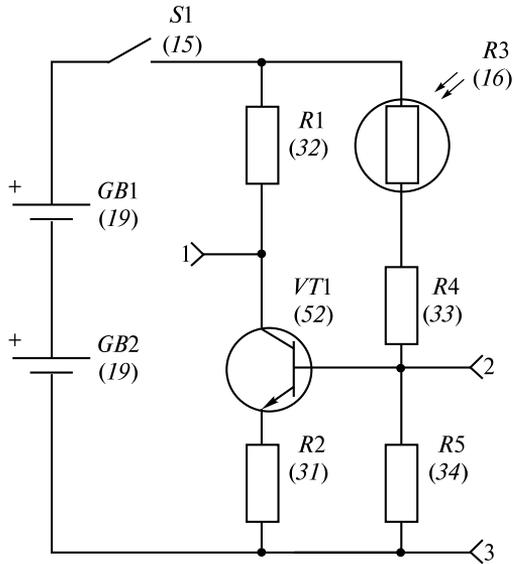


Рис. Л9.6. Электрическая схема с обратной связью по току:

1–3 — контакты для измерений

2) установите переключатель (15) в позицию on;

3) измерьте напряжение базы (см. рис. Л9.6, контакты 2, 3) и внесите результаты в табл. Л9.2;

4) измерьте напряжение коллектора (см. рис. Л9.6, контакты 1–3) и внесите результаты в табл. Л9.2;

5) закройте фоторезистор от света материалом, частично пропускающим свет;

6) повторите пункты 3, 4.

Рассчитайте коэффициент усиления каскада, используя формулу из теоретической части:

$$\frac{u_k}{u_6} = -\frac{R_k}{R_3} = -\frac{5,1 \text{ кОм}}{1 \text{ кОм}} = -5,1.$$

Рассчитайте экспериментальный коэффициент усиления каскада, используя формулу из теоретической части:

$$\frac{u_k}{u_6} = -\frac{3,84 \text{ В}}{1 \text{ В}} = -3,84.$$

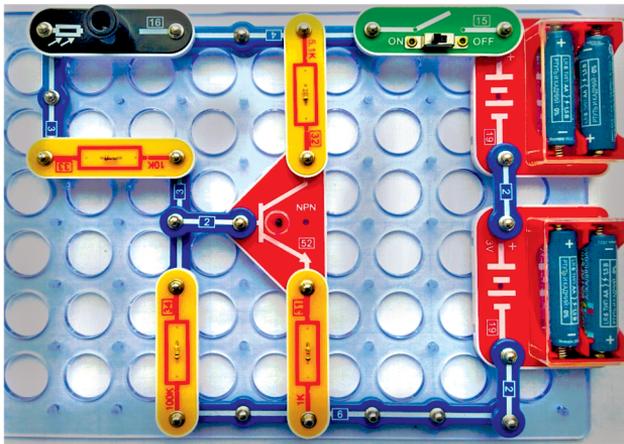


Рис. Л9.7. Общий вид электрической схемы обратной связи по току

Таблица Л9.2

## Результаты измерений и расчета

Эксперимент	Измеренное напряжение база–эмиттер, В	Измеренное напряжение коллектор–эмиттер, В	
Фоторезистор открыт	7	04	
Фоторезистор закрыт	0,7	4,88	
Расчетный коэффициент усиления	Изменение напряжения база–эмиттер, В	Изменение напряжения база–эмиттер, В	Экспериментальный коэффициент усиления
–5,1	0	3,84	–3,84

Теоретические и рассчитанные значения расходятся, различия вызваны тем, что напряжение питания низкое, транзистор не имеет запаса напряжения для его дальнейшего повышения.

## Содержание отчета

В отчете о выполненной лабораторной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) принципиальная электрическая схема лабораторного стенда и описание ее работы;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 4) примеры вычислений и теоретические расчеты:
  - расчеты коэффициентов усиления транзисторов с обратной связью по напряжению;
  - расчеты коэффициентов усиления транзисторов с обратной связью по току;
- 5) методика проведения измерений;
- 6) результаты экспериментальных исследований:
  - таблицы с данными, полученными для электрической схемы с обратной связью по напряжению;
  - таблицы с экспериментальными и расчетными данными, полученными для электрической схемы с обратной связью по току;
- 7) анализ полученных данных и результатов;
- 8) оценка точности и надежности полученных результатов;
- 9) выводы по итогам сравнения расчетных и экспериментальных данных.

**Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое обратная связь?
2. В чем состоит различие положительной и отрицательной обратной связи?
3. Назовите области использования отрицательной обратной связи.
4. Назовите области использования положительной обратной связи.
5. Какие обратные связи применяют для схем с биполярными транзисторами?
6. Зачем нужна обратная связь по напряжению?
7. Зачем нужна обратная связь по току?

## Литература

1. *Ревич Ю.В.* Занимательная электроника СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
2. Физика: учеб. пособие для 10 кл. общеобразоват. учреждений: базовый уровень / под ред. К.Ю. Богданова. М.: Просвещение, 2008.
3. Электроника: Справочная книга / Ю.А. Быстров, Я.М. Велинксон, В.Д. Вогман и др. М.: Высшая школа, 2005.
4. *Шандриков А.С.* Электрорадиоэлементы и устройства функциональной электроники: учеб. пособие. Минск: РИПО, 2020.
5. *Alexander Charles K. and Matthew N.O. Sadiku* Fundamentals of Electric Circuits, 5th ed. Wiley. 2019.
6. *Nilsson James W. and Susan A. Riedel* Electric Circuits, 9th ed. Pearson, 2001.
7. *Scherz P. and Monk S.* Practical Electronics for Inventors, 4th ed. New York, McGraw-Hill Education, 2016.
8. *Sarma Mulukutla S.* Introduction to Electrical Engineering. Oxford University Press, 2018.
9. *Hambley Allan R.* Electrical Engineering: Principles and Applications. Pearson, 2019.
10. *Griffiths David J.* Introduction to Electrodynamics. Cambridge University Press, 2017.
11. *Бахметьев А.А.* Электронный конструктор «Знатор 999»: практические занятия по физике. М.: Знатор плюс, 2005.
12. Источники электропитания в приборостроении: учеб. пособие / Б.В. Артемьев, В.Г. Костилов, В.А. Шахнов. Библиотека «Приборостроение». Т. 7. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023.
13. *Адамова А.А., Власов А.И., Косовский А.В., Цивинская Т.А.* Основы конструкторско-технологической информатики в радиоэлектронике: Методические указания к выполнению лабораторных работ. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.
14. Введение в технологию коммутационных структур электронных средств: учеб. пособие / В.Н. Гриднев, Г.Н. Гриднева, В.П. Жалнин, К.В. Селиванов, А.Н. Козырев. Библиотека «Приборостроение». Т. 9. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024.
15. *Макарчук В.В., Родионов И.А.* Проектирование электронной компонентной базы. Библиотека «Приборостроение». Т. 4. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024.
16. *Власов А.И., Жалнин В.П., Селиванов К.В.* Физико-химические основы приборостроения: учеб. пособие. Библиотека «Приборостроение». Т. 11. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024.

17. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники: пер. с англ. 2-е изд. М.: БИНОМ, 2014.

18. Проведение научных экспериментов в нанотехнологии: учеб. пособие / А.А. Адамова, В.М. Башков, А.И. Власов и др. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015.

19. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов и др. Сер. «Информатика в техническом университете». 2-е изд., пер. и доп. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.

20. *Маркелов В.В., Кабаева А.С.* Управление качеством электронных средств. Т. 2. Сер. Библиотека «Конструирование и технология электронных средств». М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.

## **Сведения о базовой кафедре, обеспечивающей инженерный практикум**

Кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (ИУ4) была образована в 1938 г. на факультете «Приборостроение» под названием «Технология точного приборостроения» (П8). Научная школа в области технологии и конструирования приборов в МГТУ им. Н.Э. Баумана начала формироваться в 1930 г., когда на механическом факультете для специальности «Точная механика» профессор Абрам Борисович Яхин (1901–1957) начал читать курс лекций, который назывался «Технология приборостроения». В 1938 г. кафедре «Технология точного приборостроения» (П8) возглавил профессор А.Б. Яхин. В то время кафедра не являлась выпускающей и проводила общетехнологическую подготовку студентов факультета. Коллектив кафедры стоял у истоков развития нового направления науки и техники, связанного с вопросами точности, надежности и качества в точном приборостроении. Научные работы того времени были направлены на создание технологических процессов производства, сборки, контроля элементов точных приборных систем.

В 1958 г. кафедру возглавил профессор А.Н. Малов. Значительно расширились научные исследования в области конструирования и технологии приборов и радиоэлектронной аппаратуры, проводились научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию новых методов расчета конструкций аппаратуры, отработке и внедрению новых технологических процессов. Впервые на междисциплинарной основе был разработан учебный план подготовки инженера-конструктора и инженера-технолога электронно-вычислительной и радиоэлектронной аппаратуры.

