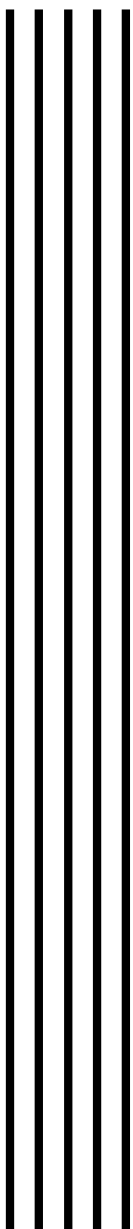


**Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет**



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ
по дисциплине
«КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ»
для студентов направления 6.050901 «Радиотехника»
заочной формы обучения**

**Севастополь
2010**



Методические указания и контрольные задания по дисциплине «Компонентная база радиоэлектронной аппаратуры» для студентов направления 6.050901 «Радиотехника» заочной формы обучения / А.Д. Плоткин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. — 32 с.

Целью методических указаний и контрольных заданий является развитие у студентов практических навыков по расчету параметров и характеристик электронных и полупроводниковых приборов, изучение физических процессов протекающих в них, ознакомление с режимами работы и схемами включения полупроводниковых приборов.

Методические указания и контрольные задания по дисциплине «Компонентная база радиоэлектронной аппаратуры» рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций (протокол № 8 от 25 мая 2010 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент: доктор технических наук, доцент кафедры радиотехники и телекоммуникаций Афонин И.Л.

Ответственный за выпуск: заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций, доктор технических наук, профессор Гимпилевич Ю.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Контрольная работа 1	5
1.1. Контрольные вопросы. Пассивные элементы электрических цепей.....	5
1.2. Задача 1. Движение заряженных частиц в электрическом поле.....	6
1.3. Задача 2. Движение заряженных частиц в поле конденсатора.....	7
1.4. Задача 3. Энергия электрона в металлах.....	8
1.5. Задача 4. Катоды электровакуумных приборов.....	8
1.6. Задача 5. Электроннолучевые трубки.....	9
1.7. Методические указания по выполнению контрольной работы 1.....	10
2. Контрольная работа 2.....	12
2.1. Задача 1. Параметры p - n переходов.....	12
2.2. Задача 2. Диоды.....	13
2.3. Задача 3. Режимы работы биполярных транзисторов.....	14
2.4. Задача 4. Схемы включения биполярных и полевых транзисторов.....	14
2.5. Задача 5. Дифференциальные параметры транзисторов.....	15
2.6. Задача 6. Параметры схемы включения биполярного транзистора.....	16
2.7. Методические указания по выполнению контрольной работы 2.....	17
3. Экзаменационные вопросы.....	27
Библиографический список.....	30
Приложение А — Образец титульного листа.....	31

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Компонентная база радиоэлектронной аппаратуры» (КБРЭА) является одной из первых, в цикле дисциплин профессиональной подготовки, в учебном плане подготовки бакалавров. Главная задача дисциплины КБРЭА состоит в том, чтобы на базе знаний и умений, полученных в предшествующих дисциплинах, раскрыть принципы работы электронных и полупроводниковых приборов, научить будущего бакалавра рациональному выбору и использованию современной элементной базы при разработке радиоэлектронной аппаратуры в соответствии с тенденциями комплексной миниатюризации и условиями эксплуатации, оценке эффективности принятых технических решений.

В результате изучения дисциплины КБРЭА студент должен знать:

- физические основы, принципы работы, характеристики, параметры радиоэлементов и компонентов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА);
- основные методы анализа электронных и полупроводниковых приборов различного назначения;
- современную элементную базу радиоэлектроники и ее функциональные возможности.

В результате изучения дисциплины КБРЭА должен уметь:

- определять параметры эквивалентных схем электронных и полупроводниковых приборов, анализировать их характеристики;
- проводить электрический расчет параметров полупроводниковых приборов по заданным требованиям и простых электрических цепей, содержащих полупроводниковые приборы;
- объективно оценивать функциональные возможности современной элементной базы радиоэлектроники.

Для изучения принципов работы электронных и полупроводниковых приборов различного назначения студенты выполняют две контрольные работы.

Для задач 1.5, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 — номер варианта выбирается по последней цифре зачетной книжки.

Для контрольных вопросов и задач 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 — номер варианта выбирается по двум последним цифрам зачетной книжки следующим образом:

№ варианта = $2m+n$, где m и n — предпоследняя и последняя цифры зачетной книжки, соответственно.

Контрольные работы должны быть оформлены аккуратно на стандартных листах формата А4 с титульным листом стандартного образца. Поля должны составлять 20 мм со всех сторон. Допускается выполнение контрольной работы в школьной тетради.

Результаты вычислений следует представлять в численном виде с указанием размерности. Численные значения представляются в нормализованной форме с тремя значащими цифрами после запятой.

В конце работы приводится библиографический список, который оформляется в соответствии с ДСТУ.

1. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 1

1.1. Контрольные вопросы. Пассивные элементы электрических цепей

Дать письменные ответы на контрольный вопрос в соответствии с номером варианта.

1) Конденсаторы. Принцип действия. Основные параметры: емкость, класс точности, напряжение, постоянная времени, частотные свойства, стабильность параметров, допустимое напряжение, тангенс угла диэлектрических потерь.

2) Классификация конденсаторов и их маркировка. Обозначение допустимых отклонений емкости от номинала.

3) Конденсаторы постоянной емкости. Слюдяные, керамические, стеклянные, стеклокерамические, стеклоэмалевые конденсаторы. Описание конструкции, маркировка, частотный диапазон.

4) Конденсаторы постоянной емкости металлобумажные, пленочные и металлопленочные, электролитические и оксидно-полупроводниковые. Описание конструкции, маркировка, частотный диапазон.

5) Конденсаторы подстроечные и переменной емкости. Описание конструкции, маркировка, частотный диапазон.

6) Основные сведения о резисторах. Номинальное сопротивление резистора, номинальная мощность, температурный коэффициент сопротивления, электрическая прочность, уровень собственных шумов, частотные свойства, маркировка.

7) Резисторы постоянного сопротивления. Углеродистые, композиционные, металлопленочные, металлооксидные и проволочные резисторы. Обозначение, рекомендации по применению.

8) Резисторы переменного сопротивления. Типы и параметры.

9) Терморезисторы, термисторы и позисторы. Основные характеристики, назначение.

10) Электронно-лучевые трубки. Общие сведения.

11) Электронно-лучевые трубки с электростатическим отклонением луча. Устройство, принцип работы. Маркировка. Применение.

12) Электронно-лучевые трубки с магнитным отклонением луча. Устройство, принцип работы. Маркировка. Применение.

13) Классификация конденсаторов и их маркировка. Обозначение допустимых отклонений емкости от номинала.

14) Конденсаторы постоянной емкости металлобумажные, пленочные и металлопленочные, электролитические и оксидно-полупроводниковые. Описание конструкции, маркировка, частотный диапазон.

15) Основные сведения о резисторах. Номинальное сопротивление резистора, номинальная мощность, температурный коэффициент сопротивления, электрическая прочность, уровень собственных шумов, частотные свойства, маркировка.

16) Резисторы переменного сопротивления. Типы и параметры.

17) Резисторы постоянного сопротивления. Углеродистые, композиционные

ные, металлопленочные, металлооксидные и проволочные резисторы. Обозначение, рекомендации по применению.

18) Катушки индуктивности, дроссели. Назначение, параметры. Конструктивные особенности индуктивностей различных диапазонов частот.

19) Трансформаторы. Назначение, параметры. Конструктивные особенности трансформаторов различных диапазонов частот.

20) Электромеханические фильтры.

21) Изделия функциональной электроники. Фильтры пьезоэлектрические.

22) Изделия функциональной электроники. Фильтры на поверхностных акустических волнах.

23) Электронно-лучевые трубки. Общие сведения.

24) Контактные устройства реле и герконы.

25) Жидкокристаллические и светодиодные индикаторы.

1.2. Задача 1. Движение заряженных частиц в электрическом поле

Частица ($\mathcal{E}$ — электрон, $\mathcal{P}$ — протон) массой m ускоряется разностью потенциалов U . При этом она приобретает энергию W и скорость V . Начальная скорость частицы равна нулю. Определить недостающие параметры в таблице 1.1, отмеченные значком «*».

