

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине
«ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ»
для студентов направления подготовки
11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»
Направленность (профиль)
«Интеллектуальные программируемые системы и устройства»

Ставрополь
2026

Печатается по решению
Учебно-методического совета
Северо-Кавказского
федерального университета

УДК
ББК

Дюдюн Д.Е. Введение в специальность: методические указания по выполнению практических работ. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 202_. – _ с.

Настоящие методические указания к практическим работам по дисциплине «Введение в специальность» предназначены для студентов направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, профиль подготовки Интеллектуальные программируемые системы и устройства. В методических указаниях приведены разделы теоретического материала, необходимые для изучения дисциплины, а также задания для самостоятельного выполнения и контрольные вопросы для формирования и контроля владения компетенциями. Приведён список основной литературы. В приложении представлен список дополнительной литературы, позволяющий студентам более глубоко познакомиться с изучаемым предметом.

Методические указания к практическим работам составлены в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, рабочими учебными планами и программами дисциплины «Введение в специальность».

УДК
ББК

© ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский
федеральный университет»,
202_

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. История развития электроники	4
2. Электрическое поле	6
3. Законы постоянного тока	9
4. Соединения резисторов. Делитель напряжения	12
5. Тепловое действие тока	15
6. Магнитное поле	17
7. Переменный ток	20
8. Аудиторная контрольная работа	24
9. Электрический ток в газе	25
10. Электрический ток в вакууме	28
11. Общие сведения о полупроводниках	31
12. Электронно-дырочный переход. Диод	34
13. Биполярный транзистор	36
14. Полевые транзисторы	40
15. Аудиторная контрольная работа	43
16. Интегральные схемы	44
17. Технологический процесс изготовления ИС	45
18. Аналоговые электронные схемы	47
19. Принципы цифровой электроники	49
20. Квантовые эффекты в нанотехнологиях	51
21. Наноматериалы	52
22. Технологии получения наноматериалов	53
23. Инструменты нанотехнологий	54
24. Аудиторная контрольная работа	55
Рекомендуемая литература	56
Приложение 1 Физические постоянные	57
Приложение 2 Свойства некоторых полупроводников	58

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность практических занятий по дисциплине «Введение в специальность» определяется тем, что в процессе практических занятий студенты расширяют и углубляют знания, полученные из лекционного курса и учебников, учатся глубже понимать законы, разбираться в границах их применения, приобретают умение применять общие закономерности к конкретным случаям.

Целями практических занятий являются:

- закрепление знаний, полученных во время лекций и самостоятельной работы с учебной литературой;
- расширение и углубление представлений студентов по наиболее актуальным теоретическим и практическим проблемам;
- формирование и развитие практических навыков и умений, необходимых для будущей профессиональной деятельности;
- осуществление контроля за качеством усвоения студентами учебной программы.

Представленные методические указания по выполнению практических работ предназначены для оказания студентам помощи при подготовке к практическим занятиям.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

История развития электроники

Цель: Проследить исторический путь основных изобретений и открытий, обеспечивающих современное состояние электроники.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание исторических аспектов развития электроники, основных направлений развития электроники.

Теоретическая часть

Электроника – это наука, изучающая явления взаимодействия электронов и других заряженных частиц с электрическими, магнитными и электромагнитными полями, что является физической основой работы электронных приборов и устройств, используемых для передачи, обработки и хранения информации.

Основные направления развития электроники: вакуумная, твердотельная и квантовая электроника.

Основные исторические даты развития электроники:

1874 – открытие Брауном выпрямляющего действия контакта металла с сульфидом свинца;

1876 – Адамсон и Дей создали первый фотоэлемент на основе селена;

1883 – Фритте изготовил первый твердотельный выпрямитель переменного тока;

1883 – открытие эффекта Эдисона;

1895 – изобретение радио;

1904 – изобретение Флемингом вакуумного диода;

1906 – де Форест изобрел трехэлектродную вакуумную лампу;

1948 – разработка точечного транзистора (Шокли, Бардин, Браттейн);

1950 – разработка плоскостного биполярного транзистора;

1952 – разработка полевого (униполярного) транзистора;

1958 – 1960 – первые разработки интегральных схем;

1962 – 1963 – разработка первых микросхем в СССР.

Темы для обсуждения

1. Электроника как наука.
2. История развития электроники.
3. Основные направления электроники.
4. История развития серийного производства транзисторов в США и СССР.
5. Изобретение радио.
6. Советские и российские ученые, внесшие вклад в развитие электроники.

Вопросы

1. Дайте определение электроники как науки.
2. Назовите основные направления развития электроники.
3. Назовите основные направления твердотельной электроники.
4. Какие фундаментальные открытия в физике предшествовали возникновению электроники?
5. В чем заключается Эффект Эдисона?
6. Вакуумный диод Флеминга.
7. Изобретение транзистора.
8. Предпосылки появления микроэлектроники.
9. Охарактеризуйте пять этапов развития микроэлектроники.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

Электрическое поле

Цель: Изучить основные физические законы, лежащие в основе принципов действия электронных приборов.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических законов, лежащих в основе действия электронных приборов, умение производить расчет действия электрического поля на заряд.

Теоретическая часть

На заряд q в электрическом поле действует сила F , величина которой определяется выражением:

$$\vec{F} = q\vec{E},$$

где E – напряженность электрического поля. Эта сила совпадает с направлением вектора напряженности, если заряд положительный, и направлена противоположно вектору напряженности, если заряд отрицательный.

Напряженность – это силовая характеристика электрического поля, единицы измерения напряженности $[E] = \text{В/м}$. Еще одной характеристикой электрического поля является потенциал φ . Потенциал – это энергетическая характеристика электрического поля. Потенциал некоторой точки определяет работу, которую должно совершить электрическое поле, перемещая электрический заряд q из данной точки на бесконечность:

$$\varphi_1 = \frac{A_{1 \rightarrow \infty}}{q}.$$

Когда заряд q перемещается из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 , электрическое поле совершает работу

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Напряженность электрического поля и потенциал электрического поля связаны соотношением:

$$E_x = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x},$$

где E_x – проекция вектора напряженности на ось x , $\Delta\varphi$ – разность потенциалов между двумя точками, лежащими на этой оси на расстоянии Δx . Знак минус показывает, что вектор напряженности направлен в сторону уменьшения потенциала.

Вопросы для обсуждения

1. Электрический заряд. Закон сохранения заряда.
2. Закон Кулона.
3. Электростатическое поле. Напряженность поля. Однородное поле.
4. Принцип суперпозиции.
5. Работа сил электростатического поля.
6. Потенциал электростатического поля.
7. Связь потенциала и напряженности.
8. Графическое изображение полей.
9. Поле точечного заряда.
10. Проводники в электростатическом поле.
11. Диэлектрики в электростатическом поле.

Задачи

1. Какая сила действует на электрон в электрическом поле, напряженность которого равна 10 кВ/м?
2. Заряд 1 мКл под действием сил электростатического поля перемещается из точки 1 в точку 2, при этом поле совершает работу 3 Дж. Найти разность потенциалов между точками.
3. Электрон в электронно-лучевой трубке ускоряется из состояния покоя разностью потенциалов 5 кВ. Чему равно изменение потенциальной энергии электрона?

4. Разность потенциалов между катодом и ускоряющим анодом в электронно-лучевой трубке $U = 10$ кВ. Какую скорость приобретает электрон, пройдя такую разность потенциалов? Начальную скорость электрона принять равной нулю.
5. В диоде электроны ускоряются до энергии 100 эВ. Какова их скорость у анода лампы?
6. Разность потенциалов U между катодом и анодом электронной лампы равна 90 В, расстояние $r = 1$ мм. С каким ускорением a движется электрон от катода к аноду? Какова скорость и электрона в момент удара об анод? За какое время электрон пролетает расстояние от катода до анода? Поле считать однородным.
7. В пространство между вертикально отклоняющими пластинами кинескопа телевизора влетает электрон со скоростью $v_0 = 6 \cdot 10^7$ м/с, направленной параллельно пластинам. На какое расстояние по вертикали сместится электрон за время его движения между пластинами? Длина пластины $l = 5$ см, расстояние между ними $d = 2$ см, разность потенциалов между пластинами $U = 650$ В.
8. В пространство между пластинами конденсатора посередине между ними влетает электрон со скоростью $v_0 = 6 \cdot 10^7$ м/с, направленной параллельно пластинам. При каком напряжении на конденсаторе электрон сможет вылететь из него? Длина пластины $l = 5$ см, расстояние между ними $d = 2$ см.
9. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрел скорость 10^5 м/с. Расстояние между пластинами 8 мм. Найти разность потенциалов между пластинами.
10. При переносе точечного заряда 10 нКл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии 20 см от поверхности равномерно заряженной сферы, необходимо совершить работу 0,5 мкДж. Радиус сферы 4 см. Найдите заряд сферы.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

Законы постоянного тока

Цель: Изучить законы постоянного тока.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических законов, лежащих в основе действия электронных приборов, умение производить расчет цепей постоянного тока.

Теоретическая часть

Сила тока:

$$I = \frac{dq}{dt},$$

где dq – заряд, переносимый через сечение проводника за время dt .

Плотность тока:

$$j = \frac{I}{S},$$

где S – площадь поперечного сечения проводника.

Связь плотности тока со средней скоростью направленного движения заряженных частиц:

$$\vec{j} = en\langle\vec{v}\rangle,$$

где $\vec{j}$ – плотность тока, e – заряд частицы, $\langle\vec{v}\rangle$ – скорость направленного движения, n – концентрация заряженных частиц.

Закон Ома

для участка цепи, не содержащего ЭДС: $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R};$

для участка цепи, содержащего ЭДС: $I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \varepsilon}{R} = \frac{U}{R};$

для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ - разность потенциалов на концах участка цепи, U – напряжение на участке цепи, R – сопротивление участка цепи, $\mathcal{E}$ - ЭДС источника тока, r – внутреннее сопротивление источника тока.

Сопротивление проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, l и S – длина и площадь поперечного сечения проводника.

Вопросы для обсуждения

1. Постоянный ток. Условия существования постоянного тока.
2. Сила тока. Плотность тока. Скорость упорядоченного движения зарядов.
3. Закон Ома для участка цепи.
4. Сопротивление проводника. Удельное сопротивление.
5. Зависимость сопротивления веществ от температуры.
6. Последовательное и параллельное сопротивление проводников.
7. Сторонние силы, ЭДС. Связь напряжения, разности потенциалов, ЭДС.
8. Закон Ома для неоднородного участка цепи и для замкнутой цепи.
9. Цепи, содержащие несколько источников.

Задачи

1. Амперметр показывает ток 0,5 А. Найти силу тока через сопротивление R_4 , если $R_1 = R_4 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = R_5 = 1$ Ом.

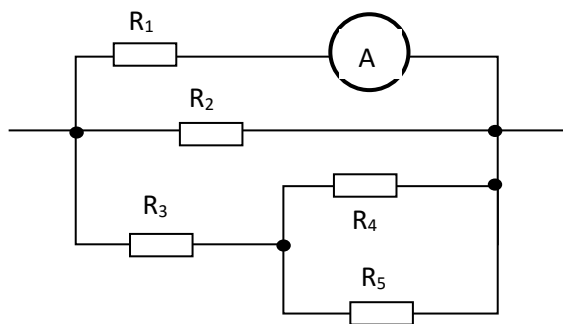


Рис. 1 к задаче 1.

2. Найти разность потенциалов между точками a и b . ЭДС источников $\mathcal{E}_1 = 1$ В, $\mathcal{E}_2 = 1,3$ В, сопротивления резисторов $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 5$ Ом.

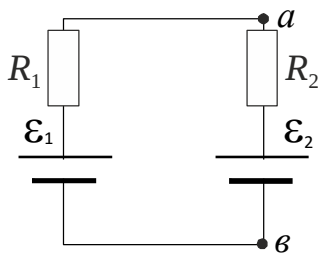


Рис. 2 к задаче 2.

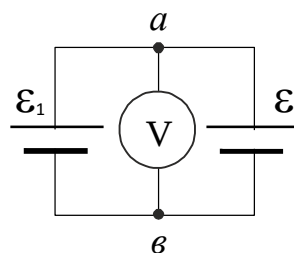


Рис. 3 к задаче 6.

3. Определить ток короткого замыкания источника ЭДС, если при внешнем сопротивлении 50 Ом ток в цепи 0,2 А, а при 110 Ом - ток 0,1 А.
4. Какое напряжение можно приложить к катушке, имеющей 1000 витков медного провода со средним диаметром витков $D = 6$ см, если допустимая плотность тока 2 А/мм², удельное сопротивление меди $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м?
5. Если к амперметру, рассчитанному на максимальную силу тока 2 А, присоединить шунт сопротивлением 0,5 Ом, то цена деления шкалы амперметра возрастает в 10 раз. Определить, какое добавочное сопротивление надо подключить к тому же амперметру, чтобы его можно было использовать как вольтметр, измеряющий напряжение до 220 В.
6. Даны два элемента с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 1,5$ В и $\mathcal{E}_2 = 2$ В и внутренними сопротивлениями $r_1 = 0,6$ Ом и $r_2 = 0,4$ Ом. Какую разность потенциалов между точками a и b покажет вольтметр? Сопротивление вольтметра велико по сравнению с сопротивлениями источников.
7. Два элемента с одинаковыми ЭДС 2 В соединены параллельно (одинаковыми полюсами) и замкнуты на внешнее сопротивление. Внутренние сопротивления элементов равны соответственно 1 Ом и 2 Ом. Ток, текущий через первый элемент равен 1 А. Найти внешнее сопротивление.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

Соединения резисторов. Делитель напряжения

Цель: Изучить правила расчета сопротивления при последовательном, параллельном и смешенном соединении резисторов.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических законов, лежащих в основе действия электронных приборов, умение производить расчет цепей постоянного тока.

