

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки - 27.04.01 Стандартизация и метрология  
Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Разработка системы измерения статических параметров диодов

УДК 004.421.2:621.382.2.089.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Ушаков Александр Сергеевич		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Заревич Антон Иванович	к.т.н		
Руководитель ООП	Казаков Вениамин Юрьевич	к.ф-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Наталья Владимировна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШНКБ	Авдеева Ирина Ивановна			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н		

Томск – 2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа ИШИТР  
Направление подготовки «Стандартизация и метрология»  
Отделение школы (НОЦ) ОАР

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Ушакову Александру Сергеевичу

Тема работы:

Разработка системы измерения статических параметров диодов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2585/с от 13.04.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования выступает система измерения статических параметров диодов.</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Анализ действующих стандартов, методов измерения статических параметров полупроводниковых диодов.          Разработка методик измерения статических параметров полупроводниковых диодов, алгоритма программы, программного обеспечение.          Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.          Социальная ответственность.          Выводы по результатам работы.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Шаповалова Наталья Владимировна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Авдеева Ирина Ивановна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Полупроводниковые диоды и их измеряемые параметры</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>03.10.2017</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Заревич Антон Иванович	К.Т.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Ушаков Александр Сергеевич		

## ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения инновационных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием современных технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, проводить анализ состояния и динамики метрологического и нормативного обеспечения производства, производить оценку качества измерений, контроля и испытаний, проводить работы по автоматизации измерений и контроля в производстве и научных исследованиях
P3	Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: выполнять разработку и экспертизу новых технических регламентов и другой нормативной документации, разрабатывать процедуры оценки соответствия, поддерживать единое информационное пространство планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла изделий
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: исследовать причины появления некачественной продукции, разрабатывать предложения по предупреждению и устранению причин брака, осуществлять приемочный и выходной контроль продукции, а также контроль производства на основе современных технических средств
P5	Использовать базовые знания в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения инновационной инженерной деятельности; организовывать работы по защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на них, проводить технико-экономический анализ по проектам, связанным с метрологическим обеспечением производства
	<i>Универсальные компетенции</i>
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности, заниматься научно-педагогической деятельностью в области метрологии, технического регулирования и управления качеством
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок работ, демонстрировать ответственность за результаты работы
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности, проявлять гражданскую позицию, направленную на его совершенствование

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШИТР

Направление подготовки «Стандартизация и метрология»

Уровень образования – магистратура

Отделение школы (НОЦ) ОАР

Период выполнения – осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

<b>Магистерская диссертация</b>
---------------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.11.2017	Обзор существующих методов измерения статических параметров полупроводниковых диодов.	15
12.12.2017	Проектирование автоматизированной системы измерения статических параметров диодов.	20
10.02.2018	Изготовление и тестирование автоматизированной системы измерения статических параметров диодов.	20
24.04.2018	Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
24.04.2018	Выполнение раздела «Социальная ответственность»	10
25.05.2018	Выполнение раздела на иностранном языке	10
29.06.2018	Оформление графического материала	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Заревич Антон Иванович	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР	Казаков Вениамин Юрьевич	к.ф.-м.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Ушакову Александру Сергеевичу

Школа	ИШИТР	Отделение	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, ставки налоговых отчислений во внебюджетные фонды, районный коэффициент по г. Томску
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-технического исследования (НТИ)	Проведение предпроектного анализа НТИ: оценка потенциальных потребителей, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения НИ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей проекта, ожидаемых результатов, а также обозначение критериев приемки и требований к результату проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение структуры работ в рамках НТИ, разработка графика проведения НТИ, планирование бюджета НТИ.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка эффективности проекта

**Перечень графического материала:**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИИП	Шаповалова Наталья Владимировна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Ушаков Александр Сергеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Ушакову Александру Сергеевичу

Школа	ИШИТР	Отделение	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования выступает система измерения статических параметров диодов. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером, установленным на нем необходимым программным обеспечением. Работа производится сидя.
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Проводится анализ выявленных вредных факторов производственной среды, таких как: - отклонение показателей микроклимата; - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - повышенный уровень вибрации. - нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса. Анализ выявленных опасных факторов производственной среды, таких как: Электробезопасность: - Короткое замыкание - Статическое электричество - Поражение электрическим током
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	Анализ воздействия на атмосферу, гидросферу, литосферу: образование отходов при поломке или утилизации компьютера.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Защита в чрезвычайных ситуациях: - выбор наиболее типичной ЧС - пожар; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - компоновка рабочей зоны Нормативно-техническая документация (НТД): СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.0.003-2015; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; ГОСТ Р 12.1.019-2009; СНиП 21-01-97; СП 52.13330.2016; ГОСТ 12.1.030-81; ПЭУ 7; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03; ФЗРФ от 22 июля 2008г. №123; ГОСТ 12.2.032-78; ГОСТ 12.1.003-2014.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.18
--	----------

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Авдеева Ирина Ивановна			

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Ушаков Александр Сергеевич		

## Реферат

Магистерская диссертация 113 страниц, 16 рисунков, 23 таблицы, 19 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: статические параметры полупроводниковых диодов, измерения постоянного обратного тока, измерения постоянного обратного напряжения, измерения постоянного прямого напряжения и постоянного прямого тока, измерения дифференциального сопротивления.

Объектом исследования является система измерения статических параметров диодов.

Целью работы является разработка системы измерения статических параметров диодов.

В процессе разработки проводился анализ действующих нормативных документов, методов измерения статических параметров полупроводниковых диодов.

В результате исследований были разработаны методики измерения статических параметров полупроводниковых диодов, алгоритм программы, программное обеспечение, которое позволило значительно сократить время измерения статических параметров полупроводниковых диодов, эксплуатационная документация.

Основной областью применения системы является проведение измерений статических параметров полупроводниковых диодов, а также автоматическая отбраковка полупроводниковых диодов по заданным параметрам.

Экономический эффект заключается в экономии внутренних ресурсов, затрачиваемых на проведение измерений статических параметров диодов.



## Определения

В данной магистерской работе используются термины с соответствующими им определениями:

**полупроводниковый прибор:** Устройство, основные электрические характеристики которого обусловлены потоком носителей зарядов внутри одного или более полупроводниковых материалов.

**(полупроводниковый) диод:** Полупроводниковый прибор с двумя выводами, имеющий несимметричную вольт-амперную характеристику.

**метрологическое обеспечение:** Установление и применение метрологических норм, правил и методик выполнения измерений, а также разработка, изготовление и применение технических средств для обеспечения единства и требуемой точности измерений.

**средство измерений:** Техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики.

## **Обозначения и сокращения**

ВАХ – вольтамперная характеристика;

ТУ – технические условия;

ПП – полупроводниковые приборы;

ПК – персональный компьютер.

## **Нормативные ссылки**

РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

ГОСТ 25529-82 Термины, определения и буквенные обозначения параметров. Диоды полупроводниковые.

ГОСТ 15133-77 Приборы полупроводниковые. Термины и определения.

ГОСТ 2.102-2013 «Виды и комплектность конструкторских документов».

ГОСТ 2.103-2013 «Единая система конструкторской документации. Стадии разработки».

ГОСТ 2.105-95 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам».

ГОСТ 2.601-2013 «Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы».

ГОСТ 2.610 «Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов».

ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.

ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

## Оглавление

Введение.....	14
1 Полупроводниковые диоды и их измеряемые параметры.....	16
1.1 Полупроводниковые диоды .....	16
1.2 Вольт-амперная характеристика диода. ....	18
2 Средства измерения статических параметров диодов .....	29
2.1 Средства измерений вольт-амперной характеристики и параметров полупроводниковых диодов .....	29
2.2 Основы измерения статических параметров полупроводниковых приборов.....	33
3 Разработка системы измерения статических параметров.....	36
3.1 Составные части и технические характеристики системы.....	36
3.2 Назначение и принцип действия системы.....	42
3.3 Программное обеспечение ASIXD.....	44
3.4 Проверка программного управления процессом измерения.....	50
3.5 Методики расчета погрешности .....	51
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	59
4.2 SWOT-анализ.....	61
4.3 Инициация проекта.....	65
4.4 Планирование проекта.....	66
4.5 Оценка эффективности от внедрения разработки .....	75
5 Социальная ответственность .....	77
5.1 Производственная безопасность .....	77
5.2 Анализ опасных факторов.....	86
5.3 Экологическая безопасность.....	88
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	90
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	92
5.6 Выводы по разделу .....	94
Заключение .....	95
Список литературы .....	96

Приложение А (обязательное) Статические параметры диодов.....	98
Приложение Б (обязательное) Технические характеристики средств измерения .....	101
Приложение В (обязательное) Алгоритмы измерения статических параметров диодов .....	103
Приложение Г (обязательное).....	108

## Введение

Для специалистов в различных областях электроники не является секретом, что основные параметры большинства полупроводниковых диодов варьируются в достаточно широких пределах от экземпляра к экземпляру даже в рамках одного и того же типонаминала и при близких условиях испытаний, не говоря уже об изменении характеристик каждого экземпляра в реальных условиях эксплуатации. Такая нестабильность полупроводниковых диодов в процессе их производства и эксплуатации не позволяет без принятия специальных мер обеспечить высокую повторяемость параметров электронных устройств, в составе которых используются полупроводниковые изделия.

На практике при разработке электронных схем проблему зависимости параметров изделия в целом от параметров используемых в нем полупроводниковых диодов удается решить путем ввода некоторой избыточности по количеству активных и пассивных элементов для организации различного рода обратных связей. Тем не менее, существуют области, в которых просто невозможно обойтись без специализированных устройств для измерения параметров полупроводниковых диодов и получения их ВАХ. Прежде всего, они крайне необходимы в работе отбраковочных участков на производстве полупроводниковых диодов.

Первые системы никакой автоматизации не имели.

Таким образом, появилась производственная необходимость в разработке системы измерения статических параметров диодов, которая бы позволяла не только производить измерения параметров различных классов полупроводниковых диодов, но и при этом визуально отображать их основные статические ВАХ. При этом необходимо, чтобы в ней была предусмотрена возможность подключения к компьютеру для автоматизации процесса тестирования и упрощения документирования результатов контроля.

Таким образом, объектом исследования данной работы выступает система измерения статических параметров диодов.

**Предметом исследования** являются статические характеристики полупроводниковых диодов.

**Цель работы:** разработка автоматизированной системы измерения статических параметров диодов различных классов.

**Задачи исследования:**

1 Обзор существующих методов измерения статических параметров полупроводниковых диодов.

2 Проектирование автоматизированной системы измерения статических параметров диодов различных классов.

3 Изготовление и тестирование автоматизированной системы измерения статических параметров диодов различных классов.

**Реализация и апробация работы**– результаты работы используются в научных исследованиях и в производственном процессе АО«НИИПП».

# 1 Полупроводниковые диоды и их измеряемые параметры

## 1.1 Полупроводниковые диоды

Полупроводниковым диодом называют электро-преобразовательный прибор, который, как правило, содержит один электрический  $p-n$ -переход и два внешних вывода [1].

Все полупроводниковые диоды можно разделить на две группы: *выпрямительные* и *специальные*. Выпрямительные диоды, как следует из названия, предназначены для выпрямления переменного тока. В зависимости от частоты и формы выпрямляемого тока они делятся на низкочастотные, высокочастотные и импульсные. В специальных полупроводниковых диодах используются различные свойства  $p-n$ -переходов, такие как явление пробоя, фотоэффект, наличие участков ВАХ с отрицательным дифференциальным сопротивлением и прочие. Специальные полупроводниковые диоды находят, в частности, применение для стабилизации постоянного напряжения, регистрации оптического излучения, формирования электрических сигналов.

Выпрямительные полупроводниковые диоды изготавливаются, как правило, из кремния, германия или арсенида галлия. По конструкции выпрямительные полупроводниковые диоды делятся на плоскостные и точечные, а в зависимости от технологии изготовления – на сплавные, диффузионные и эпитаксиальные. По значению рабочего тока  $I_{cp}$  они разделяются на маломощные ( $I_{cp} < 0,3$  А), диоды средней мощности ( $0,3$  А  $< I_{cp} < 10$  А) и силовые диоды ( $I_{cp} > 10$  А).

Плоскостные диоды имеют большую площадь  $p-n$ -перехода и используются для выпрямления больших токов. Точечные диоды имеют малую площадь  $p-n$ -перехода и, соответственно предназначены для выпрямления малых токов (до 30 мА).

Материалом для силовых диодов обычно служит кремний или арсенид галлия.



Сплавные диоды обычно используются для выпрямления переменного тока с частотой до 5 кГц и изготавливаются из кремния. Кремневые диффузионные диоды могут работать на повышенной частоте до 100 кГц. Арсенид галлиевые выпрямительные диоды могут использоваться на частотах до нескольких мегагерц [2]. Наилучшими частотными характеристиками обладают диоды с барьером Шоттки, способные работать на частотах до десятков ГГц.

Основой выпрямительного диода является полупроводниковый монокристалл с электрическим переходом. Слабо легированная, т.е. имеющая низкую концентрацию примесных атомов, область диода обычно имеет электронную проводимость и носит название базы.

Толщина базы значительно больше граничащей с ней высоколегированной области с дырочной проводимостью, которая называется эмиттером [3].

К специальным полупроводниковым диодам относятся приборы, в которых используются особые свойства *p-n*-переходов:

- управляемая полупроводниковая емкость - варикапы и варакторы;
- зенеровский и лавинный пробой - стабилитроны;
- туннельный эффект - туннельные и обращенные диоды;
- фотоэффект – фотодиоды;
- фотонная рекомбинация носителей зарядов - светодиоды;
- многослойные диоды –динисторы.

Кроме того, к диодам относят некоторые типы приборов с тремя выводами, такие, как тиристоры и двухбазовые диоды.

## 1.2 Вольт-амперная характеристика диода.

Вольт-амперная характеристика  $p$ - $n$ -перехода может быть представлена следующим выражением:

$$I = I_0(e^{\lambda U} - 1). \quad (1)$$

У реального диода последовательно с  $p$ - $n$ -переходом имеется сопротивление базы  $r_{\delta}$ . При больших прямых токах падение напряжения на сопротивлении базы соизмеримо с падением на переходе. С учетом сопротивления базы аналитическое выражение зависимости тока диода от приложенного к нему напряжения может быть представлено в следующем виде:

$$I = I_0[e^{\lambda(U - Ir_{\delta})} - 1], \quad (2)$$

где  $\lambda = \frac{q}{kT}$ ;

$U$  – напряжение, приложенное к диоду;

$r_{\delta}$  - сопротивление базы.

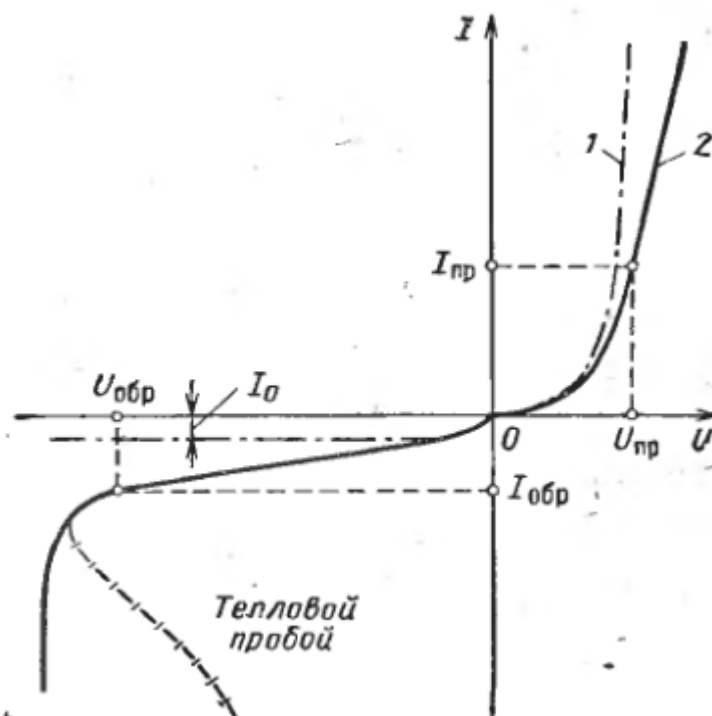
Проведя логарифмирование и дифференцирование выражения (2), определим дифференциальное сопротивление в любой точке прямой ветви вольт-амперной характеристики:

$$R_d = \frac{du}{di} = \frac{1}{\lambda(I + I_0)} + r_{\delta} \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что при малых токах дифференциальное сопротивление зависит главным образом от сопротивления  $p$ - $n$ -перехода. При больших токах дифференциальное сопротивление перехода мало и общее сопротивление определяется сопротивлением базы. Зависимость тока от напряжения представляет собой линию, угол наклона которой пропорционален величине  $r_{\delta}$ .

Во время снятия вольт-амперных характеристик и при больших значениях тока нельзя допускать повышения температуры диода. Нагрев диода сильно влияет на его характеристику в области прямых токов.

На рисунке 1 показаны вольт-амперные характеристики идеализированного  $p-n$ -перехода и реального диода.



1 – ВАХ  $p-n$  перехода;

2 – ВАХ реального диода.

Рисунок 1 – Вольт-амперные характеристики

Обратный ток диода не имеет насыщения, а увеличивается с ростом обратного напряжения. Он состоит из трех компонентов: теплового тока, образованного неосновными носителями, возникающими за пределами перехода; тока термогенерации пар носителей в области перехода; и тока утечки.

Величина обратного тока сильно зависит от окружающей температуры.

На обратной ветви вольт-амперной характеристики при больших обратных напряжениях имеется область быстрого нарастания обратного тока

при незначительном увеличении обратного напряжения. Причиной этого является развитие одного из видов пробоя  $p$ - $n$ -перехода.

Пробоем  $p$ - $n$ -перехода называется явление резкого увеличения обратного тока при достижении обратным напряжением определенного критического значения. Различают электрический и тепловой  $p$ - $n$ -переход.

**Электрический пробой.** Вследствие малой ширины перехода ( $\sim 10^4$  см) напряженность электрического поля в нем достигает большой величины при сравнительно небольших напряжениях (единицы или десятки вольт).

Существует два механизма электрического пробоя: туннельный (его называют также зенеровским или полевым) и лавинный.

*Туннельный пробой*, в основе которого лежит квантово-механический туннельный эффект, проявляется в том, что под действием сильного электрического поля перехода происходит эмиссия электронов из валентной зоны в зону проводимости. Этот эффект аналогичен так называемой холодной эмиссии электронов с поверхности металла, находящегося в сильном электрическом поле.

Вольтамперную характеристику в области туннельного пробоя можно описать приближенным выражением

$$I_T \simeq I_0 e^{-\frac{AE_g^{3/2}}{E_{кр}}} . \quad (4)$$

Таким образом, ток пробоя сильно зависит от напряженности электрического поля. Особенно интенсивно ток возрастает после напряжения полем некоторого критического значения  $E_{кр}$ .

Используя связь между напряженностью поля в сплавном (резком) переходе и напряжением на нем, можно получить зависимость

$$U_T = \frac{E_{кр}^2 \varepsilon_0 \varepsilon}{2qn} = \frac{E_{кр}^2 \varepsilon_0 \varepsilon \mu \rho}{2} . \quad (5)$$

Здесь  $U_T$  - напряжение туннельного пробоя. Величина  $U_T$  обратно пропорциональна концентрации основных носителей заряда в базе диода (или прямо пропорциональна величине удельного сопротивления).

Используя формулы (4) и (5), можно записать выражение для дифференциального сопротивления перехода в области туннельного пробоя

$$R_{\partial m} = \frac{BU_T}{I}, \quad (6)$$

где  $B$  – коэффициент, учитывающий свойства материала.

С увеличением пробивного тока дифференциальное сопротивление падает.

*Лавинный пробой* заключается в том, что под действием сильного электрического поля носители заряда, попавшие в переход (электроны или дырки), за время свободного пробега между столкновениями приобретают энергию, достаточную для ионизации атома. При этом образуется пара свободных носителей заряда. В свою очередь, эти вновь образованные носители заряда, ускоряясь в поле, могут также произвести ионизацию.

Таким образом, полный ток через переход  $I$  будет больше, чем ток  $I_0$ , обусловленный попаданием в него электронов или дырок

$$I = MI_0 \quad (7)$$

Коэффициент  $M$  носит название коэффициента умножения.

При некоторых условиях – высокой напряженности поля и достаточной ширине перехода – величина  $M \rightarrow \infty$ : происходит лавинный пробой перехода.

