

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
Конструкторская модернизация средств измерения предельной частоты СВЧ умножительных полупроводниковых диодов

УДК 621.382.2.029.6:621.317.7.088.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Филиппова Екатерина Михайловна		

Руководитель

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

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	Филипповой Екатерине Михайловне

Тема работы:

Конструкторская модернизация средств измерения предельной частоты СВЧ умножительных полупроводниковых диодов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2585/с от 13.04.2018

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><small>(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.).</small></p>	<p>Наименование объекта исследования: методика измерения предельной частоты СВЧ умножительных полупроводниковых диодов.</p> <p>Требования к объекту исследования: провести конструкторскую модернизацию средства измерения для измерения предельной частоты СВЧ диодов. Автоматизировать процесс измерений, для увеличения скорости процесса измерений.</p> <p>Требования к особенностям функционирования: методика должна быть проста в применении при конструкторской модернизации установки.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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>Сравнение первоначальной конструкции установки для измерения предельной частоты СВЧ диодов с конструкцией разработанной на базе измерителя КСВН панорамного Р2-137.</p> <p>Сравнение методик измерений предельной частоты СВЧ диодов.</p> <p>Разработка программного обеспечения на языке программирования высокого уровня BASIC.</p> <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p> <p>Социальная ответственность.</p> <p>Выводы по результатам работы.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Шаповалова Наталья Владимировна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Авдеева Ирина Ивановна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Объект исследования</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</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	Филиппова Екатерина Михайловна		

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 – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Уровень образования – магистратура
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения – осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(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	<i>Проведение аналитического обзора</i>	10
12.12.2017	<i>Разработка программного обеспечения для измерения предельной частоты СВЧ диодов</i>	10
9.01.2018	<i>Обзор литературы</i>	15
10.02.2018	<i>Анализ методики измерения предельной частоты СВЧ диодов. Разработка методики, используя новые СИ</i>	15
11.03.2018	<i>Конструкторская модернизация установки для измерения предельной частоты СВЧ диодов</i>	15
30.03.2018	<i>Выводы по результатам работы</i>	10
24.04.2018	<i>Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	5
24.04.2018	<i>Выполнение раздела «Социальная ответственность»</i>	5
25.05.2018	<i>Выполнение раздела на иностранном языке</i>	5
01.06.2018	<i>Оформление графического материала</i>	5
01.06.2017	<i>Оформление расчетно-пояснительной записки</i>	5

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 8ГМ61	ФИО Филипповой Екатерине Михайловне
-----------------	--

Институт Уровень образования	ИШИТР Магистратура	Кафедра Направление/специальность	ОАР 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 ресурсов	<i>Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, ставки налоговых отчислений во внебюджетные фонды, районный коэффициент</i>
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 НТИ	<i>Оценка потенциальных потребителей результатов исследования, SWOT-анализ</i>
2. Разработка устава научно-технического проекта	<i>Цели и результаты проекта, определение участников проекта</i>
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок и формирование бюджета разработки	<i>Определение структуру работ в рамках НТИ, разработка графика проведение НТИ, планирование бюджета НТИ</i>
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой экономической эффективности	<i>Оценка эффективности проекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT-анализа
2. График проведение и бюджет НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Филиппова Екатерина Михайловна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Филипповой Екатерине Михайловне

Школа	ИШИТР	Кафедра	ОАР
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 является методика измерения предельной частоты СВЧ умножительных полупроводниковых диодов. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером, установленным на нем необходимым программным обеспечением, с необходимыми средствами измерений и соединительных кабелей.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1 Производственная безопасность 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: <ul style="list-style-type: none"> - отклонение показателей микроклимата; - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - недостаточная освещенность рабочей зоны. Анализ выявленных опасных факторов производственной среды, таких как: <ul style="list-style-type: none"> - электробезопасность; - обеспечение электробезопасности техническими способами и средствами; - организационные и технические мероприятия по обеспечению электробезопасности; - статическое эл-во; - пожарная безопасность; - психо-физические факторы
2 Экологическая безопасность	Анализ воздействия на литосферу: <ul style="list-style-type: none"> - образование отходов при поломке или утилизации ПК и СИ; - особенности законодательного регулирования проектных решений
3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Защита в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> - основные причины возникновения пожара; - меры предупреждения возникновения пожара
4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> - требования по осуществлению производственно экологического контроля; - объекты производственного экологического контроля; - основные задачи объектной комиссии по чрезвычайным ситуациям

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Филиппова Екатерина Михайловна		

Реферат

Магистерская диссертация 97 страниц, 14 рисунков, 24 таблиц, 22 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: предельная частота, добротность, СВЧ умножительный полупроводниковый диод.

Объектом исследования является методика измерения предельной частоты СВЧ умножительных полупроводниковых диодов.

Целью работы является конструкторская модернизация установки измерения предельной частоты СВЧ умножительных диодов с целью повышения точности средств измерений и автоматической обработки результатов.

В результате исследований был проведен анализ средств измерений метрологических характеристик диодов. На основе ГОСТ 19656.9-79 была разработана методика измерения предельной частоты СВЧ умножительных полупроводниковых диодов с применением современного измерительного оборудования. Было разработано программное обеспечение, которое позволило значительно сократить время измерения параметров диодов, увеличить функционал и повысить производительность средства измерений.

Установка, предназначенная для проведения измерений предельной частоты СВЧ умножительных полупроводниковых диодов, обеспечивает:

- измерение предельной частоты диодов в диапазоне от 2 до 18 ГГц;
- границы основной погрешности измерения предельной частоты $\pm 15\%$.

Значимость работы выражается в конструкторской модернизации установки для повышения точности измерений и разработка программного обеспечения для повышения скорости измерений предельной частоты СВЧ умножительных полупроводниковых диодов.

Определения

В данной магистерской работе используются следующие термины и определения:

предельная частота умножительного диода: Частота, на которой добротность СВЧ диода равна единице.

добротность СВЧ диода: Отношение реактивного сопротивления СВЧ диода на заданной частоте к активному при заданном значении обратного напряжения.

умножительный диод: Полупроводниковый диод, предназначенный для умножения частоты.

сверхвысокочастотный полупроводниковый диод: полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования и обработки сверхвысокочастотного сигнала.

общая емкость диода: емкость, измеренная между выводами диода при заданных напряжении смещения и частоте.

полупроводниковый диод: полупроводниковый прибор с двумя выводами и несимметричной вольтамперной характеристикой.

коэффициент стоячей волны по напряжению СВЧ диода: коэффициент стоячей волны по напряжению в линии передачи СВЧ, нагруженной на определенную диодную камеру с СВЧ диодом в рабочем режиме.

электролучевая трубка: мониторы, формирующие изображение с помощью электронно-лучевой трубки, из которой под действием электростатического поля исходит поток электронов, бомбардирующий внутреннюю поверхность экрана монитора, покрытую люминофором.

Обозначения и сокращения

АРМ – автоматическая регулировка выходной мощности;

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

ВАХ – вольт амперная характеристика;

ВФХ – вольт фарадная характеристика;

ГКЧ – генератор качающейся частоты;

ДК – диодная камера;

ДНЗ – диод с накоплением заряда;

КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению;

ПК – персональный компьютер;

ПО – программное обеспечение;

СВЧ – сверхвысокие частоты;

ТЗ – техническое задание;

ТУ – технические условия;

ЭД – эксплуатационная документация;

ЭЛТ – электродлучевая трубка;

ЭТ – этикетка.

Нормативные ссылки

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

ГОСТ 19656.9-79 Диоды полупроводниковые СВЧ параметрические и умножительные.

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 СВЧ диоды	17
1.1 Классификация полупроводниковых СВЧ диодов.....	17
1.2 Умножительные СВЧ диоды	22
2 Установка измерения предельной частоты СВЧ диодов	27
2.1 Технические характеристики установки	28
2.2 Устройство и работа установки.....	28
2.3 Комплектность измерителя КСВН панорамного Р2-54.....	31
2.4 Принцип работы составных частей установки	32
2.5 Камера диодная	35
2.6 Постановка задач конструкторской модернизации.....	36
3 Конструкторская модернизация установки.....	38
3.1 Изменение аппаратной части установки	39
3.1.1 Методика расчета относительной погрешности измерений предельной частоты диодов	40
3.1.2 Принцип работы модернизированной установки.....	42
3.2 Работа программного обеспечения	45
3.2.1 Описание панелей программы Р2-137	47
3.2.2 Работа с панелями	48
3.2.3 Алгоритм вычисления предельной частоты СВЧ диода.....	49
3.3 Проверка работоспособности установки.....	50
3.4 Внесение изменений в конструкторскую документацию.....	51
3.5 Результаты конструкторской модернизации установки	52
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	54
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	54
4.2 Инициация проекта.....	58
4.3 Планирование проекта.....	59

4.4	Оценка эффективности от внедрения разработки	69
5	Социальная ответственность	71
5.1	Производственная безопасность	71
5.2	Экологическая безопасность	79
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
	Заключение	84
	Список литературы	85
	Приложение А (обязательное).....	89

Введение

Номенклатура выпускаемых промышленностью полупроводниковых СВЧ диодов широка и назначение их весьма разнообразно. Они нашли свое применение в различной радиоэлектронной аппаратуре, генерирующей электромагнитные колебания на частотах в диапазоне от 300 МГц до 300 ГГц. СВЧ диоды используются в различной измерительной технике, которая работает в СВЧ диапазоне. Электромагнитные колебания диапазона СВЧ получили свое применение в различной технике благодаря ряду физических особенностей, которыми они обладают. Самая главная особенность таких колебаний заключается в том, что по характеру распространения они схожи со световыми волнами. Схожесть заключается в том, что электромагнитные колебания, как и световые волны, могут проникать сквозь всю атмосферу [1].

Основными параметрами СВЧ диодов, которые будут рассматриваться в ходе работы, являются предельная частота и добротность. При производстве СВЧ диодов и контроле этих параметров существуют проблемы, связанные с отсутствием готовых средств измерений, также измерения занимают много времени, что сказывается при контроле на приемосдаточных испытаниях СВЧ диодов. В нашем случае такая установка была уже разработана в 1983 году. Средства измерения, которые использовались ранее, устарели, они не позволяют автоматизировать установку, и имеют малую точность измерения предельной частоты СВЧ диодов. При выходе средства измерения из строя, отремонтировать или купить новые средства измерения достаточно проблематично. Для измерения требуемых параметров в диапазоне от 3,2 до 8,1 ГГц требуется использовать два разных генератора, что не совсем удобно.

Поэтому перед производителями стоит задача по разработке единого средства измерения для контроля предельной частоты и добротности. Для решения возникших проблем была предложена конструкторская модернизация установки для измерения требуемых параметров. Было

разработано программное обеспечение, которое позволяет значительно сократить время измерений, увеличить функционал и повысить производительность средства измерения. Конструкторская модернизация была проведена в рамках предприятия «Научно исследовательского института полупроводниковых приборов» (далее – НИИПП).

Целью работы является повышение точности средств измерений предельной частоты умножительных СВЧ диодов путем конструкторской модернизации экспериментальной установки и автоматизации обработки результатов измерений.

Задачи работы:

1 Сформулировать требования к конструкторской модернизации экспериментальной установки измерения предельной частоты СВЧ диодов.

2 Разработать структурную схему модернизированной экспериментальной установки, осуществить монтаж установки.

3 Провести разработку алгоритмов программного обеспечения автоматизации работы установки.

4 Провести тестирование функциональности модернизированной экспериментальной установки, определить ее технические и метрологические характеристики.

Предмет исследования: динамические характеристики умножительных полупроводниковых СВЧ диодов.

Объектом исследования: является методика измерения предельной частоты умножительных полупроводниковых СВЧ диодов, основанная на ГОСТ 19656.9-79.

Новизна проведенных исследований заключается в том, что впервые в рамках производственной и научно-исследовательской деятельности НИИПП конкретно для тестирования АЧХ умножительных полупроводниковых СВЧ диодов использована автоматизированная экспериментальная установка.

Практическая значимость работы обусловлена достигнутым повышением точности измерения АЧХ умножительных полупроводниковых СВЧ диодов, увеличением производительности экспериментальной установки.

Реализация и апробация работы – результаты работы используются научных исследованиях и в производственном процессе НИИПП.

1 Полупроводниковые СВЧ диоды

В настоящем разделе работы рассмотрена конструкция и принципы функционирования полупроводниковых СВЧ диодов. Особое внимание отведено рассмотрению умножительных диодов.

1.1 Классификация полупроводниковых СВЧ диодов

СВЧ диоды предназначены для функционирования в СВЧ спектре. СВЧ диоды подразделяют на разные классы:

- смесительные;
- переключательные;
- умножительные;
- детекторные;
- ограничительные;
- настроенные;
- генераторные;
- параметрические.

Смесительные диоды применяются для преобразования принятых антенной СВЧ сигналов в промежуточную частоту, на которой производится усиление слабых сигналов до необходимого уровня.

Переключательные диоды применяются в схемах бесконтактных электронных быстродействующих переключателей .

Умножительные диоды предназначены для умножения частоты.

Детекторные диоды предназначены для выделения из СВЧ сигналов низкочастотного колебания, несущего полезную информацию. Они широко используются в измерительной технике.

Ограничительные диоды предназначены для стабилизации, выравнивания уровня мощности СВЧ сигнала, и для ограничения диапазонов

колебаний различных сигналов.

Настроечные диоды предназначены для регулирования резонансной частоты в колебательных системах. Барьерная емкость перехода полупроводникового диода, регулируемая изменением обратного напряжения, может быть использована для управления резонансной частотой колебательных систем генераторов и усилителей СВЧ, фильтров.

Генераторные диоды предназначены для генерирования колебаний диапазона СВЧ. Работа всех генераторных диодов основана на достижении, при определенных внешних условиях и параметрах сигнала, отрицательного дифференциального сопротивления диода на рабочей частоте.

Параметрические диоды. Работа параметрических диодов основана на использовании нелинейной зависимости емкости от приложенного напряжения. Применяются для усиления СВЧ колебаний.

СВЧ диод не так уж и сложен, как предполагается на первый взгляд. СВЧ диод – это два полупроводника разных типов проводимости, между которыми есть переход, который в одну сторону пропускает электрический ток, а в другую соответственно нет [2].

Само понятие «диод» появилось в 1919 году. До этого СВЧ диод, даже его открыватели, как только не называли. В лучшем случае он был «детектором», из-за принадлежности поначалу в основном к радиоприемникам. Кстати, некоторые радиолюбители диод именуют детектором до сих пор.

Массовое распространение СВЧ диодов началось в 20-х – 30-х годах прошлого столетия и продолжается до сих пор. Не одна современная электрическая схема, даже очень технологичная и сложная, не обходится без полупроводниковых диодов.

Особенности устройства СВЧ диодов и применяемых для их изготовления материалов связаны с тем, что они используются в объемных резонаторах на частотах, где размеры диода становятся сравнимыми с длиной

СВЧ колебаний. Расположение полупроводника (кристалла) в корпусе показано на рисунке 1.

