

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»
М. Н. Чальцев
12.04.2017 г.

Кафедра «Общенаучные дисциплины»

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА» (РАЗДЕЛ «ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И
АТОМНАЯ ФИЗИКА»)) ДЛЯ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ:
23.03.03 «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН
И КОМПЛЕКСОВ», 23.05.01 «НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА», 08.03.01 «СТРОИТЕЛЬСТВО»,
20.03.01 «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ», 08.05.03 «СТРОИТЕЛЬСТВО,
ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИКРЫТИЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ»,
27.03.04 «УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»
09.03.02 «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»**

15/ 52-2017-01

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Учебно – методическая
комиссия факультета
«Автомобильные дороги»
Протокол № 6 от 15.02.17.

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Кафедра
«Общенаучные дисциплины»
Протокол № 6 от 17.01.17.

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Учебно – методическая
комиссия факультета
«Автомобильный транспорт»
Протокол № 3 от 03.02.17

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Учебно-методическая
комиссия факультета
«Транспортные технологии»
Протокол № 2 от 17.02.17

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Учебно – методическая
комиссия факультета
«Экономика и управления»
Протокол № 6 от 15.02.17

Горловка – 2017

УДК 538 (07)

Учебно – методическое пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физика» (раздел «Физика твердого тела и атомная физика») области знаний 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», 08.03.01 «Строительство», 20.03.01 «Техносферная безопасность», 08.05.03 «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей», 27.03.04 «Управление в технических системах», 09.03.02 «Информационные системы и технологии» [Электронный ресурс] / составители: А. М. Галиахметов, М. П. Ефремова, В. В. Ставцев, А. Р. Лагутина.– Горловка: ГОУВПО «ДОННТУ» АДИ, 2017.

Содержит 7 лабораторных работ, методику их выполнения, вопросы и задачи для их защиты. Приведены рекомендации для обработки экспериментальных данных с помощью ЭВМ и таблица коэффициентов Стьюдента.

Составители: Галиахметов А. М., д-р физ.-мат. наук, доц.
 Ефремова М. П.,
 Ставцев В. В.,
 Лагутина А. Р.,

Ответственный за выпуск: Галиахметов А. М., д-р физ.-мат. наук, доц.

Рецензент: Сокирко В.Н., канд. техн. наук, доц.

© Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донецкий национальный технический университет»
Автомобильно-дорожный институт, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания.....	4
Лабораторная работа № 1 Градуировка спектроскопа. Изучение спектра неизвестного вещества (водорода). Определение постоянной Ридберга, массы электрона и радиусов боровских электронных орбит.....	5
Лабораторная работа № 2 Градуировка термопары.....	12
Лабораторная работа № 3 Изучение фотоэлектрических свойств фотосопротивления (фоторезистора).....	15
Лабораторная работа № 4 Снятие вольт – амперных характеристик селенового и германиевого диодов.....	21
Лабораторная работа № 5 Определение абсолютной активности радиоактивного бета – излучателя.....	26
Лабораторная работа № 6 Исследование биполярного транзистора с общей базой.....	31
Лабораторная работа № 7 Изучение полупроводникового триода с общим эмиттером.....	41
Список рекомендованной литературы.....	48
Приложение А Обработка экспериментальных данных с помощью ЭВМ.....	49
Приложение Б Коэффициенты Стюдента.....	50
Приложение В Табличные постоянные.....	51

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Физика твердого тела и атомная физика – это важные разделы физики, знание основных положений которых необходимо студентам технических специальностей для формирования научного мировоззрения, создания теоретической основы для изучения специальных дисциплин, а также дальнейшей профессиональной деятельности.

Изучение этих разделов предполагает использование трех взаимосвязанных форм занятий: лекций, лабораторных работ и самостоятельной работы студентов. Теоретические знания, полученные студентами в курсе лекций и при самостоятельной работе, закрепляются и углубляются в лабораторном практикуме.

При выполнении работы необходимо соблюдать правила техники безопасности, уметь определять цену деления шкалы измерительных приборов, ориентировочно оценивать правильность полученных экспериментальных данных, рассчитывать погрешности измерений.

К выполнению лабораторной работы необходимо готовиться заранее: выучить теоретический материал данной темы по указанной литературе и конспекту лекций; подготовиться к выполнению экспериментов – внимательно выучить методические указания к лабораторной работе, продумать ее выполнение и подготовить тетрадь для лабораторных работ.

Подготовку студента к лабораторной работе проверяет преподаватель и допускает к выполнению лабораторной работы. Неподготовленный студент не допускается к выполнению лабораторной работы, а вместо этого он в лаборатории изучает материал темы по конспекту лекций и учебнику. Пропущенная таким образом работа выполняется во внеурочное время, что нежелательно.

После выполнения экспериментальной части необходимо упорядочить свое рабочее место, оформить тетрадь для лабораторных работ (заполнить таблицы, ниже таблиц записать погрешности измерительных приборов, коэффициент Стьюдента и т. д.) и данные подписать у преподавателя. Следует провести компьютерную обработку экспериментальных данных и распечатки подклеить в тетрадь для лабораторных работ. Оставшееся время лабораторного занятия используется студентом для защиты работы.

Работа считается защищенной после представления преподавателю отчета по экспериментальной части и по теории.

Статистическую обработку результатов эксперимента студент выполняет согласно существующим правилам.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема. Градуировка спектроскопа. Изучение спектра неизвестного вещества (водорода). Определение постоянной Ридберга, массы электрона и радиусов боровских электронных орби.

Цель. Знать гипотезу Планка о квантовом характере излучения и поглощения электромагнитных волн, постулаты Бора и выводы Резерфорда о строении атома.

Уметь по спектру известного элемента (гелия) проградуировать спектроскоп, определить: этот элемент, постоянную Ридберга, массу электрона и радиусы боровских электронных орбит.

Приборы и оборудование. Трансформатор, катушка Румкорфа, штатив с держателем для спектральных трубок, спектральные трубки с гелием и неизвестным элементом (водородом), призматический спектроскоп.

Практическое значение. Методы спектроскопии (раздел физики, который изучает спектры электромагнитного излучения) применяются при исследовании качественного и количественного состава сплавов, используемых в автомобилестроении, топлив и смазывающих материалов, химических веществ, на обогатительных фабриках цветной металлургии, в сельском хозяйстве, геологии, криминалистике, астрофизике.

Краткие теоретические сведения

Спектр излучения – это совокупность монохроматических электромагнитных волн, на которые может быть разложено немонохроматическое излучение. Накаленные вещества излучают сплошные, линейчатые и полосатые спектры. Полосатые спектры излучаются возбужденными молекулами, линейчатые – атомами. Каждый химический элемент излучает типичный для него спектр. Это свойство используется для определения химического состава вещества. Для анализа спектров служат спектральные приборы. Одним из них является спектроскоп.

Спектроскопом называется прибор, который служит для пространственного разделения лучей разных длин волн, причем наблюдение полученного спектра проводится визуально.

Оптическая схема простого спектроскопа представлена на рисунке 1.1. Основной частью спектроскопа является призма P , которая раскладывает в спектр пучок параллельных лучей немонохроматического света, левая часть прибора – *труба коллиматора* – состоит из узкой щели S_1 и линзы L_1 . Назначение коллиматора – давать параллельный пучок света, падающий на призму. Для этого щель располагается в главной фокальной плоскости линзы L_1 . Поскольку лучи разной длины волны преломляются призмой на разные углы (дисперсия), то из призмы выходят параллельные пучки разных направлений.

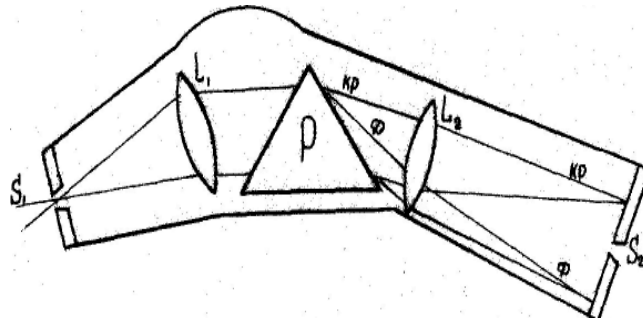


Рисунок 1.1 – Оптическая схема простого спектроскопа

Правая часть прибора – *зрительная трубка* – состоит из линзы L_2 и окуляра O с визирной нитью. Назначение зрительной трубки – визуально наблюдать спектр излучения или отдельные линии спектра. Для этого с помощью линзы L_2 параллельные пучки, которые вышли из призмы, собираются в разных точках ее фокальной плоскости. В результате на глаз проецируется ряд изображений входной щели. Если источник света излучает волны всех длин, то получается сплошной спектр. При излучении источником света волн определенных длин изображения входной щели окажутся пространственно разделенными, и в результате получится линейчатый спектр.

Коллиматор, призма, зрительная трубка смонтированы на столике, положение зрительной трубки, а значит, и визирной линии в окуляре регулируется микрометрическим винтом.

На рисунке 1.1 изображен ход лучей света, образованных красными и фиолетовыми лучами. Для каждого спектроскопа строится экспериментально градуировочный график, то есть графическая зависимость между длинами волн спектральных линий и показаниями микрометрического винта.

Используя гипотезу Планка о квантовом характере излучения света и постулаты Бора, можно утверждать, что движение электрона возможно только по определенным орбитам, радиусы которых удовлетворяют соотношению (первый постулат Бора):

$$mv_n r_n = n h/2 \pi, \quad (1.1)$$

где m – масса электрона;

v_n и r_n – скорость движения электрона и радиус для n – й орбиты;

h – постоянная Планка;

$n = 1, 2, 3, 4$ – квантовое число, которое указывает номер орбиты.

По второму постулату Бора частота излучения, соответствующая переходу электрона с одной орбиты на другую, определяется соотношением:

$$h\nu = E_n - E_k, \quad (1.2)$$

где ν – частота излучения;

n и k – номера орбит ($n > k$);

E_n, E_k – энергии электронов на соответствующих орбитах.

Рассмотрим электрон с электрическим зарядом $-e$, который движется в электрическом поле атомного ядра с зарядом $+Ze$.

При $Z = 1$ такая система отвечает атому водорода, $Z > 1$ – водородоподобному иону, то есть атому с порядковым номером Z , из которого удалены все электроны, кроме одного. Уравнение движения электрона получим на основании второго закона Ньютона

$$ma = F,$$

где $a = \frac{v_n^2}{r_n}$ – нормальное ускорение, с которым электрон движется

по орбите;

$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r_n^2}$ – кулоновская сила взаимодействия между ядром и

электроном.

Окончательное уравнение, которое описывает движение электрона, имеет вид:

$$m \frac{v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r_n^2}, \quad (1.3)$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная.

Электрон, который находится в электрическом поле, обладает потенциальной энергией E_p и кинетической энергией $E_{кин}$:

$$E_p = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_n}, \quad E_{кин} = \frac{mv_n^2}{2}. \quad (1.4)$$

Полная энергия электрона E определяется по формуле

$$E = E_p + E_{кин}. \quad (1.5)$$

Решая систему уравнений (1.1) и (1.3) относительно v_n и r_n получим формулы для определения v_n и r_n :

$$v_n = \frac{Z}{2n} \cdot \frac{e^2}{\epsilon_0 h}, \quad (1.6)$$

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \cdot \frac{n^2}{Z}. \quad (1.7)$$

Формула для вычисления полной энергии электрона в атоме на основании выражений (1.4) и (1.5) будет иметь вид:

$$E = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{Z^2 m e^4}{8 h^2 \varepsilon_0^2}. \quad (1.8)$$

Подставив (1.8) в (1.2), и выражая частоту излучения ν через длину волны и скорость света в вакууме $\nu = c / \lambda$, получим обобщающую формулу Бальмера:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R c Z^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (1.9)$$

Формула (1.9) позволяет найти длины волн или частоты для водородоподобных ионов в спектре излучения. Для водорода $Z = 1$. Длины волн спектральных линий всех серий определяется по формуле

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (1.10)$$

где k и n – номера орбит, между которыми осуществляется квантовый переход;

R – постоянная Ридберга.

При $k = 1, n = 2, 3, 4 \dots$ – серия Лаймана.

При $k = 2, n = 3, 4, 5 \dots$ – серия Бальмера в видимой области спектра.

При $k = 3, n = 4, 5, 6 \dots$ – серия Пашена.

При $k = 4, n = 5, 6, 7 \dots$ – серия Бреккета.

При $k = 5, n = 6, 7, 8 \dots$ – серия Пфунда.

Серии Пашена, Бреккета, Пфунда лежат в инфракрасной области спектра, а серия Лаймана – в ультрафиолетовой области. Серией называется совокупность спектральных линий на данном участке спектра.

Постоянная Ридберга вычисляется по формуле

$$R = \frac{m e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^3 c}. \quad (1.11)$$

Поскольку спектроскопы изготавливаются разной разрешающей способности, то линии некоторых цветов сливаются. В этом случае необходимо брать среднее значение длины волны, соответствующее середине широкой линии. Для более точных измерений необходимо вести отсчет по границе широкой линии.

В спектре гелия наблюдаются такие спектральные линии.

