

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»

АРЗАМАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ФИЛИАЛ НГТУ им. Р.Е. Алексева)

Кафедра «Конструирование и технология радиоэлектронных средств»

А.В. Баранова, Т.В.Лисенкова

Компоненты электронной техники

**Методические указания
к лабораторным работам**

*для бакалавров всех форм обучения
направления*

11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

Нижний Новгород, 2021

УДК 621.382(075.8)
ББК 32.85

Печатается по решению кафедры «Конструирование и технология радиоэлектронных средств» Арзамасского политехнического института филиала НГТУ им. Р.Е. Алексеева

Баранова А.В.

Компоненты электронной техники: методические указания к лабораторным работам для бакалавров всех форм обучения направлений 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» / Баранова А.В., Лисенкова Т.В.; АПИ НГТУ. – Нижний Новгород, 2021. –47 с.

Приведены краткие теоретические сведения, описания лабораторных установок и задания на проведение экспериментов для лабораторных работ, контрольные вопросы по курсу «Компоненты электронной техники».

Рис. 22. Табл. 14. Библиограф.: 4 назв.

Редактор: зав. каф. КиТ РЭС профессор Н.П. Ямпурин.

УДК 621.382(075.8)
ББК 32.85

© Нижегородский государственный
технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 2021
© Баранова А.В., Лисенкова Т.В., 2021

Общие положения о работе студентов в лаборатории «Компоненты электронной техники»

По действующему учебному плану предусмотрено выполнение четырёх лабораторных работ. Работы выполняются бригадами студентов (не более трёх человек). Цель лабораторных работ – закрепить знания по курсу «Компоненты электронной техники» полученные студентами на лекциях, привить навыки экспериментального исследования.

Перед выполнением лабораторных работ студенты должны получить представление о цели работы, содержании эксперимента, форме отчёта; ознакомиться с общими теоретическими сведениями. Обязательной является проработка теоретического материала, изложенного на лекциях и указанного в списке литературы. Для оформления отчёта и рабочих записей у каждого студента должна быть индивидуальная рабочая тетрадь, в которой до начала лабораторных занятий студент подготавливает необходимые для заполнения формы таблиц, графиков и т. д.

Перед поведением цикла лабораторных работ студенты на первом занятии должны ознакомиться с правилами распорядка в лаборатории, с Положением о проведении лабораторных занятий и инструкцией по технике безопасности.

Неподготовленные студенты к выполнению работ не допускаются. Пропущенные работы выполняются в свободное от занятий время по расписанию работы лаборатории.

Результаты выполнения эксперимента студенты предъявляют преподавателю и в случае их удовлетворительной сходимости с теоретическими данными приступают к выполнению отчёта по разработанной форме.

Отчёт должен представлять собой краткий реферат о выполненных исследованиях (цель и задачи исследования, анализ полученных результатов, общие выводы). Оформленный отчёт предъявляется преподавателю на проверку. После устранения замечаний (если таковые имеются) преподаватель даёт отметку в журнале о полном выполнении работы.

Правила техники безопасности

При выполнении лабораторных работ необходимо выполнять следующие правила техники безопасности:

- 1) Приступая к работе, следует ознакомиться с макетом, приборами, источником электропитания, способами их включения и выключения;
- 2) Перед началом работы все имеющиеся реостаты - ввести, а потенциометры – вывести;
- 3) После окончания сборки схемы преподаватель или лаборант должен проверить и дать разрешение на включение источников питания;
- 4) Запрещается прикасаться руками к зажимам находящимся под напряжением; наличие напряжения на зажимах приборов и элементах схемы следует проводить только измерительными приборами;
- 5) Все изменения в схеме или устранение причин её неисправности можно производить только после полного отключения источников питания;
- 6) После окончания измерений, полученные результаты следует показать преподавателю и, получив разрешение, приступить к разборке исследуемой схемы; запрещается разбирать схему, если она не отключена от источников питания.

Лабораторная работа №1

Исследование вольтамперных характеристик биполярных транзисторов

Цель работы:

1. Изучение биполярных транзисторов путём снятия их входных и выходных вольтамперных характеристик.
2. Определение h -параметров транзисторов по вольтамперным характеристикам.

Краткие теоретические сведения

Взаимодействия между переходами обеспечивается благодаря тому, что расстояние между ними (толщина базы) много меньше диффузионной длины не основных носителей в базе. В полупроводниковых областях созданы омические контакты и внешние выводы. Принцип действия транзисторов обоих типов одинаков. Рассмотрим принцип действия $n-p-n$ транзистора, для $p-n-p$ транзистора полярность рабочих напряжений и токов противоположны. Условные обозначения транзисторов показаны на рис. 1.1.

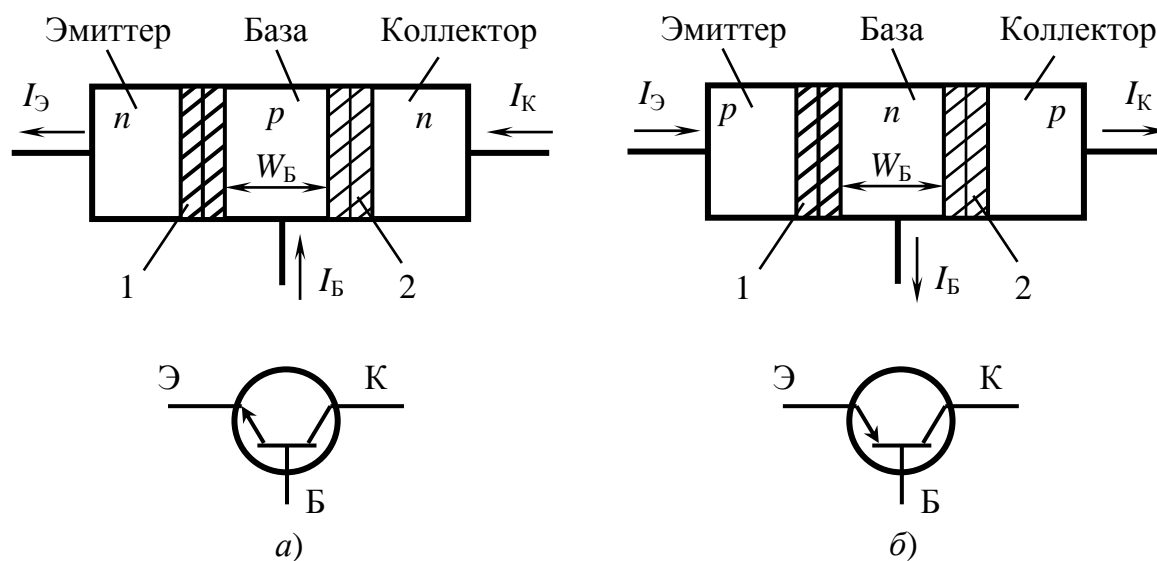


Рис. 1.1. Структура и условное графическое обозначение:
а - $n-p-n$ -транзистора; б - $p-n-p$ -транзистора

Простейшая одномерная модель транзистора представлена на рис. 1.2.

В этой модели $p-n$ переход считается плоским, а носители движутся только в одном направлении оси X , перпендикулярной переходам

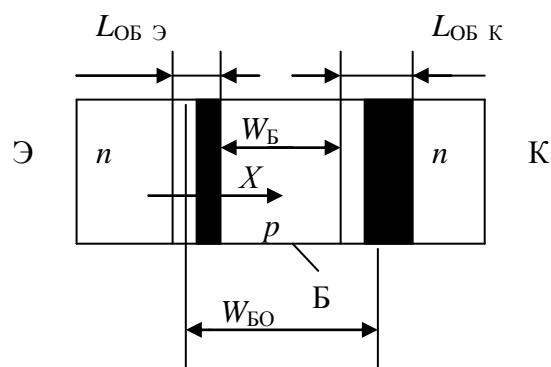


Рис. 1.2

Штриховкой показаны объединённые слои p - n переходов, расстояние между ними даёт физическую толщину базы W_B , а расстояние между металлургическими границами – технологическую толщину базы $W_{Б0}$.

Энергетическая диаграмма для одномерной модели в состоянии равновесия (при нулевых напряжениях на переходах) показана на рис. 1.3.

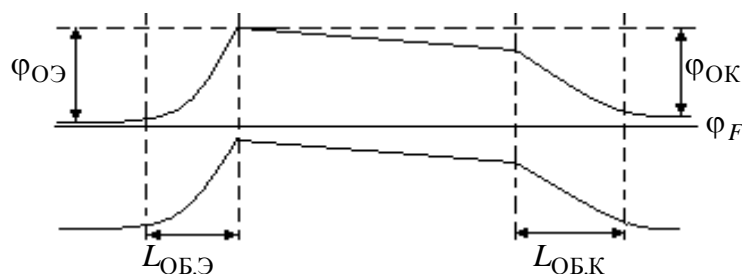


Рис. 1.3

На границе эмиттера и базы образуется энергетический барьер высотой $\Phi_{0Э}$, а на границе база с коллектором – барьер высотой $\Phi_{0К}$. Небольшое искривление границ энергетических зон в базе обусловлено внешним энергетическим полем в базе, возникшим вследствие неравномерного распределения акцепторов в базе, их концентрация у границ базы с эмиттерным переходом значительно выше концентрации у границ с коллекторным переходом. Такое распределение примесей характерно для большинства транзисторов. В активном режиме, являющимся основным для усилительных схем, на эмиттерный переход подаётся прямое напряжение, а на коллекторный – обратное. Энергетическая диаграмма в активном режиме приведена на рис. 1.4.

Потенциальный барьер эмиттерного перехода уменьшается на значение прямого напряжения, что приводит к инжекции электронов из эмиттера в базу. Инжекция электронов в базу соответствует движению электронов (1). Электроны инжектированные в базу, движутся к коллекторному. Это движение является совокупностью диффузии и дрейфа.

Диффузионное движение обусловлено повышением, вследствие инжекции, концентрации электронов в базе около эмиттерного перехода, тогда как около коллекторного перехода она мала из-за экстракции полем этого

перехода. Диффузия присуща всем типам транзисторов. Дрейфовое движение вызывается внутренним электрическим полем в базе. Часть электронов, инжектированных в базу, не доходит до коллекторного перехода вследствие рекомбинации. Однако их число невелико, так как толщина базы мала по сравнению с диффузионной длиной электронов. Электроны, движущиеся через базу (2), как бы скатываются по наклонной плоскости и, достигая коллекторного перехода, втягиваются в него электрическим полем, перебрасываются в коллектор (3). Таким образом, в активном режиме коллектор собирает инжектированные в базу электроны. В активном режиме токи коллектора и эмиттера почти одинаковы, а их разность равна току базы.

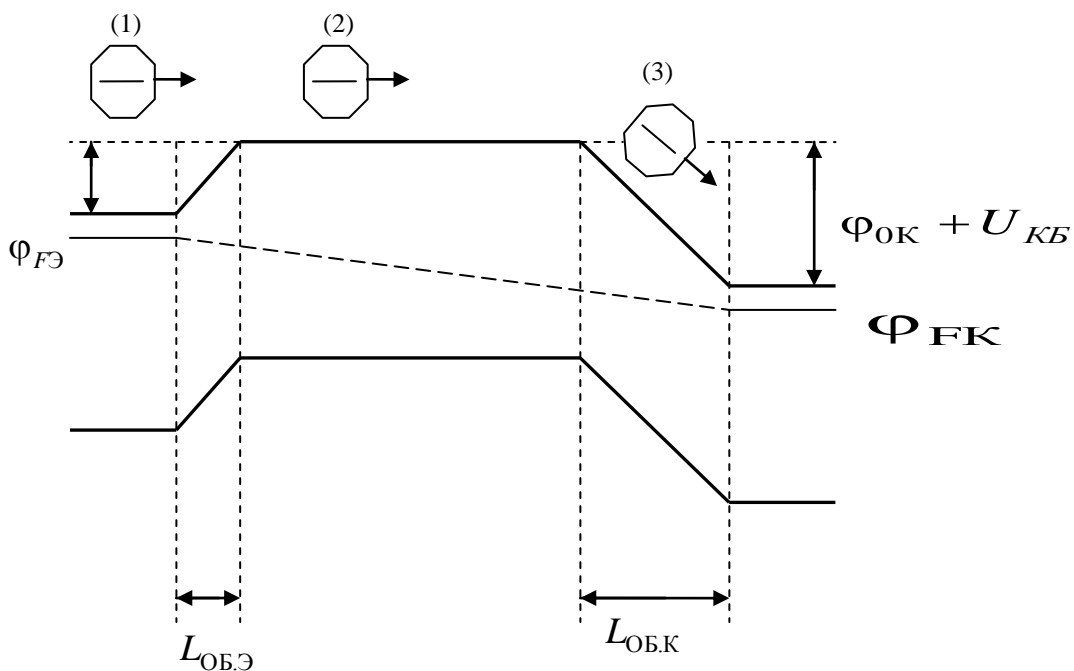


Рис. 1.4

Коллекторный ток практически не зависит от напряжения на коллекторном переходе, поскольку при любом обратном напряжении все электроны, достигающие в базе коллекторного перехода, попадают в его ускоряющее поле и уносятся в коллектор.

