

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

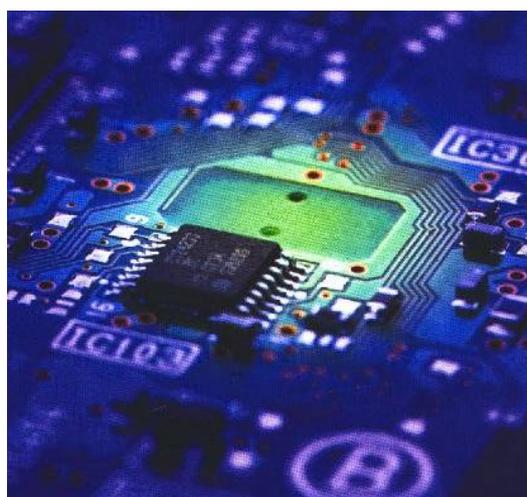
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковой электроники и наноэлектроники

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению контрольной работы  
для студентов направления  
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
(профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»)  
заочной формы обучения



Воронеж 2022

УДК 621.382.2  
ББК 31.2я7

**Составитель**

канд. техн. наук Т. В. Свистова

**Физические основы электроники:** методические указания к выполнению контрольной работы для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») заочной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Т. В. Свистова. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. 19 с.

Методические указания включают содержание контрольной работы, варианты и порядок выполнения работы, общие пояснения к тексту заданий, библиографический список рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов третьего курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле Свистова\_ФОЭ\_Му\_контр\_раб.pdf.

Табл. 7. Ил. 2. Библиогр.: 8 назв.

**УДК 621.382.2**  
**ББК 31.2я7**

**Рецензент** – Е. Ю. Плотникова, канд. техн. наук, доц. кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## **СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ, ВЫБОР ВАРИАНТОВ, ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ, ОБЩИЕ ПОЯСНЕНИЯ К ТЕКСТУ ЗАДАНИЙ**

Электроника представляет собой обширную область науки и техники, базирующуюся на изучении физических явлений в полупроводниках, диэлектриках, вакууме, плазме, газе и т.д. для создания на их основе разнообразных изделий с электронными компонентами. Электроника прочно вошла в самые различные сферы нашей деятельности; область применения различных электронных устройств огромна – от наручных электронных часов до телевизора и радиоприемника; от электронного зажигания в автомобилях до сложнейших автоматических технологических линий; от бытовых нагревательных приборов (микроволновые печи) до сверхмощных компьютеров.

История развития электроники восходит к концу XIX – началу XX века. Первоначально она развивалась для удовлетворения потребностей бурно развивающихся средств связи – для генерирования, усиления и преобразования электрических сигналов.

История создания электронных приборов базируется на открытиях и исследованиях физических явлений, связанных с взаимодействием свободных электронов с электромагнитными полями и веществом. Поэтому первые работы М.В. Ломоносова, Г.В. Рихмана (Россия) и Б. Франклина (США) в конце XVIII века по исследованию электричества могут быть отнесены к началу возникновения электроники. Открытие электрической дуги академиком В.В. Петровым в 1802 г. является началом технического использования электричества.

Работы как отечественных, так и зарубежных ученых в течение XIX века создали фундамент электроники. Среди наиболее важных достижений можно отметить труды А. Ампера и М. Фарадея, установивших законы электричества и электромагнитной индукции, создание теории электромагнетизма М. Максвеллом и теории электронов Х.А. Лоренцем, экспериментальное обнаружение электромагнитных волн Г. Герцем.

Первым электровакуумным прибором явилась осветительная лампа, изобретенная в 1872 г. выдающимся русским ученым А.Н. Лодыгиным. В 1883 г. американский ученый Т. Эдисон усовершенствовал лампу Лодыгина, введя в баллон пластинку, которая при подаче напряжения различной полярности притягивала или отталкивала от себя электроны, вылетающие из нити накала. Тем самым была создана первая двухэлектродная лампа – диод.

