

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

Институт: Физико-технический
Направление подготовки: Техническая физика
Кафедра: Экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка генератора анализирующих импульсов профилированного напряжения для времяпролётного спектрометра

УДК 539.1.075:621.374

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД31	Вересов А.Е.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель группы	Петров А.В.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ПФ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭФ ФТИ	Кривобоков В.П.	д.ф.-м.н., профессор		

**Результаты обучения бакалавров
направления 16.03.01 «Техническая физика»
(профиль «Пучковые и плазменные технологии»)**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Использовать фундаментальные законы природы и естественнонаучных дисциплин, физико-математический аппарат, методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач в различных отраслях технической физики.	Требования ФГОС (ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Участвовать в теоретических и экспериментальных исследованиях в различных отраслях технической физики, связанных с современными высокотехнологическими способами обработки материалов, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков; самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий, изучать научно-техническую информацию, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых объектов.	Требования ФГОС (ПК-4, 10, 11, 12, 13). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Владеть основными методами работы с информацией, самостоятельно работать на компьютере в средах современных операционных систем и наиболее распространенных прикладных программ и программ компьютерной графики, применять современные образовательные и информационные технологии.	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 7). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Знать иностранный язык на уровне, позволяющем работать с научно-технической литературой и участвовать в международном сотрудничестве в области технической физики.	Требования ФГОС (ПК-8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Участвовать в производственно-технологической деятельности, определять основные параметры технологических процессов, анализировать свойства физико-технических объектов, изделий и материалов, применять современные информационные технологии, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов и изделий.	Требования ФГОС (ПК-14, 15, 17). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации изделий, элементы экономического анализа производственно-технологических циклов, знать и выполнять правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда.	Требования ФГОС (ПК-16, 18). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных электрофизических установок, реализующих современные пучковые и плазменные технологии, проектировать	Требования ФГОС (ПК-19, 20). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	технологические процессы и оборудование с использованием современных информационных технологий.	EUR-ACE и FEANI
P8	Участвовать в организационно-управленческой деятельности, уметь работать в команде и организовывать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-21, 22, 23). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Внедрять и коммерциализировать результаты исследований и проектно-конструкторских разработок, уметь оценивать инновационный потенциал новой продукции в области современных технологий, основанных на использовании радиационных и плазменных потоков.	Требования ФГОС (ПК-21, 22, 23, 24). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные компетенции</i>		
P10	Осознавать социальную значимость своей профессии, развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, в течение всей жизни самостоятельно обучаться новым методам исследований, пополнять свои знания в области современной технической физики и смежных наук, расширять и углублять свое научное мировоззрение, повышать свою квалификацию и мастерство, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6, ПК-1). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового и профессионального общения, владеть навыками публичной дискуссии, создавать и редактировать тексты профессионального назначения.	Требования ФГОС (ОК-2). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P12	Уметь критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, 7, ПК-3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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

Институт: Физико-технический
Направление подготовки: Техническая физика
Кафедра: Экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. Кафедрой ВЭПТ
_____ Кривобоков В.П.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

На выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
ОД31	Вересову Александру Евгеньевичу

Тема работы:

Разработка генератора анализирующих импульсов профилированного напряжения для времяпролётного спектрометра	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none">1. РК-75-4 Коаксиальный радиочастотный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом.2. Диод ультрабыстрый UF5408.3. IGBT – транзистор IRG7PH42UPBF.4. Осциллограф Tektronix MDO 3024.5. Программное обеспечение (Mathcad, Word, Excel, Visio).
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Получение плоской профилированной вершины импульса. Получение линейно – нарастающего импульса. Расчёт времени формирования прямоугольного импульса. Получение высокой точности следования амплитуды импульса.
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента ИСГТ, к.э.н. Верховская М.В.
Социальная ответственность	ассистент кафедры ПФФТИ, к.ф.-м.н. Гоголева Т.С.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель группы	Петров А.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД31	Вересов Александр Евгеньевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОД31	Вересову Александру Евгеньевичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	16.03.01 Техническая физика/пучковые и плазменные технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):</i>	– стоимость расходных материалов; – норматив заработной платы.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	– коэффициенты для расчета заработной платы.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	– отчисления во внебюджетные фонды.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски.	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
2. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.</i>	Проведение оценки экономической эффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Календарный график проведения исследования в виде диаграммы Ганта
2. Матрица SWOT
3. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)
4. Календарный план-график и бюджет НИИ.
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД31	Вересов Александр Евгеньевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0Д31	Вересову Александру Евгеньевичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	16.03.01 Техническая физика/пучковые и плазменные технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ПФ ФТИ ТПУ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д31	Вересов Александр Евгеньевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 84 с., 20 рис., 19 табл., источников, 1 прил.

Ключевые слова: одиночная формирующая линия, рекуперация, емкость, длительность импульса, вершина импульса.

Цель работы - разработка генератора анализирующих импульсов профилированного напряжения для времяпролётного спектрометра.

В процессе разработки проводился расчет параметров схемы и подбор необходимых полупроводниковых элементов для получения прямоугольной вершины импульса.

В результате разработки было получено устройство для формирования импульсов прямоугольной формы и рассчитаны необходимые для этого условия параметры схемы формирователя.

Степень внедрения: в настоящее время разработка находится на стадии теоретической проработки.

Область применения: модификации при воздействии импульса на вещество, формирование сверхкоротких импульсов, формирование импульсов ионного тока с высокой плотностью мощности.

Экономическая эффективность/значимость работы на данный момент не установлена, так как разработка находится в стадии теоретической проработки.

В будущем планируется произвести замену элементов на более быстродействующие, доработать схему для получения линейно-нарастающей вершины импульса, экспериментальные исследования на масс-спектрометре с использованием данной схемы формирователя.

Оглавление

Реферат	8
Введение.....	11
Глава 1. Теоретическая составляющая разработки	12
1.1. Описание импульсов напряжения	12
1.1.1. Периодические сигналы	13
1.1.2. Синусоидальный сигнал.....	14
1.1.3. Меандр.....	15
1.1.4. Прямоугольный сигнал.....	16
1.2. Генерация прямоугольных импульсов	19
1.3. Полупроводниковые элементы	21
1.3.1. Диод.....	22
1.3.2. Биполярный транзистор.....	23
1.3.3. MOSFET – транзистор	26
1.4. Устройство времяпролётного масс-спектрометра	29
Глава 2. Разработка генератора анализирующих импульсов профилированного напряжения для времяпролётного спектрометра.....	31
2.1. Разработка генератора анализирующих импульсов профилированного напряжения	31
2.2. Расчет параметров схемы.....	39
Заключение	44
Вывод.....	44
Глава 3. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	45
3.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	46
3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	46
3.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	47
3.1.3. SWOT-анализ	49
3.2. Планирование научно-исследовательских работ	53

3.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	53
3.2.2. Определение трудоёмкости выполнения работ.....	55
3.2.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	56
3.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	59
3.2.5. Расчет материальных затрат НТИ.....	60
3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	61
3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	64
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	64
3.3.5 Формирование бюджета затрат НИП.....	65
3.3.6. Оценка научно-технического эффекта.....	66
Вывод к разделу.....	69
Глава 4. Социальная ответственность.....	70
4.1. Анализ опасных и вредных факторов.....	71
4.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ.....	72
4.2.1. Организационные мероприятия.....	72
4.2.2. Технические мероприятия.....	73
4.2.3. Условие безопасной работы.....	75
4.3. Электробезопасность.....	78
4.4. Противопожарная безопасность.....	79
Список публикаций.....	82
Список использованных источников.....	83
Приложение А.....	85

Введение

Генераторы прямоугольных импульсов используют во многих радиотехнических устройствах: электронных счетчиках, игровых автоматах, применяют при настройке цифровой техники. Диапазон частот таких генераторов может быть от единиц герц до многих мегагерц.

Необходимость в разработке подобного генератора заключается в том, что на анализирующий диод масс-спектрометра должен поступать импульс прямоугольной формы. Это позволяет минимизировать погрешность при расчётах и получать пучок ионов с высокой плотностью мощности.

Сильноточные импульсы прямоугольной формы необходимы для решения различных физических задач, в частности – для получения низкоэнергетичных (1–20 кэВ), длинноимпульсных (1 – 100 мкс), сильноточных (1 – 10 кА) ионных пучков. В области наносекундных времен задача получения таких импульсов решается с помощью формирующих линий[3].

При переходе к микросекундным и субмиллисекундным временам габариты формирующих линий (ФЛ) становятся все больше, и необходимо применять другие методы генерации и стабилизации формы импульса. Один из них – применение стабилитронов с напряжением стабилизации сотни вольт - единицы киловольт и максимальной рассеиваемой энергией 10 – 20 Дж (стабилитроны типа ОСН 261-10, ОСН 223-15 и т.д.) при разряде конденсатора на активную нагрузку. Для получения больших токов и напряжений с использованием таких стабилитронов требуется их параллельно-последовательное соединение, что приводит к снижению надежности установки, а также к увеличению ее габаритов и стоимости. В данной работе предложен другой метод стабилизации амплитуды импульса на нагрузке с помощью диода и дополнительного конденсатора, заряженного до опорного напряжения стабилизации[6].

Глава 1. Теоретическая составляющая разработки

1.1. Описание импульсов напряжения

Чаще всего в электронных схемах требуется генерация различных типов сигналов, имеющих различные частоты и формы, такие как меандры, прямоугольные, треугольные, пилообразные сигналы и различные импульсы.

Эти сигналы различной формы могут использоваться в качестве сигналов синхронизации, тактирующих сигналов или в качестве запускающих импульсов[2]. Для начала, необходимо понять основные характеристики, описывающие электрические сигналы.

С технической точки зрения, электрические сигналы являются наглядным представлением изменения напряжения или тока со временем. То есть, по факту – это график изменения напряжения и тока, где по оси абсцисс мы откладываем время, а по оси ординат – значения напряжения или тока в этот момент времени. Возможно множество различных типов электрических сигналов, но в общем, все они могут быть разбиты на две основные группы[3].

- Однополярные сигналы – это электрические сигналы, которые всегда положительные или всегда отрицательные, не пересекающие горизонтальную ось. К однонаправленным сигналам относятся меандр, тактовые импульсы и запускающие импульсы[8].

- Двухполярные сигналы – это чередующиеся сигналы, так как они меняют положительные значения на отрицательные, постоянно пересекая нулевое значение. Двухполярные сигналы имеют периодическое изменение знака своей амплитуды. Самым распространенным из двунаправленных сигналов, является синусоидальный[8].

Все электрические сигналы имеют три общие характеристики:

- Период – это интервал времени, через который сигнал начинает повторяться. Это значение также называют временем

периода для синусоид или шириной импульса для меандров и обозначают буквой T .

- Частота – это количество раз, которое сигнал повторяет сам себя за период времени равный 1 секунде. Частота является величиной, обратной периоду времени, ($f = \frac{1}{T}$). Единицей измерения частоты является Герц (Гц). Частотой в 1Гц, обладает сигнал, повторяющий 1 раз за 1 секунду.