Коэффициент лавинного умножения  $M$  может быть найден из следующего эмпирического соотношения

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{U}{U_l}\right)^n}, \quad (8)$$

где  $U_l$  – напряжение лавинного пробоя.

Величина  $U_l$  связана со свойствами полупроводникового материала, из которого изготовлен переход

$$U_l = m\rho^k. \quad (9)$$

Таким образом, в области лавинного пробоя вольтамперная характеристика перехода имеет вид

$$I = \frac{I_0}{1 - \left(\frac{U}{U_L}\right)^n} \quad (10)$$

Дифференциальное сопротивление в области лавинного пробоя перехода равно

$$R_{\partial l} = \frac{U_L}{nMI} \quad (11)$$

**Тепловой пробой.** Тепловой пробой  $p$ - $n$ -переходы возникает вследствие потери устойчивости теплового режима его работы. При увеличении приложенного к переходу обратного напряжения мощность, рассеиваемая на нем, растет. Это приводит к увеличению температуры перехода и соседних с ним областей полупроводника. В свою очередь, увеличение температуры приводит к повышению обратного тока перехода и рассеиваемой мощности. Таким образом, возникает своеобразная теплоэлектрическая обратная связь между величиной тока и температурой  $p$ - $n$ -перехода.

Характерным признаком теплового пробоя является наличие на вольт-амперной характеристике перехода при больших обратных напряжениях участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

Особенностью пробоя перехода является его локализация в некоторых слабых местах перехода. Температура этих участков может значительно превышать среднюю по всей площади перехода. В этих же участках, следовательно, наиболее вероятно разрушение перехода вследствие перегрева.

Учитывая перечисленные выше особенности вольт-амперной характеристики, в технических условиях на диоды в качестве электрических параметров задают координаты ее точек на прямой и обратной ветвях.

Параметры диода, характеризующие прямую ветвь:

$U_{пр}$  – прямое падение напряжения на диоде при заданной величине постоянного прямого тока  $I_{пр}$ .

$R_d$  – дифференциальное сопротивление – отношение приращения напряжения на диоде к вызвавшему его малому приращению тока через диод.

Параметры диода, характеризующие обратную ветвь:

$U_{обр}$  – постоянное обратное напряжение на диоде при заданной величине постоянного обратного тока, протекающего через диод;

$I_{обр}$  – постоянный обратный ток, протекающий через диод при подаче на него постоянного обратного напряжения  $U_{обр}$ .

Измерение параметров вольт-амперной характеристики диодов

**Выбор режима измерения.** На вольт-амперной характеристике диода имеются области с различными дифференциальными сопротивлениями. Поэтому необходимая точность определения параметров может быть достигнута при соблюдении определенных условий измерения. Выясним, каковы эти условия при измерении прямой характеристики диода. Логарифмируя выражение (2), получим

$$U = \frac{1}{\lambda} \ln \left( 1 + \frac{I}{I_0} \right) + Ir_{\sigma} \quad (12)$$

На основании формул (3) и (12) можно получить выражение связывающее относительное изменение напряжения на диоде с вызывающим его относительным изменением прямого тока

$$\left( \frac{\Delta U}{U} \right)_{пр} = \frac{\frac{1}{1 + \frac{I_0}{I}} + \lambda Ir_{\sigma}}{\ln \left( 1 + \frac{I_0}{I} \right) + \lambda Ir_{\sigma}} \left( \frac{\Delta I}{I} \right)_{пр} \quad (13)$$

Поскольку справедливо неравенство  $\ln \left( 1 + \frac{I}{I_0} \right) \gg 1$  при токе более 1 мА, то первый множитель в формуле (13) значительно меньше единицы. Так, полагая  $I=1$  мА,  $I_0=10$  мкА,  $r_{\sigma}=10$  Ом, получаем  $\left( \frac{\Delta U}{U} \right)_{пр} = 0,28 \left( \frac{\Delta I}{I} \right)_{пр}$ .

Если сопротивление базы мало, точность измерения напряжения будет выше, чем тока, при одинаковых относительных погрешностях измерения этих величин. Поэтому при оценке параметров прямой ветви вольт-амперной характеристики целесообразно задавать постоянный прямой ток  $I_{пр}$  и измерять прямое падение напряжения  $U_{пр}$ . Требование задавать ток через диод означает, что внутреннее сопротивление источника питания должно быть существенно

больше сопротивления диода, чтобы изменение напряжения на диоде не вызывало изменений тока, выходящих за пределы заданной погрешности измерений, т.е. источник должен быть генератором тока по отношению к диоду. То условие распространяется на измерение напряжения во всех участках характеристики, где дифференциальное сопротивление мало. Так, при измерении параметров диода в области пробоя следует задаваться величиной обратного тока  $I_{обр}$  и определять обратное напряжение  $U_{обр}$ .

Условие, которому должно удовлетворять внутреннее сопротивление генератора постоянного тока, определяется соотношением

$$R_i \geq \frac{\Delta R_d}{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)_{пр}} + R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} + R_d \quad (14)$$

где  $\Delta R_d$  – возможное отклонение величины дифференциального сопротивления диода;

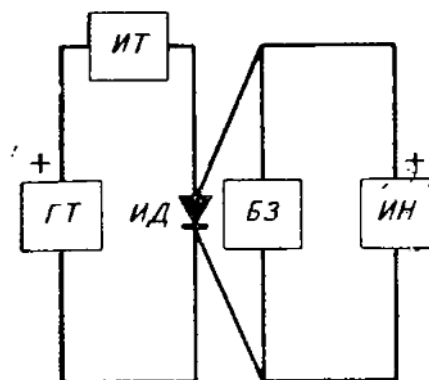
$\Delta U$  - максимальное возможное отклонение величины прямого падения напряжения на диоде при заданной величине тока  $I_{пр}$ ;

$\left(\frac{\Delta I}{I}\right)_{пр}$  – допустимая относительная погрешность измерения постоянного прямого тока, протекающего через диод.

При измерении параметров обратной характеристики диода, за исключением области пробоя, необходимо, чтобы источник питания, которым задается режим измерения, имел малое внутренне сопротивление, так как в противном случае незначительные изменения обратного тока будут вызывать большие погрешности при измерении обратного напряжения.

**Измерение параметров прямой ветви характеристики диода.** Для измерения прямого падения напряжения на диоде применяют схему включения, изображенной на рисунке 3.





ГТ – генератор тока;

ИТ – измеритель тока (миллиамперметр);

БЗ – блок защиты;

ИН – измеритель напряжения;

ИД – испытываемый диод.

Рисунок 3 – Блок-схема измерения прямого падения напряжения на диоде

Генератор постоянного тока (ГТ) должен обеспечивать постоянство прямого тока диода (без подстройки) при различных значениях прямого падения напряжения на диоде. Измерение прямого тока при закорачивании диода не должно превышать 3% от номинального значения. Постоянное прямое напряжение на диоде измеряется вольтметром (ИН). Блок защиты (БЗ) предотвращает перегрузку вольтметра при отключении измеряемого диода. Постоянный прямой ток измеряется миллиамперметром (ИТ).

Погрешность, с которой задается величина прямого тока диода, включая погрешность его измерения и ошибку, вызванную потреблением вольтметра и блока защиты, не должна превышать  $\pm 3\%$ .

Падение напряжения на контактной системе и в проводах, с помощью которых испытываемый диод подключается к измерительной схеме, не должно превышать  $\pm 2\%$  от максимально возможной величины прямого падения напряжения на диоде.

Вольтметр постоянного тока должен обеспечивать измерение величины  $U_{пр}$  с погрешностью не более  $\pm 1\%$ . Для этого применяются магнитоэлектрические приборы класса точности 1,0.

Величина тока, ответвляющегося в вольтметр, не должна превышать  $5 \times 10^{-3} I_{пр}$ .

В качестве генератора (ГТ) могут быть использованы батарея или стабилизатор напряжения с включенными последовательно дополнительными сопротивлениями, чтобы выполнять требования формулы (14).

Рассмотрим схему измерения прямого дифференциального сопротивления диода (рисунок 4).

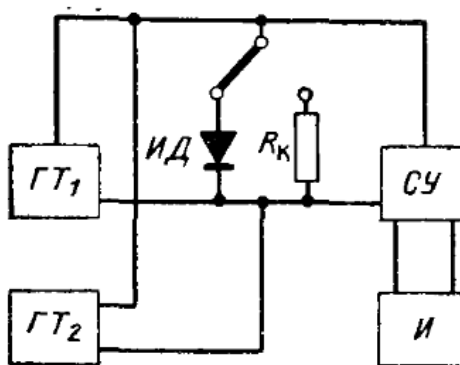


Рисунок 4 – Блок-схема измерения дифференциального сопротивления

На диод подается постоянное напряжение от генератора тока (ГТ1) и переменное напряжение от генератора (ГТ2). Величина постоянного тока должна соответствовать рабочей точке на прямой ветви вольт-амперной характеристики, в которой измеряется дифференциальное сопротивление (этот ток называется током смещения). Амплитуда переменного тока должна составлять не более 1-2% от величины тока смещения, так как при большой амплитуде результат измерения не будет соответствовать действительному значению дифференциального сопротивления диода. Переменное напряжение (синусоидальной формы), приложенное к диоду (ИД), подается на вход селективного усилителя СУ и контролируется стрелочным индикатором И.

При постоянной амплитуде переменного тока падение напряжения переменной составляющей на диоде будет пропорционально дифференциальному сопротивлению. Поэтому шкалу индикатора можно отградуировать в единицах сопротивления при помощи эталонного резистора  $R_k$ .

### Измерение параметров обратной ветви характеристики диода.

Схема включения диода при измерении обратного тока  $I_{обр}$  изображена на рисунке 5. От генератора постоянного напряжения (ГН) на испытуемый диод ИД подается заданная величина обратного напряжения. Значение обратного напряжения контролируется вольтметром ИН.

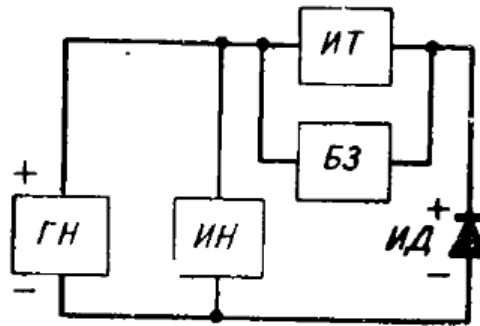


Рисунок 5 – Схема измерения обратного тока

Обратный ток диода измеряется микроамперметром ИТ. Входное сопротивление генератора постоянного напряжения должно быть достаточно малым, так как выходное напряжение ГН не должно меняться более чем на 1% при изменении величины  $I_{обр}$  от нуля до максимального (для испытуемого диода) значения. Вольтметр включают до измерителя тока и его блока защиты БЗ. Поэтому падение напряжения на измерителе тока и токонесущих элементах схемы защиты не должно превышать 2% от устанавливаемой величины обратного напряжения. Если генератор напряжения питается от сети, то пульсации на его выходе не должны превышать 1% от выходного напряжения.

Для измерения постоянного обратного напряжения на диоде  $U_{обр}$  при заданной величине обратного тока  $I_{обр}$  используется схема, изображенная на рисунке 6. В этой схеме испытываемый диод ИД через микроамперметр ИТ

подключен к генератору постоянного тока ГТ. Падение напряжения на диоде, вызванное обратным током  $I_{обр}$ , измеряется высокоомным вольтметром ИН.

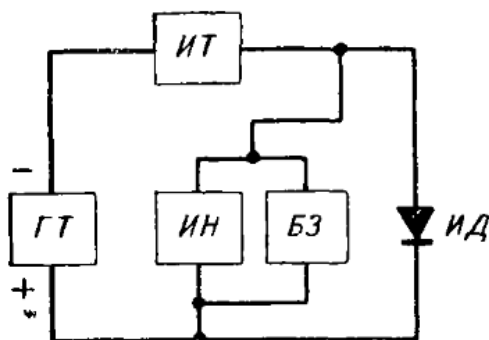


Рисунок 6 – Блок-схема измерения обратного напряжения

Выходное сопротивление генератора постоянного тока ГТ должно быть таким, чтобы при всех допустимых значениях обратного напряжения выходной ток генератора изменялся не более чем на 5%. Для измерения падения напряжения можно применять электростатические вольтметры класса точности 2,5. Схема генератора постоянного тока для измерения обратного напряжения аналогична пропорциональной схеме генератора постоянного тока и отличается от нее лишь тем, что в ней вместо транзистора используется вакуумный тетрод, а испытываемый диод и опорный стабилитрон включены в обратной полярности.

При использовании диодов в ключевых и логических устройствах, в цепях постоянного тока важно знать такие их основные статические параметры как прямое падение напряжения  $U_{пр}$  и постоянный обратный ток  $I_{обр}$ . В технических условиях на диоды в качестве статических параметров задают координаты точек вольт-амперной характеристики на прямой и обратных ветвях.

Полный список общих параметров диодов и их принятых обозначений приведены в приложении А.

## **2 Средства измерения статических параметров диодов**

При статических измерениях значение измеряемой величины в течение времени измерения измерительного средства является неизменным. Статическими являются ручные измерения, а также автоматические измерения при очень низкой скорости непрерывного изменения задаваемых значений ЭДС (тока) или при большой длительности ступенек в случае их ступенчато-непрерывного изменения. Статические измерения обеспечивают высокую точность из-за отсутствия составляющей погрешности, обусловленной изменением измеряемой величины во время измерения (динамической погрешности), но требуют достаточно большого времени на измерение ВАХ.

Однако при выборе способа измерения необходимо учитывать особенность полупроводникового прибора как объекта измерения. Она заключается в том, что даже при неизменных значениях приложенных к нему ЭДС или тока его измеряемые токи и напряжения изменяются во времени за счет изменения температуры кристалла, зависящей от рассеиваемой кристаллом мощности и времени приложения заданного воздействия. При большом времени измерения, свойственном статическим измерениям, изменение температуры кристалла является значительным и приводит к большим искажениям измеренной ВАХ.

### **2.1 Средства измерений вольт-амперной характеристики и параметров полупроводниковых диодов**

*Назначение установки.* Установка предназначена для проведения измерения параметров вольтамперной характеристики полупроводниковых приборов:

- измерение обратного тока (ГОСТ 18986.1-73);
- измерение обратного напряжения (ГОСТ 18986.2-73);

- измерение прямого напряжения (ГОСТ 18986.3-73);
- измерение дифференциального сопротивления (ГОСТ 18986.14-75);
- автоматической отбраковки диода по заданным параметрам.

В соответствии с международными стандартами было разработано техническое задание. Измерительный комплекс должен обеспечивать:

- ручное и автоматическое определение полярности диода;
- измерение прямого напряжения проводится после измерения обратного напряжения;

- предусмотреть вывод результатов измерения на экран ПК и их сохранение в текстовом файле с обозначением изделия, заданных и измеренных параметров, вывод полученного файла на печать с возможностью экспорта в EXCEL;

- измерение прямого напряжения выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 18986.3-73. Погрешность измерения не должна выходить за пределы  $\pm 5\%$ ;

- измерение прямого напряжения выполняется в диапазоне от 7 мВ до 1000В при задании прямого тока в диапазоне от 13 нА до 1А;

- измерение прямого напряжения выполняется в диапазоне от 7 мВ до 100 В при задании прямого тока в диапазоне от 41 нА до 3А;

- измерение обратного напряжения выполняется с погрешностью не более  $\pm 10\%$ ;

- измерение обратного напряжения выполняется в диапазоне от 4 мВ до 1000В при задании обратного тока в диапазоне от 7 нА до 1 А;

- измерение обратного напряжения выполняется в диапазоне от 4 мВ до 100 В при задании обратного тока в диапазоне от 21 нА до 3 А;

- измерение обратного тока выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 18986.1-73. Основная погрешность метода измерения постоянного обратного тока не должна выходить за пределы  $\pm 10\%$ ;

- измерение обратного тока выполняется в диапазоне от 4 нА до 1 А при задании обратного напряжения от 7 мВ до 1000 В;

- измерение обратного тока выполняется в диапазоне от 8 нА до 3 А при задании обратного напряжения от 7 мВ до 100 В.

*Выбор оборудования.* В микроэлектронике и в нанотехнологиях необходимы самые разнообразные приборы для измерения постоянных и переменных токов и напряжений, параметров пассивных и активных компонентов, обеспечения электропитания устройств на них. В англоязычной литературе все исследуемые компоненты и устройства принято называть сокращенным названием DUT (device under test), то есть тестируемые устройства. Для микроэлектроники и нанотехнологий характерен как относительно медленный дрейф результатов измерений в ходе тестирования, так и быстрый дрейф, вызванный шумами. Это вынуждает усложнять приборы для тестирования устройств и вводить в них новые методы измерения, например импульсные, с автоматической коррекцией нуля. Разумеется, в мире имеется огромное число фирм, занятых разработкой и серийным производством таких приборов. Особого интереса заслуживает опыт разработки комплекса приборов и измерительных систем компании Keithley Inc. - одной из компаний, имеющей большой опыт в разработке таких средств для полупроводникового и микроэлектронного производства, а в последние годы и для производства в сфере нанотехнологий. Обзор продукции этой фирмы позволяет лучше судить о специфике обеспечения измерительными приборами общего назначения современного полупроводникового и микроэлектронного производства. Его можно использовать и для оценки приборов, выпускаемых другими фирмами.

На рисунке 7 приведена общая функциональная схема комбинированных приборов компании Keithley для измерений на постоянном токе. В общем случае прибор состоит из источников напряжения  $V$  и тока  $I$  с цифровым заданием номиналов и цифровых измерителей напряжения  $V_{\text{meter}}$  и тока  $I_{\text{meter}}$ .

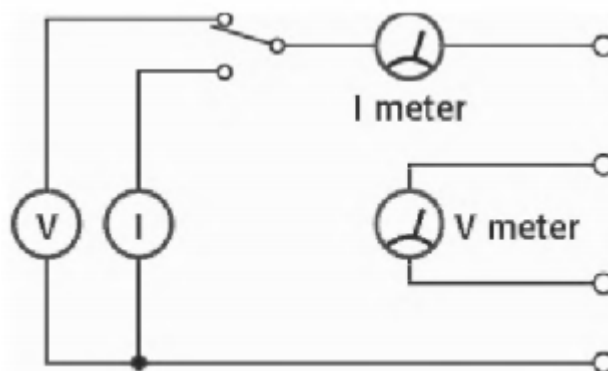


Рисунок 7 – Обобщенная функциональная схема комбинированного прибора компании Keithley

Они могут быть как постоянного, так и переменного тока. Из функциональной схемы (рисунок 7) можно получить различные варианты измерительных схем. Например, на рисунке 8 показана конфигурация для вольтметра и амперметра.

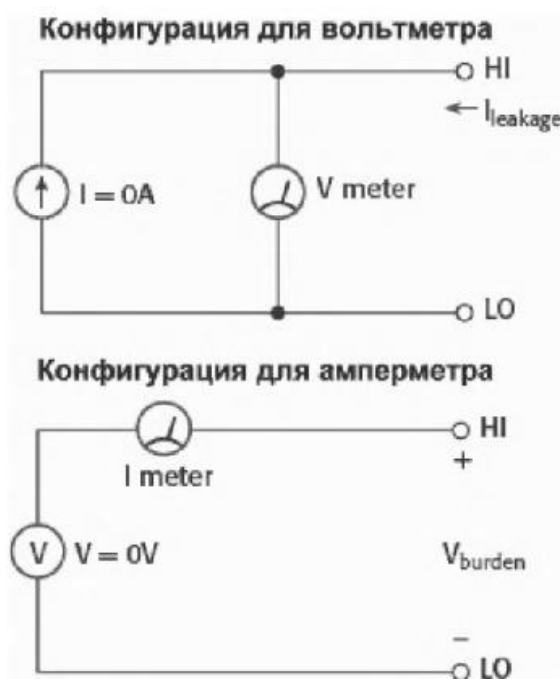


Рисунок 8 – Конфигурации вольтметра и амперметра на базе прибора, имеющего измеритель тока и напряжения

#### 2.4.1 Высоковольтные источники питания/измерители



Обширная серия высоковольтных источников/измерителей 24\*\* с встроенными измерителями напряжения и тока имеет обширные области применения в производстве полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

Эта серия имеет встроенный многофункциональный мультиметр, измеряющий напряжения, токи и сопротивления в широких пределах. Технические характеристики этих серий источников электропитания серий 24\* представлены в приложении Б.

Помимо мощности, отдаваемой в нагрузку, эти приборы отличаются своими функциональными возможностями. Например, в серии есть высоковольтный источник с выходным напряжением до 1000 В (2410).