Важными работами для создания электронных приборов являются открытие фотоэлектронной эмиссии русским ученым А.Г. Столетовым (1888 г.) и термоэлектронной эмиссии Т.А. Эдиссоном. Большую роль на развитие электроники оказали работы А.С. Попова, создавшего кристаллический детектор, К.Ф. Брауна, который изобрел первую электронно-лучевую трубку (1897 г.),

Д. Томсона, О.У. Ричардсона, А. Эйнштейна и др., выполненные в конце XIX и начале XX веков. В начале XX века были изобретены электровакуумные диоды и триоды, газотроны. В 1907 г. русский ученый Б.Л. Розинг предложил использовать электронно-лучевую трубку для приема изображений, что может считаться началом телевидения. Много сделали для развития отечественной электроники русские ученые и инженеры В.И. Коваленков, А.Д. Папалески, М.А. Бонч-Бруевич, О.В. Лосев.

В советский период значительный вклад внесли А.А. Чернышев, который выдвинул идею создания видикона, Л. А. Кубецкий – изобретатель фотоэлектронного умножителя, А.П. Константинов и С.И. Котов – авторы приемной телевизионной трубки-иконоскопа и др. Существенное влияние на развитие полупроводниковых приборов оказали работы школы академика А.Д. Иоффе в 30-х – 40-х годах XX века. Важнейшими из них являются: теория выпрямления тока в контакте металл – полупроводник, предложенная Б.И. Давыдовым; квантовая теория полупроводников и теория генерации пар носителей заряда электрон – дырка; разработка полупроводниковых термоэлектрических батарей. Трудami Я.И. Френкеля, Л.Д. Ландау, Б.И. Давыдова и др. создана теория фотоэда в полупроводниках.

Однако подлинный период развития электроники начался после изобретения в 1948 году американскими учеными Д. Бардиным, У. Бреттейном и У. Шокли полупроводникового прибора - транзистора, технические характеристики которого значительно превосходили характеристики электронных ламп, применявшихся в электронных устройствах первого поколения. В 50-е годы были изобретены: полевой транзистор с *p-n*-переходом, солнечные батареи, оптроны, туннельные диоды, тиристоры и др. В 1960 г. Д. Кинг и М. Аттала создали МОП-транзистор, а в 1966 г. С. Мид разработал полевой транзистор с барьером Шоттки.

Следующий этап повышения технического уровня элементной базы, а также завершенных изделий электронной аппаратуры обусловлен переходом на интегральные микросхемы, что определило дальнейшее развитие и совершенствование технологических способов и процессов, общих для всех полупроводниковых приборов. Полупроводниковые интегральные схемы (ИС), представляющие собой функционально законченные узлы радиоаппаратуры: логические элементы, усилители, генераторы и др. были разработаны в шестидесятые годы XX столетия. В интегральной микросхеме все или часть элементов нераздельно связаны и электрически соединены между собой так, что устройство рассматривается как единое целое. Это позволяет резко уменьшить размеры функциональных узлов и повысить надежность монтажа.

Восьмидесятые и девяностые годы характеризуются бурным развитием микроэлектроники, увеличением функциональной сложности и плотности упаковки элементов в одном полупроводниковом кристалле, то есть разработкой и производством больших и сверхбольших интегральных схем (БИС и СБИС) и микропроцессоров.

Целями преподавания дисциплины «*Физические основы электроники*» являются изучение студентами физики электронных процессов в вакууме, газах, твердых телах, на границах раздела сред и принципов построения и работы электронных приборов различного назначения. Дисциплина включает в себя два раздела: «Твердотельная электроника», «Вакуумная и плазменная электроника».

В результате изучения дисциплины студент должен знать: основы физики твердого тела; принципы использования физических эффектов в твердом теле в электронных приборах и устройствах твердотельной электроники; конструкции, параметры и характеристики приборов твердотельной электроники; физико-технические основы вакуумной и плазменной электроники: законы эмиссии, способы формирования и транспортировки потоков заряженных частиц (ПЗЧ) в вакууме и плазме, способы управления параметрами и преобразования энергии ПЗЧ в другие виды.

Студенты направления подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника» заочной формы обучения согласно рабочей программе дисциплины «Физические основы электроники» выполняют одну контрольную работу. Контрольная работа состоит из 7 заданий. Каждое задание имеет 15 вариантов. ***Номер варианта задания соответствует порядковому номеру студента в списке группы. Работа, выполненная не по своему варианту, не засчитывается.***