- Амплитуда – это количественная единица изменения сигнала. Измеряется в Вольтах (В) или Амперах (А), в зависимости от того, какая временная зависимость (напряжения или тока) используется.

Один из параметров импульса – его амплитуда ($U_{\text{макс}}$), наибольшая высота импульса без учета небольших выбросов. Время нарастания импульса характеризует продолжительность фронта $t_{\text{ф}}$, а убывания – продолжительность спада $t_{\text{с}}$. Время же "жизни" импульса определяет длительность $t_{\text{и}}$ – время между началом и концом импульса, отсчитываемое обычно на уровне 0,5 амплитуды (иногда на уровне 0,7).

Вершина импульса бывает плоской (ровной), с завалом или подъемом. У прямоугольного импульса вершина плоская, а фронт и спад настолько крутые, что определить их длительность по осциллографу не возможно.

Импульсный сигнал характеризуют так же и скважностью, показывающей соотношение между длительностью импульса и периодом следования импульсов. Скважность - частное от деления периода на длительность[4].

1.1.1. Периодические сигналы

Периодические сигналы являются самыми распространенными, так как включают в себя синусоиды. Переменный ток в розетке дома

представляет из себя синусоиду, плавно изменяющуюся с течением времени с частотой 50Гц.

Время, которое проходит между отдельными повторениями цикла синусоиды называется ее периодом. Иными словами, это время, необходимое для того, чтобы сигнал начал повторяться[9].

Период может изменяться от долей секунды до тысяч секунд, так как он связан с его частотой. Например, синусоидальный сигнал, которому требуется 1 секунда для совершения полного цикла, имеет период равный одной секунде. Так, для синусоидального сигнала, которому требуется 5 секунд для совершения полного цикла, имеет период равный 5 секундам, и так далее.

Итак, отрезок времени, который требуется для сигнала, чтобы завершить полный цикл своего изменения, прежде чем он вновь повторится, называется периодом сигнала и измеряется в секундах.

1.1.2. Синусоидальный сигнал

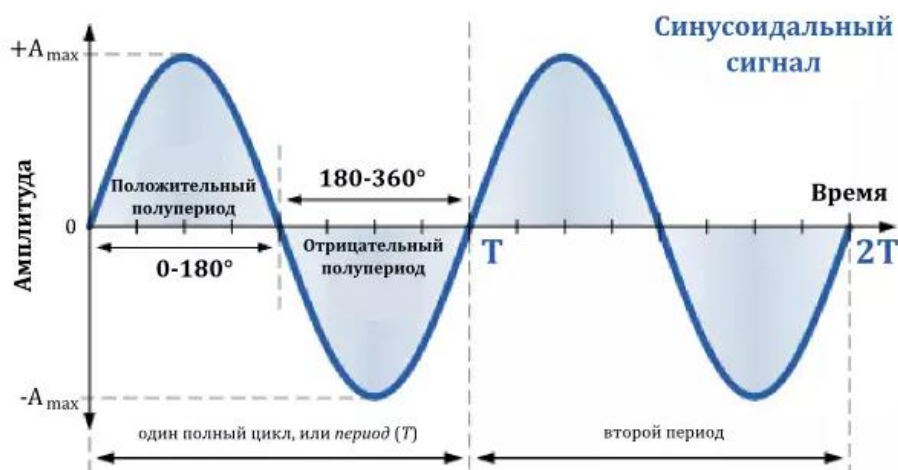


Рисунок 1.1.1. Пример синусоидального сигнала[15].

Время периода часто измеряется в секундах (с), миллисекундах (мс) и микросекундах (мкс).

Для синусоидальной формы волны, время периода сигнала также можно выражать в градусах, либо в радианах, учитывая, что один полный цикл равен 360° ($T = 360^\circ$), или, если в радианах, то 2π ($T = 2\pi$).

Период и частота математически являются обратными друг другу величинами. С уменьшением времени периода сигнала, его частота увеличивается и наоборот.

Соотношения между периодом сигнала и его частотой:

$$f = \frac{1}{T}, \text{Гц}$$

$$T = \frac{1}{f}, \text{с}$$

Один герц в точности равен одному циклу в секунду, но один герц является очень маленькой величиной, поэтому часто можно встретить префиксы, обозначающие порядок величины сигнала, такие как кГц, МГц, ГГц и даже ТГц.

1.1.3. Меандр

Меандры широко используются в электронных схемах для тактирования и сигналов синхронизации, так как они имеют симметричную прямоугольную форму волны с равной продолжительностью полупериодов. Практически все цифровые логические схемы используют сигналы в виде меандра на своих входах и выходах.

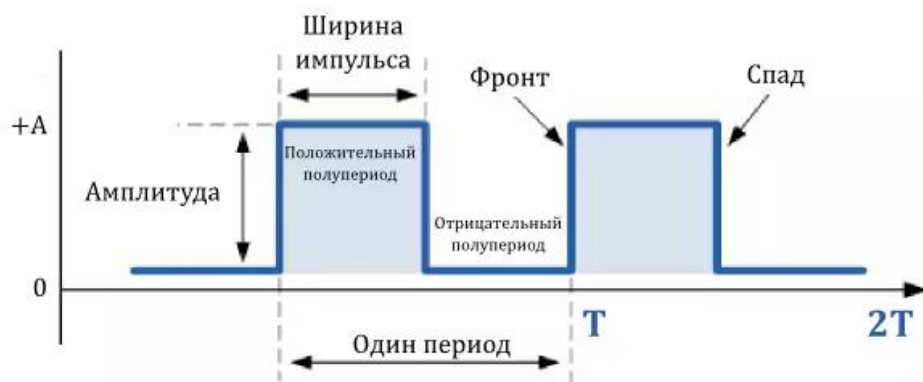


Рисунок 1.1.2. Вид меандра[15].

Так как форма меандра симметрична, и каждая половина цикла одинакова, то длительность положительной части импульса равна промежутку времени, когда импульс отрицателен (нулевой). Для меандров, используемых в качестве тактирующих сигналов в цифровых схемах, длительность положительного импульса называется временем заполнения периода.

Для меандра, время заполнения τ равно половине периода сигнала. Так как частота равна обратной величине периода, $(1/T)$, то частота меандра:

$$f = \frac{1}{2\tau};$$

Например, для сигнала со временем заполнения равным 10 мс, его частота равна:

$$f = \frac{1}{(10+10) \cdot 10^{-3} \text{ с}} = 50 \text{ Гц.}$$

Меандры используются в цифровых системах для представления уровня логической «1» большими значениями его амплитуды и уровня логического «0» маленькими значениями амплитуды.

Если время заполнения, не равно 50% от длительности его периода, то такой сигнал уже представляет более общий случай и называется *прямоугольным* сигналом. В случае, или если время положительной части периода сигнала мало, то такой сигнал, является *импульсом*.

1.1.4 Прямоугольный сигнал

Прямоугольные сигналы отличаются от меандров тем, что длительности положительной и отрицательной частей периода не равны между собой. Прямоугольные сигналы поэтому классифицируются как несимметричные сигналы.

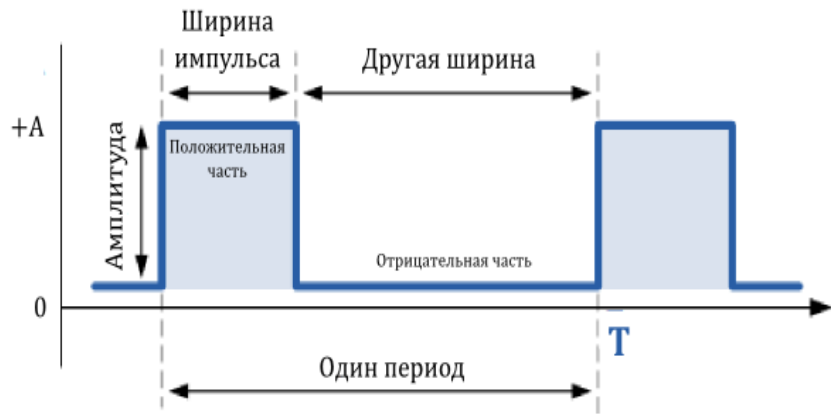


Рисунок 1.1.3. Вид прямоугольного импульса[15].

В данном случае изображён сигнал, принимающий только положительные значения, хотя, в общем случае, отрицательные значения сигнала могут быть значительно ниже нулевой отметки.

На изображенном примере, длительность положительного импульса больше, чем длительность отрицательного, хотя, это и не обязательно. Главное, чтобы форма сигнала была прямоугольной.

Отношение периода повторения сигнала T , к длительности положительного импульса τ , называют скважностью:

$$S = \frac{T}{\tau}; \quad (1)$$

Величину обратную скважности называют коэффициентом заполнения:

$$D = \frac{1}{S} = \frac{\tau}{T}. \quad (2)$$

Прямоугольные сигналы используются для регулирования количества энергии, отдаваемой в нагрузку, такую, например, как лампа или двигатель, изменением скважности сигнала. Чем выше коэффициент заполнения, тем больше среднее количество энергии должно быть отдано в нагрузку, и, соответственно, меньший коэффициент заполнения, означает меньшее среднее количество энергии, отдаваемое в нагрузку. Отличным примером этого является использование широтно-импульсной модуляции в регуляторах

скорости. Термин широтно-импульсная модуляция (ШИМ) буквально и означает «изменение ширины импульса»[7].

1.2. Генерация прямоугольных импульсов

Генераторы импульсов используют во многих радиотехнических устройствах (электронных счетчиках, реле времени), применяют при настройке цифровой техники. Диапазон частот таких генераторов может быть от единиц герц до многих мегагерц. Здесь приводятся простые схемы генераторов, в том числе на элементах цифровой «логики», которые широко используются в более сложных схемах как частото задающие узлы, переключатели, источники образцовых сигналов и звуков.

В данной главе будет рассмотрен уже существующий генераторы импульсов с распределёнными параметрами (рисунок 2.1, а), который с помощью ключей $K_{Л1}$ и $K_{Л2}$ может присоединяться к источнику постоянного напряжения E и нагрузке R_H .

Предположим, что внутреннее сопротивление источника R_i и сопротивление нагрузки R_H равны волновому сопротивлению линии r ($R_H = R_i = r$) и что линия не имеет потерь[9].

Замкнем ключ $K_{Л1}$, оставив ключ $K_{Л2}$ разомкнутым. Через время $t = \frac{2l}{v}$ (где l – длина линии, v – скорость распространения волны вдоль нее) такая разомкнутая линия будет по всей длине равномерно заряжена до напряжения E (рисунок 2.1, б). Теперь линию можно рассматривать как источник напряжения с внутренним сопротивлением, равным r . В некоторый момент времени $t = t_1$ замкнем $K_{Л1}$ и разомкнем $K_{Л2}$; тогда на нагрузке $R_H = r$ выделится напряжение

$$U_H = \frac{E}{\rho + R_H} R_H = \frac{E}{2\rho} \rho = \frac{E}{2} \quad (3)$$

Поскольку каждый элементарный участок линии заряжен до напряжения $E > U_H$, то линия начинает разряжаться через R_H . Иначе говоря, от нагрузки к разомкнутому началу линии распространяется волна с напряжением $-E/2$ (рисунок 2.1, в), разряжающая линию до напряжения $E/2$.