Цвет линии	Длина волны, нм
Красная	706,5
Красная	667,8
Красная	656,0
Желтая	587,5
Зеленая	492,1
Зеленая	471,3
Голубая	468,5
Синяя	447,1
Синяя	438,3
Фиолетовая	412,0
Фиолетовая	402,6
Фиолетовая	388,8

Видимая часть спектра излучения водорода (серия Бальмера, $k = 2$) состоит из ряда спектральных линий, где наиболее яркими являются:

- красная – $n = 3$;
- голубая – $n = 4$;
- фиолетовая – $n = 5$;
- фиолетовая – $n = 6$.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из трансформатора, катушки Румкорфа, штатива с держателями для спектральных трубок, спектральных трубок с гелием и неизвестным элементом (водородом) и призматического спектроскопа.

На первичную обмотку трансформатора подается напряжение от блока питания или от сети переменного тока. К вторичной обмотке трансформатора подключена первичная обмотка катушки Румкорфа. Напряжение со вторичной обмотки катушки Румкорфа (до 20000 В) подается на спектральную трубку.

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с лабораторной установкой. Получить от преподавателя разрешение на проведение экспериментов.

Выполнить задания.

Задание 1. Проградуировать спектроскоп по спектру известного элемента (гелия).

1. Включить в электрическую цепь трубку с гелием.
2. Получив стойкий газовый разряд в трубке, направить на узкую часть трубки коллиматор спектроскопа. Спектр наблюдать через зрительную трубку с визирной нитью.

3. Установить взаимнооднозначное соответствие положения спектральной линии с направлением зрительной трубки. Направление зрительной трубки задается микрометрическим винтом, при этом спектральная линия должна совпадать с визирной нитью.

4. Результаты измерений записать в таблицу 1.1.

Таблица 1.1– Обработка спектра излучения гелия

Цвет спектральной линии гелия	Длина волны спектральной линии гелия (нм)	Показание микрометрического винта (мм)

Задание 2. Изучить спектр неизвестного элемента. Определить длины волн наблюдаемых спектральных линий полученного спектра.

1. Включить в электрическую цепь трубку с неизвестным элементом.

2. Получив стойкий газовый разряд в трубке, направляем на узкую часть трубки коллиматор спектроскопа. Спектр наблюдать через зрительную трубку с визирной нитью.

3. Установить взаимнооднозначное соответствие положения спектральной линии с направлением зрительной трубки. Направление зрительной трубки задается микрометрическим винтом, при этом спектральная линия должна совпадать с визирной нитью.

4. Результаты измерений записать в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Обработка спектра неизвестного излучения

Цвет спектральной линии неизвестного элемента	Показание микрометрического барабана, мм	Длина волны спектральной линии (определяется при помощи градуировочного графика), нм

Обработка результатов эксперимента

1. На основании данных таблицы 1.1 построить градуировочный график для спектроскопа, который использовался при проведении экспериментов. На оси абсцисс отложить показания микрометрического винта, а на оси ординат – длины волн.

Соединить точки отрезками прямых. Полученный график и будет градуировочным графиком данного спектроскопа.

2. Пользуясь градуировочным графиком, определить длины волн неизвестного элемента. Величины длин волн записать в соответствующую колонку таблицы. 1.2.

3. Пользуясь таблицами длин световых волн спектральных линий,

определить элемент, который находится в трубке. (приложение В).

4. По результатам эксперимента (таблица 1.2) на основании формулы (1.10) определить постоянную Ридберга для каждой длины волны (для каждой линии спектра). Величина постоянной Ридберга определяется как среднее арифметическое от величин, найденных для каждой длины волны. Оценить ошибки и окончательный результат записать в виде $R = \bar{R} \pm \Delta \bar{R}$.

5. Пользуясь формулой (1.7), определить радиусы электронных орбит.

6. Пользуясь формулой (1.11), определить массу электрона.

7. Сравнить результаты расчетов с табличными значениями. Если результаты расчетов отличаются от табличных более чем на 20 %, лабораторную работу повторить.

Контрольные вопросы и задачи

1. Что называется спектром? Какие бывают спектры?
2. Объяснить строение призматического спектроскопа. Показать ход лучей.
3. Что значит проградуировать спектроскоп?
4. Сформулировать гипотезу Планка о квантовом характере излучения света.
5. Записать постулаты Бора в виде формул.
6. Опыт Франка и Герца (схема опыта, суть его).
7. На рисунке 1.2 показаны траектории движения α -частиц, их рассеяние на фольге одного и того же металла. Почему α -частицы изменили направление своего движения? Почему изменение направления движения разное – 1, 2 и 3, хотя начальные скорости одинаковы?

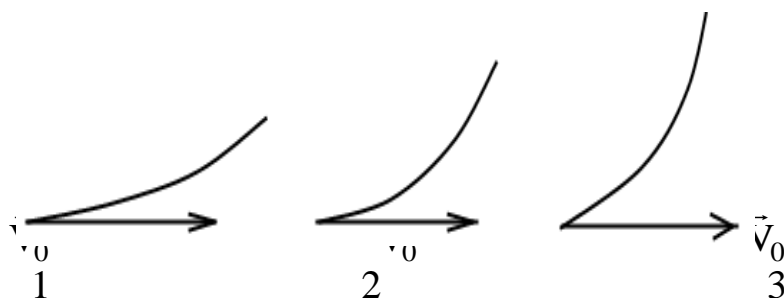


Рисунок 1.2 – Траектории движения α -частиц

8. Какое максимальное число электронов в атоме может иметь одинаковые квантовые числа при главном квантовом числе $n = 2$; 5.

9. Сколько s , p , d – электронов находится в атоме на первом, втором и третьем энергетических уровнях.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема. Градуировка термопары

Цель. Изучить физические свойства контактов двух разнородных веществ и уметь проградуировать термопару.

Приборы и оборудование. Термопара, гальванометр, два сосуда с жидкостью, два термометра и нагревательный элемент (электрическая плитка).

Практическое значение. Эффекты, которые возникают в контакте двух разнородных веществ, лежат в основе высокоточных датчиков температур. Эти эффекты используются в преобразователях тепловой энергии в электрическую, в холодильных установках. Датчики температур являются одним из элементов систем контроля при испытаниях автомобилей.

Краткие теоретические сведения

Минимальная энергия, необходимая для удаления электрона из вещества в вакуум, называется работой выхода.

Если два разные вещества соприкасаются, то между ними возникнет разность потенциалов, которая называется контактной разностью потенциалов. Ее возникновение с точки зрения классической физики можно объяснить двумя факторами. Первый фактор – это отличие в работе выхода электронов из веществ. Второй фактор – неодинаковая концентрация электронного газа в веществах.

Контактная разность потенциалов обусловлена обоими факторами

$$\Delta\varphi_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}, \quad (2.1)$$

где A_1 – работа выхода электрона из первого вещества;

A_2 – работа выхода электрона из второго вещества;

e – заряд электрона;

n_1 – концентрация электронов в первом веществе;

n_2 – концентрация электронов во втором веществе;

T – абсолютная температура спаев;

k – постоянная Больцмана.

Рассмотрим замкнутую цепь (рисунок 2.1), которая состоит из двух металлических проводников 1 и 2 с температурами спаев T_1 (контакт 1) и T_2 (контакт 2). Пусть $T_1 > T_2$ и $n_1 > n_2$.

Электродвижущая сила ε , которая возникает в цепи, равна сумме контактных разностей потенциалов в обоих контактах (как при последовательном соединении):

$$\varepsilon = \Delta\varphi_{12} + \Delta\varphi_{21}.$$

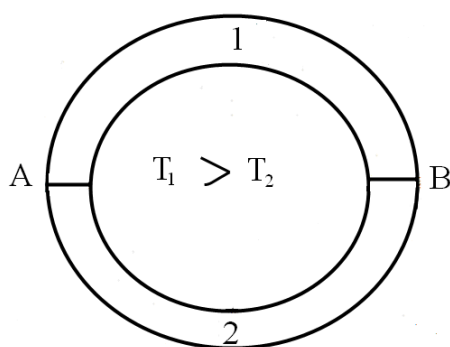


Рисунок 2.1 – Замкнутая цепь двух металлических проводников

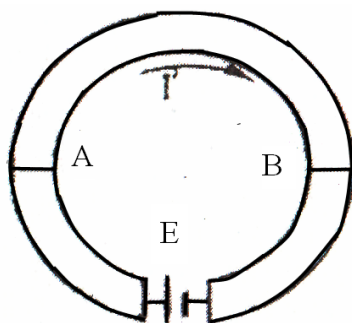


Рисунок. 2.2 – Направление электрического тока в замкнутой цепи

Используя выражение (2.1), получим:

$$\varepsilon = \frac{k}{e} (T_1 - T_2) \ln \frac{n_1}{n_2}. \quad (2.2)$$

Таким образом, в замкнутой цепи появляется электродвижущая сила, прямо пропорциональная разности температур в контактах (спаях). Эта ЭДС называется термоэлектродвижущей силой. Направление электрического тока в данном случае при $T_1 > T_2$ и $n_1 > n_2$ показано на рисунке 2.2.

Рассмотренный эффект называется эффектом Зеебека. Он используется для измерений температур и преобразования тепловой энергии в электрическую. Для измерения температуры применяются термопары – датчики температур, которые состоят из двух разнородных металлических проводников. Если спаи проводников, образующих термопару, находятся при разных температурах, то в цепи возникает термоэлектродвижущая сила, зависящая от разности температур спаев и химического состава материалов, которые применялись в этой термопаре.

Поскольку точный химический состав веществ практически не выдерживается, а влияние примесей не подвергается теоретическому расчету, то каждая термопара градуируется.

Проградуировать термопару – означает построить экспериментальный график зависимости силы тока I от разности температур ΔT спаев.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из собранной электрической цепи (рисунок 2.3): двух сосудов с жидкостью, которые содержат спаи термопары А, В, двух термометров и нагревательного элемента (электрической плитки), гальванометра G.

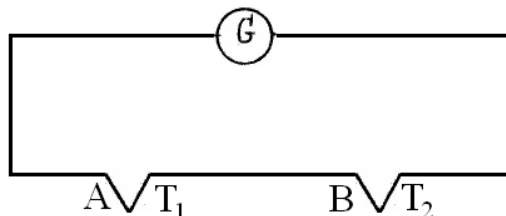


Рисунок 2.3 – Схема лабораторной установки для градуировки термопары

Перепад температур создается тем, что спаи погружены в сосуды с жидкостью разной температуры. Сосуд с одним из спаев нагревают. При повышении температуры в этой цепи возникает электрический ток. Величина силы тока I измеряется гальванометром, а температура жидкостей – термометрами.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Получить от преподавателя начальную информацию (максимальную температуру нагрева сосуда с жидкостью) и разрешение на проведение эксперимента.
3. Выполнить задание по градуировке термопары.
 - 3.1 Отсоединить гальванометр от электрической цепи, выставить стрелку на нуль и подсоединить гальванометр в цепь.
 - 3.2 Записать в таблицу 2.1 температуру спаи, который не нагревается – T_2 .
 - 3.3 Включить нагревательный элемент (электрическую плитку), на котором находится сосуд с другим спаем.
 - 3.4 Записать показание гальванометра и температуру спаи T_1 , который нагревается, в таблицу 2.1. Шаг изменения температуры выбрать самостоятельно (не более 5°).

Таблица 2.1 – Результаты измерений

№ п/п	T_1	T_2	$\Delta T = T_1 - T_2$	I	ε
	K	K	K	A	B

Обработка результатов эксперимента

1. Построить градуировочную кривую, откладывая по оси абсцисс значения разности температур, а по оси ординат – значение силы тока I ($I = f(\Delta T)$).

2. По формуле (2.2) рассчитать значение ε и записать в таблицу 2.1.

Принять: $\ln \frac{n_1}{n_2} = 1$.

3. Построить график $\varepsilon = \varphi(\Delta T)$.

4. Проанализировать и сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Дать определение работы выхода электрона из вещества
2. Что называется контактной разностью потенциалов?
3. Дать определения внутренней и внешней контактной разности потенциалов? Чем они определяются?
4. Объяснить физическую суть эффектов Зеебека, Пельтье и Томсона.
5. Что означает проградуировать термопару?
6. Какие преимущества датчика температур на основе термопары в сравнении с другими приборами для измерения температур?
7. Объяснить электропроводность металлов с точки зрения электронной теории.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема. Изучение фотоэлектрических свойств фотосопротивления (фоторезистора).

Цель. Изучить физические свойства полупроводников, сопротивление которых меняется под действием света (электромагнитного излучения), уметь снять вольтамперные и световые характеристики фотосопротивления и проанализировать полученные результаты.

Приборы и оборудование. Понижающий трансформатор, источник света, реостат, блок питания, потенциометр, фотосопротивление, вольтметр, микроамперметр.

Практическое значение. Фотосопротивления используются в приборах, которые измеряют уровень искусственной и естественной освещенности на рабочих местах, в системах автоматической охраны, в многочисленных счетчиках, устройствах для измерения перемещений, вибраций при испытаниях автотранспорта и дорожных машин. Фотосопротив-

ления и фотодиоды, установленные на спутниках, следят за запуском ракет.

Краткие теоретические сведения

Вещества, которые меняют свое электрическое сопротивление под действием света, называются фотосопротивлениями (фоторезисторами).