Таблица 1.1 — Исходные данные к задаче 1

Вариант	Частица	U , В	W , Дж	V , м/с	Вариант	Частица	U , В	W , Дж	V , м/с
1	$\mathcal{E}$	1	*	*	16	*	*	$4,8 \cdot 10^{-19}$	$2,39 \cdot 10^4$
2	$\mathcal{P}$	1	*	*	17	$\mathcal{E}$	6	*	*
3	$\mathcal{E}$	*	*	$5,92 \cdot 10^5$	18	$\mathcal{P}$	6	*	*
4	$\mathcal{P}$	*	*	$1,38 \cdot 10^4$	19	$\mathcal{E}$	*	*	$1,45 \cdot 10^6$
5	*	1	*	$5,92 \cdot 10^5$	20	$\mathcal{P}$	*	*	$3,38 \cdot 10^4$
6	*	1	*	$1,38 \cdot 10^4$	21	*	6	*	$1,45 \cdot 10^6$
7	*	*	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$5,92 \cdot 10^5$	22	*	6	*	$3,38 \cdot 10^4$
8	*	*	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$1,38 \cdot 10^4$	23	*	*	$9,6 \cdot 10^{-19}$	$1,45 \cdot 10^6$
9	$\mathcal{E}$	3	*	*	24	*	*	$9,6 \cdot 10^{-19}$	$3,38 \cdot 10^4$
10	$\mathcal{P}$	3	*	*	25	$\mathcal{E}$	9	*	*
11	$\mathcal{E}$	*	*	$1,02 \cdot 10^6$	26	$\mathcal{P}$	9	*	*
12	$\mathcal{P}$	*	*	$2,39 \cdot 10^4$	27	$\mathcal{E}$	*	*	$1,78 \cdot 10^6$
13	*	3	*	$1,02 \cdot 10^6$	28	$\mathcal{P}$	*	*	$4,14 \cdot 10^4$
14	*	3	*	$2,39 \cdot 10^4$	29	*	9	*	$1,78 \cdot 10^6$
15	*	*	$4,8 \cdot 10^{-19}$	$1,02 \cdot 10^6$	30	*	9	*	$4,14 \cdot 10^4$

1.3. Задача 2. Движение заряженных частиц в поле конденсатора

Заряженная частица (Э — электрон, П — протон) под действием напряжения U движется между пластинами плоскопараллельного конденсатора. Расстояние между пластинами d , время пролета частицы t . Считать, что начальная скорость частицы равна нулю $V_0=0$. Определить недостающие параметры в таблице 1.2, отмеченные значком «*».

Таблица 1.2 — Исходные данные к задаче 2

Вариант	Частица	d , м	U , В	t , с	Вариант	Частица	d , м	U , В	t , с
1	Э	0,1	5	*	16		0,01	10	$4,59 \cdot 10^{-7}$
2	П	0,1	5	*	17	Э	0,05	5	*
3	*	0,1	5	$1,51 \cdot 10^{-7}$	18	П	0,05	5	*
4	*	0,1	5	$6,5 \cdot 10^{-6}$	19	Э	0,05	*	$7,55 \cdot 10^{-8}$
5	Э	*	5	$1,51 \cdot 10^{-7}$	20	П	0,05	*	$3,25 \cdot 10^{-6}$
6	П	*	5	$6,5 \cdot 10^{-6}$	21	Э	*	5	$7,55 \cdot 10^{-8}$
7	Э	0,1	*	$1,51 \cdot 10^{-7}$	22	П	*	5	$3,25 \cdot 10^{-6}$
8	П	0,1	*	$6,5 \cdot 10^{-6}$	23	*	0,05	5	$7,55 \cdot 10^{-8}$
9	Э	0,01	10	*	24	*	0,05	5	$3,25 \cdot 10^{-6}$
10	П	0,01	10	*	25	Э	0,05	10	*
11	Э	0,01	*	$1,07 \cdot 10^{-8}$	26	П	0,05	10	*
12	П	0,01	*	$4,59 \cdot 10^{-7}$	27	Э	0,05	*	$5,35 \cdot 10^{-8}$
13	Э	*	10	$1,07 \cdot 10^{-8}$	28	П	0,05	*	$2,29 \cdot 10^{-6}$
14	П	*	10	$4,59 \cdot 10^{-7}$	29	Э	*	10	$5,35 \cdot 10^{-8}$
15	*	0,01	10	$1,07 \cdot 10^{-8}$	30	П	*	10	$2,29 \cdot 10^{-6}$

1.4. Задача 3. Энергия электрона в металлах

Концентрация электронов в некотором металле составляет N . Максимальное значение энергии электрона при $T=0$ (К) — уровень Ферми W_0 . Определить недостающие параметры в таблице 1.3, отмеченные значком «*».

Таблица 1.3 — Исходные данные к задаче 3

Вариант	N , м^{-3}	W_0 , эВ	Вариант	N , м^{-3}	W_0 , эВ	Вариант	N , м^{-3}	W_0 , эВ
1	10^{30}	*	10	*	558	19	$5 \cdot 10^{29}$	*
2	*	34,6	11	$6 \cdot 10^{30}$	*	20	*	22,9
3	$2 \cdot 10^{30}$	*	12	*	120	21	$9 \cdot 10^{29}$	*
4	$5 \cdot 10^{30}$	*	13	$9 \cdot 10^{30}$	*	22	*	33,9
5	*	57,9	14	*	158	23	$3 \cdot 10^{29}$	*
6	*	106	15	10^{29}	*	24	*	16,3
7	$5 \cdot 10^{31}$	*	16	*	7,81	25	$6 \cdot 10^{29}$	*
8	*	496	17	$2 \cdot 10^{29}$	*	26	*	25,9
9	$6 \cdot 10^{31}$	*	18	*	12,4	27	$8 \cdot 10^{29}$	*

1.5. Задача 4. Катоды электровакуумных приборов

Оксидный катод работает при температуре T (К). Материал катода имеет работу выхода электрона W_1 (Дж) и эмиссионную постоянную A ($\text{А/м}^2 \cdot \text{К}^2$). Плотность тока эмиссии j (А/м^2). Определить недостающие параметры в таблице 1.4, отмеченные значком «*».

Таблица 1.4 — Исходные данные к задаче 4

№	A	T	W_1	J	№	A	T	W_1	J
1	$3,5 \cdot 10^5$	1200	$3 \cdot 10^{-19}$	*	16	*	1200	$2,38 \cdot 10^{-19}$	$1,65 \cdot 10^5$
2	$3,5 \cdot 10^5$	1200	*	6850	17	$2 \cdot 10^5$	1600	$4,21 \cdot 10^{-19}$	*
3	$3,5 \cdot 10^5$	*	$3 \cdot 10^{-19}$	6850	18	$2 \cdot 10^5$	1600	*	$1,96 \cdot 10^3$
4	*	1200	$3 \cdot 10^{-19}$	6850	19	$2 \cdot 10^5$	*	$4,21 \cdot 10^{-19}$	$1,96 \cdot 10^3$
5	$3,5 \cdot 10^5$	1400	$3 \cdot 10^{-19}$	*	20	*	1600	$4,21 \cdot 10^{-19}$	$1,96 \cdot 10^3$
6	$3,5 \cdot 10^5$	1400	*	$1,23 \cdot 10^5$	21	$3 \cdot 10^5$	1800	$4,21 \cdot 10^{-19}$	*
7	$3,5 \cdot 10^5$	*	$3 \cdot 10^{-19}$	$1,23 \cdot 10^5$	22	$3 \cdot 10^5$	1800	*	$4,23 \cdot 10^4$

Продолжение таблицы 1.4.

№	A	T	W_1	J	№	A	T	W_1	J
8	*	1400	$3 \cdot 10^{-19}$	$1,23 \cdot 10^5$	23	$3 \cdot 10^5$	*	$4,21 \cdot 10^{-19}$	$4,23 \cdot 10^4$
9	$2 \cdot 10^5$	1200	$2,63 \cdot 10^{-19}$	*	24	*	1800	$4,21 \cdot 10^{-19}$	$4,23 \cdot 10^4$
10	$2 \cdot 10^5$	1200	*	$3,66 \cdot 10^4$	25	$3 \cdot 10^5$	1800	$3,5 \cdot 10^{-19}$	*
11	$2 \cdot 10^5$	*	$2,63 \cdot 10^{-19}$	$3,66 \cdot 10^4$	26	$3 \cdot 10^5$	1800	*	$7,39 \cdot 10^5$
12	*	1200	$2,63 \cdot 10^{-19}$	$3,66 \cdot 10^4$	27	$3 \cdot 10^5$	*	$3,5 \cdot 10^{-19}$	$7,39 \cdot 10^5$
13	$2 \cdot 10^5$	1200	$2,38 \cdot 10^{-19}$	*	28	*	1800	$3,5 \cdot 10^{-19}$	$7,39 \cdot 10^5$
14	$2 \cdot 10^5$	1200	*	$1,65 \cdot 10^5$	29	$3 \cdot 10^5$	1600	$3,5 \cdot 10^{-19}$	*
15	$2 \cdot 10^5$	*	$2,38 \cdot 10^{-19}$	$1,65 \cdot 10^5$	30	$3 \cdot 10^5$	1600	*	$1,01 \cdot 10^5$

1.6. Задача 5. Электроннолучевые трубки

Изобразить схему электроннолучевой трубки: варианты 0...4 — с электростатическим отклонением луча; варианты 5...9 — с магнитным. Привести схему питания электронно-лучевой трубки.