## **2.2 Основы измерения статических параметров полупроводниковых приборов**

В пределах каждого класса приборов могут потребоваться измерения статических параметров на постоянном токе (например, семейств входных и выходных ВАХ, передаточных характеристик и т. д.). Все это требует разнообразной аппаратуры и методик измерений.

Число полупроводниковых приборов в настоящее время очень велико. Достаточно отметить, что только диодов имеется не один десяток принципиально разных типов, например: выпрямительные диоды малой, средней и большой мощности, кремниевые стабилитроны, высокочастотные и импульсные диоды, варикапы (диоды с изменяемой напряжением емкостью), обычные и лавинные фотодиоды, светодиоды и лазерные диоды, лавинно-пролетные диоды, высокоскоростные диоды Шоттки, смесительные и параметрические диоды, диоды с накоплением заряда, туннельные диоды и т. д. Разумеется, тестирование каждого типа диода имеет свои нюансы и требует разработки своей измерительной аппаратуры. Однако есть множество задач

тестирования, общих для тех или иных приборов. Ниже мы в первую очередь рассмотрим именно такие задачи и средства их решения.

Простейшая схема тестирования диода показана на рисунке 8. Она позволяет снять ВАХ диода  $I(U)$ , используя 4-точечную измерительную схему (в отдельных случаях возможно измерение и по 2-точечной схеме).

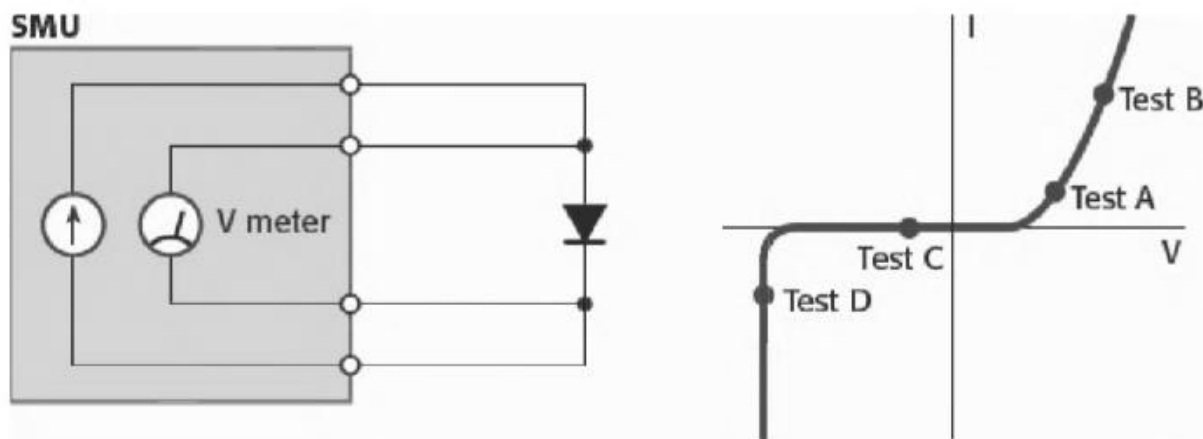


Рисунок 9 – Основная схема для измерения и тестирования статической ВАХ полупроводникового диода

При промышленном контроле диодов часто ограничиваются 3 – 4 тестами, как это показано на рисунке 9 справа. Тесты А и В позволяют судить о работе диода в прямом включении (направлении), а тесты С и D – в обратном направлении. При этом тест А определяет падение напряжения на диоде в области больших прямых токов, а тест В – в области малых прямых токов, вблизи области открытия диодов. Тест С позволяет оценить обратный ток закрытого диода, а тест D – наличие участка пробоя.

*Линейные источники/измерители серии 2400.* Для проведения измерений статических параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем необходимо очень большое число измерительных приборов с огромным диапазоном изменения нужных параметров. Фирма Keithley – один из лидеров в разработке таких приборов. Она создала небольшое число приборов, но с уникально широким диапазоном выходных токов и напряжений, перекрывающим потребности в испытании большинства полупроводниковых диодов. Приборы имеют единое программное управление

их выходными параметрами и измеряемыми величинами. Благодаря стандартным интерфейсам GPIB, LAN, RS-232 и др. приборы могут легко объединяться для создания типовых измерительных систем любой сложности. Это облегчается наличием самых различных аксессуаров.

Приборы характеризуются следующими параметрами (характеристиками):

- диапазон выходных токов от 10 пА до 10 А;
- диапазон выходных напряжений от 1 мкВ до 1100 В;
- максимальные выходные мощности от 20 Вт до 1000 Вт;
- работа без переключений во всех 4 квадрантах;
- базовая погрешность 0,012% и разрядность дисплея 5 1/2;
- 6-точечная схема измерения сопротивлений с применением программируемых источников напряжения и тока;
- до 1700 измерений в секунду при разрядности 4 1/2;
- встроенный компаратор для быстрого тестирования типа «верно - ошибка»;
- драйверы для программ TestPoint и LabView.

В основном эти приборы рассчитаны на измерения параметров полупроводниковых приборов в статическом режиме работы.

### 3 Разработка системы измерения статических параметров

#### 3.1 Составные части и технические характеристики системы

3.1.1 Состав системы для измерения статических параметров диодов приведен в таблице 1.

Таблица 1

Обозначение и наименование составной части	Кол.,шт.
ПК	1
Калибратор-мультиметр цифровой 2410 (2425)	1
Преобразователь GPIB-USBKUSB-488B	1
Преобразователь COM-USB	1
Устройство контактное	1
Адаптер	1
Программа ASIXD_U605	1

3.1.2 Технические характеристики системы с использованием калибратора-мультиметра цифрового 2410

Система обеспечивает:

- погрешность и разрешение задания напряжения приведены в таблице 2;

Таблица 2

Верхний предел диапазона задания напряжения	Программируемое разрешение	Пределы основной относительной погрешности, %
200,000 мВ	5 мкВ	$\pm(0,02 + 0,3 \cdot (200 \cdot 10^{-3} / U_{out}))$
2,000000 В	50 мкВ	$\pm(0,02 + 0,03 \cdot (2 / U_{out}))$
20,0000 В	500 мкВ	$\pm(0,02 + 0,012 \cdot (20 / U_{out}))$
1000,00 В	50 мВ	$\pm(0,02 + 0,01 \cdot (1000 / U_{out}))$

Примечание –  $U_{out}$  – заданное значение напряжения

- погрешность и разрешение задания прямого и обратных токов приведены в таблице 3;

Таблица 3

Верхний предел диапазона задания тока	Программируемое разрешение	Пределы основной относительной погрешности, %
1,00000 мкА	50 пА	$\pm(0,035 + 0,06 \cdot (1 \cdot 10^{-6} / I_{out}))$
10,0000 мкА	500 пА	$\pm(0,033 + 0,02 \cdot (10 \cdot 10^{-6} / I_{out}))$
100,000 мкА	5 нА	$\pm(0,031 + 0,02 \cdot (100 \cdot 10^{-6} / I_{out}))$
1,00000 мА	50 нА	$\pm(0,034 + 0,02 \cdot (1 \cdot 10^{-3} / I_{out}))$
20,0000 мА	500 нА	$\pm(0,045 + 0,02 \cdot (20 \cdot 10^{-3} / I_{out}))$
100,000 мА	5 мкА	$\pm(0,066 + 0,02 \cdot (100 \cdot 10^{-3} / I_{out}))$
1,00000 А	50 мкА	$\pm(0,27 + 0,09 \cdot (1 / I_{out}))$
Примечание – $I_{out}$ – заданное значение тока		

- погрешность и разрешение измерения напряжения приведены в таблице 4;

Таблица 4

Верхний предел диапазона измерения напряжения	Программируемое разрешение	Пределы основной относительной погрешности, %
200,000 мВ	1 мкВ	$\pm(0,012 + 0,15 \cdot (200 \cdot 10^{-3} / U_{in}))$
2,000000 В	10 мкВ	$\pm(0,012 + 0,015 \cdot (2 / U_{in}))$
20,0000 В	100 мкВ	$\pm(0,015 + 0,0075 \cdot (20 / U_{in}))$
1000,00 В	10 мВ	$\pm(0,015 + 0,005 \cdot (1000 / U_{in}))$
Примечание – $U_{in}$ – измеренное значение напряжения		

- погрешность и разрешение измерения тока приведены в таблице 5;

Таблица 5

Верхний предел диапазона измерения тока	Программируемое разрешение	Пределы основной относительной погрешности, %
1,00000 мкА	10 пА	$\pm(0,029 + 0,03 \cdot (1 \cdot 10^{-6}/I_{in}))$
10,0000 мкА	100 пА	$\pm(0,027 + 0,007 \cdot (10 \cdot 10^{-6}/I_{in}))$
100,000 мкА	1 нА	$\pm(0,025 + 0,006 \cdot (100 \cdot 10^{-6}/I_{in}))$
1,00000 мА	10 нА	$\pm(0,027 + 0,006 \cdot (1 \cdot 10^{-3}/I_{in}))$
20,0000 мА	100 нА	$\pm(0,035 + 0,006 \cdot (20 \cdot 10^{-3}/I_{in}))$
100,000 мА	1 мкА	$\pm(0,055 + 0,006 \cdot (100 \cdot 10^{-3}/I_{in}))$
1,00000 А	10 мкА	$\pm(0,22 + 0,057 \cdot (1/I_{in}))$
Примечание – $I_{in}$ – измеренное значение тока		

3.1.3 Технические характеристики системы с использованием калибратора-мультиметра цифрового 2425

Система обеспечивает:

- погрешность и разрешение задания напряжения приведены в таблице 6;

Таблица 6

Верхний предел диапазона задания напряжения	Программируемое разрешение	Пределы основной относительной погрешности, %
200,000 мВ	5 мкВ	$\pm(0,02 + 0,3 \cdot (200 \cdot 10^{-3}/U_{out}))$
2,00000 В	50 мкВ	$\pm(0,02 + 0,03 \cdot (2/U_{out}))$
20,0000 В	500 мкВ	$\pm(0,02 + 0,012 \cdot (20/U_{out}))$
100,000 В	2,5 мВ	$\pm(0,02 + 0,012 \cdot (100/U_{out}))$
Примечание – $U_{out}$ – заданное значение напряжения		

- погрешность и разрешение задания тока приведены в таблице 7;

Таблица 7

Верхний предел диапазона задания тока	Программируемое разрешение	Пределы основной относительной погрешности, %
10,0000 мкА	500 пА	$\pm(0,033 + 0,02 \cdot (10 \cdot 10^{-6}/I_{out}))$
100,000 мкА	5 нА	$\pm(0,031 + 0,02 \cdot (100 \cdot 10^{-6}/I_{out}))$
1,000000 мА	50 нА	$\pm(0,034 + 0,02 \cdot (1 \cdot 10^{-3}/I_{out}))$
10,0000 мА	500 нА	$\pm(0,045 + 0,02 \cdot (10 \cdot 10^{-3}/I_{out}))$
100,00 мА	5 мкА	$\pm(0,066 + 0,02 \cdot (100 \cdot 10^{-3}/I_{out}))$
1,00000 А	50 мкА	$\pm(0,067 + 0,09 \cdot (1/I_{out}))$
3,00000 А	150 мкА	$\pm(0,059 + 0,09 \cdot (3/I_{out}))$
Примечание – $I_{out}$ – заданное значение тока		

- погрешность и разрешение измерения напряжения приведены в таблице 8;

Таблица 8

Верхний предел диапазона измерения напряжения	Программируемое разрешение	Пределы основной относительной погрешности, %
200,000 мВ	1 мкВ	$\pm(0,012 + 0,15 \cdot (200 \cdot 10^{-3}/U_{in}))$
2,00000 В	10 мкВ	$\pm(0,012 + 0,015 \cdot (2/U_{in}))$
20,0000 В	100 мкВ	$\pm(0,015 + 0,0075 \cdot (20/U_{in}))$
100,000 В	1 мВ	$\pm(0,015 + 0,005 \cdot (100/U_{in}))$
Примечание – $U_{in}$ – измеренное значение напряжения		

- погрешность и разрешение измерения тока приведены в таблице 9;

Таблица 9

Верхний предел диапазона измерения тока	Программируемое разрешение	Пределы основной относительной погрешности, %
10,0000 мкА	100 пА	$\pm(0,027 + 0,007 \cdot (10 \cdot 10^{-6}/I_{in}))$
100,000 мкА	1 нА	$\pm(0,025 + 0,006 \cdot (100 \cdot 10^{-6}/I_{in}))$
1,000000 мА	10 нА	$\pm(0,027 + 0,006 \cdot (1 \cdot 10^{-3}/I_{in}))$
10,0000 мА	100 нА	$\pm(0,035 + 0,006 \cdot (10 \cdot 10^{-3}/I_{in}))$

Окончание таблицы 9

Верхний предел диапазона измерения тока	Программируемое разрешение	Пределы основной относительной погрешности, %
100,000 мА	1 мкА	$\pm(0,055 + 0,006 \cdot (100 \cdot 10^{-3} / I_{in}))$
1,00000 А	10 мкА	$\pm(0,06 + 0,057 \cdot (1 / I_{in}))$
3,00000 А	10 мкА	$\pm(0,052 + 0,057 \cdot (3 / I_{in}))$

Примечание –  $I_{in}$  – измеренное значение тока

Согласно ГОСТ 18986.1–73 границы относительной погрешности измерения обратного тока  $\delta I_{o\Sigma}$  не должны превышать  $\pm 10\%$  – для токов равных и более 0,1 мкА и  $\pm 15\%$  – для токов менее 0,1 мкА при доверительной вероятности 0,99. Диапазоны задания  $U_o$  и измерения  $I_o$ , при которых выполняются данные условия, приведены в таблице 10.

Таблица 10

Модель калибратора-мультиметра	Диапазон задания обратного напряжения	Диапазон измерения обратного тока	$\delta I_{o\Sigma}$ , %
2410	$(65 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$(2,5 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	$\pm 15$
	$(4,5 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$(30 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	
	$(65 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$(3,5 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	$\pm 10$
	$(12 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$(6 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	
	$(7 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$(30 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	
2425	$(61 \cdot 10^{-3} - 100)$ В	$(5 \cdot 10^{-9} - 3)$ А	$\pm 15$
	$(4,5 \cdot 10^{-3} - 100)$ В	$(72 \cdot 10^{-9} - 3)$ А	
	$(61 \cdot 10^{-3} - 100)$ В	$(8 \cdot 10^{-9} - 3)$ А	$\pm 10$
	$(12 \cdot 10^{-3} - 100)$ В	$(14 \cdot 10^{-9} - 3)$ А	
	$(7 \cdot 10^{-3} - 100)$ В	$(72 \cdot 10^{-9} - 3)$ А	

Согласно ГОСТ 18986.3–73 границы относительной погрешности измерения прямого напряжения  $\delta U_{п\Sigma}$  не должны превышать  $\pm 5\%$ . Диапазоны задания  $I_{п}$  и измерения  $U_{п}$ , при которых выполняются данные условия, приведены в таблице 11.



Таблица 11

Модель калибратора-мультиметра	Диапазон задания прямого тока	Диапазон измерения прямого напряжения	$\delta U_{\Sigma}$ , %
2410	$(65 \cdot 10^{-9} - 1) \text{ A}$	$(7,5 \cdot 10^{-3} - 1\ 000) \text{ В}$	$\pm 5$
	$(25 \cdot 10^{-9} - 1) \text{ A}$	$(12 \cdot 10^{-3} - 1\ 000) \text{ В}$	
	$(15 \cdot 10^{-9} - 1) \text{ A}$	$(30 \cdot 10^{-3} - 1\ 000) \text{ В}$	
2425	$(2 \cdot 10^{-7} - 3) \text{ A}$	$(7,5 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	$\pm 5$
	$(81 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$(12 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	
	$(50 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$(30 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	

Границы относительной погрешности измерения обратного напряжения  $\delta U_{\Sigma}$  не должны превышать  $\pm 10$  %. Диапазоны задания  $I_0$  и измерения  $U_0$ , при которых выполняются данные условия, приведены в таблице 12.

Таблица 12

Модель калибратора-мультиметра	Диапазон задания обратного тока	Диапазон измерения обратного напряжения	$\delta U_{\Sigma}$ , %
2410	$(65 \cdot 10^{-9} - 1) \text{ A}$	$(3,5 \cdot 10^{-3} - 1\ 000) \text{ В}$	$\pm 10$
	$(12 \cdot 10^{-9} - 1) \text{ A}$	$(6 \cdot 10^{-3} - 1\ 000) \text{ В}$	
	$(7 \cdot 10^{-9} - 1) \text{ A}$	$(30 \cdot 10^{-3} - 1\ 000) \text{ В}$	
2425	$(20 \cdot 10^{-8} - 3) \text{ A}$	$(3,5 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	$\pm 10$
	$(40 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$(6 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	
	$(23 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$(30 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	

Оба варианта исполнения обеспечивают:

- ограничение максимального тока/напряжения на приборе при задании напряжения/тока;
- задержку между моментом установления подаваемого на прибор напряжения (тока) и моментом измерения тока (напряжения) от 0 до 9 999 с, шаг задержки 0,001 с;
- автоматическое измерение обратного напряжения для четырёх заданных значений обратного тока;

- отображение измеренных значений обратного напряжения, обратного тока, прямого напряжения, дифференциального сопротивления.

### 3.2 Назначение и принцип действия системы

Принцип действия системы состоит в задании прямого тока (обратного тока или обратного напряжения) и измерении прямого напряжения (обратного напряжения или обратного тока) на ПП.

Калибратор-мультиметр цифровой 2410 (2425) (далее – мультиметр) по команде от ПК производит задание требуемого параметра (тока или напряжения) на ПП, установленный в узле коммутации, и измерение требуемого параметра ПП (напряжения или тока). Для исключения выхода из строя испытуемого ПП вводится ограничение максимального значения измеряемого параметра.

Количество точек измерения (до четырёх), тип задаваемых и измеряемых параметров, их величина, а также значение задержки между моментами задания и измерения определяется согласно ТУ на измеряемый ПП и задается в программе ASIXD\_U605 (далее – ASIXD).

В зависимости от типа испытуемого ПП и величины измеряемых электрических параметров схема системы может принимать три основных вида (рисунки 10–12).

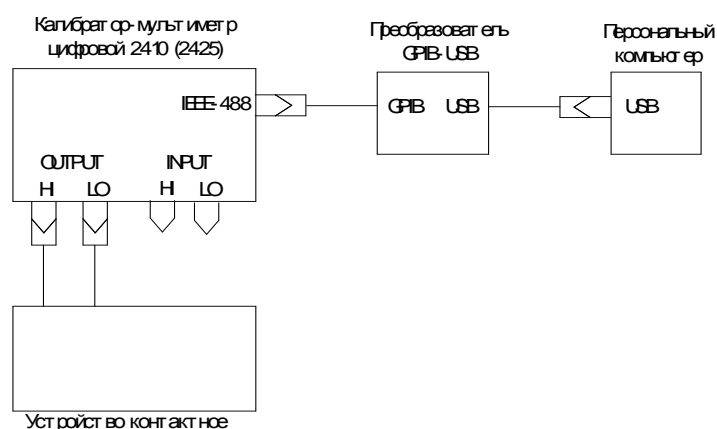


Рисунок 10 – Схема системы при 2-проводной схеме измерения и использовании контактного устройства

Схема на рисунке 11 применяется при измерении ПП с одним диодом в корпусе по 2-проводной схеме.

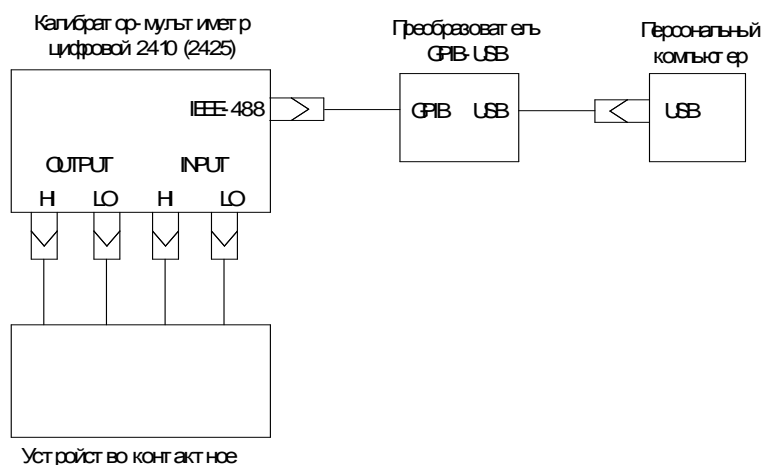


Рисунок 11– Схема системы при 4-проводной схеме измерения и использовании контактного устройства

Схема на рисунке 11 применяется для измерения ПП с одним диодом в корпусе по 4-проводной схеме. При этом подача тока к узлу коммутации осуществляется по одной паре проводов, а измерение с помощью другой пары.