В момент $t = t_1 + \frac{l}{v}$ эта волна напряжения достигнет разомкнутого начала линии (рисунок 2.1, з), отразится от него без изменения амплитуды и фазы и начнет распространяться к нагрузке. При этом начальные участки линии окажутся разряженными до нуля (рисунок 2.1, д), в моменту $t = t_1 + \frac{2l}{v}$ вся линия полностью разрядится (рисунок 2.1, е).

Так как волна $-E/2$ достигнет нагрузки лишь через время $t = \frac{2l}{v}$ после замыкания $K_{Л2}$, то в течение этого времени $U_H = E/2$, т. е. на нагрузке выделяется прямоугольный импульс напряжения (рисунок 2.1, ж) с амплитудой $U_m = E/2$ и длительностью $t_u = \frac{2l}{v}$.

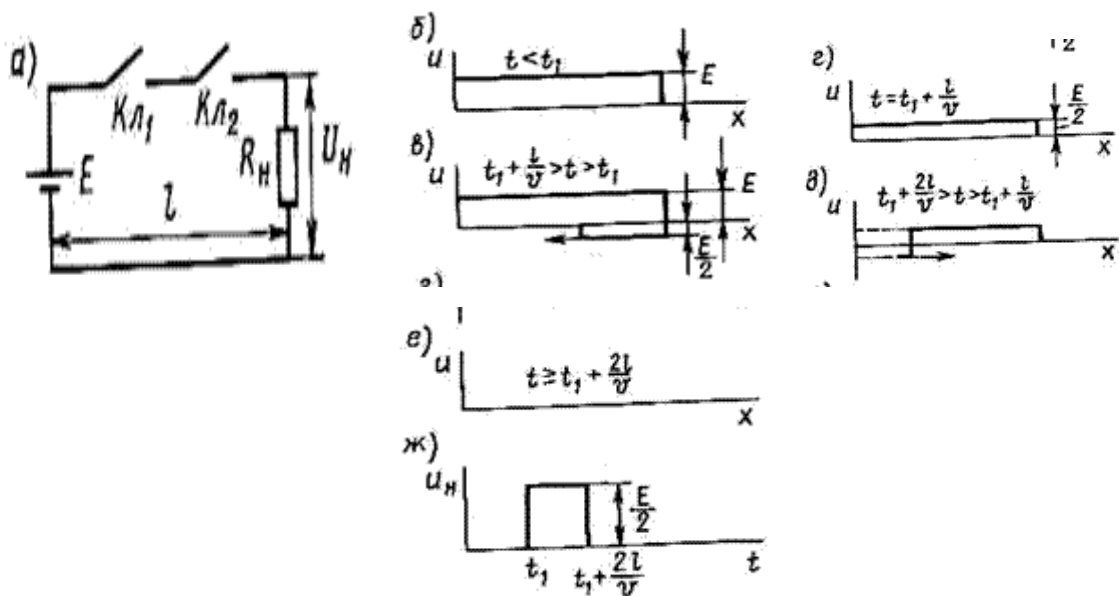


Рисунок 1.2.1. Формирование прямоугольных импульсов длинной линией: а – длинная линия с распределёнными параметрами; б,в,г,д,е,ж – диаграммы напряжений для различных режимов работы линии[9].

Таким образом, принципиально длинную линию можно использовать как устройство, формирующее прямоугольные импульсы, длительность которых равна удвоенному времени задержки t_3 линии (в рассматриваемом случае $t_3 = \frac{l}{v}$).

Линия с распределенными параметрами используется для формирования импульсов наносекундной длительности, когда ее требуемая

длина невелика. Увеличение длительности формируемого импульса приводит к увеличению длины линии, что ограничивает ее использование. Так, для формирования импульсов длительностью $t_{II} = 2$ нс воздушная линия ($v = 3 \times 10^8$ м/с) должна иметь длину

$$l = \frac{v_{II}}{2} = \frac{3 * 10^8 * 2 * 10^{-9}}{2} = 0.3 \text{ м},$$

а для формирования импульсов длительностью $t_{II} = 2$ мкс потребовалась бы линия длиной

$$l = \frac{v_{II}}{2} = \frac{3 * 10^8 * 2 * 10^{-6}}{2} = 300 \text{ м},$$

Погонные индуктивность и емкость L_l, C_l кабеля больше, чем у воздушной линии, поэтому скорость распространения волны вдоль него ($v = \frac{1}{\sqrt{L_l C_l}}$) оказывается меньше, т.е. время задержки больше.

Большого эффекта достигают, выполняя внутреннюю жилу кабеля в виде спирали, что увеличивает погонную индуктивность и время задержки. Однако и в этом случае для получения микросекундных задержек длина кабеля исчисляется метрами.

Данная схема не подходит для наших нужд, поэтому в данной работе будет рассмотрена схема формирователя на основе одиночной формирующей линии (ОФЛ), так как она может обеспечить длительность импульса равную 110нс.

1.3. Полупроводниковые элементы

При создании схемы формирователя прямоугольных импульсов необходимо учитывать параметры полупроводниковых приборов, на основе которых схема реализована. Речь о таких элементах пойдет в данной главе.

1.3.1. Диод

Полупроводниковый диод представляет из себя элемент, который пропускает электрический ток только в одном направлении.

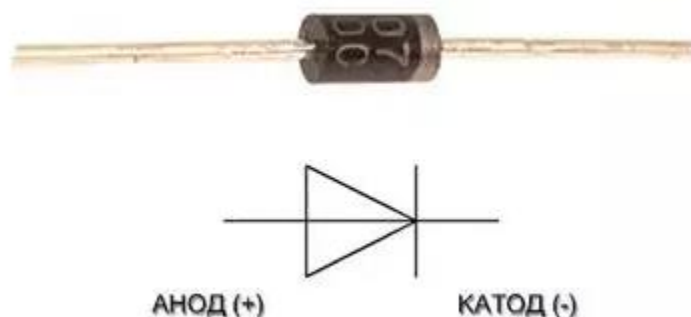


Рисунок 1.3.1. Схематическое изображение диода[7].

Треугольная часть является анодом (+), а прямая линия это катод (-). Диоды например, используют в блоках питания для выпрямления переменного тока, при помощи диодного моста можно превратить переменный ток в постоянный, применяются для защиты разных устройств от неправильной полярности включения и т. п.

В цепи нашего формирователя данный диод сыграет немаловажную роль – он будет отсекал обратную часть импульса, которая является паразитной. Но для нормальной работы этого диода в нашей схеме необходимо его быстродействие. В качестве диода использовался ультрабыстрый диод UF5408, со временем срабатывания порядка десятка нс.

Диоды оцениваются по двум основным параметрам: предельному обратному напряжению ($U_{обр}$) и максимальной силой тока (I_{max}), проходящей через него. Предельное обратное напряжение представляет собой максимальное напряжение на выводах диода, приложенное к нему в закрытом состоянии, то есть на анод минус, а на катод -

плюс. Максимальный рабочий ток представляет собой ток при прямом включении диода, который диод может выдержать, не выходя из строя.

Существуют также иные виды диодов: стабилитроны (диоды Зенера), светодиоды, тиристоры.

Рассмотрим один из них, который может быть применён в схеме нашего формирователя.

Тиристор представляет из себя полупроводниковый прибор, выполненный на основе монокристалла полупроводника с тремя или более p-n-переходами и имеющий два устойчивых состояния: «закрытое» состояние — состояние низкой проводимости; «открытое» состояние — состояние высокой.

Тиристор можно рассматривать как электронный выключатель (ключ). Основное применение тиристоров (с тремя электрическими выводами — анодом, катодом и управляющим электродом) — управление мощной нагрузкой с помощью слабого сигнала, подаваемого на управляющий электрод.



Рисунок 1.3.1.2. Схематическое изображение тиристора[7].

Данный тиристор может быть использован в качестве ключа в схеме формирователя.

1.3.2. Биполярный транзистор

В биполярном транзисторе используются полупроводники с обоими типами проводимости, он работает за счет взаимодействия двух, близко

расположенных на кристалле, р-п переходов и управляется изменением тока через база-эмиттерный переход, при этом вывод эмиттера всегда является общим для управляющего и выходного токов.

В схеме формирователя нет необходимости установки обычного биполярного транзистора. Однако возникает необходимость быстрого управления включением и отключением ключа. С данной задачей отлично справляется IGBT – транзистор.

Биполярные транзисторы с изолированным затвором (или IGBT – транзистор) являются новым типом активного прибора, который появился сравнительно недавно. Его входные характеристики подобны входным характеристикам полевого транзистора, а выходные – выходным характеристикам биполярного.

IGBT-транзисторы вытесняют тиристоры из высоковольтных схем преобразования частоты и позволяют создать импульсные источники вторичного электропитания с качественно лучшими характеристиками. IGBT-транзисторы используются достаточно широко в инверторах для управления электродвигателями, в мощных системах бесперебойного питания с напряжениями свыше 1 кВ и токами в сотни ампер. В какой-то степени это является следствием того, что во включенном состоянии при токах в сотни ампер падение напряжения на транзисторе находится в пределах 1,5 - 3,5В[7].

Как видно из структуры IGBT-транзистора (рисунок 3.2), это достаточно сложный прибор, в котором транзистор типа р–п–р управляется МОП-транзистором с каналом типа n.



Рисунок 1.3.2. Структура IGBT-транзистора[15].

Коллектор IGBT-транзистора (рис. 3.2.1,а) является эмиттером транзистора VT4. При подаче положительного напряжения на затвор у транзистора VT1 по-является электропроводный канал. Через него эмиттер транзистора IGBT (коллектор транзистора VT4) оказывается соединенным с базой транзистора VT4[7].

Это приводит к тому, что он полностью отпирается и падение напряжения между коллектором транзистора IGBT и его эмиттером становится равным падению напряжения на эмиттерном переходе транзистора VT4, просуммированному с падением напряжения $U_{си}$ на транзисторе VT1.

В связи с тем, что падение напряжения на p–n-переходе уменьшается с увеличением температуры, падение напряжения на открытом IGBT-транзисторе в определенном диапазоне токов имеет отрицательный температурный коэффициент, который становится положительным при большом токе. Поэтому падение напряжения на IGBT-транзисторе не опускается ниже порогового напряжения диода (эмиттерного перехода VT4).