Свет, падая на фотосопротивление, освобождает из его кристаллической решетки электроны, то есть имеет место явление внутреннего фотоэффекта. Носители тока (электроны и «дырки»), которые образовались при этом, под влиянием приложенного к кристаллу электрического поля, приходят в движение. Проводимость кристалла возрастает, то есть уменьшается электрическое сопротивление фоторезистора.

Фотосопротивлением является обычное омическое сопротивление, состоящее из слоя полупроводника, который находится между двумя проводящими электродами.

Если фотосопротивление рассчитано на работу в области собственной проводимости, максимум спектральной чувствительности фоторезистора будет соответствовать энергии фотонов, приблизительно равных энергии образования пары электрон-дырка в данном полупроводнике.

Если фоторезистор рассчитан на работу в области примесной проводимости, максимум спектральной чувствительности будет соответствовать энергии фотонов, приблизительно равных энергии ионизации примеси.

Чем меньше энергия ионизации примеси, тем более длинноволновое излучение способен зарегистрировать фоторезистор и тем ниже должна быть рабочая температура фоторезистора, во избежание ионизации примеси за счет тепловых колебаний решетки. Поэтому фоторезистор, предназначенный для регистрации длинноволнового излучения, необходимо охлаждать.

Чем меньшее время жизни неравновесных носителей заряда, тем быстрее будет реагировать фоторезистор на смену светового потока.

Некоторые из самых важных параметров фоторезисторов определяются в основном свойствами полупроводникового материала, из которого они изготовлены. К ним принадлежат темновое сопротивление, диапазон спектральной чувствительности и быстродействие.

Темновое сопротивление определяется темновой проводимостью полупроводникового материала и его геометрическими размерами. Для фоторезисторов разных типов оно лежит в пределах от 10^2 Ом до 10^8 Ом. Небольшие значения темнового сопротивления характерны для фотосопротивлений с высоким быстродействием, большие величины темнового сопротивления – для относительно медленных, но чувствительных фоторезисторов.

Диапазон спектральной чувствительности, то есть диапазон длин волн, к которым чувствительно фотосопротивление, и длина волны, соответствующая максимуму чувствительности, определяются фундаментальными свойствами полупроводникового материала (величиной энергии образования электронно – дырочной пары и энергией ионизации примеси).

Быстродействие фоторезисторов характеризуется постоянной времени убыли и нарастания фототока τ (временами жизни лишних электронов). Величина τ для фоторезисторов разных типов лежит в пределах от 10^{-2} с до 10^{-10} с. Быстродействующие фоторезисторы используются для проведения физических экспериментов, в которых необходимо фиксировать изменение во времени быстропеременных световых потоков.

Важность других параметров определяется характером применения фоторезисторов. Несмотря на огромное разнообразие схем и устройств, в которых используются фоторезисторы, можно условно выделить два типа фотосопротивлений.

К первому типу принадлежат фоторезисторы, которые применяются в схемах со специальным подсвечиванием (счетчики, фотореле, измерители угловых ускорений и перемещений, охранительные системы и т. д.). Для таких фоторезисторов, работающих при больших световых потоках, определяющим параметром является кратность изменения сопротивления K (при определенном уровне подсвечивания). Величина K равна отношению темнового сопротивления R_T к сопротивлению освещенного фоторезистора. Типичное значение лежит в пределах 10^2 до 10^3 (при освещенности 200–300 лк).

Характер применения фоторезисторов второго типа основан на способности выявлять минимально возможные уровни световых (лучистых) потоков. Для таких фоторезисторов главный параметр получил естественное название – поисковая способность. По определению поисковая способность обратно пропорциональна минимальной мощности, которую способен зарегистрировать фотоприемник. Эти фоторезисторы применяются в приборах ночного видения, для наблюдения за поверхностью Земли из космоса.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из двух автономных электрических цепей.

1. Электрическая цепь (рисунок 3.1) предназначена для регулирования яркости источника света ИС. Она состоит из понижающего трансформатора ТР, источника света ИС и переменного сопротивления R_1 со шкалой яркости.

2. Электрическая цепь (рисунок 3.2) предназначена для регулирования напряжения на фотосопротивлении ФС. Оно состоит из блока пита-

ния БП, потенциометра R_2 для регулирования напряжения, фотосопротивления ФС. Для контроля напряжения и силы тока служит вольтметр V и микроамперметр μA .

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, разобраться с принципиальной электрической схемой (рисунок 3.1 и рисунок 3.2).

2. Получить у преподавателя начальную информацию и разрешение на проведение экспериментов.

3. Выполнить задания.

Начальная информация, которую выдает преподаватель, включает:

1. Величины освещенности, которые задаются яркостью B_e источника света (лампочки) и расстоянием l от источника света до фотосопротивления.

2. Величины напряжения U , которые подаются на фотосопротивление при снятии световых характеристик.

Задание 1. Снятие вольтамперных характеристик фотосопротивления

1. Устанавливается источник света на заданном расстоянии от фотосопротивления.

2. Сопротивлением R_1 задается яркость источника света B_e .

3. Меняя потенциометром R_2 напряжение U , приложенное к фотосопротивлению, записываем значение силы тока в цепи I . Напряжение измеряется вольтметром V , а сила тока – микроамперметром μA .

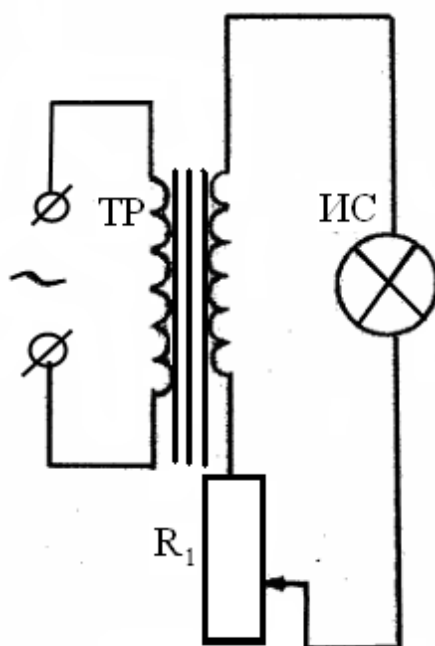


Рисунок 3.1 – Электрическая цепь регулирования яркости источника света

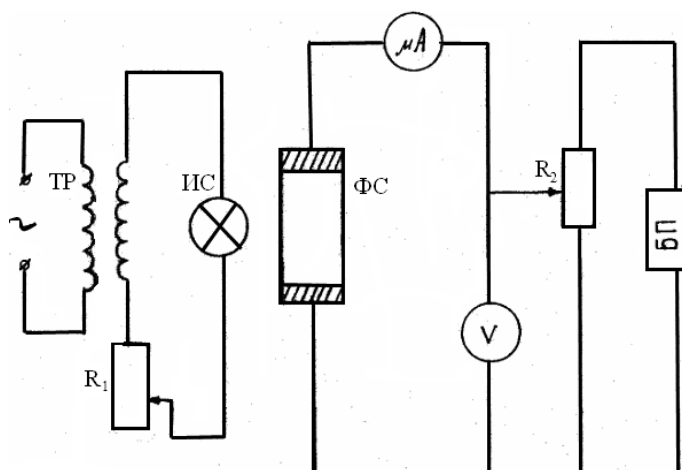


Рисунок 3.2 – Электрическая цепь регулирования напряжения на фотосопротивлении

4. Результаты эксперимента записываем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Определение вольтамперных характеристик фотосопротивления

$E \begin{cases} B_e = 0 \\ l = \end{cases}$		$E \begin{cases} B_e = \\ l = \end{cases}$		$E \begin{cases} B_e = \\ l = \end{cases}$		$E \begin{cases} B_e = \\ l = \end{cases}$	
U	I	U	I	U	I	U	I
В	мкА	В	мкА	В	мкА	В	мкА

Задание 2. Снятие световых характеристик фотосопротивления

1. Устанавливается источник света на заданном расстоянии l от фотосопротивления.

2. Меняем освещенность фотосопротивления, меняя яркость источника света B_e сопротивлением R_2 . Записываем значение силы тока I .

3. Яркость источника света B_e измеряется в условных единицах (усл. ед. ярк.). Шкала яркости нанесена на сопротивлении R_1 .

4. Результаты эксперимента записываем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Определение световых характеристик фотосопротивления

$U =$ $l =$		$U =$ $l =$		$U =$ $l =$		$U =$ $l =$	
B_e	I	B_e	I	B_e	I	B_e	I
усл. ед. ярк.	мкА	усл. ед. ярк.	мкА	усл. ед. ярк.	мкА	усл. ед. ярк.	мкА

Обработка результатов экспериментов

1. Вольтамперные характеристики представить в виде семейства графиков $I = f(U)$ (в одной системе координат) и сделать выводы.

2. Световые характеристики представить в виде семейства графиков $I = f(B_e)$ (в одной системе координат) и сделать выводы.

3. Определить основные параметры фотосопротивления:

а) темновое сопротивление;

б) кратность изменения сопротивления при разной освещенности.

E – освещенность фотосопротивления (задается яркостью B_e и расстоянием l от источника света до фоторезистора).

Записать: $E (B_e = \dots ; l = \dots)$.

Контрольные вопросы и задачи

1. Какое явление называется фотоэффектом? Его виды.
2. Что называется фотопроводимостью?
3. Какие устройства называются фотосопротивлениями?
4. Что определяет вольтамперная характеристика?
5. Что определяет световая характеристика фотосопротивления?
6. Как определяются основные параметры фотосопротивления (темновое сопротивление, кратность изменения сопротивления, диапазон спектральной чувствительности, быстродействие, поисковая способность)?
7. Какие элементы служат материалом для фотосопротивлений?
8. На графиках (рисунок 3.3 и рисунок 3.4) приведены зависимости сопротивлений металла и полупроводника от температуры. Чем объясняется отличие данных зависимостей?

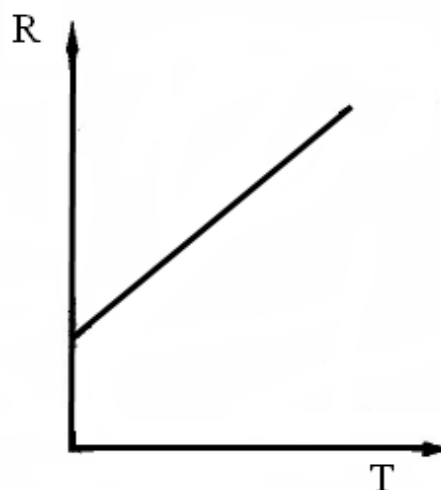


Рисунок 3.3 – График зависимости сопротивления металла от температуры

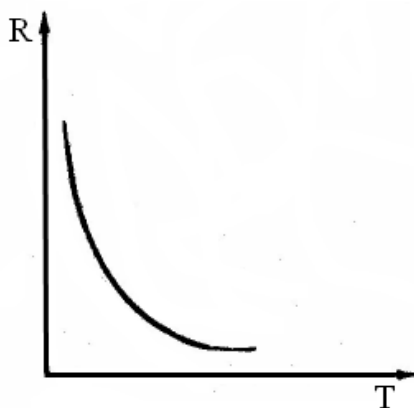


Рисунок 3.4 – График зависимости сопротивления полупроводника от температуры

9. На рисунке 3.5 приведена зависимость силы тока I от напряжения U для фотосопротивления при некоторой освещенности E . Как будет меняться эта зависимость при изменении освещенности?

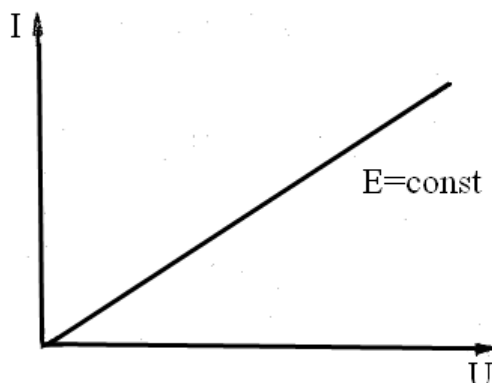


Рисунок 3.5 – График зависимости тока от напряжения для фотосопротивления при $E = \text{const}$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема. Снятие вольт – амперных характеристик селенового и германиевого диодов

Цель. Изучить свойства полупроводников, принцип работы ($p - n$) – перехода, уметь снять вольт – амперную характеристику полупроводникового диода и проанализировать полученные результаты.

Приборы и оборудование. Селеновый и германиевый диоды, миллиамперметр, микроамперметр, потенциометры, одно – и двухполюсные ключи.

Практическое значение. Полупроводниковые приборы: датчики Холла, диоды, лавинные диоды, транзисторы широко используются в быту, промышленности, в научных исследованиях и сельском хозяйстве. В

автомобильном транспорте полупроводниковые приборы применяются в электронном зажигании, в системах контроля безопасности движения.

Краткие теоретические сведения

Между частями полупроводникового кристалла, одна из которых легирована донорной, а другая – акцепторной примесью, возникает энергетический (потенциальный) барьер ($p - n$) – перехода. При отсутствии внешнего напряжения высота этого барьера приблизительно равна ширине запрещенной зоны полупроводника.