Устройство контактное предназначено для присоединения изделий к установке, обеспечения фиксации и контакта изделий при испытаниях. Выбор соответствующего контактного устройства осуществляется согласно конструкторским особенностям корпусов диодов.

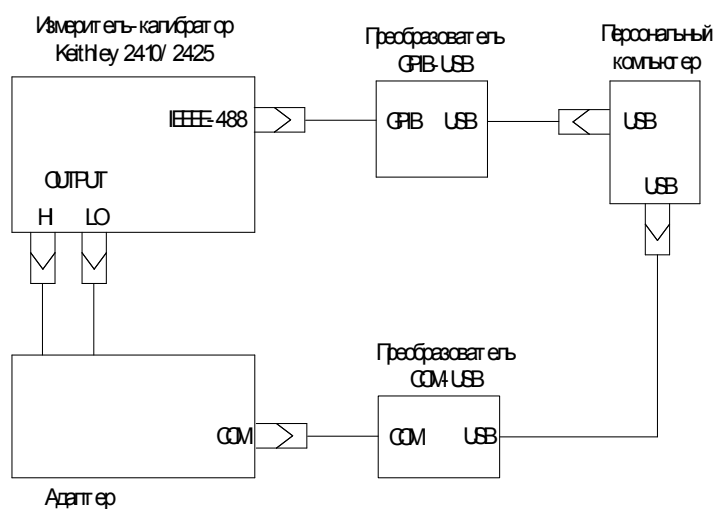


Рисунок 12 – Схема системы при 2-проводной схеме измерения и использовании адаптера

Схема на рисунке 12 применяется для измерения параметров ПП с двумя (или более) диодами в корпусе. Коммутация (выбор) диода в ПП к измерительной схеме происходит посредством последовательного нажатия оператором кнопки на адаптере.

Преобразователи GPIB-USB и COM-USB (рисунок 12) предназначены для согласования выходных интерфейсов мультиметра и узла коммутации соответственно и входных интерфейсов ПК.

### **3.3 Программное обеспечение ASIXD**

Программа ASIXD работает в составе системы измерения статических параметров и предназначена для управления мультиметром.

Функции, выполняемые программой:

- ввод/отображение типа и значения задаваемого/измеряемого параметра, временной задержки между моментом установки задаваемого параметра и моментом измерения интересующего параметра;
- задание измерительной схемы – 2-проводной или 4-проводной;
- инициализация типа мультиметра, применяемого при измерении;
- построение графика зависимости обратного тока от времени и ВАХ ПП;
- задание отбраковочных параметров и отбраковка испытуемого ПП согласно ТУ;
- сохранение типа и значения задаваемого параметра, а также отбраковочных параметров согласно ТУ на конкретный тип ПП;
- представление результатов измерений в табличном виде;
- сохранение результатов измерений.

Интерфейс программы выполнен в программной среде Microsoft Visual Basic 6.0.

### 3.3.1 Описание программного обеспечения ASIXD

Интерфейс программы представляет собой окно, аналогичное окну Windows, в котором содержатся панель управления и панель вывода результатов измерений.

Окно программы представлено на рисунке 13.

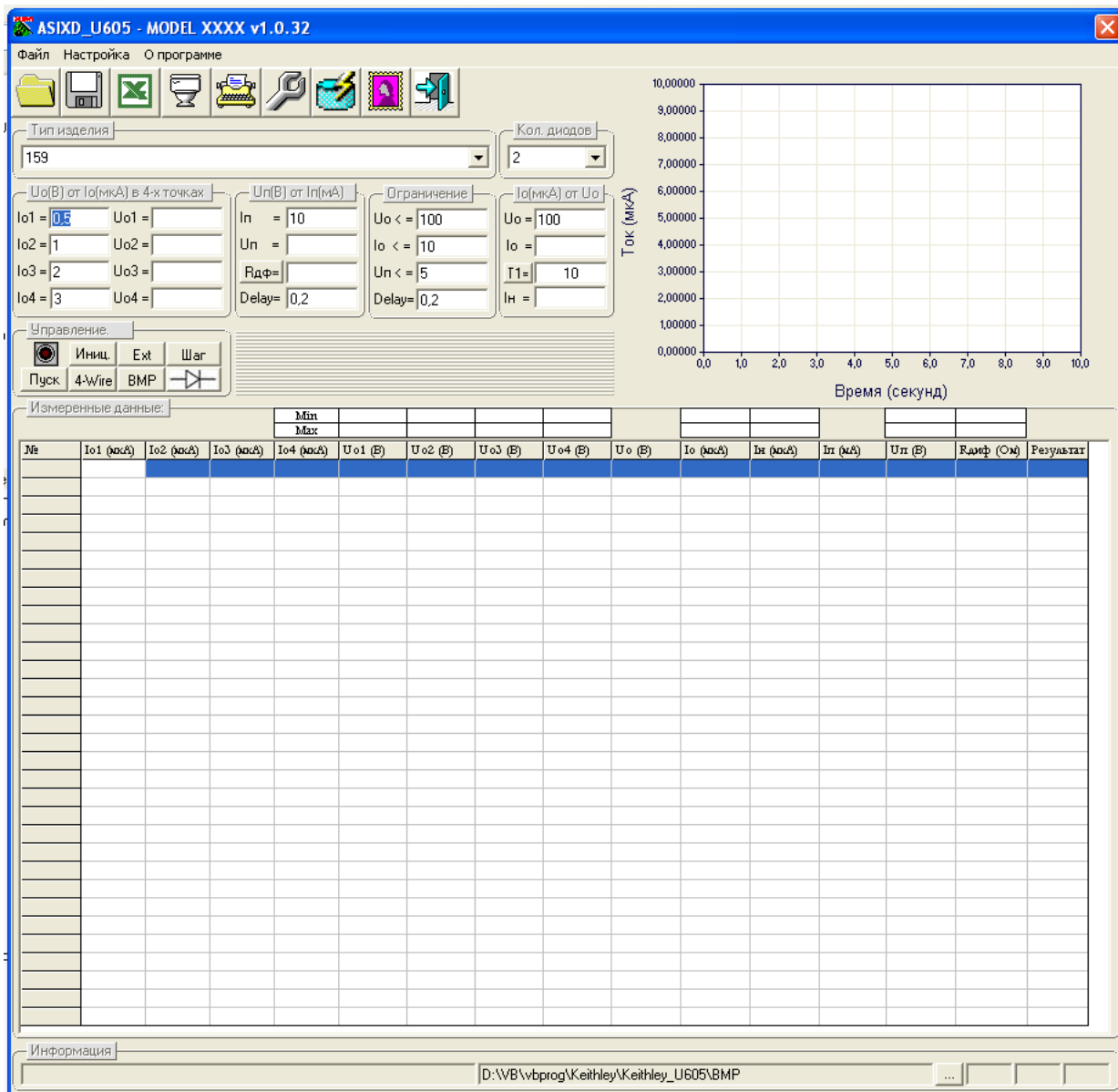












Рисунок 13 – Окно программы ASIXD

Описание кнопок дано в таблице 13.

Таблица 13 – Описание кнопок

Вид кнопки	Описание и назначение
	Открыть файл с результатами измерений. Открывается файл с расширением .txt с результатами измерений (назначение кнопки «  »).
	Сохранение результатов измерения. Результат измерений сохраняется в формате текстового документа с расширением .txt. Сохраняются значения всех полей.
	Экспорт результатов измерения. Результаты измерения сохраняются в табличном виде в формате Excel документа. При этом значения всех ячеек созданного документа полностью совпадают со значениями таблицы результатов измерения панели «Измеренные данные»
	Удалить все записи. При нажатии данной кнопки программа запросит подтверждение на удаление всех записей и, в случае положительного ответа, очистит все ячейки таблицы с результатами измерений панели «Измеренные данные»
	Распечатать результаты измерений. При нажатии данной кнопки таблица с результатами измерений панели «Измеренные данные» выдаётся на принтер для печати
	Установки программы. При нажатии данной кнопки на экране появляется окно «Настройка программы», которое позволяет настроить адреса портов ПК
	Ввод параметров изделия. При нажатии данной кнопки на экране появляется окно «Параметры изделия», которое предложит ввести значения задаваемых параметров
	Показать информацию о программе. При нажатии данной кнопки на экране появляется окно с информацией о названии программы, её версии, авторе программы
	Выход. При нажатии данной кнопки происходит закрытие рабочего окна, все не сохранённые результаты измерения удаляются

В таблице 14 представлено описание назначение каждой панели, которые находятся в окне программы ASIXD

Таблица 14 – Описание панелей

Название панели	Назначение панели
« $U_o$ (В) от $I_o$ (мкА) в 4-х точках»	Отвечает за настройку режима измерения обратного напряжения ПП. В полях панели устанавливаются и отображаются задаваемые значения обратных токов, а также отображаются измеренные значения обратного напряжения.
« $U_n$ (В) от $I_n$ (мА)»	Отвечает за настройку режима измерения прямого напряжения и дифференциального сопротивления ПП. В полях устанавливается и отображается значение задаваемого прямого тока, а также отображается измеренное значение прямого напряжения и дифференциального сопротивления.
«Ограничение»	Отвечает за настройку ограничительных параметров, предназначенных для защиты испытуемых ПП при проведении измерений. В полях устанавливаются и отображаются значения максимальных значений измеряемых параметров – обратного тока, обратного напряжения, прямого тока
« $I_o$ (мкА) от $U_o$ »	Отвечает за настройку режима измерения обратного тока ПП. В полях данной панели устанавливается и отображается значение задаваемого обратного напряжения, а также отображается измеренное значение обратного тока.
«Тип изделия»	Обеспечивает выбор типа испытуемого ПП
«Кол. диодов»	Устанавливает количество диодов в корпусе измеряемого ПП.
График нестабильности	Дается графическое представление поведения обратного тока при заданном в поле « $U_o$ » панели « $I_o$ (мкА) от $U_o$ » обратном напряжении в течение времени, значение которого установлено в поле «Т».
«Измеренные данные»	Предназначена для отображения результатов измерений
«Отбраковочные параметры»	Показаны значения отбраковочных параметров. В строках «Min» и «Max» отображаются минимальные и максимальные значения отбраковочных параметров. Если соответствующий измеренный параметр находится между значениями, указанными в строках «Min» и «Max», или равен одному из них, то ПП признаётся годным. При этом загорается индикатор «ГОДЕН».
«Настройки программы»	Позволяет устанавливать адреса портов ПК для работы с внешними устройствами.
«Параметры изделия»	Предназначено для установки значений задаваемых, отбраковочных и ограничительных параметров для каждого типа измеряемых ПП.
«Изделие»	Указываются название (тип) ПП (слева) и количество диодов в ПП (справа)
«Параметры»	Устанавливаются значения задаваемых параметров.
«Разбраковка»	Устанавливаются значения отбраковочных параметров в виде диапазона или одиночного значения

Алгоритм настройки программного обеспечения перед началом проведения измерений представлен на рисунке 14.

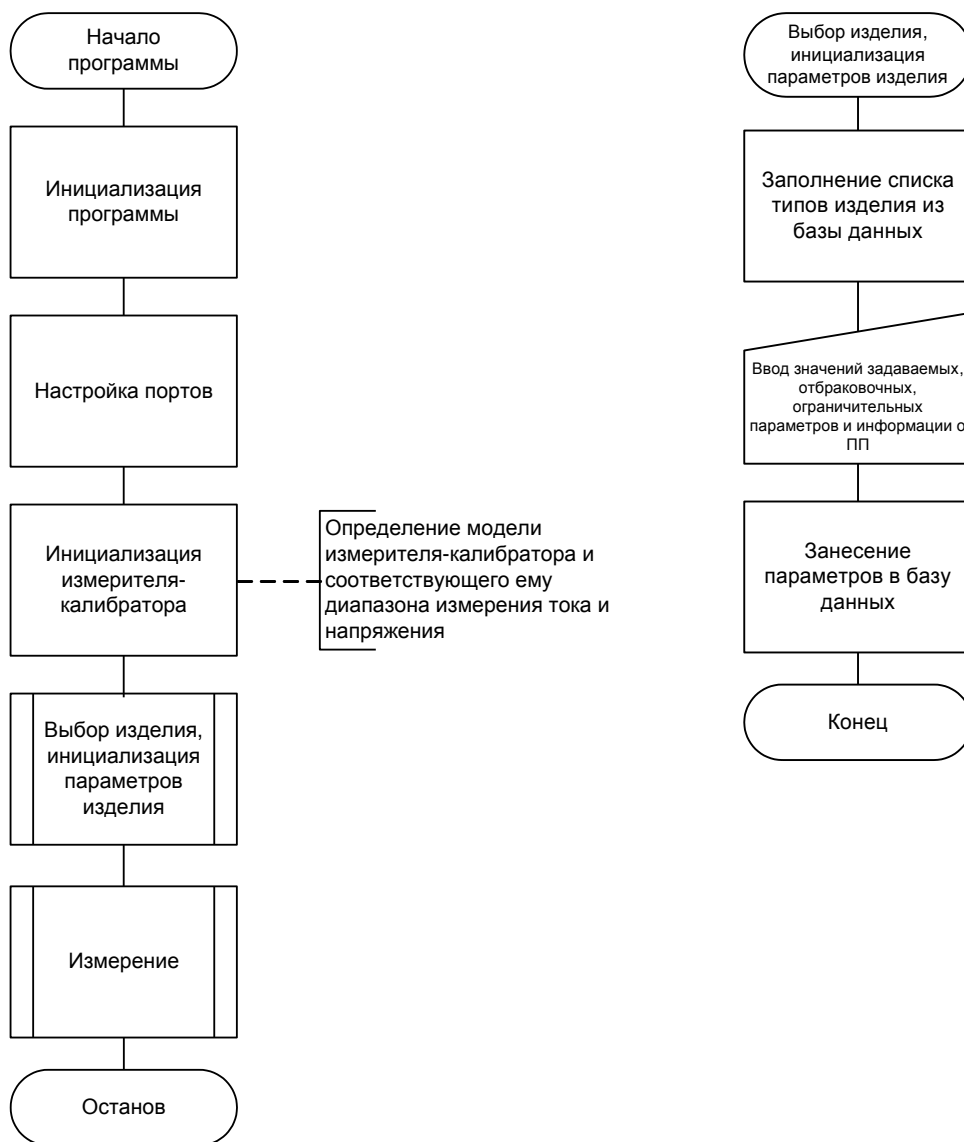


Рисунок 14 – Алгоритм настройки программного обеспечения



Алгоритм работы программного обеспечения представлен на рисунке 15

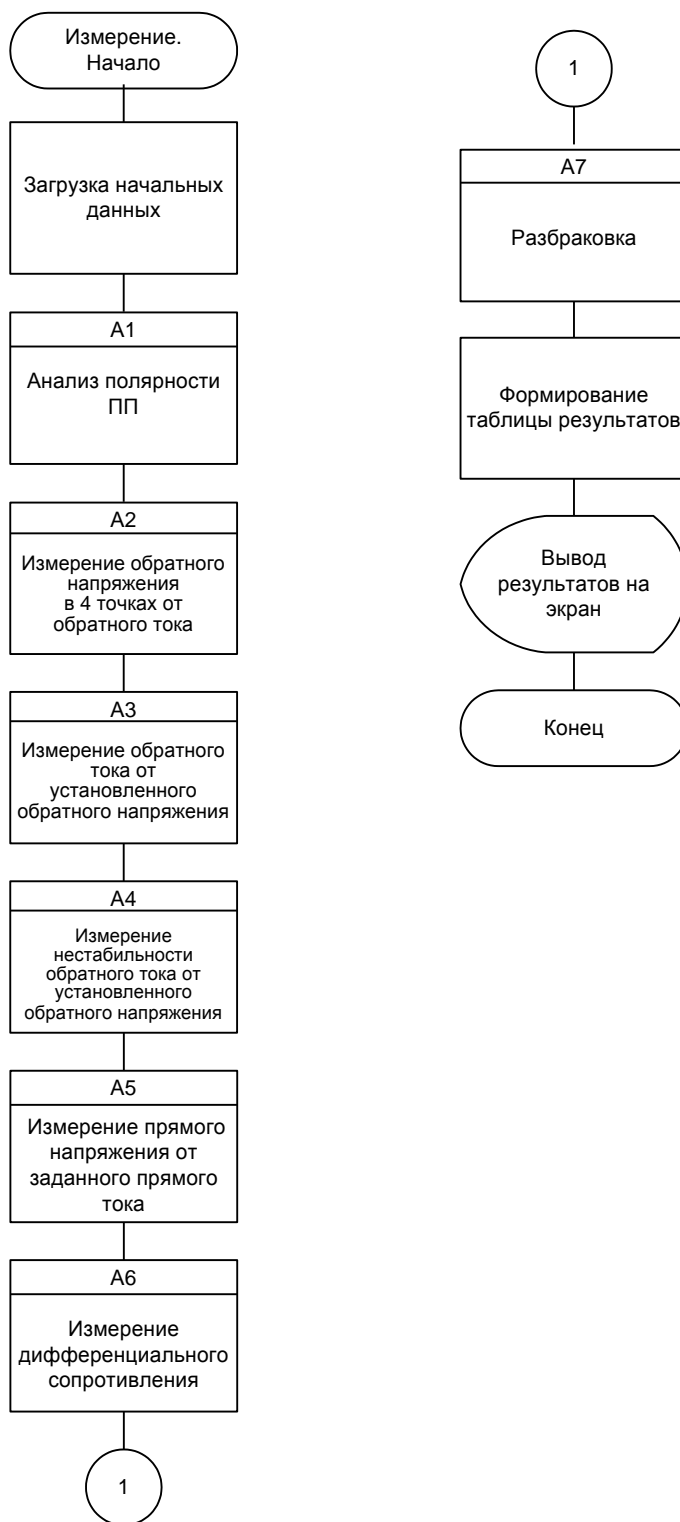


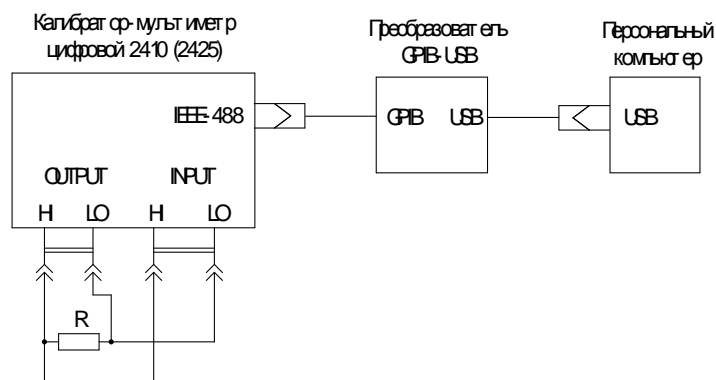
Рисунок 15 – Алгоритм работы программного обеспечения

Алгоритмы измерения каждого требуемого параметра в отдельности представлены в приложение В.

### 3.4 Проверка программного управления процессом измерения

Проверка программного управления процессом измерения заключается в проверке правильности установления, передачи и отображения параметров в заданных диапазонах.

Схема для проведения проверки изображена на рисунке 16.



R – имитатор нагрузки.

Рисунок 16 – Схема для проведения проверки

Использование имитатора нагрузки обеспечивает проверку требуемого диапазона задаваемого напряжения (тока) и требуемого диапазона измерения тока (напряжения). Выбор имитатора нагрузки осуществляется согласно таблице 15.