Транзистор может быть включён в схему тремя разными способами. Схемы включения транзистора представлены на рис. 1.5:

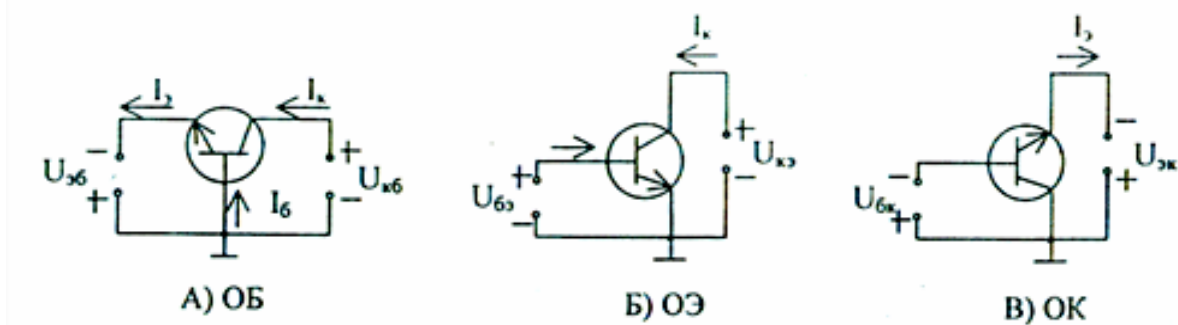


Рис. 1.5

В схеме с общей базой (ОБ) напряжение на эмиттере и коллекторе отсчитывается относительно базы общего электрода для входной цепи (эмиттерной) и выходной (коллекторной) цепи. Эта схема обладает усилением по мощности и напряжению, но не обеспечивает усиление по току и характеризуется малым входным сопротивлением, равным сопротивлению эмиттерного перехода при прямом включении.

Статические вольтамперные характеристики транзистора при включении ОБ показаны на рис. 1.6.

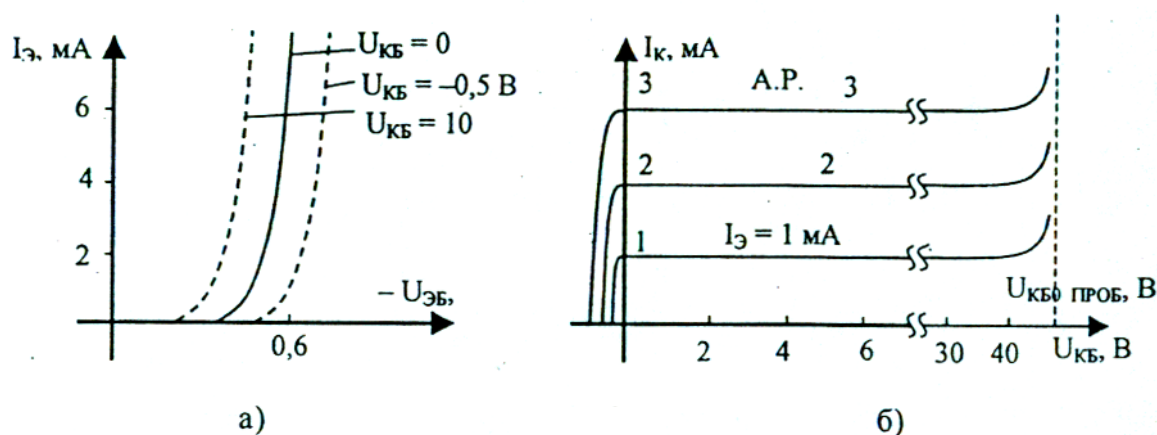


Рис. 1.6

Характеристики соответствуют активному режиму (АР) работы транзистора. На рис. 1.6,а показаны входные характеристики, а на рис. 1.6,б - выходные характеристики транзистора. Для активного режима работы транзистора при включении с ОБ связь между эмиттерным и коллекторным токами выражается формулой (1)

$$I_{\text{к}} = \alpha I_{\text{э}} + I_{\text{кб0}} ; \quad (1)$$

где

$$\alpha = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{э}}} \quad (2)$$

это коэффициент усиления эмиттерного тока. Его значение для современных транзисторов 0,99..0,995.

$I_{\text{кб0}}$ – начальный ток коллекторного перехода, протекающий при условии $I_{\text{э}}=0$.

Наиболее широко применяется схема с общим эмиттером (ОЭ), в которой напряжение на базе $U_{\text{бэ}}$ и коллекторе $U_{\text{кэ}}$ отсчитываются относительно эмиттерного электрода. Эта схема обеспечивает усиление по току, напряжению, мощности. Кроме того, и входное сопротивление много больше входного сопротивления схемы с ОБ.

Статические вольтамперные характеристики с ОЭ показаны на рис. 1.7.

На рис. 1.7,а. Показано семейство входных характеристик, а на рис. 1.7,б – выходных характеристик транзистора.

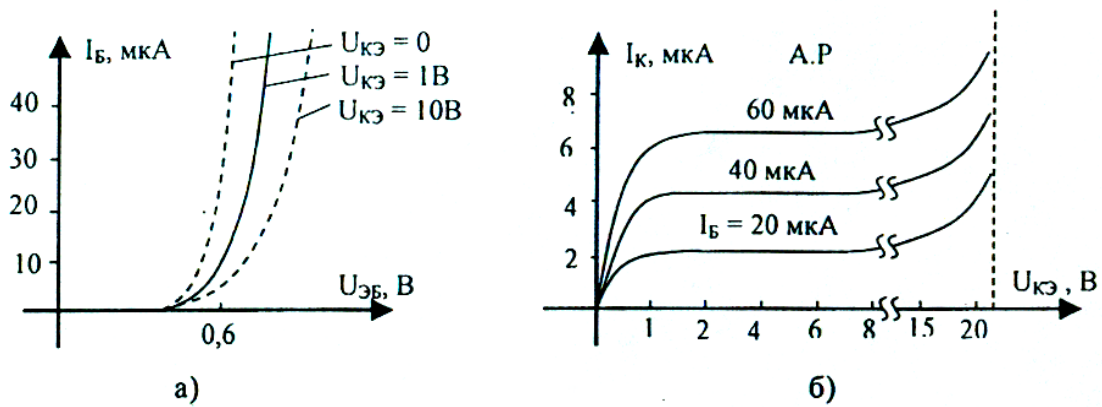


Рис. 1.7

Для включения с ОЭ зависимость коллекторного тока от тока базы выражается формулой (3).

$$I_K = \beta \cdot I_B + I_{KЭ0} \quad (3)$$

где $\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$ – коэффициент усиления базового тока, который зависит от α и эта зависимость

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}; \quad (4)$$

$I_{KЭ0}$ – начальный ток коллекторного перехода, протекающий при условии $I_B = 0$

$$I_{KЭ0} = (\tilde{\beta} + 1) \cdot I_{КБ0}. \quad (5)$$

В схеме с общим коллектором (ОК) напряжение на базе $U_{БК}$ и эмиттере $U_{ЭК}$ отсчитываются относительно коллектора. Эта схема обеспечивает усиление по току, приблизительно, так же как и схема ОЭ, но не обеспечивает усиление напряжения. Её достоинством является большое входное сопротивление, возрастающее при увеличении сопротивления нагрузочного резистора в цепи эмиттера.

Используя ВЛХ транзистора можно определить h -параметры транзистора. Данная схема применяется при малом входном сигнале, когда транзистор рассматривается как линейный активный четырёхполюсник. В системе h -параметров первичными величинами считаются входной ток и входное напряжение, вторичными параметрами – входное напряжение и выходной ток. Связь первичных и вторичных параметров даётся уравнениями:

$$\begin{aligned} U_1 &= h_{11}I_1 + h_{12}U_2 \\ I_2 &= h_{21}I_1 + h_{22}U_2 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned}
 h_{11} &= \frac{U_1}{I_1} - \text{входное сопротивление при коротком замыкании на выходе.} \\
 h_{12} &= \frac{U_1}{I_1} - \text{коэффициент обратной передачи при холостом ходе на входе.} \\
 h_{21} &= \frac{I_2}{I_1} - \text{коэффициент прямой передачи при коротком замыкании на выходе.} \\
 h_{22} &= \frac{I_2}{U_2} - \text{выходная проводимость при холостом ходе на входе.}
 \end{aligned} \right\} (7)$$

Эквивалентная схема транзистора с использованием h -параметров приведена на рис. 1.8.

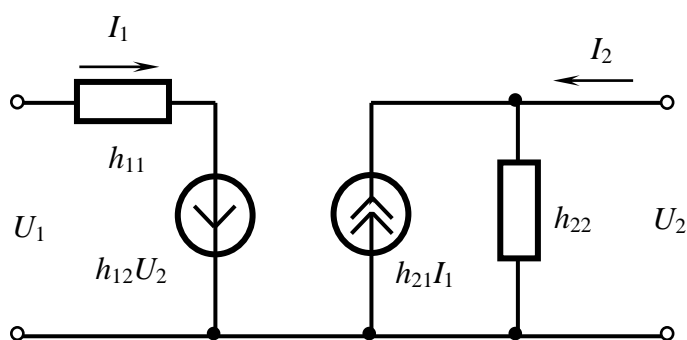


Рис. 1.8

Значения h -параметров зависят от способа включения транзистора, рабочей точки, частоты входного сигнала, температуры.

Задание к лабораторной работе

1. Снять входные и выходные характеристики транзистора. Результаты измерений занести в таблицы.
2. Повторить результаты измерений при других температурах по указанию преподавателя.
3. произвести вычисление h -параметров по результатам измерений, при включении с ОЭ.
4. Построить эквивалентную схему транзистора с использованием h -параметров.

Описание лабораторной установки для исследования биполярных транзисторов

Измерения производятся на стенде МЭЛ-2 (миниатюрная электротехническая лаборатория). Лабораторная установка позволяет снимать статические характеристики транзисторов, включённых по схеме с ОЭ. Для

этого необходимо собрать схему измерительной установки, приведенной на рис. 1.9. В качестве дополнительного оборудования использовать цифровые вольтметры АРРА (можно использовать другие).

Порядок выполнения работы

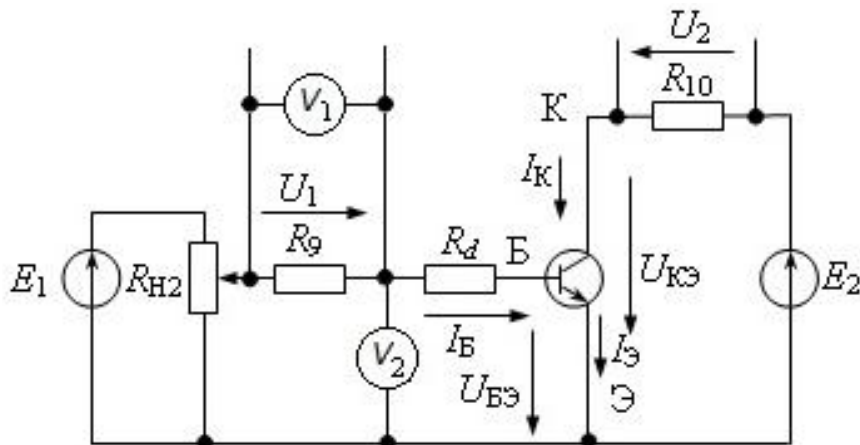


Рис. 1.9. Схема включения транзистора с общим эмиттером для измерения входных характеристик

1. Ознакомиться с лабораторной установкой и собрать схему согласно рис. 1.9. Подключить вольтметры.
2. Снять семейство статических входных характеристик транзистора при включении по схеме с ОЭ (общим эмиттером) в следующем порядке:
 - 1) Установить $E_1 = 2$ В, $R_{Н2}$ в крайнее левое положение, $E_2 = 2$ В.
 - 2) Увеличивая значение $R_{Н2}$ и при необходимости E_1 , измерять и устанавливать заданные в таблице 1.1 значения напряжения U_1 и соответствующие им напряжения U_2 . Результаты измерений записать в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

U_1 , В	U_2 . ($U_{БЭ}$), В	I_B , мА	$U_{БЭ}$, В
0			
0,25			
0,5			
1			
1,5			

- 3) По данным измерений рассчитать и внести в таблицу значения

$$I_B = \frac{U_1}{R_9}; \quad U_{БЭ} = U_2 - I_B R_d,$$

$R_9 = 1 \text{ кОм}$, $R_d = R_{10} = 100 \text{ Ом}$.