Определить чувствительность, недостающие геометрические размеры или напряжение на втором аноде, отмеченные значком «*» в таблице 1.5

Таблица 1.5 — Исходные данные к задаче 5

№	$h_{эс}, h_{эм}$	l, l_1	L, L_1	d	K	U_{A2}
0	*	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	5×10^{-3}		$5 \cdot 10^3$
1	$0,04 \cdot 10^{-3}$	*	$6 \cdot 10^{-2}$	5×10^{-3}		$5 \cdot 10^3$
2	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	*	4×10^{-3}		$6 \cdot 10^3$
3	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-2}$	*		$5 \cdot 10^3$
4	$0,05 \times 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	5×10^{-3}		*
5	*	10^{-2}	10^{-1}		0,01	$8,1 \cdot 10^3$
6	$0,15 \cdot 10^{-3}$	*	$15 \cdot 10^{-2}$		0,01	$10 \cdot 10^3$
7	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	*		0,02	$9 \cdot 10^3$
8	$0,2 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	$12 \cdot 10^{-2}$		*	$12 \cdot 10^3$
9	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-2}$		0,015	*

В таблице 1.5 применены следующие обозначения:

$h_{эс}$ — чувствительность трубки с электростатическим отклонением луча (м/В);

$h_{эм}$ — чувствительность трубки с магнитным отклонением луча (м/А);

l — длина отклоняющих пластин (м) — в трубке с электростатическим отклонением луча;

l_1 — эффективный диаметр (м) управляющего магнитного поля в трубке с магнитным отклонением луча;

L — расстояние от пластин до экрана (м);

L_1 — расстояние от центра отклоняющей системы до экрана (м) в трубке с магнитным отклонением луча;

d — расстояние между пластинами (м);

K — коэффициент, учитывающий индукцию магнитного поля отклоняющей системы;

U_{A2} — напряжение на втором аноде (В).

1.7. Методические указания по выполнению контрольной работы 1

При ответе на контрольный вопрос следует воспользоваться литературой [6, 7]. Ориентировочный объём ответов 3 — 5 листов формата А4.

При решении задачи 1 (Движение заряженных частиц в электрическом поле), следует использовать выражение для равенства кинетической энергии и энергии микрочастицы в электрическом поле.

$$\frac{mV^2}{2} = eU.$$

где $m_e = 9,12 \cdot 10^{-31}$ — масса электрона (кг);

$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ — масса протона (кг);

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ — заряд микрочастицы (Кл);

V — скорость микрочастицы (м/с);

U — напряжение (В).

Тип частицы определяется по массе электрона или протона.

При решении задачи 2 (Движение заряженных частиц в поле конденсатора), следует использовать выражение для равенства кинетической энергии и энергии микрочастицы в электрическом поле, а также учитывать, что движение микрочастицы в поле конденсатора является равноускоренным.

$$d = \frac{at^2}{2}; \quad a = \frac{V - V_0}{t},$$

где a — ускорение микрочастицы в поле конденсатора (м/с²);

V_0 — начальная скорость микрочастицы (м/с);

V — конечная скорость микрочастицы (м/с);

t — время пролета микрочастицы (с).

При решении задачи 1.3 (Энергия электрона в металлах), следует использовать выражение для энергии уровня Ферми [8]:

$$W_0 = \frac{h^2}{2m} \left(\frac{3N}{8\pi} \right)^{\frac{2}{3}},$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ (Дж·с) — постоянная Планка,
 $m = 9,12 \cdot 10^{-31}$ (кг) — масса электрона,
 N — концентрация электронов (м^{-3}).

При решении задачи 4 (Катоды электровакуумных приборов), следует использовать выражение для плотности тока эмиссии катода [1, 2]:

$$J = AT^2 e^{-\frac{W_1}{kT}},$$

где J — плотность тока эмиссии катода (А/м^2);
 A — эмиссионная постоянная ($\text{А/м}^2 \cdot \text{К}^2$);
 T — температура работы катода в Кельвинах;
 W_1 — работа выхода электрона из материала катода (Дж);
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ (Дж/К) — постоянная Больцмана.

При решении задачи 1.5 (Электроннолучевые трубки), следует пользоваться выражениями для чувствительности электроннолучевых трубок [2]:

с электростатическим отклонением луча —
$$h_{\text{эс}} = \frac{l \left(L + \frac{l}{2} \right)}{2dU_{\text{А2}}},$$

где $h_{\text{эс}}$ — чувствительность электроннолучевой трубки с электростатическим отклонением луча (м/В),

l — длина отклоняющих пластин (м);
 L — расстояние от пластин до экрана (м);
 d — расстояние между пластинами (м);
 $U_{\text{А2}}$ — напряжение на втором аноде (В).

с электромагнитным отклонением луча —
$$h_{\text{эм}} = K \frac{L_1 l_1}{\sqrt{U_{\text{А2}}}},$$

где $h_{\text{эм}}$ — чувствительность электроннолучевой трубки с электромагнитным отклонением луча (м/А);

K — коэффициент, учитывающий индукцию магнитного поля отклоняющей системы;

L_1 — расстояние от центра отклоняющей системы до экрана (м) в трубке с магнитным отклонением луча;

l_1 — эффективный диаметр (м) управляющего магнитного поля в трубке с магнитным отклонением луча.

2. Контрольная работа 2

2.1. Задача 1. Параметры p - n переходов

Определите недостающие параметры p - n структуры, отмеченные значком «*», в таблице 2.1

Таблица 2.1 — Исходные данные к задаче 1.

№	φ_k	T	N_A	N_D	n_i	ρ_p	ρ_n	μ_p	μ_n
0	*	300 K	$4,4 \cdot 10^{20}$	$4,4 \cdot 10^{23}$	$2,5 \cdot 10^{19}$				
1	0,45	150 C	$2 \cdot 10^{19}$	$4,0 \cdot 10^{22}$	*				
2	0,3	-100 C	$4 \cdot 10^{21}$	*	$2,0 \cdot 10^{18}$				
3	0,2	320 K	*	$4,0 \cdot 10^{23}$	$3,0 \cdot 10^{19}$				
4	0,15	*	$2 \cdot 10^{20}$	1023	$4,0 \cdot 10^{19}$				
5	*	300 K			$2,5 \cdot 10^{19}$	200	100	0,19	0,39
6	0,22	270 C	*	$1,6 \cdot 10^{21}$	$2,5 \cdot 10^{19}$	200		*	
7	0,22	300 K	$1,6 \cdot 10^{21}$	*	$2,5 \cdot 10^{19}$		100	0,19	*
8	0,33	273 K			*	100	100	0,25	0,45
9	0,42	*			$4,5 \cdot 10^{19}$	100	200	0,16	0,32

В таблице 2.1 применены следующие обозначения:

φ_k — контактная разность потенциалов (В);

T — температура p - n перехода;

N_D — концентрация донорных примесей (м^{-3});

N_A — концентрация акцепторных примесей (м^{-3});

n_i — концентрация ионизированных атомов собственного полупроводника (м^{-3});

ρ_p — удельное сопротивление p -области ($\text{Ом} \cdot \text{м}$);

ρ_n — удельное сопротивление n -области ($\text{Ом} \cdot \text{м}$);

μ_p — подвижность дырок в полупроводнике ($\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$);

μ_n — подвижность электронов в полупроводнике ($\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$).

2.2. Задача 2. Диоды

Определить недостающие параметры p - n перехода, отмеченные значком «*», работающего при прямом смещении U , согласно таблице 2.2

Таблица 2.2 — Исходные данные к задаче 2.