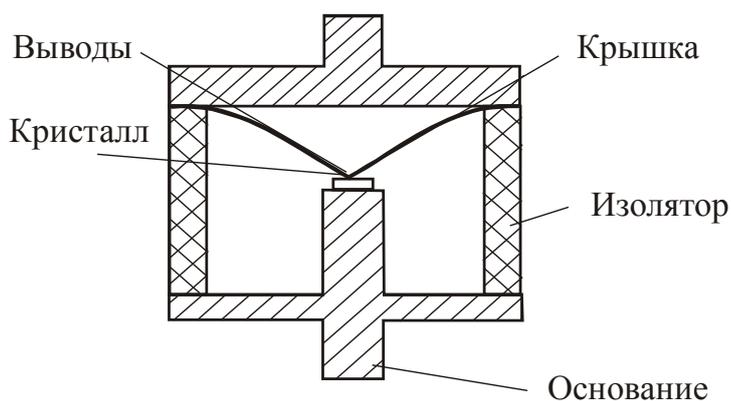


Рисунок 1 – Вид СВЧ диода в разрезе

Использование СВЧ диодов имеет много плюсов таких как:

- небольшое потребление энергии;
- простота конструкции;
- малые габариты и массу;
- имеют сравнительно невысокие цены;
- обладают высоким быстродействием.

СВЧ диоды имеют довольно простой принцип работы. В нашем случае СВЧ диод изготовлен из арсенида галлия таким образом, что один его конец р-типа, а другой конец типа n. Это означает, что оба контакта имеют различные характеристики. На первом контакте имеется избыток электронов, в то время как второй контакт имеет избыток положительных носителей заряда. Естественно, в устройстве есть участок, в котором все электроны заполняют определенные пробелы. Это означает, что внешние заряды отсутствуют. В связи с тем, что эта область обедняется носителями заряда и известна как объединяющий участок [3].

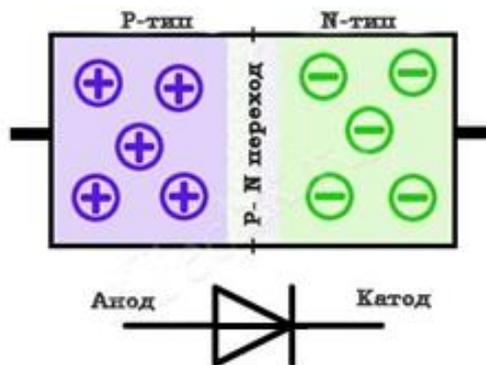


Рисунок 2 – P-n переход

Очень часто размер объединяющего участка очень мал, (несколько тысячных долей миллиметра), но, несмотря на это, ток не может протекать в нем как обычно. Если напряжение подается так, что область типа p становится положительной, а тип n , соответственно, отрицательной, дырки переходят к отрицательному полюсу и помогают электронам перейти через объединяющий участок. Точно так же электроны движутся к положительному контакту и как бы обходят объединительный участок. Несмотря на то, что все частицы движутся с разным зарядом в разном направлении, в итоге они образуют однонаправленный ток, что помогает выпрямить сигнал и предупредить скачки напряжения на контактах диода.

Если подать напряжение к СВЧ диоду в противоположном направлении, ток не будет проходить по нему. Причина заключается в том, что дырки привлекаются отрицательным потенциалом, который находится в области p -типа. Аналогично электроны притягиваются к положительному потенциалу, который применяется к области n -типа. Это заставляет объединяющий участок увеличиваться в размере, из-за чего поток направленных частиц становится невозможным.

Промышленность выпускает большое количество полупроводниковых приборов, которые отличаются конструкцией, характеристиками и технологией изготовления. Также как и СВЧ диоды отличаются своим назначением в применении, измерения требуемых параметров будут

принципиально отличаться, от измерений аналогичных параметров. Это в первую очередь объясняется зависимостью свойств СВЧ диодов от внешних условий и нелинейностью ВАХ.

Под внешними условиями в первую очередь подразумевается температура. При измерениях необходимо учитывать разогрев p - n перехода проходящим током, поэтому во время измерений требуется обеспечить теплоотвод и контролировать время измерений.

Из-за нелинейности ВАХ нужно выполнять измерения при определенных значениях силы тока и напряжения.

Сила тока, которая протекает через СВЧ диод, зависит от знака и значения подаваемого напряжения. В ВАХ (рисунок 3) наглядно прослеживается эта зависимость.

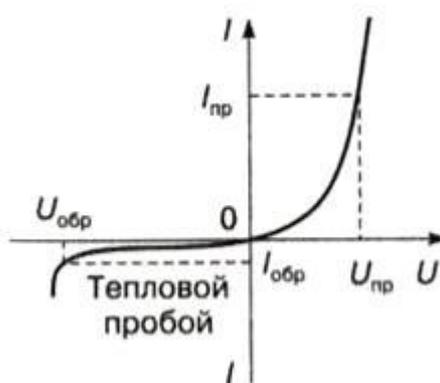


Рисунок 3 – ВАХ СВЧ диода

Значение силы тока откладывают по оси ординат, а напряжение по оси абсцисс. Т.к. прямой ток в большинстве случаев превышает обратный в тысячи раз, то ВАХ диодов строятся в разных масштабах: прямой ток представляют в миллиамперах, обратный ток представляют в микроамперах. В случае обратного напряжения выбирают более крупный масштаб, в отличие от прямого напряжения. На рисунке 3 наглядно видно поведение обратного тока при большом обратном напряжении, он резко возрастает. В этом случае образуется тепловой пробой, и СВЧ диод выходит из строя [4].

1.2 Умножительные СВЧ диоды

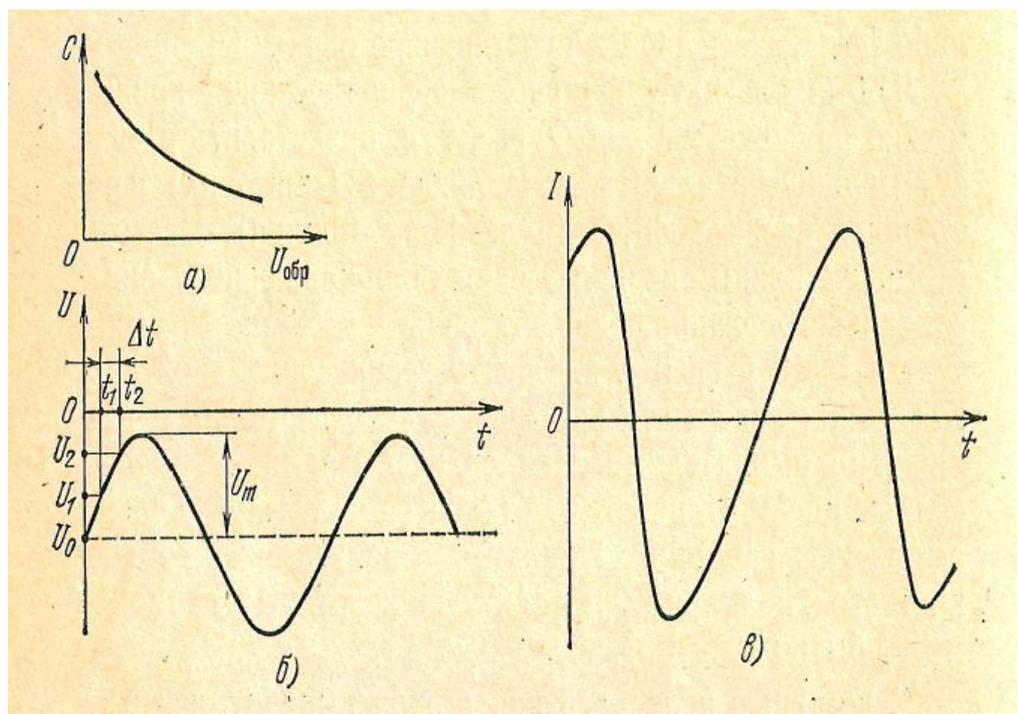
Умножительные СВЧ диоды применяются в радиопередающей и измерительной аппаратуре. СВЧ диоды такого типа являются основным элементом в устройствах, которые увеличивают выходной сигнал частоты в целое число раз по сравнению с входным сигналом частоты. Существуют такие умножительные цепочки, которые включают в себя два или более каскадов умножения частоты [1]. Для СВЧ диодов характерно, что при синусоидальном напряжении, ток в цепи диода будет не синусоидальный. В этом случае говорят, что СВЧ диод имеет нелинейное полное сопротивление. Эта нелинейность определяется главными свойствами СВЧ диода [5]. Например, такие приборы имеют нелинейную ВАХ, представленную на рисунке 3.

Умножительные СВЧ диоды имеют три режима работы

- 1) Режим номинального возбуждения.
- 2) Режим перевозбуждения.
- 3) Режим накопления заряда и резкого восстановления обратного сопротивления.

Далее рассмотрим эти три режима более подробно.

Режим номинального возбуждения. На диод подается постоянное обратное напряжение и входной сигнал, амплитуда которого меньше чем у подаваемого напряжения. В этом режиме значение имеет нелинейная ВФХ. Рассмотрим, как действует нелинейная емкость обратносмещенного резкого $p-n$ перехода.



- а) график зависимости емкости $p-n$ перехода от обратного напряжения;
- б) график зависимости напряжения на $p-n$ переходе от времени;
- в) график зависимости тока от времени.

Рисунок 4 – Несинусоидальный ток в цепи нелинейной емкости

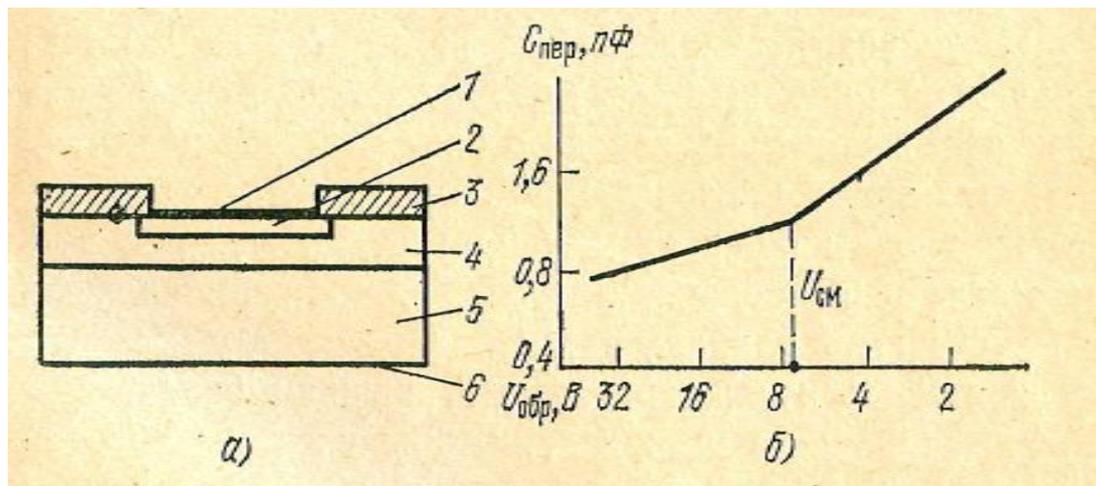
На рисунке 4а показан график зависимости емкости $p-n$ перехода от обратного напряжения. Несмотря на то, что на $p-n$ переход уже идет воздействие постоянного обратного напряжения, к нему еще прикладывается синусоидальное переменное напряжение. На рисунке 4б представлен график зависимости напряжения на $p-n$ переходе от времени. Это напряжения является суммой постоянного обратного напряжения U_0 и синусоидального переменного напряжения с амплитудой U_m . В течении каждого интервала времени протекает заряд Δq , который будет равен разности произведений напряжения и емкости в момент t_2 и t_1 . Ток в цепи диода будет равен отношению этого заряда к интервалу времени. График зависимости тока от времени представлен на рисунке 4в. Диоды с резким $p-n$ переходом считаются более предпочтительными для умножительных СВЧ диодов, т.к. при плавном

p - n переходе будут наблюдаться графики со спектром тока имеющего более бедные гармоники.

В режиме номинального возбуждения выходная мощность невелика, т.к. амплитуда входного напряжения не может превышать половину пробивного напряжения. Поэтому этот режим используют только для малых кратностей умножения [1].

Режим перевозбуждения. В этом режиме через диод протекает прямой ток, т.к. амплитуда входного напряжения больше напряжения обратного смещения. Следовательно, получаются спектры богатые гармониками, которые позволяют получать высокие выходные мощности. В режиме перевозбуждения необходимо, чтобы время жизни неосновных носителей заряда значительно превышало длительность периода входного напряжения. Иначе спектр тока диода будет обеднен гармониками. В этом режиме используются диоды со сложными зависимостями барьерной емкости от обратного напряжения. Эти сложные зависимости имеются, при наличие эффекта смыкания. Неоднородность структуры и ее ВФХ представлены на рисунке 5.

При изготовлении диода используется эпитаксиальная структура с высоколегированной подложкой p^+ типа. На подложке выращивается тонкий слой n типа, который образует p - n переход с подложкой. Сильнолегированный n^+ слой находится между омическим контактом и n слоем. В этой структуре обедненный слой находится в n области при малых обратных напряжениях. Когда это напряжение достигает значения напряжения смыкания, то обедненный слой занимает всю толщу n области. Если напряжение еще возрастает, то обедненный слой образуется и n^+ области. Поскольку уровень легирования этих двух областей резко отличаются, то после смыкания обедненного слоя с границей n^+ области емкость остается практически постоянной. Напряжение смыкания должно быть меньше пробивного напряжения [1].



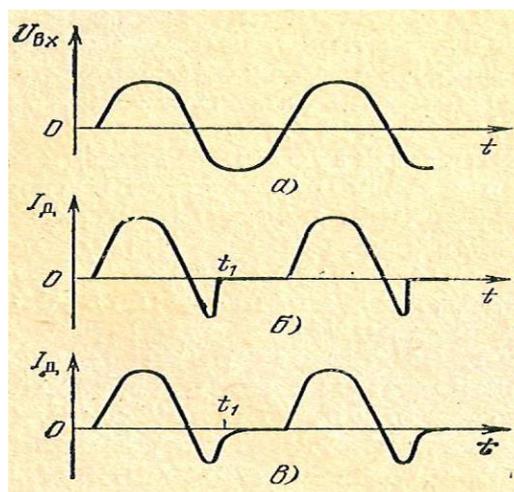
а) неоднородная диффузионно-эпитаксиальная структура:

- 1 – омический контакт;
- 2 – слой n^+ типа;
- 3 – окисная защитная пленка;
- 4 – слой n^- типа;
- 5 – подложка p^+ типа;
- 6 – омический контакт;

б) ВФХ.

Рисунок 5 – Неоднородная диффузионно-эпитаксиальная структура и ее ВФХ

Режим накопления заряда и резкого восстановления обратного сопротивления. На рисунке б показана зависимость тока диода от времени при подаче на диод синусоидального напряжения. В то время, когда напряжение подается в прямом направлении, происходит инжекция неосновных носителей заряда в базу диода. В это время в цепи диода протекает прямой ток. Если изменить напряжение в диоде на обратное, то ток не прекращается, а меняет свое направление и значение. Причиной этому служат неосновные носители заряда, которые поступают в базу во время инжекционного интервала. Для того, чтобы носители заряда исчезли из базы диода, потребуется некоторое время, после которого ток в цепи прекратиться (рисунок бб). Но, на самом деле ток не прекращается мгновенно (рисунок бв).



- а) график зависимости напряжения от времени;
- б) график зависимости тока от времени (идеальный случай);
- в) график зависимости тока от времени (реальный случай).

Рисунок 6 – Несинусоидальные токи в цепи ДНЗ

Для того, чтобы ускорить процесс прекращения тока, используются диоды со специально подобранным профилем распределения легирующей примеси в базе диода. В этих диодах инжектированные носители заряда не растекаются вглубь базы, а группируются вблизи $p-n$ перехода, что и ускоряет процесс восстановления [1].