- 4) Повторить измерения для $E_2 = 10 \text{ В}$.
- 5) Построить семейство входных характеристик транзистора для схемы с ОЭ.

$$I_B = f(U_{БЭ}).$$

3. Семейство выходных характеристик транзистора в схеме с ОЭ.

$$I_K = f(U_{КЭ}) \text{ при } I_B = \text{const.}$$

Собрать схему установки согласно рис. 1.10.

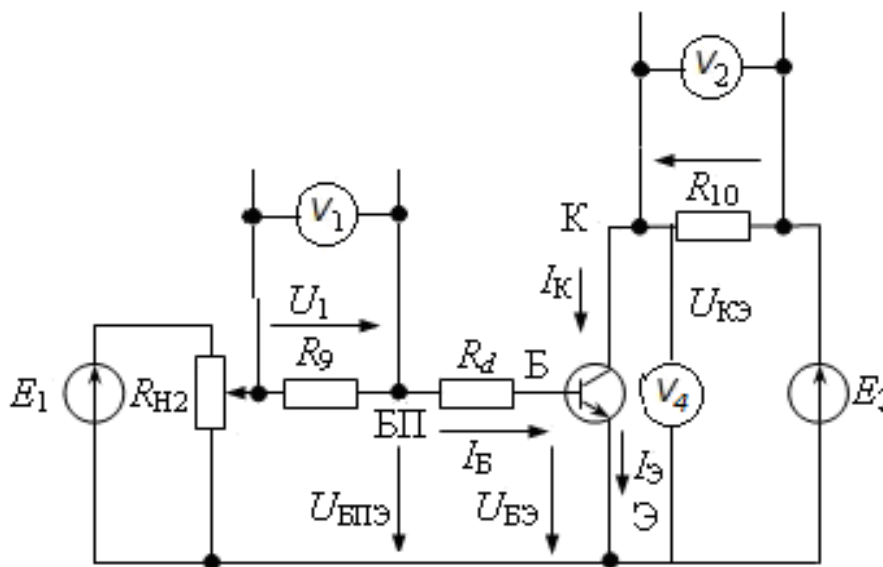


Рис. 1.10. Схема включения транзистора с общим эмиттером для измерения выходных характеристик

Построить семейство выходных характеристик транзистора по схеме с ОЭ.

$$I_K = f(U_{КЭ}).$$

Выполнить измерения в следующем порядке:

- 1) Установить ток базы $I_B = \frac{U_1}{R_9} = 0,25 \text{ мА}$ и поддерживать его постоянным.

- 2) Изменяя E_2 , провести измерение V_4, V_3 и вычисления $I_K = \frac{U_3}{R_{10}}$, зависимость тока коллектора I_K от напряжения коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$. Записать в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

		$U_3, В$						
		$U_{КЭ}, В$	0	2	4	6	8	10
$I_B, мА$	0,25	$I_K, мА$						
	0,5	$I_K, мА$						
	1	$I_K, мА$						
	2	$I_K, мА$						
	3	$I_K, мА$						
	4	$I_K, мА$						
	5	$I_K, мА$						

- 3) Выполнить измерения для других значений тока базы, указанных в таблице 1.
 - 4) По данным таблицы 1.2 построить семейство выходных характеристик биполярного транзистора.
4. Вычислить h -параметры транзистора, используя семейство входных и выходных характеристик при включении с ОБ и ОЭ. Необходимо иметь по две характеристики каждого семейства. Пример характеристик представлен на рис. 1.11.

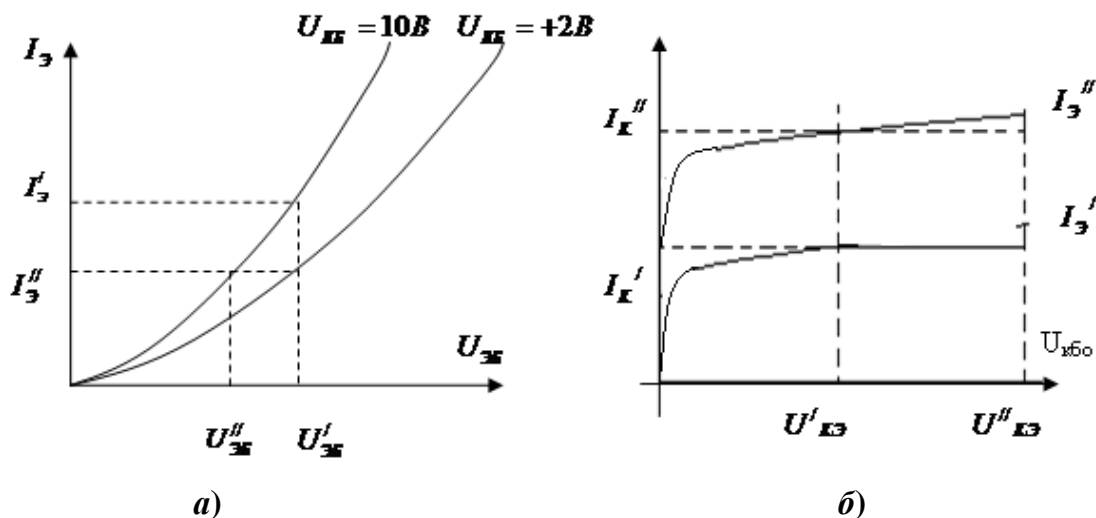


Рис. 1.11. Семейства входных (а) и выходных (б) характеристик биполярного транзистора

Формулы для вычисления h -параметров приведены в данном описании.

$$h_{11Б} = \frac{U'_{ЭБ} - U''_{ЭБ}}{I'_3 - I''_3} \quad (8) \quad \text{входное сопротивление;}$$

$$h_{12Б} = \frac{U'_{ЭБ} - U''_{ЭБ}}{U''_{КБ} - U'_{КБ}} \quad (9) \quad \text{коэффициент обратной передачи;}$$

$$h_{21Б} = \frac{I_K' - I_K''}{I_{Э}'' - I_{Э}'} \quad (10) \quad \text{коэффициент прямой передачи;}$$

$$h_{22Б} = \frac{I_K' - I_K''}{U_{КБ}'' - U_{КБ}'} \quad (11) \quad \text{выходная проводимость.}$$

5. Построить схему замещения транзистора для малых входных сигналов.
6. По заданию преподавателя измерить значения h и I с помощью измерителя параметров маломощных транзисторов Л2 – 54. Измерения производить согласно инструкции к прибору. Сравнить значения параметров с расчётными.
7. Составить отчёт.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Схема электрическая принципиальная измерительной установки.
3. Перечень приборов, необходимых для измерений.
4. Таблицы результатов измерений.
5. Расчётные формулы и результаты расчётов.
6. Графики ВАХ.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство транзистора.
2. Нарисовать энергетические диаграммы транзистора в равновесном состоянии.
3. Объяснить принцип действия транзистора.
4. Что такое эффект модуляции базы транзистора?
5. Нарисовать идеализированную модель транзистора.
6. Объяснить формулы для полных токов электродов транзистора.
7. Какие схемы включения транзисторов существуют?
8. Объяснить ВАХ при включении с ОБ.
9. Объяснить ВАХ при включении с ОЭ.
10. В каких режимах может находиться транзистор?
11. Какие статические параметры транзисторов вам известны?
12. Объяснить связь статических параметров транзистора с физическими.
13. Объяснить зависимость этих параметров от режима работы транзистора и температуры.
14. Объяснить зависимость характеристик транзисторов от температуры.
15. Объяснить частотные свойства транзистора.

Литература

1. Ямпурин, Н.П. Электроника: учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений. Издание 2-е, испр. и допол. / Н.П. Ямпурин, А.В. Баранова, В.И. Обухова. – М.: Издательский центр «Академия», 2015. – 272 с.
2. Валенко, В.С. Полупроводниковые приборы и основы схемотехники электронных средств / В.С. Валенко. – М.: Издательский дом Додека – XXI, 2001 г.
3. Ямпурин, Н.П. Транзисторы (функционирование, схемы, применение): учеб. пособие. / Н.П. Ямпурин, А.В. Баранова, А.Е. Вязовов. – Н.Новгород: НГТУ, 2001. – 114 с.
4. А.В.Баранова, Н.П.Ямпурин, Б.Д.Шурыгин. Материалы и компоненты электронных средств часть II. Компоненты электронных средств- РИО НГТУ им.Р.Е. Алексеева, 2015.

Лабораторная работа №2

Исследование ВАХ полевого транзистора с управляющим $p-n$ переходом

Цель работы:

1. Изучение полевых транзисторов путём снятия ВАХ.
2. Изучение основных параметров полевых транзисторов.

Краткие теоретические сведения

Транзисторы с управляющим переходом делятся на 2 вида: с $p-n$ переходом и переходом металл–полупроводник. Последние изготавливаются из арсенида галлия и используются в СВЧ диапазоне. Устройство транзистора с управляющим $p-n$ переходом приведено на рис. 3.1.

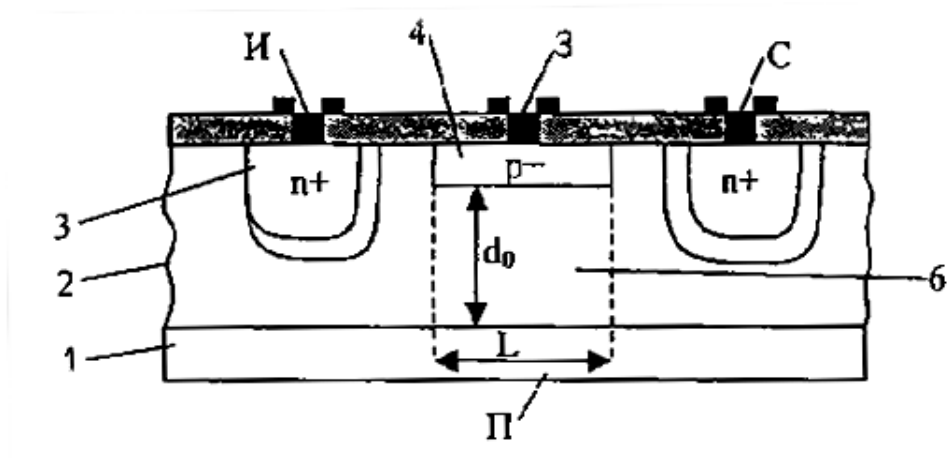


Рис. 2.1

На подложке 1 p -типа создаётся эпитаксиальный слой 2 n -типа (рис. 1). Методом диффузии формируются области: затвора p^+ -типа, истока (3) n^+ -типа и стока (5) n^+ -типа, к которым создаются выводы. Каналом является слой 6 n -типа, заключённый между областью затвора 4 и подложкой, области 4 и 6 образуют управляющий $p-n$ переход. При работе транзистора он должен быть включён в обратном направлении, что соответствует отрицательным напряжениям U . На сток относительно истока подаётся положительное напряжение: $p-n$ переход между эпитаксиальным слоем 2 n -типа (частью которого является канал 6) и подложкой должен быть смещён в обратном направлении, поэтому к подложке относительно истока должно быть приложено отрицательное напряжение. С помощью напряжения на подложке можно изменять параметры транзистора. Иногда подложка используется как второй затвор. В некоторых транзисторах подложка не имеет отдельного вывода и соединяется с затвором. Важнейшие параметры структуры – длина канала L , равная длине затвора, технологическая толщина канала d , равная расстоянию

между металлургическими границами двух $p-n$ переходов и ширина – размер в направлении, перпендикулярном чертежу.