№	I	I_0	U	Δ	N_A	N_D	n_i	Π	l_n	l_p	D_p	D_n	ρ_p	ρ_n	R_p	R_n
0	*	*	0,65	10^{-5}	10^{25}	10^{22}	10^{16}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-5}	$8 \cdot 10^{-4}$	$25 \cdot 10^{-4}$	*	*	*	*
1	*	10^{-15}	0,6	10^{-5}	10^{25}	10^{22}	10^{16}	*	10^{-5}	10^{-4}	$8 \cdot 10^{-4}$	$25 \cdot 10^{-4}$	*	*	*	*
2	*	10^{-10}	0,4	*	10^{24}	10^{22}	10^{15}	10^{-8}	10^{-5}	10^{-4}	$8 \cdot 10^{-4}$	$25 \cdot 10^{-4}$	*	*	*	*
3	*	10^{-12}	0,5	10^{-5}	10^{25}	*	10^{16}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	$7 \cdot 10^{-4}$	$24 \cdot 10^{-4}$	*	*	*	*
4	*	10^{-15}	0,45	10^{-5}	10^{25}	10^{22}	10^{14}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-5}	$8 \cdot 10^{-4}$	*	*	*	*	*
5	*	10^{-14}	0,3	10^{-4}	10^{24}	10^{21}	*	10^{-8}	10^{-6}	10^{-5}	$8 \cdot 10^{-4}$	$25 \cdot 10^{-4}$	*	*	*	*
6	10^{-3}	*	0,6	10^{-5}	10^{25}	10^{22}	10^{16}	*	10^{-6}	10^{-5}	$6 \cdot 10^{-4}$	$23 \cdot 10^{-4}$	*	*	*	*
7	*	*	0,6	10^{-5}	10^{25}	10^{22}	10^{16}	*	10^{-6}	10^{-5}	$8 \cdot 10^{-4}$	$25 \cdot 10^{-4}$	*	30	*	0,3
8	*	*	0,7	10^{-5}	10^{25}	10^{22}	10^{15}	10^{-8}	*	*	$6 \cdot 10^{-4}$	$23 \cdot 10^{-4}$	1	40	10^{-2}	0,4
9	10^{-2}	*	0,8	*	10^{25}	10^{22}	10^{16}	10^{-7}	10^{-5}	10^{-4}	$8 \cdot 10^{-4}$	$25 \cdot 10^{-4}$	*	*	*	*

В таблице 2.2 применены следующие обозначения:

при $T = 300$ К, $\mu_n = 0,39$ ($\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$), $\mu_p = 0,19$ ($\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$);

I — прямой ток p - n перехода (А);

I_0 — обратный ток насыщения (А);

U — прямое напряжение (В);

Δ — ширина p - n перехода (м);

Π — площадь p - n перехода (м^2);

l_n, l_p — длина n и p областей соответственно (м);

D_n, D_p — коэффициенты диффузии неосновных носителей заряда ($\text{м}^2/\text{с}$);

R_n, R_p — сопротивления n и p областей соответственно (Ом).

2.3. Задача 3. Режимы работы биполярных транзисторов

Изобразить схему включения биполярного транзистора в схеме с общей базой для транзисторов типов $p-n-p$ и $n-p-n$. Показать полярности питающих напряжений и направления токов для различных режимов работы (А — активный режим, О — режим отсечки, Н — режим насыщения, И — инверсное включение), в соответствии с таблицей 2.3

Таблица 2.3 — Исходные данные к задаче 3.

№ варианта	Тип транзистора	Режим работы
0	$p-n-p$	А
1	$n-p-n$	А
2	$p-n-p$	О
3	$n-p-n$	О
4	$p-n-p$	Н
5	$n-p-n$	Н
6	$p-n-p$	И
7	$n-p-n$	И
8	$p-n-p$	О
9	$n-p-n$	А

2.4. Задача 4. Схемы включения биполярных и полевых транзисторов

Изобразить схему включения биполярного или полевого транзистора в различных схемах включения с указанием направлений токов и полярности напряжений на электродах, при работе транзистора в активном режиме в соответствии с таблицей 2.4

Таблица 2.4 — Исходные данные к задаче 4.

№ варианта	Тип транзистора	Схема включения
0	$p-n-p$	ОБ
1	$p-n-p$	ОЭ
2	$p-n-p$	ОК
3	$n-p-n$	ОБ
4	$n-p-n$	ОЭ
5	$n-p-n$	ОК
6	ПТ с $p-n$ переходом и n каналом	ОИ
7	ПТ с $p-n$ переходом и n каналом	ОС
8	ПТ с $p-n$ переходом и p каналом	ОИ
9	ПТ с $p-n$ переходом и p каналом	ОС

2.5. Задача 5. Дифференциальные параметры транзисторов

Описать уравнениями одну из систем h , Y или Z параметров транзистора (в соответствии с таблицей 2.5) и указать физический смысл каждого из элементов. Описать принцип определения данного параметра по произвольно выбранным статическим характеристикам транзистора.

Дайте пояснение: какие еще существуют способы определения этих параметров?

Таблица 2.5 — Исходные данные к задаче 5.

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Параметр	h_{11}	h_{21}	h_{22}	Y_{11}	Y_{21}	Y_{22}	Z_{11}	Z_{22}	h_{21}	Y_{21}

2.6. Задача 6. Параметры схемы включения биполярного транзистора

Найти недостающие параметры цепи, отмеченные значком «*» в схеме, изображенной на рис. 2.1, в соответствии с данными, приведенными в таблице 2.6.

Таблица 2.6 — Исходные данные к задаче 6.

№	$E_Э$ В	$R_Э$ кОм	$E_Б$ В	$R_Б$ кОм	$E_К$ В	$R_К$ кОм	$h_{21Б}$	$I_{КБО}$ мкА	$I_Э$ мА	$I_К$ мА	$U_{КБ}$ В
0	2	2	3	15			0,98	10	*	*	
1	*	3	3	10			0,95	10	2	*	
2	2	2	*	15			0,9	10	2,5	*	
3	2	2	3	15	*	2	0,95	15	*	*	5
4	2	*	3	15			0,9	10	2,4	*	
5	2	2	4	*			0,95	15	*	*	
6	2	1	3	10	10	*	0,98	10	*	*	4
7	1	1	1	10	10	1,5	0,9	10	*	*	*
8	*	2	1	15			0,95	15	*	2,5	
9	2	*	3	10			0,95	10	*	3,0	

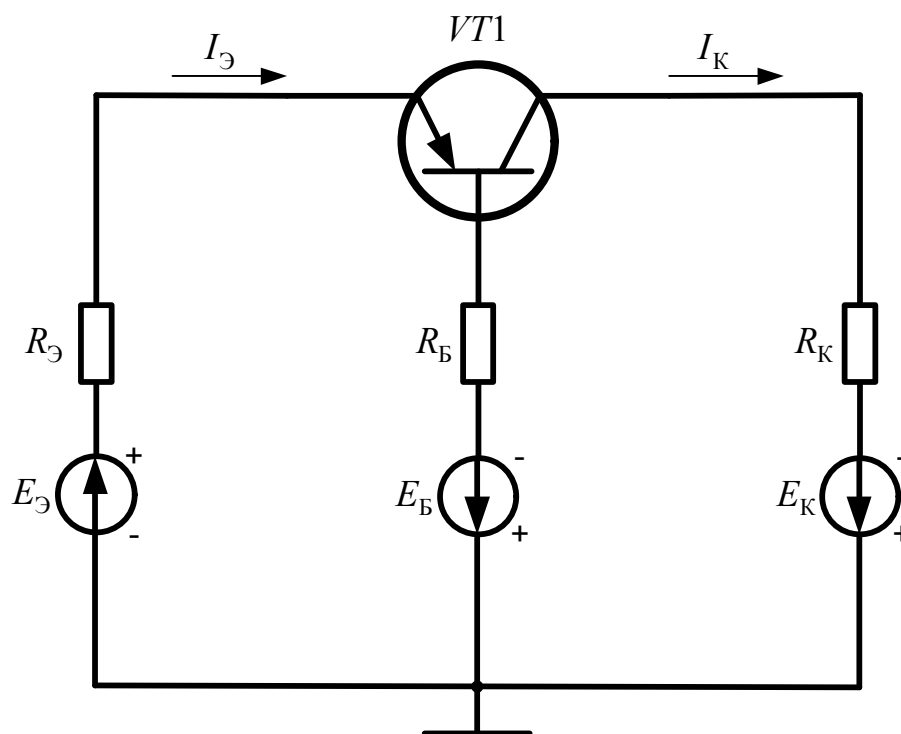


Рис. 2.1

2.7. Методические указания по выполнению контрольной работы 2

Краткие теоретические сведения, которые следует использовать при решении задачи 1. (Параметры p - n переходов) и задачи 2. (Диоды).