Контрольная работа выполняется в тетради 12 листов, в соответствии с требованиями «Стандарт предприятия. Текстовые документы (курсовые работы (проекты), рефераты, отчеты по лабораторным работам, контрольные работы). Правила оформления». На обложке указывается название дисциплины, фамилия и инициалы студента, номер зачетки, специальность и факультет, домашний адрес и телефон, а также варианты выполняемых заданий. Выполнение каждого задания желательно начинать с новой страницы. При оформлении контрольной работы в тетради следует оставлять поля для замечаний преподавателя. Запрещается писать на каждой строчке тетради в клетку. Вначале пишется номер варианта, затем содержание вопроса и с красной строки - ответ. Ответы на вопросы должны быть чёткими и исчерпывающими.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

**Задание № 1.** Полупроводниковые диоды. Дайте краткий ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 1

Вариант	Вопрос
1	Что называют полупроводниковым диодом? Приведите классификацию полупроводниковых диодов.
2	Выпрямительный диод. Приведите вольт-амперную характеристику и перечислите основные параметры выпрямительного диода.
3	Перечислите и объясните отличия в свойствах и параметрах кремниевых и германиевых выпрямительных диодов.
4	Каков принцип действия стабилитронов? Приведите вольт-амперную характеристику стабилитрона.
5	Каков принцип действия стабисторов? Приведите вольт-амперную характеристику стабистора.
6	Каков принцип действия стабилитронов? Приведите основные параметры стабилитрона.
7	Каков принцип действия варикапов? Почему варикапы должны работать только при приложении к ним обратного постоянного напряжения смещения?
8	Приведите вольт-фарадную характеристику варикапа. Каковы основные параметры варикапов?
9	Каков принцип действия туннельного диода? Приведите вольт-амперную характеристику туннельного диода.
10	Каков принцип действия туннельного диода? Приведите параметры туннельного диода.
11	Каков принцип действия обращенного диода? Приведите вольт-амперную характеристику обращенного диодов
12	Высокочастотные диоды Особенности их конструкции
13	Сверхвысокочастотные диоды Особенности их конструкции
14	Каков принцип действия импульсных диодов,?
15	Каков принцип действия диодов с накоплением заряда в области базы?

Рекомендуемая литература: [1], стр. 167 – 201; [2], стр. 157 – 187; [7], стр. 76 – 191.

**Полупроводниковым диодом** называют нелинейный электронный прибор с двумя выводами. В зависимости от внутренней структуры, типа, количества и уровня легирования внутренних элементов диода и вольт-амперной характеристики свойства полупроводниковых диодов бывают различными. Полупроводниковые диоды могут отличаться друг от друга, например, по следующим признакам:

а) по применяемым исходным материалам (германиевые, кремниевые, на арсениде галлия и др.);

б) по структуре перехода (точечные и плоскостные);

в) по технологии изготовления (сплавные, диффузионные, эпитаксиальные и др.);

г) по функциональному назначению (выпрямительные, детекторные, импульсные и т. д.);

д) по частотному диапазону (низкочастотные, высокочастотные и сверхвысокочастотные);

е) по мощности рассеяния (маломощные, средней мощности и мощные);

ж) по конструктивному оформлению (стеклянные, металлические, металлокерамические, пластмассовые);

з) по физическим процессам, лежащим в основе работы (стабилитроны, туннельные, варикапы, светодиоды, фотодиоды и др.)

**Выпрямительными** называют диоды, предназначенные для выпрямления переменного тока. Основу выпрямительного диода составляет обычный электронно-дырочный переход. ВАХ выпрямительного диода имеет такой же вид, как и ВАХ  $p-n$ -перехода.

**Варикап** – это полупроводниковый диод, который используется в качестве электрически управляемой емкости.

В варикапах используется свойство барьерной емкости обратно-смещенного  $p-n$ -перехода изменять свою величину в зависимости от приложенного к нему напряжения.

**Стабилитроном** называется полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации уровня напряжения в схеме. Для этого используются приборы, у которых на вольт-амперной характеристике имеется участок со слабой зависимостью напряжения от проходящего тока.

**Стаби́стор** (ранее нормистор) - полупроводниковый диод, в котором для стабилизации напряжения используется прямая ветвь вольт-амперной характеристики.

**Туннельным диодом** называют полупроводниковый диод на основе  $p^+-n^+$ -перехода с сильнолегированными областями, на прямом участке вольт-амперной характеристики которого наблюдается  $n$ -образная зависимость тока от напряжения.