Толщина проводящего канала равна расстоянию между обеднёнными слоями обоих $p-n$ переходов:

$$d = d_0 - L_{\text{ОБЗ}} - L_{\text{ОБП}} \quad (1)$$

где $L_{\text{ОБЗ}}$ – толщина обеднённого слоя $p-n$ перехода затвор-канал;

$L_{\text{ОБП}}$ – толщина части обеднённого слоя $p-n$ перехода подложка-канал, лежащей в области канала.

Если подложка легирована слабо по сравнению с эпитаксиальным слоем, то $L_{\text{ОБП}} \ll L_{\text{ОБЗ}}$

$$d = d_0 - L_{\text{ОБЗ}}. \quad (2)$$

Принцип действия транзистора заключается в изменении толщины проводящей части канала и тока стока при изменении напряжения на затворе, влияющего на толщину обеднённого слоя $p-n$ перехода затвор-канал. Малый ток в цепи затвора и высокое входное сопротивление транзистора существует при обратных, а так же небольших (не более 0,7 В) прямых напряжениях на переходе затвор-канал. Поэтому рабочими являются отрицательные и небольшие положительные напряжения затвор-исток, а на сток подаётся положительное напряжение (рис. 2.2).

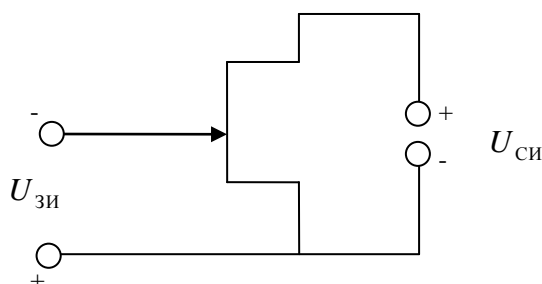


Рис. 2.2

Когда напряжение на затворе равно пороговому, граница обеднённого слоя достигает подложки, толщина проводящего канала и ток стока обращается в нуль, при $U_{\text{зи}} < U_{\text{ПОР}}$ транзистор закрыт. Пороговое напряжение определяется при условии

$$L_{\text{ОБ}}(U_{\text{ПОР}}) = d_0$$

И определяется формулой (3):

$$U_{\text{ПОР}} = \varphi_0 - \left[\frac{qN_k d_0^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon_n} \right]. \quad (3)$$

где φ_0 – равновесная высота потенциального барьера $p-n$ перехода.

N_k – концентрация примесей в подложке.

ϵ_n – относительная диэлектрическая проницаемость подложки.

Вид стоковой характеристики представлен на рис. 2.3.

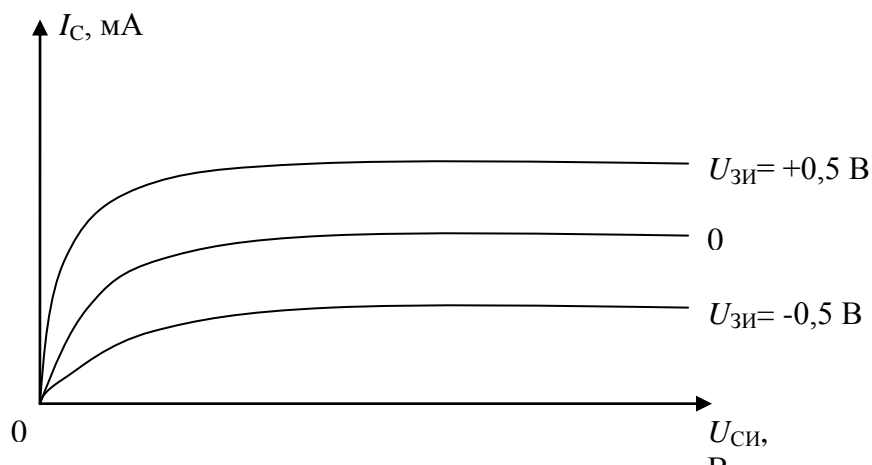


Рис. 2.3

При $U_{ЗИ} > U_{ПОР}$ и $0 < U_{СЗ} < U_{СИ,НАС}$ потенциал в канале увеличивается по направлению от истока к стоку. Поэтому обеднённый слой перехода затвор–канал расширяется, а толщина канала уменьшается по направлению к стоку (рис. 2.4,А). Это соответствует участку характеристики.

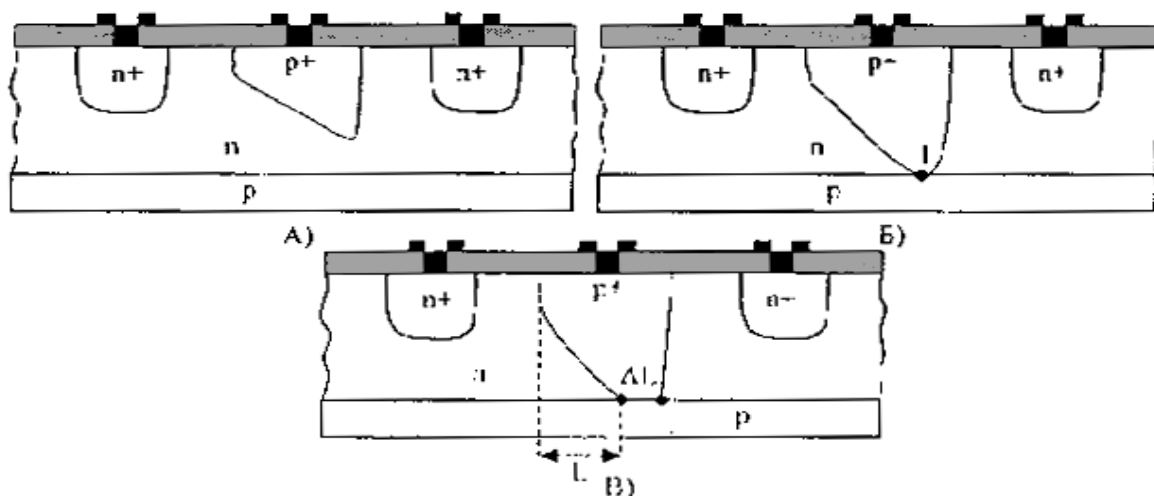


Рис. 2.4

При $U_{СИ} = U_{СИ,НАС} = U_{ЗИ} - U_{ПОР}$ толщина канала около стока обращается в ноль в точке 1 (рис. 2.4,Б), происходит перекрытие канала, в результате чего выходное сопротивление транзистора повышается, рост тока с увеличением напряжения замедляется, что соответствует переходу на пологий участок характеристики. При $U_{СИ} > U_{СИ,НАС}$ канал перекрывается на некотором участке длиной L (рис. 2.4,В). На неперекрытом канале длиной L' напряжение равно $U_{СИ,НАС}$ и постоянно, а на участке перекрытия составляет $U_{СИ} - U_{СИ,НАС}$. С

ростом $U_{СИ}$ длина перекрытого участка увеличивается, длина канала уменьшается (эффект модуляции длины канала) и ток слабо возрастает.

Зависимость тока стока от напряжения представлена следующими выражениями:

$$I_C = K \left[(U_{ЗИ} - U_{ПОР}) U_{СИ} - \frac{U_{СИ}^2}{2} \right] \quad (4)$$

при

$$U_{СИ} < U_{СИ.НАС} = U_{ЗИ} - U_{ПОР}$$

$$I_C = \frac{K}{2} (U_{ЗИ} - U_{ПОР})^2 \quad (5)$$

при

$$U_{СИ} = U_{СИ.НАС}$$

$$K = \frac{b\mu_0\epsilon_0\epsilon_n}{Ld_0},$$

где K – удельная крутизна транзистора;
 b – ширина канала, размер в направлении, перпендикулярном чертежу;
 μ – подвижность электронов в канале.

Стоко-затворная характеристика транзистора приведена на рис. 2.5.

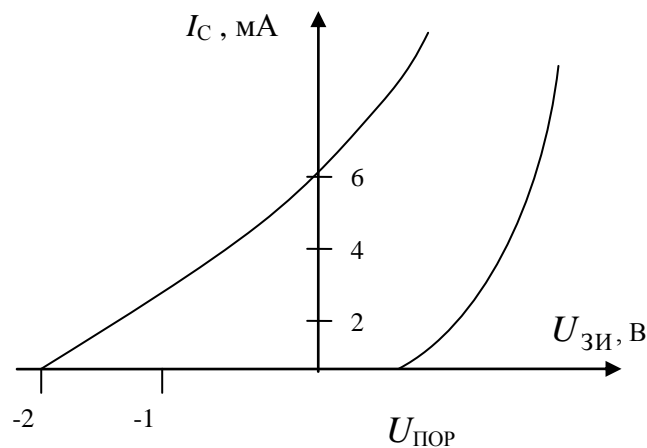


Рис. 2.5

Характеристика квадратична при $U_{ИС} > U_{СИ.НАС}$.

Уравнение стоко-затворной характеристики соответствует формуле (5).

Основными параметрами полевого транзистора являются:

- пороговое напряжение $U_{ПОР}$;
- крутизна стоко-затворной характеристики S ;

– внутреннее сопротивление $R_1 = \frac{\Delta U_{СИ}}{\Delta I_C}$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$;

– коэффициент усиления по напряжению при

$$\mu_Y = \frac{dU_{СИ}}{dU_{ЗИ}}, \quad (7)$$

$$\mu_Y = S \cdot R_1.$$

Для пологого участка стоковой характеристики зависимость тока от напряжений имеет вид

$$I_C = \frac{K}{2}(U_{ЗИ} - U_{ПОР})^2,$$

где K – удельная крутизна, т.е. изменение крутизны при изменении напряжения $U_{ЗИ}$ на 1 В;

$$S = \frac{dI_C}{dU_{ЗИ}} = K(U_{ЗИ} - U_{ПОР}) \text{ при постоянных напряжениях.}$$

При напряжении на стоке, равном нулю, наименьшее значение внутреннего сопротивления равно

$$R_{10} = \frac{1}{R(U_{ЗИ} - U_{ПОР})}. \quad (6)$$

Для пологого участка характеристики коэффициент усиления равен

$$\mu_Y = \frac{2L}{(U_{ЗИ} - U_{ПОР})} \left(\frac{dU_{СИ}}{dL'} \right). \quad (8)$$

Задание к лабораторной работе

1. Снять входные (стоковые) и переходные (стоко-затворные) характеристики полевого транзистора с управляющим $p-n$ переходом при комнатной температуре.
2. Построить графики ВАХ транзистора.
3. По характеристике определить основные параметры транзистора.
4. Снять стоко-затворные характеристики полевого транзистора при другой температуре, указанной преподавателем.
5. Построить стоко-затворные характеристики транзистора при двух температурах и определить температурные свойства полевого транзистора.
6. Составить отчёт.

Описание лабораторной установки

Измерения производятся на стенде МЭЛ (миниатюрная электротехническая лаборатория), лабораторная установка позволяет исследовать ВАХ полевого транзистора и усилительного каскада на полевом транзисторе, включенного по схеме с ОИ (общий исток). Для измерения необходимо собрать измерительную установку по схеме, приведенной на рис. 3.6.

ВНИМАНИЕ! Перед включением макета и проведением измерений положения всех переключателей обязательно должно соответствовать типу исследуемого прибора. Ручка регулировки напряжения должна быть введена в крайнее правое положение.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторным макетом для исследования характеристик транзистора и его описания.
2. Собрать лабораторную установку согласно схеме, приведённой на рис. 2.6.

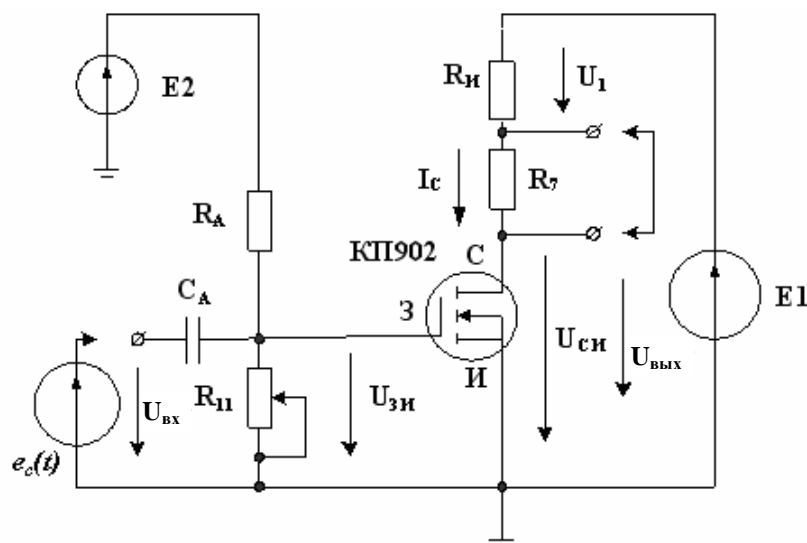


Рис. 2.6. Схема установки для измерения ВАХ полевого транзистора

3. Определить тип проводимости канала полевого транзистора.
4. Снять семейство стоковых характеристик $I_C = f(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$ для трёх напряжений $U_{ЗИ}$, указываемых преподавателем.