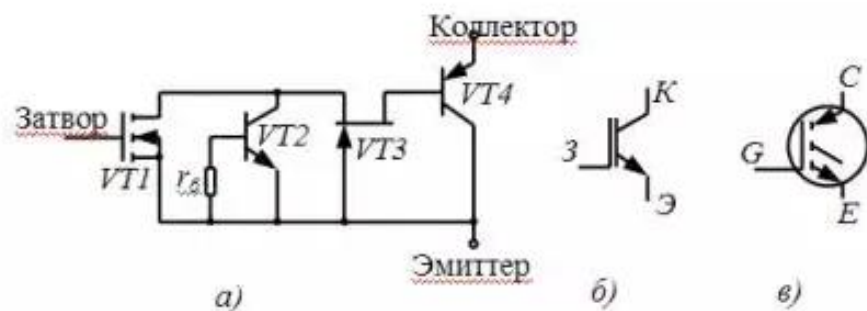


Рисунок 1.3.2.1. Эквивалентная схема IGBT-транзистора (а) и его условное обозначение в отечественной (б) и иностранной (в) литературе[15].

При увеличении напряжения, приложенного к транзистору IGBT, увеличивается ток канала, определяющий ток базы транзистора VT4, при этом падение напряжения на IGBT-транзисторе уменьшается.

При запираии транзистора VT1 ток транзистора VT4 становится малым, что позволяет считать его запертым. Дополнительные слои введены для исключения режимов работы, характерных для тиристоров, когда происходит лавинный пробой. Буферный слой n+ и широкая базовая область n- обеспечивают уменьшение коэффициента усиления по току р-н-р-транзистора.

Общая картина включения и выключения достаточно не простая, так как наблюдаются изменения подвижности носителей заряда, коэффициентов передачи тока у имеющих в структуре р-н-р- и н-р-н-транзисторов, изменения сопротивлений областей и пр. Хотя в принципе IGBT-транзисторы могут быть использованы для работы в линейном режиме, пока в основном их применяют в ключевом режиме.

1.3.3. MOSFET – транзистор

MOSFET – служит в основном, как усилитель сигнала, либо как выпрямитель, для понижения напряжения до нужного значения.

MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) – полевой транзистор с изолированным затвором (МДП – транзистор), затвор которого

отделён от канала тонким слоем диэлектрика (как правило двуокись кремния SiO_2).

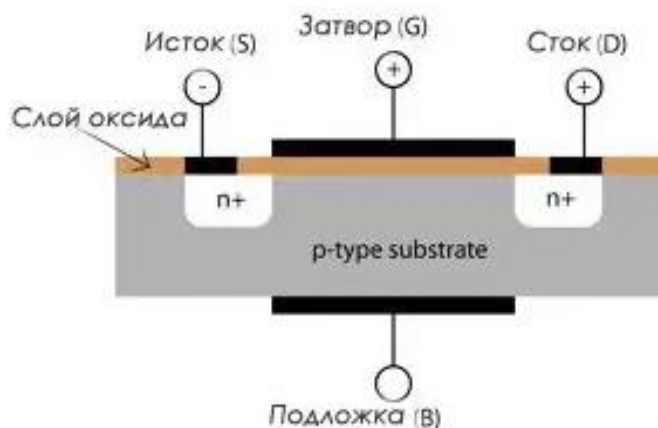


Рисунок 1.3.3. Устройство MOSFET[6].

В отличие от биполярных транзисторов, которые управляются током, транзисторы с изолированным затвором управляются напряжением, так как, по причине изолированного управляющего электрода (затвора) такие транзисторы обладают очень высоким входным сопротивлением.

Основу MOSFET -транзистора составляет:

- Подложка из кремния. Подложка может быть как из полупроводника p-типа, так и n-типа. Если подложка p-типа, то в полупроводнике в большей степени присутствуют положительно заряженные атомы в узлах кристаллической решётки кремния. Если подложка имеет тип n, то в полупроводнике в большей степени присутствуют отрицательно заряженные атомы и свободные электроны. В обоих случаях формирование полупроводника p или n типа достигается за счёт введения примесей.
- Области полупроводника n+. Данные области сильно обогащены свободными электронами (поэтому "+"), что достигается введением примеси в полупроводник. К данным областям подключаются электроды истока и стока.

- Диэлектрик. Он изолирует электрод затвора от кремниевой подложки. Сам диэлектрик выполняют из оксида кремния (SiO_2). К поверхности диэлектрика подключен электрод затвора – управляющего электрода.

Если между затвором и истоком приложить напряжение плюсом (+) к выводу затвора, то между металлическим выводом затвора и подложкой образуется поперечное электрическое поле. Оно в свою очередь начинает притягивать к приповерхностному слою у диэлектрика отрицательно заряженные свободные электроны, которые в небольшом количестве рассредоточены в кремниевой подложке.

В результате в приповерхностном слое скапливается достаточно большое количество электронов и формируется так называемый канал – область проводимости. На рисунке канал показан синим цветом. То, что канал типа n – это значит, что он состоит из электронов. Как видим между выводами истока и стока, и собственно, их областями n^+ образуется своеобразный «мостик», который проводит электрический ток.

Между истоком и стоком начинает протекать ток. Таким образом, за счёт внешнего управляющего напряжения контролируется проводимость полевого транзистора. Если снять управляющее напряжение с затвора, то проводящий канал в приповерхностном слое исчезнет и транзистор закроется – перестанет пропускать ток. Следует отметить, что на рисунке упрощённой модели показан полевой транзистор с каналом n-типа. Также существуют полевые транзисторы с каналом p-типа.

Показанная модель является сильно упрощённой. В реальности устройство современного MOS-транзистора гораздо сложнее. Но, несмотря на это, упрощённая модель наглядно и просто показывает идею, которая была заложена в его устройство.

Кроме всего прочего полевые транзисторы (с изолированным затвором) бывают обеднённого и обогащённого типа. На рисунке показан как раз полевой транзистор обогащённого типа – в нём канал «обогащается»

электронами[10]. В мосфете обеднённого типа в области канала уже присутствуют электроны, поэтому он пропускает ток уже без управляющего напряжения на затворе. Вольт-амперные характеристики полевых транзисторов обеднённого и обогащённого типа существенно различаются.

Нетрудно заметить, что электрод затвора и подложка вместе с диэлектриком, который находится между ними, формирует своеобразный электрический конденсатор. Обкладками служат металлический вывод затвора и область подложки, а изолятором между этими электродами – диэлектрик из оксида кремния (SiO_2). Поэтому у полевого транзистора есть существенный параметр, который называется ёмкостью затвора.

1.4. Устройство времяпролётного масс-спектрометра

Схематическое изображение устройства масс-спектрометра представлено на рисунке 4.1.

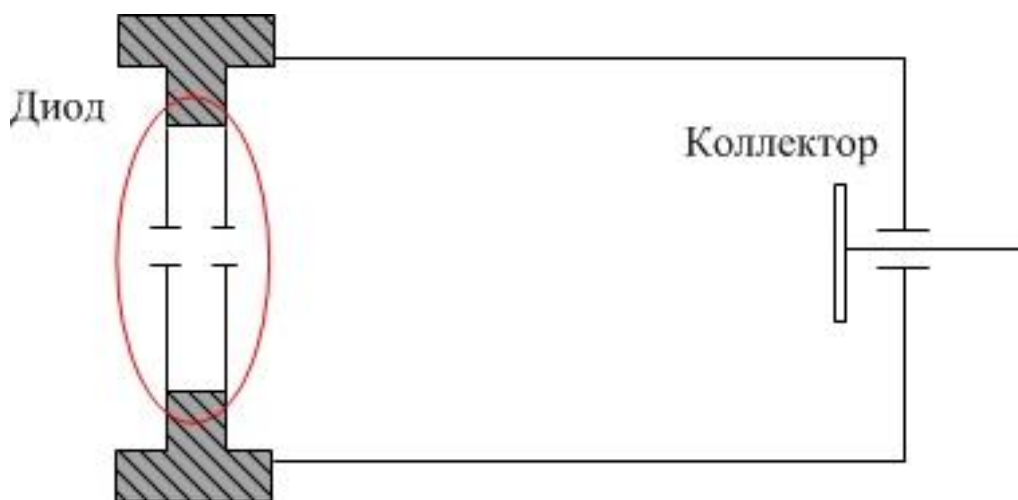


Рисунок 1.4.1. Схематическое изображение масс-спектрометра.

Во времяпролётном масс-спектрометре ионы (или протоны) вылетают из источника и попадают во время пролетную трубу через устройство диода, где отсутствует электрическое поле (бесполевой промежуток). Пролетев

некоторое расстояние d , ионы регистрируются детектором ионов с плоской или почти плоской регистрирующей поверхностью (коллектор).

Физический принцип работы времяпролётного масс-спектрометра состоит в том, что разность потенциалов U ускоряет ионы в источнике ионов до скорости v согласно уравнению:

$$\frac{mv^2}{2} = zU.$$

При фиксированной длине бесполевого промежутка от источника ионов до детектора ионов время полета ионов

$$t = \frac{d}{v};$$

Тогда:

$$\frac{m}{z} = t^2 \frac{2U}{d^2}.$$

Времяпролётный масс-спектрометр является импульсным масс-анализатором, то есть ионы поступают из источника ионов во времяпролётную часть не непрерывно, а порциями через определенные интервалы времени.

К достоинствам времяпролётных масс-анализаторов относится высокий верхний порог детектируемой массы иона, ограниченный только фактом резкого уменьшения чувствительности ионного детектора (обычно, это две близко расположенные микро-канальные пластины — для такой схемы используется сокращение «шеvron») при регистрации медленно (скорость < 20000 м/с) летящих ионов. На современных приборах типичный порог чувствительности составляет 50000-100000 m/z [15].

Глава 2. Разработка генератора анализирующих импульсов профилированного напряжения для времяпролётного спектрометра

2.1. Разработка генератора анализирующих импульсов профилированного напряжения

При использовании времяпролётного масс-спектрометра возникает необходимость создания прямоугольного импульса.

На первом этапе было рассмотрено формирование импульса в ОФЛ, в результате чего получался не ровный прямоугольный импульс, а импульс со сколом. Это объясняется потерями и помехами в линии, так как на данном этапе они не были учтены. Схема данной цепи приведена на рисунке 1.