В подавляющем большинстве практических использований полупроводников мы имеем дело с примесными полупроводниками, проводимость которых определяется характером примеси. Донорные примеси, способны легко отдавать свои электроны и создавать значительное преобладание числа электронов в зоне проводимости над дырками в заполненной зоне. Проводимость всего полупроводника с такими примесями является электронной (n -типа). Донорными к германию и кремнию являются пятивалентные примеси мышьяк и сурьма.

Акцепторные примеси, способны легко отбирать электрон из заполненной зоны и создавать значительное преобладание дырок в зоне проводимости. Проводимость всего полупроводника с такими примесями является дырочной (p -типа). Акцепторными для германия и кремния являются трехвалентные примеси индий и галлий.

Полупроводник, содержащий примеси, называется легированным, а процесс ввода этих примесей называется легированием.

Полупроводниковый диод представляет собой контактную систему из двух полупроводников с разными типами проводимости. В месте соприкосновения полупроводников с различными типами проводимости образуется выпрямляющий контакт, имеющий малое сопротивление в одном, направлении (прямой режим); имеющий высокое сопротивление другом (обратной режим). Этот выпрямляющий контакт называют электронно-дырочным переходом или p - n переходом.

Возникновение электронно-дырочного перехода объясняется следующим образом. В полупроводнике n -типа имеется большое количество свободных электронов, являющихся основными носителями заряда. В полупроводнике p -типа, наоборот, имеется большое количество свободных дырок, являющихся основными носителями и незначительное количество свободных электронов, являющихся неосновными носителями заряда.

Поэтому электроны будут стремиться проникнуть (диффундировать) в p -область, а дырки в n -область. Уходя в другую область, свободные заряды будут оставлять в своих областях ионизированные атомы примеси, жестко связанные с кристаллической решеткой. В результате, у границы раздела создаются два слоя противоположных по знаку неподвижных зарядов. Именно эта область кристалла и называется p - n переходом или запирающим слоем. Внутри p - n перехода возникает электрическое поле. Создается, так называемый, потенциальный барьер, препятствующий диффузии основных носителей из контактирующих полупроводников (рис. 2.2, а).

Распределение потенциала в области p - n перехода показано на рис. 2.2, (а). Величина потенциального барьера (контактная разность потенциалов φ_k) определяется концентрациями и энергиями заряженных частиц в областях n и p [2]:

$$\varphi_k = \varphi_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2},$$

где $\varphi_T = \frac{kT}{e}$ — тепловой потенциал, который зависит только от температуры, и называется температурным потенциалом.

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

T — абсолютная температура в градусах по шкале Кельвина;

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд электрона;

N_A и N_D — концентрации акцепторных и донорных примесей в дырочной и электронной областях p - n перехода соответственно;

n_i — концентрация ионизированных атомов собственного вещества.

При нормальной температуре $T = T_0 = 293$ К температурный потенциал равен $\varphi_T \approx 26$ мВ.

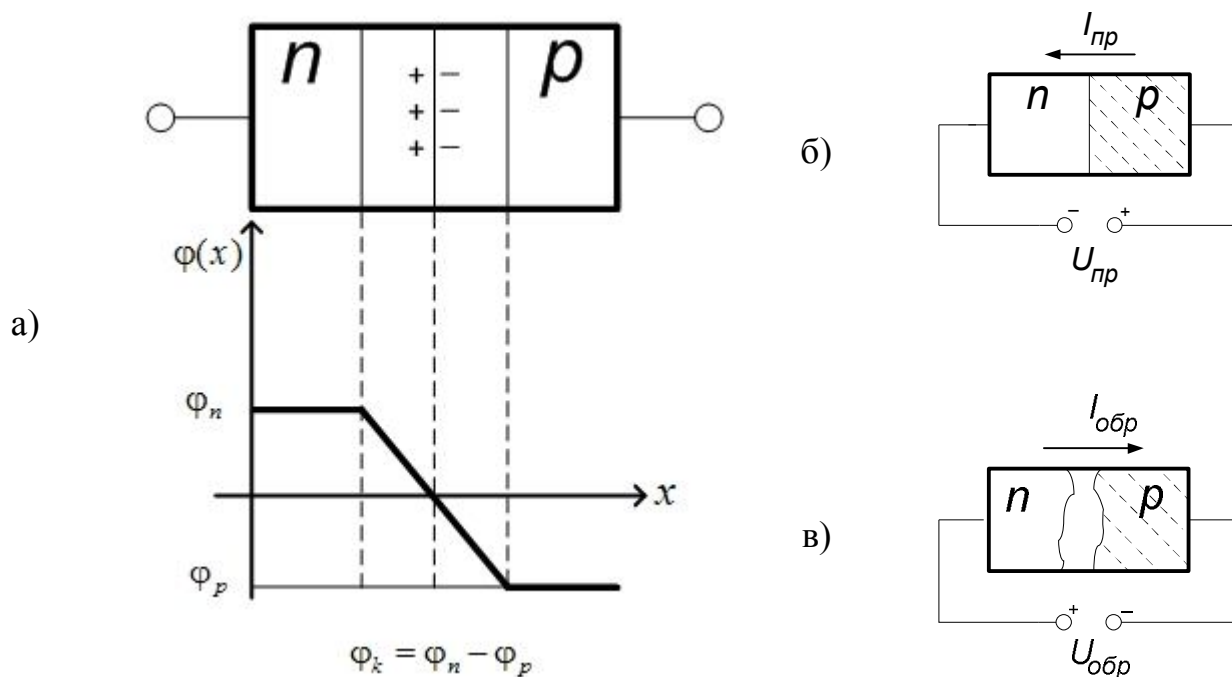


Рис. 2.2 — Распределение потенциала (а) в области p - n перехода при отсутствии внешнего поля; направление тока при прямом (б) и обратном (в) включении p - n перехода

В установившемся режиме электроны и дырки будут стремиться проникнуть в противоположные области. Однако, попав в p - n переход, они будут подвержены воздействию сил поля, которое будет их тормозить и возвращать в исходную область. Только отдельные основные носители, обладающие достаточной энергией, способны преодолевать действие сил поля и пройти через p - n переход в соседнюю область. Это приведет к появлению еще одного иона, к еще большему увеличению напряженности поля, (возрастанию потенциального барьера) к еще большему затруднению условий перехода для других зарядов.

Для неосновных носителей электрическое поле p - n перехода является не тормозящим, а ускоряющим. Поэтому любая дырка из n -полупроводника, попавшая в p - n переход, будет подхвачена полем и перенесена в правую область. То же самое происходит и с электроном, попавшим в p - n переход из p -области. Из-за этого происходит обеднение пограничного слоя полупроводников n и p основными носителями зарядов, вследствие чего такой слой обладает повышенным сопротивлением.

Контактная система из двух полупроводниковых областей (рис. 2.2, а) называется диодом, причем анодом называют p -область, а катодом — n -область. На электрических схемах диод обозначается двумя латинскими буквами «VD». Изображение диода на принципиальных схемах показано на рис. 2.3.

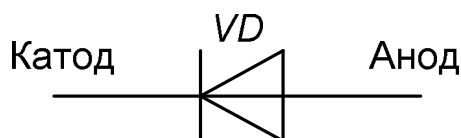


Рис. 2.3 — Изображение диода на принципиальной схеме

Если полупроводниковый диод присоединить к источнику напряжения так, что положительный потенциал источника приложен к p -области, т. е. к аноду диода, (рис. 2.2, б), то под действием электрического поля, появившегося в диоде, основные носители заряда в n -области и p -области будут перемещаться к плоскости контакта. При этом обедненная пограничная зона пополняется основными носителями заряда, а сопротивление и потенциальный барьер p - n перехода уменьшаются. В этом случае говорят, что диод включен в прямом направлении и через него течет прямой ток $I_{пр}$, величина которого определяется прямым напряжением $U_{пр}$ на диоде.

При включении диода по схеме рис. 2.2, в (положительный потенциал источника приложен к области n , т. е. к катоду), говорят, что диод включен в обратном направлении и на него подается обратное напряжение $U_{обр}$. При этом основные носители будут перемещаться от плоскости контакта к электродам диода, что приведет к расширению обедненной пограничной зоны, увеличению сопротивления и потенциального барьера p - n перехода. В результате основные носители не смогут участвовать в процессе образования тока диода, при этом через диод течет небольшой обратный ток $I_{обр}$, значение которого практически не зависит от обратного напряжения $U_{обр}$, приложенного к диоду.