Обратное внешнее напряжение («плюс» которого приложен к n – области перехода, а «минус» – к p – области) увеличивает высоту барьера. Через ($p - n$) – переход при этом течет очень маленький обратный ток и ($p - n$) – переход является сопротивлением очень большой величины. При прямом напряжении («плюс» внешнего напряжения приложен к p – области, а «минус» – к n – области диода) высота барьера снижается. Величина прямого тока значительно увеличивается и даже при небольшом напряжении может достигать больших значений. В этом случае ($p - n$) – переход является сопротивлением малой величины.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из собранной электрической цепи (рисунок 4.1).

Селеновый и германиевый диоды смонтированы на одной панели. Однополюсный ключ K служит для поочередного включения в цепь или селенового, или германиевого диодов. Двухполюсный ключ $ПК$ дает возможность менять направление тока через диод. Величина прямого тока измеряется миллиамперметром mA , а обратного – микроамперметром μA (μA). Напряжение на диоды подается с помощью потенциометра R_2 . Потенциометр R_1 предназначен для установки максимального напряжения (выполняет роль ограничителя напряжения).

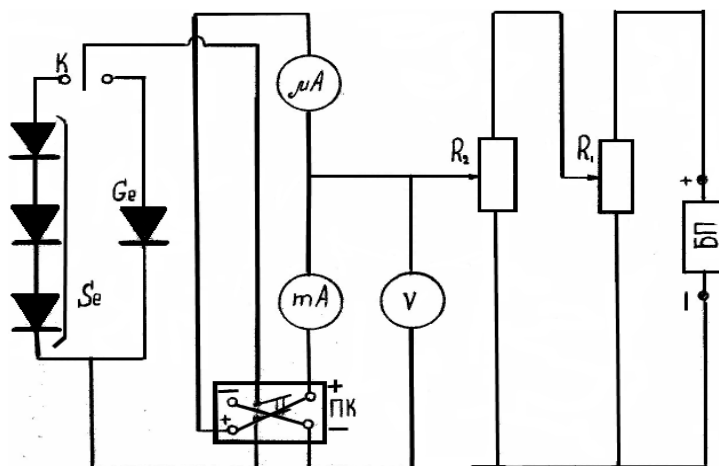


Рисунок 4.1 – Электрическая цепь лабораторной установки

Напряжение измеряется вольтметром V и на лабораторную установку подается от блока питания ВС – 24 М.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой. Разобраться в принципиальной электрической схеме (рисунок 4.1).

2. Получить от преподавателя начальную информацию и разрешение на проведение экспериментов.

Начальная информация, которую выдает преподаватель, включает:

- величину исходного напряжения на блоке питания;
- величину максимального напряжения, которое подается на диоды;
- выполнение заданий.

Задание 1. Снять вольтамперную характеристику германиевого диода.

1. Потенциометры R_1 и R_2 установить в начальное положение, то есть они должны быть отключены от электрической цепи.

2. Включить блок питания, отрегулировав входное напряжение (согласно указаниям преподавателя).

3. Потенциометры R_1 и R_2 устанавливаются так, чтобы вольтметр показывал максимальное напряжение, заданное преподавателем. В процессе дальнейшей работы положение движка потенциометра R_1 не меняем.

4. Потенциометр R_2 устанавливаем в начальное положение, то есть он должен быть выведен из электрической цепи (на вольтметре – нуль).

5. Переключатель тока ПК устанавливаем в положение «прямой ток».

6. Включаем в электрическую цепь с помощью ключа К германиевый диод.

7. Потенциометром R_2 меняем напряжение, которое подается на германиевый диод в пределах $0 \leq U \leq U_{\max}$. Записываем значение величины напряжения и силы прямого тока (показание миллиамперметра) в таблицу.

8. Возвращаем потенциометр R_2 в начальное положение (на вольтметре – нуль).

9. Переключатель тока ПК устанавливаем в положение «обратный ток».

10. Меняем напряжение, которое подается на германиевый диод в пределах $0 \leq U \leq U_{\max}$. Записываем величины напряжения и силы обратного тока (показания микроамперметра μA) в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений для Ge

№ п/п	Германиевый диод Ge				
	$U_{np} (B)$	$I_{np} (mA)$	$U_{обр} (B)$	$I_{обр} (мкА)$	$K = \frac{I_{np}}{ I_{обр} }$

Задание 2. Снять вольт – амперную характеристику селенового диода.

1. Потенциометр R_2 устанавливаем в начальное положение, то есть он должен быть выведен из электрической цепи (на вольтметре – нуль).

2. С помощью ключа K в электрическую цепь включаем селеновый диод.

3. Повторить пункты 4 – 10 задания 1 и данные записать в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты измерений для Se

№ п/п	Селеновый диод Se				
	$U_{np} (B)$	$I_{np} (mA)$	$U_{обр} (B)$	$I_{обр} (мкА)$	$K = \frac{I_{np}}{ I_{обр} }$

Обработка результатов эксперимента

1. Вольт – амперные характеристики представить в виде графиков $I = f(U)$ (в одной системе координат для германиевого и селенового диодов) и сделать выводы. Строят вольт – амперные характеристики германиевого и селенового диодов, откладывая на оси абсцисс значения напряжения, а по оси ординат – значения силы тока. Прямое напряжение и ток откладывают на положительной полуоси, а обратное напряжение и ток – на отрицательной.

2. Вычислить коэффициент выпрямления K при соответствующем напряжении (при условии, что $I_{обр}$ отлично от нуля).

Контрольные вопросы и задачи

1. По каким признакам вещества делятся на проводники, полупроводники, диэлектрики?

2. Что называется собственной проводимостью полупроводников?

3. Какие причины вызывают генерирование пар электрон – дырка?

4. Почему при неизменных внешних условиях количество свободных носителей зарядов в полупроводнике остается постоянным, несмотря на

то, что генерация пар электрон - дырка происходит непрерывно?

5. Как внешнее электрическое поле влияет на электропроводность полупроводника?

6. Какие полупроводники называются примесными?

7. Объясните вольт – амперную характеристику диода. Почему прямой ток в $(p-n)$ – переходе значительно больше обратного при одинаковой величине напряжения?

8. Чем создается обратный ток в $(p-n)$ – переходе?

9. Объяснить работу выпрямителей (рисунки. 4.2, 4.3, 4.4). Нарисовать и сравнить графики входного напряжения (силы тока) и напряжения (силы тока) на сопротивлении R нагрузки для каждой схемы.

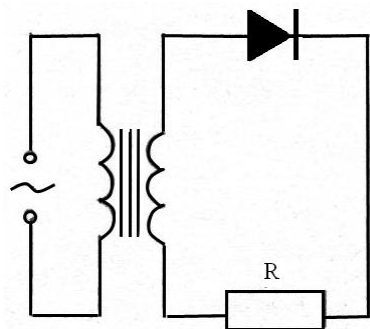


Рисунок 4.2 – Электрическая цепь с одним диодом

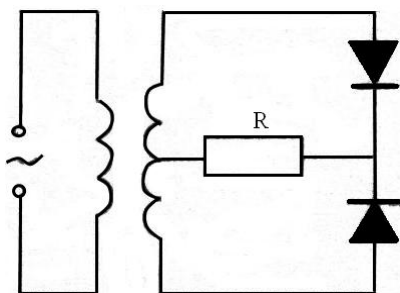


Рисунок 4.3 – Электрическая цепь с двумя диодами

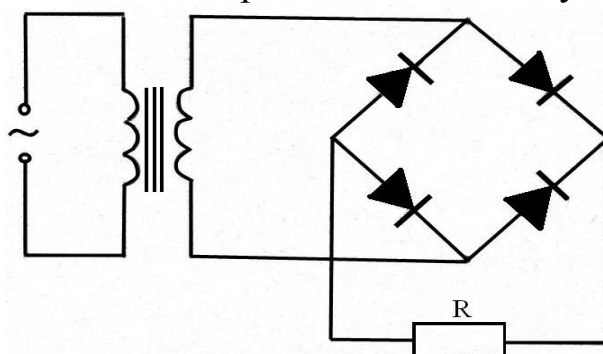


Рисунок 4.4 – Электрическая цепь с четырьмя диодами

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Тема. Определение абсолютной активности радиоактивного бета-излучателя

Цель. Изучить основные методы регистрации радиоактивных излучений и частиц, уметь определять активность радиоактивных препаратов.

Приборы и оборудование. Счетчик Гейгера – Мюллера, пересчетный прибор ПР – 20, блок питания, секундомер, радиоактивный бета – излучатель.

Практическое значение. Устройства, которые изучаются, лежат в основе дозиметрической аппаратуры, используемой в целях контроля за работой разных радиационных технических установок и охраны работы обслуживающего персонала.

Краткие теоретические сведения

В данной работе регистрация β – частиц проводится с помощью газового счетчика Гейгера – Мюллера (СГМ).

В основе работы СГМ лежит самостоятельный газовый разряд. Конструктивно он выполнен в виде проводящего цилиндра (катода), изготовленного из алюминия и центральной вольфрамовой нити (анода), изолированной от цилиндра (рисунок. 5.1).

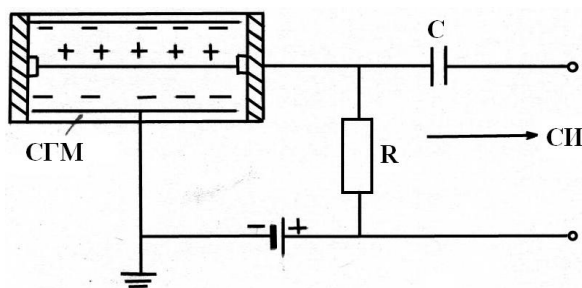


Рисунок 5.1 – Схема газового счетчика Гейгера – Мюллера

Заряженные частицы высоких энергий (α , β и др.) внедряются через стенки счетчика. Возникающий самостоятельный разряд кратковременный, поскольку разрядный ток создает падение напряжения на сопротивлении R ($R \sim 10^9$ Ом) и напряжение между электродами уменьшается настолько, что энергии электронов или ионов уже недостаточно для ионизации встречных молекул. Происходит быстрая рекомбинация электронов и ионов, и газовый разряд прекращается. Счетчик приходит в начальное состояние и может регистрировать другую частицу.

Таким образом, каждая частица, попадая в счетчик, дает импульс тока и прыжок напряжения на R , который можно зарегистрировать счетчиком импульсов (СИ). Если мощность излучения большая, то счетчик не

успевает срабатывать и надо использовать другие приборы. Следует отметить, что величина τ зависит от наличия добавок (этилена, паров эфира) в среде счетчика, которые ускоряют гашение разрядов и уменьшают τ .

При измерении числа импульсов (частиц) N с помощью счетчика Гейгера – Мюллера необходимо учитывать наличие фона N_{ϕ} , который обусловлен космическим излучением, радиоактивным загрязнением среды. Поэтому N приобретает значение

$$N = N_i + N_{\phi}, \quad (5.1)$$

где N – измеренное число импульсов;

N_i – число импульсов, полученных от исследуемого препарата (β – источником);

N_{ϕ} – натуральный фон.

Величина N_{ϕ} зависит от времени года, места нахождения установки и т. д. и должна определяться каждый раз перед измерением. Следует отметить, что при постоянных N_{ϕ} и N_i величина N будет зависеть от приложенного напряжения U между электродами.

График зависимости $N(U)$ называется счетной характеристикой счетчика Гейгера – Мюллера (рисунок 5.2).

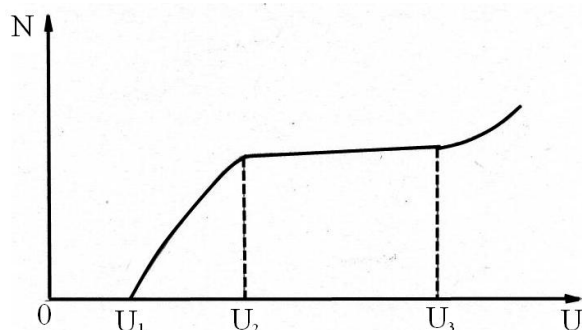


Рисунок 5.2 – График зависимости $N(U)$

Напряжение U_1 соответствует началу ударной ионизации, которая переходит в самостоятельный разряд, но не для всех частиц, которые попадают в счетчик. В интервале напряжения $U_2 - U_3$ (участок плато) практически любая частица, которая попадает в счетчик, будет зарегистрирована. Эта область относительной независимости числа импульсов от напряжения отвечает устойчивому режиму работы счетчика. При увеличении напряжения $U > U_3$ в счетчике начинается непрерывный газовый разряд, соответствующий пробоем диэлектрика, и счетчик становится непригодным для работы.