2 Установка измерения предельной частоты СВЧ диодов

Установки для измерения предельной частоты $f_{\text{пред}}$ и добротности Q диодов принципиально не отличаются. Некоторая разница в обработке результатов связана с тем, что определение добротности диода и предельной частоты отличаются тем, что в первом случае в результат измерения включаются потери, как в корпусе диода, так и в p - n переходе кристалла, а во втором случае – только в p - n переходе. В цифровом выражении добротность и предельная частота (если не учитывать потери в корпусе диода), получаются совершенно одинаковыми [1].

Во всех случаях измерения основных параметров СВЧ диодов используется явление электрического резонанса. В камерах запирающего типа, как правило, используется последовательный резонанс какого-либо элемента схемы с диодом. В камерах пропускающего типа используется, как правило, параллельный резонанс этих же элементов. Информацию о добротности и предельной частоте содержат следующие параметры резонирующих систем обоих типов:

- ослабление T на частоте резонанса;
- резонансная частота $f_{\text{рез}}$ и полоса пропускания $2\Delta f$, измеренная на определенном уровне Δ от вершины резонансной кривой;
- расстройка $\Delta\nu$ по напряжению смещения на p - n переходе относительно напряжения смещения при резонансе при фиксированной частоте.

Между этими тремя параметрами и Q и $f_{\text{пред}}$ существует однозначная связь, и все равно, какие из этих трех параметров измерять – результат получается одинаковый. Выбор измеряемого параметра определяется наличием аппаратуры, удобством и производительностью при измерении, возможностью автоматизации процесса измерения. Чем больше ослабление T на частоте последовательного резонанса и чем меньше ослабление T на

частоте параллельного резонанса при прочих равных условиях, тем выше добротность [6].

По методу последовательного резонанса СВЧ диода, была разработана установка для измерения предельной частоты и добротности СВЧ диодов.

Далее будут рассмотрены основные технические характеристики установки измерения предельной частоты СВЧ диодов.

2.1 Технические характеристики установки

Установка, разработанная на основе ГОСТ 19656.9-79, обеспечивает следующие технические характеристики:

- диапазон рабочих частот от 3,2 до 8,1 ГГц;
- диапазон задания напряжения смещения на диод от 0 до 50 В;
- пределы погрешности задания напряжения смещения на диод $\pm 2 \%$;
- коэффициент пульсации напряжения смещения при токе нагрузки до 10 мА не более $\pm 0,1 \%$;
- границы погрешности измерения предельной частоты не более $\pm 15 \%$ с доверительной вероятностью 0,997;
- коэффициент стоячей волны диодной камеры без диода не более 1,2 в диапазоне частот установки;
- значение СВЧ мощности, подаваемой на диод, не более 10^{-4} Вт.

2.2 Устройство и работа установки

Диод включается параллельно СВЧ тракту в коаксиальную камеру. Расстояние между внутренним и внешним проводниками равно высоте керамической втулки диода. АЧХ камеры с диодом имеет вид резонансной кривой с минимумом на частоте последовательного резонанса (рисунок 7).

Предельная частота диодов $f_{пред}$, ГГц, типа определяется по формуле

$$f_{\text{пред}} = \frac{f_1 \times f_2 \times \sqrt{A-1}}{f_2 - f_1}, \quad (1)$$

где f_1, f_2 – частоты, измеренные на уровне A АЧХ, ГГц;

A – уровень, показывающий во сколько раз мощность на выходе диодной камеры изменилась при расстройке генератора до частот f_1 и f_2 по сравнению с мощностью на частоте последовательного резонанса диода, отн. ед.

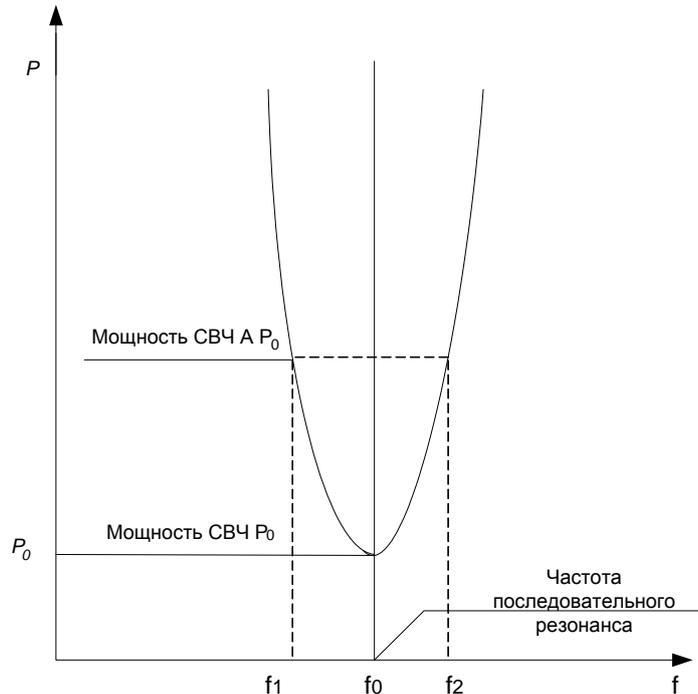


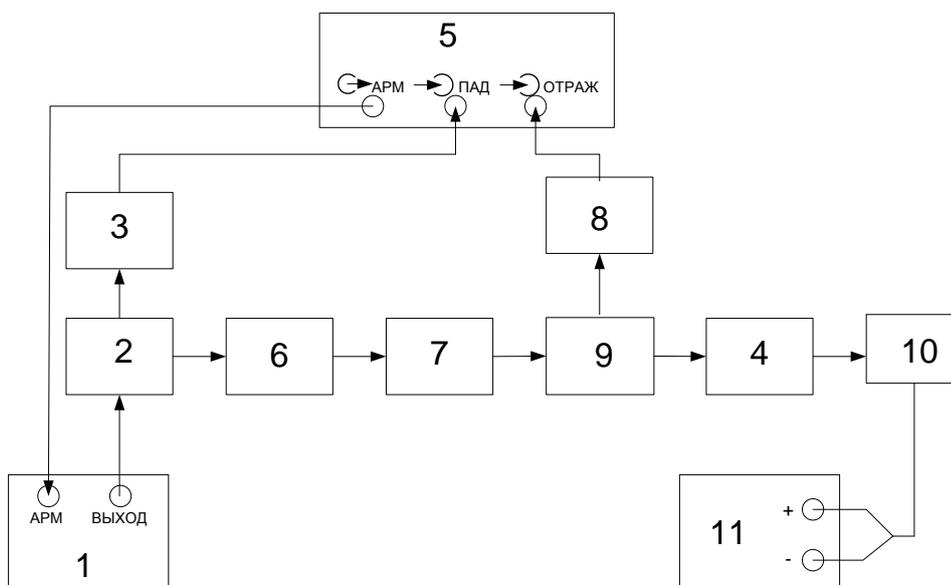
Рисунок 7 – Амплитудно-частотная характеристика камеры с диодов, настроенной на частоту последовательного резонанса

На диод, помещенный в камеру диодную (позиция 6, рисунок 8), подается напряжение смещения заданной полярности от блока смещения (позиция 11, рисунок 8).

От генератора качающейся частоты (далее – ГКЧ) (позиция 1, рисунок 8) на ответвитель направленный (позиция 2, рисунок 8), переход (далее – переход 1) (позиция 4, рисунок 8), диодную камеру подается СВЧ сигнал в заданной полосе частот. Часть сигнала отражается от диода, часть проходит на выход диодной камеры. Прошедший сигнал через переход 1 и

направленный ответвитель попадает на нагрузку согласованную (позиция 10, рисунок 8).

Устройство и работу установки поясняет структурная схема, приведенная на рисунке 8. Стрелками на рисунке показана передача энергии электрического сигнала.



- 1 – генератор качающейся частоты 57;
- 2 – ответвитель направленный;
- 3 – головка детекторная;
- 4 – переход 1;
- 5 – индикатор КСВН и ослабления;
- 6 – камера диодная;
- 7 – переход 2;
- 8 – головка детекторная;
- 9 – ответвитель направленный;
- 10 – нагрузка согласованная;
- 11 – блок смещения.

Рисунок 8 – Структурная схема установки измерения предельной частоты СВЧ

ДИОДОВ

Направленный ответвитель (позиция 2, рисунок 8) ориентирован на падающую волну. Он служит для отдельного измерения мощности падающей и отраженной волн без заметного изменения режима работы СВЧ тракта. Он позволяет также вести непрерывный контроль падающей мощности. К его вторичной линии подключается детекторная головка (позиция 3, рисунок 8). С выхода направленного ответвителя снимается напряжение, пропорциональное мощности падающей волны, и подается на индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67 ЦЮ2.043.030 ТУ (далее – индикатор) (позиция 5, рисунок 8).

Направленный ответвитель (позиция 9, рисунок 8) также ориентирован на падающую волну. К его вторичной линии подключается головка детекторная (позиция 8, рисунок 8). С ее выхода снимается напряжение, пропорциональное мощности прошедшей волны через камеру с диодом, и подается на индикатор.

На экране индикатора наблюдается АЧХ камеры с диодом.

2.3 Комплектность измерителя КСВН панорамного Р2-54

Измеритель КСВН панорамный (Р2-54/1, Р2-54/2) предназначен для панорамного отображения на экране индикатора и измерения параметров АЧХ элементов коаксиальных трактов. Измеритель обеспечивает диапазон рабочих частот от 3,2 до 8,1 ГГц.

Измеритель состоит из следующих приборов и сборочных единиц:

- а) генератор качающейся частоты: (ГКЧ) 57 или (ГКЧ) 59;
- б) индикатор КСВН;
- в) направленный ответвитель (2 шт.);
- г) детекторные головки (2 шт.).

Далее представлены технические характеристики ГКЧ и назначение индикатора КСВН.

ГКЧ обеспечивает следующие режимы перестройки частоты:

- ручная перестройка частоты;
- ручное качание частоты;
- периодическое качание частоты;
- разовое качание частоты с ручным запуском;
- перестройка частоты от внешнего источника напряжения;

Технические характеристики ГКЧ

- диапазон рабочих частот от 3,2 до 8,1 ГГц;
- длительность периодов качания частоты: 0,08 с; 1 с; 10 с и 40 с;
- выходная мощность прибора: 1 мВт;
- потребляемая мощность: 100 ВА.

Индикатор осуществляет преобразование сигналов, несущих информацию о параметрах измеряемых объектов, с целью обеспечения возможности наблюдения частотных характеристик объектов на экране ЭЛТ, а также для непосредственного отсчета КСВН и ослабления по шкалам. Измерение КСВН или ослабления может производиться как в автоматическом, так и в ручном режимах перестройки частоты [6].

2.4 Принцип работы составных частей установки

Работа измерителя основана на принципе отдельного выделения сигналов, пропорциональных мощности, падающей от генератора и прошедшей через измеряемый диод.

В качестве генератора СВЧ сигнала в измерителе используется ГКЧ (позиция 1, рисунок 8). Основное назначение ГКЧ – генерирование высокочастотного сигнала с изменяющейся частотой. Основное назначение индикатора (позиция 5, рисунок 8) – преобразование сигналов, несущих информацию о параметрах измеряемых объектов, с целью обеспечения возможности наблюдения частотных характеристик объектов на экране ЭЛТ, а также непосредственного отсчета КСВН и ослаблений по шкале. СВЧ сигнал с

выхода ГКЧ, с помощью коаксиального кабеля, подается на вход направленного ответвителя (позиция 2, рисунок 8). К выходу вторичного канала падающей волны подключена детекторная головка (позиция 3, рисунок 8), соединяемая со входом индикатора « $\rightarrow \odot_{\text{ПАД}}$ ». В индикаторе сигнал падающей волны усиливается и подается на разъем « $\odot \rightarrow_{\text{АРМ}}$ », соединяемый со входом «АРМ» ГКЧ. К выходу вторичного канала отраженной волны подключена детекторная головка (позиция 8, рисунок 8), соединяемая со входом индикатора « $\rightarrow \odot_{\text{ОТРАЖ}}$ » [7].

С помощью системы АРМ ГКЧ и измерителя отношений индикатора на выходе усилителя отраженной волны получается сигнал, пропорциональный отношению напряжений на выходах канала отраженной и канала падающей волны. Этот сигнал подается на синхронный детектор, в котором происходит дальнейшее усиление и детектирование. Выходное напряжение синхронного детектора подается на вход усилителя отклонения или визуальной индикации на ЭЛТ.

Принцип действия и описание работы отдельных узлов ГКЧ и индикатора приведены в техническом описании и инструкции по эксплуатации на ГКЧ и индикатор соответственно.

ГКЧ может вырабатывать:

- пилообразное напряжение, обеспечивающее горизонтальную развертку на экране ЭЛТ индикатора;
- напряжения, обеспечивающие индикацию выставленного диапазона частот и определение частоты в интересующей точке характеристики, наблюдаемой на экране ЭЛТ;
- напряжение, пропорциональное напряжению, управляющему частотой ГКЧ, для выработки корректирующего сигнала, обеспечивающего возможность производить компенсацию не идентичности СВЧ каналов при калибровке измерителя.

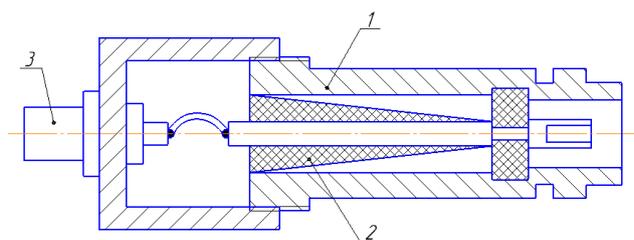
Переход 1 (позиция 4, рисунок 8) осуществляет соединение направленного ответвителя с согласованной нагрузкой. Переход 2 (позиция 7, рисунок 8) осуществляет соединение диодной камеры (позиция 6, рисунок 8). КСВН переходов не более 1,2 в диапазоне частот установки.

Блок смещения (позиция 11, рисунок 8) предназначен для подачи напряжения смещения на диод с одновременным контролем. Блок смещения соответствует техническим данным:

- диапазон задания напряжения смещения на диоде от 0 до 50 В;
- диапазон основной погрешности задания напряжения смещения $\pm 2\%$;
- коэффициент пульсации напряжения смещения при токе нагрузке до 10 мА в диапазоне $\pm 0,1\%$.

Нагрузка согласованная (позиция 10, рисунок 9) предназначена для поглощения СВЧ мощности и подачи напряжения смещения на диод. Напряжение смещения подается от блока смещения с помощью кабеля на разъем нагрузки согласованной (позиция 3, рисунок 9). Согласованная нагрузка представлена на рисунке 7.

Корпус разъема электрически соединен с внешним проводником коаксиального тракта. КСВН нагрузки согласованной не более 1,1 [8].



- 1 - корпус;
- 2 - поглощающий клин;
- 3 - разъем СР-50-267ф.

Рисунок 9 – Согласованная нагрузка

2.5 Камера диодная

Камера диодная

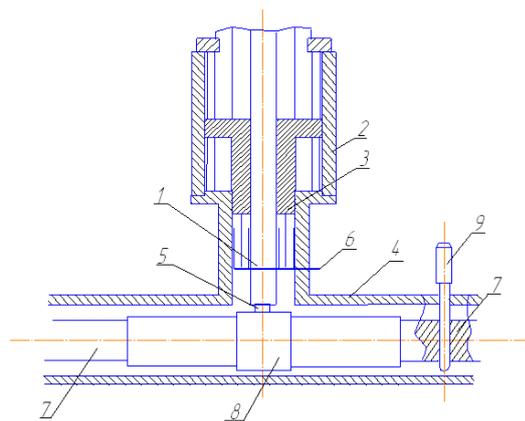
Их можно разделить на две большие группы:

- диодные камеры пропускающего типа;
- диодные камеры запирающего типа.