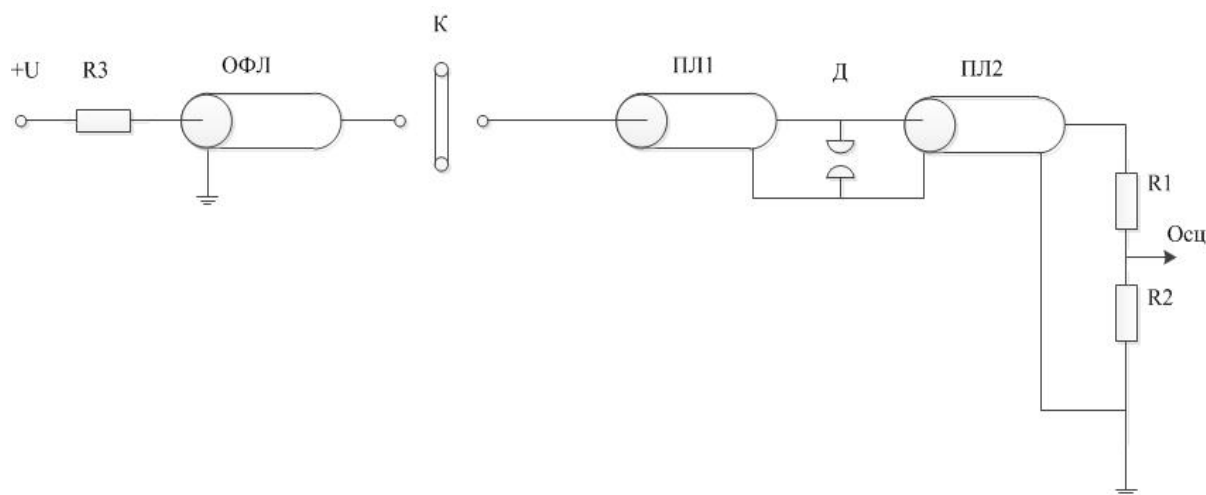


Рисунок 2.1. Схема формирования импульса $U(t)$ в ОФЛ с распределёнными параметрами.

Где ОФЛ - одиночная формирующая линия, К – коммутатор – трёх электродный газовый разрядник, ПЛ – передающая линия, Д – анализирующий диод ВПР спектрометра, $R_3 \gg \rho$ – зарядное сопротивление.

В схеме используется генератор на основе одиночной формирующей линии ОФЛ, выполненный на стандартных коаксиальных кабелях с волновым сопротивлением $\rho=75$ Ом. Коммутатором (К) служит трёхэлектродный газовый разрядник. После коммутации, импульс подаётся на диод через передающую линию с тем же волновым сопротивлением, то есть диод в данной схеме обеспечивает одностороннюю проводимость,

поэтому отражение импульса в обратную сторону отсутствуют. Зарядка осуществляется от источника зарядного напряжения через зарядное сопротивление R_3 . В расщелку передающих линий включён анализирующий диод времяпролётного спектрометра (Д). Отверстие в диоде регулируемое, то есть, возможна установка как одного отверстия, диаметром 1 мм, так и сетки из множества отверстий, с коэффициентом прозрачности 50%. Ключевую роль при выборе отверстия играет импеданс (сопротивление) диода и ток коллектора. Импеданс диода должен быть много больше сопротивления генератора, а ток должен составлять 0.01А – 1А, при этом напряжение будет равняться (при 0.01А) 0.75В.

На катоде и аноде отдаётся предпочтение отверстию диаметром 1мм, так как весь ток с анода пройдёт в отверстие катода, а при использовании сетки часть тока перехватится сеткой катода, так как ток заполнит большую площадь. На выходе передающая линия нагружена на сопротивление, равное волновому, то есть отражений нет.

Схема работает следующим образом: ОФЛ заряжается от зарядного устройства ЗУ до напряжения U_3 через зарядное сопротивление $R_3 \gg \rho$. После запуска и срабатывания газового разрядника К в передающую линию ПЛ подаётся волна напряжения $U(t) = \frac{U_3}{2}$. Осциллограмма $U(t)$ на диоде Д и в ПЛ регистрируется осциллограмма на сопротивлении $R_n = \rho = 75 \text{ Ом}$, выполненного в виде делителя напряжения.

Все дополнительные элементы формирователя выполняются в отдельном блоке, встроенном в разрыв ПЛ1 перед диодом Д, то есть за основу взята схема формирования импульса $U(t)$ в ОФЛ с распределёнными параметрами (рисунок 2.1.) с возможностью подключения дополнительных блоков в разъёмы между передающей линией ПЛ1 и анализирующим диодом Д.

При формировании импульса с помощью ОФЛ напряжение на выходе в два раза меньше, чем зарядное напряжение.

Следующим этапом разработки стал учёт погрешностей и искажений в цепи. Была предложена установка блока с диодом Д1, в качестве которого выступил ультрабыстрый диод UF5408, целью которого была отсечка послеимпульса, то есть, в теории, вершина импульса должна была нести более явный прямоугольный характер. Схема данной цепи приведена на рисунке 2.

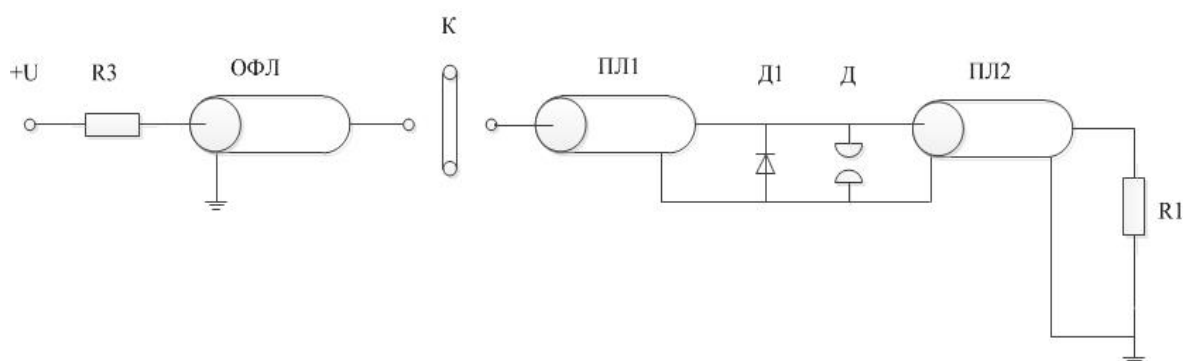


Рисунок 2.1.2. Схема формирователя импульса $U(t)$ в ОФЛ с отсечкой после импульса.

Где Д1 – диод, отвечающий за отсечку после импульса.

В схеме могут возникнуть небольшие импульсы, связанные с неоднородностями в линиях, которые приводят к послеимпульсам обратной полярности напряжения. Так, при обратной полярности в диоде, возникает электронный ток, поэтому необходим срез послеимпульса. Так же, в схеме возможны затухания, связанные с прохождением импульса по линии коаксиального кабеля, которые препятствуют получению прямоугольного импульса, образуя сколы вершины импульса. Поэтому, для получения ровной прямоугольной вершины импульса необходим диод Д1, обеспечивающий одностороннюю проводимость, что в свою очередь позволяет срезать послеимпульс.

На практике разницы между схемами 1 и 2 практически не было.

Существуют два вида реализации данной схемы:

а) с частичным или полным разрядом ёмкости (рисунок 3);

б) формирующие линии со сосредоточенными элементами L и C (индуктивности) или с распределёнными, такие, как формирующие линии (рисунок 4).

Схема с частичным или полным разрядом ёмкости приведена на рисунке 3.

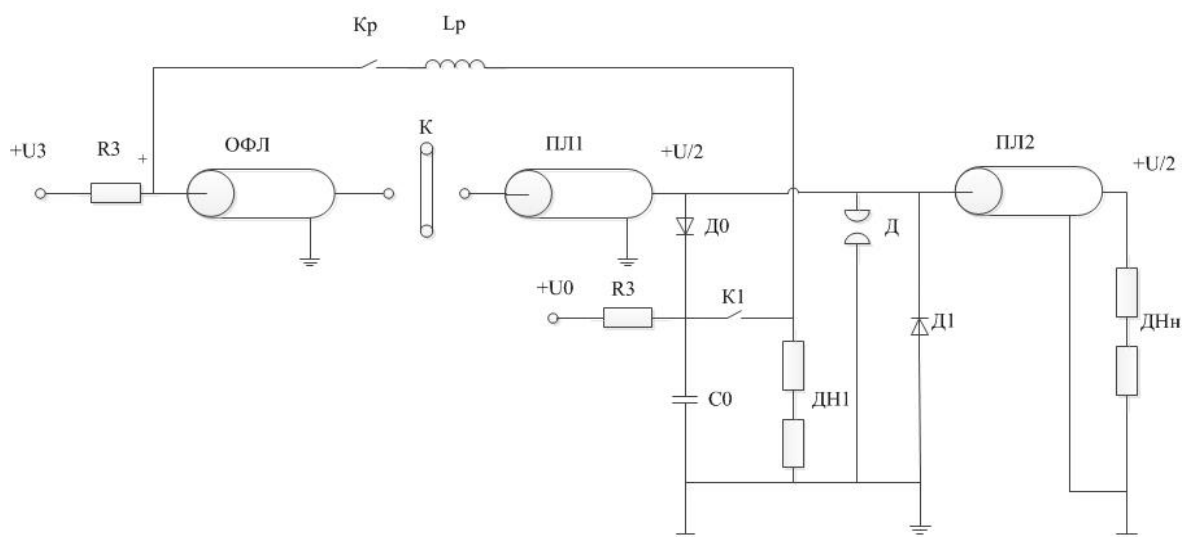


Рисунок 2.1.3.Схема формирователя импульса $U(t)$ с частичным или полным разрядом ёмкости.

Где K_1 – ключ для выключения и включения, ДН1 – делитель напряжения, контролирующей величину опорного напряжения U_0 конденсатора C_0 , L_0 – индуктивность цепи рекуперации, K_p – ключ цепи рекуперации, K_1 – ключ для включения ДН1 и цепи рекуперации при использовании D_1 вместо K_p .

При использовании вместо ФЛ с распределёнными параметрами схем с частичным или полным разрядом ёмкостных накопителей интерес представляют импульсы $U(t)$ длительностью от сотни нс до единиц – десятков микросекунд.

Для разработки этого метода формирования $U(t)$ определим длительность импульса $\tau \leq 1$ мкс, низкий порог диапазона определяться быстродействием полупроводниковых элементов схемы.

Особенности данной схемы: для работы емкостного накопителя необходимо его включение и выключение, т.е. после зарядки ёмкости включается ключ, после чего она разряжается в апериодическом режиме. Но

нам необходим прямоугольный импульс, следовательно, нужно срезать часть импульса. Для этого необходимо быстрое включение с последующим выключением ключа. Тогда часть заряда на ёмкости остаётся, а мы на выходе получаем необходимый нам импульс. Данная схема позволяет регулировать длительность импульса с меньшими потерями, не используя длинных формирующих линий, при формировании которых образуются потери. Основное преимущество данной схемы – компактность.

Отличием данной схемы (рисунок 3) от предыдущей (рисунок 2) является использование опорной ёмкости C_0 , включённой через диод параллельно нагрузке, и наличие в схеме рекуперации, которая разряжает ёмкость до нужного нам значения, то есть рекуперация отсекает лишнее напряжение ΔU . Данная ёмкость служит для среза амплитуды импульса, поступающего с формирующей линии. Если $R_n \ll \rho$, то происходит синусоидный разряд ёмкости, если $R_n \gg \rho$ – апериодический разряд. Индуктивность рекуперации L_p необходима для ограничения тока через ключ K_1 .

Полупроводниковый ключ K_1 реализуется на IGBT-транзисторе IRG7PH42UPBF на 1.2 кВ. Так же можно использовать MOSFET или тиристор, так как необходимо быстроедействие схемы.

Конечный вариант схемы формирователя представлен на рисунке 4.