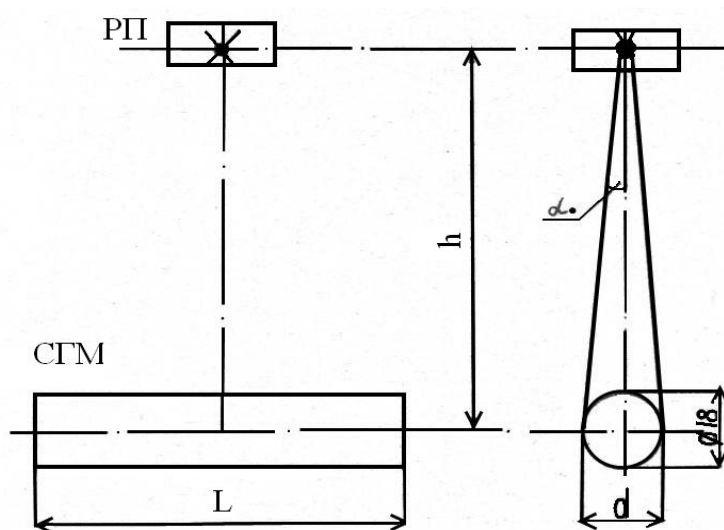
При проведении измерений активности препарата необходимо иметь

в виду, что число зарегистрированных счетчиком импульсов не равно числу частиц, которые испускаются препаратом. Это объясняется наличием натурального фона и тем, что не все частицы, которые испускаются препаратом, попадут в чувствительный объем счетчика. Счетчик регистрирует лишь те частицы, которые распространяются в пределах телесного угла ω , который можно вычислить по формуле:

$$\omega = \frac{\alpha_0}{180^0} \frac{L}{\sqrt{L^2 + h^2}}, \quad (5.2)$$

где $\operatorname{tg} \alpha_0 = d / 2h$.

Объяснение к формуле (5.2) дает рисунок 5.3.



РП – радиоактивный препарат;

СГМ – счетчик Гейгера – Мюллера;

d – диаметр трубки СГМ;

L – длина активной части СГМ;

h – высота расположения радиоактивного препарата над осью СГМ.

Рисунок 5.3 – Схема лабораторной работы

Абсолютная активность препарата в беккерелях будет определяться по формуле

$$A = \frac{4\pi}{t_3 \omega} N_i, \quad (5.3)$$

где $\pi = 3,14$;

ω – телесный угол, который высчитывается по формуле (5.2);

$N_i = N - N_\phi$ – число импульсов, полученных от исследуемого препарата (на основании формулы (5.1));

t_3 – время измерения, с.

Активность в системе СИ измеряется в беккерелях. Беккерель – это активность такого препарата, который дает один распад (импульс) в секунду.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из секундомера, радиометра Б-3 и радиоактивного препарата.

Радиометр Б-3 состоит из:

- а) счетчика Гейгера – Мюллера;
- б) пересчетного прибора ПР-20, что включает входное устройство, пересчетное устройство, собранное на газоразрядных лампах (декатронах);
- в) блока питания.

Радиоактивный препарат размещен в камере из плексигласа, которая может перемещаться на штативе.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой.
2. Получить от преподавателя начальную информацию и разрешение на проведение эксперимента. Начальная информация включает высоту h расположения радиоактивного препарата над осью СГМ, продолжительность измерения t_3 (не меньше трех минут) и количество измерений n (не меньше трех).

Выполнить задания.

Задание 1. Проверка количества импульсов при подключении радиометра Б-3 к сети переменного тока

3. Подключить радиометр к сети переменного тока.
4. Включить радиометр. Прибор должен прогреться несколько минут.
5. Счетчик установить на нуль, нажав клавишу «сброс».
6. Подключить счетчик к сети переменного тока, нажав клавишу «проверка», одновременно включить секундомер.
7. После окончания времени проверки t_{np} нажать клавишу «стоп» и выключить секундомер. Время проверки $t = (60...120)$ с. Записать показания счетчика N_n и время проверки t_{np} в таблицу 5.1.
8. Сделать вывод о правильности работы пересчетного устройства (сравнить величины N_n/t_{np} с частотой сменного тока $\nu = 50$ Гц).

Убедившись в правильной работе счетчика, приступить к выполнению следующих заданий.

Таблица 5.1 – Результаты измерений

$t_{np} =$ $N_n =$	$\frac{N_n}{t_{np}} =$		$v =$
$L =$	$d =$	$n =$	$t_3 =$
№ _{зп}	N_ϕ	N	
1			
2			
3			
$\sum_{k=1}^n N_{\Phi_K} =$		$\sum_{K=1}^n N_K =$	

Задание 2. Определение натурального фона

1. Прогретый счетчик импульсов установить на нуль, нажав клавишу «сброс».

2. Подключить счетчик импульсов к счетчику Гейгера – Мюллера, нажать клавишу «проверка», одновременно включается секундомер.

3. После окончания времени измерения одновременно нажать клавишу «стоп» и выключить секундомер.

4. Записать показание счетчика импульсов N_ϕ в таблицу 5.1.

5. Повторить п. 1 – 4 не меньше n раз (n – количество измерений).

Задание 3. Определение активности изотопа

1. Расположить штатив на столе так, чтобы камера с радиоактивным препаратом симметрично располагалась над счетчиком Гейгера – Мюллера на заданной высоте h .

2. Прогретый счетчик импульсов установить на нуль, нажав на клавишу «сброс».

3. Подключить счетчик импульсов к счетчику Гейгера – Мюллера, нажав клавишу «пуск», одновременно включается секундомер.

4. После окончания времени измерения t_3 одновременно нажать клавишу «стоп» и выключить секундомер.

5. Записать показание счетчика импульсов N в таблицу 5.1.

6. Повторить п. 2 – 5 не меньше n раз.

По каждому заданию сделать вывод.

Обработка результатов эксперимента

Определить активность препарата по формуле

$$A = \frac{\left(\sum_{K=1}^n N_K - \sum_{K=1}^n N_{\Phi K} \right)}{n \cdot t_3} \cdot \frac{4\pi}{\omega},$$

где n – число измерений;

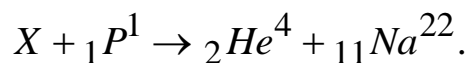
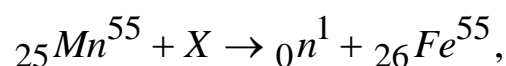
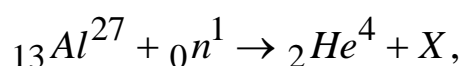
t_3 – время, с;

$\pi = 3,14$;

ω – определяется по формуле (5.2).

Контрольные вопросы и задачи

1. Что называется радиоактивностью?
2. Какому закону подчиняется радиоактивный распад? Вывести этот закон.
3. Что называется периодом полураспада $T_{1/2}$. Получите выражение для $T_{1/2}$.
4. Что называется активностью радиоактивного препарата? Единицы активности.
5. Виды радиоактивных преобразований. Их схемы.
6. Свойства радиоактивных излучений.
7. Что такое дефект массы ядра и энергия связи ядра? Как они вычисляются?
8. Что называется ядерной реакцией? Их типы. Как определяется энергетический выход ядерной реакции?
9. Написать отсутствующие обозначения X в следующих ядерных реакциях:



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Тема. Исследование биполярного транзистора с общей базой

Цель. Изучить принцип работы биполярного транзистора и научиться снимать его характеристики.

Приборы и оборудование. Блоки питания, транзистор, потенциометры, миллиамперметры, вольтметр, однополюсные ключи.

Практическое значение. Транзисторы являются главными элементами современной электроники. Поскольку транзистор может быть мик-

роминиатюрным, надежным и потреблять при работе мало энергии, то на его основе создаются интегральные схемы, микроминиатюрные приборы, которые применяются во всех областях народного хозяйства и в автомобилестроении.

Краткие теоретические сведения

Главными элементами современной электроники являются транзисторы или полупроводниковые триоды. Разработано два типа полупроводниковых триодов. Первый тип называется биполярным транзистором, а второй тип – полевым.

Физические принципы работы полевого и биполярного транзисторов абсолютно разные, но их основное назначение, из которого вытекают бесчисленные практические применения, одно и то же – усиление электрических сигналов. Сигнал, который поступил на вход транзистора, вызывает появление на выходе усиленного аналогичного сигнала.

Биполярные транзисторы

Строение биполярного транзистора схематично показано на рисунке. 6.1. Узкая область полупроводника n – типа размещается между двумя областями из полупроводника p – типа. Первая (левая) область p – типа называется эмиттером, средняя область n – типа – базой, а правая область p – типа – коллектором.

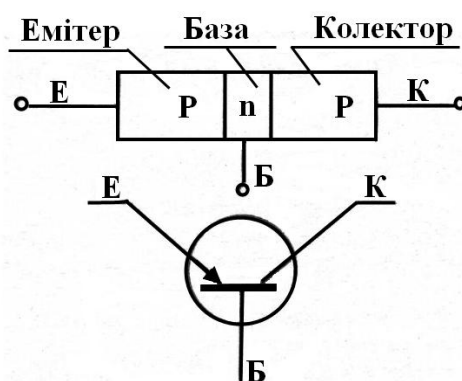


Рисунок 6.1 – Строение биполярного транзистора

Эмиттер сильно легирован. Он способен выпустить (инжектировать) в слаболегированную область (базу) такое число неосновных носителей, чтобы их концентрация значительно превышала начальную концентрацию основных носителей базы.

Основными параметрами базы являются длина и уровень легирования (концентрация примесей).

Рассмотрим как биполярный транзистор с общей базой усиливает электрические сигналы. Для того, чтобы транзистор мог выполнять свои

задачи к $(p-n)$ – переходу должно быть приложено определенное напряжение (рисунок 6.2).

Для усиления сигнала к коллекторному переходу ($(n-p)$ – переход между базой и коллектором) должно быть приложено обратное напряжение, а к эмиттерному переходу ($(p-n)$ – переход между эмиттером и базой) – прямое напряжение.

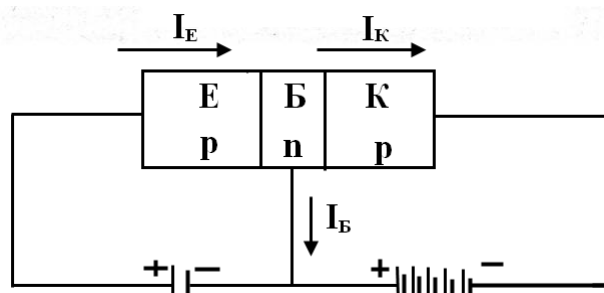


Рисунок 6.2 – Электрическая схема биполярного транзистора с общей базой

Выясним каким образом при выполнении необходимых условий транзистор приобретает способность усиливать сигналы. Чтобы уяснить принцип работы транзистора допустим, что база транзистора длинная (рисунок 6.3).

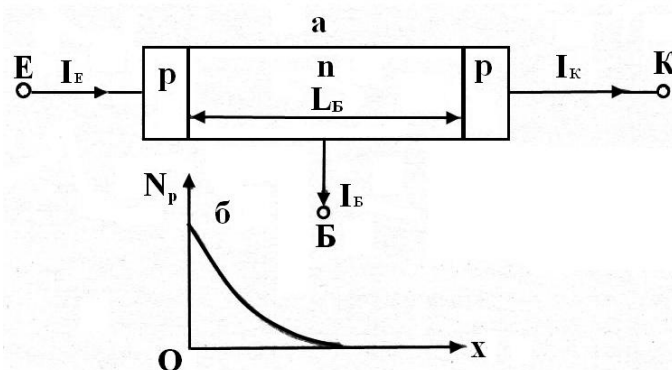


Рисунок 6.3 – График распределения дырок в базе (б)

Длина базы L_B значительно больше диффузной длины дырок L_p в ней, то есть $L_B/L_p \gg 1$, что является определением длинной базы. Явление диффузии возникает в результате разной концентрации электронов и дырок в разных элементах транзисторной структуры (возникает диффузный поток электронов из n – области в p – область, и наоборот).

Особенность этого вида диффузии в том, что лишние носители, диффундируя, рекомбинируют. Расстояние, которое проходят носители заряда от момента возникновения к рекомбинации, называется диффузной длиной (L_p – для дырок, L_n – для электронов). Процесс диффузии также характеризуется коэффициентом диффузии D , который определяется по

формуле Эйнштейна:

$$D = \frac{\kappa T}{e} \mu, \quad (6.1)$$

где κ – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура;

e – заряд электрона;

μ – подвижность дырок (электронов).

При длинной базе дырки полностью рекомбинируют и к коллекторному переходу не подходят.

Рассмотрим процессы в транзисторной структуре с узкой базой ($L_B/L_P \ll 1$). Эмиттерный и коллекторный переходы в такой структуре нельзя рассматривать как два изолированных ($p-n$) – перехода, потому, что поступление электронов в базу вызывает инжекцию дырок из эмиттера в базу. Поскольку расстояние к коллекторному переходу меньше, чем диффузная длина, то часть дырок будет выброшена полем перехода из базы в коллектор. Это, в свою очередь, означает, что коллекторный ток I_K будет определяться не только (и даже не столько) током коллекторного перехода, но и током дырок, которые переходят из базы в коллектор.

Ток дырок, которые захватываются коллектором, зависит от концентрации дырок в базе, которая определяется темпом поступления дырок в базу, то есть от тока эмиттера I_E . Этот ток, в свою очередь, зависит от величины тока базы I_B . Токи, которые протекают через все три электрода транзисторной структуры, зависимы друг от друга. Установим эту связь.

Усиление по току. Пусть в структуре с узкой базой задан ток базы I_B . Каждую секунду в базу поступают $N = I_B/e$ электронов (e – заряд электрона). Эти электроны вызывают инжекцию дырок из эмиттера. Часть дырок, которые поступили в базу, будет захвачена полем коллектора и перейдет в коллектор.