Теоретическая часть

При последовательно соединении проводников их сопротивления складываются:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

При параллельном соединении проводников складываются проводимости проводников:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Правила Кирхгофа:

Алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

В замкнутом контуре алгебраическая сумма напряжений на всех участках контура равна алгебраической сумме ЭДС

$$\sum I_i R_i = \sum \varepsilon_i$$

Делитель напряжения

Простейший резистивный делитель напряжения представляет собой два последовательно включённых резистора, подключённых к источнику напряжения.

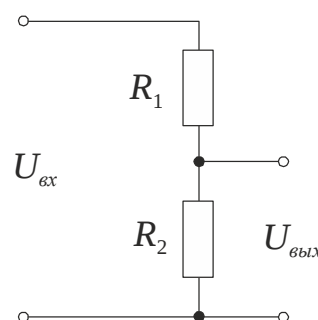


Рис. 4 Делитель напряжения

Поскольку резисторы соединены последовательно, то ток через них будет одинаков. Падение напряжения на каждом резисторе согласно закону Ома будет пропорционально сопротивлению:

$$\begin{aligned} U_1 &= IR_1, \\ U_2 &= IR_2. \end{aligned}$$

Разделив одно выражение на другое, получим:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}, \quad U_1 = \frac{R_1}{R_2} U_2.$$

Тогда

$$U = U_1 + U_2 = \frac{R_1}{R_2} U_2 + U_2 = U_2 \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right).$$

Выходное напряжение равно напряжению на резисторе R_2 :

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Отношение $U_{\text{вых}}$ к $U_{\text{вх}}$ называется коэффициентом передачи схемы K :

$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Необходимо упомянуть, что значения сопротивлений делителя должны быть на порядок или два (в зависимости от требуемой точности) меньше, чем сопротивление нагрузки.

Вопросы для обсуждения

1. Правила расчета сопротивления.
2. Правила Кирхгофа.
3. Методы расчета электрических цепей: метод контурных токов, метод узловых потенциалов.
4. Делитель напряжения.

Задачи

1. На рис. 5 $\varepsilon=2$ В, $R_1=60$ Ом, $R_2=40$ Ом, $R_3=R_4=20$ Ом и $R_G=100$ Ом. Определить силу тока I_G , протекающего через гальванометр.

2. На рис. 6 $\varepsilon_1=10$ В, $\varepsilon_2=20$ В, сопротивления $R_1=R_2=R_3=10$ Ом. Определить силы токов, протекающих через сопротивления и через источники ЭДС. Внутреннее сопротивление источников не учитывать.

3. В схеме, изображенной на рисунке 7, ЭДС $\varepsilon=5$ В, сопротивления $R_1=1$ Ом, $R_2=2$ Ом, $R_3=3$ Ом. Сопротивление источника $r = 0,1$ Ом. Найти токи, текущие в цепи.

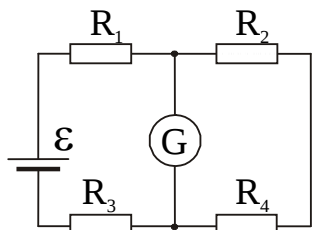


Рисунок 5

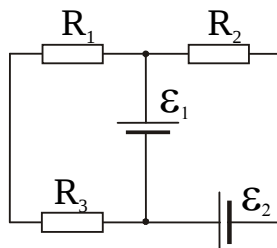


Рисунок 6

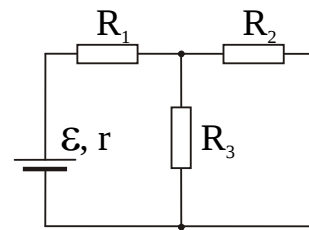


Рисунок 7

4. Будет ли течь ток через идеальный диод D (рис. 8)? Если да, то чему он будет равен?

5. Пусть источник питания выдает 24 В постоянного напряжения, примем, что величина сопротивления нагрузки переменная, но минимальное значение равно 15 кОм. Необходимо рассчитать параметры резисторов для делителя, выходное напряжение которого равно 6 В.

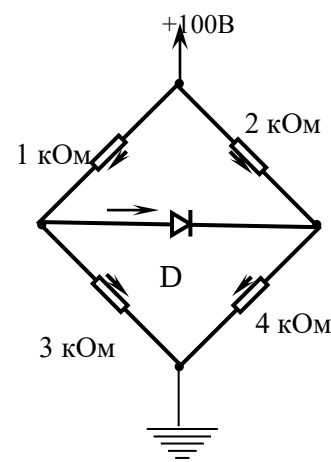


Рисунок 8

6. Определите сопротивление между двумя противоположными вершинами большой диагонали куба, изготовленного из однородной проволоки, если сопротивление одного его ребра равно R .

7. Найти эквивалентное сопротивление между точками a и b , если $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 30$ Ом, $R_3 = 60$ Ом, $R_4 = 14$ Ом и $R_5 = 2$ Ом.

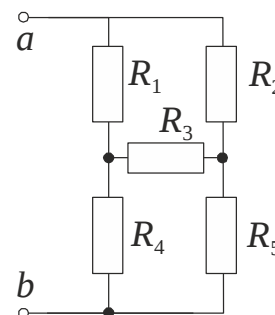


Рис. 9 к задаче 7.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

Тепловое действие тока

Цель: Изучить правила расчета мощности тока, КПД источников тока.

Формируемые компетенции: УК-6(способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических законов, лежащих в основе действия электронных приборов, умение производить расчет цепей постоянного тока.

Теоретическая часть

Работа и мощность тока:

$$A = IUt, P = IU.$$

Закон Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

где Q – количество теплоты, выделяющееся в участках цепи за время t .

КПД источника тока

$$\eta = \frac{U}{\mathcal{E}} = \frac{R}{R + r}$$

Вопросы для обсуждения

1. Закон Джоуля – Ленца.
2. КПД источника тока.
3. Мощность тока.
4. Максимальная мощность, выделяющаяся во внешней цепи.

Задачи

1. Три одинаковых источника тока, соединенные параллельно, замыкают на резистор сопротивлением 3 Ом. При этом на нем выделяется такая же мощность, как и в случае подключения к этому резистору девяти таких же источников, соединенных последовательно. Определите внутреннее сопротивление одного источника.

2. На внешней нагрузке, подключенной к батарее, выделяется мощность 1 Вт. Чему равен КПД источника в этом случае, если при подключении той же нагрузки к двум таким же батареям, соединенным последовательно, мощность, выделяемая на нагрузке, равна 1,44 Вт?
3. В проводнике за время 10 с при равномерном возрастании силы тока от 1 А до 2 А выделилось количество теплоты 5 кДж. Найти сопротивление проводника.
4. Имеется лампочка напряжением 120 В, мощностью 40 Вт. Какое добавочное сопротивление надо включить последовательно с лампочкой, чтобы она давала нормальный накал при напряжении в сети 220 В? Сколько метров нихромовой проволоки диаметром 0,3 мм надо взять, чтобы получить такое сопротивление?
5. Проводка от магистрали в здание осуществлена проводом сопротивлением 0,5 Ом. Напряжение в магистрали постоянно и равно 127 В. Найти максимально возможную потребляемую в здании мощность, если напряжение на включаемых в сеть приборах не должно падать ниже 120 В.
6. Какое количество ламп мощностью 300 Вт каждая, рассчитанных на напряжение 110 В, можно установить в здании, если проводка от магистрали сделана медным проводом общей длиной 100 м и сечением 9 мм² и если напряжение в магистрали 122 В?
7. Найти сечение медных проводов, которые используются для передачи мощности 8 кВт на расстояние 90 м при напряжении на нагрузке 110 В. Потери мощности в двухпроводной линии не превышают 5%.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6

Магнитное поле

Цель: Изучить основные физические законы, лежащие в основе принципов действия электронных приборов.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических законов, лежащих в основе действия электронных приборов, умение производить расчет действия магнитного поля на заряд.

Теоретическая часть

Сила, действующая на электрический заряд q , движущийся в магнитном поле со скоростью v , называется силой Лоренца и выражается формулой

$$\vec{F} = q[\vec{v}\vec{B}],$$

где B — индукция магнитного поля, в котором заряд движется.

Направление силы Лоренца определяется с помощью правила левой руки.

Модуль силы Лоренца равен

$$F = qvB\sin\alpha,$$

где α — угол между векторами v и B .

Сила Лоренца всегда перпендикулярна скорости движения заряженной частицы, поэтому она изменяет только направление этой скорости, не изменяя ее модуля. Следовательно, сила Лоренца работы не совершает.

Если на движущийся электрический заряд помимо магнитного поля с индукцией B действует и электрическое поле с напряженностью E , то результирующая сила F , приложенная к заряду, равна векторной сумме сил, действующих на заряд со стороны электрического и магнитного полей.

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v}\vec{B}],$$

Если заряженная частица движется в магнитном поле со скоростью v , перпендикулярной вектору B , то сила Лоренца постоянна по модулю и нормальна к траектории частицы. Под действием этой силы заряженная частица будет двигаться по окружности, радиус r которой определяется выражением

$$r = \frac{mv}{qB}.$$

Период вращения частицы, т. е. время T , затрачиваемое на один полный оборот,

$$T = \frac{2\pi m}{qB},$$

т. е. период вращения частицы в однородном магнитном поле определяется только величиной, обратной удельному заряду (Q/m) частицы, и магнитной индукцией поля, но не зависит от ее скорости (при $v \ll c$). На этом основано действие циклических ускорителей заряженных частиц.

Если скорость v заряженной частицы направлена под углом α к вектору B , то она движется по винтовой линии, ось которой параллельна магнитному полю. Шаг винтовой линии

$$h = 2\pi m v \cos \alpha / (Bq).$$

Если скорость v заряженной частицы составляет угол α с направлением вектора B *неоднородного* магнитного поля, индукция которого возрастает в направлении движения частицы, то r и h уменьшаются с ростом B . На этом основана фокусировка заряженных частиц в магнитном поле.

Вопросы для обсуждения

1. Магнитное поле. Вектор индукции магнитного поля. Линии индукции.
2. Магнитное поле тока. Закон Био – Савара - Лапласа. Индукция в центре кругового витка с током.
3. Взаимодействие токов. Закон Ампера. Единица измерения тока.
4. Действие магнитного поля на рамку с током.
5. Действие поля на движущийся заряд. Сила Лоренца.

6. Циклотрон. Масс-спектрограф.
7. Поток магнитной индукции. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца.
8. ЭДС индукции в движущихся проводниках.
9. Энергия магнитного поля.
10. Магнитные свойства вещества. Магнитная проницаемость.

Задачи

- 1 Протон ($m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл) влетает в однородное магнитное поле с индукцией $2 \cdot 10^{-5}$ Тл перпендикулярно силовым линиям. Сколько оборотов будет делать в магнитном поле протон за 1 с?
- 2 Заряженная частица проходит, не отклоняясь, через область, в которой созданы однородные взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля с напряженностью $E = 2,5 \cdot 10^5$ В/м и индукцией $B = 0,1$ Тл. Если устранить электрическое поле, то частица движется по дуге окружности радиуса 0,5 м. Найдите отношение заряда частицы к ее массе.
- 3 Заряженная частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов 10^4 В, влетела в скрещенные под прямым углом электрическое и магнитное поля перпендикулярно им. Напряженность электрического поля 10 кВ/м, индукция магнитного поля 0,1 Тл. Найти удельный заряд q/m этой частицы, если она стала двигаться равномерно и прямолинейно в направлении, перпендикулярном этим полям.
- 4 Из электронной пушки, ускоряющее напряжение в которой $U=600$ В, вылетает электрон и попадает в магнитное поле с индукцией 1,2 Тл. Линии магнитной индукции составляют угол 30° с направлением скорости электрона в магнитном поле. Найдите ускорение электрона.
- 5 Электронный луч осциллографической трубки отклоняется под действием магнитного поля Земли, горизонтальная составляющая напряженности которого в данном месте составляет 50 А/м. Энергия электронов 0,5 кэВ, расстояние между анодом и экраном равно 25 см. Найти величину смещения следа луча на люминесцентном экране.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7

Переменный ток

Цель: Изучить правила расчета цепей переменного тока.

Формируемые компетенции: УК-6(способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических законов, лежащих в основе действия электронных приборов, умение производить расчет цепей переменного тока.

Теоретическая часть

Активная мощность в цепи синусоидального тока:

$$P = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R,$$

где I и U – действующие значения тока и напряжения,

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}, \quad U = \frac{U_0}{\sqrt{2}},$$

I_0 и U_0 – амплитудные значения тока и напряжения.

Реактивное сопротивление конденсатора

$$X_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Реактивное сопротивление катушки индуктивности

$$X_L = \omega L.$$

На активном сопротивлении напряжение совпадает с током по фазе. Если ток, текущий по сопротивлению задан выражением

$$i = I_m \sin \omega t$$

то напряжение на этом сопротивлении изменяется по закону:

$$u = U_m \sin \omega t$$

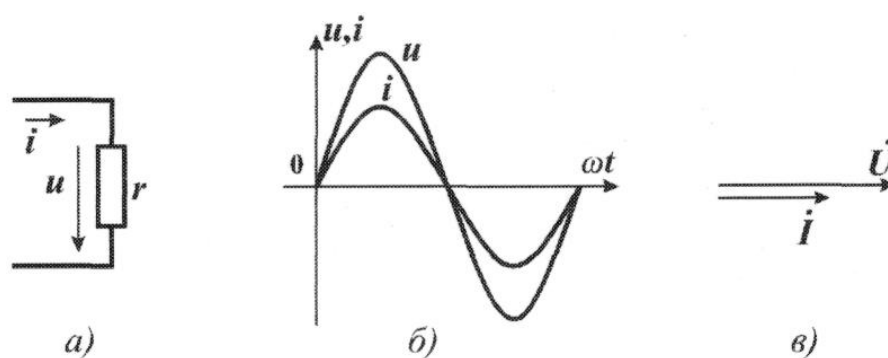


Рисунок 10. Ток и напряжение на активном сопротивлении.

В катушке индуктивности напряжение опережает ток по фазе на угол 90° .