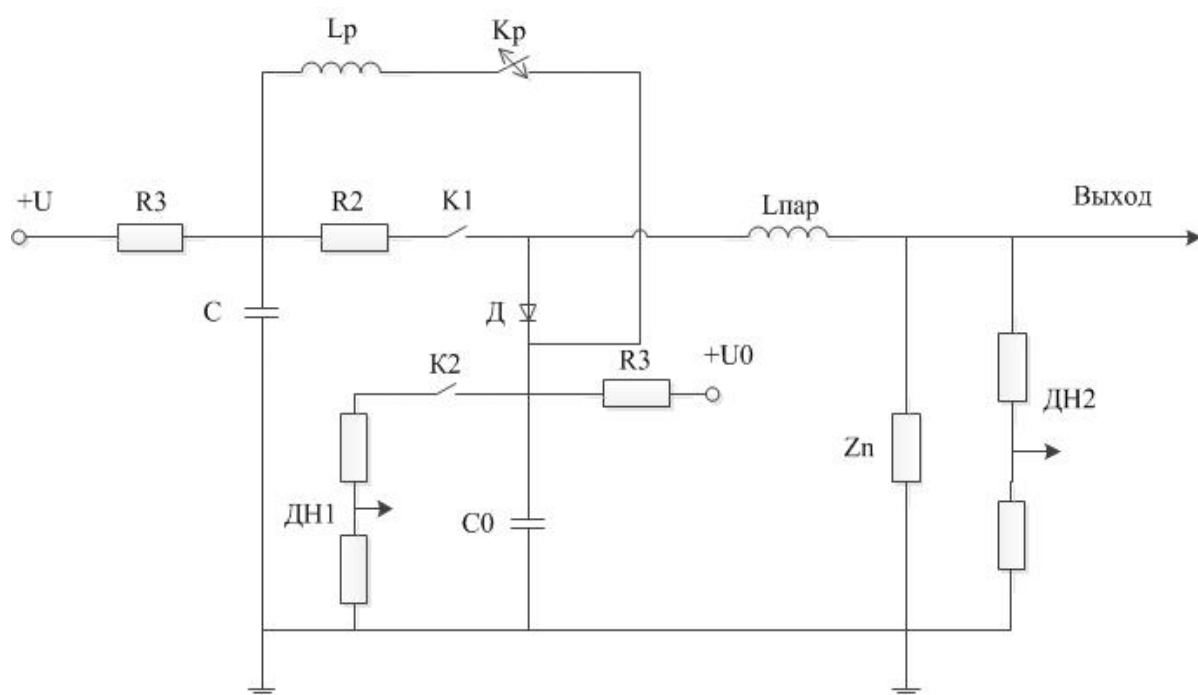


Рисунок 2.1.4. Формирователь со сосредоточенными элементами L и C.

Где C – ёмкостной накопитель, K1 – ключ IGBT или MOSFET, C₀ – опорная ёмкость, Д – ключ с односторонней проводимостью (диод, IGBT или MOSFET), Z_n – нагрузка (анализирующий диод), K2 – ключ IGBT или MOSFET для подключения делителя напряжения ДН1 к опорной ёмкости, ДН1 и ДН2 – делители напряжения, R₃ – зарядный резистор, R₂ – ограничивающий резистор, K_p – ключ IGBT или MOSFET цепи рекуперации, L_p – индуктивность рекуперации, L_{пар} – паразитная индуктивность разрядного контура.

При использовании ёмкостных накопителей вместо ОФЛ принципиальные схемы формирования остаются такими же.

Принцип работы данной схемы: При включении цепи рекуперации через ключ K_p происходит разряд ёмкости C₀ через индуктивность рекуперации L_p, которая в свою очередь ограничивает ток через ключ K_p. Далее происходит заряд ёмкости C, которая равна ёмкости ОФЛ. После срабатывания ключа K1 начинается разряд ёмкости на нагрузку через паразитные элементы. Условия в данной схеме выбраны так, что рассматривается случай апериодического разряда ёмкости, то есть характеристическое сопротивление много меньше сопротивления нагрузки.

Через диод D ток поступает на ёмкость, до его значения, пока напряжение U перед диодом не сравняется с напряжением U_0 . Если U становится меньше, чем U_0 , то диод закрывается, то есть получается импульс со стабилизированной на определённом уровне амплитудой.

При необходимости зарядки конденсатора C_0 включается дополнительный источник $+U_0$. Процесс зарядки сопровождается выключением источника $+U$. Делитель напряжения включается на короткое время с помощью IBT-транзистора K_2 , с целью проведения измерения, так как он контролирует уровень напряжения на опорной ёмкости C_0 . После снятия показаний ключ K_2 выключается, чтобы не происходило лишнего разряда ёмкости.

В данной схеме используется ёмкостной накопитель (C) с распределёнными параметрами, то есть формирующая линия, что упрощает условия для работы схемы, так как определена длительность импульса, которая задаётся длиной формирующей линии ОФЛ, а ёмкость линии соответствует накопительной ёмкости C .

Необходимость установки диода R_2 обусловлена тем, что диод D может не пропустить скачок тока, который следует первоначально.

На рисунке 5 приведён пример первоначального импульса, без использования схемы формирователя (рисунок 4) .

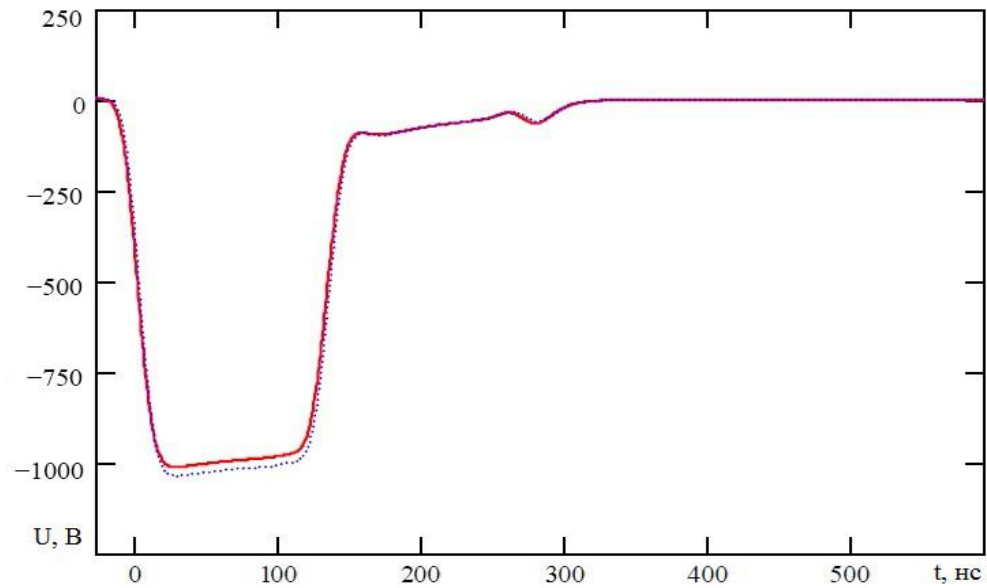


Рисунок 2.2. Импульс до прохождения цепи формирователя.

На данном импульсе явно выражена неровная вершина. Напряжению U_{01} соответствует точка -1кВ , а напряжению U_{02} – соответственно -0.9кВ .

После подключения к цепи схемы формирователя получен импульс, представленный на рисунке 6.

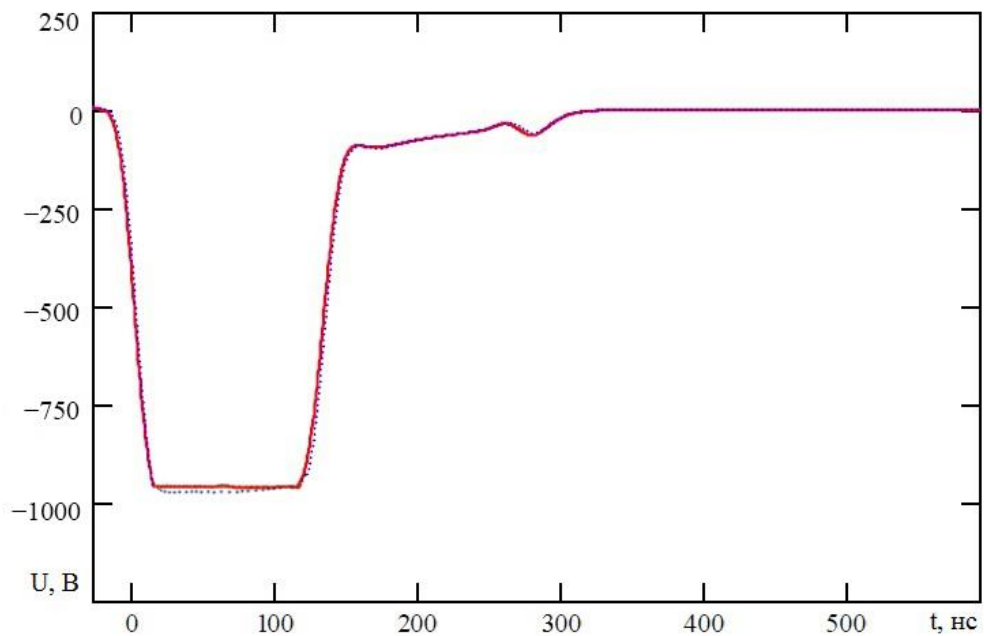


Рисунок 2.2.3. Вид вершины импульса после коррекции импульса.

Данный импульс имеет ровную прямоугольную вершину, с напряжением $U = -900\text{В}$.

Таким образом, данный формирователь позволяет получать импульсы с высокостабилизированной амплитудой и с высокой точностью.

2.2. Расчет параметров схемы

При расчёте схемы на основе ОФЛ воспользуемся схемой замещения формирующей линии генератором, с внутренним сопротивлением, равном волновому сопротивлению кабеля ОФЛ (75 Ом).

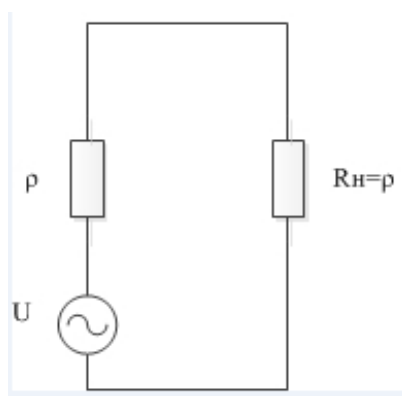


Рисунок 7. Схема замещения одиночной формирующей линии

Тогда напряжение на нагрузке будет равно:

$$I_n = \frac{U}{2\rho} \quad (4)$$

$$U_n = I_n * R_n = I_n * \rho;$$

$$U_n = \frac{U}{2\rho} * \rho = \frac{U}{2};$$

$$U_n = 1\text{кВ}, \text{ тогда } U = 2\text{кВ};$$

$$\text{То есть, } U_n = \frac{U}{2}.$$

Для дальнейших расчётов необходимо преобразовать схему формирователя к следующему виду:

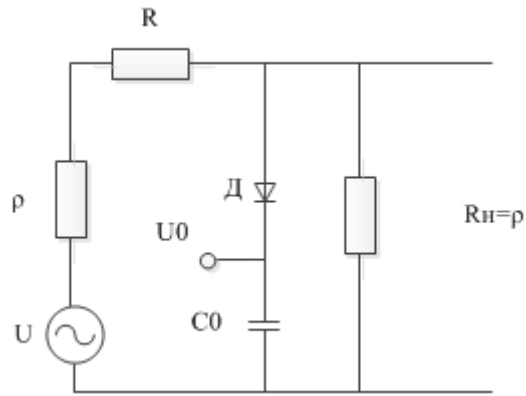


Рисунок 8. Схема замещения корректора импульса.