Каждая из этих групп может быть реализована в двух вариантах:

- диодная камера с резонатором;
- диодная камера с резонирующим диодом.

В установках для измерения добротности и предельной частоты используются диодные камеры запирающего типа с резонатором. Камера состоит из отрезков коаксиальной линии (рисунок 10).



- 1 – держатель диода;
- 2 – гайка;
- 3 – короткозамыкатель;
- 4 – корпус;
- 5 – испытуемый диод;
- 6 – плоскость короткого замыкания;
- 7 – ступенчатый переход;
- 8 – низкоомная передающая линия;
- 9 – ловитель.

Рисунок 10 – Устройство диодной камеры запирающего типа с резонатором

Измеряемый диод включается на участке основного тракта камеры с пониженным волновым сопротивлением, равным 10 или 20 Ом. Для согласования этого участка с выходным сопротивлением генератора 50 Ом и сопротивлением нагрузки 50 Ом применены два ступенчатых перехода, которые обеспечивают согласование до КСВН не более 1,1 в полосе не уже 200 МГц. Так как диод на частоте измерения представляет собой емкостное сопротивление $\frac{1}{\omega C_0}$, то входное сопротивление короткозамкнутого резонатора между точками *a* и *b* должно быть индуктивным – ωL (где *L* – эквивалентная индуктивность резонатора) [9].

Значение индуктивности *L* подбирается так, чтобы на частоте измерения наступил последовательный резонанс с диодом. Это будет при условии, когда $\frac{1}{\omega C_d} = \omega L$. Подбор индуктивности *L* производится перемещением короткозамыкателя. При последовательном резонансе диода с резонатором точки *a* и *b* оказываются замкнутым малым сопротивлением, которое состоит из эквивалентного активного сопротивления резонатора $r_{рез}$ и эквивалентного последовательного сопротивления диода $r_{нос}$.

Значение сопротивления *r* в основном зависит от активного сопротивления диода $r_{нос}$, которое определяет его предельную частоту. От этой величины будет зависеть величина ослабления камеры с диодом *T* на резонансной частоте: чем меньше $r_{нос}$, тем больше (выше) добротность диода *Q* и его предельная частота. В расчетных формулах и графиках для определения *Q* и $f_{пред}$ учтены потери в камере $r_{рез}$ [10].

2.6 Постановка задач конструкторской модернизации

В данной главе был выполнен анализ методики измерения предельной частоты СВЧ диодов на основании ГОСТ 19656.9-79. Исследован принцип работы и состав средства измерения предельной частоты СВЧ диодов, в

основе которого стоит измеритель КСВН Р2-54. После проведенного анализа, необходимо решить такие задачи как:

- повышение точности измерений предельной частоты СВЧ диодов;
- повышение комфорта измерений предельной частоты СВЧ диодов;
- повышение производительности количества диодов в час;
- увеличение функционала установки для измерения предельной частоты СВЧ диодов.

Таким образом, для решения выше поставленных задач, необходимо провести конструкторскую модернизацию имеющейся установки для повышения точности измерений, и разработать ПО, которое позволит повысить точность и комфорт измерения предельной частоты СВЧ диодов, увеличить функционал установки измерения предельной частоты СВЧ диодов.

3 Конструкторская модернизация установки

Для проведения конструкторской модернизации было разработано техническое задание на установку измерения предельной частот и добротности СВЧ диодов.

При подборе новых средств измерений, для замены имеющихся, необходимо учитывать следующие технические требования к установке, в которой будут использоваться новые средства измерения:

- измерение добротности СВЧ диодов от 5 до 500;
- измерение предельной частоты умножительных диодов в диапазоне рабочих частот от 2 до 9 ГГц;
- границы относительной погрешности установки измерения предельной частоты СВЧ диодов $\pm 10\%$;
- производительность установки – не более 360 шт/ч;
- число одновременно измеряемых диодов – 1 шт.;
- установка обеспечивает непрерывную работу в течение 8 часов;
- максимальная электрическая мощность, потребляемая установкой не более 1 000 В·А;
- наработка на отказ при доверительной вероятности 0,90 – не менее 20 000 часов.

Установка обеспечивает постоянное напряжение смещения со следующими характеристиками:

- пределы регулирования от 0 до 50 В;
- коэффициент пульсаций не более 0,1 %;
- погрешность задания не более 2 %.

Уровень излучения СВЧ мощности от установки – не более 25 мкВт/см².

3.1 Изменение аппаратной части установки

После проведения анализа технических характеристик установки, (далее – установка №1), было принято решение провести конструкторскую модернизацию установки для проведения измерений предельной частоты.

Установка разработана на базе измерителя КСВН панорамного Р2-137 (далее – установка №2) и предназначена для измерения добротности диодов Q и предельной частоты $f_{\text{пред}}$ диодов в диапазоне рабочих частот от 2,0 до 8,1 ГГц. Установка предназначена для работы при температуре окружающего воздуха от 10 до 35 °С и относительной влажности воздуха до 80 %, атмосферном давлении от 84 до 106 кПа. Питание установки осуществляется от однофазной сети переменного тока (220±22) В частотой (50±1) Гц.

В таблице 1 представлено сравнение средств измерений до и после конструкторской модернизации установки №1.

Таблица 1

Установка №1 (до модернизации)	Установка №2 (после модернизации)
–	ПК с установленным ПО
Индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67	Измеритель КСВН и ослабления панорамный Р2-137
Генератор качающейся частоты 57 и 59	–
Частотомер ЧЗ	–
Переход	Переход
Диодная камера**	Диодная камера**
Ответвитель направленный	Ответвитель направленный
–	Датчик ослабления МЕРА.467732.001
Нагрузка согласованная	Нагрузка согласованная
Блок смещения	Блок смещения

Для сравнения установок по метрологическим характеристикам необходимо рассчитать границы относительной погрешности измерения предельной частоты СВЧ диодов.

3.1.1 Методика расчета относительной погрешности измерений предельной частоты диодов

Методика расчета границ относительной погрешности измерения предельной частоты диодов установки №1

Границы относительной погрешности измерения предельной частоты диодов определяет ГОСТ 19656.9-79 и рассчитываются по формуле

$$\delta f_{\text{пред}} = \pm \sqrt{\left(\delta f_1 \times \frac{f_2}{f_2 - f_1}\right)^2 + \left(\delta f_2 \times \frac{f_1}{f_2 - f_1}\right)^2 + \left[\delta A \times \frac{A}{2 \times (A - 1)}\right]^2}, \quad (2)$$

где δf_1 и δf_2 – границы относительных погрешностей измерения частоты частотомером, %;

A – модуль значения измеряемой величины, дБ;

δA – относительная погрешность измерения уровня A , %.

Пределы относительной погрешности измерения частоты частотомером не превышают $\pm 0,01$ % от верхнего предела диапазона частоты.

Исходные значения для расчета границ относительной погрешности предельной частоты, представлены в таблице 2, и рассчитаны в ГОСТ 19656.9-79

Таблица 2 – Исходные значения

$f_1 = 3900$ МГц	$f_2 = 4000$ МГц
$\delta f_1 = 0,01$ %	$\delta f_2 = 0,01$ %
$A=3,16$ раза, (5 дБ)	$\delta A = \pm 15$ %

В формулу (2) подставляем значения из таблицы 2 и получаем границы относительной погрешности измерения предельной частоты равные ± 11 %, что соответствует требованиям ГОСТ 19656.9-79 ± 15 %.

Методика расчета относительной погрешности измерения предельной частоты диодов установки №2

Границы относительной погрешности измерения предельной частоты диодов определяет ГОСТ 19656.9-79 и рассчитываются по формуле

$$\delta f_{\text{пред}} = \pm \sqrt{\left(\delta f_1 \times \frac{f_2}{f_2 - f_1}\right)^2 + \left(\delta f_2 \times \frac{f_1}{f_2 - f_1}\right)^2 + \left[\delta A \times \frac{A}{2 \times (A - 1)}\right]^2}, \quad (3)$$

где δf_1 и δf_2 – границы относительных погрешностей отсчета и установки частоты выходного сигнала встроенного генератора измерителя КСВН панорамного Р2-137, %;

A – модуль значения измеряемой величины, дБ;

δA – относительная погрешность измерения уровня A , %.

Границы абсолютной допускаемой погрешности отсчета и установки частоты выходного сигнала встроенного генератора измерения частоты не более 10^{-5} от текущей частоты.

$$\Delta f_1 = \pm 3800 \times 10^{-5} = \pm 0,038 \text{ МГц}, \quad (4)$$

$$\Delta f_2 = \pm 4000 \times 10^{-5} = \pm 0,04 \text{ МГц}. \quad (5)$$

Переведем абсолютную погрешность измерения предельной частоты диодов в относительную по формулам

$$\delta f_1 = \pm \frac{\Delta f_1}{f_1} \times 100\% = \pm 0,001 \%, \quad (6)$$

$$\delta f_2 = \pm \frac{\Delta f_2}{f_2} \times 100\% = \pm 0,001 \%. \quad (7)$$

Значение A задано по условиям в ГОСТ 19656.9-79, $A=3,16$ раза, (5 дБ).

$$\Delta A = \pm (0,04 \times A + 0,3) \text{ дБ}, \quad (8)$$

$$\delta A = \pm \frac{\Delta A_2}{A_2} \times 100\% = \pm 10 \%. \quad (9)$$

В формулу (3) подставим полученные данные и рассчитаем границы относительной погрешности измерения предельной частоты, которые

составляют $\pm 7\%$, Границы относительной погрешности измерения предельной частоты СВЧ диодов на установке №2 меньше в 1,6 раза по сравнению с результатом, полученным на установке №1. Увеличить точность измерения предельной частоты диодов удалось за счет измерителя, который по техническим характеристикам превосходит частотомер, использованный в установке №1.

3.1.2 Принцип работы модернизированной установки

Принцип измерения предельной частоты и добротности диодов заключается в получении изображения резонансной характеристики камеры с диодом на экране измерителя КСВН панорамного Р2-137 (далее – измеритель Р2-137) (рисунок 11) и измерения на резонансной частоте f_0 ослабления камеры с диодом T и ослабления камеры с замещающей диод емкостью без потерь $T_{\text{п}}$.

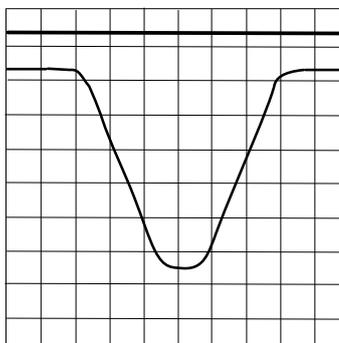
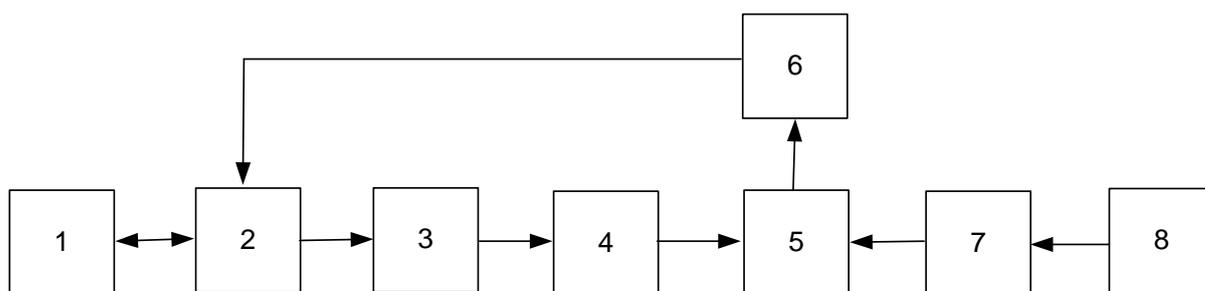


Рисунок 11 – Расположение характеристики на экране измерителя

Устройство и работу установки №2 поясняет структурная схема, приведенная на рисунке 12. Стрелками на схеме показаны направления передачи энергии электрического сигнала.



- 1 – ПК;
- 2 – измеритель P2-137;
- 3 – переход коаксиальный;
- 4 – диодная камера;
- 5 – ответвитель направленный;
- 6 – датчик ослабления;
- 7 – нагрузка согласованная;
- 8 – блок смещения.

Рисунок 12 – Структурная схема установки

Внутренний генератор измерителя P2-137 (позиция 2, рисунок 12) вырабатывает СВЧ мощность качающейся частоты. Период и пределы качания частоты устанавливаются соответствующими ручками на передней панели измерителя. Индикатор измерителя P2-137 позволяет наблюдать резонансную характеристику ДК с диодом.

Ответвитель направленный (позиция 5, рисунок 12) служит для ответвления части мощности на датчик ослабления.

Датчик ослабления (позиция 6, рисунок 12) детектирует мощность СВЧ, поступающую из ДК. С датчика ослабления снимается медленно меняющееся напряжение, соответствующее изменению мощности СВЧ на выходе ДК при качании частоты ГКЧ и используемое в индикаторе измерителя P2-137 для воспроизведения формы АЧХ ДК и соответствующих измерений.

Блок смещения (позиция 8, рисунок 12) выдает требуемое напряжение смещения на диоде, помещенном в ДК (T , $T_{\text{п}}$).

Испытуемый СВЧ диод укрепляют на конце извлекаемого из камеры держателя диода с помощью цангового зажима и магнитного держателя, расположенного в конце держателя.

Измеренные величины T и T_{Π} содержат информацию о добротности камеры и добротности диода Q , определяемой по формуле

$$Q = \frac{1}{\omega_0 C \frac{Z_0}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{T}-1} - \frac{1}{\sqrt{T_{\Pi}}-1} \right) \left(1 - \omega_0^2 L_{\text{пос}} C_{\text{к}} + \frac{C_{\text{к}}}{C} \right)^2}, \quad (10)$$

где ω_0 – круговая частота, рад/сек;

C – емкость перехода СВЧ диода, Ф;

Z_0 – волновое сопротивление линии передачи в плоскости включения СВЧ диода, Ом;

T – ослабление камеры с СВЧ диодом на резонансной частоте f_0 , раз;

T_{Π} – ослабление камеры с корпусом (эталоном) вместо СВЧ диода (таблица 1) на частоте f_0 , раз;

$L_{\text{пос}}$ – последовательная индуктивность СВЧ диода, Гн;

$C_{\text{к}}$ – конструктивная емкость СВЧ диода, Ф.

Установка позволяет измерять ослабление камеры с СВЧ диодом на резонансной частоте T , ослабление камеры с корпусом вместо СВЧ диода на частоте T_{Π} и резонансную частоту f_0 . Значения последовательной индуктивности СВЧ диода $L_{\text{пос}}$ и конструктивной емкости СВЧ диода $C_{\text{к}}$ вводятся как усредненные величины, характеризующие конкретный СВЧ диод. Значение волнового сопротивления линии передачи в плоскости включения СВЧ диода Z_0 рассчитывается как конструктивная характеристика камеры. Значение емкости перехода СВЧ диода C измеряется по ГОСТ 18986.4–73 прибором типа Е7-12.