**Обращённый диод** - полупроводниковый диод, разновидностью туннельного диода, в которых вследствие туннельного эффекта проводимость при обратном напряжении значительно больше, чем при прямом,

**Задание № 2.** Биполярные транзисторы. Дайте краткий ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 2

Вариант	Вопрос
1	Что такое биполярный транзистор? Что называется эмиттером? Что называется коллектором? Что такое активная база, пассивная база?
2	Какой из $p-n$ -переходов транзистора обычно имеет большую площадь? В какой из областей транзистора больше атомов примеси, в области базы или в области эмиттера? Приведите три схемы включения транзистора.
3	На какие типы делят биполярные транзисторы в зависимости от механизма переноса носителей через базу, электрических характеристик, областей применения, частотного предела, конструктивных особенностей и технологии изготовления?
4	Что такое активный режим транзистора? Что такое режим насыщения транзистора? Что такое режим отсечки?
5	В какой схеме включения транзистора можно получить усиление тока?
6	Какая из схем включения транзистора обеспечивает максимальное усиление по мощности?
7	В какой схеме включения транзистора можно получить усиление по напряжению?
8	Как объяснить вид входных статических ВАХ биполярных транзисторов в схеме с общей базой и с общим эмиттером?
9	Как объяснить вид выходных статических ВАХ биполярных транзисторов в схеме с общей базой и с общим эмиттером?
10	Приведите малосигнальную эквивалентную схему замещения биполярного транзистора.
11	Какие существуют системы малосигнальных параметров транзисторов и в чем преимущества системы $u$ - параметров?
12	Какие существуют системы малосигнальных параметров транзисторов и в чем преимущества системы $h$ - параметров?
13	Работа транзистора с высокочастотными сигналами.
14	Приведите зависимость коэффициента передачи тока от частоты. В какой схеме включения, с общей базой или общим эмиттером, коэффициент прямой передачи тока сильнее зависит от частоты?
15	Что такое предельная частота? Что такое граничная частота? Какая частота называется максимальной частотой генерации транзистора?

Рекомендуемая литература: [1], стр. 202 – 244; [3], стр. 5 – 81; [7], стр. 11 – 101.

Транзисторы по принципу действия делятся на **биполярные** (управляемые током), униполярные (управляемые электрическим полем или **полевые**) и **IGBT-транзисторы**. Аббревиатура IGBT – это сокращение названия Insulated gate bipolar transistor. В переводе это значит **биполярный транзистор с изолированным затвором (БИЗ)**.

**Биполярным транзистором** называется полупроводниковый прибор с двумя электронно-дырочными переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических сигналов. Определение «**биполярный**» указывает на то, что работа транзистора связана с процессами, в которых принимают участие носители заряда двух сортов (электроны и дырки).

Биполярный транзистор (БТ) состоит из трех областей монокристаллического полупроводника с разным типом проводимости: **эмиттера, базы и коллектора**.

Область транзистора, основным назначением которой является инжекция носителей в базу, называют эмиттером (Э), а соответствующий переход – эмиттерным.

Область, основным назначением которой является экстракция носителей из базы, называют коллектором (К), а переход – коллекторным.

Область транзистора, расположенная между переходами, называется **базой (Б)**.

Каждый из переходов транзистора можно включить либо в прямом, либо в обратном направлении. В зависимости от этого различают три режима работы транзистора:

- режим **отсечки** – оба *p-n*-перехода закрыты, при этом через транзистор обычно идет сравнительно небольшой ток;

- режим **насыщения** – оба *p-n*-перехода открыты;

- **активный** режим – один из *p-n*-переходов открыт, а другой закрыт. Если эмиттерный переход открыт, а коллекторный переход закрыт, то это **нормальный активный** режим. Если эмиттерный переход закрыт, а коллекторный переход открыт, то это **инверсный активный** режим.

Различают три схемы включения транзистора в зависимости от того, какой из электродов транзистора является общим для входного и выходного сигналов: с общей базой (ОБ); с общим эмиттером (ОЭ) и с общим коллектором (ОК).

Схема с общей базой не обладает усилительными свойствами по току, а обладает усилением по мощности и напряжению.

Схема с общим эмиттером обладает усилительными свойствами по току, по мощности и напряжению.