Принцип работы данной схемы замещения: параллельно R_n включаем через диод опорную ёмкость, которую заряжаем до опорного напряжения $U_0 \leq U$. При подаче напряжения происходит предварительная зарядка опорной ёмкости C_0 через диод, который осуществляет одностороннюю токопроводимость. Данный диод препятствует самопроизвольной разрядке ёмкости. Если $U_0 < U$, то ток протекает в ёмкость через диод. Ёмкость C_0 должна быть больше ёмкости линии. При $U_0 = U$ ток прекращает поступать на ёмкость.

Данная схема описывается следующими уравнениями:

$$\begin{cases} U_1(t) - R \cdot I_1(t) - U_2(t) = 0; \\ U_2(t) = I_2(t) \cdot R_n; \\ I_1(t) = -C_1 \cdot \frac{dU_1(t)}{dt}; \\ I_1(t) = I_2 + C_2 \cdot \frac{dU_2(t)}{dt}. \end{cases}$$

Решая данную систему, получим следующие соотношения [12]:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{k} \left[\frac{U_{01}}{U_{02}} - 1 - k \right]. \quad (5)$$

Т.е., в принципе, режим стабилизации (т.е. рост вершины импульса) может быть достигнут при любом соотношении C_1/C_2 , но для получения значительных по длительности импульсов с малым отклонением ΔU необходимо выполнение условия $C_2 \gg C_1$ [14].

Для конечных значений R_2 условие $dU_2/dt \leq 0$ выполняется в момент времени (обозначим его временем нарастания вершины импульса t_{inc}):

$$t_{inc} = \frac{1}{s_2 - s_1} \cdot \ln \left[\frac{(1 - \tau_1 \cdot s_1) - U_{02}/U_{01} \cdot \frac{s_2}{s_1} \cdot \frac{1 - \tau_1 \cdot s_2}{1 - \tau_1 \cdot s_1}}{(1 - \tau_1 \cdot s_2) - U_{02}/U_{01} \cdot \frac{s_2}{s_1} \cdot \frac{1 - \tau_1 \cdot s_2}{1 - \tau_1 \cdot s_1}} \right]. \quad (6)$$

Анализ выражения показывает, что при любых параметрах схемы R , R_n , C_1 и C_2 можно выбрать отношение U_{01}/U_{02} таким, что будет реализован режим нарастания напряжения на нагрузке (режим стабилизации).

При заданном превышении напряжения на нагрузке ΔU_+ , соотношение между параметрами схемы выражается в неявном виде через уравнение:

$$\frac{\Delta U_+}{U_{02}} = \left[1 - \frac{U_{01}}{U_{02}} \cdot (1 - \tau_1 \cdot s_2) \right] \cdot (1 - \tau_1 \cdot s_1) \cdot \exp(-s_1 \cdot t_{inc}) / \tau_1 \cdot s_2 - 1. \quad (7)$$

Так, для точности поддержания амплитуды импульса $k=0.01$ (1%) :

- 1) Примем $U_{01}=2\text{кВ}$, $U_{02}=1\text{кВ}$;
- 2) ОФЛ представляет из себя кабель РК-75-4 (коаксиальный радиочастотный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом), для которого электрическая ёмкость равна 55 пФ/м. Тогда общая ёмкость кабеля $C_{л} = 55 \frac{\text{пФ}}{\text{м}} * 11\text{м} = 0.605 \text{ нФ}$;
- 3) Воспользуемся соотношением для определения точности следования импульса, чтобы найти минимальное значение опорной ёмкости:

$$\frac{C_0}{C_{л}} = \frac{1}{k} \left[\frac{U_{01}}{U_{02}} - 1 - k \right].$$

Так как $k=0.01$ (из условия), то зная $C_{л}=0.605 \text{ нФ}$ найдём C_0 :

$$C_0 = \frac{C_{л}}{k} * \left(\frac{U_{01}}{U_{02}} - 1 - k \right) = 59.895 \text{ нФ}$$

То есть, для достижения точности следования 1% при максимальном опорном напряжении до 2кВ необходима ёмкость 59.895 нФ. При использовании ёмкости, большей, чем 59.895 нФ, будет достигаться точность более 1%.

4) Найдём время нарастания вершины импульса t_{inc} для заданных параметров:

$$t_{inc} = \frac{1}{s_2 - s_1} \cdot \ln \left[\frac{(1 - \tau_1 \cdot s_1) - U_{02}/U_{01} \cdot s_2 \cdot \frac{1 - \tau_1 \cdot s_2}{1 - \tau_1 \cdot s_1}}{(1 - \tau_1 \cdot s_2) - U_{02}/U_{01} \cdot s_1 \cdot \frac{1 - \tau_1 \cdot s_1}{1 - \tau_1 \cdot s_1}} \right]. \quad (8)$$

$$s_{1,2} = \frac{(\tau_2 + \tau_3 + \tau_1) \mp \sqrt{D}}{2 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2}, \quad \tau_1 = R \cdot C_1, \quad \tau_2 = R_n \cdot C_2, \quad \tau_3 = R_n \cdot C_1;$$

$$D = (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)^2 - 4 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 = (\tau_2 + \tau_3 - \tau_1)^2 + 4 \cdot \tau_1 \cdot \tau_3. \quad (9)$$

Из расчётов следует, что $s_1 = 1.091 \cdot 10^5$, $s_2 = 2.208 \cdot 10^7$;

Отсюда следует, что $t_{inc} = 49.68 \cdot 10^{-9} \text{с} = 49.66 \text{нс}$

5) Повторим пункты 1-4 для:

а) $U_{01}=1.8\text{кВ}$, $U_{02}=1\text{кВ}$;

б) $U_{01}=1.7\text{кВ}$, $U_{02}=1\text{кВ}$;

в) $U_{01}=1.6\text{кВ}$, $U_{02}=1\text{кВ}$;

г) $U_{01}=1.5\text{кВ}$, $U_{02}=1\text{кВ}$;

д) $U_{01}=1.4\text{кВ}$, $U_{02}=1\text{кВ}$;

Получим:

а) $t_{inc} = 3.959 \cdot 10^{-8} = 39.19 \text{нс}$

б) $t_{inc} = 3.354 \cdot 10^{-8} = 33.53 \text{нс}$

в) $t_{inc} = 2.654 \cdot 10^{-8} = 26.53 \text{нс}$

г) $t_{inc} = 1.823 \cdot 10^{-8} = 18.22 \text{нс}$

д) $t_{inc} = 8.019 \cdot 10^{-9} = 8.17 \text{нс}$.

По полученным значениям построим график зависимости U_{02}/U_{01} от t_{inc} :

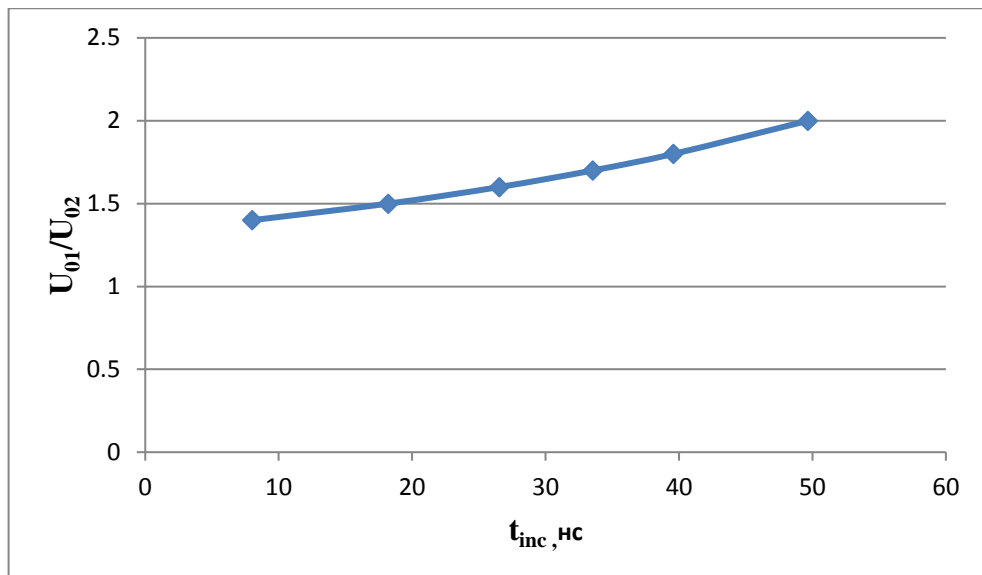


Рисунок 9. График зависимости U_{02}/U_{01} от t_{inc} .

Как видно из зависимости, чем больше опорное напряжение, тем выше скорость нарастания импульса.

Теперь посчитаем отношение разности напряжений к опорному напряжению.

$$\frac{\Delta U_+}{U_{02}} = \left[1 - \frac{U_{01}}{U_{02}} \cdot (1 - \tau_1 \cdot s_2) \right] \cdot (1 - \tau_1 \cdot s_1) \cdot \exp(-s_1 \cdot t_{inc}) / \tau_1 \cdot s_2 - 1.$$

При рассчитанных выше значениях:

$$\frac{\Delta U}{U_{02}} = 0.03.$$

Данное значение отлично от теоретического $k=0.01$ потому, что в данной формуле были учтены паразитные элементы и соотношения напряжений $\frac{U_{01}}{U_{02}}$ фигурировало более 1 раза, что повысило точность расчётов.

Заключение

В ходе проделанной работы проведена разработка формирователя прямоугольных импульсов профилированного напряжения на основе схемы с ОФЛ и распределёнными параметрами.

Конечный вариант схемы позволил формировать ровную вершину прямоугольного импульса, что было наглядно продемонстрировано на полученных в ходе разработки осциллограммах.

Произведённые расчёты позволили подобрать необходимые элементы схемы для обеспечения точности поддержания амплитуды не более 3%.

Вывод

Разработана схема генератора анализирующих импульсов профилированного напряжения для времяпролётного спектрометра на основе схемы с ОФЛ и распределёнными параметрами. Соотношение емкостей $\frac{C_0}{C_L}$ было подобрано таким образом, чтобы обеспечить точный срез вершины импульса по задаваемому нами опорному напряжению U_0 , что в свою очередь обеспечило точность поддержания амплитуды импульса $0.5\% \leq k \leq 3\%$.