Электроны, которые поступили в базу, непременно должны рекомбинировать. Выйти из базы они не могут и скапливаться не должны. Это означает, что эмиттер должен инжектировать в базу дырок больше, чем в нее поступают электронов.

Чем тоньше база, тем большую часть входящих в базу дырок захватывает коллектор. Если база узкая ($L_B/L_P \ll 1$), то часть дырок α , которые захватываются коллектором, описывается выражением:

$$\alpha = 1 - \frac{L_B^2}{2L_P^2}. \quad (6.2)$$

В зависимости от типа и назначения транзистора отношение L_B/L_P

лежит в пределах 0,5 – 0,05. Таким образом, значение коэффициента α , который называется коэффициентом перенесения, для разных транзисторов может лежать в пределах от 0,9 до 0,999.

Итак, коллектор забирает от 0,9 до 0,999 от общего количества дырок, которые поступили из эмиттера (рекомбинируют с электронами, поступающими в базу, лишь малая часть дырок – от 0,1 до 0,001 от общего количества).

Вывод. Токи, поступающие в базу транзистора, вызывают появление в эмиттерной и коллекторной цепях токов в десятки, сотни и даже тысячи раз больше.

Таким образом, если подавать токовый сигнал, нуждающийся в усилении, на базу транзистора, а исходный сигнал регистрировать в коллекторной или эмиттерной цепи, то сигнал окажется усиленным. Коэффициент усиления транзистора по току β определяется отношением тока эмиттера I_E к току базы I_B

$$\beta = \frac{I_E}{I_B} = \frac{1}{1 - \alpha}. \quad (6.3)$$

Усиление по напряжению. На рисунке 6.4 показана схема включения транзистора в цепь усилителя. На переход эмиттер – база подается постоянное смещающее напряжение U_E в прямом направлении, а на переход база – коллектор – постоянное смещающее напряжение U_K в обратном направлении.

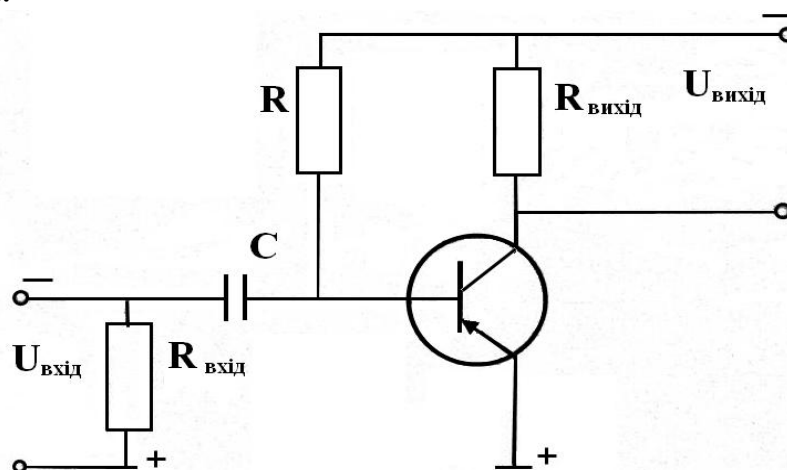


Рисунок 6.4 – Схема включения транзистора в цепь усилителя

Усиливаемое переменное напряжение $U_{ВХОД}$ подается на небольшое входное сопротивление $R_{ВХОД}$. Усиленное напряжение $U_{ВЫХОД}$ снимается с выходного сопротивления $R_{ВЫХОД}$. При указанных на схеме знаках смещающих напряжений сопротивление перехода эмиттер – база

небольшое, а сопротивление перехода база – коллектор, наоборот, очень большое. Это позволяет взять в качестве $R_{ВЫХОД}$ сопротивление большой величины. Подключение прямого напряжения U_E снижает потенциальный барьер на первом переходе, а подключение обратного напряжения U_K повышает потенциальный барьер на втором переходе.

Обусловленное изменением входного напряжения изменение тока в цепи эмиттера приводит к изменению количества дырок, проникающих в коллектор, и, таким образом, к изменению тока I_K в цепи коллектора.

Коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{\Delta U_{ВЫХОД}}{\Delta U_{ВХОД}} = (\beta - 1) \frac{R_{ВЫХОД}}{R_{ВХОД}}. \quad (6.4)$$

Усиление по мощности. Важной характеристикой схемы является коэффициент усиления по мощности, равный отношению мощности выходного сигнала $P_{ВЫХОД}$ к мощности входного сигнала $P_{ВХОД}$:

$$K_P = \frac{P_{ВЫХОД}}{P_{ВХОД}} = (\beta - 1)^2 \frac{R_{ВЫХОД}}{R_{ВХОД}}. \quad (6.5)$$

Повышенная мощность, которая снимается с прибора, появляется за счет источника тока, включенного в цепь коллектора.

Быстродействие транзистора. Быстродействие транзистора вместе с коэффициентом усиления по току β является одной из самых важных его характеристик. Быстродействие транзистора можно характеризовать предельной частотой, которую способна усиливать или генерировать транзисторная структура. Быстродействие зависит от физических параметров транзистора (ширина базы и т. д.) и от схемы включения транзистора, то есть от того, на какой электрод транзистора подается входной сигнал и из какого снимается выходной.

Если входной сигнал подается на эмиттер транзистора, а исходный сигнал снимается с коллектора, то предельная рабочая частота максимальна:

$$\nu \approx \frac{D_p}{L_B^2}, \quad (6.6)$$

где D_p – коэффициент диффузии дырок;

L_B – ширина базы;

ν – частота усиленного сигнала.

Современные сверхвысокочастотные биполярные транзисторы спо-

способны усиливать и генерировать сигналы с частотой до десятков гигагерц. Толщина базы таких транзисторов приблизительно $L_B = 0,1$ мкм.

Если сигнал подается на базу транзистора, а исходный снимается с коллектора, то в этом режиме транзистор способен усиливать и ток, и напряжение. В этом случае коэффициент усиления β максимален, а быстродействие в β раз меньше, чем предельно возможное. Аналогичными свойствами обладает и $(n-p-n)$ – транзисторная структура.

Из вышеизложенного видно, что в работе транзистора одинаково важную роль играют носители зарядов обоих знаков – электроны и дырки. Поэтому вышерассмотренная структура носит название биполярного транзистора.

Полевой транзистор

Прибор состоит из обычного плоского конденсатора, одной из обкладок которого служит слой металла, другая – пластина полупроводника (рисунок 6.5).

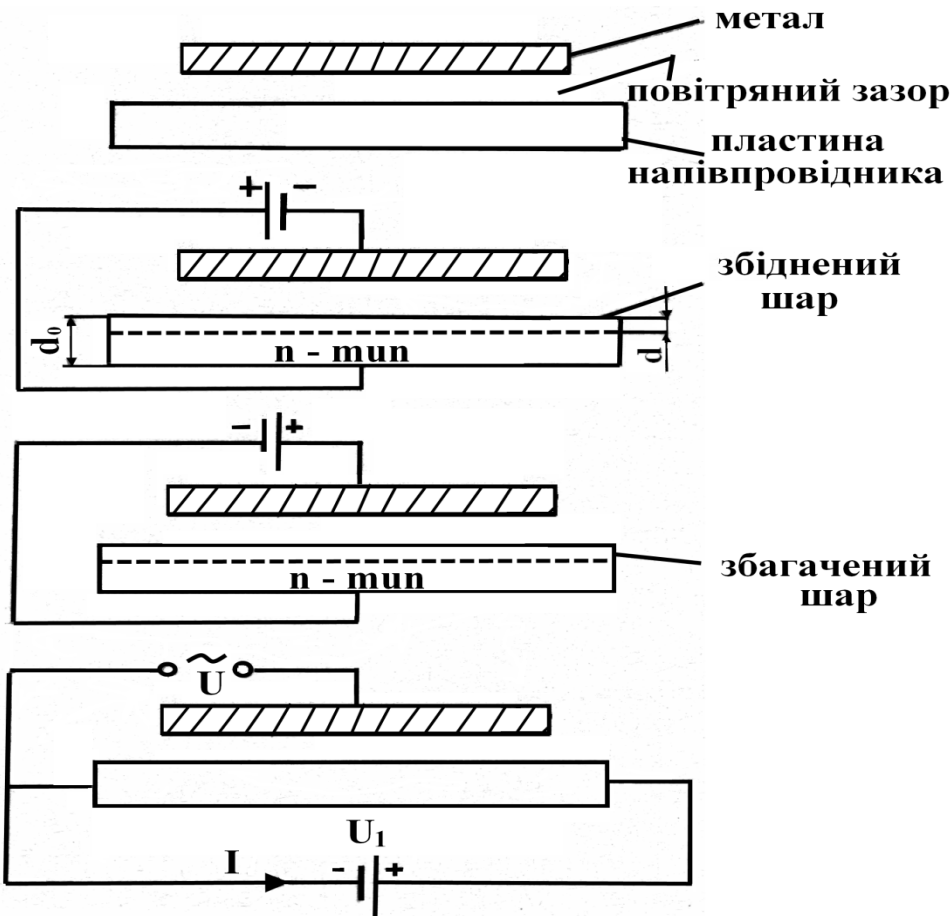
Если между обкладками такого конденсатора приложить напряжение, то в зазоре конденсатора возникнет электрическое поле E . На поверхности полупроводниковой пластины, там где она граничит с воздушным зазором, возникает поле $E_1 = E/\epsilon$, где ϵ – диэлектрическая проницаемость полупроводника. Возникшее на границе пластины поле внедряется в полупроводник на определенную глубину, зависящую от концентрации свободных носителей в полупроводнике. В зависимости от направления это поле может или вытеснить носители с поверхностного слоя полупроводника, создав слой, обедненный носителями, или, наоборот, обогатить поверхностный слой избыточными носителями заряда.

Если обкладками конденсатора служит полупроводник n – типа, как показано на рисунке 6.5, то при отрицательном потенциале на металлической пластине электроны будут вытесняться с поверхностного слоя полупроводника. При изменении полярности приложенного к конденсатору напряжения, поверхностный слой полупроводниковой пластины обогатится избыточными электронами.

Приложим вдоль полупроводниковой пластины напряжение от отдельного источника (рисунок 6.5). Если приложенное к конденсатору напряжение U имеет такую полярность, что часть полупроводниковой пластины обедняется носителями, то сопротивление пластины возрастает и ток I в цепи источника U_1 уменьшается. Если часть пластины обогащается свободными носителями, ее сопротивление падает, и сила тока увеличивается.

Ток, который протекает вдоль полупроводниковой пластины, управляется перпендикулярным к току электрическим полем. Если сигнал, ко-

торый управляет перезарядкой конденсатора U , будет слабее сигнала в цепи питания источника U_1 , то с помощью такого прибора будет реализовано усиление электрических сигналов.



d_0 – толщина полупроводниковой пластины

d – толщина обедненного или обогащенного слоя

Рисунок 6.5 – Строение полевого транзистора

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из собранной электрической цепи (рисунок 6.6).

Биполярный транзистор смонтирован на панели. В коллекторную цепь включены однополюсный ключ K_K , потенциометр R_1 , вольтметр V_K , миллиамперметр mA_K и источник питания $БП_K$.

В эмиттерную цепь включены однополюсный ключ K_E , потенциометр R_2 , микроамперметр mA_E , сопротивление R и источник питания $БП_E$.

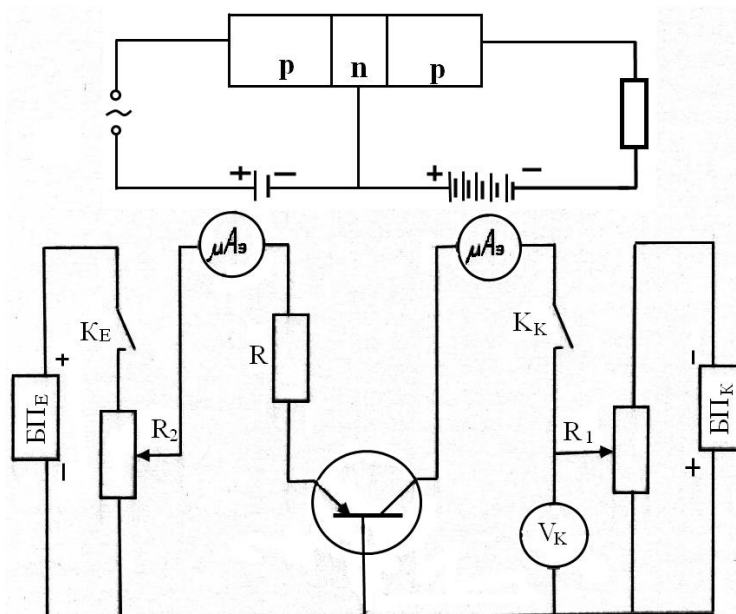


Рисунок 6.6 – Схема лабораторной установки

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Получить от преподавателя начальную информацию и разрешение на проведение эксперимента.

Начальная информация, которую выдает преподаватель, включает величины максимального напряжения, которые подаются на эмиттер (не больше 4 В) и коллектор (не больше 24 В).

3. Выполнить задания.

Задание 1. Исследовать зависимость тока коллектора I_K от напряжения на коллекторе U_K при $I_E = \text{const}$.