А. Исследование выходных характеристик полевого транзистора в схеме с общим истоком

1. В схеме измерений рис. 2.6 установить $E_2=10$ В, $U_{ЗИ} = 1$ В. Входной сигнал $e_c(t)$ не подключать, R_7 замкнуть перемычкой.

Изменяя E_1 , провести измерения зависимости тока стока I_C от напряжения сток-исток $U_{СИ}$. Результаты записать в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

		$U_{СИ}, В$	0	2	4	6	8	10
$U_{ЗИ}, В$	1	$I_C, мА$						
	2	$I_C, мА$						
	3	$I_C, мА$						
	4	$I_C, мА$						
	5	$I_C, мА$						

2. Выполнить измерения для других значений напряжения затвор-исток, указанных в таблице 2.1.

3. По данным таблицы 2.1 построить семейство выходных характеристик полевого транзистора.

Б. Исследование передаточной характеристики полевого транзистора в схеме с общим истоком и определение крутизны вольтамперной характеристики

4. В схеме рис. 2.6 установить $E_1 = 10 В$, $E_2 = 10 В$, R_{11} в крайнее левое положение, $e_c(t)$ не подключать, R_7 закоротить перемычкой.

5. Увеличивая R_{11} , измерять мультиметрами напряжения $U_{ЗИ}$ и U_1 . Результаты записать в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

$U_{ЗИ}, В$	0	1	2	3	4	5
$U_1, В$						
$I_C, мА$						

Построить график передаточной характеристики.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Описание схемы электрической принципиальной измерений.
3. Таблицы измерений.
4. Расчётные формулы и результаты измерений.
5. Графики ВАХ.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Как производится классификация полевых транзисторов?
2. Какие основные достоинства полевых транзисторов по сравнению с биполярными?

3. Изложите принцип действия и устройство полевого транзистора с управляющим $p-n$ переходом.
4. Нарисовать ВАХ полевого транзистора с управляющим $p-n$ переходом.
5. Перечислите основные параметры полевого транзистора.
6. Нарисуйте эквивалентную схему полевого транзистора.
7. Объясните поведение полевого транзистора в области ВЧ и в ключевом режиме.
8. В чём отличие полевых транзисторов с управляющим переходом от МДП транзистора?

Литература

1. Ямпурин, Н.П. Электроника: учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений. Издание 2-е, испр. и допол. / Н.П. Ямпурин, А.В. Баранова, В.И. Обухова. – М.: Издательский центр «Академия», 2015. – 272 с.
2. Валенко, В.С. Полупроводниковые приборы и основы схемотехники электронных средств / В.С. Валенко. – М.: Издательский дом Додека – XXI, 2001 г.
3. Ямпурин, Н.П. Транзисторы (функционирование, схемы, применение): учеб. пособие. / Н.П. Ямпурин, А.В. Баранова, А.Е. Вязовов. – Н.Новгород: НГТУ, 2001. – 114 с.
4. А.В.Баранова, Н.П.Ямпурин, Б.Д.Шурыгин. Материалы и компоненты электронных средств часть II. Компоненты электронных средств- РИО НГТУ им.Р.Е. Алексеева, 2015.

Лабораторная работа №3

Идентификация резисторов

Цель работы:

1. По маркировке резисторов провести идентификацию резисторов.
2. Ознакомиться с видами резисторов, их свойствами, параметрами.

Краткие теоретические сведения

Резисторы – электро-радиоэлементы предназначенные для регулирования и перераспределения электрической энергии.

Система условных обозначений и маркировка

Система сокращенных обозначений резисторов введена в 1968 г. До этого четкой системы обозначений не существовало. В основу обозначений (названий) резисторов брались различные признаки: конструктивные разновидности, технологические особенности, эксплуатационные характеристики, область применения и т.п.

Например: ППБ – проволочные переменные бескаркасные;

МЛТ – металлопленочные лакированные теплостойкие;

ПКВ – проволочные керамические влагостойкие;

УЛИ – углеродистые лакированные измерительные;

СПО – сопротивления переменные объемные;

ЮС – юстировочные.

ГОСТ 13453-68 введена система сокращенных обозначений в зависимости от группы свойств резисторов, состоящая из букв и цифр.

Буквы обозначают группу изделий: С – резисторы постоянные; СП – резисторы переменные (буква С осталась от старого названия резисторов – “сопротивления”). Число, стоящее после букв, обозначает специфическую разновидность резистора в зависимости от материала токопроводящего элемента:

1 – непроволочные тонкослойные углеродистые и бороуглеродистые;

1 – непроволочные тонкослойные металлодиэлектрические и металлоокисные;

2 – непроволочные композиционные пленочные;

3 – непроволочные композиционные объемные;

4 – проволочные;

5 – непроволочные тонкослойные металлизированные.

После первой цифры через дефис ставится вторая цифра (цифры), обозначающая регистрационный номер конкретного типа резистора. Например, С2-26 обозначает резисторы постоянные, непроволочные, тонкослойные металлодиэлектрические, регистрационный номер – 26.

С 1980 г. введена новая система сокращенных условных обозначений по которой:

первый элемент – буква или сочетание букв – обозначает подкласс резистора: Р – постоянные резисторы, РП – переменные резисторы, НР – наборы резисторов;

второй элемент – цифра (цифры) – обозначает группу резистора по материалу резистивного элемента: 1 – непроволочные, 2 – проволочные;

третий элемент – цифра – обозначает регистрационный номер конкретного типа резистора. Между вторым и третьим элементом ставится дефис. Например, резисторы постоянные непроволочные с номером 26 следует писать Р1-26.

Полное условное обозначение состоит из сокращенного обозначения, варианта конструктивного исполнения (при необходимости), обозначений и величин основных параметров и характеристик резисторов, климатического исполнения и обозначения документа на поставку.

Параметры и характеристики, входящие в полное условное обозначение резистора, указывается в следующей последовательности.

Для резисторов постоянных:

- номинальная мощность рассеяния и буквенное обозначение;
- единицы измерения мощности (Вт, кВт);
- номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения (Ом, кОм, МОм, ГОм);
- допускаемое отклонение сопротивления в процентах (допуск);
- группа по уровню шумов (для непроволочных резисторов);
- группа по температурному коэффициенту сопротивления;
- документ на поставку.

Пример: Р1 – 33И – 0,25 Вт – 100 кОм \pm 2%А 0.467.027 ТУ.

Для резисторов переменных:

- номинальная мощность рассеяния и буквенное обозначение единицы обозначения измерения мощности (Вт);
- номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения (Ом, кОм, МОм);
- допускаемое отклонение сопротивления в процентах (допуск);
- функциональная характеристика (для непроволочных резисторов);
- обозначение конца вала и длины выступающей части вала (размер от монтажной плоскости до конца вала) по ГОСТ 4907-73 (ВС-1 - сплошной гладкий, ВС-2 – сплошной со шлицем, ВС-3 – сплошной с лыской, ВС-4 – сплошной с двумя лысками, ВП-1 – полый гладкий, ВП-2 – полый с лыской);
- документ на поставку.

Для многоэлементных резисторов в полном условном обозначении параметры и характеристики записываются в виде дроби в порядке набора секций от выхода вала.

Пример:

РП1-33У	$0,25 \text{ ВТ} - 1,5 \text{ кОм} \pm 10\% \text{ А}$	ВП-1 – 32 ОЖО.468.185 ТУ
	$0,25 \text{ ВТ} - 2,2 \text{ кОм} \pm 20\% \text{ А}$	
	$0,25 \text{ ВТ} - 4,7 \text{ МОм} \pm 20\% \text{ А}$	
	$0,25 \text{ ВТ} - 3,3 \text{ МОм} \pm 20\% \text{ А}$	

Маркировка на резисторах введена также буквенно-цифровая, соответствующая международным стандартам. Она содержит: вид, номинальную мощность, номинальное значение сопротивления, допуск и дату изготовления. В зависимости от размеров маркируемых резисторов и вида технической документации могут применяться полные и сокращенные (кодированные) обозначения номинальных сопротивлений и их допускаемых отклонений.

Полное обозначение номинальных сопротивлений состоит из значения номинального сопротивления (цифра) и обозначения единицы измерения (Ом – омы, кОм – килоомы, МОм – мегаомы, ГОм – гигаомы, ТОм – тераомы). Например, 365 Ом, 100 кОм, 4,7 МОм, 3,3 ГОм, 1 ТОм.

Кодирование обозначение номинальных сопротивлений состоит из трех или четырех знаков, включающих две цифры и букву или три цифры и букву. Буква кода из русского или латинского алфавита (в скобках) обозначает множитель, составляющий значение сопротивления, и определяет положение запятой десятичного знака. Буквы Е (R), К, М, Г (G), Т обозначают соответственно множители 1 , 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} для значений сопротивления, выраженных в омах. Для приведенного выше примера следует писать: 365Е (365R), 100К, 4М7, 3Г3, 1Т0.

Полное обозначение допускаемого отклонения состоит из цифр, а кодирование – из буквы. На практике могут встречаться различные варианты кодирования документации.

Сравнительная таблица по составу и обозначению допускаемых отклонений сопротивлений

Таблица 3.1

ГОСТ 9664-74	ГОСТ 11076-69	РС 3542-72	Публикация 62 МЭК	Проект стандарта СЭВ
$\pm 0,001$				$\pm 0,001 \text{ E(E)}$
$\pm 0,002$				$\pm 0,002 \text{ Л(L)}$
$\pm 0,005$				$\pm 0,005 \text{ Я(R)}$
$\pm 0,01$				$\pm 0,01 \text{ П(P)}$
$\pm 0,02$				$\pm 0,02 \text{ У(U)}$
$\pm 0,05$				$\pm 0,05 \text{ Х(X)}$
$\pm 0,1$	$\pm 0,1 \text{ Ж}$	$\pm 0,1 \text{ Ж(B)}$	$\pm 0,1 \text{ (B)}$	$\pm 0,1 \text{ В(B)}$
$\pm 0,25$	$\pm 0,2 \text{ У}$	$\pm 0,25 \text{ У(C)}$	$\pm 0,25 \text{ (C)}$	$\pm 0,25 \text{ С(C)}$
$\pm 0,5$	$\pm 0,5 \text{ Д}$	$\pm 0,5 \text{ Д(D)}$	$\pm 0,5 \text{ (D)}$	$\pm 0,5 \text{ Д(D)}$

± 1	$\pm 1 P$	$\pm 1 P(F)$	$\pm 1 (F)$	$\pm 1 \Phi(F)$
± 2	$\pm 2 Л$	$\pm 2 Л(G)$	$\pm 2 (G)$	$\pm 2 Ж(G)$
± 5	$\pm 5 И$	$\pm 5 И(I)$	$\pm 5 (I)$	$\pm 5 И(I)$
± 10	$\pm 10 С$	$\pm 10 С(K)$	$\pm 10 (K)$	$\pm 10 К(K)$
± 20	$\pm 20 В$	$\pm 20 В(M)$	$\pm 20 (M)$	$\pm 20 М(M)$
± 30	$\pm 30 Ф$	$\pm 30 Ф(N)$	$\pm 30 (N)$	$\pm 30 Н(N)$

На постоянных резисторах в соответствии с ГОСТ 17598-72 и требованиями Публикации 62 МЭК допускается маркировка цветным кодом. Ее наносят знаками в виде кругов и полос.

Для маркировки цветным кодом номинальное сопротивление резисторов в омах выражается двумя или тремя цифрами (в случае трех цифр последняя цифра не равна 0) и множителем 10^n , где n – любое число от минус 2 до плюс 9.