Таблица 15

Имитатор нагрузки	Тип мультиметра	Диапазон задаваемого тока	Диапазон измеряемого тока	Диапазон задаваемого напряжения	Диапазон измеряемого напряжения
Катушка сопротивления P321 0,1 Ом	2425	(1–3) А	(1–3) А	(0,1–0,3) В	(0,1–0,3) В
Катушка сопротивления P321 1 Ом	2410, 2425	$(10^{-3}-1)$ А	$(10^{-3}-1)$ А	$(10^{-3}-1)$ В	$(10^{-3}-1)$ В
Магазин сопротивлений P40102, 20 кОм	2410, 2425	$(50 \cdot 10^{-12} - 10^{-6})$ А	–	–	$(10^{-6} - 20 \cdot 10^{-3})$ В

### Окончание таблицы 15

Имитатор нагрузки	Тип мультиметра	Диапазон задаваемого тока	Диапазон измеряемого тока	Диапазон задаваемого напряжения	Диапазон измеряемого напряжения
Магазин сопротивлений P40102, 510 кОм	2410	–	$(10 \cdot 10^{-12} - 10^{-6})$ А	$(5 \cdot 10^{-4} - 500 \cdot 10^{-3})$ В	–
Магазин сопротивлений P40102, 1 МОм	2410	$(10^{-6} - 10^{-3})$ А	$(10^{-6} - 10^{-3})$ А	(1–1 000) В	(1–1 000) В
	2425	$(10^{-6} - 10^{-4})$ А	$(10^{-6} - 10^{-4})$ А	(1–100) В	(1–100) В

При проверке установки и измерения задаваемых параметров необходимо убедиться, что значения верхней и нижней левой строк на дисплее мультиметра совпадают с соответствующими полями соответствующей панели программы.

## 3.5 Методики расчета погрешности

### 5.1.1 Методика расчета погрешности измерения электрических параметров диодов

*Расчет диапазонов измерения электрических параметров с использованием калибратора-мультиметра цифрового 2410*

Границы относительной погрешности измерения обратного тока при доверительной вероятности 0,99 определяется по формуле

$$\delta I_{o\Sigma} = \pm(\delta U_o + \delta I_o), \quad (4)$$

где  $\delta U_o$  – относительная погрешность задания обратного напряжения;

$\delta I_o$  – относительная погрешность измерения обратного тока.

Согласно ГОСТ 18986.1–73 относительная погрешность  $\delta I_{o\Sigma}$  не должна выходить за пределы  $\pm 10\%$  – для токов равных и более 0,1 мкА и  $\pm 15\%$  для токов менее 0,1 мкА при доверительной вероятности 0,99. Диапазоны задания

$U_o$ , измерения  $I_o$  и погрешности, при которых выполняются данные условия приведены в таблице 16.

Таблица 16

Диапазон задания обратного напряжения	$\delta U_o$ , %	Диапазон измерения обратного тока	$\delta I_o$ , %
$(65 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$\pm 1$	$(2,5 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	$\pm 14$
$(65 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$\pm 1$	$(3,5 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	$\pm 9$
$(12 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$\pm 5$	$(6 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	$\pm 5$
$(7 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$\pm 9$	$(30 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	$\pm 1$
$(4,5 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$\pm 14$	$(30 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	$\pm 1$

Границы относительной погрешности измерения прямого напряжения при доверительной вероятности 0,99 определяется по формуле

$$\delta U_{\Sigma} = \pm(\delta I_{\Pi} + \delta U_{\Pi}), \quad (5)$$

где  $\delta I_{\Pi}$  – относительная погрешность задания прямого тока;

$\delta U_{\Pi}$  – относительная погрешность измерения прямого напряжения.

Согласно ГОСТ 18986.3–73 относительная погрешность  $\delta U_{\Sigma}$  не должна выходить за пределы  $\pm 5$  %. Диапазоны задания  $I_{\Pi}$ , измерения  $U_{\Pi}$  и погрешности, при которых выполняются данные условия приведены в таблице 17.

Таблица 17

Диапазон задания прямого тока	$\delta I_{\Pi}$ , %	Диапазон измерения прямого напряжения	$\delta U_{\Pi}$ , %
$(65 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	$\pm 1$	$(7,5 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$\pm 4$
$(25 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	$\pm 2,5$	$(12 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$\pm 2,5$
$(15 \cdot 10^{-9} - 1)$ А	$\pm 4$	$(30 \cdot 10^{-3} - 1\ 000)$ В	$\pm 1$

Границы относительной погрешности измерения обратного напряжения при доверительной вероятности 0,99 определяются по формуле

$$\delta U_{o\Sigma} = \pm(\delta I_o + \delta U_o), \quad (6)$$

где  $\delta I_o$  – относительная погрешность задания обратного тока;

$\delta U_o$  – относительная погрешность измерения обратного напряжения.

Погрешность  $\delta U_{\Sigma}$  не должна превышать 10 %. Диапазоны задания  $I_o$ , измерения  $U_o$  и погрешности, при которых выполняются данные условия приведены в таблице 18.

Таблица 18

Диапазон задания обратного тока	$\delta I_o$ , %	Диапазон измерения обратного напряжения	$\delta U_o$ , %
$(65 \cdot 10^{-9} - 1) \text{ A}$	$\pm 1$	$(3,5 \cdot 10^{-3} - 1 \text{ 000}) \text{ В}$	$\pm 9$
$(12 \cdot 10^{-9} - 1) \text{ A}$	$\pm 5$	$(6 \cdot 10^{-3} - 1 \text{ 000}) \text{ В}$	$\pm 5$
$(7 \cdot 10^{-9} - 1) \text{ A}$	$\pm 9$	$(30 \cdot 10^{-3} - 1 \text{ 000}) \text{ В}$	$\pm 1$

*Расчет диапазонов измерения электрических параметров с использованием калибратора-мультиметра цифрового 2425*

Границы относительной погрешности измерения обратного тока при доверительной вероятности 0,99 определяется по формуле

$$\delta I_{o\Sigma} = \pm(\delta U_o + \delta I_o), \quad (7)$$

где  $\delta U_o$  – относительная погрешность задания обратного напряжения;

$\delta I_o$  – относительная погрешность измерения обратного тока.

Диапазоны задания  $U_o$ , измерения  $I_o$  и погрешности, при которых выполняются данные условия приведены в таблице 19.

Таблица 19

Диапазон задания обратного напряжения	$\delta U_o$ , %	Диапазон измерения обратного тока	$\delta I_o$ , %
$(61 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	$\pm 1$	$(5 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$\pm 14$
$(61 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	$\pm 1$	$(8 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$\pm 9$
$(12 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	$\pm 5$	$(14 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$\pm 5$
$(7 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	$\pm 9$	$(72 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$\pm 1$
$(4,5 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ В}$	$\pm 14$	$(72 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$\pm 1$

Границы относительной погрешности измерения прямого напряжения при доверительной вероятности 0,99 определяется по формуле

$$\delta U_{\Sigma} = \pm(\delta I_{\Pi} + \delta U_{\Pi}), \quad (8)$$

где  $\delta I_{\Pi}$  – относительная погрешность задания прямого тока;

$\delta U_{\Pi}$  – относительная погрешность измерения прямого напряжения.

Диапазоны задания  $I_{\Pi}$ , измерения  $U_{\Pi}$  и погрешности, при которых выполняются данные условия приведены в таблице 20.

Таблица 20

Диапазон задания прямого тока	$\delta I_{\Pi}$ , %	Диапазон измерения прямого напряжения	$\delta U_{\Pi}$ , %
$(2 \cdot 10^{-7} - 3) \text{ A}$	$\pm 1$	$(7,5 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ B}$	$\pm 4$
$(81 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$\pm 2,5$	$(12 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ B}$	$\pm 2,5$
$(50 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$\pm 4$	$(30 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ B}$	$\pm 1$

Границы относительной погрешности измерения обратного напряжения при доверительной вероятности 0,99 определяются по формуле

$$\delta U_{\Sigma} = \pm(\delta I_{\text{O}} + \delta U_{\text{O}}), \quad (9)$$

где  $\delta I_{\text{O}}$  – относительная погрешность задания обратного тока;

$\delta U_{\text{O}}$  – относительная погрешность измерения обратного напряжения.

Диапазоны задания  $I_{\text{O}}$ , измерения  $U_{\text{O}}$  и погрешности, при которых выполняются данные условия приведены в таблице 21.

Таблица 21

Диапазон задания обратного тока	$\delta I_{\text{O}}$ , %	Диапазон измерения обратного напряжения	$\delta U_{\text{O}}$ , %
$(20 \cdot 10^{-8} - 3) \text{ A}$	$\pm 1$	$(3,5 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ B}$	$\pm 9$
$(40 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$\pm 5$	$(6 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ B}$	$\pm 5$
$(23 \cdot 10^{-9} - 3) \text{ A}$	$\pm 9$	$(30 \cdot 10^{-3} - 100) \text{ B}$	$\pm 1$

## 5.1.2 Методика расчета погрешности измерения дифференциального сопротивления

Расчёт дифференциального сопротивления производится по следующему алгоритму:

- в программе ASIXD значения токов рассчитываются по формулам

$$I_{п1} = 0,95 \cdot I_{п} \quad (10)$$

$$I_{п2} = 1,05 \cdot I_{п}, \quad (11)$$

где  $I_{п}$  – значение поданного прямого тока, А;

$I_{п1}$  – минимальное значение прямого тока, А;

$I_{п2}$  – максимальное значение прямого тока, А.

- по команде от программы мультиметр подаёт на диод ток прямоугольной формы, максимальное значение которого равно  $I_{п2}$ , а минимальное –  $I_{п1}$ ;

- мультиметр производит измерение прямого напряжения на диоде при токах  $I_{п1}$  и  $I_{п2}$ ;

- в программе рассчитывается дифференциальное сопротивление  $R_{дф}$ , в омах по формуле

$$R_{дф} = \frac{U_{п2} - U_{п1}}{I_{п2} - I_{п1}}, \quad (12)$$

где  $U_{п1}$  – значение прямого напряжения на диоде при прямом токе, равном  $I_{п1}$ , В;

$U_{п2}$  – значение прямого напряжения на диоде при прямом токе, равном  $I_{п2}$ , В.

Значения  $I_{п1}$ ,  $I_{п2}$ ,  $U_{п1}$  и  $U_{п2}$  не отображаются.

Относительная погрешность измерения  $R_{дф}$  не должна выходить за границы  $\pm 7\%$  (согласно ГОСТ 18986.14–85) при доверительной вероятности  $P = 0,997$

$$\delta R_{дф} < 7\%. \quad (13)$$

Границы относительной погрешности измерения  $R_{дф}$  при доверительной вероятности 0,997 определяются по формуле

$$\delta R_{дф} = \pm 1,4 \cdot \sqrt{\delta I_{п1}^2 + \delta I_{п2}^2 + \delta U_{п1}^2 + \delta U_{п2}^2}, \quad (14)$$

где  $\delta I_{п1}$  – относительная погрешность задания прямого тока  $I_{п1}$ , %;

$\delta I_{п2}$  – относительная погрешность задания прямого тока  $I_{п1}$ , %;

$\delta U_{п1}$  – относительная погрешность измерения прямого напряжения на диоде при прямом токе  $I_{п1}$ , %;

$\delta U_{п2}$  – относительная погрешность измерения прямого напряжения на диоде при прямом токе  $I_{п2}$ , %.

Относительные погрешности  $\delta I_{п1}$ ,  $\delta I_{п2}$ ,  $\delta U_{п1}$ ,  $\delta U_{п2}$  определяются основной относительной погрешностью мультиметра по формуле

$$\delta_o = \pm \left[ A + B \cdot \left( \frac{R}{M} \right) \right], \quad (15)$$

где  $A$  – мультипликативный компонент погрешности, %;

$B$  – аддитивный компонент погрешности, %;

$R$  – верхний предел диапазона заданной (измеряемой) величины, А (В);

$M$  – значение заданной (измеряемой) величины, А (В).

Формула основной относительной погрешности приведена в описании типа средства измерения на мультиметр.

Ниже приведен расчет относительных погрешностей  $\delta I_{п1}$ ,  $\delta I_{п2}$ ,  $\delta U_{п1}$ ,  $\delta U_{п2}$  для диода КД510 в диапазоне задания прямого тока от 10 до 100 мА.

Расчет относительной погрешности задания прямого тока и измерения прямого напряжения при использовании мультиметра 2410 приведен в таблице 22.



Таблица 22

Режим	Параметр	Значение параметра	A, %	B, %	R	M	$\delta_0^*$ , %
Задание	$I_{п1}$	10 мА	0,045	0,02	20 мА	10 мА	0,085
	$I_{п2}$	11 мА	0,045	0,02	20 мА	11 мА	0,081
Измерение	$U_{п1}$	0,68 В	0,012	0,015	2 В	0,68 В	0,056
	$U_{п2}$	0,69 В	0,012	0,015	2 В	0,69 В	0,055
Задание	$I_{п1}$	100 мА	0,27	0,09	1 А	100 мА	1,17
	$I_{п2}$	110 мА	0,27	0,09	1 А	110 мА	1,088
Измерение	$U_{п1}$	0,89 В	0,012	0,015	2 В	0,89 В	0,046
	$U_{п2}$	0,89 В	0,012	0,015	2 В	0,89 В	0,046

Производим расчет погрешности для наборов  $I_{п1}$ ,  $I_{п2}$ ,  $U_{п1}$ ,  $U_{п2}$  по формуле (14) и выбираем наибольшую. Тогда границы относительной погрешности измерения дифференциального сопротивления  $\delta R_{дф} = \pm 2,2\%$  с доверительной вероятностью 0,997.

Расчет относительной погрешности задания прямого тока и измерения прямого напряжения при использовании мультиметра 2425 приведен в таблице 23.

Таблица 23

Режим	Параметр	Значение параметра	A, %	B, %	R	M	$\delta_0^*$ , %
Задание	$I_{п1}$	10 мА	0,066	0,02	100 мА	10 мА	0,266
	$I_{п2}$	11 мА	0,066	0,02	100 мА	11 мА	0,248
Измерение	$U_{п1}$	0,68 В	0,012	0,015	2 В	0,68 В	0,056
	$U_{п2}$	0,69 В	0,012	0,015	2 В	0,69 В	0,055
Задание	$I_{п1}$	100 мА	0,067	0,09	1 А	100 мА	0,967
	$I_{п2}$	110 мА	0,067	0,09	1 А	110 мА	0,885
Измерение	$U_{п1}$	0,89 В	0,012	0,015	2 В	0,89 В	0,046
	$U_{п2}$	0,89 В	0,012	0,015	2 В	0,89 В	0,046

Производим расчет погрешности для набора  $I_{п1}$ ,  $I_{п2}$ ,  $U_{п1}$ ,  $U_{п2}$  по формуле (14) и выбираем наибольшую. Тогда границы относительной погрешности измерения дифференциального сопротивления  $\delta R_{дф} = \pm 1,9\%$  с доверительной вероятностью 0,997.

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В данном разделе рассчитываются технико-экономические показатели разработки системы измерения статических параметров диодов.

Данная тема является актуальной, т.к. подобные измерения статических параметров диодов являются одними из самых востребованных технических характеристик при изготовлении диодов.

В отличие от других подобных методов измерений статических параметров диодов к разработанному методу была применена программная обработка результатов измерения, что позволяет сократить затраты на приобретение аппаратной части для получения тех же результатов.

Для расчета экономической эффективности данной системы необходимо вычислить его себестоимость, рассчитать цену, наценку и выявить чистую прибыль.

### **4.1 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Конкурентами данной разработки могут выступить: измеритель полупроводниковых приборов 4155С ( $K_1$ ) и измеритель полупроводниковых приборов В1511А ( $K_2$ ). Произведенные сравнения продемонстрированы в таблице 4.1 ниже.

Таблица 4.1- Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,18	5	3	3	0,9	0,54	0,54
3. Надежность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
4. Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Энергоэкономичность	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3. Цена	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5. Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	2	0,3	0,18	0,12
6. Финансирование научной разработки	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
7. Срок выхода на рынок	0,04	5	4	4	0,2	1,16	0,16
8. Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>62</b>	<b>52</b>	<b>46</b>	<b>4,84</b>	<b>3,81</b>	<b>3,44</b>
К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; В <sub>і</sub> – вес показателя (в долях единицы); В <sub>і</sub> – балл і-го показателя.							

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V<sub>і</sub> – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 4,84, в то время как двух других аналогов 3,81 и 3,44 соответственно. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как удобство в эксплуатации, энергоэкономичность, цена.

## 4.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Далее в таблице 4.2 рассмотрен первый шаг для SWOT-анализа – описание сильных и слабых сторон, а также рассмотрение возможностей и угроз.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Простота применения С2. Экономия времени. С3. Высокая конкурентоспособность С4. Высокая квалификация сотрудников	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Необходимость проведения дополнительных исследований Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения дополнительных испытаний Сл4. Отсутствие бюджетного финансирования.
--	--	--

Окончание таблицы 4.2

<p><b>Возможности:</b>          В1. Использование инновационной инфраструктуры НИИПП          В2. Работа с перспективными сегментами рынка          В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>		
<p><b>Угрозы:</b>          У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства          У2. Появление наиболее перспективных разработок          У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>		

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа, который состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям, либо знаком «-» – слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Результаты представлены в таблицах 4.3, 4.4, 4.5 и 4.6 ниже.

Таблица 4.3 - Интерактивная матрица проекта. Сильные стороны и возможности проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	-	+
	В2	+	+	-	+
	В3	-	+	+	0

В1В2С1С2С4; В3С2С3.

Таблица 4.4 - Интерактивная матрица проекта. Сильные стороны и угрозы проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	+	+	-	+
	У2	+	+	-	+
	У3	-	-	0	0

У1У2С1С2С4.

Таблица 4.5 - Интерактивная матрица проекта. Слабые стороны и возможности проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	+	+	-	-
	В2	+	+	-	-
	В3	0	+	+	+

В1В2Сл1Сл2; В3Сл2Сл3Сл4

Таблица 4.6 - Интерактивная матрица проекта. Слабые стороны и угрозы проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	-	-	+
	У2	+	+	+	-
	У3	-	-	-	0

У1Сл1Сл4; У2Сл1Сл2Сл3.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в магистерской работе в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Простота применения С2. Экономия времени. С3. Высокая конкурентоспособность С4. Высокая квалификация сотрудников	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Необходимость проведения дополнительных исследований Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения дополнительных испытаний Сл4. Отсутствие бюджетного финансирования.
<b>Возможности:</b> В1. Использование инновационной инфраструктуры НИИПП В2. Работа с перспективными сегментами рынка В3. Повышение стоимости конкурентных разработок	Адекватность разработки может вызвать спрос на нее, а это в свою очередь повлечет увеличение количества спонсоров (В1В2С1С2С4). Помимо этого, унифицированность и адекватность разработки может уменьшить конкурентоспособность других разработок (В3С2С3).	Инновационные инфраструктуры НИИПП могут оказать помощь в финансировании проекта, а также могут позволят снизить финансирование научной разработки к минимуму (В1В2Сл1Сл2). Помехой для повышения стоимости конкурентных разработок могут послужить отсутствие необходимого оборудования для проведения дополнительных испытаний (В3Сл2Сл3Сл4).
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Появление наиболее перспективных разработок У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Поскольку в данной разработке используется более новая информация наряду со старой, это может повысить спрос и конкурентоспособность разработки (У1У2С1С2С4).	Конкретизация только на одном сегменте рынка и отсутствии необходимых инструментов для реализации проекта (У2Сл1Сл2Сл3). Отсутствие прототипа научной разработки говорит об отсутствии спроса на новые технологии и отсутствии конкуренции проекта (У1Сл1Сл4).



### 4.3 Инициация проекта

Данный проект разрабатывается по заказу АО «НИИПП» г.Томска.

В данном разделе представлена информация о заказчике проекта. Информация по заинтересованной стороне проекта представлена в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Информация о заказчике

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
АО «НИИПП»	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Разработка системы измерения статических параметров диодов.</li><li>2. Разработка эксплуатационной документации.</li><li>3. Повышение точности измерений.</li><li>4. Сокращение времени измерений.</li></ol>

В таблице 4.9 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей

Таблица 4.9 – Иерархия целей проекта и критерии достижения целей

Цели проекта:	Разработка автоматизированной системы измерения статических параметров диодов различных классов.
Ожидаемые результаты:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Результаты работы используются в научных исследованиях и в производственном процессе АО «НИИПП»</li></ol>
Требования к результату проекта:	Требование:
	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Ручное и автоматическое определение полярности диода.</li><li>2. Измерение прямого напряжения проводится после измерения обратного напряжения.</li><li>3. Предусмотреть вывод результатов измерения на экран ПК и их сохранение в текстовом файле с обозначением изделия, заданных и измеренных параметров.</li></ol>

Рабочая группа данного проекта представлена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
Донсков С.В., ведущий инженер-конструктор АО «НИИПП	Руководитель	Постановка задачи в соответствии с требованиями заказчика. Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.
Балашов В.Г. начальник производственного цеха	Эксперт	Контролирует разработку проекта
Ушаков А.С. инженер-конструктор АО «НИИПП»	Исполнитель	Реализация проекта в соответствии с поставленными задачами от руководителя.