1. Проверить, чтобы цепь коллектора и эмиттера были разомкнуты (ключи K_K и K_E разомкнуты). Потенциометры R_1 и R_2 должны быть выведены.

2. Подключить блоки питания коллекторной и эмиттерной цепи. Установить на блоках питания максимальное напряжение для коллекторной и эмиттерной цепи согласно указаниям преподавателя.

3. Замкнуть ключи K_K и K_E .

4. При неизменном токе эмиттера снять зависимость тока коллектора от напряжения на коллекторе. Получить семейство характеристик $I_K = f(U_K)$ для четырех фиксированных значений тока эмиттера. Напряжение на коллекторе регулируется потенциометром R_1 и измеряется вольтметром V_K . Сила тока I_K измеряется микроамперметром μA_K .

5. Менять напряжение в коллекторной цепи в пределах $0 \leq U_K \leq U_{MAX}$.

6. Результаты измерений записать в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты измерений I_K и U_K

№зп	$I_E =$		$I_E =$		$I_E =$		$I_E =$	
	U_K	I_K	U_K	I_K	U_K	I_K	U_K	I_K
	В	мА	В	мА	В	мА	В	мА

7. Схемы привести в начальное состояние.

Задание 2. Исследовать зависимость тока коллектора I_K от тока эмиттера I_E .

1. Ключи K_K и K_E разомкнуты. Потенциометры R_1 и R_2 должны быть выведены. Подключить блоки питания коллекторной и эмиттерной цепи.

2. Установить на блоках питания максимальное напряжение для коллекторной и эмиттерной цепи согласно указаниям преподавателя.

3. Замкнуть цепи коллектора и эмиттера с помощью ключей K_K и K_E .

4. При неизменном напряжении на коллекторе ($U_K = \text{const}$) снять зависимость тока коллектора от тока эмиттера. Получить семейство характеристик $I_K = f(I_E)$ для четырех фиксированных значений напряжения на коллекторе. Ток эмиттера регулируется потенциометром R_2 и измеряется миллиамперметром mA .

5. Результаты измерений записать в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты измерений I_K и I_E

№зп	$U_K =$		$U_K =$		$U_K =$		$U_K =$	
	I_E	I_K	I_E	I_K	I_E	I_K	I_E	I_K
	мА	мА	мА	мА	мА	мА	мА	мА

Обработка результатов измерений

1. Характеристики $I_K = f(U_K)$ представить в виде семейства графиков в одной системе координат и сделать выводы.

2. Характеристики $I_K = f(I_E)$ представить в виде семейства графиков в одной системе координат и сделать выводы.

Контрольные вопросы и задачи

1. Какие вещества называются полупроводниками?

2. Какие подвижные носители зарядов есть в чистом полупроводнике?
3. Каким образом создают преимущественно дырочную и электронную проводимость?
4. Строение, принцип действия и применение ($p - n$) – перехода.
5. Что такое биполярный транзистор (триод)? Его назначение, строение, принцип действия.
6. Почему концентрация примесей в эмиттере биполярного транзистора значительно больше чем в базе?
7. Какой процесс называется рекомбинацией электронов и дырок?
8. Как определяются основные параметры биполярного транзистора: усиление по току, напряжению, мощности?
9. За счет какой энергии усиливаются электрические сигналы в транзисторе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Тема. Изучение полупроводникового триода с общим эмиттером

Цель. Исследовать работу полупроводникового триода в статическом режиме по схеме с общим эмиттером; изучить работу одиночного каскада усилителя по схеме с общим эмиттером; рассчитать характеристики транзистора; снять осциллограммы напряжения во всех характерных точках усилителя.

Приборы и оборудование: Стенд типа ЕС 4, ламповый вольтметр, электронный осциллограф.

Краткие теоретические сведения

Транзисторы – это полупроводниковые приборы с двумя ($p - n$) – переходами. Их подразделяют на две большие группы **биполярные** и **униполярные**.

В **биполярных транзисторах** в переносе электрического заряда в рабочем промежутке принимают участие основные и неосновные носители заряда. Для полупроводника с проводимостью p – типа основными носителями заряда являются положительно заряженные частицы – дырки, а неосновными – отрицательно заряженные электроны.

В **униполярных транзисторах** перенос электрических зарядов осуществляется основными носителями полупроводника проводящего слоя.

Биполярный транзистор имеет трехслойную структуру ($n - p - n$) или ($p - n - p$) – типа (рисунок 7.1).

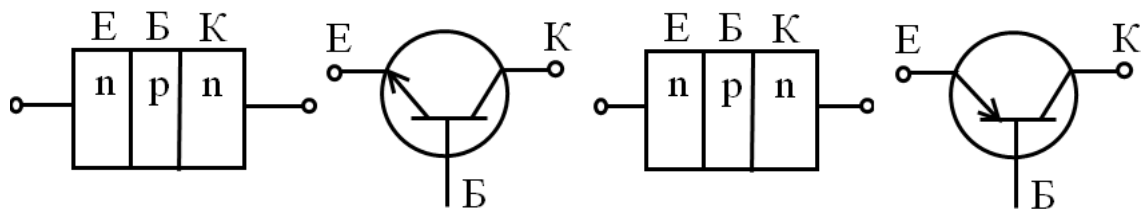


Рисунок 7.1 – Биполярные транзисторы

Средняя область между двумя $(p - n)$ – переходами называется **базой (Б)**. Толщина ее делается достаточно малой. Соседние области называются **эмиттером (Э)** и **коллектором (К)**. Соответственно $(p - n)$ – переход эмиттер – база называется эмиттерным, а переход база – коллектор – коллекторным.

Различают следующие режимы транзистора:

а) режим отсечения токов (режим закрытого транзистора), когда оба перехода смещены в обратном направлении (закрыты), токи в транзисторе малы;

б) режим насыщения (режим открытого транзистора), когда оба перехода смещены в прямом направлении, токи в транзисторе максимальны и не зависят от его параметров;

в) активный режим, когда эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный – в обратном.

В режимах отсечения и насыщения управление в транзисторе отсутствует. Напряжение между электродами (режим отсечения) и токи открытого транзистора (режим насыщения) определяются параметрами компонентов внешних цепей. В активном режиме эмиттерный ток $(p - n)$ – перехода руководит током коллектора. Активный режим называется усиительным.

В зависимости от общего электрода для входной и выходной цепей транзисторы можно включать тремя разными способами:

а) по схеме с **общим эмиттером ОЭ** (получают самое большое усиление);

б) по схеме с **общей базой ОБ** (наблюдается большая стабильность в работе);

в) по схеме с **общим коллектором ОК** (обладает высоким входным и низким исходным сопротивлением).

Схема включения и направление токов $(n - p - n)$ – транзистора с ОЭ, работающая в активном режиме, приведена на рисунке 7.2.

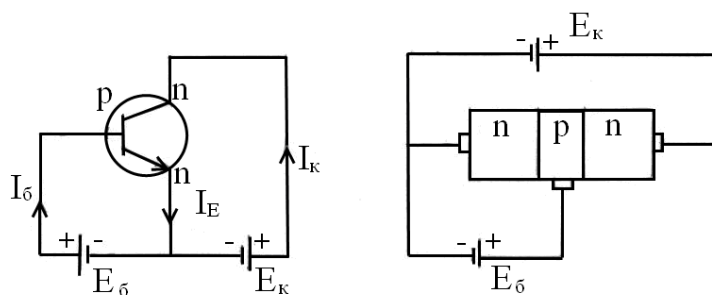


Рисунок 7.2 – Питание постоянным током ($n-p-n$) биполярного транзистора с ОЭ

Эмиттерный переход смещается в прямом направлении (к p – области подключен положительный полюс источника тока, а к n – области – отрицательный). Это приводит к инжекции (впрыскиванию) электронов из эмиттера n в базу p . Дырки из базы в эмиттер внедряются также легко, для них эмиттерный переход также включен в прямом направлении. Но концентрация дырок в базе значительно меньше концентрации свободных электронов в области эмиттера. Поэтому ток дырок из базы в область эмиттера можно пренебречь.

Одна десятая часть электронов рекомбинирует с дырками в области базы и через нее проходит слабый ток $I_{\bar{o}}$. Большая часть электронов диффундирует сквозь узкую область базы в поле коллекторного перехода, который для них открыт. Таким образом, ток коллектора практически равен току эмиттера, отличаясь от него на небольшую часть вследствие рекомбинации электронов в области базы.

Входное переменное напряжение, которое необходимо усилить, подается на участок база – эмиттер. С сопротивления нагрузки R_H снимают выходной сигнал (рисунок 7.3).

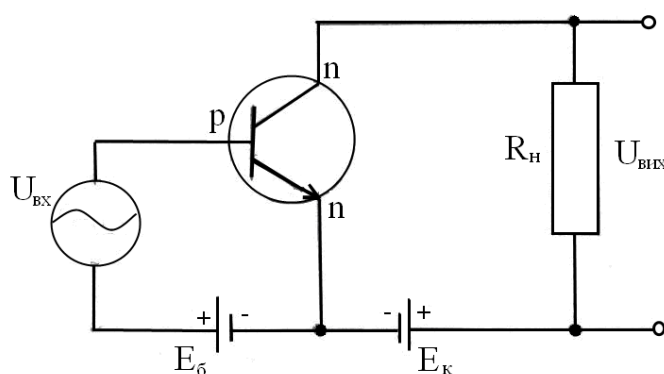


Рисунок 7.3 – Схема включения транзистора с ОЭ

Когда $R=0$, то режим **статический**. В этом случае зависимости между токами и напряжениями транзистора называют **статическими характеристиками**. Статические характеристики снимают при постоянном токе. В схеме с ОЭ входными характеристиками являются $I_{\bar{o}} = f(U_{\bar{o}e})$

при $U_{ке} = \text{const}$ ($U_{бe}, U_{ке}$ – напряжение сдвига), а выходными зависимостями $I_{к} = f(U_{ке})$ при $I_{б} = \text{const}$. По статическим характеристикам (рисунок 7.4, а, б) транзистора по схеме с ОЭ можно найти исходное сопротивление (около $20 \div 50$ кОм):

$$R_{ВЫХ} = \frac{\Delta U_{ке}}{\Delta I_{к}} \quad \text{при} \quad I_{б} = \text{const};$$

входное сопротивление (порядка $1 \div 5$ кОм);

$$R_{ВХ} = \frac{\Delta U_{бe}}{\Delta I_{б}} \quad \text{при} \quad U_{ке} = \text{const};$$

и коэффициент усиления тока базы

$$\beta = \frac{I_{к}}{I_{б}} \quad \text{при} \quad U_{ке} = \text{const};$$

обычно $\beta = 10 \div 1000$.

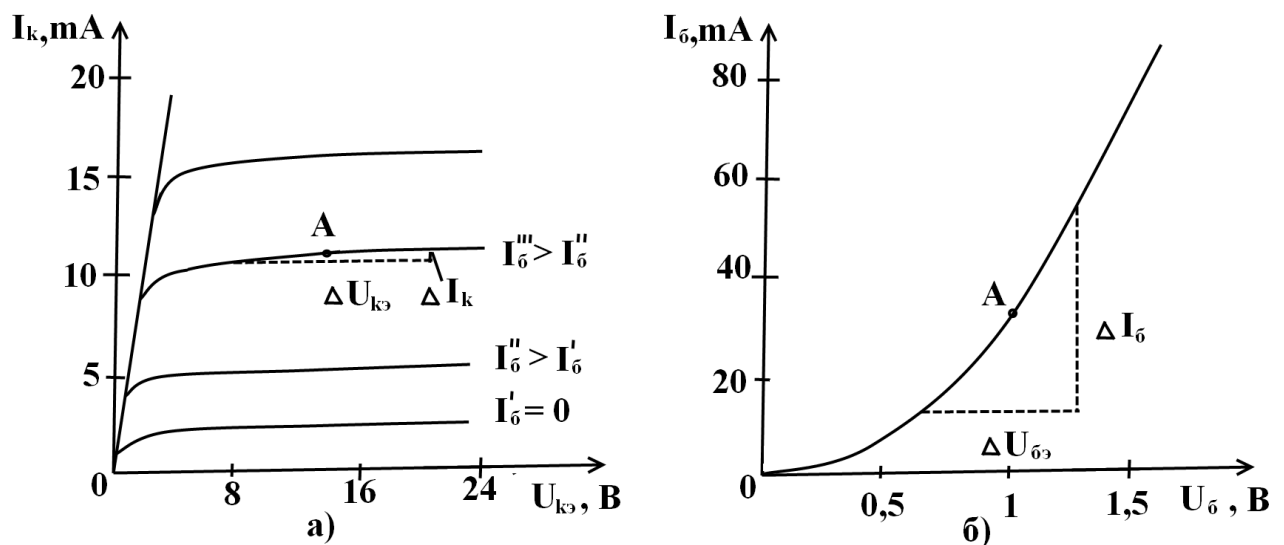


Рисунок 7.4 – Статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ а) выходные; б) входные.

Описание принципиальной схемы

Принципиальная схема стенда ЕС 4 показана на рисунке 7.5.