Маркировочные знаки сдвигают к одному из торцов резистора и располагают слева направо в следующем порядке:

- | | |
|------------------|------------------------------|
| 1.) первая цифра | } номинальное сопротивление. |
| 2.) вторая цифра | |
| 3.) третья цифра | |
| 4.) множитель | |
| 5.) допуск | |

Если размеры резистора не позволяют разместить маркировку ближе к одному из торцов резистора, площадь первого знака делается приблизительно в 2 раза больше площади других знаков.

Цвета знаков маркировки значения номинального сопротивления и допусков должны соответствовать указанным в табл. 3.2.

Цвета знаков маркировки номинального сопротивления и допусков

Таблица 3.2

Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск, %
	Первая цифра	Вторая цифра	Третья цифра	Множители	
Серебристый	-	-	-	10^{-2}	± 10
Золотистый	-	-	-	10^{-1}	± 5
Черный	-	0	-	1	-
Коричневый	1	1	1	10	± 1
Красный	2	2	2	10^2	± 2
Оранжевый	3	3	3	10^3	-
Желтый	4	4	4	10^4	-
Зеленый	5	5	5	10^5	$\pm 0,5$
Голубой	6	6	6	10^6	$\pm (0,25) (\pm 0,2)$
Фиолетовый	7	7	7	10^7	$\pm 0,1$
Серый	8	8	8	10^8	$\pm 0,05$
Белый	9	9	9	10^9	-

Задание к лабораторной работе

1. Получить от преподавателя или лаборанта набор резисторов.
2. Определить номинальные значения сопротивления, допуск по маркировке.
3. Измерить фактические значения сопротивления резистора (R_f) и определить допустимое отклонение по формуле
$$\delta R = ((R_f - R_n) / R_n) * 100\%$$
4. Описать конструкцию всех резисторов, указать их особенности.
5. Записать все резисторы согласно их записи в перечне элементов согласно приложению 1.
6. Составить отчёт.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Перечень приборов, необходимых для измерений.
3. Таблицы результатов измерений.
4. Расчётные формулы и результаты расчётов.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие радиоэлементы называются резисторами?
2. Дать классификацию резисторов.
3. Указать способы сокращенного и полного обозначение резисторов.
4. Указать основные параметры резисторов.
5. Какие существуют конструкции постоянных резисторов?
6. Какие существуют конструкции переменных резисторов?

Литература

1. Т.А. Рычина, А.В. Зеленски. Устройства функциональной электроники – М.: Радио и связь, 1989.
2. М.Ю. Масленников, В.А. Соболев и др. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база (в 2-х книгах) - М.: ИТАР- ТАСС, 1993.
3. К.С. Петров Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. Учебное пособие. – С.-Петербург: «Питер», 2003.
4. А.В.Баранова, Н.П.Ямпурин, Б.Д.Шурыгин. Материалы и компоненты электронных средств часть II. Компоненты электронных средств - РИО НГТУ им.Р.Е. Алексеева, 2015.

Лабораторная работ №4

Идентификация конденсаторов

Цель работы:

1. По маркировке конденсаторов провести идентификацию конденсаторов.
2. Ознакомиться с видами конденсаторов, их свойствами, параметрами.

Краткие теоретические сведения

Конденсатор – это элемент электрической цепи, состоящий из проводящих электродов (обкладок), разделенных диэлектриком и предназначенный для использования его емкости.

Система условных обозначений и маркировка конденсаторов

Условное обозначение конденсаторов может быть сокращенным и полным.

В соответствии с действующей системой сокращенное условное обозначение состоит из букв и цифр.

Первый элемент – буква или сочетание букв, обозначающие подкласс конденсатора:

К – постоянной емкости,

КТ – подстроечные,

КП – переменной емкости.

Второй элемент – обозначение группы конденсатора в зависимости от материала диэлектрика в соответствии с табл. 4.1.

Третий элемент – пишется через дефис и обозначает регистрационный номер конкретного типа конденсатора. В состав третьего элемента может входить также буквенное обозначение.

Пример: К10-17, КТ-25.

Приведенная система не распространяется на условные обозначения старых типов конденсаторов, в основу которых брались различные признаки: конструктивные разновидности, технологические особенности, эксплуатационные характеристики, области применения и т.п. Например:

КД – конденсаторы дисковые,

КТ – трубчатые,

КМ – керамические монолитные,

КЛС – керамические литые секционные,

КСО – конденсаторы слюдяные опрессованные,
СГМ – слюдяные герметизированные малогабаритные,
КБГИ – конденсаторы бумажные герметизированные изолированные,
МБГЧ – металобумажные герметизированные частотные,
КЭГ – конденсаторы электролитические герметизированные,
ЭТО – электролитические танталовые объемно-пористые,
КПК – конденсаторы подстроечные керамические.

**Условное обозначение конденсаторов в зависимости от материала
Диэлектрика**

Таблица 4.1

Подкласс конденсатора	Группа конденсаторов	Обозначение группы
Конденсаторы постоянной емкости	Керамические на номинальное напряжение ниже 1600 В	10
	Керамические на номинальное напряжение 100 В и выше	15
	Стеклянные	21
	Стеклокерамические	22
	Тонкопленочные с неорганическим диэлектриком	26
	Слюдяные малой мощности	31
	Слюдяные большой мощности	32
	Бумажные на номинальное напряжение ниже 2 кВ, фольговые	40
	Бумажные на номинальное напряжение 2 кВ и выше, фольговые	41
	Бумажные металлизированные	42
	Оксидно-электролитические алюминиевые	50
	Оксидно-электролитические танталовые, ниобиевые и др.	51
	Объемно пористые	52
	Оксидно-полупроводниковые	53
	С воздушным диэлектриком	60
	Вакуумные	61
	Полистирольные	71(70)
	Фторопластовые	72
	Полиэтилентерефталатные	73(74)
	Комбинированные	75
Лакопленочные		

	Поликарбонатные	76
	Полипропиленовые	77
		78
Подстроечные конденсаторы и переменные емкости	Вакуумные	1
	С воздушным диэлектриком	2
	С газообразным диэлектриком	3
	С твердым диэлектриком	4

Полное условное обозначение конденсатора состоит из сокращенного обозначения и величины основных параметров и характеристик, необходимых для заказа и записи в конструкторской документации, обозначения климатического исполнения и документа на поставку.

Параметры и характеристики, входящие в полное условное обозначение, указываются в следующей последовательности:

- обозначение конструктивного исполнения,
- номинальное напряжение,
- номинальная емкость,
- допускаемое отклонение емкости (допуск),
- группа и класс по температурной стабильности емкости,
- номинальная реактивная мощность,
- другие, необходимые дополнительные характеристики.

Пример.

1. Конденсатор керамический К10-7В, всеклиматического исполнения «В», группы ТКЕ М47, номинальной емкостью 27 пФ, с допуском $\pm 10\%$, поставляемый по ГОСТ 5.621-70, имеет полное условное обозначение

К10-7В-М47-27пФ $\pm 10\%$ ГОСТ 5.621-70.

2. Конденсатор полиэтилентерефталатный К74-5 номинальной мощностью 0,22 мкФ, с допуском $\pm 20\%$, поставляемый по ГОСТ 5.623-70, имеет полное условное обозначение

К74-5-0,22 мкФ $\pm 20\%$ ГОСТ 5.623-70.

3. Конденсатор оксидно-электролитический алюминиевый К50-7, конструктивного варианта «а», на номинальное напряжение 250 В, номинальной емкостью 100 мкФ, всеклиматического исполнения «В», поставляемый по ГОСТ 5.635-70, имеет полное условное обозначение

К50-7а-250 В-100 мкФ-В ГОСТ 5.635-70.

4. Конденсатор подстроечный с твердым керамическим диэлектриком, малогабаритный КПК-М, с пределами номинальной емкости от 2 до 7 пФ, поставляемый по ГОСТ 5.500-76, имеет полное условное обозначение
КПК-М-2/7 ГОСТ 5.500-76.

Маркировка на конденсаторах (так же как и условное обозначение) буквенно-цифровая. Она содержит: сокращенное обозначение конденсатора, номинальное напряжение, номинальное значение емкости, допуск, обозначение климатического исполнения (буква «В» для конденсаторов всеклиматического исполнения) и дату изготовления.

В зависимости от размеров маркируемых конденсаторов и вида технической документации могут применяться полные или сокращенные (кодированные) обозначения номинальных емкостей и их допускаемых отклонений. Кодированные обозначения предназначены для маркировки малогабаритных конденсаторов и для записи на малоформатных многоэлементных принципиальных электрических схемах.

Полное обозначение номинальных емкостей состоит из трех или четырех знаков, включая две или три цифры и букву. Буква кода из русского или латинского алфавита (в скобках) обозначает множитель, составляющий значение емкости, и определяет положение запятой десятичного знака. Буквы П (*p*), Н (*n*), М (*μ*), И (*m*), Ф (*F*) обозначает множители 10^{-12} , 10^{-9} , 10^{-6} , 10^{-3} и 1 соответственно для значений емкости, выраженных в фарадах. Для приведенного примера следует писать: 1П5 (1 *p* 5), 10Н (10 *n*), 10М (10 *μ*), 1Ф0 (1 *F* 0).

Полное обозначение допускаемого отклонения состоит из цифр, а кодирование из буквы. В связи с тем, что буквенное обозначение допусков изменялось, и на практике могут встречаться различные варианты, в табл. 4.2 приведены кодированные обозначения допусков по стандартам СССР, публикацией Международной электротехнической комиссии (МЭК) и стандарта СЭВ.

Сравнительные данные по составу и обозначению допускаемых отклонений емкостей

Таблица 4.2

ГОСТ 9661-73	ГОСТ 11076-69	Публикация 62 МЭК	Стандарт СЭВ
± 0,1	± 0,1 Ж	± 0,1 (B)	± 0,1 В (B)
± 0,25	± 0,2 У	± 0,25 (C)	± 0,25 (0,2) С (C)
± 0,5	± 0,5 Д	± 0,5 (D)	± 0,5 Д (D)
± 1	± 1 Р	± 1 (F)	± 1 Ф (F)
± 2	± 2 Л	± 2 (G)	± 2 Ж (G)
± 5	± 5 И	± 5 (I)	± 5 И (I)

± 10	± 10 С	± 10 (К)	± 10 К (К)
± 20	± 20 В	± 20 (М)	± 20 М (М)
± 30	± 30 Ф	± 30 (N)	± 30 Н (N)
0+50	-	-	0+50(0+80) А (А)
-	0+100 Я	-	-
-10+30	-	-10+30 (Q)	-10+30 Г (Q)
-10+50	-10+50 Э	-10+50 (Т)	-10+50 Т (Т)
-10+100	-10+100 Ю	-	-10+100 Ю (У)
-20+50	-20+50 Б	-20+50 (S)	-20+50 Б (S)
-20+80	-20+80 А	-20+80 (Z)	-20+80(-20+100) Э (Z)
$\pm 0,1$ пФ	-	$\pm 0,1$ пФ (В)	$\pm 0,1$ пФ В (В)
$\pm 0,25$ пФ	-	$\pm 0,25$ пФ (С)	$\pm 0,25$ пФ С (С)
$\pm 0,5$ пФ	$\pm 0,4$ пФ Х	$\pm 0,5$ пФ (D)	$\pm 0,5$ пФ Д (D)
± 1 пФ	-	± 1 пФ (F)	± 1 пФ Ф (F)

Примечание. В скобках латинскими буквами приведено обозначение допусков, используемое в иностранных стандартах.

Кодовая и цветовая маркировка конденсаторов

Маркировка на конденсаторах буквенно-цифровая. Она содержит:

- сокращенное обозначение конденсатора;
- номинальное напряжение;
- номинальное значение емкости;
- допуск;
- обозначение климатического исполнения (буква «В» для конденсаторов всеклиматического исполнения);
- дату изготовления.

В зависимости от размеров маркируемых конденсаторов и вида технической документации могут применяться полные или сокращенные (кодированные) обозначения номинальных емкостей и их допускаемых отклонений. Кодированные обозначения предназначены для маркировки малогабаритных конденсаторов и для записи на малоформатных многоэлементных принципиальных электрических схемах.

Полное обозначение номинальных емкостей состоит из трех или четырех знаков, включая две или три цифры и букву. Буква кода из русского или латинского алфавита (в скобках) обозначает множитель, составляющий значение емкости, и определяет положение запятой десятичного знака. Буквы П(*p*), Н(*n*), М(*μ*), И(*m*), Ф(*F*) обозначают множителями 10^{-12} , 10^{-9} , 10^{-6} , 10^{-3} и 1 соответственно для значений емкости, выраженной в фарадах (табл. 4.3).