Если ток катушки задан выражением:

$$i = I_m \sin \omega t$$

то напряжение на катушке изменяется по закону:

$$u = X_L I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

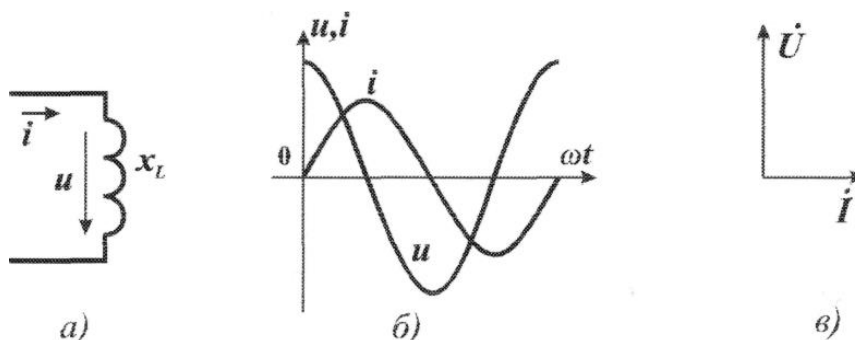


Рисунок 11. Ток и напряжение в катушке индуктивности.

На конденсаторе напряжение отстает от тока по фазе на угол 90° . Если ток, протекающий через конденсатор, задан выражением:

$$i = I_m \sin \omega t$$

то напряжение на конденсаторе изменяется по закону:

$$u = X_C I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = U_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

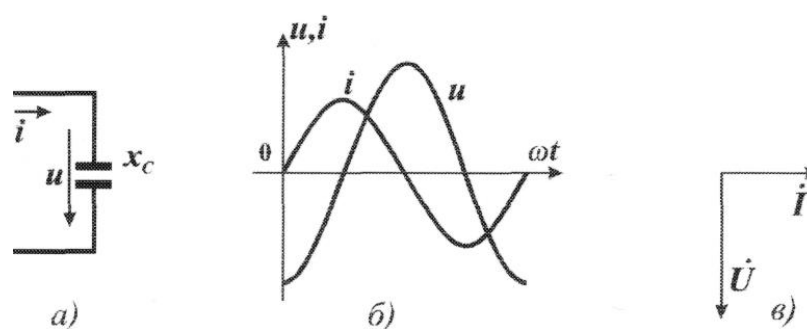


Рисунок 12. Ток и напряжение конденсатора

Закон Ома для участка цепи с последовательным соединением элементов

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}.$$

Вопросы для обсуждения

1. Действующее напряжение. Как определить действующее напряжения для синусоидального сигнала; для прямоугольного сигнала.
2. В чем физический смысл емкостного сопротивления; индуктивного сопротивления?
3. Сдвиг фаз в цепи переменного тока.
4. Коэффициент мощности в цепи переменного тока.

Задачи

1. Последовательно с катушкой, активное сопротивление которой $R_1 = 10$ Ом и индуктивность $L = 0,0318$ Гн, включен приемник, обладающий активным сопротивлением $R_2 = 1$ Ом и емкостью $C = 796$ мкф. К цепи приложено переменное напряжение, изменяющееся по закону $u = 169,8 \cdot \sin(314 \cdot t)$. Определить: полное сопротивление цепи, ток в цепи, активную мощность.
2. В цепи действующие напряжения $U_{12} = 30$ В, $U_{23} = 10$ В, $U_{34} = 15$ В. Определить действующее напряжение U_{14} .

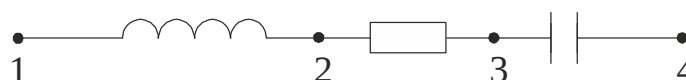


Рис. 13 к задаче 2

3. Конденсатор емкостью C , резистор сопротивлением R и катушка индуктивностью L включены последовательно в цепь переменного тока

напряжением $U_{\text{эфф}} = 36 \text{ В}$. а) Найти максимальное напряжение на конденсаторе $U_{\text{См}}$, если максимальные напряжения на индуктивности и на резисторе одинаковы и равны $4 \cdot U_{\text{См}}$. б) Чему равен фазовый сдвиг между колебаниями тока и приложенного к цепи напряжения? Активным сопротивлением катушки пренебречь.

4. Катушка включена в цепь переменного тока напряжением $U_{\text{эфф}} = 20 \text{ В}$ и частотой $\nu = 50 \text{ Гц}$. Найти индуктивность катушки L и ее активное сопротивление R , если известно, что на катушке выделяется средняя тепловая мощность $P = 400 \text{ Вт}$ и сдвиг фаз между напряжением и током $\phi = 60^\circ$ (представьте катушку в виде последовательно соединенных идеальной индуктивности L и резистора R).

5. Конденсатор и электрическая лампочка соединены последовательно и включены в цепь переменного тока напряжением $U_{\text{эфф}} = 440 \text{ В}$ и частотой $\nu = 50 \text{ Гц}$. Какую емкость C должен иметь конденсатор для того, чтобы через лампочку протекал ток $I_{\text{эфф}} = 0,5 \text{ А}$ и напряжение на лампочке было равным $U_{\text{Лэфф}} = 110 \text{ В}$?

6. Электрическая лампочка включена в сеть с частотой $\nu = 50 \text{ Гц}$ последовательно с катушкой, индуктивность которой $L = 1 \text{ Гн}$. Когда последовательно с лампочкой и катушкой включили конденсатор, оказалось, что лампочка горит с той же яркостью, что и без конденсатора. Определите его емкость.

7. В сеть переменного напряжения $U = 220 \text{ В}$, частоты $\nu = 50 \text{ Гц}$ включили соединенные последовательно идеальную катушку и резистор сопротивления $R = 100 \text{ Ом}$. Измерения показали, что максимум силы тока "отстает" от максимума приложенного к цепи напряжения на $\tau = 2,5$ миллисекунды. Найти по этим данным индуктивность катушки.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8

Аудиторная контрольная работа

Цель: Контроль знаний.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

Примерный вариант заданий на контрольную работу

Ответьте на вопросы:

1. Назовите основные направления электроники.
2. Опишите 5 этапов развития микроэлектроники.

Решите задачи:

3. Разность потенциалов U между катодом и анодом электронной лампы равна 100 В, расстояние $r = 1$ мм. С каким ускорением a движется электрон от катода к аноду? Какова скорость и электрона в момент удара об анод?

4. Два источника тока с ЭДС $\varepsilon_1=10$ В и $\varepsilon_2=4$ В включены в цепь, как показано на рис.

Определить силы токов, текущих в сопротивлениях R_2 и R_3 , если $R_1 = R_4 = 2$ Ом и $R_2 = R_3 = 4$ Ом. Сопротивления источников тока пренебречь.

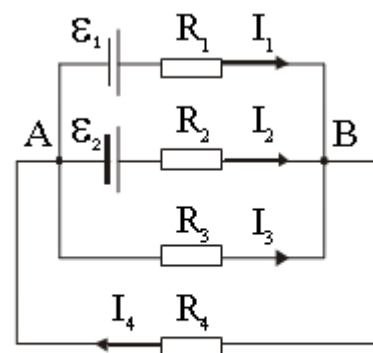


Рисунок 14 к задаче 4

5. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 200 В попадает в магнитное поле с индукцией 0,1 Тл, направленное перпендикулярно его скорости. Определить радиус траектории электрона и период вращения электрона в магнитном поле.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 9

Электрический ток в газе

Цель: Изучить явление газового разряда.

Формируемые компетенции: УК-6(способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических законов, лежащих в основе действия электронных приборов.

Теоретическая часть

Газовый разряд - совокупность процессов, возникающих при протекании электрического тока через вещество, находящееся в газообразном состоянии. Разряды, существующие только под действием внешних ионизаторов, называются несамостоятельными. Разряд в газе, сохраняющийся после прекращения действия внешнего ионизатора, называется самостоятельным.

Условием существования электрического тока является наличие свободных носителей заряда. В газах они возникают в результате ионизации. Под действием факторов ионизации из нейтрального атома выбивается электрон. Атом становится положительным ионом. Таким образом, возникает 2 типа носителей заряда: положительный ион и свободный электрон. Если электрон присоединится к нейтральному атому, то возникает отрицательный ион, т.е. третий тип носителей заряда. В ионизированном газе возможны 2 типа проводимости: электронная и ионная. Для отделения электрона от атома надо затратить энергию.

Ударная ионизация – это физическое явление увеличения числа электронов и ионов в промежутке за счет столкновения электронов с повышенной энергией с нейтральными молекулами. При достаточно высоком напряжении, электроны разогнанные полем до больших скоростей, становятся источником ионизации. При ударе такого электрона о нейтральный атом происходит выбивание электрона из атома. Это

происходит, когда энергия электрона, вызывающего ионизацию, превышает энергию ионизации атома. Напряжение между электродами должно быть достаточным для приобретения электроном нужной энергии.

Для электрона, способного произвести ионизацию можно записать

$$eU = W_i,$$

где e – заряд электрона, U – ускоряющее напряжение, W_i – энергия ионизации атома.

Электрон, двигаясь в поле до столкновения с молекулой, проходит определенное расстояние, называемое длиной свободного пробега. Длина свободного пробега – среднее расстояние, проходимое электроном или ионом до неупругого столкновения с молекулой. Проходя это расстояние в однородном электрическом поле, электрон приобретает кинетическую энергию равную

$$\frac{m v^2}{2} = e E \lambda,$$

где E – напряженность электрического поля, λ – длина свободного пробега.

В зависимости от давления газа, конфигурации электродов, параметров внешней цепи можно говорить о четырех типах самостоятельного разряда: тлеющем, искровом, дуговом и коронном.

Вопросы для обсуждения

1. Ионизация газа. Рекомбинация.
2. Что такое газовый разряд?
3. Несамостоятельный разряд в газах.
4. Самостоятельный разряд в газах.
5. Как можно сделать воздух проводником?
6. Какова природа проводимости газов?
7. Вольтамперная характеристика газового разряда.
8. Виды самостоятельных разрядов в газах.
9. Тлеющий разряд. Особенности. Условия возникновения.
10. Дуговой разряд. Особенности. Условия возникновения.

11. Искровой разряд. Условия возникновения.
12. Коронный разряд. Условия возникновения.
13. Плазма.
14. Газоразрядные приборы.

Задачи

- 1 При какой напряженности поля начнется самостоятельный разряд в воздухе, если энергия ионизации молекул равна $2,4 \cdot 10^{-18}$ Дж, а средняя длина свободного пробега 5 мкм? Какова скорость электронов при ударе о молекулы?
- 2 Расстояние между электродами в трубке, наполненной парами ртути, 10 см. Какова средняя длина свободного пробега электрона, если самостоятельный разряд наступает при напряжении 600 В? Энергия ионизации паров ртути $1,7 \cdot 10^{-18}$ Дж. Поле считать однородным.
- 3 Электрический пробой воздуха наступает при напряженности поля $E = 3.0$ МВ/м. Каковы потенциал ионизации воздуха и скорость электронов перед ударом о молекулы, если длина свободного пробега электронов 5 мкм?
- 4 Энергия ионизации атомов водорода 13,5 эВ. При какой наименьшей скорости электрон может вызвать ударную ионизацию атома водорода?
- 5 В атмосфере вблизи поверхности Земли из-за радиоактивности почвы и космического излучения образуется в среднем пять пар ионов за 1 с в 1 см^3 воздуха. Определите плотность тока насыщения между электродами для однозарядных ионов.
- 6 В трубке, заполненной неоном, между электродами образовано электрическое поле напряженностью 200 В/см. Какой будет длина свободного пробега электронов в момент возникновения ударной ионизации. Для неона энергия ионизации равна 21,5 эВ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 10

Электрический ток в вакууме

Цель: Изучить явление электронной эмиссии. Изучить принцип действия вакуумного диода.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

.В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических законов, лежащих в основе действия электронных приборов.

Теоретическая часть

Электронной эмиссией называют процесс выхода электронов из твердых или жидких тел в вакуум или газ. Чтобы вызвать электронную эмиссию, надо сообщить электронам энергию, которую называют работой выхода. Виды электронной эмиссии: термоэлектронная эмиссия; фотоэлектронная эмиссия; автоэлектронная эмиссия, вторичная электронная эмиссия.

Испускание электронов нагретыми проводящими материалами называется термоэлектронной эмиссией. В рамках модели Зоммерфельда плотность термоэмиссионного тока j_T с поверхности катода, нагретой до температуры T , можно рассчитать по формуле Ричардсона – Дэшмана:

$$j_T = A_0 T^2 \exp\left(-\frac{e\varphi_a}{kT}\right),$$

где φ_a – работа выхода электрона из вещества,

$A_0 = \frac{4\pi m_e e k^2}{h^3} = 120 \frac{A}{\text{см}^2 \cdot \text{град}^2}$ – универсальная постоянная Ричардсона.

Данная формула является приближенной, т. к. не учитывает эффекта

отражения электронов от потенциального барьера и температурную зависимость работы выхода.

С учетом этого формула для плотности термоэмиссионного тока примет вид:

$$j_T = DA_0 e^{-\alpha/k} \cdot T^2 \exp\left(-\frac{e\varphi_a}{kT}\right) = AT^2 \exp\left(-\frac{e\varphi_a}{kT}\right)$$

где $A = DA_0 e^{-\alpha/k}$ – постоянная Ричардсона, α – температурный коэффициент работы выхода, D – прозрачность барьера.

Испускание электронов под действием падающего на поверхность электромагнитного излучения называется фотоэлектронной эмиссией. Фотоэлектронная эмиссия подчиняется уравнению Эйнштейна, согласно которому максимальная энергия фотоэлектронов прямо пропорциональна частоте падающего излучения и не зависит от его интенсивности:

$$\frac{m\nu_{\max}^2}{2} = h\nu - e\varphi_a.$$

Вопросы для обсуждения

1. Электронная эмиссия. Работа выхода.
2. Виды электронной эмиссии.
3. Термоэлектронная эмиссия.
4. Фотоэлектронная эмиссия.
5. Автоэлектронная эмиссия.
6. Термоэлектронный катод.
7. Электроракуумные приборы. Электронные и газоразрядные приборы.
8. Вакуумный диод. Принцип работы. Вольтамперная характеристика.