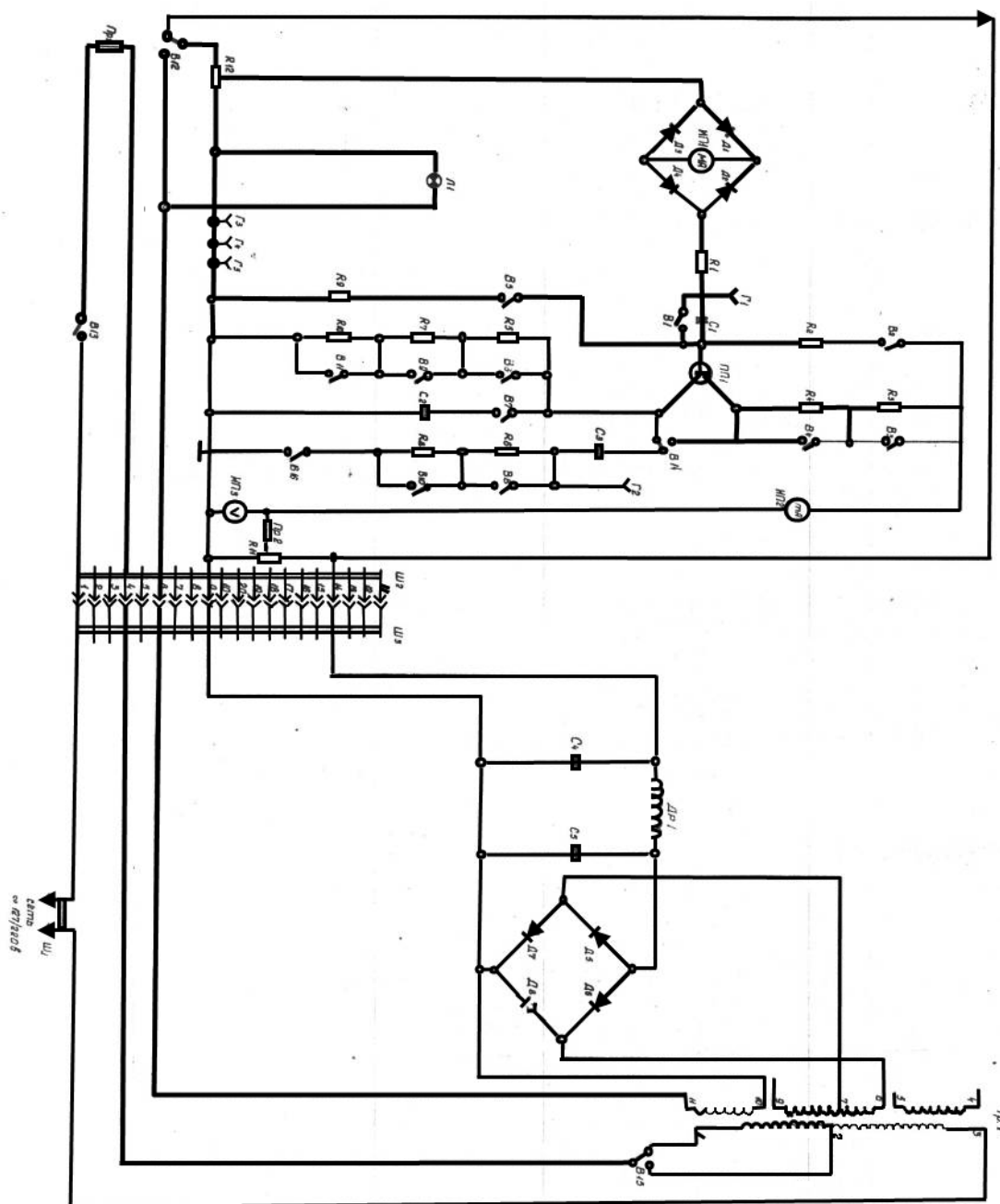


Рисунок 7.5 – Принципиальная схема стенда ЕС 4

Прибор III 1 служит для измерения тока базы. В случае изучения одиночного усилительного каскада в цепи базы течет переменный ток. Диоды $D_1 - D_4$ служат для выпрямления этого тока.

Сопротивление R_1 является ограничительным в цепи базы. Сопротивления R_2, R_9 используются для выбора рабочей точки триода. Сопротивления R_3, R_4 являются сопротивлениями в цепи коллектора и позволяют с помощью тумблеров B_3, B_4 менять величину R_K от 0 до 3 – х кОм. Сопротивления R_5, R_7, R_{10} включены в цепь эмиттера, а сопротивление R_5 используется вместе с конденсатором C_2 как цепь автоматического смещения триода при исследовании схемы с общим эмиттером. Сопр-

тивления R_7 и R_{10} являются сопротивлениями в цепи эмиттера при исследовании каскада с общим коллектором. Величина сопротивлений выбирается с помощью тумблеров B_6, B_9, B_{11} . Сопротивления R_6 и R_8 являются сопротивлениями загрузки для одиночного каскада. Регулирование напряжения входного сигнала осуществляется потенциометром.

Прибор П 2 служит для измерения величины тока коллектора, а П 3 – для измерения напряжения источника питания, которое можно регулировать с помощью R_{11} .

Методика проведения лабораторной работы

Задание 1. Снятие семейства выходных характеристик

Тумблер B_{12} поставить в положение « $U_{вх}$ ». Тумблеры $B_1, B_3, B_4, B_9, B_{11}$ необходимо поставить в положение «вкл». Тумблеры B_2 и B_5 разомкнуть.

Регулирование входного напряжения осуществляется потенциометром R_{12} и контролируется ламповым вольтметром, включенным в гнездо Γ_1 .

В статическом режиме снять зависимости $I_k = f(U_{ке})$ при $I_{\bar{b}} = 40, 50, 60, 70$ мкА. Результаты измерений занести в таблицу 7.1

Таблица 7.1 – Определение выходных статических характеристик биполярного транзистора с ОЭ.

$I_{\bar{b}} = 40$ мкА		$I_{\bar{b}} = 50$ мкА		$I_{\bar{b}} = 60$ мкА		$I_{\bar{b}} = 70$ мкА	
$U_{ке}$	I_k	$U_{ке}$	I_k	$U_{ке}$	I_k	$U_{ке}$	I_k
В	мкА	В	мкА	В	мкА	В	мкА

После измерений уменьшить напряжение и ток в схеме до минимума.

Построить графики зависимости $I_k = f(U_{ке})$ и тока $I_{\bar{b}}$ как параметра. По графику найти точку (А), соответствующую середине линейного участка и записать соответствующее значение $I_{\bar{b}}^*$ и $U_{ке}^*$. Определить для этой точки коэффициент усиления по току β и величину исходного сопротивления транзистора $R_{ВЫХ}$.

Задание 2 Снятие входных характеристик

Для значений $U_{ке} = 0$ В и $U_{ке} = U_{ке}^*$ снять зависимости $I_{\bar{b}} = f(U_{\bar{b}e})$. Результаты занести в таблицу 7.2 и построить графики зависимости $I_{\bar{b}} = f(U_{\bar{b}e})$.

Таблица 7.2 – Определение входных статических характеристик биполярного транзистора с ОЭ.

$U_{\bar{b}e}$ (В)							
$I_{\bar{b}}$ (мкА)							

Для графика, построенного для значения $U_{ке} = U_{ке}^*$, для точки $I_{\bar{b}} = I_{\bar{b}}^*$ по наклону графика определить величину входного сопротивления транзистора R_{BX} .

Задача 3. Изучение работы одиночного каскада усилителя по схеме с ОЭ

В этом режиме работы стенда необходимо тумблер B_{12} поставить в положение «УВХ ~», тумблер B_{14} – в положение «с общим эмиттером», тумблер B_1 разомкнуть, тумблеры B_2 и B_5 замкнуть, тем самым выбирается необходимое напряжение сдвига усилительного каскада.

Дальше тумблерами $B_3, B_4, B_6, B_7, B_8, B_9, B_{10}, B_{11}, B_{16}$ выбирают необходимые величины элементов усилителя и нагрузки, которые исследуются по заданию преподавателя.

Исходное напряжение проверяется ламповым вольтметром, подключенным к гнезду Γ_2 .

Установить режим работы транзистора $U_{ке} = U_{ке}^*$ $I_{\bar{b}} = I_{\bar{b}}^*$. Для разных значений сопротивлений R_k и нагрузки R_n снять значение U_{BX} , $U_{ВЫХ}$ и определить коэффициент усиления каскада по напряжению: $K = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{BX}}$. По экрану осциллографа убедиться в увеличении амплитуды после усиления сигнала.

Закончив измерения, уменьшить до минимума напряжение и ток в схеме, выключить приборы.

Контрольные вопросы и задачи.

1. Что такое транзистор? Назовите типы и режимы работы транзистора.
2. Нарисуйте принципиальную схему включения $(n - p - n)$ и $(p - n - p)$ транзисторов с ОЭ.
3. Какие носители заряда являются основными и неосновными в коллекторной, эмиттерной и базовой областях транзистора?
4. Какой принцип работы транзистора с ОЭ в активном режиме?
5. Дайте анализ экспериментальных статических характеристик $I_k = f(U_{ке})$, $I_{\bar{b}} = f(U_{\bar{b}e})$.
6. Как определяются параметры транзистора ($R_{ВЫХ}, R_{BX}, \beta, K$)?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И. В. Курс общей физики: учеб пособие. Т.3/ И. В. Савельев. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1987. – 320 с.
2. Трофимова Т. И. Курс физики: учеб. для студентов вузов / Т. И. Трофимова. – М.: Высш. шк., 1985. – 432 с.
3. Яворский Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980.
4. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики / В. С. Волькенштейн. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 928 с.
5. Физический энциклопедический словарь / гл. ред. А. Г. Прохоров; редкол. Д. М. Алексеев, А. М. Бонч-Бруевич, А. С. Боровик-Романов и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.

Приложение А

Обработка экспериментальных данных с помощью ЭВМ

1. Включить ЭВМ и принтер. Вставить бумагу.
2. Войти в каталог **ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**.
3. Запустить необходимый файл, пользуясь таблицей А1.
4. Ввести: фамилия, имя и отчество, название группы, дату выполнения расчетов.
5. Результаты компьютерной обработки лабораторной работы показать преподавателю, а потом подклеить их в тетрадь.

Таблица А.1 – Обработка экспериментальных данных с помощью ЭВМ

Номер лабораторной работы	Название exe – файла	Название Excel – файла
Физика твердого тела		
1 т		
2 т		2 т
3 т	3_2т.exe	3 т
4 т		4 т
5 т		5 т
6 т	6_2т.exe	6 т
7 т		

Приложение Б

Коэффициенты Стьюдента

Таблица Б.1 – Коэффициенты Стьюдента

n	α – доверительная вероятность	
	0,9	0,95
2	6,31	12,7
3	2,92	4,3
4	2,35	3,18
5	2,13	2,78
6	2,02	2,57
7	1,94	2,45
8	1,90	2,37
9	1,86	2,31
10	1,83	2,26
11	1,81	2,23
12	1,80	2,20
13	1,78	2,18
14	1,77	2,16
15	1,76	2,15
16	1,75	2,13
17	1,75	2,12
18	1,74	2,11
19	1,73	2,10
20	1,73	2,09
21	1,73	2,09
22	1,72	2,08
23	1,72	2,07
24	1,71	2,07
25	1,71	2,06
26	1,71	2,06
27	1,71	2,06
28	1,70	2,05
29	1,70	2,05
30	1,70	2,05
31	1,70	2,04

Приложение В

Табличные постоянные

Числовые значения физических постоянных, тех, что встречаются в данном учебно – методическом пособии:

$$e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \text{ – заряд электрона;}$$

$$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \text{ – масса покоя электрона;}$$

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \text{ – постоянная Планка;}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \text{ – электрическая постоянная;}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \text{ – постоянная Больцмана;}$$

$$R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \text{ – постоянная Ридберга;}$$

$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – скорость распространения электромагнитных волн в вакууме.

Таблица В.1 – Табличные постоянные

Длины волн некоторых спектральных линий (нм)					
Элемент	λ	Элемент	λ	Элемент	λ
He	388,9	H	397,0	Li	460,3
	402,6		410,2		610,4
	447,1		434,0		670,8
	471,3		486,1	Na	589,0
	492,2		656,3		589,6
	501,6		404,5		
	587,6		691,1		
	657,8		693,9		
	706,5		766,5		

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

Галиахметов Алмаз Мансурович
Ефремова Мария Поликарповна
Ставцев Валерий Васильевич
Лагутина Анна Руслановна

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА» (РАЗДЕЛ «ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И
АТОМНАЯ ФИЗИКА») ДЛЯ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ:
23.03.03 «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН
И КОМПЛЕКСОВ», 23.05.01 «НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА», 08.03.01 «СТРОИТЕЛЬСТВО»,
20.03.01 «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ», 08.05.03 «СТРОИТЕЛЬСТВО,
ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИКРЫТИЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ»,
27.03.04 «УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»,
09.03.02 «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»**

Подписано к выпуску 12.04.2017 г. Гарнитура Times New.
Усл. печ. л. 3,25 . Зак. № 122

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донецкий национальный технический университет»
Автомобильно-дорожный институт
84646, ДНР, г. Горловка, ул. Кирова, 51
E-mail: print-adi@adidonntu.ru

Редакционно-издательский отдел