Круговая частота ω_0 определяется по формуле

$$\omega_0 = 2\pi \cdot f_0. \quad (11)$$

Значение предельной частоты $f_{\text{пред}}$ вычисляется по формуле

$$f_{\text{пред}} = \frac{10}{\pi C Z_0 \left(\frac{1}{\sqrt{T-1}} - \frac{1}{\sqrt{T_{\text{п}}-1}} \right) \left(1 - \omega_0^2 L_{\text{пос}} C_{\text{к}} + \frac{C_{\text{к}}}{C} \right)^2}. \quad (12)$$

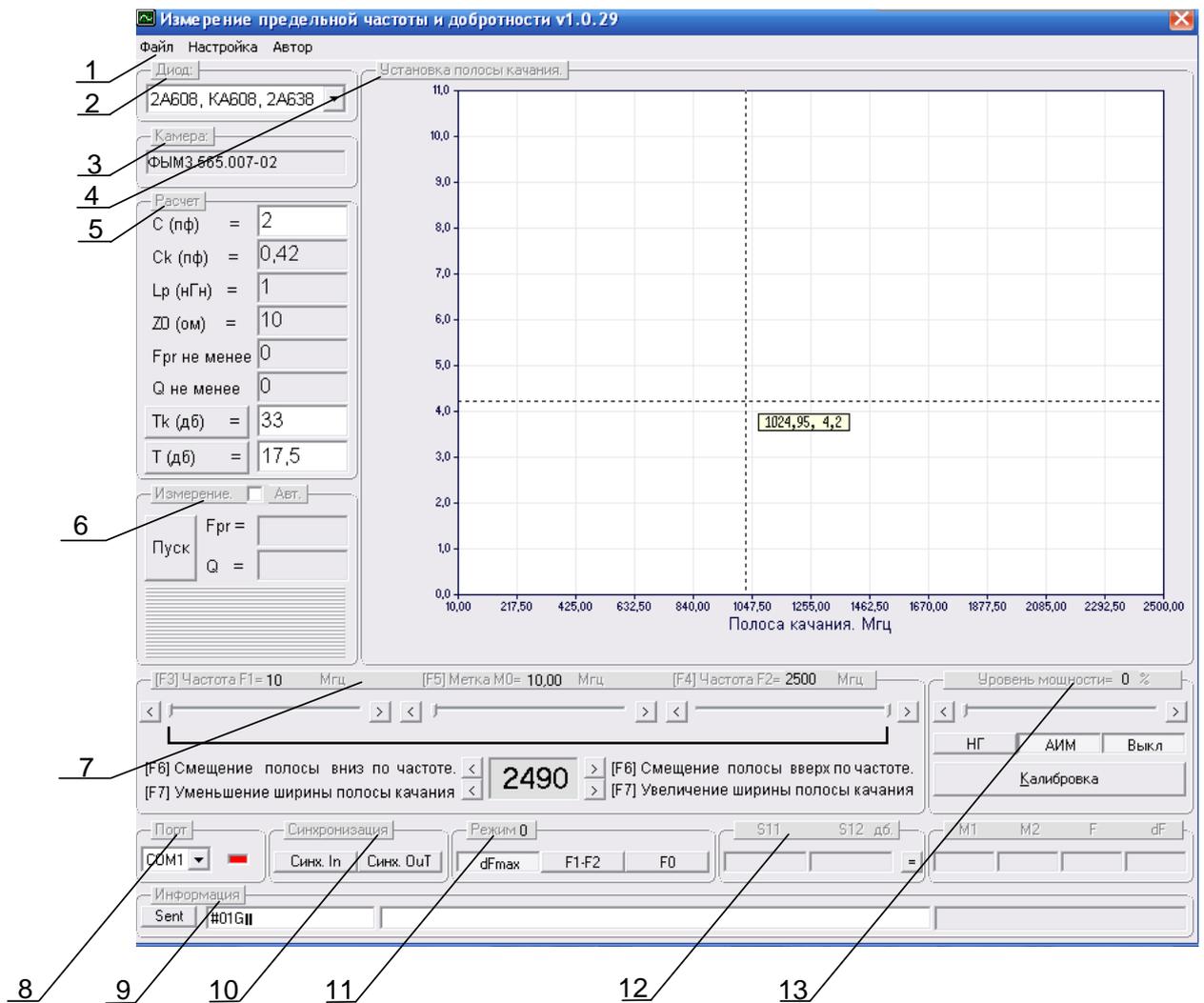
Управление измерениями осуществляется с помощью ПО «P2-137», установленной на ПК.

3.2 Работа программного обеспечения

ПО было разработано на языке программирования высокого уровня Visual Basic 6 [11, 12]. ПО представляет собой окно, аналогичное окну Windows, в котором содержатся панель управления и панель вывода результатов измерений. С помощью панели управления ПО выполняет функции, аналогичные нажатию на клавиши передней панели измерителя P2-137.

Разбраковка диодов проводится методом сравнения порогового значения добротности и предельной частоты для данного типа диода (значение взято из технологической карты на диод) и измеренного значения добротности и предельной частоты измеряемого диода.

Окно программы представлено на рисунке 13.



- 1 – командное меню;
- 2 – панель «Диод»;
- 3 – панель «Камера»;
- 4 – панель «Установка полосы качания»;
- 5 – панель «Расчет»;
- 6 – панель «Измерения»;
- 7 – панель параметров полосы;
- 8 – панель «Порт»;
- 9 – панель «Информация»;
- 10 – панель «Синхронизация»;
- 11 – панель «Режим»;

Рисунок 13, лист 1 – Окно программы «P2-137»

12 – панель состояния измерителя P2-137;

13 – панель «Уровень мощности».

Рисунок 13, лист 2 – Окно программы «P2-137»

3.2.1 Описание панелей программы P2-137

Название и назначение панелей, расположенных в окне программы, приведено в таблице.

Таблица 3 – Назначение панелей

Название панели	Назначение панели
Диод	В панели выбирается тип измеряемого диода
Камера	При выборе типа диода в панели «Камера» автоматически выставляется обозначение конструкторской документации на диодную камеру и номер диодной камеры, в которой проводятся измерения.
Установка полосы качания	Представляет копию экрана измерителя P2-137 и используется как планшет
Расчет	Представлены результаты измерения ослабления. В панели также представлены постоянные величины, используемые при расчетах
Команды измерения	Представляет собой меню команд измерения
Панель параметров полосы	и позволяет настроить ширину качания частоты, ширину полосы и положение метки
Порт	Содержит опции выбора порта и индикатор связи ПК и измерителя
Информация	Показывает служебную информацию, которая необходима для тестирования и отладки программы
Синхронизация	Предназначена для синхронизации параметров ПК и измерителя

Окончание таблицы 3

Название панели	Назначение панели
Режим	Предназначена для установки режимов качания частоты по диапазонам
Значения ослабления метки	Показывает величину ослабления в положении метки
Уровень мощности	Не активна и используется как дополнительная информация
Калибровка	Производится калибровка установки. Калибровка проводится перед началом измерений
Параметры изделия	Показывает параметры изделия

3.2.2 Работа с панелями

Панель «Установка полосы качания»

На экране измерителя P2-137 визуально (по клеткам) определяем положение характеристики. Представим, что эта характеристика отображается на планшете ПО P2-137. Определяем примерное положение характеристики по клеткам. Выбираем начальную частоту полосы измерения и присваиваем ей статус «Частота F1». Затем выбираем конечную частоту полосы измерения и присваиваем ей статус «Частота F2». Характеристика автоматически развернется в заданном диапазоне частот.

Панель «Измерения»

При установке флажка на панели «Измерения» проводятся автоматические измерения ослабления, расчет добротности и предельной частоты с интервалом 1 секунда. При нажатии на кнопку «Пуск» производится разовое измерение. При этом в поле F_{pr} записывается значение вычисленной предельной частоты F_{pr} диода, а в поле Q значение добротности диода Q . В поле появляется индикация «ГОДЕН\БРАК». Если диод годен, то надпись «ГОДЕН» высвечивается на зеленом фоне, а если брак – то надпись «БРАК» на красном фоне.

Панель «Параметры изделия». Добавление новых записей в базу данных приборов

Для добавления типов приборов выбираем кнопку «Add» и нажимаем на неё. Затем задаем тип прибора. После того как задали тип прибора, необходимо выбрать тип ДК. После выбора типа ДК поле «Ск – конструктивная емкость диода (пФ)» окрасится синим фоном, подсказывая нам, что необходимо ввести значение емкости, пФ, для данного типа прибора. То же самое необходимо проделать для поля «Lp – последовательная индуктивность (нГн)», «Z0 – волновое сопротивление (Ом)», «Q – добротность, не менее», «F – предельная частота, не менее (ГГц)». После того как будут введены все данные, соответствующие выбранному типу изделия, окно «Параметры изделия» закроется. Диод будет внесен в базу диодов.

3.2.3 Алгоритм вычисления предельной частоты СВЧ диода

Алгоритм вычисления предельной частоты СВЧ диодов представлен на рисунке 14.

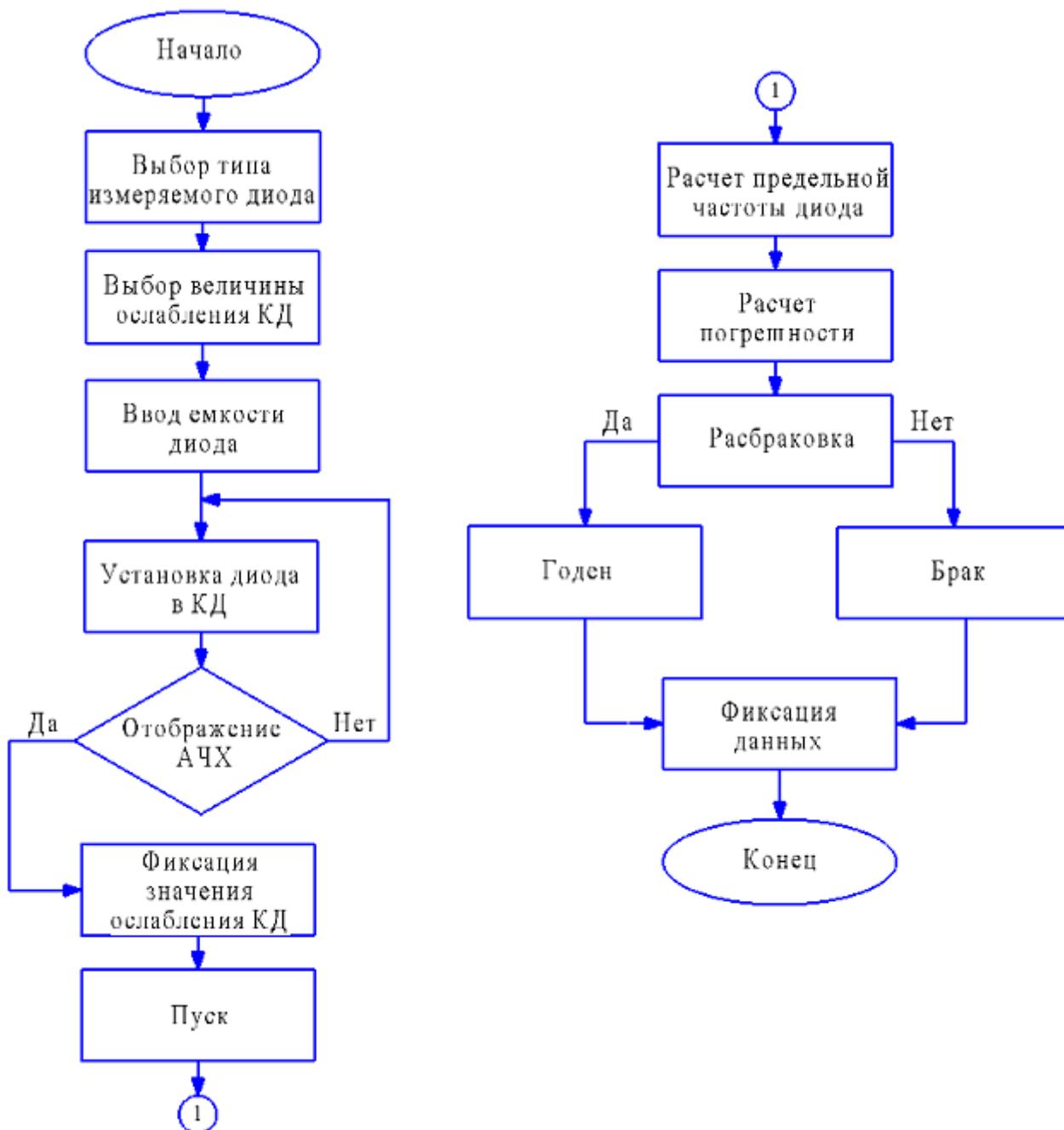


Рисунок 14 – Алгоритм измерения предельной частоты СВЧ диодов

3.3 Проверка работоспособности установки

Проверка приборов, входящих в состав установки, (измеритель Р2-137, блок смещения и ДК) производится в соответствии с техническими описаниями и инструкциями по эксплуатации.

Проверка ДК, согласованной нагрузки и кабеля производится по параметрам, приведенным в этикетке.

Развязывающую емкость в узле передачи смещения измеряется любым измерителем емкости (например, E7-12), обеспечивающим относительную погрешность в диапазоне $\pm 10\%$.

Сопротивление изоляции измеряется любым мегомметром с напряжением на зажимах 100 В (например, M1101M), при первичной аттестации.

Обрывы в проводниках кабеля проверяются с помощью тестера.

Проверка установки измерения предельной частоты и добротности СВЧ диодов проводится аналогично ее работе, только вместо испытуемого СВЧ диода в камеру помещается контрольный образец СВЧ диода.

3.4 Внесение изменений в конструкторскую документацию

В результате анализа методики измерения предельной частоты СВЧ диодов и конструкторской модернизации установки №1 была разработана эксплуатационная документация, для установки №2, в соответствии с требованиями современных стандартов на КД, таких как: ГОСТ 2.102-2013, ГОСТ 2.103-2013, ГОСТ 2.105-95, ГОСТ 2.601-2013, ГОСТ 2.610-2013.

В руководство по эксплуатации входят:

- назначение установки;
- технические характеристики установки;
- устройство и работа установки;
- описание ПО и работа с интерфейсами ПО;
- порядок работы с установкой;
- проверка установки;
- инструкция по поверке установки;
- расчет погрешности.

В формуляр входят:

- комплектность;
- движение установки при эксплуатации;
- учет работы установки;
- учет технического обслуживания;
- работы при эксплуатации.

3.5 Результаты конструкторской модернизации установки

Благодаря конструкторской модернизации были улучшены не только технические характеристики установки, но и увеличены функциональные возможности установки.

В данном разделе были сформулированы требования к конструкторской модернизации экспериментальной установки измерения предельной частоты СВЧ диодов. Была разработана структурная схема модернизированной экспериментальной установки. Также в этом разделе представлен алгоритм программного обеспечения для измерения предельной частоты СВЧ диодов.

В таблице 4 представлено сравнение основных технических характеристик.

Таблица 4 – Сравнение основных технических характеристик

Технические характеристики	Значение характеристик	
	Установка №1	Установка №2
Диапазон рабочей частоты установки, ГГц	От 3,2 до 8,1	От 2,0 до 9,0
Производительность установки, шт/ч	30	360
Точность установки частоты	$\pm 10^{-2}$	$\pm 10^{-5}$
Границы относительной погрешности измерения предельной частоты диодов, %	± 11	± 7

В таблице 5 представлено сравнение функциональности установок до и после конструкторской модернизации установки.