Обратный ток диода обусловлен движением только неосновных носителей заряда, небольшая концентрация которых всегда имеет место в легированном полупроводнике, если его температура не равна абсолютному нулю (-273°C). В технической литературе обратный ток диода называют также током насыщения.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) идеального p - n перехода описывается выражением [2]:

$$i(u) = I_{\text{обр}} \left[\exp\left(\frac{eu}{kT}\right) - 1 \right],$$

где $I_{\text{обр}}$ — обратный ток p - n перехода; u — напряжение, приложенное к p - n переходу.

На рис. 2.4 изображена типовая ВАХ полупроводникового диода.

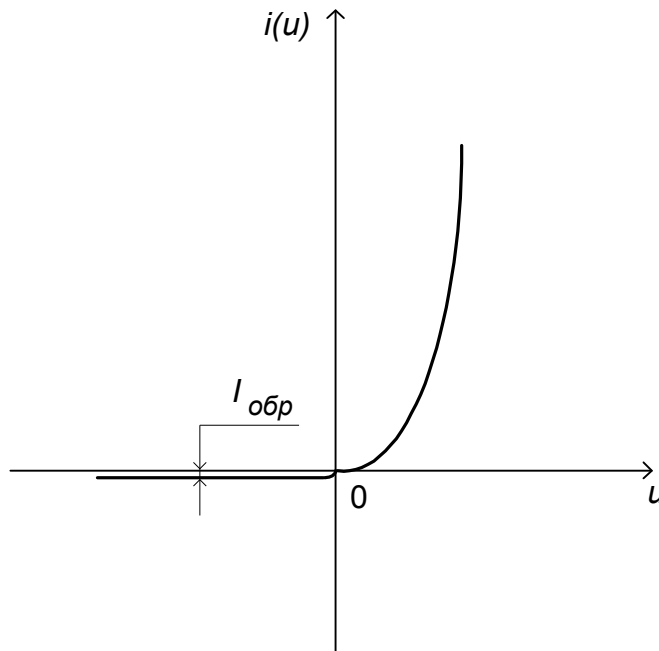


Рис. 2.4 — Вольтамперная характеристика полупроводникового диода

Из рис. 2.4 видно, что ВАХ диода состоит из двух ветвей, которые существенно отличаются одна от другой. Правая ветвь ВАХ соответствует прямому, а левая — обратному включению диода. Значения прямого тока $I_{\text{пр}}$, откладываемые по верхней полуоси тока в миллиамперах, намного превышают значения обратного тока $I_{\text{обр}}$, откладываемые по нижней полуоси тока в микроамперах.

Удельное сопротивление p и n областей зависит от концентрации акцепторных N_A и донорных N_D примесей, соответственно [5]:

$$\rho_p = \frac{1}{N_A e \mu_p}, \quad \rho_n = \frac{1}{N_D e \mu_n},$$

где N_D — концентрация донорных примесей (м^{-3});

N_A — концентрация акцепторных примесей (м^{-3});

ρ_p — удельное сопротивление p -области ($\text{Ом} \cdot \text{м}$);

ρ_n — удельное сопротивление n -области ($\text{Ом} \cdot \text{м}$);

μ_p — подвижность дырок в полупроводнике ($\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$);

μ_n — подвижность электронов в полупроводнике ($\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$);

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд электрона.

В полупроводниковых приборах одна из областей p - n структуры лигируется сильнее. При этом образуется несимметричный p^+-n или n^+-p переход. Это значит, что в области отмеченной $+$ концентрация примесей значительно выше чем в другой. Для несимметричной p^+-n структуры, когда N_A значительно больше N_D , обратный ток $I_{обр}$ можно определить из выражения [5]:

$$I_{обр} = \frac{e \Pi n_i^2 D_n}{\Delta N_D},$$

где Δ — ширина p - n перехода [м];

Π — площадь перехода (м²);

n_i — концентрация ионизированных атомов собственного вещества (м⁻³);

D_n, D_p — коэффициенты диффузии неосновных носителей заряда (м²/с);

N_D — концентрация донорных примесей (м⁻³).

Сопротивления p и n областей можно определить по формулам [5]:

$$R_p = \frac{\rho_p l_p}{\Pi}, \quad R_n = \frac{\rho_n l_n}{\Pi},$$

где ρ_p — удельное сопротивление p области (Ом·м);

ρ_n — удельное сопротивление n области (Ом·м);

l_n, l_p — длина n и p областей соответственно (м);

R_n, R_p — сопротивления n и p областей соответственно (Ом).

Краткие теоретические сведения, которые следует использовать при решении задач 3 – 6.

Биполярный транзистор представляет собой полупроводниковый прибор с тремя областями чередующейся электропроводности. Термин биполярный означает то, что работа такого транзистора основана на использовании как отрицательных (*negative*) носителей заряда (электронов), так и положительных (*positive*) носителей заряда (дырок).

Различают биполярные транзисторы типа p - n - p и n - p - n , условные обозначения которых изображены на рис. 2.5.



Рис. 2.5 — Условные обозначения $p-n-p$ (а) и $n-p-n$ (б) транзисторов

На рис. 2.6 изображена типичная топология маломощного кремниевого $n-p-n$ транзистора, выполненного по планарно-эпитаксиальной технологии.

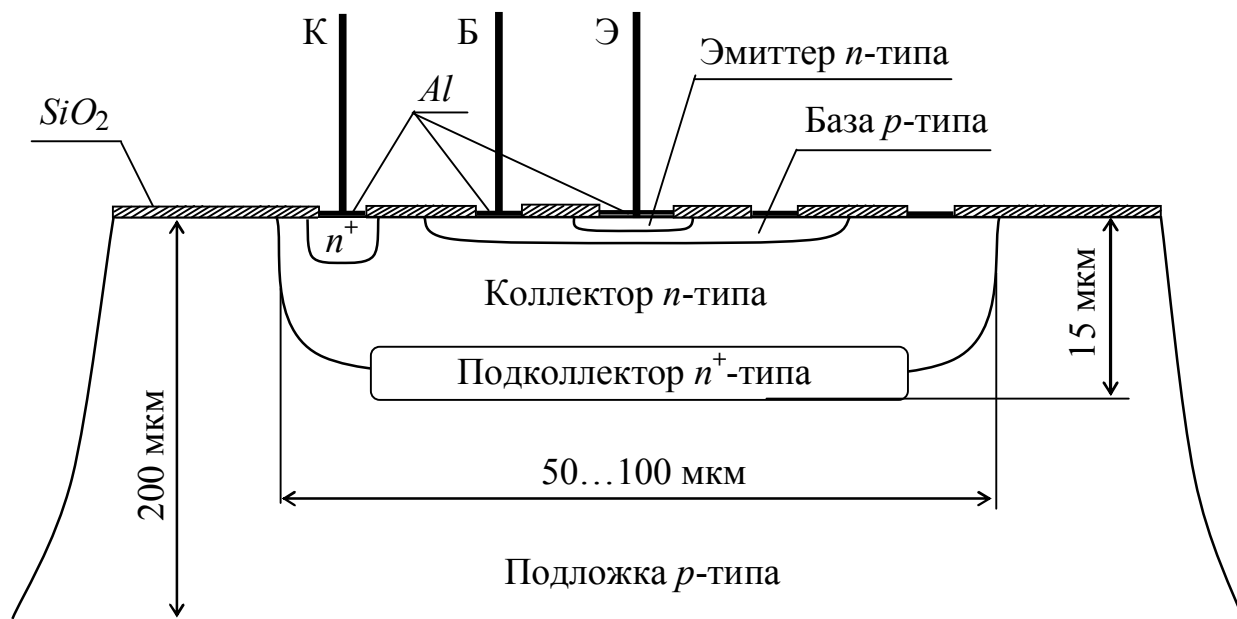


Рис. 2.6 — Топология биполярного $n-p-n$ транзистора

Верхняя область транзистора является эмиттером, нижняя — коллектором, а средняя — базой, три электрода на рис. 2.5 и 2.6 обозначены прописными буквами Э, К и Б соответственно. Поскольку все области транзистора формируются путем диффузии примесей в кремниевую пластину через одну из ее сторон (верхняя поверхность пластины), то такие транзисторы называются планарными. Все диффузии примесей выполняются в вакуумной камере при достаточно высокой температуре через отверстия (окна), протравливаемые плавиковой кислотой в двуокиси кремния SiO_2 , слой которой защищает поверхности кремниевой пластины от проникновения примесей. Диффузия производится селективно, т. е. примеси проникают только в нужные области пластины. Толщина защитного покрытия составляет приблизительно (0,5...1) мкм. Для сравнения, диаметр человеческого волоса составляет (40...60) мкм. На рис. 2.6 указаны типичные размеры различных областей планарного транзистора. Толщина областей эмиттера и базы составляет приблизительно 1 мкм каждая. Подколлектор транзистора представляет собой высоколигированный слой полупроводника n^+ -типа, который расположен непосредственно под коллекторной областью транзистора и позволяет существенно снизить объемное сопротивление

коллектора. Знак плюс рядом с буквой *n* означает повышенную концентрацию примесей в данной области.