Задачи

1. Найти максимальную энергию (в эВ), выходящих с поверхности фотокатода под действием монохроматического пучка света с длиной волны $\lambda = 2 \cdot 10^{-7}$ м, если эффективная работа выхода фотокатода $\varphi_{\text{эфф}} = 0,5$ эВ.

2 Электрон фотокатода получил энергию кванта, покинул кристалл и имеет энергию в вакууме 5,7 эВ. Эффективная работа выхода фотокатода $\varphi_{\text{эфф}} = 0,5$ эВ. Какой станет энергия электрона в вакууме (в эВ), если длину волны кванта увеличить в 5 раз.

3 Определить эффективную работу выхода фотокатода, если под действием монохроматического света с длиной волны 0,4 мкм выходящие с поверхности фотокатода электроны имеют максимальную энергию 2 эВ.

4 Чему равна длина волны электромагнитного излучения, падающего на фотокатод, если максимальная энергия фотоэлектронов равна 3 эВ? Эффективная работа выхода фотокатода $\varphi_{\text{эфф}} = 0,7$ эВ.

5 Определить плотность тока термоэмиссии (в А/м²), если материал термокатаода имеет эффективную работу выхода $\varphi_{\text{эфф}} = 1,5$ эВ, температура катода $T_{\text{к}} = 900$ К, проницаемость потенциального барьера $D = 0,95$.

6 Определить эффективную работу выхода материала термокатаода $\varphi_{\text{эфф}}$, если температура катода $T_{\text{к}} = 900$ К, проницаемость потенциального барьера $D = 0,95$, а плотность тока термоэмиссии $j_{\text{э}} = 3,85 \cdot 10^3$ А/м². Определить ток эмиссии термокатаода, если площадь катода $S_{\text{к}} = 0,1$ см².

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 11

Общие сведения о полупроводниках

Цель: Изучить свойства полупроводников.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических законов, лежащих в основе действия электронных приборов, умение рассчитывать электропроводность полупроводников.

Теоретическая часть

Полупроводник, у которого концентрация дырок и электронов равны, называется собственным полупроводником. Концентрации электронов n_i и дырок p_i в собственном полупроводнике одинаковы ($n_i = p_i$) и зависят только от температуры, заметно возрастают с ее повышением. Температурная зависимость n_i определяется соотношением

$$n_i^2 = N_c N_v \exp\left(-\frac{\Delta E_g}{kT}\right),$$

где ΔE_g – ширина запрещенной зоны полупроводника; $N_{c,v}$ – эффективные плотности состояний в зоне проводимости и валентной зоне полупроводника соответственно. Все указанные величины приводятся в справочных данных для полупроводникового материала.

Полупроводники с донорной примесью называются полупроводниками с электронной проводимостью или полупроводниками n-типа, полупроводники с акцепторной примесью называются полупроводниками с дырочной проводимостью или полупроводниками p-типа.

Электропроводность примесных полупроводников, обусловленная основными носителями зарядов определяется выражениями:

$$\sigma_p = qN_A\mu_p, \quad \sigma_n = qN_D\mu_n,$$

где σ_p , σ_n – электропроводность полупроводников р- и n-типов, μ_p , μ_n – подвижности дырок и электронов соответственно, N_A – концентрация акцепторов, N_D – концентрация доноров.

Удельное сопротивление полупроводника

$$\rho_p = (qN_A\mu_p)^{-1}, \quad \rho_n = (qN_D\mu_n)^{-1}$$

Для диапазона температур, в котором обычно эксплуатируются полупроводниковые приборы, концентрация неосновных носителей заряда определяется соотношениями:

$$p_{n0} = \frac{n_i^2}{N_D}, \quad n_{p0} = \frac{n_i^2}{N_A},$$

где n_i – концентрация собственных носителей в полупроводнике; $N_{D,A}$ – концентрации примесей соответственно в n и p-областях перехода.

Вопросы для обсуждения

1. Как разделяются по удельному сопротивлению материалы?
2. Какие элементы периодической системы относятся к полупроводникам?
3. Собственный полупроводник. Носители зарядов.
4. Примесный полупроводник. Полупроводники р- и n-типа.
5. Охарактеризуйте элемент кремний.
6. Донорные и акцепторные примеси.
7. Полупроводники р- и n-типа.
8. Дайте определение компенсированного и вырожденного полупроводника.
9. Назовите три верхние энергетические зоны.
10. Нарисуйте зонную диаграмму полупроводника.
11. Токи в полупроводниках. Ток проводимости. Диффузионный ток.

Задачи

1. Найти собственное удельное сопротивление ρ_i монокристаллов кремния и германия при комнатной температуре.
2. Найти удельное сопротивление электронного и дырочного кремния с легирующей примесью $N_{D,A} = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре.
3. Резистор представляет собой кремниевую пластину толщиной 25,4 мкм, равномерно легированную фосфором с концентрацией 10^{17} см^{-3} и бором с концентрацией $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Вычислите сопротивление этого резистора.
4. Вычислить отношение полного тока через полупроводник к току, обусловленному дырочной составляющей в собственном кремнии.
5. Вычислить отношение полного тока через полупроводник к току, обусловленному дырочной составляющей в германии р-типа с удельным сопротивлением 0,05 Ом·м.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 12

Электронно-дырочный переход. Диод

Цель: Изучить электронно-дырочный переход.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических законов, лежащих в основе действия электронных приборов, умение рассчитывать контактную разность р-п-перехода.

Теоретическая часть

Вольтамперная характеристика *p-n* перехода описывается уравнением

$$I = I_0 \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right),$$

где e – заряд электрона; k – постоянная Больцмана; U – приложенное напряжение; T – абсолютная температура; I_0 – обратный (тепловой) ток *p-n*-перехода обусловленный неосновными носителями заряда.

Контактная разность потенциалов

$$\varphi_0 = \varphi_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2},$$

где φ_T – температурный потенциал, n_i – концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике.

$$\varphi_T = kT/q,$$

Вопросы для обсуждения

1. Что представляет собой электронно-дырочный переход?
2. Какие носители заряда являются основными, а какие неосновными?
3. Опишите механизм электронной и дырочной проводимости.
4. *p-n* переход. Вольтамперная характеристика *p-n* перехода.

5. Полупроводниковый диод. Устройство. Принцип действия. Вольтамперная характеристика.
6. Что такое тепловой ток?
7. Что такое пробой р-п-перехода

Задачи

- 1 Какое напряжение надо приложить к *p-n*-переходу при $T=300$ К, чтобы прямой ток через него был равен обратному насыщению I_0 ? При каком прямом напряжении прямой ток $I_{пр}=100I_0$?
- 2 Рассчитать контактную разность потенциалов для кремниевого и германиевого *p-n* переходов при температуре 20 °С. Принять концентрации легирующих примесей в *p* и *n* – областях равными соответственно $3 \cdot 10^{16}$ и 10^{15} см⁻³.
- 3 Имеется сплавной германиевый *p-n*-переход с концентрацией $N_D = 10^3 N_A$, причем на каждые 108 атомов германия приходится один атом акцепторной примеси. Определить контактную разность потенциалов при $T= 300$ К. Концентрацию атомов германия принять равной $4,4 \cdot 10^{22}$ см⁻³.
- 4 В идеальном *p-n*-переходе обратный ток насыщения $I_0 = 10^{-14}$ А при $T = 300$ К и $I_0 = 10^{-9}$ А при $T = 125$ К. Определить напряжение на *p-n*-переходе в обоих случаях, если прямой ток равен 1 мА.
- 5 Рассчитать токи через кремниевый *p-n*-переход при температурах 20 и 50 °С и при напряжении 0,45 В. Принять, что тепловой ток при температуре 25 °С равен 10^{-10} А. Можно приближенно считать, что тепловой ток увеличивается у кремниевых диодов в 2,5 раза на каждые 10° .
- 6 Германиевый полупроводниковый диод, имеющий обратный ток насыщения $I_0=25$ мкА, работает при прямом напряжении, равном 0,1 В, и $T = 300$ К. Определить сопротивление диода постоянному току R_0 .

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 13

Биполярный транзистор

Цель: познакомиться с понятием биполярного транзистора.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических принципов действия транзисторов.

Теоретическая часть

Биполярные транзисторы – это полупроводниковые приборы с двумя встречно-направленными р-п-переходами, созданными в одном кристалле, и тремя внешними выводами. Биполярный транзистор имеет области: эмиттер, база и коллектор – два р-п-перехода. Эмиттерный переход (на границе областей эмиттер-база) и коллекторный (на границе областей база-коллектор). Базовая область (Б) – область, в которую инжектируются неосновные для этой области носители заряда. Эмиттерная область (Э) – область, назначение которой – инжекция носителей в базовую область. Коллекторная область (К) предназначена для экстракции носителей из базовой области. В активном режиме включения эмиттерный переход включен в прямом направлении, коллекторный - в обратном. При этом через эмиттерный переход должен протекать большой прямой ток $I_{\text{Э}}$, а через коллекторный переход – малый обратный ток коллектора.

В зависимости от типа проводимости слоев различают биполярные транзисторы со структурой *n-p-n* и *p-n-p*.

Различают три схемы включения, отличающиеся выбором общего электрода, относительно которого напряжения подаются на два остальные: схемы с общей базой (ОБ), с общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК).

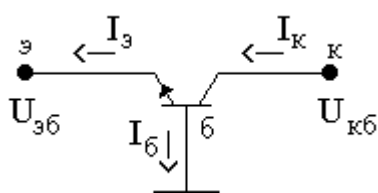


Рис. 15

При включении транзистора со структурой *n-p-n* по схеме ОБ, ВАХ входной цепи или входная характеристика определяется уравнением:

$$I_з = I_{з0} \left(\exp \frac{eU_{бз}}{kT} - 1 \right),$$

где $I_{з0}$ – тепловой ток эмиттерного перехода.

Ток в цепи коллектора определяется, во-первых, током инжектированных в базу и дошедших до коллектора электронов $\alpha I_з$, где α – коэффициент передачи тока эмиттера, учитывающий потери инжектированных электронов на рекомбинацию в базе ($\alpha < 1$). Во-вторых, в цепи коллектора, как и в цепи любого *p-n* перехода, протекает ток. В результате суммарный ток коллектора с учетом направления его компонент равен

$$I_к = \alpha I_з - I_{к0} \left(\exp \frac{eU_{бк}}{kT} - 1 \right),$$

где $I_{к0}$ – тепловой ток коллекторного перехода.

Если принять, что эмиттерный переход смещен в прямом направлении (условно $U_{бз} > 0$ или $U_{зб} < 0$), а коллекторный – в обратном направлении (условно $U_{бк} < 0$ или $U_{кб} > 0$ и $U_{кб} \gg \frac{kT}{e}$), то

$$I_к = \alpha I_з + I_{к0},$$

т.е. транзистор работает в активном режиме, при котором обеспечивается выполнение основной его функции – усиление электрических сигналов.

На рис. показан *n-p-n* транзистор, включенный по схеме ОЭ. Отмеченные направления токов соответствуют таким приложенным к электродам напряжениям, при которых транзистор работает в активном режиме.

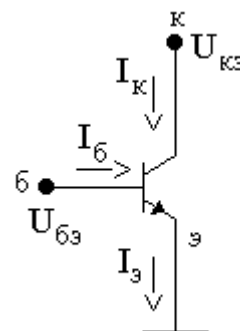


Рис. 16

$$I_з = I_к + I_б;$$

$$I_б = I_з (1 - \alpha);$$

$$I_k = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_{\text{б}} - \frac{I_{k0}}{1-\alpha} \left(\exp \frac{eU_{\text{бк}}}{kT} - 1 \right) = \beta I_{\text{б}} - I_{k0}(1+\beta) \left(\exp \frac{eU_{\text{бк}}}{kT} - 1 \right),$$

где β - коэффициент передачи тока базы.

В активном режиме

$$I_k = \beta I_{\text{б}} + I_{k0}(1+\beta).$$

Вопросы для обсуждения

- 1 Структура биполярного транзистора типа п-р-п и р-п-р. (изобразить структуру, электроды и указать их названия).
- 2 Схемное обозначение биполярного транзистора типа п-р-п и р-п-р.
- 3 Режимы работы биполярного транзистора
- 4 Полярность напряжений на р-п-переходах биполярного транзистора в разных режимах.
- 5 Принцип работы биполярного транзистора (на примере схемы с ОБ, активный режим)

Задачи

1. Биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером. Ток коллектора при напряжении коллектора 2,5 В и токе базы 100 мкА составляет 5 мА, а при увеличении напряжения коллектора до 8 В линейно возрастает и достигает 5,3 мА. Рассчитать напряжение и ток коллектора, если в цепь коллектора включены источник напряжения 8,5 В и резистор номиналом 1 кОм. Рассчитать величину номинала резистора, включенного между источником коллекторного напряжения и базой, обеспечивающего заданный ток базы. Температуру принять равной 300 К.
2. Биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером. В цепь коллектора включены источник напряжения 6 В и резистор номиналом 1,5 кОм. Ток коллектора при напряжении коллектора 3 В и токе базы 50 мкА равен 2 мА, а при увеличении напряжения коллектора до 7 В линейно возрастает до 2,3 мА. Рассчитать мощность, рассеиваемую коллектором.
3. Кремниевый биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером. Ток коллектора при напряжении источника питания 10 В и токе

базы 75 мкА составляет 8 мА . Рассчитать величину резистора, включенного между источником напряжения и базой транзистора и обеспечивающего указанный режим при температуре 27° С . Определить, как изменится ток эмиттера при рассчитанном сопротивлении, если температура повысится до 50° С . Тепловой ток эмиттерного перехода принять равным 10^{-10} А при температуре 20° С . Принять, что коэффициенты передачи тока базы и эмиттера от температуры не зависят.

4. Биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером. Ток коллектора при напряжении коллектора 3 В составляет $4,4 \text{ мА}$ и при увеличении напряжения до 8 В линейно возрастает до $5,3 \text{ мА}$. Найти значение сопротивления, включенного в цепь коллектора вместе с источником напряжения 12 В , при котором ток коллектора равен 5 мА . Рассчитать мощность, рассеиваемую коллектором для этого режима.