Примеры кодов для маркировки значений емкости

Таблица 4.3

Значение емкости	Маркировочный код	Значение емкости	Маркировочный код
0,1пФ	<i>p10</i>	100нФ	<i>100n</i>
0,15пФ	<i>p15</i>	150нФ	<i>150n</i>
0,332пФ	<i>p332</i>	332нФ	<i>332n</i>
1пФ	<i>1p0</i>	1мкФ	<i>1μ0</i>
1,5пФ	<i>1p5</i>	1,5мкФ	<i>1μ5</i>
3,32пФ	<i>3p32</i>	3,32мкФ	<i>3μ32</i>
5,90пФ	<i>5p9</i>	5,90мкФ	<i>5μ9</i>
10пФ	<i>10p</i>	10мкФ	<i>10μ</i>
15пФ	<i>15p</i>	15мкФ	<i>15μ</i>
33,2пФ	<i>33p2</i>	33,2мкФ	<i>33μ2</i>
59,0пФ	<i>59p</i>	59,0мкФ	<i>59μ</i>
100пФ	<i>100p</i>	100мкФ	<i>100μ</i>
150пФ	<i>150p</i>	150мкФ	<i>150μ</i>
332пФ	<i>332p</i>	332мкФ	<i>332μ</i>
590пФ	<i>590p</i>	590мкФ	<i>590μ</i>
1нФ	<i>1n0</i>	1мФ	<i>1m0</i>
1,5нФ	<i>1n5</i>	1,5мФ	<i>1m5</i>
3,32нФ	<i>3n32</i>	3,32мФ	<i>3m32</i>
5,90нФ	<i>5n9</i>	5,90мФ	<i>5m9</i>
10нФ	<i>10n</i>	10мФ	<i>10m</i>
15нФ	<i>15n</i>	15мФ	<i>15m</i>
33,2нФ	<i>33n2</i>	33,2мФ	<i>33m2</i>
59,0нФ	<i>59n</i>	59,0мФ	<i>59m</i>

Примечание: значение емкости, обозначенные четырьмя значимыми цифрами, должны иметь маркировку в соответствии с примерами приведенными далее.

Значение	Маркировочный код
68,01пФ	<i>68p01</i>
680,1пФ	<i>680p1</i>
6,801нФ	<i>6n801</i>
68,01нФ	<i>68n01 и т.д.</i>

Кодовая маркировка. В соответствии со стандартами ИЕС на практике применяется следующие способы кодировки номинальной емкости.

А. Маркировка 3 цифрами (табл. 4.3).

Первые две цифры указывают на значение емкости в пикофарадах (пФ), последняя - количество нулей. Когда конденсатор имеет емкость менее 10 пФ, то последняя цифра может быть «9». Буква R используется в качестве десятичной запятой. Например, код 019 равен 1,0пФ, код 0R5 – 0,5пФ.

Кодовая маркировка номинальной ёмкости тремя цифрами

Таблица 4.3

Код	Емкость[пФ]	Емкость[нФ]	Емкость[мкФ]
109	1,0	0,001	0,000001
159	1,5	0,0015	0,000001
229	2,2	0,0022	0,000001
339	3,3	0,0033	0,000001
479	4,7	0,0047	0,000001
689	6,8	0,0068	0,000001
100*	10	0,01	0,00001
150	15	0,015	0,000015
220	22	0,022	0,000022
330	33	0,033	0,000033
470	47	0,047	0,000047
680	68	0,068	0,000068
101	100	0,1	0,0001
151	150	0,15	0,00015
221	220	0,22	0,00022
331	330	0,33	0,00033
471	470	0,47	0,00047
681	680	0,68	0,00068
102	1000	1,0	0,001
152	1500	1,5	0,0015
222	2200	2,2	0,0022
332	3300	3,3	0,0033
472	4700	4,7	0,0047
682	6800	6,8	0,0068
103	10000	10	0,01
153	15000	15	0,015
223	22000	22	0,022
333	33000	33	0,033
473	47000	47	0,047
683	68000	68	0,068
104	100000	100	0,1
154	150000	150	0,15
224	220000	220	0,22
334	330000	330	0,33
474	470000	470	0,47
684	680000	680	0,68
105	1000000	1000	1,0

*Примечание. *Иногда последний ноль не указывают.*

В. Маркировка 4 цифрами.

Возможны варианты кодирования 4-значным числом. Но и в этом случае последняя цифра указывает количество нулей, а первые три – емкость в пикофарадах.

В соответствии с требованиями Публикаций 62 и 115-2 ИЕС для конденсаторов установлены следующие допуски и их кодировка (табл. 4.4).

Кодовая маркировка допусков

Таблица 4.4

Допуск [%]	Буквенное обозначение	Цвет
±0,1*	B(Ж)	
±0,25*	C(У)	оранжевый
±0,5*	D(Д)	желтый
±1,0*	F(Р)	коричневый
±2,0	G(Л)	красный
±5,0	J(И)	зеленый
±10	K(С)	белый
±20	M(В)	черный
±30	N(Ф)	
-10...+30	Q(О)	
-10...+50	T(Э)	
-10...+100	Y(Ю)	
-20...+50	S(Б)	фиолетовый
-20...+80	Z(А)	серый

Примечание. *Для конденсаторов емкостью < 10 нФ допуск указан в пикофарадах.

Перерасчет допуска из % (δ) в фарады (Δ):

$$\Delta = (\delta \cdot C / 100\%) [\Phi].$$

Пример. Реальное значение конденсатора с маркировкой 221J(0,22 нФ ±5%) лежит в диапазоне

$$C = 0,22 \text{ нФ} \pm \Delta = (0,22 \pm 0,01) \text{ нФ},$$

где $\Delta = (0,22 \cdot 10^{-9} [\Phi] \cdot 5) \cdot 0,01 = 0,01 \text{ нФ}$.

Конденсаторы с ненормируемым *температурным коэффициентом ёмкости* (ТКЕ) кодируются согласно табл. 4.5.

Кодировка конденсаторов с ненормируемым ТКЕ

Таблица 4.5

Группа ТКЕ	Допуск при -60...+85°C [%]	Буквенный код	Цвет*
H10	±10	B	оранжевый+черный
H20	±20	Z	оранжевый+красный
H30	±30	D	оранжевый+зеленый
H50	±50	X	оранжевый+голубой
H70	±70	E	оранжевый+фиолетовый
H90	±90	F	оранжевый+белый

Примечание. *Современная цветовая кодировка. Цветные полосы или точки. Второй цвет может быть представлен цветом корпуса.

Конденсаторы с линейной зависимостью от температуры имеют следующие кодовую и цветовую маркировки, приведенные в табл. 4.6.

Маркировка конденсаторов с линейной зависимостью от температуры

Таблица 4.6

Обозначение ГОСТ	Обозначение международное	ТКЕ [ppm/°C]*	Буквенный код	Цвет**
П100	P100	100(+130...-49)	A	красный+фиолетовый
П33		33	N	серый
МПО	NPO	0(+30...-75)	C	черный
М33	N030	-33(+30...-80)	H	коричневый
М75	N080	-75(+30...-105)	L	красный
М150	N150	-150(+30...-105)	P	оранжевый
М220	N220	-220(+30...-120)	R	желтый
М330	N330	-330(+60...-180)	S	зеленый
М470	N470	-470(+60...-210)	T	голубой
М750	N750	-750(+120...-330)	U	фиолетовый
М1500	N1500	-500(-250...-670)	V	оранжевый+оранжевый
М2200	N2200	-2200	K	желтый+оранжевый

Примечания. *В скобках приведен реальный разброс для импортных конденсаторов в диапазоне температур -55...+85°C, ppm = 10⁻⁶.

**Современная цветовая кодировка в соответствии с EIA. Цветные полосы или точки. Второй цвет может быть представлен цветом корпуса.

Конденсаторы с нелинейной зависимостью от температуры имеют кодовую и цветовую маркировку, приведенную в табл. 4.7.

Маркировка конденсаторов с нелинейной зависимостью от температуры

Таблица 4.7

Группа ТКЕ*	Допуск[%]	Температура**[°C]	Буквенный код***	Цвет***
Y5F	±7,5	-30...+85		
Y5P	±10	-30...+85		Серебрянный
Y5R		-30...+85	R	Серый
Y5S	±22	-30...+85	S	Коричневый
Y5U	+22...-56	-30...+85	A	
Y5V(2F)	+22...-82	-30...+85		
X5F	±7,5	-55...+85		
X5P	±10	-55...+85		
X5S	±22	-55...+85		
X5U	+22...-56	-55...+85		Синий
X5V	+22...-82	-55...+86		
X7R(2R)	±15	-55...+125		
Z5F	±7,5	-10...+85	B	
Z5P	±10	-10...+85	C	

Z5S	±22	-10...+85		
Z5U(2E)	+22...-56	-10...+85	E	
Z5V	+22...-82	-10...+85	F	Зеленый
SL0(GP)	+150...-1500	-55...+150	Nil	Белый

*Примечания. *Обозначение приведено в соответствии со стандартом EIA, в скобках-IEC.*

***В зависимости от технологий, которыми обладает фирма, диапазон может быть другим. Например: фирма "Philips" для группы Y5P нормирует -55...+125°C, а также другая кодовая маркировка.*

Задание к лабораторной работе

1. Получить от преподавателя или лаборанта набор конденсаторов.
2. Определить номинальные значения сопротивления, допуск по маркировке.
3. Измерить фактическое значение C_f и определить допустимое отклонение по формуле

$$\delta C = ((C_f - C_n) / C_n) * 100\%$$

4. Описать конструкцию всех конденсаторов, указать их особенности и указать ТКЕ для резистора.
5. Записать все конденсаторы согласно их записи в перечне элементов согласно приложению 1.
6. Оформить работу.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Перечень приборов, необходимых для измерений.
3. Таблицы результатов измерений.
4. Расчётные формулы и результаты расчётов.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие радиоэлементы называются конденсаторами?
2. Дать классификацию конденсаторов.
3. Указать способы сокращенного и полного обозначение конденсаторов.
4. Указать основные параметры конденсаторов.
5. Какие существуют конструкции постоянных конденсаторов?
6. Какие существуют конструкции переменных конденсаторов?

Литература

1. Т.А. Рычина, А.В. Зеленски. Устройства функциональной электроники – М.: Радио и связь, 1989.
2. М.Ю. Масленников, В.А. Соболев и др. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база (в 2-х книгах) - М.: ИТАР- ТАСС, 1993.

3. К.С. Петров Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. Учебное пособие. – С.-Петербург: «Питер», 2003.
4. А.В.Баранова, Н.П.Ямпурин, Б.Д.Шурыгин. Материалы и компоненты электронных средств часть II. Компоненты электронных средств- РИО НГТУ им.Р.Е. Алексеева, 2015.

Правила оформления схем и перечня элементов

1. Общие правила выполнения схем

Схема – это графический конструкторский документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

Схемы входят в комплект конструкторской документации и содержат вместе с другими документами необходимые данные для проектирования, изготовления, сборки, регулировки, эксплуатации изделий.

Правила выполнения и оформления схем регламентируют стандарты седьмой классификационной группы ЕСКД.

На схемах, как правило, используют стандартные графические условные обозначения. Если необходимо использовать не стандартизированные обозначения некоторых элементов, то на схеме делают соответствующие пояснения.

Следует добиваться наименьшего числа изломов и пересечений линий связи, сохраняя между параллельными линиями расстояние не менее 3мм.

На схемах допускается помещать различные технические данные, характеризующие схему в целом и отдельные ее элементы. Эти сведения помещают либо около графических обозначений, либо на свободном поле схемы, как правило, над основной надписью.

Элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное назначение (резистор, конденсатор, интегральная микросхема, трансформатор, насос и т.п.).

Устройство – совокупность элементов, представляющая единую конструкцию (блок, плата). Может не иметь в изделии определенного функционального назначения.

По основному назначению схем их подразделяют на типы, обозначаемые цифрами (в скобках приведены соответствующие коды по СТ СЭВ 527-77): структурные – 1(101), функциональные – 2(102), принципиальные (полные) – 3(201), соединений (монтажные) – 4(301), подключения – 5(303), общие – 6(302), расположения – 7(401), объединенные – 0.

Наименование схемы определяется ее видом и типом, например: схема электрическая функциональная, схема деления структурная, схема гидравлическая соединений.