В местах присоединения выводов на кремниевую пластину осаждается алюминиевая пленка *Al* (рис. 2.6), к которой привариваются проволочные выводы транзистора.

В зависимости от того, какой из электродов транзистора является общим для входной и выходной цепей, различают три схемы включения транзистора: с общей базой (ОБ); с общим эмиттером (ОЭ); с общим коллектором (ОК). Схемы включения изображены на рис. 2.7.

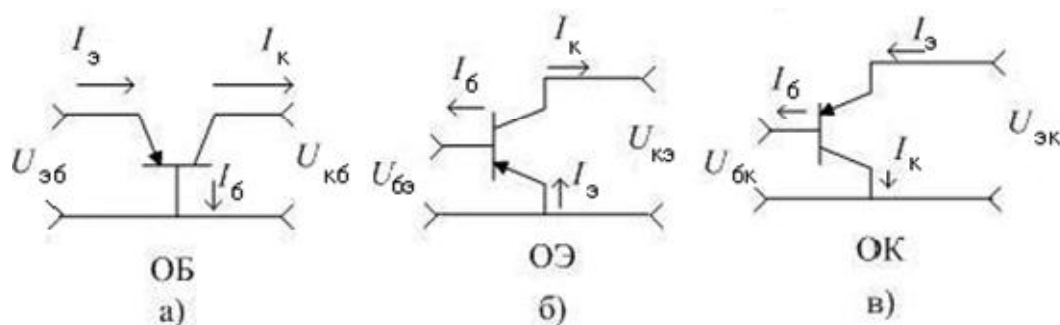


Рис. 2.7 — Схемы включения биполярного транзистора:

а — с общей базой; б — с общим эмиттером; в — с общим коллектором

В зависимости от характера напряжений на *p-n* переходах различают следующие режимы работы биполярных транзисторов:

- активный режим, при котором напряжение на эмиттерном переходе прямое, а на коллекторном обратное;
- режим отсечки, при котором на обоих переходах обратные напряжения (транзистор заперт);
- режим насыщения, при котором на обоих переходах прямые напряжения (транзистор открыт и насыщен).

Режимы отсечки и насыщения характерны для работы транзистора в ключевом режиме, который используется в цифровых схемах (логические элементы, триггеры, импульсные генераторы и т. п.). Активный режим, используют при работе транзистора в аналоговых схемах (усилители, активные фильтры, и т. п.).

В электрических расчетах цепей используют схемы замещения транзистора. Параметры этих схем связаны с физическими (собственными) параметрами транзистора. На рис. 2.8 показана Т-образная схема замещения транзистора в схеме с ОБ, которая справедлива только для переменных составляющих токов и напряжений при условии, что работа транзистора происходит на линейном участке его входной и выходной ВАХ.

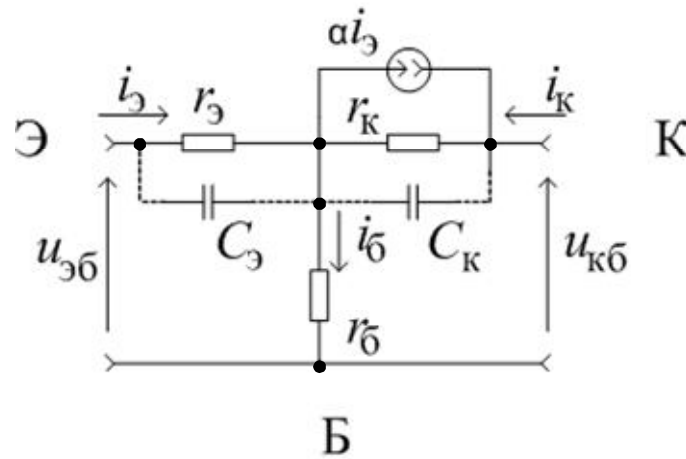


Рис. 2.8 — Т-образная схема замещения биполярного транзистора в схеме с общей базой

На рис. 2.8 использованы следующие условные обозначения:

$r_э$ — сопротивление открытого эмиттерного перехода транзистора в схеме с общей базой;

$r_б$ —объемное сопротивление базы;

$r_к$ — сопротивление коллекторного перехода транзистора в схеме с общей базой;

$\alpha I_э$ — эквивалентный источник коллекторного тока в схеме с общей базой;

β — коэффициент передачи тока эмиттера в схеме с общей базой;

$C_э, C_к$ — емкости эмиттерного и коллекторного переходов, соответственно, каждая из которых равна сумме барьерной и диффузионной емкостей соответствующего перехода.

При постоянном напряжении $u_{кб} = \text{const}$ сопротивление открытого эмиттерного перехода в схеме с общей базой ($r_э$) определяется по формуле

$$r_э \approx \frac{\varphi_T}{I_э} = \frac{0,026}{I_э},$$

где $\varphi_T \approx 26 \text{ мВ}$ — тепловой потенциал при нормальной температуре $T = T_0 = 293 \text{ К}$.

В зависимости от выбранной рабочей точки и типа транзистора значение сопротивления $r_э$ может изменяться от единиц до десятков ом.

Обычно объемное сопротивление базы $r_б \gg r_э$ и составляет (100...500) Ом.

Сопротивление коллекторного перехода при $I_э = \text{const}$ определяется по формуле

$$r_к = \frac{du_{кб}}{di_к}.$$

Значения r_k лежат в пределах от 0,1 до 1 МОм.

Дифференциальный коэффициент передачи тока схемы с общей базой при $U_{кб} = \text{const}$ определяется соотношением

$$\bar{\sigma} = \frac{di_k}{di_3},$$

и принимает значение от 0,9 до 0,999.

При расчете аналоговых транзисторных схем используют модели транзистора, основанные на его представлении в виде эквивалентного четырехполюсника, который может быть описан одной из шести систем уравнений, связывающих переменные входные и выходные токи и напряжения.

Широкое применение находит система h -параметров транзистора. Эквивалентная схема (схема замещения) транзистора, составленная с учетом его h -параметров, изображена на рис. 2.9.

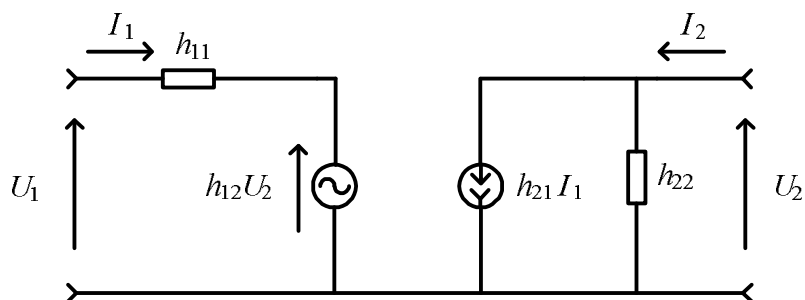


Рис. 2.9 — Эквивалентная схема транзистора

В системе h -параметров соотношения между переменными напряжениями и токами на входе и выходе схемы замещения транзистора (рис. 2.9) могут быть записаны в виде системы уравнений

$$\dot{U}_1 = h_{11}\dot{I}_1 + h_{12}\dot{U}_2;$$

$$\dot{I}_2 = h_{21}\dot{I}_1 + h_{22}\dot{U}_2,$$

где $h_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{U}_2=0}$ — входное сопротивление транзистора в режиме короткого замыкания на выходе;

$h_{12} = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} \right|_{\dot{I}_1=0}$ — коэффициент обратной связи по напряжению в режиме холостого хода на входе;

$h_{21} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{U}_2=0}$ — коэффициент передачи тока в режиме короткого замыка-

ния на выходе;

$$h_{22} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} \quad \text{— выходная проводимость транзистора в режиме холостого}$$

хода на входе.