5. Биполярный транзистор включен по схеме с общей базой. Коэффициент передачи тока эмиттера равен $0,95$, тепловой ток коллектора при 20° С равен 10^{-7} А , ток эмиттера равен 1 мА . Найти напряжение коллектора, при котором ток коллектора равен нулю. Влиянием коллекторного напряжения на ширину базы и на коэффициент передачи тока эмиттера пренебречь.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 14

Полевые транзисторы

Цель: познакомиться с понятием и видами транзисторов

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание физических принципов действия транзисторов.

Теоретическая часть

Полевые транзисторы – это полупроводниковые приборы, в которых изменение тока происходит под действием перпендикулярного току электрического поля, создаваемого входным сигналом. Полевой транзистор с управляющим р-п-переходом – полупроводниковый прибор, в котором ток основных носителей заряда управляется поперечным электрическим полем обратно смещенного р-п-перехода (или переходов).

Простейший полевой транзистор с управляющим р-п-переходом состоит из полупроводниковой пластины, имеющей электропроводность определенного типа, от концов которой сделаны два вывода – электроды стока (С) и истока (И), с одним или двумя р-п-переходами от которого сделан третий вывод – затвор (З). При включении между истоком и стоком транзистора источника напряжения по каналу от истока к стоку потечет ток основных носителей, величина которого определяется приложенным напряжением и сопротивлением канала. Если на затвор транзистора подать напряжение так, чтобы р-п-переход (или переходы) оказались смещенными в обратном направлении, то переход (переходы) расширяясь, уменьшают ширину канала W .

Уменьшение поперечного сечения канала приводят к увеличению его сопротивления и собственно к уменьшению протекающего по каналу тока.

Различают два основных режима работы транзистора – омический (линейный) и насыщения. В первом транзистор функционирует как резистор, величина сопротивления которого управляется напряжением затвора; во втором из-за расширения области пространственного заряда p - n перехода происходит полное перекрытие канала этой областью вблизи стока (отсечка канала), что влечет за собой очень слабую зависимость тока стока от напряжения стока.

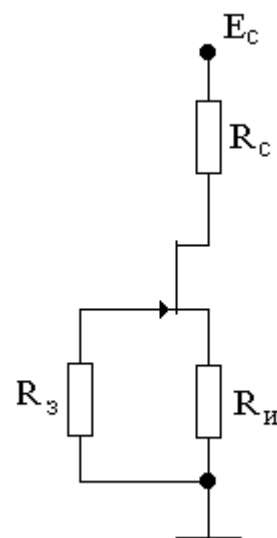


Рис. 17

Наиболее часто используемая схема включения с общим истоком для транзистора с каналом n -типа показана на рис. Основное уравнение, связывающее постоянные токи и напряжения в цепях транзистора в режиме насыщения, имеет вид:

$$I_c = K(U_z - U_{z \text{ отс}})^2$$

где I_c – ток стока; U_z – напряжение затвора; $U_{z \text{ отс}}$ – напряжение отсечки, представляющее граничное напряжение затвора, ниже которого $I_c = 0$ независимо от напряжения стока; K – коэффициент пропорциональности, величина которого определяется электрофизическими параметрами и геометрическими размерами структуры.

В первом приближении при решении предлагаемых ниже задач можно считать, что для режима насыщения ток стока не зависит от напряжения стока U_c .

Напряжение стока, при котором наступает режим насыщения, можно определить из условия отсечки канала вблизи стока ($U_{c \text{ нас}}$ – напряжение насыщения):

$$U_{c \text{ нас}} + |U_z| = |U_{z \text{ отс}}|.$$

Другим распространенным типом полевого транзистора является транзистор со структурой металл – диэлектрик – полупроводник (МДП или МОП) и индуцированным каналом. Принцип работы такого транзистора

состоит в том, что при напряжениях, превышающих пороговое $U_{\text{пор}}$, в приповерхностном слое полупроводника под затвором, отделенным от полупроводника слоем диэлектрика, возникает слой с типом проводимости, противоположным подложке и совпадающим с типом проводимости для областей стока и истока. В результате возникает канал для прохождения тока между стоком и истоком, который отсутствовал при $|U_3| < |U_{\text{пор}}|$.

Условием протекания тока стока для МОП – транзистора является $|U_3| > |U_{\text{пор}}|$, в то время как для транзистора с управляющим p - n переходом $|U_3| < |U_{\text{отс}}|$.

Вопросы для обсуждения

- 1 Понятие об эффекте поля в полупроводниках.
- 2 Принцип работы полевого транзистора (на примере схемы с общим истоком).
- 3 Понятие порогового напряжения.
- 4 Виды полевых транзисторов, их схемные обозначения и структура.

Задачи

1. Полевой транзистор с управляющим p - n переходом и n -каналом имеет напряжение отсечки, равное минус 1,5 В. В режиме насыщения при напряжении затвора минус 1,0 В ток стока равен 1 мА. Определить ток стока и крутизну транзистора в режиме насыщения при нулевом напряжении затвора. Выходную дифференциальную проводимость принять равной нулю.
2. В полевом транзисторе с управляющим p - n переходом и n -каналом, работающем в режиме насыщения, ток стока при нулевом напряжении затвора равен 3 мА, напряжение отсечки равно минус 0,8 В. Определить ток и крутизну транзистора в режиме насыщения при напряжении затвора минус 0,3 В. Выходную дифференциальную проводимость принять равной нулю.
3. Полевой транзистор с управляющим p - n переходом, работающий в режиме насыщения, имеет напряжение отсечки минус 1,5 В, ток стока при напряжении затвора минус 0,5 В составляет 4 мА. Определить напряжение насыщения стока при напряжении затвора минус 0,2 и минус 0,4 В.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 15

Аудиторная контрольная работа

Цель: Контроль знаний.

Формируемые компетенции: УК-6(способность к самоорганизации и саморазвитию).

Примерный вариант заданий на контрольную работу

Ответьте на вопросы:

1. Что называется газовым разрядом? Назовите виды газовых разрядов.
2. Охарактеризуйте полупроводник n-типа.
3. Объясните принцип выпрямляющего действия p-n-перехода.

Решите задачи:

4. Электрический пробой воздуха наступает при напряженности поля $E = 3.0 \text{ МВ/м}$. Каковы потенциал ионизации воздуха и скорость электронов перед ударом о молекулы, если длина свободного пробега электронов 5 мкм ?
5. Найти удельное сопротивление дырочного кремния с легирующей примесью $N_A = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 16

Интегральные схемы

Цель: познакомиться с классификацией и особенностями интегральных схем

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание особенностей полупроводниковых и гибридных микросхем, умение определять степень интеграции микросхемы.

Теоретическая часть

Темы

1. Классификация микросхем
2. История развития микроэлектроники в мире и Советском союзе.
3. Микроэлектроника в современном мире.

Вопросы для обсуждения

1. Как классифицируют интегральные микросхемы?
2. Что называется гибридной микросхемой?
3. Что называется элементами и компонентами микросхем?
4. Что такое полупроводниковая микросхема?

Задачи

1. Микросхема содержит 7126 элементов. Какова степень интеграции данной микросхемы?

2. Каково функциональное назначение следующих интегральных схем:

K155ЛА1, K155ЛЕ1, 1554ИР22?

3. Укажите параметры подложки марки $75 \frac{7KЭC0,7/2,5KЭM5}{300KДБ10}$.

4. Укажите параметры подложки марки $75 \frac{5KЭФ-0,5/2KЭM5}{200KДБ-10}$.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 17

Технологический процесс изготовления ИС

Цель: познакомиться с технологическими операциями изготовления интегральных схем.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание основных технологических операций изготовления микросхем.

Темы докладов

1. Эпитаксия.
2. Диффузия примесей.
3. Ионная имплантация.
4. Травление.
5. Оксидирование.
6. Литография
7. Методы нанесения пленок

Вопросы для обсуждения

1. Что называется эпитаксией? Какие виды эпитаксии существуют? С какой целью производится эпитаксия?
2. В чем заключается метод молекулярно-лучевой эпитаксии?
3. Что называется легированием? Какими способами проводят легирование полупроводников?
4. В чем заключается процесс ионной имплантации?
5. Чем отличается распределение примесей в полупроводнике после диффузии примесей и ионной имплантации?
6. Какие функции выполняет процесс травления?

7. Что такое плазменное травление?
- 8 В чем заключается цель процесса литографии?
- 9 Какие виды литографии Вы знаете?
- 10 Что такое фотолитография? Каковы этапы процесса фотолитографии?
- 11 Что такое электролитография? В чем ее преимущества и недостатки?
- 12 В чем заключается процесс оксидирования?
- 13 Какие функции выполняет пленка диоксида кремния?
- 14 Какие существуют режимы оксидирования?
- 15 Какие методы нанесения пленок Вы знаете?
- 16 С какой целью производят металлизацию микросхем?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 18

Аналоговые электронные схемы

Цель: познакомиться с принципами построения аналоговых электронных схем.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание основных принципов аналоговой схемотехники.

Теоретическая часть

Эмиттерный повторитель – схема включения биполярного транзистора с ОК. Выходной сигнал снимается с эмиттера, напряжение на выходе меньше напряжения на входе на величину $U_{бэ} = 0.6$ В. Усиления по напряжению нет, но есть усиление по току.

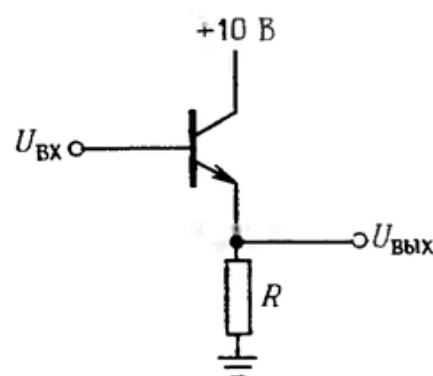


Рис. 18

Достоинством схемы является высокое входное сопротивление (десятки кОм) и низкое выходное сопротивление (единицы кОм – сотни Ом), поэтому эту схему используют для согласования различных устройств по входному сопротивлению, а недостатком - схема не усиливает напряжение.

Усилитель на транзисторе, включенном по схеме с ОЭ – одна из самых часто применяемых схем во многих базовых элементах электроники.

Каскад усилителя, собранный по схеме с общим эмиттером (ОЭ), дает усиление по мощности, напряжению и току.

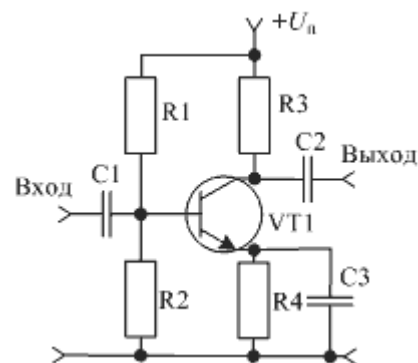


Рис. 19

Для получения параметров схемы, близких к оптимальным, необходимо задать транзистору режим работы по постоянному току, выбрать рабочую точку.

Нормальный активный режим может быть задан выбором рабочей точки на середине линейного участка ВАХ. Этот режим также называется усилительным.

Коэффициент усиления сигнала по напряжению в усилительном каскаде на транзисторе с ОЭ равен отношению сопротивления коллекторного резистора к эмиттерному.

Задачи

1. В схеме, изображенной на рисунке, напряжение на выходе А равно -7 В. Чему равен коэффициент усиления транзистора по току?

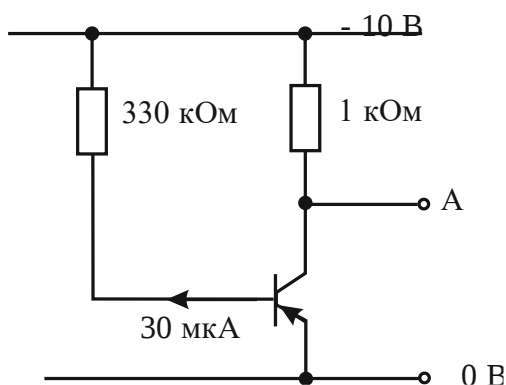


Рис. 20 к задаче 1.

2. Определить входное сопротивление второго каскада двухкаскадного усилителя, если коэффициент усиления по напряжению и выходной ток первого каскада соответственно равны $K_{U1} = 20$ и $I_{\text{вых}1} = 0,01$ А. Входной сигнал равен $U_{\text{вх}} = 0,1$ В.

3. Рассчитайте значения входного $R_{\text{вх}}$ и выходного $R_{\text{вых}}$ сопротивления схемы эмиттерного повторителя, показанной на рисунке, если известны значения следующих параметров: $R_1 = 14 \text{ кОм}$, $R_2 = 18 \text{ кОм}$, $R_3 = 5 \text{ кОм}$, $R_4 = 1 \text{ кОм}$, $R_H = 1 \text{ кОм}$, $U_{\text{ин}} = 10 \text{ В}$, $h_{21Э} = 100$.

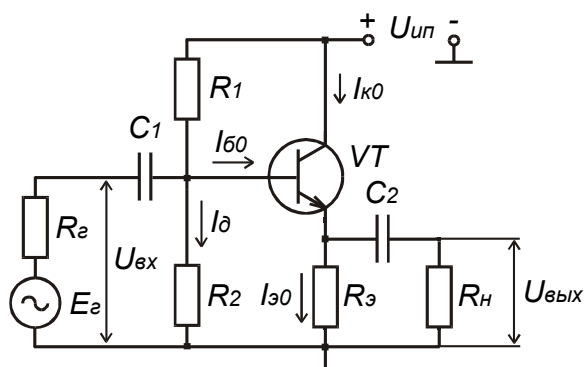


Рис. 21 к задаче 3

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 19

Принципы цифровой электроники

Цель: познакомиться с принципами цифровой электроники.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание основных принципов цифровой схемотехники.

Теоретическая часть

Логические элементы на комплементарных МДП-транзисторах, т. е. транзисторах с идентичными параметрами, но с разным типом проводимости каналов. Схема инвертора на КМОП транзисторах представлена на рис.