Начиная с 1976 г. на кафедре «Конструирование и технология производства ЭВА» (П8) стали активно развиваться направления, связанные с разработкой элементной базы ЭВМ и перспективных технологий ее производства в условиях комплексной информатизации. Были заложены основы нового научного направления «Конструкторско-технологическая информатика в радиоэлектронике». Основное внимание уделялось проведению сквозного (комплексного) схемотехнического, конструкторского и технологического проектирования соответствующей аппаратуры при активном использовании автоматизированных средств.

Базовое научное направление кафедры «Конструкторско-технологическая информатика в радиоэлектронике» (ИУ4) направлено на исследование методов и разработку средств решения конструкторских и технологических задач электронных систем в условиях комплексной информационной под-

держки жизненного цикла изделий. В его основе лежат три основных составляющих:

– конструкция (лат. *constructio* — строение, устройство, построение, план, взаимное расположение частей, англ. *construction*, нем. *die Konstruktion*, фр. *construction*);

– технология (греч. *techne* — искусство, мастерство + *logos* — понятие, учение, англ. *technology*, нем. *die technologie*, фр. *technologie*);

– информатика (ср. нем. *Informatik*, англ. *Information science*, фр. *Informatique*, англ. *Computer science* — компьютерная наука — в США, англ. *Computing Science* — вычислительная наука — в Великобритании) — наука о способах получения, накопления, хранения, преобразования, передачи, защиты и использования информации (в приборостроении конструкторско-технологической).

Под конструкцией электронных средств (ЭС) понимается совокупность элементов и деталей с различными физическими свойствами и формами, находящимися в определенной пространственной, механической, тепловой, электромагнитной и энергетической взаимосвязи. Эта взаимосвязь определяется системотехнической, схемотехнической, конструкторской и технологической документацией и обеспечивает выполнение электронной аппаратурой (ЭА) заданных функций с необходимой точностью и надежностью в условиях воздействия на нее различных факторов: эксплуатационных, производственных, социальных.

Технология производства, или технологический процесс, — основная часть производственного процесса, заключающаяся в выполнении определенных действий, направленных на изменение исходных свойств объекта производства (ЭА) и достижения им определенного состояния, соответствующей технической документации. Конструирование и технология производства являются, с одной стороны, отдельными частями сложного процесса разработки ЭА, а с другой — не могут выполняться в отдельности, без учета взаимосвязей между собой и с другими этапами разработки. Являясь этапами более общего процесса «разработка — производства — эксплуатация — утилизация» (жизненного цикла изделия), как конструирование, так и технология определяют в конечном итоге общие потребительские свойства ЭА.

Информатика решает задачи обработки информации с использованием вычислительных машин и сетей. Термин «информатика» возник в 1960-х годах во Франции для названия области, занимающейся автоматизированной переработкой информации, как слияние французских слов *information* и *automatique* (F. Dreyfus, 1972). Тематика исследований в информатике обширна и постоянно расширяется: теория вычислимости и искусственный интеллект; теория сложности вычислений; информационные структуры и базы данных; социальный аспект развития информационных систем; языки программирования; представление знаний и т. п.

По своему характеру исследования коллектива научной школы кафедры относятся к междисциплинарным и охватывают область фундаментальной

и прикладной науки и техники, предметом которой являются проектирование и совершенствование методов производства и применения интегрированных систем, основанных на законах и принципах нано- и микросистемной техники в условиях сквозной информатизации жизненного цикла изделий. Результаты исследований научной школы формируются на основе последних достижений инженерных методов проектирования и системного анализа, физики твердого тела, квантовой электроники, физической химии, оптики и электронных технологий. Их содержание определяется необходимостью установления фундаментальных закономерностей, определяющих физико-химические особенности формирования микро- и наноразмерных структур, формирования заданных механических, электронных и оптических свойств данных структур и синтез на основе микро- и наносистемной элементной базы функциональных средств и систем нового поколения. Проводимые коллективом научной школы исследования важны для разработки новых принципов, а вместе с ними — и нового поколения сверхминиатюрных супербыстродействующих систем обработки информации и управления. Направление исследований включает в себя разработку и создание функционально законченных сложных микро- и нанокомпонентов, материалов, элементной базы, синтез технологических процессов их изготовления, исследования физических и физико-химических явлений в процессах их получения, проектирование и конструирование приборов на основе современной элементной базы и перспективных материалов, методы разработки и применения диагностического и технологического оборудования, синтез математических моделей процессов электронных технологии и объектов электроники в рамках комплексной сквозной информатизации.