В ходе реализации научного проекта, было задействовано три специалиста

#### 4.4 Планирование проекта

Цена разработки данного алгоритма обработки результатов измерения системы включает в себя:

- основные материалы;
- электроэнергию на технологические цели;
- оплату труда;
- отчисления на социальные нужды;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

#### 4.4.1 Затраты по основной заработной плате исполнителей темы

Определение трудоемкости выполнения работ основными исполнителями темы

Для расчета затрат на оплату труда на этапе проектирования необходимо сначала определить продолжительность каждой работы (начиная с составления технического задания (ТЗ) и до оформления документации включительно). Продолжительность работ ( $t_{ож}$ ) определяется либо по нормативам (с использованием специальных справочников) для каждого исполнителя в отдельности, либо расчетом с помощью экспертных оценок по формуле 4.2.

$$t_{ож} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5}, \quad (4.2)$$

где  $t_{\min}$  – минимальная трудоемкость работ, ч.-дн.;

$t_{\max}$  – максимальная трудоемкость работ, ч.-дн.

Для выполнения работ по разработке системы измерения статических параметров диодов требуются специалисты:

- инженер – конструктор;
- ведущий инженер – конструктор.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле 4.3.

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (4.3)$$

где  $t_{ож}$  – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, равный единице;

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ( $K_{Д} = 1.2$ ).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле 4.4.

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}}, \quad (4.4)$$

где  $T_{\text{рд}}$  – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;  
 $T_{\text{кд}}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;  
 $T_{\text{к}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле 4.5.

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}}, \quad (4.5)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – календарные дни ( $T_{\text{кал}} = 366$ );

$T_{\text{вд}}$  – выходные дни ( $T_{\text{вд}} = 52$ );

$T_{\text{пд}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{пд}} = 12$ ).

Таким образом, по формуле 11  $T_{\text{к}}=1,212$ .

Данные расчеты приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
		$t_{\text{min}}$	$t_{\text{max}}$	$t_{\text{ож}}$	$T_{\text{рд}}$		$T_{\text{кд}}$	
					НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	2	4	2,8	3,36	-	4	-
Разработка и утверждение (ТЗ)	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,336	4	1
Обсуждение литературы	НР, И	12	15	13,2	7,92	15,84	10	19
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,336	4	1
Изучение возможных методов обработки результатов измерения	НР, И	5	10	7	2,52	8,4	3	10
Выбор метода обработки результатов измерения	НР, И	5	10	7	2,52	8,4	3	10
Разработка программы в среде графического программирования BASIC для обработки результатов измерения	НР, И	2	4	2,8	1,01	3,36	1	4

Окончание таблицы 4.11

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
					$T_{рд}$		$T_{кд}$	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Отладка программы	И	15	21	17,4	6,26	20,88	8	26
Проведение испытаний на функционирование	И	7	12	9	3,24	10,8	4	13
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	15	21	17,4	-	20,88	-	26
Оформление презентационного материала	И	7	10	8,2	-	9,84	-	12
Подведение итогов	НР, И	15	21	17,4	6,26	20,88	7	26
<b>Итого:</b>				<b>90,4</b>	<b>33,55</b>	<b>99,07</b>	<b>41</b>	<b>121</b>

Таблица 4.12 – Линейный график работ

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
1	4	-	■													
2	4	1	■	■												
3	10	19		■	■											
4	4	1														
5	3	10														
6	3	10														
7	1	4														
8	8	26														
9	4	13														
10	-	26														
11	-	12														

НР – ■; И – ■

По данным представленным в таблице 4.12 наглядно виден объем выполнения научного проекта по месяцам и декадам (10 дней). Заштрихованным прямоугольником показан объем работы выполненный научным руководителем, а прямоугольник залитый черным цветом показывает объем выполненной работы исполнителем.

#### 4.4.2 Расчет материальных затрат

Стоимость материалов определяется методом сметного калькулирования, основанном на прямом определении затрат по отдельным статьям по формуле 4.6.

$$Z_m = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} \quad (4.6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м,  $m^2$  и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ $m^2$  и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол - во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Калибратор-мультиметр цифровой 2410 (2425)	шт.	1	652 841	652 841
ПК	шт.	1	40 000	40 000
Заправка картриджа	шт.	1	300	300
Бумага	пачка	1	250	250
Итого			693 391	693 391

Из таблицы 4.13 видно, что материальные затраты составили 693 391 рублей.

#### 4.4.3 Расчет заработной платы основных исполнителей проекта

Размер основной заработной платы устанавливается, исходя из численности исполнителей, трудоемкости и средней заработной платы за один рабочий день и рассчитывается по формуле 4.7.

$$ЗП_{\text{осн}} = \sum_{i=1}^n T_i \cdot СЗП, \quad (4.7)$$

где  $n$  – количество участников в  $i$ -ой работе;

$T_i$  – затраты труда (трудоемкость), необходимые для выполнения  $i$ -го вида работ, (дни);

СЗП – среднедневная заработная плата исполнителя, выполняющего  $i$ -ый вид работ, (руб./дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается как отношение месячного оклада к количеству рабочих дней в месяце.

Произведение трудоемкости на сумму дневной заработной платы определяет затраты по зарплате для каждого работника на все время разработки. Пример расчета основной заработной платы приведен в таблице 4.14. Расчет заработной платы определяется по системе оплаты труда на предприятии.

Таблица 4.14 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад (руб.)	Среднедневная заработная плата (руб./дн.)	Трудоемкость, раб. дн.	Основная заработная плата (руб.)
Руководитель	<b>41 500</b>	2 075	34	70 550
Инженер-конструктор	31 000	1 550	99	153 450
Итого				<b>224 000</b>

Итого основная заработная плата за время выполнения научного проекта составила 224 000 рублей.



#### 4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), Пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (федеральным (ФФОМС) и территориальным (ТФОМС)) от затрат на оплату труда работников, объединенные в форме единого социального платежа.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы

$$Z_{отч} = (ЗП_{осн} + ЗП_{дон}) \cdot 0,3, \quad (4.8)$$

где  $k_{соц}$  – коэффициент, учитывающий социальные выплаты организации. В настоящее время  $k_{соц} = 0,3$ .

Итого, суммарные отчисления составят 67 200 руб.

#### 4.4.5 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования. Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитываются по формуле

$$Э_{ОБ} = P_{ОБ} \cdot Ц_{Э} \cdot t_{ОБ}, \quad (4.9)$$

где  $Э_{ОБ}$  – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;

$P_{ОБ}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{Э}$  – тарифная цена за 1 кВт·час,  $Ц_{Э} = 5,257$  руб/кВт·ч;

$t_{ОБ}$  – время работы оборудования, час.

Время работы оборудования вычисляется на основе данных для  $T_{рд}$  таблицы 7 для инженера из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле

$$P_{ОБ} = P_{уст.об} \cdot K_c, \quad (4.10)$$

где  $P_{уст.об}$  – установленная мощность оборудования, кВт;

$K_C$  – коэффициент спроса, зависящий от количества, загрузки групп электроприемников.

Для технологического оборудования малой мощности  $K_C = 1$ .

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$ , час	Потребляемая мощность $P_{об}$ , кВт	Затраты $\mathcal{E}_{об}$ , руб.
Персональный компьютер	880	0,45	2 082
Калибратор-мультиметр цифровой 2410 (2425)	880	0,2	925
Струйный принтер	30	0,15	24
<b>Итого:</b>			<b>3 031</b>

#### 4.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле

$$\mathcal{Z}_{накл} = (\mathcal{Z}П_{осн} + \mathcal{Z}П_{дон} + \mathcal{Z}_{отч}) \cdot k_{нр}, \quad (4.11)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Причем  $k_{нр}=0,5$ .

Следовательно,  $\mathcal{Z}_{накл} = 145\,600$  руб.

Подсчитаем величину себестоимости разработанной системы. Величина себестоимости системы является основой для обоснования ее цены, которая при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела цены на научно-техническую продукцию.

Произведем расчет себе стоимости и оформим результаты в таблицу 4.16.

Таблица 4.16 – Расчет себестоимости разработки метода обработки результатов измерения предельной частоты диодов

<b>Наименование статьи</b>	<b>Сумма, руб.</b>
Материальные затраты	693 391
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	224 000
Затраты на электроэнергию для технологических целей	3 031
Отчисления во внебюджетные фонды	67 200
Накладные расходы	145 600
<b>Себестоимость проекта</b>	<b>1 133 222</b>

#### **4.5 Оценка эффективности от внедрения разработки**

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, которая выражается в соотношении обусловленного ею экономического результата и затрат на разработку проекта. В рассматриваемой ситуации оценивается экономическая эффективность инвестиций, то есть вложение денежных средств в проект с целью получения определенного экономического эффекта в будущем.

Установка предназначена для проведения измерения вольтамперных характеристик (обратного тока, прямого напряжения, обратного напряжения, дифференциального сопротивления, нестабильности обратного тока), а также для автоматической отбраковки ПП по заданным параметрам.

Данная разработка открыта для модификаций, так как используется понятный алгоритм. Чтобы получить новую функцию не требуется покупка нового оборудования, а есть возможность доработать имеющееся. Таким образом, очевидна экономическая выгода.

#### **Выводы в заключение основной части**

На основании полученных результатов можно сделать следующие **выводы**:

– в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, проведена оценка возможных угроз и возможностей проекта. Было установлено, что разработка системы имеет некоторые преимущества, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технологических процессов.

– в результате сравнения конкурентных технических решений, было выявлено, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет ряд преимуществ.

Таким образом, можно сделать вывод, что внедрение данной разработки, позволит увеличить эффективность производства, с ресурсосберегающей стороны, поскольку произойдет удешевление приобретаемого оборудования для исследований.

## **5 Социальная ответственность**

### **Введение**

В работе осуществляется разработка системы измерения статических параметров диодов. Система представляет собой совокупность средств измерений и оборудования. Интерфейс программы представляет собой окно, аналогичное окну Windows, в котором содержатся панель управления и панель вывода результатов измерений.

Обработка полученной информации с прибора и её визуализация производится на компьютере, состоящем из системного блока и монитора, поэтому выполняемые работы сводятся к взаимодействию с персональным компьютером. Работа с компьютером вызывает значительное умственное напряжение и нагрузку пользователя, высокую напряженность зрительной работы и является причиной достаточно ощутимой нагрузки на мышцы рук при длительной работе с мышью и клавиатурой. Для оптимального поддержания рабочей позы пользователя необходимо рациональное расположение требуемых элементов и рациональная конструкция рабочего места. Также при работе с компьютером необходимо рационально распределять время на работу и отдых.

В данном разделе рассматривается комплекс мероприятий, с помощью которых происходит минимизация негативного воздействия факторов, возникающие при работе с компьютером. Благодаря проведению данных мероприятий можно повысить производительность труда сотрудников и улучшить условия работы в лаборатории.

### **5.1 Производственная безопасность**

В условиях производства выделяются следующие вредные и опасные факторы, они приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке исправности функционирования аналитического оборудования

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Пусконаладочные работы:  подготовка оборудования к работе  включение элементов питания  запуск компьютера и устройства сбора данных  работа на компьютере и устройстве	отклонение показателей микроклимата;  повышенный уровень шума на рабочем месте;  повышенный уровень электромагнитных излучений;  недостаточная освещенность рабочей зоны;  повышенный уровень вибрации.  нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса.	Электробезопасность: короткое замыкание; статическое электричество;  Поражение электрическим током	параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96;  параметры уровня электромагнитных излучений устанавливаются СанПиН 2.2.4-055-96;  параметры освещенности устанавливаются СанПиН 2.1.1.1278-03;  параметры уровня шума устанавливаются СанПин 2.2.4566-96;  Пожарная безопасность устанавливается СНиП 21 – 01 – 97.

Далее более подробно изучаются выявленные вредные и опасные факторы.

### 5.1.1 Анализ вредных факторов

#### Отклонение показателей микроклимата

К параметрам микроклимата относятся: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха.

Оптимальные значения этих характеристик зависят от сезона (холодный, тёплый), а также от категории физической тяжести работы. Для инженера-конструктора она является лёгкой (1а), так как работа проводится сидя, без систематических физических нагрузок.

Согласно требованиям, оптимальные и допустимые параметры микроклимата в офисах приведены в таблице 5.2 и таблице 5.3 [1].

Таблица 5.2 – Оптимальные значения характеристик микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха
Холодный	22-24	21-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	22-26	40-60	0,1

Таблица 5.3 – Допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
Теплый	21,0-22,9	24,1-25,0	15-75	0,1	0,2
Холодный	20,0-21,9	25,1-28,0	15-75	0,1	0,1

Для создания благоприятных условий труда и повышения производительности, необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата производственных помещений. Для этого должны быть предусмотрены следующие средства: центральное отопление, вентиляция (искусственная и естественная), искусственное кондиционирование. Поскольку в помещении имеется центральное отопление и искусственная вентиляция, можно сделать вывод, что помещение соответствует нормам.

## Повышенный уровень шума на рабочем месте

Одной из важных характеристик производственных помещений является уровень шума.

Основными источниками шума в помещении являются:

- система охлаждения центральных процессоров;
- жесткие диски.

При выполнении основной работы на ПК уровень шума на рабочем месте не превышает 50 дБА. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ПК при разных значениях частот, приведены в таблице 5.4 [1].

Таблица 5.4 – Допустимые уровни звука на рабочем месте

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентного звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для снижения уровня шума, производимого персональными компьютерами рекомендуется регулярно проводить их техническое обслуживание: чистка от пыли, замена смазывающих веществ; также применяются звукопоглощающие материалы. Для снижения уровня шума с улицы рекомендуется установка герметичных стеклопакетов.

В помещении установлены пластиковые стеклопакеты, системные блоки компьютеров периодически подвергаются чистке. Таким образом, помещение соответствует нормам.



## Повышенный уровень электромагнитных излучений

При работе с компьютером пользователь находится в непосредственной близости к монитору, что вызывает воздействие электромагнитных полей (ЭМП). Вредное влияние переменных магнитных полей должно быть учтено при организации рабочего места с персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ).

Когда на человека воздействуют поля, напряженность которых выше допустимой нормы, то возникают нарушения нервной, сердечно-сосудистой системы и некоторых биологических показателей крови [1].

Работа проводилась на современном компьютере, где значения электромагнитного излучения малы и отвечают требованиям, которые приведены в таблице 5.5

Таблица 5.5 – Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора находится на расстоянии от 0,6 до 0,7 м, но не ближе, чем 0,5 м от глаз, что соответствует нормам.

## Недостаточная освещенность рабочей зоны

Около 80% общего объема информации человек получает через зрительный канал. Качество поступающей информации во многом зависит от освещения, неудовлетворительное качество которого вызывает утомление организма в целом. При неудовлетворительном освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых конструктором ошибок.

Так как работа инженера-конструктора подразумевает зрительный тип работы, то организация правильного освещения имеет значительное место. Пренебрежение данным фактором может привести к профессиональным болезням зрения.

В рабочем помещении необходимо естественное освещение (через окна) и искусственное освещение (использование ламп при недостатке естественного освещения).

Светильники в помещении должны располагаться равномерно по площади потолка, тем самым обеспечивая равномерное освещение рабочих мест.

Разряд зрительных работ инженера-конструктора относится к разряду III подразряду г (высокой точности), параметры искусственного освещения указаны в таблице 5.6[2].

Таблица 5.6 – Нормативные значения освещенности

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристики фона	Искусственное освещение		
						Освещенность, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
Всего	В том числе от общего							
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	г	Средний и большой <<	Светлый << << средний	400	200	200

Для расчёта общего равномерного освещения горизонтальной рабочей поверхности используют метод светового потока, учитывающий световой поток, отражённый от потолка и стен.

Расчётный световой поток, лм, группы светильников с люминесцентными лампами рассчитывается по формуле:

$$\Phi_{л.расч} = E_n \cdot S \cdot Z \cdot K / N \cdot \eta;$$

где  $E_n$  – нормированная минимальная освещенность, лк;  $S$  – площадь помещения ( $45\text{м}^2$ );  $Z$  – коэффициент минимальной освещенности;  $Z = E_{ср}/E_{мин}$ , для ЛЛ  $Z = 1,1$ ;  $K$  – коэффициент запаса (зависит от характеристики помещения – с малым выделением тепла  $K = 1,5$ );  $N$  – число светильников;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока ламп.

$$\Phi_{л.расч} = (300 \cdot 45 \cdot 1,1 \cdot 1,5) / (3 \cdot 0,34) = 20435,7 \text{ лм.}$$

Для расчета освещенности необходимо величину светового потока поделить на освещаемую площадь. Таким образом, освещенность помещения составляет 454,13 лк, следовательно помещение соответствует нормам показателей освещенности.

### **Повышенный уровень вибрации**

Вибрация неблагоприятно воздействует на человека. Причиной возбуждения вибраций их источником в нашем случае является работа ПЭВМ. Специалист испытывает общую технологическую вибрацию, так как она передается на него через опорные поверхности тела и возникает при работе на компьютере. Производственная вибрация, имеющая значительную амплитуду и продолжительность действия, передаваясь здоровым тканям и органам, оказывает вредное влияние, прежде всего, вызывая нейротрофические и гемодинамические нарушения. Изменяется вибрационная, температурная и болевая чувствительность кожи. Общая вибрация вызывает сотрясение всего

организма. Общая вибрация с частотой менее 0,7 Гц не приводит к вибрационной болезни.

Для большинства внутренних органов собственные частоты лежат в диапазоне 6 – 9 Гц. Колебания рабочих мест с указанными частотами весьма опасны, так как могут вызвать механическое повреждение или даже разрыв этих органов. Длительное воздействие интенсивной вибрации может привести к заболеванию вибрационной болезнью, связанной с нарушением деятельности жизненно важных органов и систем человека: нервной, сердечно-сосудистой, опорно-двигательного аппарата. Вибрационная болезнь относится к группе профзаболеваний, эффективное лечение которых возможно только на ранней стадии. Признаками вибрационной болезни являются боли в мышцах, зуд, тошнота, ощущение тряски внутренних органов, головные боли, бессонница. При частоте больше 16 –20 Гц вибрация сопровождается шумом. Вибрация и шум снижают производительность и качество труда работников, причем снижение производительности труда тем больше, чем сложнее трудовой процесс и чем больше в нем элементов умственного труда. Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	* Предельно допустимые значения по осям <i>X<sub>л</sub></i> , <i>Y<sub>л</sub></i> , <i>Z<sub>л</sub></i>			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с · 10 <sup>-2</sup>	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112

Для уменьшения шумов и вибрации применяют:

- установку приборов на массивные фундаменты;
- тщательную статическую и динамическую балансировку подвижных частей.

В нашем случае компьютер жестко стоит на антивибрационном столе, подвижные части находятся в его корпусе вне зоны непосредственного доступа, следовательно, соответствует нормам.

### **Нервно-психические перегрузки**

Нервно-психические перегрузки могут включать в себя умственные перегрузки, монотонность труда, физические перегрузки. Умственное перенапряжение вызывается большим объемом информации, которую надо анализировать. Физические перегрузки отражают преимущественную трудовую нагрузку на опорно-двигательный аппарат и другие системы организма. Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве - это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. Исключение случайно возникающих перебоев в работе, ритмизация трудовых процессов являются важными условиями поддержания высокого уровня работоспособности. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха. [7] Монотонность – однообразное повторение рабочих операций. Мероприятия по борьбе с монотонностью включают:

- рациональную организацию трудового процесса;
- повышение заинтересованности работника рабочим заданием;
- чередование трудовой деятельности;
- установление оптимальной продолжительности труда. [9]

Работа инженера-конструктора предполагает легкую физическую нагрузку и не допускает возникновения физических перегрузок за счет отсутствия динамических нагрузок, перемещения грузов и т.д. Рабочая поза свободная, удобная, возможность смены рабочего положения тела (сидя, стоя). Риск умственных перегрузок в данной работе гораздо более велик. Во избежание нервно-психических перегрузок регулярно устраиваются 15 минутные перерывы через каждый час работы.

## **5.2 Анализ опасных факторов**

### **Опасность поражения электрическим током**

Поскольку в данной работе используется электрооборудование, для производственного объекта характерным является возможность поражения электрическим током. Чтобы снизить риск необходимо соблюдать нормы электробезопасности. Электробезопасность — это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного для жизни воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Опасность поражения электрическим током усугубляется тем, что в отличие от прочих опасностей человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно, как, например, движущейся части, раскалённый объект, открытые люки, не ограждённые площадки на больших высотах. Опасность обнаруживается слишком поздно — когда человек уже поражён.