Код схемы состоит из буквы, определяющей вид схемы, и цифры, обозначающей тип схемы, например, Э3 – схема электрическая принципиальная, Э4 – схема электрическая соединений, Г1 – схема гидравлическая структурная.

Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи.

Структурные схемы разрабатывают при проектировании изделий на стадиях, предшествующих разработке схем других типов. Схематиками пользуются для общего ознакомления с изделием.

Функциональная схема служит для разъяснения процессов, протекающих в отдельных функциональных цепях изделия или в изделии в целом.

Схематиками пользуются для изучения принципов работы изделий, а также при их наладке, контроле и ремонте в процессе эксплуатации.

Принципиальная (полная) схема определяет полный состав элементов и связей между ними и дает детальное представление о принципах работы изделия.

Принципиальными пользуются для изучения принципов работы изделий, а также при их наладке, контроле и ремонте. Схематика служит основой для разработки других конструкторских документов, например, схем соединений (монтажных) и чертежей.

2. Структурная схема (Э1)

Структурная схема отображает принцип работы изделия в самом общем виде. На схеме изображают все основные функциональные части изделия (элементы, устройства, функциональные группы), а также основные взаимосвязи между ними. Действительное расположение составных частей изделия не учитывают и способ связи (проводная, индуктивная, количество проводов и т.п.) не раскрывают. Построение схемы должно давать наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в изделии (рис. 7.1). Направление хода процессов, происходящих в изделии, обозначают стрелками на линиях взаимосвязи.

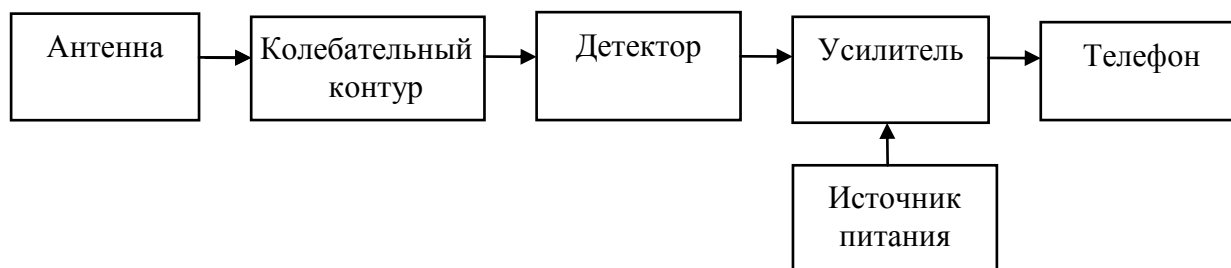


Рис. 1. Структурная схема

3. Функциональная схема (Э2)

Для сложного изделия разрабатывают несколько функциональных схем, поясняющих происходящие процессы при различных предусмотренных режимах работы. Количество функциональных схем, разрабатываемых на

изделие, степень их детализации и объем помещаемых сведений определяется разработчиком с учетом особенностей изделия.

На схеме изображают функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и связи между ними. Графическое построение схемы должно наглядно отражать последовательность функциональных процессов, иллюстрируемых схемой. Действительное расположение в изделии элементов и устройств может не учитываться.

Функциональные части и связи между ними изображают в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах ЕСКД. Отдельные функциональные части на схеме допускается изображать в виде прямоугольников. В этом случае части схемы с поэлементной детализацией изображают по правилам выполнения принципиальных схем, а при укрупненном изображении функциональных частей – по правилам структурных схем (рис. 2).

На функциональной схеме радиоприемного устройства (рис. 2) по сравнению с его структурной схемой раскрыто содержание детекторного каскада, остальные элементы схемы изображены в виде прямоугольников, как на структурной схеме.

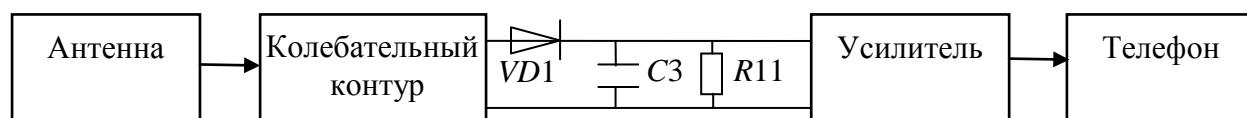


Рис. 2. Структурная схема

4. Принципиальная схема (ЭЗ)

Принципиальная схема является наиболее полной электрической схемой изделия, на которой изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все связи между ними, а также элементы подключения (разъемы, зажимы), которыми заканчиваются входные и выходные цепи. На схеме могут быть изображены соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые в изделии по конструктивным соображениям.

Электрические элементы на схеме изображают условными графическими обозначениями, начертание и размеры которых установлены в стандартах ЕСКД.

Позиционные обозначения элементов. Всем изображенным на схеме элементам и устройствам присваиваются условные буквенно-цифровые позиционные обозначения в соответствии с ГОСТ 2.710-81.

Позиционные обозначения элементам (устройствам) присваивают в пределах изделия. Порядковые номера элементам (устройствам) начиная с единицы, присваивают в пределах группы элементов (устройств) с одинаковым буквенным позиционным обозначением одной группы или одного типа в

соответствии с последовательностью их расположения на схеме сверху вниз в направлении слева направо, например $R1, R2, \dots C1, C2$ (рис. 3). Буквы и цифры позиционного обозначения выполняют чертежным шрифтом одного размера.

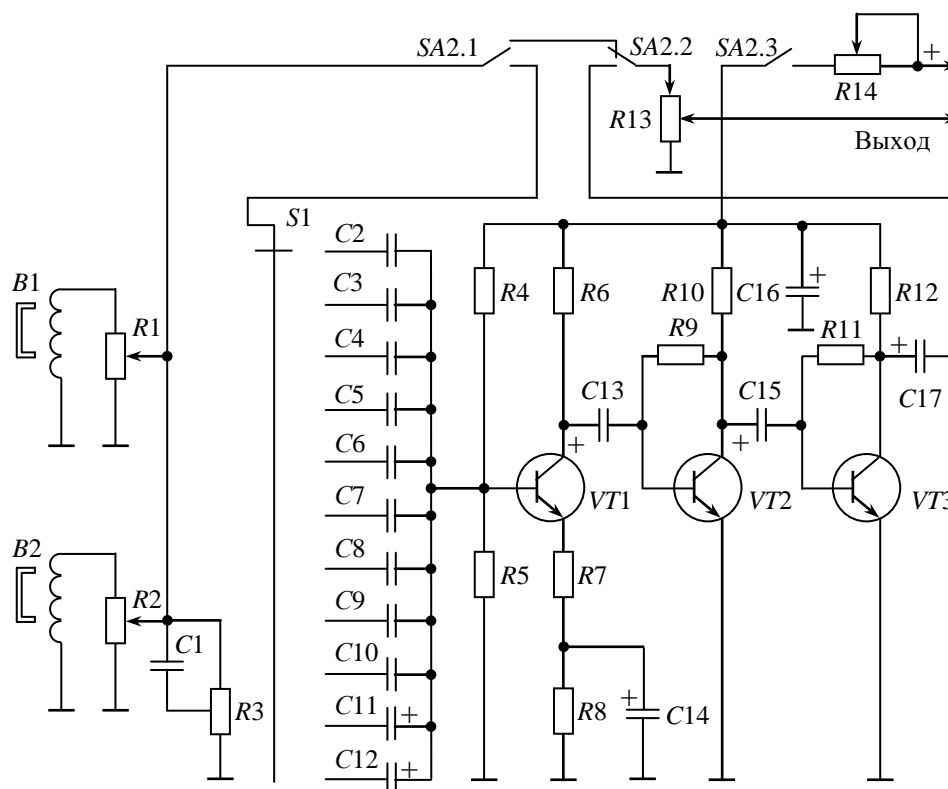


Рис. 3. Схема электрическая

Последовательность присвоения порядковых номеров может быть нарушена в зависимости от размещения элементов изделия, направления прохождения сигналов или функциональной последовательности процесса, а также при внесении в схему изменений.

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с условными графическими обозначениями элементов и устройств с правой стороны или над ними.

5. Перечень элементов

Перечень элементов. Данные об элементах и устройствах, изображенных на схеме изделия, записывают в перечень элементов. Допускается все сведения об элементах помещать рядом с их изображением на свободном поле схемы. Связь между условными графическими обозначениями и перечнем элементов осуществляется через позиционные обозначения.

Перечень помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа на листе формата А4 с основной надписью для текстовых документов по форме 2 или 2а ГОСТ 2.104-68. Перечень элементов

оформляют в виде таблицы (рис. 4) и заполняют сверху вниз. В графах перечня указывают следующие данные:

- в графе «Поз. обозначение» – позиционное обозначение элемента, устройства или функциональной группы;
- в графе «Наименование» – наименование элемента (устройства) в соответствии с документом, на основании которого он применен, и обозначение этого документа (основной конструкторский документ, государственный стандарт, технические условия); для функциональной группы – наименование;
- в графе «Кол» – количество одинаковых элементов;
- в графе «Примечание» – технические данные элемента (устройства), не содержащиеся в его наименовании.

Поз. обозначение	Наименование	Кол	Примечание

Рис. 4. Таблица для оформления перечня элементов

При размещении перечня элементов на первом листе схемы его располагают над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм от нее. Продолжение перечня помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

Если перечень элементов выпускают в виде самостоятельного документа, то ему присваивают код, который должен состоять из буквы «П» и кода схемы, например, ПЭЗ – код перечня элементов к электрической принципиальной схеме. При этом в основной надписи перечня под наименованием изделия, для которого составлен перечень, делают запись «Перечень элементов» шрифтом на один-два размера меньше того, каким записано наименование изделия, а в графе «Обозначение» основной надписи указывают код.

Перечень элементов записывают в спецификацию после схемы, к которой выпущен.

При разбивке поля схемы на зоны перечень элементов дополняют графой «Зона», указывая в ней обозначения зоны или номер строки (при строчном способе выполнения схем), в которой расположен элемент или устройство).

Допускается вводить в перечень дополнительные графы, если они не дублируют сведений в основных графах.

Порядок записи элементов в перечень следующий (рис. 5).

Поз.обозначение	Наименование	Кол	Примечание
L1	Катушка индуктивности АБВГ...	1	
	Резисторы		
R1	МЛТ-0,5-300 кОм +- 5% ГОСТ...	1	
R2	1СП-1-1-560 Ом +-20% А-В-С-3-12,5 ГОСТ...	1	
R3	ПЭВ-10-3 кОм +-5% ГОСТ...	1	
	МЛТ ГОСТ...	1	
	СП ГОСТ...		
R4	МЛТ-0,5-150 кОм +- 5% ГОСТ...	1	
R5	1СП-1-1-560 Ом +-20% А-В-С-3-12,5 ГОСТ...	1	
R6	МЛТ-0,5-150 кОм +- 10% ГОСТ...	1	
R7, R8	МЛТ-0,25-300 кОм +- 10% ГОСТ...	2	

Рис. 5. Порядок записи элементов в перечень

Элементы записывают по группам (видам) в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений, располагая по возрастанию порядковых номеров в пределах каждой группы, а при цифровых обозначениях – в порядке их возрастания. Между отдельными группами элементов или между элементами в большой группе рекомендуется оставлять несколько незаполненных строк для внесения изменений.

Для сокращения перечня допускается однотипные элементы с одинаковыми параметрами и последовательными порядковыми номерами записывать в перечень одной строкой, указывая только позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например, С1, С2, R4 ... R6. В графе «Кол» указывают общее количество таких элементов. При записи однотипных элементов допускается не повторять в каждой строке наименование элемента, а записывать его в виде общего наименования к соответствующей группе элементов.

В общем наименовании записывают наименование, тип и обозначение документа, на основании которого применены эти элементы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие положения о работе студентов в лаборатории «Компоненты электронной техники»	3
Правила техники безопасности	4
Лабораторная работа №1 Исследование ВАХ полупроводниковых диодов	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторная работа №2 Исследование вольтамперных характеристик биполярных транзисторов.....	56
Лабораторная работа №3 Идентификация резисторов	164
Лабораторная работа №4 Идентификация конденсаторов	29
Приложение №1 Правила оформления схем и перечня элементов.....	40

**Баранова Альбина Вячеславовна
Лисенкова Татьяна Викторовна**

Компоненты электронной техники

**Методические указания
к лабораторным работам**