Таблица 5 – Сравнение функциональности установок

Измеряемая величина	Установка №1	Установка №2
Предельная частота, ГГц	Да	Да
Добротность	Нет	Да
Ослабление камеры с диодом на резонансной частоте f_0 , дБ	Нет	Да

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данном разделе рассчитываются технико-экономические показатели конструкторской модернизации средств измерения предельной частоты СВЧ умножительных полупроводниковых диодов с повышением точности измерений.

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

В отличие от других подобных методов измерений предельной частоты 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 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. Целевым рынком выполненной работы по проведению измерений предельной частоты СВЧ диодов являются научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов (НИИПП) и

учреждения, которые работают в области СВЧ измерений и на оборону страны. Потенциальные потребители СВЧ диодов являются государственные учреждения [14].

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он 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. Описание первого этапа представлено в матрице SWOT (таблица 6).

Таблица 6 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии С3. Простота применения С4. Экономия времени. С5. Наличие бюджетного финансирования С6. Высокая квалификация сотрудников	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Большие финансовые затраты
Возможности: В1. Работа с перспективными сегментами рынка В2. Повышение точности измерений параметров СВЧ диодов		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Появление наиболее перспективных разработок		

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 (таблица 7-10). 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 «-» [14].

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта. Сильные стороны и возможности проекта

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	B1	+	+	+	+	+	+
	B2	-	-	+	+	+	+

B1B2C3C4C5C6; B1C1C2.

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта. Сильные стороны и угрозы проекта

Сильные стороны проекта							
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	У1	+	+	-	+	-	-
	У2	+	+	-	+	+	+

У1У2C1C2C4; У2C5C6.

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта. Слабые стороны и возможности проекта

Слабые стороны проекта		
Возможности проекта		Сл1
	B1	+
	B2	+

B1Сл1.

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта. Слабые стороны и угрозы проекта

Слабые стороны проекта		
Угрозы проекта		Сл1
	У1	+
	У2	+

У1Сл1Сл2.

В рамках третьего этапа составим итоговую матрицу SWOT-анализа, которая представлена в таблице 10.

Таблица 11 – Итоговая матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии</p> <p>С3. Простота применения</p> <p>С4. Экономия времени.</p> <p>С5. Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С6. Высокая квалификация сотрудников</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Большие финансовый затраты</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Работа с перспективными сегментами рынка</p> <p>В2. Повышение точности измерений параметров СВЧ диодов</p>	<p>Адекватность разработки может вызвать спрос на нее, а это в свою очередь повлечет увеличение количества спонсоров В1С1С2.</p> <p>Автоматизация установки измерения предельной частоты СВЧ диодов позволяет значительно упростить работу и сократить время. Наличие финансирования и высокой квалификации сотрудников позволяет выполнить все представленные возможности В1В2С3С4С5С6</p>	<p>Научно-исследовательский институт полностью финансирует проект, а также может предложить варианты снизить финансирование научной разработки к минимуму В1Сл1Сл2.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Появление наиболее перспективных разработок</p>	<p>Поскольку в данной разработке используется более новая информация наряду со старой, это может повысить спрос и конкурентоспособность разработки</p>	<p>Если прекратится финансирование проекта, то установка не будет собрана до конца, и не будет функционировать. У1Сл1Сл2.</p>

4.2 Инициация проекта

4.2.1 Цели и результаты проекта

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

В данном разделе представлена информация о заказчике проекта (таблица 12).

Таблица 12 – Информация по заинтересованной стороне

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
АО «НИИПП»	<ol style="list-style-type: none">1. Разработка установки для измерения предельной частоты СВЧ диодов.2. Разработка эксплуатационной документации.3. Повышение точности измерений.4. Сокращение времени измерений.

В таблице 13 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей

Таблица 13 - Иерархия целей проекта и критерии достижения целей

Цели проекта:	<ol style="list-style-type: none">1. Повышение точности измерений.2. Сокращение времени измерений путем автоматизации измерений.
Ожидаемые результаты:	<ol style="list-style-type: none">1. Производство конструкторской модернизации установки.2. Повышение точности измерений.3. Сокращение времени измерений путем автоматизации измерений.
Критерии приемки результата проекта:	Программное обеспечение. Замена оборудования на более современные аналоги.
Требования к результату проекта:	Требование:
	<ol style="list-style-type: none">1. Повышение точности измерений в 1,5 раза. Погрешность измерения предельной частоты уменьшилась с 11 до 7 %.2. Сокращение времени измерений путем автоматизации измерений. С 2 минут до 2 секунд.

Рабочая группа данного проекта представлена в таблице 14.

Таблица 14 - Рабочая группа

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
Филиппова Е.М. инженер-конструктор АО «НИИПП»	Исполнитель	Реализация проекта в соответствии с поставленными задачами руководителя

В ходе реализации научного проекта, было задействовано три специалиста.

4.3 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;
- прочие расходы.

4.3.1 Затраты по основной заработной плате исполнителей темы

4.3.1.1 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 (13).

$$t_{ож} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5}, \quad (13)$$

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

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

Для выполнения работ по измерению предельной частоты 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 (14).

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (14)$$

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 $T_{КД}$ ведется по формуле (7).

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}}, \quad (15)$$

где $T_{\text{РД}}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле (16).

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (16)$$

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 (16) $T_{\text{К}} = 1,212$.

В таблице 15 представлены трудозатраты на выполнение проекта.

Таблица 15 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$	$T_{\text{РД}}$		$T_{\text{КД}}$	
					НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	2	4	3	3,36	-	4	0
Разработка и утверждение (ТЗ)	НР, И	2	3	2	2,88	0,29	4	1
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	3	1,01	3,36	1	4
Обсуждение литературы	НР, И	3	6	4	2,52	5,04	3	6
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	30	45	36	12,96	43,20	16	52
Изучение возможных методов обработки результатов измерения	НР, И	7	14	10	3,53	11,76	4	14
Выбор метода обработки результатов измерения	НР, И	6	9	7	1,73	8,64	2	1
Выбор программного обеспечения для реализации метода обработки результатов измерения	НР, И	4	7	5	3,12	6,24	4	8

Окончание таблицы 15

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					НР	И	НР	И
Разработка алгоритма программы для реализации метода обработки результатов измерения	НР, И	4	6	5	4,03	5,76	5	7
Разработка программы в среде графического программирования BASIC для обработки результатов измерения	НР, И	21	25	23	8,14	27,12	10	33
Отладка программы	И	7	14	10	3,53	11,76	4	14
Проведение испытаний на функционирование	И	2	4	3	-	3,36	0	4
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	6	9	7	-	8,64	0	10
Оформление презентационного материала	И	5	6	5	-	6,48	0	8
Подведение итогов	НР, И	5	8	6	4,46	7,44	5	9
Итого:				129	51,26	149,09	51	149

Таблица 16 иллюстрирует получившийся линейный график работ на основе рассчитанного для инженера и научного руководителя времени $T_{\text{КД}}$.

Таблица 16 – Линейный график работ

Вид работ	$T_{\text{КД}}$		Продолжительность выполнения работ																							
			нояб			дек			январь		февраль			март			апрель			май			июнь			
	НР	И	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
Постановка задачи	4	0	■																							
Разработка технического задания	4	1	■	■																						
Разработка календарного плана	1	4		■	■																					
Обсуждение литературы	3	6		■	■	■																				
Подбор и изучение материалов по тематике	16	52			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Изучение возможных методов обработки результатов измерения	4	14									■	■	■	■												
Выбор метода обработки результатов измерения	2	1											■	■	■	■										
Разработка ПО	4	8																						■		

Окончание таблицы 16

Вид работ	Т _{кд}		Продолжительность выполнения работ																				
			нояб			дек			январ		февр			март			апрель			май			июнь
	НР	И	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Разработка алгоритма программы	5	7																					
Разработка программы в BASIC	10	33																					
Отладка программы	4	14																					
Проведение испытаний на функционирование	0	4																					
Оформление расчетно-пояснительной записки	0	10																					
Оформление презентационного материала	0	8																					

По данным, представленным в таблице 16, наглядно виден объем выполнения научного проекта по месяцам и декадам (по десять дней). Заштрихованным прямоугольником показан объем работы, выполненный научным руководителем, а прямоугольник, залитый черным цветом, показывает объем выполненной работы исполнителем.

4.3.2 Расчет материальных затрат

Стоимость материалов определяется методом сметного калькулирования, основанном на прямом определении затрат по отдельным статьям, по формуле (17).

$$Z_m = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}, \quad (17)$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

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

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.).

Материальные затраты представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол - во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Измеритель КСВН и ослабления панорамный Р2-137 МЕРА.411228.002*	шт.	1	524 300	524 300
ПК	шт.	1	40 000	40 000
Нагрузка согласованная	шт.	1	5 500	5 500

Окончание таблицы 17

Наименование	Единица измерения	Кол - во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Блок смещения	шт.	1	13 759	13 759
Заправка картриджа	шт.	1	300	300
Бумага	пачка	1	250	250
Итого			584 109	584 109

Из таблицы 17 видно, что материальные затраты составили 584 109 рублей.

4.3.3 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 (18).

$$ЗП_{\text{осн}} = \sum_{i=1}^n T_i \cdot СЗП, \quad (18)$$

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 18. Расчет заработной платы определяется по системе оплаты труда на предприятии.

Таблица 18 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад (руб.)	Среднедневная заработная плата (руб./дн.)	Трудоемкость, раб. дн.	Основная заработная плата (руб.)
Руководитель	41 500	2 075	51	105 825
Инженер-конструктор	31 000	1 550	149	230950
Итого				336 775

Итого основная заработная плата за время выполнения научного проекта составила 336 775 рублей.

4.3.4 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

$$З_{отч} = (ЗП_{осн} + ЗП_{доп}) \cdot 0,3, \quad (19)$$

Итого, суммарные отчисления составляют 101 033 руб.

4.3.5 Расчет затрат на электроэнергию

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

$$Э_{об} = P_{об} \cdot Ц_{э} \cdot t_{об}, \text{ руб.} \quad (20)$$

где $P_{об}$ – 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 $T_{РД}$ (таблица 12) для инженера из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле

$$P_{ОБ} = P_{УСТ.ОБ} \cdot K_C, \quad (21)$$

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 19.

Таблица 19 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{ОБ}$, час	Потребляемая мощность $P_{ОБ}$, кВт	Затраты $Э_{ОБ}$, руб.
ПК	880	0,45	2 082
Измеритель КСВН и ослабления панорамный Р2-137 МЕРА.411228.002*	880	0,05	231
Блок смещения	880	0,012	56
Струйный принтер	30	0,15	24
Итого:			2 393

4.3.6 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

$$Z_{накл} = (ZП_{осн} + ZП_{доп} + Z_{отч}) \cdot k_{нр}, \quad (22)$$

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

Следовательно, $Z_{накл} = 218\,904$ 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 [14].

Произведем расчет себестоимости и оформим результаты в таблицу 20.

Таблица 20 – Расчет себестоимости разработки метода обработки результатов измерения предельной частоты диодов

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	584 109
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	336 775
Затраты на электроэнергию для технологических целей	2 393
Отчисления во внебюджетные фонды	101 033
Накладные расходы	218 904
Себестоимость проекта	1 243 214

4.4 Оценка эффективности от внедрения разработки

Экономический эффект данной работы трудно оценить в ее собственных рамках, требуется более подробный анализ, предполагающий отдельного серьезного исследования с привязкой к конкретному объекту, в известных масштабах. Эффект работы можно выразить через точность и надежность системы в сравнении с другими возможными методами измерения предельной частоты диодов. Подобные диоды применяются в различных областях, например, в радиопередающей и приемной аппаратуре, которая предназначена для передачи энергии СВЧ волн. Также они применяются для управления радиосигналами, которые имеют сверхвысокую частоту, в сантиметровых и миллиметровых диапазонах излучений. Диоды применяются при лабораторных и стендовых испытаниях, проводимых в интересах отрасли авиапромышленности. Поэтому точный результат

измерения предельной частоты диодов с низкой погрешностью необходим для прогнозирования дальнейшего использования диодов. Результаты проделанной работы представлены в таблице 21.

Таблица 21

Параметр	До	После	Примечание
Произведение конструкторской модернизации установки.	Использовались СИ с большими погрешностями измерения, устаревшими и некоторые сняты с производства.	Используются СИ с низкими погрешностями измерения. Сократилось количество СИ, входящих в состав установки.	Легко доступные СИ.
Повышение точности измерений предельной частоты СВЧ диодов	11 %	7 %	Повысить точность измерения удалось за счет использования СИ с меньшей погрешностью по сравнению с предыдущими СИ, и сокращению количества СИ в установке.
Сокращение времени измерений путем автоматизации измерений.	2 минуты	2 секунды	Время измерения уменьшилось за счет автоматизации процесса. Было разработано ПО, которое обеспечивало прямые измерения.

В таблице 21 наглядно представлены результаты проделанной работы в виде сравнения до начала и после проведения конструкторской модернизации установки измерения предельной частоты СВЧ диодов. Также в таблице 21 описаны критерии, благодаря которым, мы достигли желаемого результата.

5 Социальная ответственность

Обеспечение безопасной жизнедеятельности человека в значительной степени зависит от правильной оценки опасных, вредных производственных факторов. Одинаковые по тяжести изменения в организме человека могут быть вызваны различными причинами. Это могут быть какие-либо факторы производственной среды, чрезмерная физическая и умственная нагрузка, нервно-эмоциональное напряжение, а также разное сочетание этих причин.

В настоящей работе предложен способ повышения метрологических характеристик при измерении предельной частоты диодов, измеренные данные визуализируются на компьютере, состоящем из системного блока и монитора, поэтому выполняемые работы сводятся к взаимодействию с ПК. Работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером, следовательно, можно выделить следующих физические факторы, влияющих на здоровье человека: длительное неизменное положение тела, напряжение глаз, свет, шум, микроклимат, воздействие электромагнитных и электростатических полей (ЭМП и ЭСП).

В данной главе будет разработан комплекс мероприятий, который позволит свести к минимуму или ликвидировать негативные влияния факторов, возникающие при работе с компьютером.

5.1 Производственная безопасность

Анализ выявленных вредных факторов рабочего помещения

В настоящее время эффективная профессиональная деятельность невозможна без обеспечения безопасности человека в среде обитания. Учитывая, что превращение биосферы в техносферу привело к стремительному росту опасностей и чрезвычайных ситуаций природного и

техногенного характера, вопросы защиты человека (безопасность) и окружающей природной сферы (экологичность) должны решаться специалистами всех отраслей.

Вредные проявления факторов в рассматриваемой рабочей зоне обусловлены электромагнитными, электростатическими излучениями от ПК. Поэтому с точки зрения безопасности, важно научиться пользоваться ПК и правильно организовать работу.

Отрицательное влияние компьютера на человека является комплексным, во время работы за компьютером на организм влияет целый ряд негативных физических и психологических факторов, а именно:

- длительное пребывание в одном и том же (сидячем) положении и повторение однотипных движений, монотонность труда;
- утомление глаз, повышенная нагрузка на зрение;
- умственное перенапряжение, обусловленное характером решаемых задач;
- повышенная пульсация светового потока;
- повышенный уровень электромагнитных излучений различных частот от монитора и системного блока;
- повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте;
- повышенный уровень статического электричества при неправильно спроектированной рабочей зоне;
- опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Далее более подробно рассмотрим опасные и вредные факторы, воздействующие на метролога, возникающие в связи с разработкой, данной системы.

Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм

человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Нормативные требования к отдельным показателям микроклимата, их сочетаниям, разработанные на основе изучения теплообмена и теплового состояния человека в микроклиматических камерах и в производственных условиях, а также на основе клинических и эпидемиологических исследований, изложены в СанПиН 2.2.4.548-96 [15].

Лаборатория является помещением, относящимся к категории помещений где, выполняются легкие физические работы, поэтому должны соблюдаться требования, приведенные в таблице 22 в соответствии с [15].

Таблица 22 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категории работ Ia

Период года	Наименование параметра			
	Температура воздуха, С°	Температура поверхностей, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с.
Холодный	22-24	21-25	40-60	0,1
Теплый	23-25	22-26	40-60	0,1

Таблица 23 – Фактические величины температуры на рабочем месте для категории работ Ia.

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

Следовательно, фактические значения температуры и влажности не выходят за установленные границы.

Для создания и автоматического поддержания в лаборатории независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года

используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха.

Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Повышенный уровень шума на рабочем месте

В лаборатории, где работает метролог, низкий уровень общего шума. Источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры, ЭВМ и его периферийные устройства. Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 эквивалентный уровень звука не должен превышать 80 дБА. Для того, чтобы добиться этого уровня шума на рабочем месте применяется:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом. Снижает шум на 6-8 дБ;
- рациональная планировка помещения;
- установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- экранирование рабочего места, путем постановки перегородок, диафрагм.

Защиту от шума следует выполнять в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83, а звукоизоляция ограждающих конструкций должна отвечать требованиям СП 23-103-2003 [17].

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Электромагнитные поля, характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, наиболее вредны для организма человек. Основным источником этих проблем, связанных с охраной здоровья людей, использующих в своей работе автоматизированные информационные системы на основе персональных компьютеров, являются дисплеи

(мониторы), они представляют собой источники наиболее вредных излучений, неблагоприятно влияющих на здоровье работника.

Предельно допустимые значения излучений от ЭВМ в соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 [16] приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

На расстоянии 5-10 см от экрана и корпуса монитора уровни напряженности могут достигать 140 В/м по электрической составляющей, что значительно превышает допустимые значения.

Для предупреждения внедрения опасной техники все дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности, например, международным стандартам MRP 2, TCO 99.

В рабочее время метролога при 8-ми часовой смене делаются перерывы и применяются защитные экраны для ЭВМ.

Для снятия заряда защитный экран, установленный на мониторе необходимо заземлить.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Работа, выполняемая с использованием вычислительной техники, относится к III разряду зрительной работы, имеют следующие недостатки:

- отражение экрана;
- вероятность появления прямой блескости;
- ухудшенная контрастность между изображением и фоном.

В связи с тем, что естественное освещение слабое, на рабочем месте применяются также искусственное освещение.

При неудовлетворительном освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых сотрудниками ошибок. Для характеристики естественного освещения используется коэффициент естественной освещенности. Величины коэффициента естественной освещенности для различных помещений лежат в пределах 0,1 – 12%. Работа за компьютером с относительной продолжительностью зрительной работы менее 70 % относится к разряду II, подразряду Б. В помещениях, предназначенных для работы с ПЭВМ, освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения должна быть не менее 300 лк. Коэффициент пульсации освещенности не должен превышать 5 %, коэффициент естественной освещенности (КЕО) не должен превышать 2,1 % в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 [18] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340 - 03 [19]. Если в светлое время суток уровень естественного освещения не соответствует нормам, то его дополняют искусственным. Такой вид освещения называют совмещенным.

На рабочем месте соблюдаются необходимые нормы освещенности согласно ГОСТ Р 55710-2013. «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений». В административных зданиях, а в частности в помещениях для чтения, письма и обработки данных эксплуатационная освещенность должна составлять 300 лк, что соответствует показателям.

Анализ выявленных опасных факторов рабочего помещения

Электробезопасность. Статическое электричество

Помещение лаборатории по опасности поражения электрическим током можно отнести к 1 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности (сухое, бес пыльное, с нормальной температурой воздуха, изолированными полами и малым числом заземленных приборов).

На рабочем месте метролога из всего оборудования металлическим является лишь корпус системного блока компьютера, но здесь используются системные блоки, отвечающие стандарту фирмы IBM, в которых кроме рабочей изоляции предусмотрен элемент для заземления и провод с

заземляющей жилой для присоединения к источнику питания. Таким образом, оборудование обменного пункта выполнено по классу 1, в соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

Электробезопасность обеспечивается в соответствии с ГОСТ Р 12.1.019-2009. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляется в виде электротравм.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека.

Электробезопасность в помещении лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

Рассмотрим основные причины поражения человека электрическим током на рабочем месте:

- прикосновение к металлическим нетоковедущим частям (корпусу, периферии компьютера), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции;
- нерегламентированное использование электрических приборов;
- отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

В течение работы на корпусе компьютера накапливается статическое электричество. На расстоянии от 5 до 10 см от экрана напряженность электростатического поля составляет от 60 до 280 кВ/м, то есть в 10 раз превышает норму 20 кВ/м. Для уменьшения напряжённости применяются увлажнители и нейтрализаторы, антистатическое покрытие пола.

Кроме того, при неисправности каких-либо блоков компьютера, приборов корпус может оказаться под током, что может привести к электрическим травмам или электрическим ударам. Для устранения этого обеспечивается подсоединение металлических корпусов оборудования к заземляющей жиле.

Обеспечение электробезопасности техническими способами и средствами

Так как все токоведущие части ЭВМ и других приборов используемых метрологом изолированы, то случайное прикосновение к токоведущим частям исключено. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяется защитное заземление.

Заземление корпуса ЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно ПУЭ для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Организационные и технические мероприятия по обеспечению электробезопасности

Основным организационным мероприятием является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе. При проведении незапланированного и планового ремонта вычислительной или любой другой техники выполняются следующие действия:

- отключение приборов от сети;
- проверка отсутствия напряжения.

После выполнения этих действий проводится ремонт неисправного оборудования. Если ремонт проводится на токоведущих частях, находящихся под напряжением, то выполнение работы проводится не менее чем двумя лицами с применением электрозащитных средств.

5.2 Экологическая безопасность

Работа с ПК не влечет за собой негативных воздействий на окружающую среду, поэтому создание санитарно-защитной зоны и принятие мер по защите атмосферы, гидросферы, литосферы не являются необходимыми.

Исключением являются лишь случаи утилизации ПК и используемых СИ как твердых отходов и как следствие загрязнение почвы или выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, углекислого газа, образование тепла в случае пожара.

При завершении срока службы ПК и СИ их можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка таких отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для дальнейшего использования (например, кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы) согласно [20]. Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха. Части компьютера, печатные платы, содержащие тяжелые металлы и замедлители горения могут при горении выделять опасные диоксиды. Поэтому для опасных отходов существуют специальные печи, позволяющие использовать теплоту сжигания. Но подобный способ утилизации является дорогостоящим, поэтому не стоит исключать вероятность образования токсичных выбросов.

Отходы, не подлежащие переработке и вторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах или в почве. Предельно допустимые концентрации токсичных веществ в почве (ПДКп, мг/кг) должны быть соблюдены в соответствии с [20].

Утилизация светодиодных ламп

Светодиодные лампы широко используются коммерческими структурами в помещениях и офисах, торговых центрах и магазинах.

Потребителя привлекает не только экономичность и безопасность, но и разнообразие формы исполнения и возможность корректировки угла падения светового луча. В зависимости от комплектации, трубки содержат сверхяркие светодиоды и микроструктурированные линзы, излучаемый свет равномерно распределяется по всему помещению без мерцающего эффекта, не слепит глаза. Утилизация светодиодных ламп коммерческими организациями не потребует соблюдения законодательных актов и привлечения сторонних компаний, в отличие от люминесцентных ламп. Экологичность светодиодных трубок очевидна, преимущество отсутствия какого-либо газа в работе лампы отбрасывает главного конкурента – люминесцентную энергосберегающую лампу, далеко в прошлое.

Непосредственная утилизация светодиодных ламп происходит по стандартной схеме утилизации твердых бытовых отходов. Корпус, изготовленный из поликарбоната и алюминия, отправится на переработку вторсырья. Стеклый цоколь лампы подвергается измельчению и уйдет как расходный материал для производства стройматериалов и новых стеклосодержащих изделий. Отсутствие люминофора и ртути позволит обойтись без затратного метода демеркуризации использованного изделия и особых условий по сбору и транспортировке отходов. При работе с отходами светодиодных трубок отсутствует потребность использования дополнительных средств защиты. Таким образом, использование светодиодных ламп это не только экономия собственных материальных средств, но и своеобразный существенный вклад в защиту окружающей среды.

Особенности законодательного регулирования проектных решений

Производственный экологический контроль (ПЭК) - непосредственная деятельность предприятий, организаций, учреждений по

управлению воздействием на окружающую среду на основе описания, наблюдения, оценки и прогноза источников воздействия и отходов.

Производственный контроль проводится самим предприятием – природопользователем на своих объектах с целью обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности требований природоохранного законодательства и соблюдения установленных нормативов в области охраны окружающей среды, а также самопроверки рациональности природопользования на своих объектах и выполнения планов мероприятий по ограничению и уменьшению воздействия на окружающую среду. Содержание такого контроля, прежде всего, зависит от специфики деятельности предприятия. Проводить производственный экологический контроль в соответствии с [21] обязана экологическая служба, которая в соответствии с [22] должна быть организована соответствующим юридическим лицом. Сведения об организации производственного экологического контроля предприятия обязаны представлять в органы исполнительной власти и органы местного самоуправления.

В соответствии с [21] экологический контроль преследует следующие задачи:

- обеспечения органами государственной власти Российской Федерации, органами государственной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, юридическими и физическими лицами исполнения законодательства в области охраны окружающей среды;

- соблюдения требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды;

- обеспечения экологической безопасности.

Охрана окружающей среды не ограничивается соблюдением требований соответствующего законодательства. Для разработки научных прогнозов и планов сохранения и восстановления окружающей среды, оценки последствий негативного воздействия на окружающую среду

деятельности человека, совершенствования законодательства в области охраны окружающей среды необходимо проведение научных исследований в области охраны окружающей среды. Кроме того, в [20] предусмотрены основы создания экологической культуры.

За нарушение законодательства в области охраны окружающей среды устанавливается имущественная, дисциплинарная, административная и уголовная ответственность в соответствии с законодательством. Споры в области охраны окружающей среды разрешаются в судебном порядке в соответствии с законодательством согласно [20].

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Ответственность за обеспечение мер пожарной безопасности при проведении пожароопасных работ возлагается на руководителя подразделения, на территории которого проводятся работы.

Требования инструкции являются обязательными для исполнения всеми сотрудниками.

Лица, виновные в нарушении Правил пожарной безопасности, несут дисциплинарную, административную или уголовную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Основные причины возникновения пожара:

1) Воспламенение термопласта в ВПФ и ВСШ в результате повышения температуры нагревателей из-за:

- отказа терморегуляторов и датчиков температуры;
- неправильной установки датчиков температуры и силовых разъемов для электропитания нагревателей.

2) Воспламенение используемых материалов в результате взрыва от повышенной температуры летучих продуктов термоокислительной деструкции или аэрозвеси термопласта, содержание которых в воздухе рабочей зоны превысило предельно-допустимые нормы.

3) Воспламенение изоляции электрических проводов, автотрансформаторов, трансформаторов, в результате длительного воздействия повышенной нагрузки, короткого замыкания или других причин.

Меры предупреждения возникновения пожара:

Перед началом технологического процесса необходимо проверить:

- исправность нагревателей ВПФ и ВСШ;
- правильность установки датчиков температуры;
- правильность подключения силовых разъемов питающих проводов;
- исправность автоматизированной системы регулирования температуры.

Во время технологического процесса каждые 30 минут производить осмотр рабочего оборудования, контроль температуры и остаточного давления в ВПФ по соответствующим приборам.

В случае перегрева ВПФ или ВСШ необходимо:

- отключить питание нагревателей;
- отключить систему регулирования температуры;
- устранить причину перегрева;
- устранить возникшие неисправности;
- охладить ВПФ или ВСШ до заданной температуры, затем продолжить технологический процесс.

При невозможности устранить возникшие неисправности необходимо обесточить соответствующее электрооборудование и сообщить о происходящем руководителю лаборатории.

Вывод по всему разделу «Социальная ответственность»

На рабочем месте показатели микроклимата, освещенности, шума и электромагнитных излучений находятся в норме, следовательно для человека это безопасно. Опасные факторы рабочего помещения такие, как электробезопасность, пожаробезопасность и экологическая безопасность контролируются, применением всех необходимых мер безопасности своевременно.

Заключение

Постоянное стремление понять принцип работы каждого элемента схемы особенно впервые появляющихся на участке, умение читать и составлять структурные схемы установок, умение делать необходимые расчеты, требующиеся в процессе измерения, овладение всеми методами самоконтроля быстро приводят к росту профессионального мастерства, и создают основу для повышения точности измерений требующихся параметров.

При анализе методики измерения предельной частоты, разработанной по ГОСТ 19656.9-79, была предложена новая методика измерений предельной частоты и добротности СВЧ диодов. Методика, разработанная в 1987 году, была основана на измерителе КВСН панорамном Р2-54. В ходе анализа измеритель КВСН панорамный Р2-54 был заменен на измеритель КСВН панорамный Р2-137, который имеет границ допускаяемой погрешности отсчета и установки частоты выходного сигнала встроенного генератора не более 10^{-5} от текущей частоты, что на три порядка меньше чем у измерителя КСВН панорамного Р2-54. В результате замены СИ, были уменьшены результаты погрешности измерения предельной частоты СВЧ диодов с 11 % до 7 %.

На установке, которая работала на измерителе КСВН панорамном Р2-54, измерения предельных частот СВЧ диодов были косвенными, поэтому обработка результатов занимала в среднем 2 мин. Для решения этой задачи было разработано ПО, которое позволило сократить время обработки результатов в среднем до 2 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гусятинер М.С., Горбачев А.И. Полупроводниковые сверхвысокочастотные диоды. – М.: Радио и связь, 1983. –224 с.
- 2 СВЧ полупроводниковые приборы и их применение/ Под ред. Г. Уотсона: Пер. с англ./ Под ред. В.С. Эткина. М.: Мир, 1972. – 662 с.
- 3 Электронно-дырочный переход и процессы, в нем происходящие. – Режим доступа: <http://mydocx.ru/>.
- 4 Пильдон В.И., Визель А.А. полупроводниковые диоды для умножения частоты. – В кн.: Полупроводниковые приборы и их применение/ Под ред. Я.А. Федотова. – М.: Сов. Радио, 1970, вып. 23, с. 82-108.
- 5 Пильдон В.И. полупроводниковые умножительные диоды. – М.: Радио и связь, 1981. – 136 с.
- 6 Запорожец Д. В. Моделирование и исследование процессов в оптико-микроволновом модуляторе на основе резонансных структур: диссертация кандидата физико-математических наук: 01.04.05. - Краснодар, 2006. - 234 с.: ил.
- 7 Усанов Д.А., Яфаров Р.К. Исследование эффективности и равномерности возбуждения волноводно-резонаторных СВЧ устройств для вакуумно-плазменной обработки материалов на широкоформатных носителях: Учеб. пособие для студ. фак. Нано и биомедицинских технологий. – Изд-во Саратов. ун-та, 2013.- 37 с.: ил.
- 8 Антонец И.В. Физика волновых процессов и явлений. Часть первая. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарского университета, 2008. 104 с.
- 9 Изюмова Т.И., Свиридов В.Г. Волноводы, коаксиальные и полосковые линии. – М.: Энергия, 1975. – 112 с.
- 10 Ефимов И.Е. Шермина Г.А. Волноводные линии передачи. – М.: Связь, 1979. – 231 с.
- 11 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.