Электростатическая безопасность должна обеспечиваться за счет создания условий, предупреждающих возникновение разрядов статического электричества, способных стать источником зажигания объектов защиты. Предотвращение накопления зарядов статического электричества достигается

заземлением оборудования и коммуникаций, причем каждую систему взаимосвязанных машин, оборудования и конструкций, выполненных из металла, заземляют не менее чем в двух местах.

Для предотвращения опасности короткого замыкания используется контактный коммутационный аппарат, используемый для заземления частей цепи, способный выдерживать в течение нормированного времени токи при ненормальных условиях, таких как короткое замыкание.

Помещение, где расположены персональные вычислительные машины, относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствуют следующие факторы [1]:

- сырость;
- токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы;
- высокая температура;
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам и механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

Персональный компьютер питается от сети 220В переменного тока с частотой 50Гц. Это напряжение опасно для жизни, поэтому обязательны следующие меры предосторожности:

- перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;
- при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо, не делая никаких самостоятельных исправлений, сообщить человеку, ответственному за оборудование.

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током следует отнести:

- при производстве монтажных работ необходимо использовать только исправный инструмент, аттестованный службой КИПиА;

- с целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов должны быть заземлены;
- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели должны быть запрещены;
- все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал;
- необходимо постоянно следить за исправностью электропроводки.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Под охраной окружающей среды характеризуется различного рода мероприятиями, влияющие на следующие природные зоны:

- атмосфера;
- гидросфера;
- литосфера.

С развитием науки и техники окружающая среда подвергается различным антропогенным воздействиям: электромагнитные поля, выбросы углекислого и прочих газов и др. Многочисленные источники загрязнения наносят серьезный ущерб окружающей среде. Таким образом, охрана окружающей среды является важным фактором при проектировании и проведении исследования. При оценке характеристик стола выбросов вредных или опасных газов в атмосферу не происходит. Источников загрязнения в виде отходов тоже нет. При рассмотрении влияния ПК и стола на атмосферу и гидросферу можно сказать, что воздействия не оказываются. Помещение с персональным компьютером и устройством сбора данных относится к пятому классу, размер санитарно-защитной зоны которого равен 50 метров, так как работа на персональном компьютере не является экологически опасной.

В случае выхода из строя ПК или устройства сбора данных, они списываются и отправляются на специальный склад, который при



необходимости принимает меры по утилизации списанной техники и комплектующих.

### **Загрязнение гидросферы**

Загрязнения гидросферы огромны и происходят довольно давно.

Основными источниками загрязнений являются промышленность и сельское хозяйство. Внутренние водоемы загрязняются сточными водами различных отраслей промышленности.

Сточная вода – это вода, бывшая в бытовом или производственном употреблении, а также прошедшая через какую-либо загрязненную территорию.

В процессе работы инженера-конструктора возможно образование хозяйственно – бытовых вод.

Бытовые сточные воды помещения образуются при эксплуатации туалетов, столовой, сливе химических растворов, растворов органических соединений, а также при мытье рук, полов и т.п. Данные воды должны отправляться на городскую станцию очистки [4,5].

### **Отходы**

Основные виды загрязнения литосферы – твердые бытовые и промышленные отходы.

В процессе работы инженера-конструктора будут образовываться различные твердые отходы. К ним можно отнести: бумагу, батарейки, лампочки, использованные картриджи, отходы от продуктов питания и личной гигиены, отходы от канцелярских принадлежностей и т.д.

Защита почвенного покрова и недр от твердых отходов реализуется за счет сбора, сортирования и утилизации отходов и их организованного захоронения, согласно соответствующих требований и нормативов.

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **Опасность возникновения пожара**

Наиболее характерной чрезвычайной ситуацией для данного производственного помещения является пожар.

Пожарная опасность персональных электронно-вычислительных машин, обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляция обмоток соединительных проводов и кабелей.

Согласно определению категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности (НПБ 105-03) производства подразделяются по пожарной и взрывной опасности на категории А, Б, В, Г, Д.

Помещение по пожарной и взрывной опасности относят к категории В.

При строительстве зданий и сооружений с учётом категории производства применяют строительные материалы и конструкции, которые подразделяются на три группы:

- сгораемые;
- трудносгораемые;
- несгораемые.

Здание, в котором находится помещение относится к несгораемым.

Для предотвращения пожара помещение с ПЭВМ должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения: углекислотным огнетушителем типа ОУ 2 или ОУ 5.

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по технике безопасности [6].

В помещениях с ПЭВМ повышен риск возникновения пожара. Неисправность электрооборудования, освещения, неправильная их эксплуатация, наличие статического электричества неудовлетворительный надзор за пожарными устройствами и производственным оборудованием может послужить причиной пожара. Пожар на предприятии наносит большой материальный ущерб и часто сопровождается несчастными случаями с людьми.

Пожарная безопасность включает в себя комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращения пожара, ограничение его распространения, а также создание условия для успешного тушения пожара.

Для профилактики пожара должны обеспечиваться регулярные проверки пожарной сигнализации, первичных средств пожаротушения; проводиться инструктаж и тренировки по действиям в случае пожара; не загромождаться и не блокироваться эвакуационные выходы; выполняться требования правил технической эксплуатации и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок; во всех служебных помещениях должен быть установлен «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники [3].

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неисправности, проводить плановый осмотр и

своевременно устранять все неисправности и неисправные электроприборы и не использовать неисправные электроприборы.

Обогревание помещения открытыми электронагревательными приборами могут привести к пожару, так как в помещении находятся бумажные носители.

В целях профилактики пожара предлагается не использовать открытые обогревательные приборы в помещении лаборатории. В целях уменьшения вероятности возникновения пожара вследствие короткого замыкания необходимо, чтобы электропроводка была скрытой.

В целях предотвращения пожара также предлагается проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации и приступить к ликвидации пожара огнетушителями.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

В производственных помещениях должно быть не менее двух эвакуационных выходов. Здание АО «НИИПП», в котором располагается лаборатория, соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители и план эвакуации, а так же установлен план эвакуации с указанием направлений к запасному (эвакуационному) выходу.

## **5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Законодательством РФ регулируются отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных

отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др.

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Для работников до 16 лет – не более 24 часов в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы. Для работников, работающих на местах, отнесенных к вредным условиям труда 3 и 4 степени – не более 36 часов.

Возможно установление неполных рабочих дней для беременной женщины; одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до четырнадцати лет (ребенка-инвалида в возрасте до восемнадцати лет). Оплата труда при этом производится пропорционально отработанному времени. Ограничений продолжительности ежегодного основного оплачиваемого отпуска, исчисления трудового стажа и других трудовых прав при этом не имеется.

При работе в ночное время продолжительность рабочей смены на один час меньше. К работе в ночные смены не допускаются беременные женщины; работники, не достигшие возраста 18 лет; женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, инвалиды, работники, имеющие детей-инвалидов, а также работники, осуществляющие уход за больными членами их семей в соответствии с медицинским заключением, матери и отцы – одиночки детей до пяти лет.

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Работнику в течение рабочего дня должен предоставляться перерыв не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с посменного согласия работника.

Организация выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы, в случаях, предусмотренных ТК РФ ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

Законодательством РФ запрещены дискриминация по любым признакам, а также принудительный труд [7].

## **5.6 Выводы по разделу**

Таким образом, был проведен комплекс мероприятий по минимизации негативного воздействия факторов, возникающих при работе с персональным компьютером. Благодаря проведению данных мероприятий можно повысить производительность труда сотрудников, которые занимаются проведением исследований с помощью системы измерений статических параметров диодов.

Так как разработка программного обеспечения проводилась на компьютере, то были проанализированы факторы на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредностей, оценена степень воздействия их на человека, общество и природную среду, предложены методы минимизации их воздействий и защиты от них. Рабочее место соответствует нормативным требованиям.

Разработка базируется на требованиях законодательных и правовых актов, технических регламентов в области безопасности производства, охраны труда и защиты окружающей среды, а также на владении способами и мероприятиями по защите в чрезвычайных ситуациях.

## **Заключение**

В рамках решения задач автоматизации процесса тестирования и упрощения документирования результатов контроля, производства измерений параметров различных классов полупроводниковых диодов и визуального отображения их основных статических вольтамперных характеристик, была разработана система измерения статических параметров диодов.

В ходе выполнения магистерской диссертации проводился анализ действующих стандартов, методов измерения статических параметров полупроводниковых диодов.

В ходе работы была разработана эксплуатационная документация отвечающая законодательным требованиям, а также требованиям предприятия АО «НИИПП», с целью проведения испытаний и аттестации.

Данная разработка позволит пройти предъявительские и приемосдаточные испытания.

Экономический эффект для предприятия заключается в экономии внутренних ресурсов, затрачиваемых на содержание работников.

## Список литературы

- 1 Электронно-дырочный переход и процессы, в нем происходящие. – Режим доступа: <http://mydocx.ru/>.
- 2 Аронов В. Л. Исследование и испытание полупроводниковых приборов / В. Л. Аронов, Я. А. Федотов. – М. : Высшая школа, 1975. – 325 с.
- 3 Бочаров, Л. Н. Эквивалентные схемы и параметры полупроводниковых приборов / Л. Н. Бочаров. – М. : Энергия, 1973. – 96 с.
- 4 ГОСТ 18986.14–85. Диоды полупроводниковые. Методы измерения дифференциального и динамического сопротивлений. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2004.
- 5 Полупроводниковые диоды. Параметры, методы измерений / Под ред. Горюнова Н. Н. и Носова Ю. Р. – М. : Сов. радио, 1968. – 304 с.
- 6 Сергеев А. Г. Метрология : учебник / А. Г. Сергеев. – М. : Логос, 2005. – 272 с.
- 7 Титце У. Полупроводниковая схемотехника: справочное руководство / У. Титце, К. Шенк / Пер. с нем. – М. : Мир, 1982. – 512 с.
- 8 Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов 6-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2014/ под общей ред. В. Н. Негоды. – Ульяновск: УлГТУ, 2014. – 502 с.
- 9 Коннэлл Дж. Visual Basic 6. Введение в программирование баз данных: Пер. с англ. – М.: ДМК, 2000. - 720 с: ил. (Серия «Для программистов»).
- 10 Культин Н.Б. Visual Basic. Освой на примерах. — СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 288 с.
- 11 Гаврикова Н.А. Г123 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватули-на, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский



политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

12 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

13 СанПиН 2.2.2/2.4.1340 - 03. Санитарно - эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

14 СП 23-103-2003 Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.

15 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

16 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

17 Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. - 3-е изд., перераб. И доп. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. - 178 с.

18 ФЗ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/okrsred>.

19 ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.99 М 96-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/okrsred>.

## Приложение А

### (обязательное)

#### Статические параметры диодов

Т а б л и ц а А . 1 – Статические параметры диодов

Термин	Буквенные обозначения		Определение
	русские	международ.	
Постоянное прямое напряжение	$U_{пр}$	$U_F$	Постоянное значение прямого напряжения при заданном прямом токе диода
Импульсное прямое напряжение	$U_{при}$	$U_{FM}$	Наибольшее мгновенное значение прямого напряжения, обусловленное импульсным прямым током диода заданного значения
Постоянное обратное напряжение	$U_{обр}$	$U_R$	–
Импульсное обратное напряжение	$U_{обри}$	$U_{RM}$	Наибольшее мгновенное значение обратного напряжения диода
Среднее прямое напряжение	$U_{прср}$	$U_{F(AV)}$	Среднее за период значение прямого напряжения диода при заданном среднем прямом токе
Пробивное напряжение	$U_{проб}$	$U_{(BR)}$	Значение обратного напряжения, вызывающее пробой перехода диода, при котором обратный ток достигает заданного значения
Постоянный прямой ток	$I_{пр}$	$I_F$	–
Импульсный прямой ток	$I_{при}$	$I_{FM}$	Наибольшее мгновенное значение прямого тока диода, исключая повторяющиеся и неповторяющиеся переходные токи
Средний прямой ток	$I_{прср}$	$I_{F(AV)}$	Среднее за период значение прямого тока диода
Постоянный обратный ток	$I_{обр}$	$I_R$	–
Импульсный обратный ток	$I_{обри}$	$I_{RM}$	Наибольшее мгновенное значение обратного тока диода, обусловленного импульсным обратным напряжением
Прямая рассеиваемая мощность	$P_{пр}$	$P_F$	Значение мощности, рассеиваемой диодом при протекании прямого тока

Продолжение таблицы А.1

Термин	Буквенные обозначения		Определение
	русские	международные	
Обратная рассеиваемая мощность	$P_{обр}$	$P_R$	Значение мощности, рассеиваемой диодом при протекании обратного тока
Средняя рассеиваемая мощность	$P_{cp}$	$P, P_{tot}$	Среднее за период значение мощности, рассеиваемой диодом при протекании прямого и обратного токов
Импульсная рассеиваемая мощность	$P_u$	$P_M$	Наибольшее мгновенное значение мощности, рассеиваемой диодом
Общая емкость	$C_D$	$C_{tot}$	Значение емкости между выводами диода при заданном режиме
Емкость перехода	$C_{пер}$	$C_j$	Общая емкость диода без емкости корпуса
Емкость корпуса	$C_{кор}$	$C_{case}$	Значение емкости между выводами корпуса диода при отсутствии кристалла
Дифференциальное сопротивление	$r_{диф}$	$r$	Отношение малого приращения напряжения диода к малому приращению тока в нем при заданном режиме
Последовательное сопротивление потерь	$r_n$	$r_s$	Суммарное эквивалентное активное сопротивление кристалла, контактных соединений и выводов диода
Тепловое сопротивление	$R_T, R$	$R_{th}$	Отношение разности эффективной температуры перехода и температуры в контрольной точке к рассеиваемой мощности диода в установившемся режиме
Тепловое сопротивление переход-окружающая среда	$R_{мпер-окр}$ $R_{пер-окр}$	$R_{thia}$ $R_{(th)ia}$	Тепловое сопротивление диода в случае, когда температурой в контрольной точке является температура окружающей среды
Тепловое сопротивление переход-корпус	$R_{мпер-кор}$ $R_{пер-кор}$	$R_{thjc}$ $R_{(th)jc}$	Тепловое сопротивление диода в случае, когда температурой в контрольной точке является температура корпуса диода
Переходное тепловое сопротивление	$Z_T, Z$	$Z_{th}$	Отношение разности изменения температуры перехода и температуры в контрольной точке в конце заданного интервала времени, вызывающего изменение температуры, к скачкообразному изменению: рассеиваемой мощности диода в начале этого интервала

Окончание таблицы А.1

Термин	Буквенные обозначения		Определение
	русские	международные	
Переходное тепловое сопротивление переход-окружающая среда	$Z_{mпер-окр}$ $Z_{пер-окр}$	$Z_{thia}$ $Z_{(th)ia}$	Переходное тепловое сопротивление диода в случае, когда температурой в контрольной точке является температура окружающей среды
Переходное тепловое сопротивление переход-корпус	$Z_{mпер-кор}$ $Z_{пер-кор}$	$Z_{thjc}$ $Z_{(th)jc}$	Переходное тепловое сопротивление диода в случае, когда температурой в контрольной точке является температура корпуса диода
Индуктивность	$L_{\Pi}$	$L_S$	Последовательная эквивалентная индуктивность диода при заданных условиях
Эффективное время жизни неравновесных носителей зарядов	$\tau_{эфф}$	$\tau_p, \tau_n$	Величина, характеризующая скорость убывания концентрации неравновесных носителей заряда диода вследствие рекомбинации в объеме и на поверхности полупроводника
Накопленный заряд	$Q_{НК}$	$Q_S$	Заряд электронов или дырок в базе диода (либо в $i$ -области р-і-п-структуры), накопленный при протекании прямого тока
Заряд восстановления	$Q_{вос}$	$Q_r$	Накопленный заряд диода, вытекающий во внешнюю цепь при переключении диода с заданного прямого тока на заданное обратное напряжение
Время обратного восстановления	$t_{вособр}$	$t_{rr}$	Время переключения диода с заданного прямого тока на заданное обратное напряжение от момента прохождения тока через нулевое значение до момента достижения обратным током заданного значения
Время прямого восстановления	$t_{воспр}$	$t_{fr}$	Время, в течение которого происходит включение диода и прямое напряжение на нем устанавливается от значения равного нулю до заданного установившегося значения



Окончание таблицы Б.1

Модели	2400	2410	2420	2425	2430	2440
Особенности	Общего назначения	Высоковольтный	3 А	Мощный	1000 Вт в импульсном режиме	5А
Диапазон измерения сопротивления	20, 200 Ом 2, 20, 200 кОм 2, 20, 200 МОм	20, 200 Ом 2, 20, 200 кОм 2, 20, 200 МОм	20, 200 Ом 2, 20, 200 кОм 2, 20 МОм	2, 20, 200 Ом 2, 20, 200 кОм 2, 20 МОм	2, 20, 200 Ом 2, 20, 200 кОм 2, 20 МОм	20, 20, 200 Ом 2, 20, 200 кОм 2, 20 МОм
Точность измерения сопротивления	0,06%	0,07%	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%
Область применения	Резисторы Диоды Оптоэлектрические компоненты	Варисторы Высоковольтные диоды и приборы защиты	Мощные резисторы Термисторы Солнечные элементы Батареи Диоды	Мощные пп и компоненты приборы Конверторы	Мощные импульсное гестирование Варисторы и приборы защиты	5А- диод лазерной накачки

## Приложение В

(обязательное)

### Алгоритмы измерения статических параметров диодов

Алгоритм проведения анализа полярности ПП представлен на рисунке (В.1)

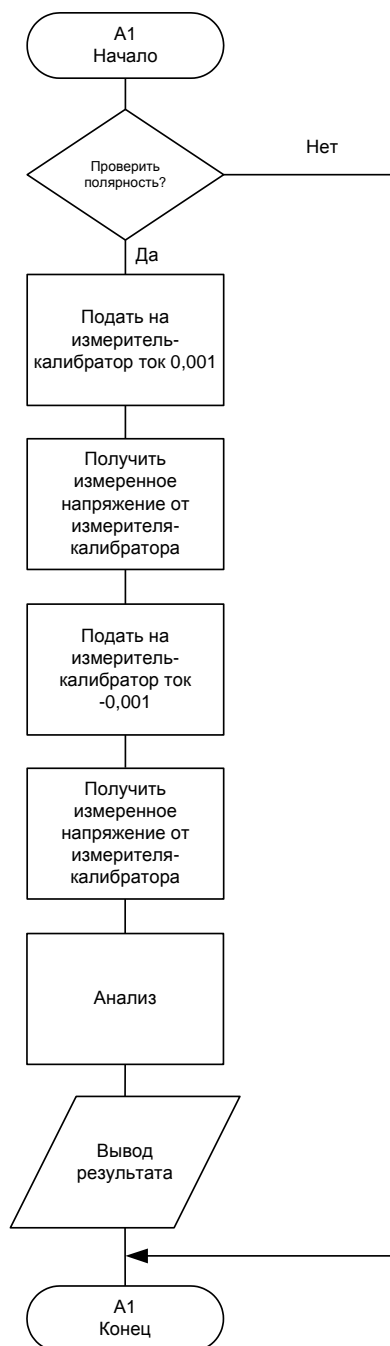


Рисунок В.1

Алгоритм измерения обратного напряжения в четырех точках от обратного тока представлен на рисунке В.2