Схема с общим коллектором не обладает усилительными свойствами по напряжению, а обладает усилением по мощности и току

**Задание № 3.** Полевые транзисторы. Дайте краткий ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 3

Вариант	Вопрос
1	Перечислите разновидности полевых транзисторов.
2	Какой из выводов в полевом транзисторе называется «затвором», «стоком», «истоком»?
3	Расскажите о принципе работы полевого транзистора с управляющим <i>p-n</i> -переходом (ПТУП). На чем основано управление током в полевом транзисторе с управляющим переходом?
4	Приведите характеристику передачи полевого транзистора с управляющим переходом. Дайте определение крутизны полевого транзистора.
5	Приведите выходную характеристику полевого транзистора с управляющим переходом в схеме с общим истоком.
6	Какие типы МДП-транзисторов вам известны?
7	Расскажите о принципе работы МДП-транзисторов с индуцированным каналом. На чем основано управление током в МДП-транзисторах с индуцированным каналом?
8	Расскажите о принципе работы МДП-транзисторов с встроенным каналом. На чем основано управление током в МДП-транзисторах с встроенным каналом?
9	Приведите выходную характеристику МДП-транзисторов с индуцированным каналом в схеме с общим истоком.
10	Приведите характеристику передачи МДП-транзисторов с индуцированным каналом в схеме с общим истоком
11	Приведите выходную характеристику МДП-транзисторов с встроенным каналом в схеме с общим истоком.
12	Приведите характеристику передачи МДП-транзисторов с встроенным каналом в схеме с общим истоком.
13	Приведите малосигнальную эквивалентная схему ПТУП.
14	Приведите эквивалентную схему МДП-транзистора
15	В чем принципиальное отличие полевого транзистора от биполярного?

Рекомендуемая литература: [1], стр. 262 – 284; [3], стр. 102 – 167; [7], стр. 301 – 331.

Во многих современных электронных цепях используются транзисторы, ток носителей которых течет по так называемому каналу, образованному внутри кремниевого кристалла. Этим током можно управлять, прикладывая элек-

трическое поле. Такие приборы называют **полевыми транзисторами** (в англоязычной литературе применяют сокращение FET - Field Effect Transistor). В настоящее время эти транзисторы играют весьма важную роль, являясь элементами ИС, которые содержат на одном кристалле от тысяч до сотен тысяч полупроводниковых приборов. В свою очередь, на базе таких ИС создают компьютеры, микропроцессорные системы, устройства обработки сигналов и т.д.

**Полевой транзистор** (ПТ)– это полупроводниковый прибор, в котором изменение тока происходит под действием перпендикулярного току электрического поля, создаваемого входным сигналом. Протекание электрического тока в полевых транзисторах обусловлено носителями заряда только одного знака (электронами или дырками), поэтому такие транзисторы называют также **униполярными** в отличие от биполярных. По физическим эффектам, лежащим в основе управления носителями заряда, полевые транзисторы бывают трех видов: с управляющим *p-n*-переходом, с управляющим переходом металл полупроводник и со структурой металл–диэлектрик–полупроводник (МДП-транзисторы). Приборы этого типа в зарубежной литературе носят разные названия, в том числе MOSFET (Metal - Oxide - Semiconductor Field - Effect Transistor, то есть полевой транзистор металл - окисел - полупроводник), IGFET (Insulated-Gate Field - Effect Transistor, то есть полевой транзистор с изолированным затвором), MISFET (Metal - Insulator - Semiconductor Field - Effect Transistor, то есть полевой транзистор металл - изолятор - полупроводник), MOST (Metal - Oxide - Semiconductor Transistor, то есть полевой транзистор металл - окисел - полупроводник), JFET (Junction Field - Effect Transistor, то есть полевой транзистор с управляющим *p-n*-переходом), MESFET (Metal - Semiconductor Field - Effect Transistor, то есть полевой транзистор с управляющим переходом металл - полупроводник). В полевых транзисторах в качестве полупроводникового материала используют в основном кремний и арсенид галлия, в качестве металлов: алюминий, молибден, золото; в качестве диэлектрика оксид кремния  $\text{SiO}_2$  в МОП-транзисторах или сложные структуры, например,  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$  в МДП-транзисторах.

**Задание № 4.** Тиристоры. Дайте краткий ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 4

Вариант	Вопрос
1	Что такое тиристор? Какие из областей изображенной на рис. 1 структуры носят название базы? Что называется эмиттером динистора? Что называется коллектором динистора?
2	Какие из переходов изображенной на рис. 1 структуры динистора смещены в прямом, а какие – в обратном направлении?