12 Коннэлл Дж. Visual Basic 6. Введение в программирование баз данных: Пер. с англ. – М.: ДМК, 2000. - 720 с: ил. (Серия «Для программистов»).

13 Культин Н.Б. Visual Basic. Освой на примерах. — СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 288 с.

14 Гаврикова Н.А. Г123 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

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

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

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

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

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

20 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.

21 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>.

22 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)**

Название раздела на АЯ
Объект исследования

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Филиппова Екатерина Михайловна		

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 OBJECT OF RESEARCH

1.1 Technique of measurement of limiting frequency of the diodes

Object of research is the technique of measurement of limiting frequency semiconductor frequency multiplication diodes, which it is in detail described in GOST 19656.9-79 «Diodes semi-conductor microwave of diodes parametrical and semiconductor frequency multiplication diodes». In this state standard specification three different methods of measurement of limiting frequency of diodes are presented: method of two-port networks, method of a consecutive resonance of the diode and resonant method.

The method of the consecutive was applied to measurements of limiting frequency of diodes resonance.

Principle and conditions of measurements

Constant of time or limiting frequency on frequency of a consecutive resonance of the diode is defined:

- measurement of frequencies f_1 and f_2 the peak and frequency characteristic of the measuring chamber with the diode, on which capacity in A times more, than on resonant frequency;

- easing measurement T the measuring chamber with the diode on resonant frequency f_{cd} and easing measurement T_n the measuring chamber without the diode on to the same frequency.

Microwave capacity P_0 , frequency of measurements f_{cd} , tension of shift U_{cm} , at which make measurements, should be brought in standards or specifications on diodes of concrete types.

On this method installation of measurement of limiting frequency of the diodes in 1987 was developed.

1.2 Technical characteristics

Installation, developed on the basis of GOST 19656.9-79, provides the following technical characteristics

- range of working frequencies from 3,2 to 8,1 GHz;
- range of a task of tension of shift on the diode from 0 to 50 V;
- error of a task of tension of shift on the diode no more than $\pm 2 \%$;
- factor of a pulsation of tension of shift at a current to loading to 10 mA no more than $\pm 0,1 \%$;
- error of measurement of limiting frequency no more than $\pm 15 \%$ with confidential probability 0,997;
- SWR wave of the diode chamber without the diode no more than 1,2 in a range of frequencies of installation;
- value of the capacity submitted on the diode, no more $(10^{-3} - 10^{-4})$ W.

1.3 Device and installation work

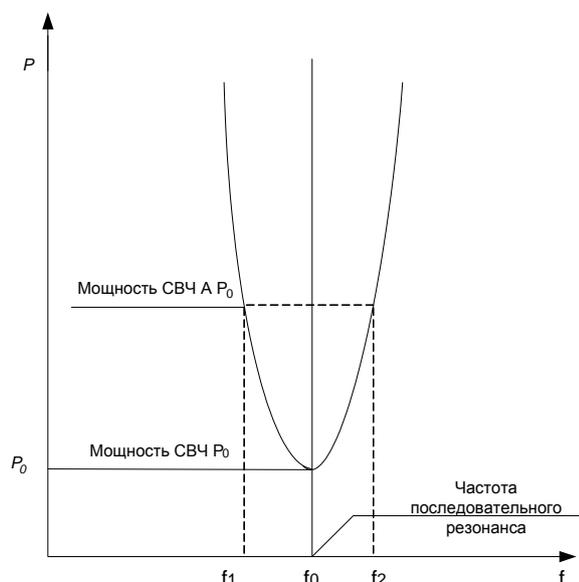
The diode turns on parallel to the microwave to a path in the coaxial chamber. Distance between internal and external conductors equally to height of the ceramic plug of the diode. The peak and frequency characteristic (further – PFC) the chamber with the diode looks like a resonant curve with a minimum on frequency of a consecutive resonance (drawing 1).

Limiting frequency of diodes type is defined on a formula:

$$f_{limit} = \frac{f_1 \times f_2 \times \sqrt{A - 1}}{f_2 - f_1} \quad (1)$$

where f_1, f_2 – the frequencies measured at level A PFC, GHz;

A – the level showing in how many time capacity on an exit of the diode chamber changed on frequencies f_1 and f_2 in comparison with capacity on frequency of a consecutive resonance of the diode, relative pieces.

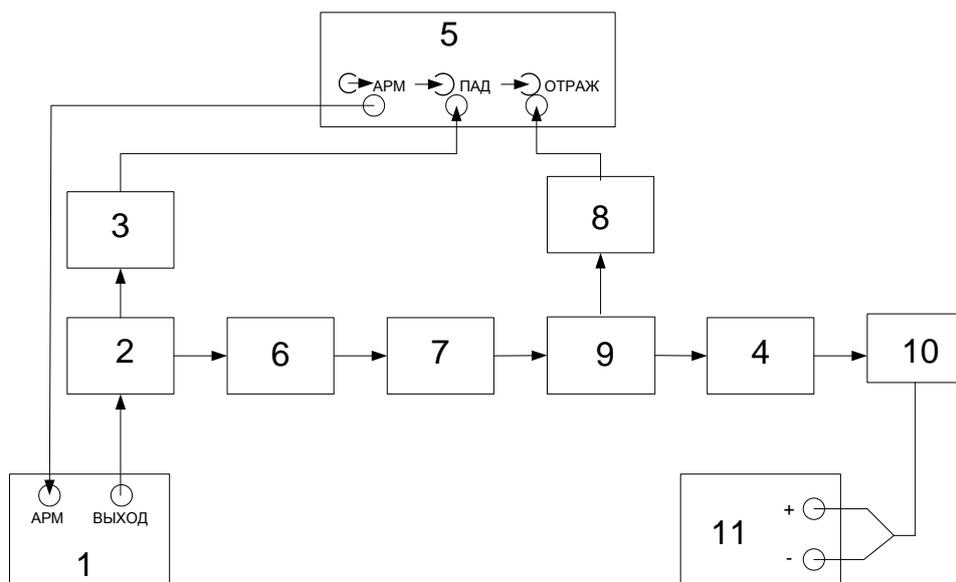


Drawing 5 – The peak and frequency characteristic of the chamber from the diodes, adjusted on frequency of a consecutive resonance

On the diode placed in the chamber diode (a position 6, drawing 6), moves tension of shift of the set polarity from the shift block (a position 11, drawing6).

From the generator of shaking frequency (further – GSF) (a position 1, drawing 6), an directional couplers (a position 2, drawing 6), transition (further – transition 1) (a position 4, drawing 6), on the diode chamber, the microwave a signal in the set strip of frequencies is given. The part of a signal is reflected from the diode, the part passes on an exit of the diode chamber. Last signal through the transition 1, the directional couplers gets in the coordinated loading (position 10, drawing 6).

The device and work of installation are explained by the block diagram provided on drawing 6. Shooters in drawing showed transmission of energy of an electric signal.



- 12 – the generator of shaking frequency (GSF) 57;
- 13 – directional couplers;
- 14 – head detector;
- 15 – transition 1;
- 16 – the indicator of SWR and easing;
- 17 – chamber diode;
- 18 – transition 2;
- 19 – head detector;
- 20 – directional couplers;
- 21 – loading coordinated;
- 22 – shift block.

Drawing 6 – The block diagram of installation of measurement of the limiting it is frequently are the diodes

The directional couplers (a position 2, drawing 6), it is focused on a falling wave. The detector head is connected to its secondary line (a position 3, drawing 6). From its exit the stress proportional to capacity of the falling wave is removed, and moves on the SWR indicator and weakening Ya2R-67 ЦГО2.043.030 of TU (further – the indicator), (a position 5, drawing 6).

The directional couplers (a position 9, drawing 6), it is also focused on a falling wave. The head is connected to its secondary line detector (a position 8,

drawing 6). From its exit the stress proportional to capacity of last wave through the chamber with the diode is removed, and moves on the indicator.

On the screen of the indicator chamber PFC with the diode is observed.

1.4 Device and work of components of installation

Measuring instrument of SWR the panoramic (P2-54/1, P2-54/2) is intended for the panoramic displays on the screen of the indicator and measurement of PFC parameters of elements of coaxial paths. The measuring instrument provides a range of working frequencies from 3,2 to 8,1 GHz:

The measuring instrument consists of the following devices and assembly units:

2.3.1 the generator of shaking frequency: (GSF) 57 and (GSF) 59;

2.3.2 Ya2R-67 indicator;

2.3.3 the directional couplers (2 pieces);

2.3.4 detector heads (2 pieces);

2.3.5 cables connecting.

1.5 Work principle

Work of a measuring instrument is based on a principle of separate allocation of the signals proportional to capacity falling from generator and passed through measured diode.

As the signal microwave generator in a measuring instrument GSF is used (position 1, drawing 6). A basic purpose of GSF – generating of a microwave signal with changing frequency. Basic purpose of the indicator (position 5, drawing 6) – transformation of the signals bearing information on parameters of measured objects, for the purpose of a possibility of supervision of frequency characteristics of objects on the EBT screen, and also direct counting of SWR and easing on a scale. The microwave a signal with GSF exit by means of a coaxial cable, moves on an entrance of the directional couplers (a position 2, drawing 6).

The detector head is connected to an exit of the secondary channel of a falling wave (позиция 3, drawing 6), connected to an indicator entrance « $\rightarrow_{\text{ПАД}}$ ». In the indicator the signal of a falling wave amplifies and moves on the socket « \leftarrow_{APM} », "APM" of GSF connected to an entrance. The detector head is connected to an exit of the secondary channel of the reflected wave (a position 8, drawing 6), connected to an indicator entrance « $\rightarrow_{\text{ОТРАЖ}}$ ».

By means of system APM GSF and a measuring instrument of the relations of the indicator on an exit of the amplifier of the reflected wave the signal proportional to the relation of tension on exits of the channel of reflected and the channel of the falling wave turns out. This signal moves on the synchronous detector in which there is a further strengthening and detecting. Target tension of the synchronous detector moves on an entrance of the amplifier of a deviation or visual indication on EBT.

The principle of action and the description of work of the GSF separate hubs and the indicator are given in the technical specification and the maintenance instruction on GSF and the indicator respectively.

In the GSF control unit it is developed:

- the sawtooth tension providing horizontal development on the EBT screen of the indicator;
- the tension providing indication of the exposed range of frequencies and determination of frequency in an interesting point of the characteristic, observed on the EBT screen;
- the tension proportional to tension, GSF operating frequency, for development of the correcting signal providing possibility to make compensation not to identity to the microwave oven of channels at calibration of a measuring instrument.

Transition (position 4, drawing 6) carries out connection of the directional couplers with the coordinated loading. Transition (position 7, drawing 6) carries out

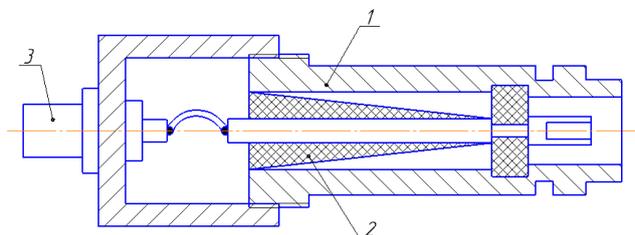
connection of the diode chamber (a position 6, drawing 6). T_{0StU} transitions no more than 1,2 in a range of frequencies of installation.

Shift block (position 11, drawing 6) it is intended for giving of tension of shift on the diode with simultaneous control. The block of shift corresponds to specifications:

- range of a task of tension of shift on the diode from 0 to 50 In;
- error of a task of tension of shift no more than $\pm 2 \%$;
- factor of a pulsation of tension of shift at thatke to loading to 10 mA no more $\pm 0,1 \%$.

Loading coordinated (a position 10, drawing 6) it is intended for absorption of the microwave of capacity and giving of tension of shift on the diode. Tension of shift moves from the shift block by means of a cable on the loading socket (a position 3, drawing 7). The coordinated loading is presented in drawing 7.

The socket case electricly is connected to the external conductor of a coaxial path. K_{crU} to the coordinated loading no more than 1,1.



4 - case;

5 - absorbing wedge;

6 - socket fork SR-50-267f.

Drawing 7 – The coordinated loading

1.6 Operating procedure

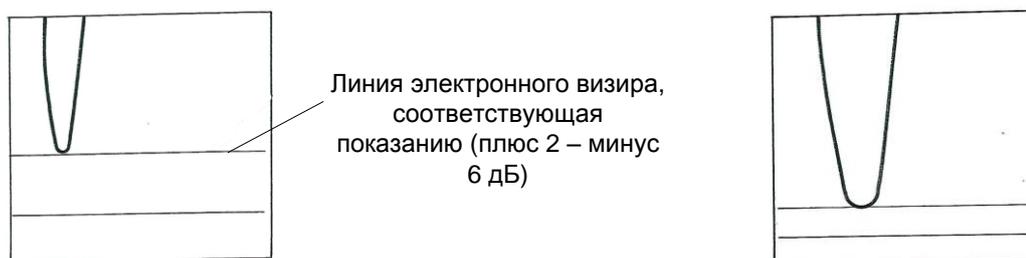
We place in the diode chamber (a position 6, drawing 6) the measured diode. We submit demanded tension of shift handles «ГРУБО», «ПЛАВНО» and «ПРИНУДИТЕЛЬНО». Thus it is necessary to watch a microammeter arrow the block and shifts (position 11, drawing 6), it should not deviate at the correct observance of polarity of tension of shift.

The line of calibration will look like, presented in drawing 8 a).

We establish the LIMITS switch on the indicator (a position 5, drawing 6) in such situation that at combination of an electronic viewfinder, by means of the COUNTING handle, with a minimum of a resonant curve (drawing 8)) easing indications on the top scale of the indicator lay in limits from 2 to a minus of 6 dB, and we press the button «Λ» indicator panels (a position 5, drawing 6).



а)



б) в)

Drawing 8 – A type of a curve on the indicator screen: а) at a room in the chamber of the diode and giving of tension of shift on it; б) when switching «ПРЕДЕЛЫ» switch; в) at the moment of measurement

By means of handles «F1, F0», «F2, ΔF» the generator (a position 1, drawing 6) we achieve such form of a resonant curve at which the curve would occupy approximately the one fifth part of the screen of the indicator in its central part (drawing 8 в)).

Then we establish the generator switch (a position 1, drawing 6) to «ВР ПЕРЕСТРОЙКИ S» in the situation «РУЧ». We establish the «РУЧ» generator handle a signal point on the indicator screen (a position 5, drawing 6) in a

minimum of a resonant curve. We combine a point of an electronic viewfinder with a signal point by means of the «ОТСЧЕТ» handle on the indicator and we turn to the left on one step the «ПРЕДЕЛЫ» switch. Thus easing will decrease by size $A = 5$ dB (a point of an electronic viewfinder to move down on the screen on 5 dB).

We combine a signal point with a point of an electronic viewfinder by means of «РУЧ» handle turn on the generator to the right or to the left before suppression with the line of an electronic viewfinder. Crossing of two points will correspond to f_2 or f_1 value respectively.

After received f_2 and f_1 values, it is possible to calculate limiting frequency of the diode on a formula (1).