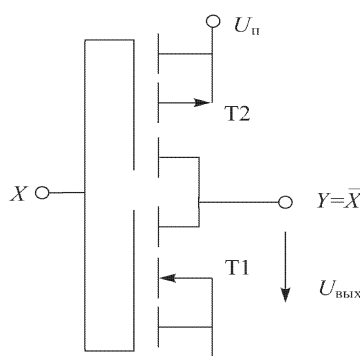


Рис. 22

Сток выходного n -канального транзистора T1 соединен с выходом элемента, его исток – с корпусом. В нагрузочном p -канальном транзисторе T2 сток также соединен с выходом, а исток – с питанием. Вход инвертора соединен с затворами обоих транзисторов. При высоком напряжении на входе (соответствующем логической единице) n -канальный транзистор открыт и имеет малое сопротивление. Нагрузочный транзистор T2, наоборот, закрыт и имеет высокое сопротивление. Напряжение питания перераспределяется в

соответствии с сопротивлениями, поэтому на выходе устанавливается низкий уровень напряжения.

При низком напряжении на входе (соответствующем логическому нулю) закрыт транзистор T1 и открыт транзистор T2. Поэтому выходное напряжение равно напряжению на закрытом транзисторе, т. е. соответствует логической единице.

Задачи

1. Сопротивление транзисторов (рис. 23) в открытом состоянии составляет 200 Ом, в закрытом – 40 кОм. Определить потенциал на выходе инвертора и ток через нагрузку, если нагрузка сопротивлением 400 Ом подключена между выходом элемента и клеммой U_{Π} ; $U_{\Pi} = 5$ В. Напряжение на входе соответствует уровню логического нуля, т. е. $X = 0$.

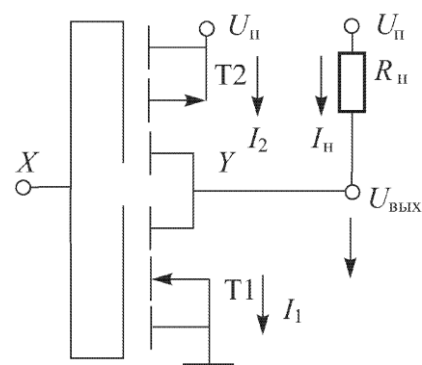


Рис. 23

2. Сопротивление транзисторов (рис. 23) в открытом состоянии составляет 200 Ом, в закрытом – 40 кОм. Определить потенциал на выходе инвертора и ток через нагрузку, если нагрузка сопротивлением 400 Ом подключена между выходом элемента и клеммой U_{Π} ; $U_{\Pi} = 5$ В. Напряжение на входе соответствует уровню логической единицы, т. е. $X = 1$.

3. В инверторе на КМОП транзисторах (рис. 24) сопротивление n -канала в открытом состоянии составляет 200 Ом, в закрытом – 40 кОм. Сопротивление p -канала равно соответственно 400 Ом и 100 кОм для открытого и закрытого транзистора. Определить выходное напряжение логической единицы $U_{\text{ВЫХ}}^1$ в режиме холостого хода, т. е. при токе нагрузки равном нулю. $U_{\Pi} = 5$ В.

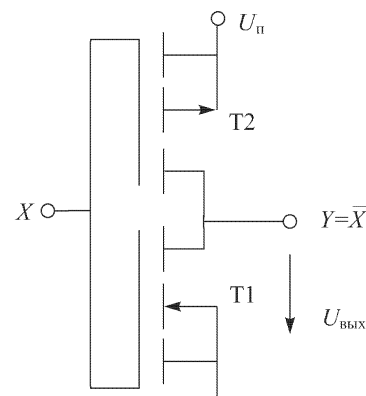


Рис. 24

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 20

Квантовые эффекты в нанотехнологиях

Цель: познакомиться с понятием квантово-размерных эффектов

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание особенностей поведения квантовых частиц.

Теоретическая часть

Квантовые размерные эффекты – изменение физических свойств кристалла, когда хотя бы один из его геометрических размеров становится соизмеримым с длиной волны де Бройля электронов. Квантовые размерные эффекты обусловлены квантованием движения электрона в направлении, в котором размер кристалла сравним с длиной волны де Бройля.

$$\lambda_B = h/p,$$

где p – импульс электрона.

К квантово-размерным эффектам относятся:

Волновые свойства электронов.

Квантование энергии носителей заряда.

Туннелирование.

Темы для сообщений

1. Одноэлектронные приборы
2. Квантовые приборы нанoeлектроники
3. Использование наноструктур в современной электронике.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 21

Наноматериалы

Цель: познакомиться с понятием наноматериалы.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание особенностей наноматериалов.

Вопросы для обсуждения

1. Виды наноматериалов.
2. Классификация наноматериалов.
3. Наночастицы.
4. Фуллерены.
5. Нанопористые структуры.
6. Нанокристаллические материалы.
7. Какими причинами вызваны особые свойства наноматериалов?

Темы для сообщений

1. Развитие в России работ в области нанотехнологий.
2. Углеродные наноструктуры. Использование нанотрубок в качестве элементной базы микроэлектроники.
3. Фуллерен. История открытия, структура, области применения.
4. Неуглеродные нанотрубки.
5. Электронные элементы на основе углеродных нанотрубок.
6. Наноккомпозиты и нанопористые материалы.
7. Возможности использования наноматериалов.
8. Нанoeлектроника как одно из направлений применения нанотехнологий.
9. Нанofотоника.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 22

Технологии получения наноматериалов

Цель: познакомиться с технологическими процессами получения наноматериалов.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание особенностей технологии получения наноматериалов.

Темы для сообщений

1. Химические методы получения наночастиц.
2. "Самосборка" в нанотехнологиях.
3. Принципы манипуляции атомами и молекулами.
4. Методы синтеза углеродных нанотрубок.
5. Физические методы синтеза нанопорошков.
6. Методы получения структурированных наноматериалов. Химическое осаждение из газовой фазы. Физическое осаждение из газовой фазы.
7. Пленочные технологии получения наноматериалов.
8. Наноструктурированные материалы. Основные методы получения и направления практического использования.
9. Наноккомпозитные материалы. Общие методы получения наноккомпозитов.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 23

Инструменты нанотехнологий

Цель: познакомиться с инструментами нанотехнологий

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

В результате освоения темы студент приобретает следующие знания и умения: знание принципов действия электронного и зондового микроскопов

Темы для сообщений

1. Электронная микроскопия.
2. Полевая ионная микроскопия.
3. Основные принципы зондовой микроскопии.
4. Сканирующая туннельная микроскопия.
5. Атомно-силовая микроскопия.
6. Зондовая литография.
7. Ближнепольная оптическая микроскопия.
8. Сравнение возможностей и ограничений сканирующего и просвечивающего электронных микроскопов.
9. Использование наноструктур в современной электронике.
10. Инструменты нанотехнологий.

Задачи

1. Максимальное разрешение электронного микроскопа из-за наличия aberrаций не достигает релеевского минимума и составляет величину порядка 100 длин волн электрона. Оцените разрешение электронного микроскопа, если ускоряющее напряжение составляет 100 кВ.
2. Вычислите длину волны де Бройля для электрона и однозарядного иона гелия, если ускоряющее напряжение равно 100 кВ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 24

Аудиторная контрольная работа

Цель: Контроль знаний.

Формируемые компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

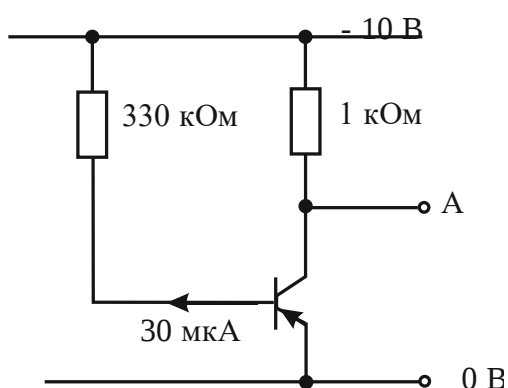
Примерный вариант заданий на контрольную работу

Ответьте на вопросы:

1. Классификация микросхем
2. В чем заключается операция легирования при изготовлении микросхем?
4. Опишите принцип действия туннельного микроскопа.

Решите задачи

5. В схеме, изображенной на рисунке, коэффициент усиления транзистора по току равен 100. Чему равно напряжение на выходе А?



6. В инверторе на КМОП транзисторах сопротивление n -канала в открытом состоянии составляет 200 Ом, в закрытом – 40 кОм. Сопротивление p -канала равно соответственно 400 Ом и 100 кОм для открытого и закрытого транзистора. Определить выходное напряжение логического нуля $U_{\text{ВЫХ}}^0$ в режиме холостого хода, т. е. при токе нагрузки равном нулю. $U_{\text{П}} = 5 \text{ В}$.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Щука, А. А. Электроника : учеб. пособие для вузов / А.А. Щука. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2012. – 739 с. : ил. ; 24. – (Учебная литература для вузов). – Гриф: Рек. УМО.

Дополнительная литература

1. Лозовский, В. Н. Нанотехнология в электронике : введение в специальность : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. 210601 – "Нанотехнология в электронике" / В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский. – [2-е изд., испр.]. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 327 с.
2. Нанотехнологии : Азбука для всех / под ред. Ю. Д. Третьякова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.
3. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / пер. с яп. А. В. Хачояна / под ред. Л. Н. Патрикеева. – 2-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 135 с.

Физические постоянные

Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Элементарный заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Энергия покоя электрона	$E_0 = m_e \cdot c^2 = 0,51 \text{ МэВ}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж/с}$ $\hbar = h/2\pi = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж/с}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Свойства некоторых полупроводников

Параметр	Обозначение	Si	Ge	GaAs
Плотность, г/см ³		2,33	5,32	5,32
Относительная диэлектрическая проницаемость	ε	11,7	16,0	12.9
Ширина запрещенной зоны при 300 К, эВ	E_g	1,124	0,67	1,424
Собственная концентрация носителей заряда при 300 К, см ⁻³	n_i	$1,45 \cdot 10^{10}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^7$
Подвижность электронов при 300 К, см ² /В·с	μ_n	1300	3800	8500
Подвижность дырок при 300 К, см ² /(В·с)	μ_p	500	1800	400
Электрическое поле при пробое, В/см	E_m	$3 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^4$	
Эффективная масса: электронов, дырок	m_n/m m_p/m	1,08 0,81	0,55 0,3	0.067 0.45
Сродство к электрону, эВ	χ	4,05	4	4.07

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания по
организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ»
для студентов направления подготовки
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
Направленность (профиль)
«Интеллектуальные программируемые системы и устройства»

Ставрополь
2026

Печатается по решению
Учебно-методического совета
Северо-Кавказского
федерального университета

УДК
ББК

Рецензент: доктор физико-математических наук Михнев Л.В.

Дюдюн Д.Е. Введение в специальность: методические указания для студентов по организации самостоятельной работы. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 202_. – _ с.

Настоящие методические рекомендации предназначены для организации самостоятельной работы по дисциплине «Введение в специальность» для студентов очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, профиль Интеллектуальные программируемые системы и устройства. В методических рекомендациях приведён план график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, представлены вопросы для обсуждения, а также задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями и список основной литературы, рекомендуемой для самостоятельной работы. Представлен список дополнительной литературы, позволяющий студентам более глубоко познакомиться с изучаемым предметом.

Методические рекомендации к самостоятельной работе студентов составлены в соответствии с требованиями ФГОС ВПО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, профиль Интеллектуальные программируемые системы и устройства, рабочими учебными планами и программами дисциплины «Введение в специальность».

УДК
ББК

© ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский
федеральный университет»,
202_

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Общая характеристика самостоятельной работы.	3
План-график выполнения самостоятельной работы.	5
Методические рекомендации по изучению теоретического материала.	6
Методические указания по подготовке к практическим занятиям.	11
Методические указания по подготовке к экзамену.	23
Рекомендуемая литература	27

Введение

Самостоятельная работа студентов является необходимым компонентом процесса обучения и может быть определена как творческая деятельность студентов, направленная на приобретение ими новых знаний и навыков.

Цель самостоятельной работы студентов – систематическое изучение дисциплин в течение семестра, закрепление и углубление полученных знаний и навыков, подготовка к предстоящим занятиям. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами самостоятельной работы студентов являются:

- систематизация и закрепление полученных в ходе аудиторных занятий теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать справочную и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Введение в специальность»

Учебным планом и рабочей программой дисциплины «Введение в специальность» предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студентов: подготовка к лекционным занятиям; самостоятельное изучение тем; подготовка к практическим занятиям; подготовка реферата.

Задачами подготовки к лекционному занятию является систематизация полученных теоретических знаний. Самостоятельное изучение тем

способствует углублению и расширению полученных знаний; формирование умений самостоятельно использовать учебную, научную, справочную и специальную литературу. Задачами данного вида деятельности студента является развитие способности самостоятельного информационного поиска, структурирования информации. При этом формируются следующие компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).

Подготовка к практическим занятиям является необходимой для эффективной работы студентов на практическом занятии. Для подготовки к практическому занятию требуется проработка теоретического материала по теме занятия. При подготовке к практическим занятиям формируются следующие компетенции: УК-6 (способность к самоорганизации и саморазвитию).).

План-график выполнения самостоятельной работы

Код реализуемой компетенции	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки*	Объем часов
УК-6 ИД-1 _{УК-6} ИД-2 _{УК-6} ИД-3 _{УК-6}	Подготовка к практическим занятиям	Контрольная работа	Контрольная работа	2,7
УК-6 ИД-1 _{УК-6} ИД-2 _{УК-6} ИД-3 _{УК-6}	Подготовка к лекциям	Конспект	Собеседование	1,35
УК-6 ИД-1 _{УК-6} ИД-2 _{УК-6} ИД-3 _{УК-6}	Самостоятельное изучение тем	Конспект	Собеседование	9,45
Итого 1 семестр				13,5
ИТОГО				13,5

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
1.	Аудиторная контрольная работа №1	6 неделя	18
2.	Аудиторная контрольная работа №2	12 неделя	18
3.	Аудиторная контрольная работа №3	18 неделя	19
Итого за 1 семестр			55

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Самостоятельная работа студентов включает изучение теоретического материала по конспекту лекций и рекомендованным учебникам и учебным пособиям, а так же изучение теоретической части лабораторных работ.