Вариант	Вопрос
3	Опишите процессы, происходящие в динисторе при обратном включении.
4	Опишите процессы, происходящие в динисторе при прямом включении.
5	Приведите вольт-амперную характеристику динистора и объясните ее участки.
6	Чем объяснить малое значение тока динистора на участке $OA$ его характеристики, приведенной на рис. 2? Чем объяснить малое значение тока динистора на участке $OE$ его характеристики?
7	Каковы причины возрастания тока динистора при напряжениях, соответствующих участку $AB$ его характеристики (рис. 2)?
8	Что является причиной появления на характеристике динистора участка $BC$ с отрицательным внутренним сопротивлением?
9	Как смещены переходы динистора в режиме, соответствующем участку $CD$ его характеристики (рис. 2)?
10	Какой точки на характеристике динистора соответствуют напряжение и ток включения, напряжения и ток удержания (рис. 2)?
11	Какими способами можно перевести тиристор из закрытого состояния в открытое?
12	Какими способами можно перевести тиристор из открытого состояния в закрытое?
13	Объясните механизм переключения в тиристоре
14	Изобразите семейство ВАХ тринистора и объясните вид характеристик и их взаимное расположение
15	Что такое симистор? Приведите его вольт-амперную характеристику.

Рекомендуемая литература: [1], стр. 245 – 261; [3], стр. 82 – 101; [7], стр. 280 – 300;

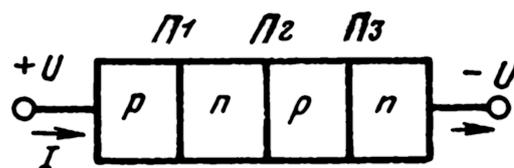


Рис. 1. Структура двухэлектродного тиристора (динистора)

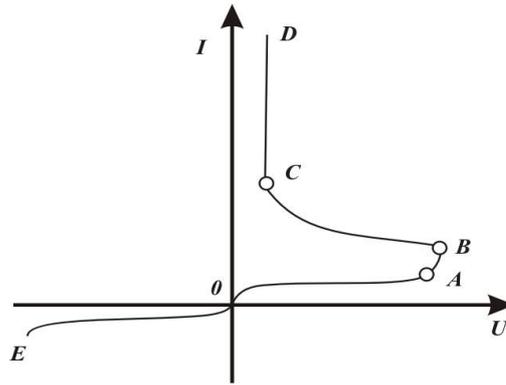


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика динистора

В настоящее время тиристоры являются основными приборами в мощных преобразователях электрической энергии, особенно, в преобразователях связанных с сетью переменного тока. Нужно знать разновидности тиристоров, их принципы действия, ВАХ и схемы включения. Основной способ включения тиристора – с помощью тока управления. Чем больше ток управления, тем при меньшем напряжении на аноде включается тиристор. Коэффициент передачи тиристора по току очень велик (тысячи) После включения тиристора ток управления можно прекратить, однако, тиристор будет удерживаться во включенном состоянии. Чтобы выключить тиристор, нужно уменьшить ток в цепи анода до очень малой величины или приложить к нему обратное напряжение. Обратите внимание на **параметры тиристоров**, порядок их величин, зависимость допустимого тока от условий работы тиристора.

**Задание № 5.** Физические основы эмиссионной электроники. Дайте развернутый ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 5

Вариант	Вопрос
1	Что такое эмиссия? Какие виды эмиссии в твердых телах Вы знаете?
2	Чем обусловлен потенциальный барьер на поверхности твердого тела?
3	Дайте определение терминов полная работа выхода, термодинамическая работа выхода, внешняя работа выхода (электронное сродство)
4	В чем заключается явление автоэлектронной эмиссии?
5	В чем заключается явление взрывной эмиссии электронов?
6	В чем заключается явление вторичной электронной эмиссии? Поясните ее механизм.
7	В чем заключается явление термоэлектронной эмиссии?

Вариант	Вопрос
8	В чем заключается явление эмиссии «горячих» электронов?
9	В чем заключается явление фотоэлектронной эмиссии?
10	В чем заключается явление кинетической и потенциальной ионно-электронной эмиссии?
11	В чем заключается явление экзоэлектронной эмиссии?
12	В чем заключается явление гибридной эмиссии?
13	В чем заключается явление вторичной ионной эмиссии?
14	Поясните явление катодного распыления.
15	Поясните явление поверхностной ионизации.

Рекомендуемая литература: [4], стр. 9 – 51.