Коллектив кафедры неоднократно становился победителем конкурса грантов Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ РФ.

Коллектив кафедры сотрудничает с ведущими отечественными предприятиями: ОАО «Алмаз — Антей», ООО «МНПО «Спектр», ОАО «НИЦЭВТ», ОАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» и др.

Лаборатории располагаются в ауд. 275 ГУК МГТУ им. Н.Э. Баумана, телефон кафедры +7(499)2636553, <https://vk.com/club242540>.

**Целевое обучение** — возможность поступления на бюджетную форму обучения в вуз по направлению от предприятия или учреждения и обучение в контакте с будущим работодателем.

Целевое обучение оформляется договором о целевом обучении между заказчиком целевой подготовки и абитуриентом, желающим учиться в университете по целевой программе.



ТЕЛЕГРАММ

Центр целевых студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[https://vk.com/bmstu\\_target](https://vk.com/bmstu_target)

## Оглавление

Предисловие .....	3
<b>1. Теоретическая часть .....</b>	<b>4</b>
1.1. Основные понятия теории электрических цепей .....	4
1.2. Основные законы электротехники .....	6
1.3. Основные виды электрорадиоэлементов .....	9
1.4. Источники питания, батареи, аккумуляторы .....	19
1.5. Электроизмерительные приборы .....	20
<b>2. Инженерный практикум .....</b>	<b>24</b>
Лабораторная работа № 1. Анализ коммутационных структур .....	24
Лабораторная работа № 2. Анализ электрических цепей .....	31
Лабораторная работа № 3. Основы измерений параметров электрических цепей с помощью мультиметра .....	42
Лабораторная работа № 4. Основы измерений параметров электрических цепей с помощью осциллографа .....	48
Лабораторная работа № 5. Исследование схем на основе пассивных элементов: резисторов, конденсаторов .....	57
Лабораторная работа № 6. Исследование переходных процессов в электрических цепях .....	68
Лабораторная работа № 7. Исследование полупроводников и диодов .....	75
Лабораторная работа № 8. Исследование биполярных транзисторов и усилителей .....	83
Лабораторная работа № 9. Исследование обратной связи в электрических схемах .....	94
Литература .....	101
Сведения о базовой кафедре, обеспечивающей инженерный практикум .....	103

*Учебное издание*

**Адамова** Арина Александровна  
**Балыбердин** Юрий Александрович  
**Власов** Андрей Игоревич  
**Кузичкин** Олег Рудольфович  
**Косовский** Антон Владимирович  
**Родионов** Илья Анатольевич  
**Сухоцкий** Владимир Андреевич  
**Юдин** Антон Владимирович

**Инженерный практикум:  
электричество и магнетизм**

Редактор *Л.Т. Мартыненко*  
Художник *Э.Ш. Мурадова*  
Корректор *Ю.Н. Морозова*  
Компьютерная графика *Л.С. Филатова*  
Компьютерная верстка *Т.В. Батраковой*

В оформлении использованы шрифты  
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 10.09.2025. Формат 70×100/16.  
Усл. печ. л. 8,775. Тираж 100 экз.

Издательство «Манускрипт».  
248000, г. Калуга, ул. Блаженова, 2.  
id\_manuskript@bmstu.ru

Рассмотрены базовые положения раздела курса физики «Электричество и магнетизм». Кратко изложены основные теоретические сведения и экспериментальные техники. Основное внимание уделено практическим работам, в рамках которых учащиеся закрепляют навыки применения средств измерений электрических величин и сигналов: силы тока, напряжения, сопротивления, частоты и др. Представлены методики и порядок выполнения практических работ инженерного практикума.

Для учащихся общеобразовательных школ и техникумов, ориентированных на создание карьерно-образовательного трека «школа–вуз–предприятие» в рамках развития в МГТУ им. Н.Э. Баумана Центра целевых студентов. Проведение инженерного практикума способствует формированию интереса к целевому обучению у абитуриентов, обеспечивает мотивацию, а в дальнейшем адаптацию обучающихся в учебной и профессиональной сфере.

Представляет интерес для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 2.2.9 «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры» и изучающих дисциплину «Компонентная база электронных средств», а также для студентов, преподавателей и специалистов, изучающих электронную компонентную базу.

Электронная версия пособия имеет свободный доступ: приведенный материал можно читать, загружать, копировать, размещать, печатать и ссылаться на полные или частичные тексты с указанием авторства без каких-либо ограничений. Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ISBN 978-5-94627-261-2



9 785946 272612