При включении транзистора по схеме с общей базой его физические параметры связаны с h -параметрами следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} r_{\text{э}} &= \frac{h_{11\text{б}}(1 - h_{21\text{б}})h_{12\text{б}}}{h_{22\text{б}}}; \\ r_{\text{б}} &= \frac{h_{12\text{б}}}{h_{22\text{б}}}; \\ r_{\text{к}} &= \frac{1}{h_{22\text{б}}}; \\ \alpha &= |h_{21\text{б}}|, \end{aligned}$$

где индексом «б» и отмечена схема включения транзистора (с общей базой), которой соответствует h -параметр.

Различают следующие статические ВАХ транзистора, включенного по схеме с общей базой:

- $i_{\text{э}}(u_{\text{эб}})$ — входная ВАХ при $u_{\text{кб}} = \text{const}$;
- $i_{\text{к}}(u_{\text{эб}})$ — проходная ВАХ при $u_{\text{кб}} = \text{const}$;
- $i_{\text{к}}(u_{\text{кб}})$ — выходная ВАХ при $i_{\text{э}} = \text{const}$.

В выбранной рабочей точке статической ВАХ транзистора могут быть определены следующие параметры транзистора:

- параметр $h_{11\text{Б}}$ — по входным ВАХ;
- параметр $h_{22\text{Б}}$ — по выходным ВАХ;
- параметр $h_{21\text{Б}}$ — по выходным ВАХ;
- параметр $h_{12\text{Б}}$ — по входным ВАХ.

Аналогично определяются Y и Z параметры транзистора.

При решении задачи 2.6 следует составить уравнение по второму закону Кирхгофа для входной цепи транзистора, пренебрегая напряжением $U_{\text{эб}}$ на эмиттерном переходе. Используя известные зависимости между токами в транзисторе [2, 5] определить их. Зная токи определить все недостающие параметры схемы, пользуясь законами Ома и Кирхгофа.

3. Экзаменационные вопросы

1. Цель и задачи изучения дисциплины. Краткая история развития полупроводниковой электроники и микроэлектроники.
2. Общие сведения о полупроводниках. Энергетические уровни. Собственные и примесные полупроводники.
3. Равновесная концентрация зарядов в собственном полупроводнике.
4. Равновесная концентрация зарядов в примесном полупроводнике.
5. Неравновесная концентрация зарядов в полупроводниках.
6. Токи в полупроводнике. Дрейфовый и диффузионный токи.
7. Уравнение непрерывности заряда в примесных полупроводниках.
8. p - n переход в отсутствие внешнего поля. Контактная разность потенциалов. Распределение зарядов.
9. Распределение напряженности поля и потенциала в p - n переходе при отсутствии внешнего поля. Энергетическая диаграмма.
10. Прохождение тока через p - n переход. Инжекция и экстракция носителей заряда.
11. Концентрация неосновных носителей заряда и ее градиент на границе p - n перехода.
12. Уравнение ВАХ p - n перехода.
13. Устройство полупроводниковых диодов.
14. Статические ВАХ реальных диодов.
15. Дифференциальные параметры полупроводниковых диодов.
16. Виды пробоя в полупроводниковом диоде.
17. Динамические свойства полупроводникового диода. Уравнение заряда.
18. Барьерная емкость диода.
19. Диффузионная емкость диода.
20. Динамические модели диода.
21. Выпрямительные и высокочастотные диоды.
22. Импульсные диоды и их типы.
23. Стабилитроны и их основные параметры.
24. Принцип стабилизации напряжения.
25. Варикапы. Параметры и применение варикапов.
26. Туннельные и обращенные диоды. ВАХ, схема включения, параметры, энергетические диаграммы.
27. Металлополупроводниковые диоды. Энергетические диаграммы.
28. Биполярный транзистор. Общие сведения.
29. Технологические типы биполярных транзисторов.
30. Распределение потенциала в структуре биполярного транзистора.
31. Концентрация неосновных носителей заряда в базе. Градиент концентрации.
32. Концентрация основных носителей заряда в базе. Градиент концентра-

ции.

33. Дрейфовые транзисторы и их особенности.
34. Ток эмиттера. Уравнение тока эмиттера. Коэффициент инжекции.
35. Управляемый ток коллектора.
36. Собственный ток коллекторного перехода. Ток базы.
37. Входные и выходные характеристики биполярного транзистора в схеме с общей базой.
38. Схема с общим эмиттером. Входные характеристики.
39. Выходные характеристики биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.
40. Температурная зависимость характеристик транзистора.
41. Нелинейная модель биполярного транзистора.
42. Электрический и тепловой пробой биполярного транзистора.
43. Влияние сопротивления в цепи базы на величину пробивного напряжения транзистора.
44. Дифференциальные параметры транзисторов. Система h - параметров.
45. Определение h - параметров по статическим характеристикам. Температурный дрейф h - параметров.
46. Система Y - параметров.
47. Система Z - параметров.
48. Динамические свойства транзисторов. Коэффициент передачи тока эмиттера на ВЧ.
49. Зависимость коэффициента передачи токов базы и эмиттера от частоты.
50. Частотная зависимость Y - параметров. Гибридная схема замещения транзистора.
51. Частотные зависимости Y_{21} и Y_{11} .
52. Частотные зависимости Y_{12} и Y_{22} .
53. Динамические модели биполярного транзистора. П - образная модель.
54. Т - образная модель биполярного транзистора .
55. Т - образная модель биполярного транзистора для диапазона ВЧ.
56. Обобщенная модель усилителя. Коэффициенты усиления.
57. Усилитель по схеме с общей базой .
58. Усилитель по схеме с общим эмиттером.
59. Усилитель по схеме с общим коллектором.
60. Частотный диапазон работы биполярных транзисторов.
61. Полевые транзисторы. Общие сведения.
62. Влияние напряжения затвора на сопротивление канала.
63. Влияние напряжения стока на процессы в канале полевого транзистора.
64. Теоретическая ВАХ полевого транзистора с p - n затвором.
65. Выходная, передаточная и входная характеристики полевых транзисторов.
66. Дифференциальные параметры транзистора с p - n затвором: крутизна, выходная проводимость.
67. Частотная зависимость дифференциальных параметров.

68. Шумы усилительных транзисторов. Виды шумов.
69. Шумовые параметры транзистора. Коэффициент шума.
70. Напряжение шумов. Шумовое сопротивление и шумовая проводимость.
71. Тиристоры. Структура, ВАХ, принцип работы.
72. Разновидности тиристоров. Тиристорное включение транзисторов.
73. Фотоэлектрические приборы. Назначение, принцип работы, основные характеристики.
74. Светоизлучающие диоды. Разновидности, назначение, принцип работы.
75. Оптроны. Типы оптронов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по оформлению текстовых работ для студентов дневной и заочной форм обучения направления 6.050901 — “Радиотехника” / СевНТУ В. Г. Слезкин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. — 20 с.
2. Батушев В.А. Электронные приборы / В.А. Батушев.— М.: Высш. школа, 1990.— 364 с.
3. Дулин В.Н. Электронные приборы / В.Н. Дулин. — М.: Энергия, 1977.— 424 с.
4. Терехов В.А. Задачник по электронным приборам / В.А. Терехов. — М.: Энергоатомиздат, 1993.— 280 с.
5. Изъюрова Г.И. Расчет электронных схем / Г.И. Изъюрова.— М.: Высш. школа, 1997.— 335 с.
6. Полупроводниковые приборы, интегральные микросхемы и технология их производства: учеб. для студ. вузов II — IV уровня аккредитации / Ю.Е. Гордиенко, А.Н. Гуржий, А.В. Бородин, С. С. Бурдукова. — Харьков: Компания СМІТ, 2004. — 620 с.
7. Валенко В. С. Полупроводниковые приборы и основы схемотехники электронных устройств / В. С. Валенко. — М.: Додэка — XXI, 2001. — 366 с.
8. Прохоров Е. Д. Твердотіла електроніка / Е. Д. Прохоров. — Харків: Изд-во Харків. нац. ун-та ім. В. Н. Каразіна, 2007. — 544 с.
9. Москатов Е.А. Электронная техника / Е. А. Москатов. — Таганрог: Изд-во ТРТИ, 2004. — 121с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Образец титульного листа

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №
по дисциплине «Компонентная база РЭА»

Выполнил студент гр. _____

(Ф.И.О.)

Номер зачетной книжки _____

Отметка о защите _____

Преподаватель _____
(Ф.И.О.)

Севастополь
20__

Заказ № _____ от “ _____ ” _____ 2010 г. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