Явление испускания электронов или ионов с поверхности вещества в окружающее пространство называется *электронной или ионной эмиссией*. Самопроизвольной эмиссии электронов из твердого тела препятствует наличие на границе потенциального барьера. Для выхода из вещества электрон должен совершить работу выхода. Эту работу электрон может совершить, если он получит извне некоторую дополнительную энергию. В зависимости от того, каким способом сообщается электрону дополнительная энергия различают следующие виды эмиссии в твердых телах: электростатическая (автоэлектронная) эмиссия; взрывная эмиссия; эмиссия «горячих» электронов; фотоэлектронная эмиссия; вторичная электронная эмиссия; термоэлектронная эмиссия; ионно-электронная эмиссия; экзоэлектронная эмиссия; гибридные эмиссии; вторичная ионная эмиссия.

В электровакуумных приборах наиболее широкое применение получили: автоэлектронная, взрывная, термоэлектронная, фотоэлектронная и вторичная электронная эмиссии

**Задание № 6.** Электронные электровакуумные приборы. Дайте развернутый ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 6

Вариант	Вопрос
1	По каким принципам осуществляется классификация электровакуумных приборов и устройств, классификация электронно-управляемых ламп?
2	Какие катоды используются в электровакуумных приборах? Для чего они служат и какими параметрами характеризуются?
3	Какие аноды и сетки используются в электровакуумных приборах? Для чего они служат и какими параметрами характеризуются?

Вариант	Вопрос
4	Поясните принцип действия электровакуумного диода.
5	Какие основные характеристики электровакуумного диода Вы знаете?
6	Какие основные параметры электровакуумного диода Вы знаете?
7	Поясните принцип действия электровакуумного триода.
8	Какие основные характеристики электровакуумного триода Вы знаете?
9	Какие основные параметры электровакуумного триода Вы знаете?
10	Поясните принцип действия электровакуумного тетрода.
11	Анодные и сеточно-анодные характеристики тетрода
12	Что такое динатронный эффект и как с ним бороться?
13	Поясните принцип действия лучевого тетрода. Анодные и сеточно-анодные характеристики лучевого тетрода
14	Поясните принцип действия пентода. Анодные и сеточно-анодные характеристики пентода.
15	Анодно-сеточные характеристики многоэлектродных ламп. Параметры многоэлектродных ламп

Рекомендуемая литература: [4], стр. 51 – 101.

**Электровакуумный прибор** – это прибор, в котором рабочее пространство, изолированное газонепроницаемой оболочкой, имеет высокую степень разрежения или заполнено специальной средой (парами или газами) и действие которого основано на использовании электрических явлений в вакууме или газе.

**Электронный электровакуумный прибор** – это прибор, в котором прохождение электрического тока осуществляется только свободными электронами.

Электронные электровакуумные приборы объединяют такие группы приборов, как электронно-управляемые лампы, электронно-лучевые приборы, фотоэлектронные приборы.

Независимо от функционального назначения любая электронная лампа состоит из баллона (колбы), системы электродов и системы выводов.

В рабочем пространстве электронного электровакуумного прибора происходят следующие основные процессы: образование свободных носителей электрического заряда – электронов в процессе эмиссии с поверхности твердого тела; создание направленного потока этих частиц; управление как плотностью потока, так и направлением движения частиц. Все эти процессы осуществляются с помощью электродов (катодов, сеток, анодов, специальных пластин), которые присоединяются к внешним источникам напряжения.

Система электродов в простейшей лампе содержит только катод и анод, в более сложных приборах, кроме катода и анода, имеются также сетки и другие специальные электроды.

**Задание № 7.** Физические основы газоразрядной электроники. Дайте развернутый ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 7

Вариант	Вопрос
1	Какие взаимодействия между заряженными частицами в газовом разряде Вам известны?
2	Охарактеризуйте упругие взаимодействия между заряженными частицами в газовом разряде.
3	Охарактеризуйте неупругие взаимодействия 1-го рода между заряженными частицами в газовом разряде.
4	Охарактеризуйте неупругие взаимодействия 2-го рода между заряженными частицами в газовом разряде.
5	Поясните явление электрического разряда в газах.
6	Какой газовый разряд является несамостоятельным, самостоятельным?
7	Приведите условие самостоятельности разряда.
8	Что характеризуют кривые Пашена? Поясните их вид.
9	Какие виды электрических разрядов в газах Вы знаете? Как осуществляется их классификация?
10	Охарактеризуйте темный разряд в газах.
11	Охарактеризуйте тлеющий разряд в газах.
12	Охарактеризуйте дуговой разряд в газах.
13	Охарактеризуйте искровой разряд в газах.
14	Охарактеризуйте коронный разряд в газах.
15	Охарактеризуйте высокочастотный разряд в газах.