Кроме рекомендованных учебников и учебных пособий можно использовать для подготовки и другую дополнительную литературу: справочники, словари, брошюры для радиолюбителей, специальные научно-популярные периодические журналы и т. д.

Работа с конспектом лекций

Основы знаний закладываются на лекциях, им принадлежит ведущая роль в учебном процессе. На лекциях дается самое важное, основное в изучаемой дисциплине. Основные задачи, стоящие перед лектором: помочь студентам понять основы и усвоить материал на самой лекции, дать указания на то, что требует наибольшего внимания, учить правильному мышлению и создавать ясное представление о методологии изучаемой науки.

Лекции являются эффективным видом занятий для формирования у студентов способности быстро воспринимать новые факты, идеи, обобщать их, а также самостоятельно мыслить.

Студенту следует научиться понимать и основную идею лекции, а также, следуя за лектором, участвовать в усвоении новых мыслей. Но для этого надо быть подготовленным к восприятию очередной темы.

Подготовленным можно считать такого студента, который, присутствуя на лекции, усвоил ее содержание, а перед лекцией припомнил материал раздела, излагаемого на ней, или просмотрел свой конспект, или учебник.

Просмотрите конспект сразу после занятий. Отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в

материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю отводите время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам и тестам.

Важно помнить, что ни одна дисциплина не может быть изучена в необходимом объеме только по конспектам. Для хорошего усвоения курса нужна систематическая работа с учебной и научной литературой, а конспект может лишь облегчить понимание и усвоение материала.

Основная задача при слушании лекции – учиться мыслить, понимать идеи, излагаемые лектором. Большую помощь при этом может оказать конспект. Передача мыслей лектора своими словами помогает сосредоточить внимание, не дает перейти на механическое конспектирование. Механическая запись лекции приносит мало пользы.

Ведение конспекта создает благоприятные условия для запоминания услышанного, т.к. в этом процессе принимают участие слух, зрение и рука. Конспектирование способствует запоминанию только в том случае, если студент понимает излагаемый материал. При механическом ведении конспекта, когда просто записываются слова лектора, присутствие на лекции превращается в бесполезную трату времени.

Некоторые студенты полагают, что при наличии учебных пособий, учебников нет необходимости вести конспект. Такие студенты нередко совершают ошибку, так как не используют конспект как средство, позволяющее активизировать свою работу на лекции или полнее и глубже усвоить ее содержание.

Определенная часть студентов считает, что конспекты лекции могут заменить учебники, поэтому они стремятся к дословной записи лекции и нередко не задумываются над ее содержанием. В результате при разборе учебного материала по механической записи требуется больше труда и времени, чем при понимании и кратком конспектировании лекции.

Темы для самостоятельного изучения и вопросы для самопроверки

История развития электроники

1. Дайте определение электроники как науки.
2. Назовите основные направления развития электроники.
3. Назовите основные направления твердотельной электроники.
4. Какие фундаментальные открытия в физике предшествовали возникновению электроники?
5. Предпосылки появления микроэлектроники.
6. Охарактеризуйте пять этапов развития микроэлектроники.

Природа электрических явлений

1. Электрический заряд. Свойства электрических зарядов.
2. Взаимодействие зарядов.
3. Силовая характеристика поля.
4. Потенциальный характер электростатического поля.
5. Работа электрического поля по перемещению электрического заряда.
6. Электрический ток. Величины, характеризующие электрический ток.
7. Сопротивление проводника. Последовательное и параллельное соединение проводников.
8. Закон Ома.
9. Правила Кирхгофа.
10. Делитель напряжения.
11. Магнитное поле. Источники магнитного поля.
12. Сила, действующая на заряд в магнитном поле.
13. Резистор в цепи переменного тока.
14. Конденсатор в цепи переменного тока.
15. Катушка индуктивности в цепи переменного тока.
16. Мощность в цепи переменного тока.

Введение в вакуумную и плазменную электронику

1. Что такое газовый разряд?
2. Условие существования газового разряда.

3. Несамостоятельный разряд в газах.
4. Самостоятельный разряд в газах. Условие существования самостоятельного разряда
5. Вольтамперная характеристика газового разряда.
6. Виды самостоятельных разрядов в газах.
7. Тлеющий разряд. Особенности. Условия возникновения.
8. Дуговой разряд. Особенности. Условия возникновения.
9. Искровой разряд. Условия возникновения.
10. Коронный разряд. Условия возникновения.
11. Плазма.
12. Газоразрядные приборы.
13. Электронная эмиссия.
14. Виды электронной эмиссии.
15. Вакуумный диод. Устройство. Принцип действия. Вольтамперная характеристика.

Введение в твердотельную электронику

1. Как разделяются по удельному сопротивлению материалы?
2. Дайте определение собственного полупроводника.
3. Что называется примесным полупроводником?
4. Донорные и акцепторные примеси.
5. Полупроводники р- и n-типа.
6. Зонная диаграмма твердых тел.
7. Нарисуйте зонную диаграмму полупроводника.
8. Токи в полупроводниках. Ток проводимости. Диффузионный ток.
9. р-n переход. Вольтамперная характеристика р-n перехода.
10. Биполярный транзистор. Устройство. Принцип действия
11. Полевые транзисторы. Разновидности. Устройство. Принцип действия.

Интегральные схемы

1. Классификация интегральных микросхем.
2. Что называется элементами и компонентами микросхем?

3. Гибридные и полупроводниковые микросхемы.
4. Что называется эпитаксией?
5. Какими способами проводят легирование полупроводников?
6. Что такое фотолитография?
7. С какой целью производят оксидирование?
8. Аналоговый и цифровой сигнал.
9. Логические операции. Логические элементы. Принцип действия КМОП-инвертора.
10. Эмиттерный повторитель.
11. Усилитель на биполярном транзисторе с ОЭ.

Введение в нанoeлектронику

1. Что называется квантово-размерными эффектами?
2. Какие виды наноматериалов существуют?
3. Какими причинами вызваны особые свойства наноматериалов?
4. Каков принцип действия электронного микроскопа?
5. Каков принцип действия сканирующего зондового микроскопа?
6. В чем отличие между туннельным и атомно-силовым микроскопом?

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Актуальность практических занятий по дисциплине «Введение в специальность» определяется тем, что в процессе практических занятий студенты расширяют и углубляют знания, полученные из лекционного курса и учебников, учатся глубже понимать законы, разбираться в границах их применения, приобретают умение применять общие закономерности к конкретным случаям.

Подготовка к практическим занятиям – традиционная форма самостоятельной работы студентов, которая включает отработку лекционного материала, изучение рекомендованной литературы, конспектирование учебников и статей, самостоятельное решение задач.

Целями практических занятий являются:

- закрепление знаний, полученных во время лекций и самостоятельной работы с учебной литературой;
- расширение и углубление представлений студентов по наиболее актуальным теоретическим и практическим проблемам;
- формирование и развитие практических навыков и умений, необходимых для будущей профессиональной деятельности;
- осуществление контроля за качеством усвоения студентами учебной программы.

В ходе практических занятий формируются следующие профессиональные компетенции: ОПК-6 (способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников), ОПК-7 (способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности).

При подготовке к практическому занятию следует, прежде всего, доработать текст лекции по соответствующей теме, внимательно изучить

содержание основных учебных вопросов, выносимых для обсуждения, выполнить дополнительные задания, которые могут быть даны преподавателем.

Готовиться к практическому занятию следует по всем без исключения вопросам. По каждому вопросу студент должен быть готов высказать и собственную точку зрения.

Студент может подготовить доклад по теме практического занятия.

Доклад – это развернутое сообщение по определенному вопросу. Цель доклада – научить студента пользоваться литературой, статистическими данными, критически осмысливать теорию и практику рассматриваемых проблем, привить умение четко и логично излагать материал. Подготовка доклада позволяет студенту основательно изучить интересующий его вопрос, изложить материал в компактном и доступном виде, привести в текст полемику, приобрести навыки научно-исследовательской работы.

При подготовке доклада следует придерживаться следующей последовательности:

- Проконсультироваться у преподавателя по содержанию предстоящего доклада (выступления), списку литературы, которую лучше использовать для его подготовки.
- Подобрать и изучить рекомендованную литературу;
- Сгруппировать материал и составить подробный план доклада (выступления);
- Написать полный текст доклада (выступления).
- Потренироваться в чтении доклада.

При проведении практических занятий предусмотрена аудиторная контрольная работа. Подготовка к аудиторной контрольной работе требует более тщательного изучения материала по теме или блоку тем, акцентирования внимания на определениях, терминах, содержании понятий, методах решения задач.

Темы практических занятий

1. История развития электроники	
1	ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ Электроника. Основные направления развития электроники. Исторический обзор развития электроники.
2. Природа электрических явлений	
2	ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ Действие электрического поля на заряд. Напряженность электрического поля. Работа электрического поля.
3	ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА Условия возникновения электрического тока. Закон Ома для участка цепи. Закон Ома для полной цепи..
4	СОЕДИНЕНИЯ РЕЗИСТОРОВ. ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ. Правила расчета сопротивления цепи. Правила Кирхгофа. Делитель напряжения.
5	ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА Работа и мощность тока. Тепловое действие тока. КПД источника тока.
6	МАГНИТНОЕ ПОЛЕ Индукция магнитного поля. Закон Био – Савара - Лапласа. Действие магнитного поля на заряд. Сила Лоренца.
7	ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК Активное и реактивное сопротивление. Мощность в цепи переменного тока. Действующее значение тока и напряжения. Катушка индуктивности, конденсатор и резистор в цепи переменного тока.
8	АУДИТОРНАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1
3. Введение в вакуумную и плазменную электронику	
9	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗЕ Электрический ток в газе. Газовый разряд. Виды газовых разрядов.
10	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ Электронная эмиссия. Виды электронной эмиссии. Термокатод. Вакуумный диод. Вольт-амперная характеристика.
4. Введение в твердотельную электронику	
11	ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛУПРОВОДНИКАХ Полупроводники и их электрофизические свойства. Свободные носители зарядов в полупроводниках. Элементы зонной теории твердого тела.
12	ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЙ ПЕРЕХОД. ДИОД Образование р-п-перехода. Полупроводниковый диод. Вольт-амперная характеристика.
13	БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР Устройство биполярного транзистора. Схемы включения. Режимы

	работы.
14	ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ Разновидности полевых транзисторов. Устройство. Принцип действия.
15	АУДИТОРНАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2
5. Интегральные схемы	
16	ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ. Интегральные схемы. Классификация микросхем. Полупроводниковые и гибридные микросхемы.
17	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИС. Эпитаксия. Диффузия примесей. Ионная имплантация. Оксидирование. Фотолитография
18	АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ Эмиттерный повторитель. Усилитель на биполярном транзисторе, включенном по схеме с ОЭ.
19	ПРИНЦИПЫ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ Логические элементы на комплементарных МДП-транзисторах.
6. Введение в нанoeлектронику	
20	КВАНТОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ Волновые свойства электрона. Туннельный эффект. Квантоворазмерный эффект.
21	НАНОМАТЕРИАЛЫ Классификация наноматериалов. Наночастицы. Фуллерены. Нанопористые структуры. Нанокристаллические материалы.
22	ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ Технологии получения наноматериалов.
23	ИНСТРУМЕНТЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ Электронная микроскопия. Полевая ионная микроскопия. Зондовая микроскопия. Зондовая фотолитография.
24	АУДИТОРНАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

1. История развития электроники

Цель: Проследить исторический путь основных изобретений и открытий, обеспечивающих современное состояние электроники.

Форма контроля: устный опрос, аудиторная контрольная работа.

Вопросы для обсуждения

1. Электроника как наука.
2. История развития электроники.
3. Основные направления электроники.

Литература для подготовки:

[1.1] Ч.І §1, Ч.ІІ §1, Ч.ІІІ §1, Ч.ІV §1;

[2.1] §4.1, 4.2.

[2.4] Гл. 2, 3;

2. Природа электрических явлений

Цель: Изучить основные физические законы, лежащие в основе принципов действия электронных приборов.

Форма контроля: устный опрос, аудиторная контрольная работа.

Вопросы для обсуждения

1. Электрический заряд. Закон сохранения заряда.
2. Закон Кулона.
3. Электростатическое поле. Напряженность поля. Однородное поле.
4. Принцип суперпозиции.
5. Работа сил электростатического поля.
6. Потенциал электростатического поля.
7. Связь потенциала и напряженности.
8. Графическое изображение полей.
9. Поле точечного заряда.
10. Проводники в электростатическом поле.
11. Диэлектрики в электростатическом поле.
12. Постоянный ток. Условия существования постоянного тока.
13. Сила тока. Плотность тока. Скорость упорядоченного движения зарядов.
14. Закон Ома для участка цепи.
15. Сопротивление проводника. Удельное сопротивление.
16. Зависимость сопротивления веществ от температуры.
17. Последовательное и параллельное сопротивление проводников.
18. Сторонние силы, ЭДС. Связь напряжения, разности потенциалов, ЭДС.
19. Закон Ома для неоднородного участка цепи и для замкнутой цепи. Цепи, содержащие несколько источников.

20. Правила Кирхгофа.
21. Работа тока. Тепловое действие тока.
22. Мощность тока. Зависимость мощности от силы тока. Максимальная мощность. Потери мощности. КПД источника.
23. Переменный ток. Резистор, конденсатор, катушка индуктивности в цепи переменного тока.
24. Магнитное поле. Вектор индукции магнитного поля. Линии индукции.
25. Магнитное поле тока. Закон Био – Савара - Лапласа. Индукция в центре кругового витка с током.
26. Взаимодействие токов. Закон Ампера. Единица измерения тока.
27. Действие магнитного поля на рамку с током.
28. Действие поля на движущийся заряд. Сила Лоренца.
29. Циклотрон. Масс-спектрограф.
30. Поток магнитной индукции. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца.
31. Энергия магнитного поля.
32. Магнитные свойства вещества. Магнитная проницаемость.