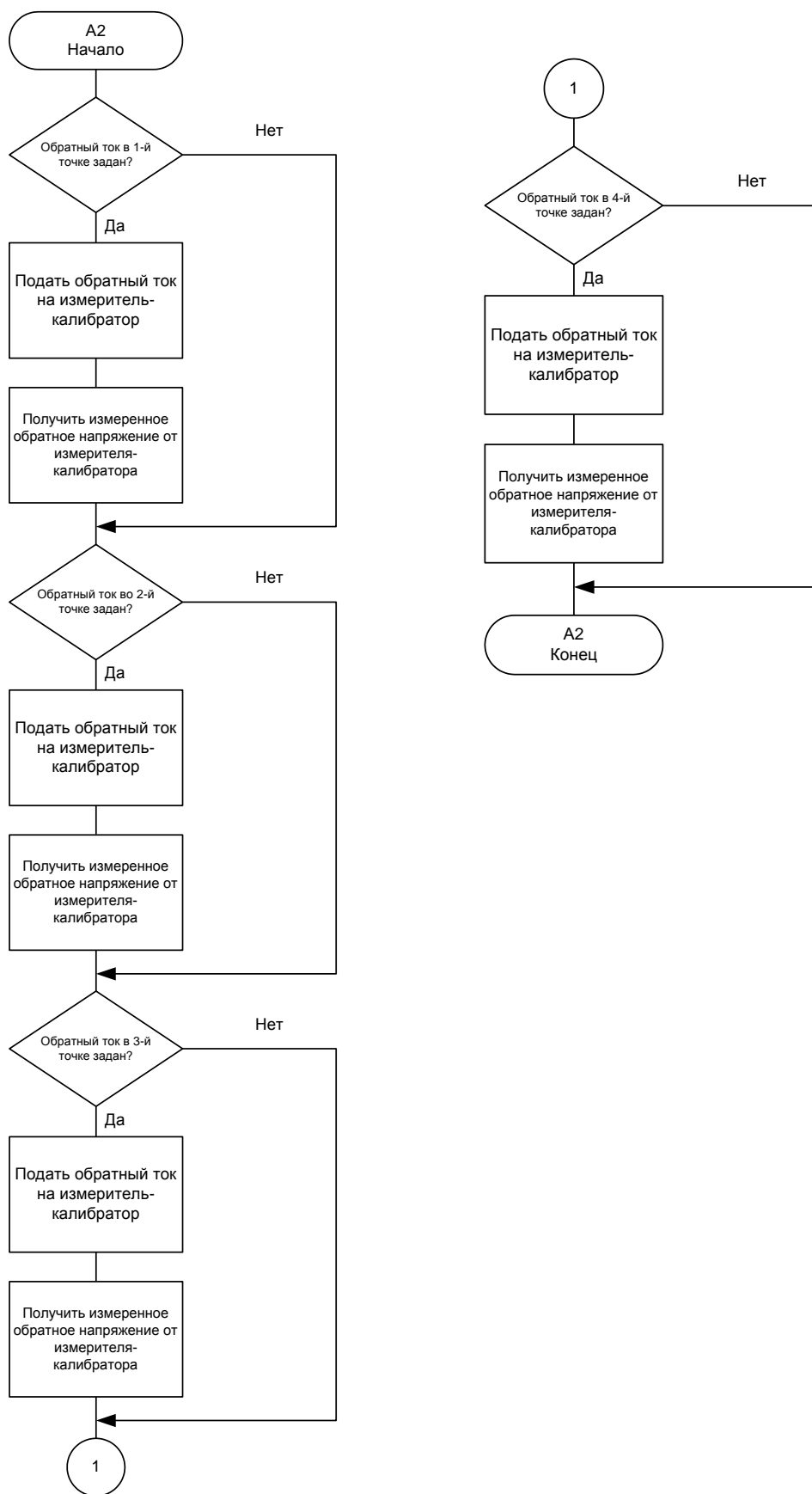


Рисунок В.2



Алгоритм измерения обратного тока от установленного обратного напряжения и измерения нестабильности обратного тока от установленного обратного напряжения представлен на рисунке В.3

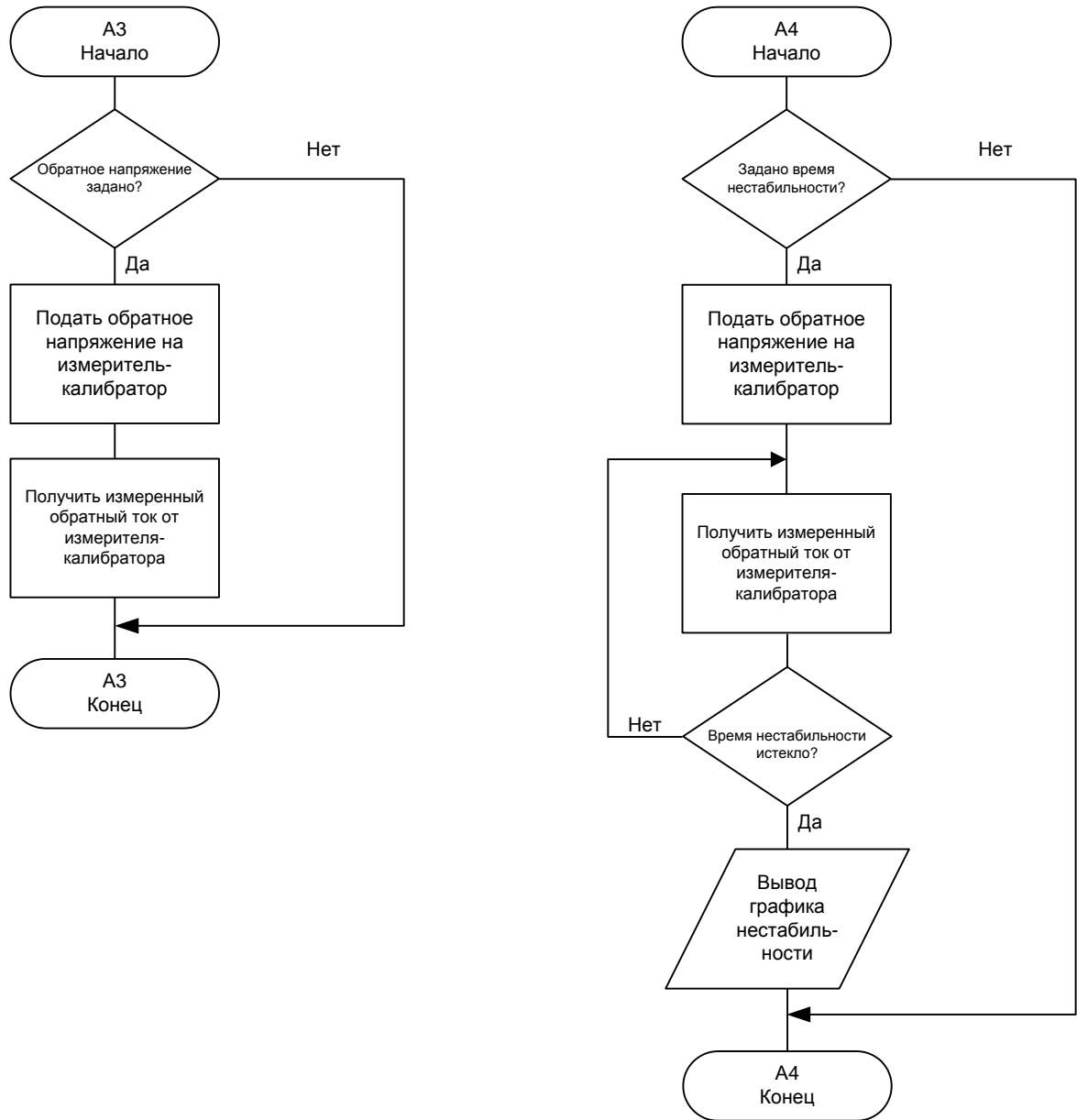


Рисунок В.3

Алгоритм измерения прямого напряжения от заданного прямого тока и измерения дифференциального сопротивления представлен на рисунке В.4

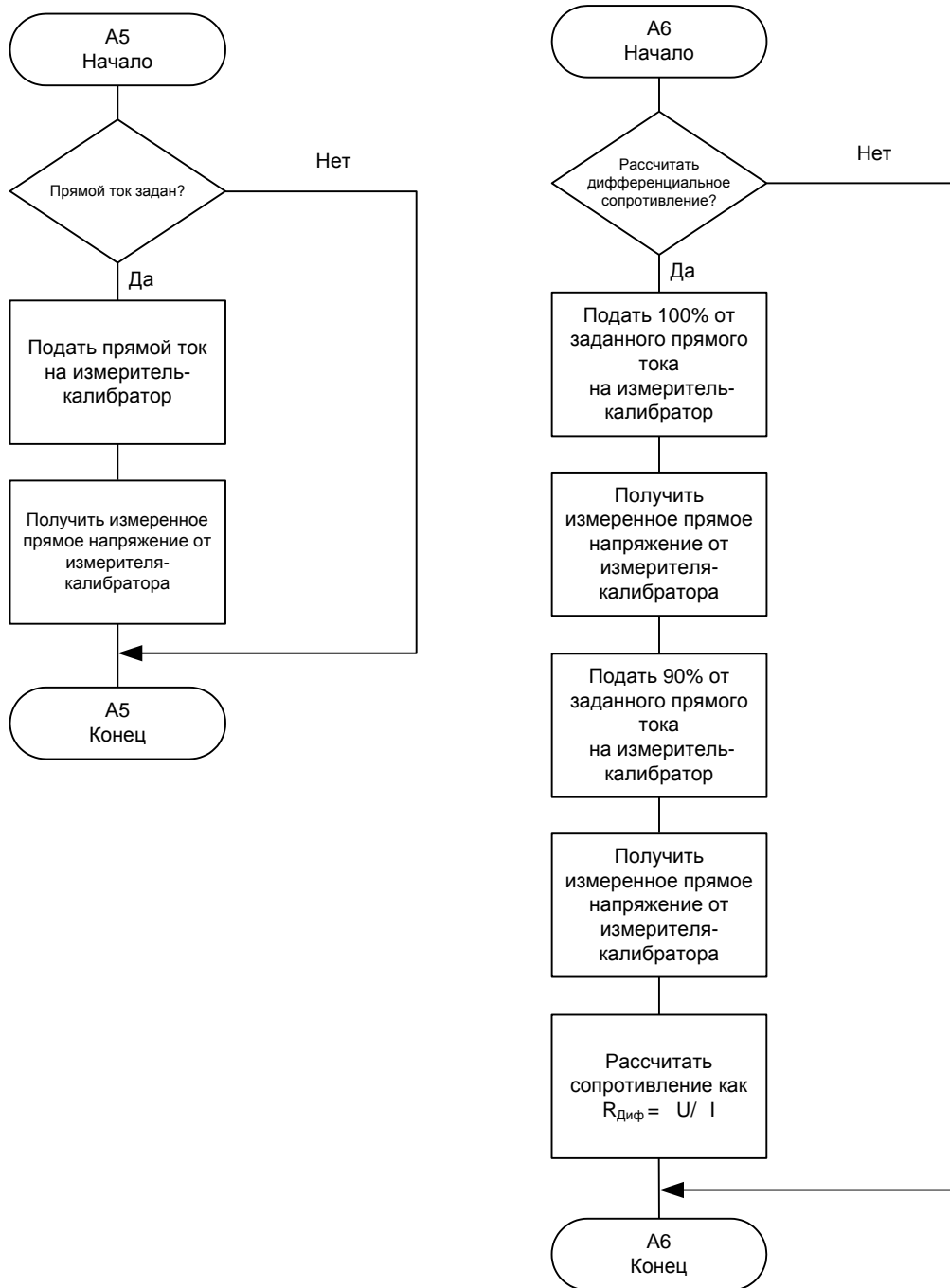


Рисунок В.4

Алгоритм проведения разбраковки представлен на рисунке В.5

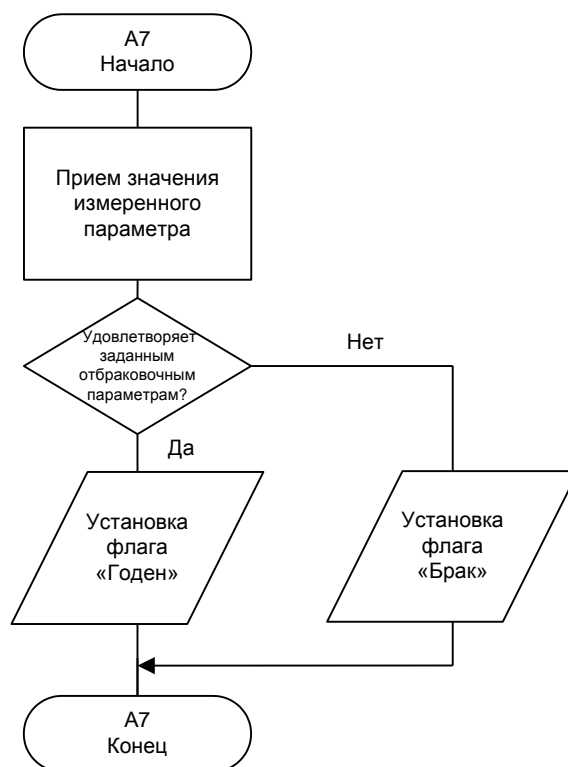


Рисунок В.5

## Приложение Г (обязательное)

Название раздела на АЯ  
Полупроводниковые диоды и их измеряемые параметры

---

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Ушаков Александр Сергеевич		

Консультант проф. кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Кузнецова Ирина Николаевна			

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Кузнецова Ирина Николаевна			

# 1. Crystal diodes and their gaged parameters

## 1.1 Crystal diode

Crystal diode call the electro-converting device which, as a rule, contains one electric p - n - transition and two external conclusions [1].

All crystal diodes can be divided into two groups: detector and express. Detector diodes, as appears from the name, are intended for an alternating-current rectification. Onidelitsya by Vzavisimosti from the frequency and a form of the straightened current on low-frequency, high-pitched iimpulsny. In express semiconductor various properties p - n - transitions, such a breakdown kakyavleniye, photoeffect, existence of sites Vakh by sotritsatelny differential resistance iprochy diodakhispolzutsya. Express crystal diodes find, in particular, application for stabilization of constant tension, filing of optical radiation, formation of electric signals.

Detector crystal diodes are made, as a rule, of silicon, germanium or arsenide of gallium. Detector crystal diodes are divided by a design on plane itochechny, and depending on manufacturing techniques – nasplavny, diffusion and epitaxial. On value of operating current  $I_{cp}$  they are divided into low-current ( $I_{cp} < 0,3$  A), diodes of a mean power ( $0,3$  A  $< I_{cp} < 10$  A) and power diodes ( $I_{cp} > 10$  A).

Plane diodes have the larger area p - n - transition and are used for a rectification of larger currents. Pointwise diodes have the small area p - n - transition and, are respectively intended for a rectification of malykhtok (up to 30 mA). Материалом для силовых диодов обычно служит кремний или арсенид галлия.

Floatable diodes are usually used for an alternating-current rectification with a frequency up to 5 kHz and manufactured of silicon. Silicon diffusion diodes can work at the increased frequency up to 100 kHz. Arsenide gallic detector diodes can be used at frequencies to several megacycles [2]. The best frequency characteristics diodes with a Schottky barrier, capable to work at frequencies up to tens GHz possess.

Basis of the detector diode is the semiconductor monocrystal with electric transition. Poorly alloyed, i.e. having low concentration of the impuriest atoms, the area of the diode usually has a n-type conduction and carries the name of base.

Thickness of base much more the high-alloyed area adjoining on it with a hole conductivity which is called the emitter [3].

Devices in which special characteristics p - n - transitions are used belong to express crystal diodes:

- the operated semiconductor capacity - varikapa and varactors;
- a Zener and avalanche breakdown - stabilitrons;
- a tunnel effect - tunnel and versed diodes;
- photoeffect – photo diodes;
- a photon recombination of carriers of charges - light-emitting diodes;
- multilayer diodes – dinistor.

Besides, carry some types of devices with three conclusions to diodes, such as thyristors and double-base diodes.

## 1.2 Diode volt-ampere characteristic.

P volt-ampere characteristic - n - transition can be presented by the following expression:

$$I = I_0(e^{\lambda U} - 1). \quad (1)$$

For the actual diode sequentially with p - n - transition is available resistance of  $r_0$  base. At larger parallel flows the voltage drop on resistance of base is commensurable with falling on transition. Taking into account resistance of base analytical expression of dependence of current of the diode on tension attached to it can be presented in the following form:

$$I = I_0[e^{\lambda(U - Ir_0)} - 1], \quad (2)$$

where  $\lambda = \frac{q}{kT}$ ;

$U$  – tension attached to the diode;

$r_{\phi}$  - resistance of base.

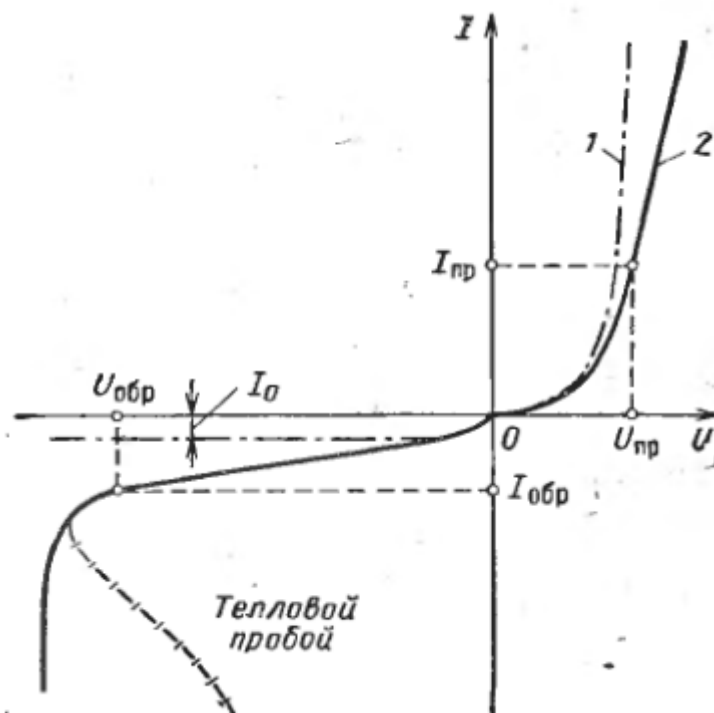
Having carried out a taking the logarithm and derivation of expression (2), we will determine differential resistance in any point of a direct branch of a volt-ampere characteristic:

$$R_{\text{д}} = \frac{du}{di} = \frac{1}{\lambda(I + I_0)} + r_{\phi} \quad (3)$$

Follows from a formula (3) that at small currents differential resistance depends mainly on p resistance - n - transition. At larger currents the differential resistance of transition is not enough and the common resistance is defined by resistance of base. The dependence of current on tension represents the line which slope angle is proportional to the size  $r_{\phi}$ .

During removal of volt-ampere characteristics and at great values of current it is impossible to allow temperature increase of the diode. Heating of the diode strongly influences its characteristic in the field of parallel flows.

In the figure 1 volt-ampere characteristics of idealized p - n - transition and the actual diode are shown.



- 3 – Vac transition p-n;  
 4 – Vac actual diode.

Figure 1– Volt-ampere characteristics

The reverse current of the diode has no saturation, and increases with body height of a reverse voltage. It consists of three components: the thermal current formed by the minority carriers arising outside transition; current of thermooscillation of pairs of carriers in a transition range; and leakage current.

The size of a reverse current strongly depends on environmental temperature.

On the inverse branch of a volt-ampere characteristic at larger reverse voltages there is an area of fast increase of a reverse current at slight increase in a reverse voltage. Development of one of types of breakdown of p - n - transition is the reason of it.

Breakdown of p - n - transition is called the phenomenon of sharp increase in a reverse current at achievement a reverse voltage of defined critical value. Distinguish electric and thermal p - n - transition.

**Electrical breakdown.** Owing to the small width of transition (~ 10<sup>-4</sup> cm) the electric intensity in it reaches big size at rather small tension (units or tens of volts).

There are two mechanisms of an electrical breakdown: tunnel (it call also Zener or field) and avalanche.

Tunnel breakdown which cornerstone the quantum-mechanical tunnel effect is shown that under the influence of the strong electric field of transition there is an emission of electrons from a valence band in a conduction band. This effect is similar to a so-called cold emission of electrons from the surface of the metal which is in the stronger electric field.

The current voltage characteristic in the field of tunnel breakdown can be described approximate expression

$$I_T \simeq I_0 e^{\frac{AE_g^{3/2}}{E_{kp}}} . \quad (4)$$



Thus, breakdown current strongly depends on an electric intensity. Especially intensively current increases after tension the field of some critical value  $E_{kp}$ .

Using communication between a field gradient in floatable (sharp) transition and tension on it, it is possible to receive dependence

$$U_T = \frac{E_{kp}^2 \varepsilon_0 \varepsilon}{2qn} = \frac{E_{kp}^2 \varepsilon_0 \varepsilon \mu \rho}{2}. \quad (5)$$

Here  $U_T$  - ension of tunnel breakdown. The size  $U_T$  is inversely proportional concentration of majority carriers of a charge in base of the diode (or it is directly proportional to specific resistance size).

Using formulas (4) and (5), it is possible to write down expression for the differential resistance of transition to areas of tunnel breakdown

$$R_{\partial m} = \frac{BU_T}{I}, \quad (6)$$

where  $B$  – the coefficient considering properties of material.

With increase in penetrative current differential resistance falls.