Рекомендуемая литература: [5], стр. 6 – 52.

Известно, что газ хороший диэлектрик, но при достаточно больших напряженностях внешних электрических полей его проводимость резко увеличивается за счет повышения концентрации заряженных частиц. Причинами появления заряженных частиц в газовой среде являются:

- а) эмиссия с электродов и стенок сосуда;
- б) взаимодействие частиц газа.

Процесс прохождения тока в газовой среде называется *электрическим разрядом*. Все взаимодействия между частицами в газовом разряде делятся на *упругие* и *неупругие*.

При *упругих взаимодействиях* (столкновениях) суммарная кинетическая энергия взаимодействующих частиц остается постоянной. Наиболее существенны упругие взаимодействия типа: электрон-электронные, атом-атомные, ион-ионные, ион-атомные, электрон-атомные, электрон-ионные.

Для *неупругих взаимодействий* характерно изменение суммарной кинетической энергии частиц за счет изменения их внутренней энергии. Различают неупругие соударения первого и второго рода. *Неупругие соударения первого рода* – соударения, при которых часть кинетической энергии переходит во внутреннюю энергию частиц (возбуждение атомов электронным ударом, ионизация). *Неупругие соударения второго рода* – соударения, при которых суммарная кинетическая энергия сталкивающихся частиц увеличивается за счет их внутренней энергии (возвращение атома в невозбужденное состояние, рекомбинация, процессы перезарядки).

*Самостоятельный разряд* – это разряд, для поддержания которого достаточно разности потенциалов между катодом и анодом, разряд, который не требует никакого внешнего воздействия и в котором ионизация происходит за счет внутренних процессов.

*Несамостоятельный разряд* – это разряд, для поддержания которого, кроме разности потенциалов на электродах, требуется непрерывное воздействие внешнего ионизатора (подогрев катода, облучение светом). В отсутствие внешнего ионизатора несамостоятельный разряд прекращается.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свистова Т.В. Приборы твердотельной электроники: учеб. пособие / Т.В. Свистова. - Воронеж: ВГТУ, 2012. - 294 с.
2. Свистова Т.В. Твердотельная электроника: учеб. пособие / Т.В. Свистова. - Воронеж: ВГТУ, 2006. - Ч. 1. - 193 с.
3. Свистова Т.В. Твердотельная электроника: учеб. пособие / Т.В. Свистова. - Воронеж: ВГТУ, 2006. - Ч. 2. - 173 с.
4. Свистова Т.В. Вакуумная и плазменная электроника: учеб. пособие / Т.В. Свистова. - Воронеж: ВГТУ, 2005. - Ч. 1. - 178 с.
5. Свистова Т.В. Вакуумная и плазменная электроника: учеб. пособие / Т.В. Свистова. - Воронеж: ВГТУ, 2005. - Ч. 2. - 103 с.
6. Сушков А.Д. Вакуумная электроника: Физико-технические основы: учеб. пособие / А.Д. Сушков. - СПб: Лань, 2004. - 464 с.
7. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: учебник для вузов / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. - СПб.: Лань, 2003. - 480 с.
8. Щука А.А. Электроника: учеб. пособие / под ред. А.С. Ситова. – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Содержание контрольной работы, выбор вариантов, порядок выполнения контрольной работы, общие пояснения к тексту заданий.....	3
Контрольная работа.....	6
Задание № 1. Полупроводниковые диоды.....	6
Задание № 2. Биполярные транзисторы.....	8
Задание № 3. Полевые транзисторы.....	10
Задание № 4. Тиристоры.....	11
Задание № 5. Физические основы эмиссионной электроники.....	13
Задание № 6. Электронные электровакуумные приборы.....	14
Задание № 7. Физические основы газоразрядной электроники.....	16
Библиографический список .....	17

# **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению контрольной работы  
для студентов направления  
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
(профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»)  
заочной формы обучения

**Составитель**  
**Свистова Тамара Витальевна**

В авторской редакции

Подписано к изданию 08.06.2022.

Уч.-изд. л. 0,9.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84