Аудиторная контрольная работа № 1

Цель: Контроль знаний.

Темы, выносимые на контрольную работу

История развития электроники.

1. Электроника как наука.
2. Основные направления электроники.

Природа электрических явлений.

3. Действие электрического поля на заряд. Напряженность электрического поля. Напряженность поля точечного заряда, бесконечной заряженной плоскости, заряженной сферы.
4. Потенциал электрического поля. Работа электрического поля. Связь напряженности и потенциала.

5. Электрический ток. Условия возникновения электрического тока. Сила тока. Плотность тока.
6. Закон Ома. Правила Кирхгофа.
7. Работа и мощность тока. Тепловое действие тока.
8. Индукция магнитного поля. Закон Био – Савара - Лапласа.
9. Действие магнитного поля на заряд. Сила Лоренца.
10. Переменный ток.

3. Введение в вакуумную и плазменную электронику

Цель: Изучить явление газового разряда. Изучить явление электронной эмиссии. Изучить принцип действия вакуумного диода.

Форма контроля: устный опрос, аудиторная контрольная работа.

Вопросы для обсуждения

1. Ионизация газа. Рекомбинация.
2. Что такое газовый разряд?
3. Несамостоятельный разряд в газах.
4. Самостоятельный разряд в газах.
5. Как можно сделать воздух проводником?
6. Какова природа проводимости газов?
7. Вольтамперная характеристика газового разряда.
8. Виды самостоятельных разрядов в газах.
9. Тлеющий разряд. Особенности. Условия возникновения.
10. Дуговой разряд. Особенности. Условия возникновения.
11. Искровой разряд. Условия возникновения.
12. Коронный разряд. Условия возникновения.
13. Плазма.
14. Газоразрядные приборы.
15. Электронная эмиссия. Работа выхода.
16. Виды электронной эмиссии.
17. Термоэлектронная эмиссия.

18. Фотоэлектронная эмиссия.
19. Автоэлектронная эмиссия.
20. Термоэлектронный катод.
21. Электроравакуумные приборы. Электронные и газоразрядные приборы.
22. Вакуумный диод. Принцип работы. Вольтамперная характеристика.

Литература для подготовки:

[1.1] Ч.І §3.2, §3.3, 4.1, 4.2. §5.1, §5.2.

4. Введение в твердотельную электронику

Цель: Изучить свойства полупроводников и принцип действия полупроводниковых приборов.

Форма контроля: устный опрос, аудиторная контрольная работа.

Вопросы для обсуждения

1. Как разделяются по удельному сопротивлению материалы?
2. Какие элементы периодической системы относятся к полупроводникам?
3. Собственный полупроводник. Носители зарядов.
4. Примесный полупроводник. Полупроводники р- и n-типа.
5. Охарактеризуйте элемент кремний.
6. Донорные и акцепторные примеси.
7. Полупроводники р- и n-типа.
8. Дайте определение компенсированного и вырожденного полупроводника.
9. Назовите три верхние энергетические зоны.
10. Нарисуйте зонную диаграмму полупроводника.
11. Токи в полупроводниках. Ток проводимости. Диффузионный ток.
12. Что представляет собой электронно-дырочный переход?
13. Какие носители заряда являются основными, а какие неосновными?
14. Опишите механизм электронной и дырочной проводимости.
15. р-n переход. Вольтамперная характеристика р-n перехода.

16. Полупроводниковый диод. Устройство. Принцип действия. Вольтамперная характеристика.
17. Что такое тепловой ток?
18. Что такое пробой р-п-перехода
19. Структура биполярного транзистора типа п-р-п и р-п-р. (изобразить структуру, электроды и указать их названия).
20. Схемное обозначение биполярного транзистора типа п-р-п и р-п-р.
21. Режимы работы биполярного транзистора
22. Полярность напряжений на р-п-переходах биполярного транзистора в разных режимах.
23. Принцип работы биполярного транзистора (на примере схемы с ОБ, активный режим)
24. Понятие об эффекте поля в полупроводниках.
25. Виды полевых транзисторов, их схемные обозначения и структура.
26. Принцип работы МДП транзистора (на примере схемы с общим истоком)
27. Понятие порогового напряжения.

Литература для подготовки:

- [1.1] Ч.II §2.1 – 2.3, 3.1, §3.2;
[2.1] §4.8 – 4.10, §5.2 – 5.3.

Аудиторная контрольная работа № 2

Цель: Контроль знаний.

Темы, выносимые на контрольную работу

Введение в вакуумную и плазменную электронику.

1. Электронная эмиссия. Работа выхода.
2. Виды электронной эмиссии.
3. Термоэлектронная эмиссия.
4. Фотоэлектронная эмиссия.
5. Автоэлектронная эмиссия.
6. Термоэлектронный катод.

7. Электровакуумные приборы. Электронные и газоразрядные приборы.
8. Вакуумный диод. Принцип работы. Вольтамперная характеристика. Введение в твердотельную электронику.
9. Собственный полупроводник. Носители зарядов.
10. Примесный полупроводник. Полупроводники р- и n-типа.
11. Токи в полупроводниках. Ток проводимости. Диффузионный ток.
12. р-n переход. Вольтамперная характеристика р-n перехода.
13. Полупроводниковый диод. Устройство. Принцип действия. Вольтамперная характеристика.
14. Биполярные транзисторы. Устройство. Принцип действия.
15. Полевые транзисторы. Разновидности. Устройство. Принцип действия.

5. Интегральные схемы

Цель: познакомиться с классификацией и особенностями интегральных схем, технологическими операциями изготовления ИС.

Форма контроля: устный опрос, аудиторная контрольная работа.

Вопросы для обсуждения

1. Как классифицируют интегральные микросхемы?
2. Что называется гибридной микросхемой?
3. Что называется элементами и компонентами микросхем?
4. Что такое полупроводниковая микросхема?
5. 5 этапов развития микроэлектроники
6. Что называется эпитаксией? Какие виды эпитаксии существуют? С какой целью производится эпитаксия?
7. В чем заключается метод молекулярно-лучевой эпитаксии?
8. Что называется легированием? Какими способами проводят легирование полупроводников?
9. В чем заключается процесс ионной имплантации?
10. Чем отличается распределение примесей в полупроводнике после диффузии примесей и ионной имплантации?

11. Какие функции выполняет процесс травления? Что такое плазменное травление?
12. В чем заключается цель процесса литографии? Какие виды литографии Вы знаете?
13. В чем заключается процесс оксидирования?
14. Какие функции выполняет пленка диоксида кремния?
15. Какие существуют режимы оксидирования?
16. Какие методы нанесения пленок Вы знаете?

Литература для подготовки:

- [1.1] Ч.III §4.1 – 4.3, Ч.V §1;
[2.1] §6.2 – 6.7;
[2.4] §9.1 –9.2.

6. Введение в нанoeлектронику

Цель: познакомиться с понятием «наноматериалы», с инструментами нанотехнологий

Форма контроля: устный опрос, аудиторная контрольная работа.

Вопросы для обсуждения

1. Что называется квантово-размерными эффектами?
2. Когда необходимо учитывать размерные эффекты?
3. Что называется волной де Бройля?
4. Что такое принцип неопределенности?
5. В чем заключается процесс туннелирования?
6. Виды наноматериалов.
7. Классификация наноматериалов.
8. Наночастицы.
9. Фуллерены.
10. Нанопористые структуры.
11. Нанокристаллические материалы.
12. Технологии получения наноматериалов.

13. Какими причинами вызваны особые свойства наноматериалов?
14. Электронная микроскопия.
15. Полевая ионная микроскопия.
16. Зондовая микроскопия.
17. Туннельный и атомно-силовой микроскопы.
18. Зондовая литография.

Литература для подготовки:

[2.1] §7.1, §8.4, §8.5;

[2.4] §9.4.

[2.5] §1.1.

Аудиторная контрольная работа № 3

Цель: Контроль знаний.

Темы, выносимые на контрольную работу

Интегральные схемы.

1. Интегральные схемы. Классификация микросхем.
2. Полупроводниковые и гибридные микросхемы.
3. Эпитаксия.
4. Диффузия примесей. Ионная имплантация.
5. Оксидирование.
6. Фотолитография.

Введение в наноэлектронику.

1. Квантовые эффекты в наноэлектронике. Волновые свойства электрона. Туннельный эффект.
2. Классификация наноматериалов. Наночастицы. Фуллерены. Нанопористые структуры. Нанокристаллические материалы.
3. Технологии получения наноматериалов.
4. Электронная микроскопия. Полевая ионная микроскопия.
5. Зондовая микроскопия.
6. Зондовая фотолитография.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ

Главная задача экзаменов – проверка качества усвоения содержания дисциплины. На основе такой проверки оценивается учебная работа не только студентов, но и преподавателей: по результатам экзаменов можно судить и о качестве всего учебного процесса. При подготовке к экзамену студенты повторяют материал курсов, которые они слушали и изучали в течение семестра, обобщают полученные знания, выделяют главное в предмете, воспроизводят общую картину для того, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программы курса и конспект, которые указывают, что в курсе наиболее важно. Основной материал должен прорабатываться по учебнику, поскольку конспекта недостаточно для изучения дисциплины. Учебник должен быть проработан в течение семестра, а перед экзаменом важно сосредоточить внимание на основных, наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением в памяти его краткого содержания в логической последовательности.

До экзамена обычно проводится консультация, но она не может возместить отсутствия систематической работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На консультации студент получает лишь ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы. Польза от консультации будет только в том случае, если студент до нее проработает весь материал.

На экзамене нужно показать не только знание предмета, но и умение логически связно построить устный ответ.

Студент должен знать, что на экзамене осуществляется не только контроль и выставляется оценка, но это еще и дополнительная возможность, систематизация знаний.

Вопросы для подготовки к экзамену

Базовый уровень

1. Электроника. Направления развития электроники.
2. Исторические этапы развития электроники.
3. Действие электрического поля на заряд. Работа электрического поля.
4. Действие магнитного поля на заряд. Траектория движения заряда в магнитном поле в зависимости от направления скорости.
5. Законы постоянного тока. Закон Ома. Закон Джоуля – Ленца.
6. Резистор в цепи переменного тока.
7. Электронная эмиссия. Виды электронной эмиссии.
8. Вакуумный диод. Принцип работы.
9. Виды газовых разрядов.
10. Собственные полупроводники.
11. Полупроводники n -типа. Примеси. Тип проводимости. Основные носители заряда.
12. Полупроводники p -типа. Примеси. Тип проводимости. Основные носители заряда.
13. p - n переход.
14. Полупроводниковый диод. Устройство. Принцип действия.
15. Биполярные транзисторы. Устройство. Схемные обозначения.
16. Полевые транзисторы. Разновидности. Устройство. Схемные обозначения.
17. Интегральные схемы. Классификация микросхем. Степень интеграции.
18. Основные технологические операции микроэлектроники. Эпитаксия. Легирование. Оксидирование. Фотолитография.
19. Логические операции. Цифровая электроника – виды цифровых микросхем, выполняемые функции.
20. Квантоворазмерные эффекты.
21. Классификация наноматериалов.
22. Электронный просвечивающий микроскоп.

23. Электронный сканирующий микроскоп.
24. Полевой ионный микроскоп. Ионный проектор.
25. Сканирующая зондовая микроскопия.

Повышенный уровень

1. Делитель напряжения.
2. Правила Кирхгофа.
3. Конденсатор в цепи переменного тока. Сдвиг фаз между током и напряжением. Векторные диаграммы.
4. Катушка индуктивности в цепи переменного тока. Сдвиг фаз между током и напряжением. Векторные диаграммы.
5. Мощность в цепи переменного тока.
6. Фотоэлектронная эмиссия - механизм.
7. Вакуумный диод. Вольтамперная характеристика.
8. Вольтамперная характеристика газового разряда.
9. Элементы зонной теории твердых тел. Зонная структура металлов, диэлектриков, полупроводников.
10. Механизм возникновения p - n перехода.
11. Полупроводниковый диод. Вольтамперная характеристика.
12. Биполярные транзисторы. Схемы включения. Принцип действия.
13. Полевые транзисторы. Принцип действия.
14. Эмиттерный повторитель.
15. Инвертор на биполярном и МДП- транзисторе. Принцип работы.
16. Получение углеродных наноструктур.
17. Свойства углеродных нанотрубок.
18. Применение углеродных нанотрубок.
19. Сканирующий туннельный микроскоп. Принцип работы. Режимы работы.
20. Атомно-силовой микроскоп. Принцип работы. Режимы работы.

Критерии оценки знаний студента при сдаче экзамена по дисциплине «Введение в специальность»

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос базового уровня.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, не выполнившему учебный план или не знающему значительной части программного материала, допускающему существенные ошибки.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1.1. Щука, А. А. Электроника : учеб. пособие для вузов / А.А. Щука. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2012. – 739 с. : ил. ; 24. – (Учебная литература для вузов). – Гриф: Рек. УМО.

Дополнительная литература

2.1. Лозовский, В. Н. Нанотехнология в электронике : введение в специальность : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. 210601 – "Нанотехнология в электронике" / В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский. – [2-е изд., испр.]. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 327 с.

2.2. Нанотехнологии : Азбука для всех / под ред. Ю. Д. Третьякова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.

2.3. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / пер. с яп. А. В. Хачояна / под ред. Л. Н. Патрикеева. – 2-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 135 с.

2.4. Гатчин, Ю. А. Введение в Микроэлектронику: учеб. Пособие / Ю. А. Гатчин, В. Л. Ткалич, А. С. Виволанцев, Е. А. Дудников. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 114с.

2.5. Нанoeлектроника: теория и практика: учеб. / В.Е. Борисенко и др. - М.: БИНОМ, 2013. – 336 с

Интернет-ресурсы

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование»;

<http://www.en.edu.ru> – естественно-научный образовательный портал;

<http://window.edu.ru> – единое окно доступа к образовательным ресурсам