Результаты учебно-исследовательской работы за время обучения были использованы в гранте РФФИ 14-19-00439 “Разработка и исследование метода эффективной генерации мощных пучков легких и тяжелых ионов в магнитно-изолированных диодах с активными плазменными источниками для создания технологических импульсно-периодических ускорителей с высокой частотой следования импульсов”.

Глава 3. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Целью данной главы является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации [34].

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

3.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

В данной работе проводилась разработка формирователя прямоугольного импульса $U(t)$ на основе одиночной формирующей линии (ОФЛ). Были предложены несколько вариантов реализации схемы: с отсечкой импульса, с частичным или полным разрядом ёмкости накопителя, с распределёнными параметрами.

На данном этапе говорить о коммерческом потенциале данного исследования рано. Данная разработка может быть полезна для формирования ионных пучков сверхкороткой длительности и как физический инструмент для различных исследований, так и для создания сверхмощных импульсов нейтронного излучения, для генерации нейтральных пучков. Их использование даёт возможность для различных физических исследований, новых физических инструментов. В качестве заинтересованных могут выступать организации, сфера деятельности которых затрагивает следующие области:

- Биомедицинская масс-спектрометрия (инструмент, позволяющий идентифицировать белки)
- Аналитическая масс-спектрометрия

–Ядерная энергетика (определяет степень обогащения расщепляющихся материалов и их чистота)

– Приборостроение

Развитие новых методик ставит новые задачи по проектированию и созданию новых методов формирования импульсов. Изготовления новых генераторов, как для научных, так и для прикладных целей, так же требует решение задач связанных с созданием диодной системы, соответствующих необходимым параметрам плазмы.

3.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 5. В качестве конкурирующих разработок были приняты: времяпролётная методика с постоянной энергией ионов – K1, времяпролётная методика с растущей энергией ионов (временная компрессия ионных пучков) – K2.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Выбранные критерии оценки были обоснованы в экспериментальной части работы. Наиболее весомую роль вносит качество отсечки импульса. Этот критерий для нашей НИР остаётся вне конкуренции.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i , \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 3. - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Дешевизна и доступность компонентов	0.15	5	3	3	0.75	0.45	0.45
2. Удобство в эксплуатации	0.1	4	5	4	0.4	0.5	0.4
3. Работа формирователя в линейно-нарастающем режиме	0.1	5	3	4	0.5	0.3	0.4
4. Точность задания амплитуды импульса	0.05	5	4	4	0.25	0.2	0.2
5. Надежность	0.1	3	5	5	0.3	0.5	0.5
6. Возможность модификации	0.1	5	4	5	0.5	0.4	0.5
7. Отсутствие паразитных емкостей	0.1	5	5	4	0.5	0.5	0.4
8. Отсечка после импульса	0.2	5	3	5	1	0.6	1
9. Время срабатывания	0.05	4	5	3	0.2	0.25	0.15
10. Простота эксплуатации	0.05	5	4	5	0.25	0.2	0.25
Итого	1	46	41	42	4.65	3.9	4.45

Под критериями $B_{к1}$ и $B_{к2}$ подразумеваются организации с методом получения прямоугольного импульса схожей с нашей. $B_{к1}$ предлагает высокое время срабатывания и удобство в использовании, в то время как $B_{к2}$ акцентирует внимание на повышенной надёжности устройства, по отношению к нашей разработке.

3.1.3. SWOT-анализ

В качестве анализа нашего проекта выбран SWOT-анализ, так как он обеспечивает наглядную картину преимуществ и недостатков НИР, а так же на основе этого анализа проще выполнить корректировку схемы, сопоставив сильные стороны проекта со слабыми сторонами и угрозами.

Сильными сторонами разработки формирователя прямоугольного импульса $U(t)$ на основе одиночной формирующей линии (ОФЛ) можно назвать следующие свойства и особенности:

- возможность получения прямоугольного импульса;
- возможность работы схемы в нс диапазоне;
- возможность получения линейно-нарастающего импульса;
- необходимость использования формирователя с различными измерительными и экспериментально-исследовательскими устройствами, которым требуется генератор прямоугольных и линейно-нарастающих импульсов.

Слабыми сторонами разработки можно назвать следующие свойства и особенности:

- использование длинных формирующих линий (11м);
- трудности при подборе необходимых компонентов;
- сложные теоретические расчёты;
- наличие паразитных ёмкостей и индуктивностей.

К возможностям данного проекта можно отнести:

- дальнейшая модернизация схемы, уменьшение размеров и увеличение быстродействия и точности среза вершины импульса;
- использование большого спектра различных импульсов;
- необходимость использования формирователя в серьёзных научных исследованиях, с целью получения прямоугольного импульса для какой-либо исследовательской установки, что в дальнейшем упростит расчёты.

К угрозам можно отнести:

- отсутствие коммерческого интереса к проекту;
- выход из строя одиночной формирующей линии;
- поломка генератора.

В таблице 2 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки

Таблица3.1. - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

Подобные матрицы были построены для анализа сильных сторон и угроз проекта, для анализа слабых сторон и возможностей проекта, а также для анализа слабых сторон и угроз проекта.

В таблице 3 представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 3.1.1 - SWOT - анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. возможность получения прямоугольного импульса;</p> <p>С2. возможность работы схемы в нс диапазоне;</p> <p>С3. возможность получения линейно-нарастающего импульса;</p> <p>С4. необходимость использования формирователя с различными измерительными и экспериментально-исследовательскими устройствами, которым требуется генератор прямоугольных и линейно-нарастающих импульсов.</p>	<p>Сл1. использование длинных формирующих линий (11м);</p> <p>Сл2. трудности при подборе необходимых компонентов;</p> <p>Сл3. наличие паразитных ёмкостей и индуктивностей.</p> <p>Сл4. Сложные теоретические расчёты.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. дальнейшая модернизация схемы, уменьшение размеров и увеличение быстродействия и точности среза вершины импульса;</p> <p>В2. необходимость использования формирователя в серьёзных</p>	<p>1. Развитие новых подходов для формирования сверхкоротких импульсов ионных токов единицы и доли наносекунд;</p> <p>2. Использование как нового физического инструмента для создания сверхмощных импульсов нейтронов, нейтральных потоков.</p>	<p>1. Возможность получения ровной вершины импульса ;</p> <p>2. Разработка компьютерных программ для упрощения расчётов;</p> <p>3. Использование большого спектра различных импульсов.</p>

<p>научных исследованиях, с целью получения прямоугольного импульса для какой-либо исследовательской установки, что в дальнейшем упростит расчёты.</p>		
<p>Угрозы: У1. отсутствие коммерческого интереса к проекту; У2. выход из строя одиночной формирующей линии; У3. Отсутствие коммерческого интереса к проекту; У4. поломка генератора.</p>	<p>1. Возможность повышения безопасности и внимательности при эксплуатации оборудования, а затем и при работе с большим количеством данных. 2. Анализа рынка потребителей.</p>	<p>1. Возникновение трудностей при расчёте большого количества данных. 2. Устранение слабых сторон этого проекта, а также повышение технологического пакета данной разработки, помогут решить проблему с отсутствием коммерческого интереса к проекту.</p>

Проанализировав характер НТР можно сделать вывод, что наиболее оптимальной стратегией выхода разработки на рынок является стратегия совместной предпринимательской деятельности. Совместная предпринимательская деятельность – это стратегия, которая основана на соединении общих усилий фирмы с коммерческими предприятиями партнера для создания производственных и маркетинговых мощностей. Эта стратегия выбрана, так как необходимо найти стабильный рынок заказов и сбыта товара.

Данный прибор и метод формирования находятся на стадии разработки. Ведутся подготовки к получению экспериментальных значений импульса на данном приборе. Анализ показал, что данное устройство, наряду

с преимуществами имеет ряд недостатков, которые будут устранены на стадии доработки проекта.

3.2. Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки разбиваются на этапы в соответствии с ГОСТ 15.101-98, (для НИР) ГОСТ Р 15.201-2000 (для ОКР). В зависимости от характера и сложности НИОКР ГОСТ допускает деление этапов на отдельные виды работ.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.1.2.

Таблица 3.1.2. - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка	1	Составление и утверждение	Руководитель

технического задания		технического задания	темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные расчёты параметров генератора импульса	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	6	Выбор оптимальных параметров для расчёта	Руководитель, студент
	7	Разработка схем формирователя	Руководитель, студент
	8	Оценка правильности полученных результатов	Руководитель, студент
	9	Построение графиков	Студент
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент
	11	Определение целесообразности проведения ВКР	
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ВКР)	12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	студент
	13	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, студент
	14	Поиск путей оптимизации	Руководитель,

		разработки	студент
--	--	------------	---------

3.2.2. Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоёмкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости $t_{ожі}$ используется следующая формула (4):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{mini}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; t_{mini} – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Пример:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{mini}}{5},$$

Далее расчёты проводятся аналогично.

Исходя из ожидаемой трудоёмкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p (6), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими

исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Гантта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой (7):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле :

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе

T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56$$

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. 3.3).

Таблица 3.3 — Временные показатели проведения научного исследования (Р– научный руководитель; С – студент)

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность в раб. днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни			
1. Составление и утверждение технического задания	0,5	1	1	Р	0,9	1
2. Выбор направления исследования проводимых в рамках ВКР	1	1	1	Р	0,7	1
3. Подбор и изучение материалов по теме	7	10	8,2	С	8,2	12
4. Календарное планирование работ по теме	1	2	1	С	1,5	2
5. Проведение теоретических расчетов и обоснований	2	5	3,2	С	1,6	2
6. Выбор оптимальных параметров для расчёта	1	3	1,8	С	0,9	1
7. Разработка методик формирования прямоугольных импульсов	5	10	7	С	7	10
8. Оценка правильности полученных результатов	2	7	4	С	4	6
9. Построение графиков	4	5	4,4	С	4,4	7
10. Составление пояснительной записки	1	2	2	С,Р	2,2	3
11. Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	1	1	Р	5,2	8
12. Поиск путей оптимизации разработки	4	5	4,4	С	4,4	7

На основе табл. 3.2 выше строится календарный план- график. График строится для максимального по длительности исполнения работы в

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

3.2.5. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле(9):

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

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу.

Отсутствие в таблице разделения на источники финансирования говорит о том, что источник один. Источник финансов в данной работе – студент.

Основные работы для ВКР проводились за персональным компьютером (ноутбуком) в пределах научного комплекса. Время,

проведенное работой у компьютера, примем равным 900 часам. Мощность ноутбука: 0,9 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = \Pi_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,9 \cdot 900 = 4698,$$

где $\Pi_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5.8 руб. за 1 кВт·ч); P – мощность оборудования, кВт; $F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 4698 рублей.

Материальные затраты, необходимые для выполнения представленных в проекте расчетов разработки, представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5— Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
1. Бумага	шт.	200	0,4	80
2. Печать на листе А4	шт.	200	1,5	300
3. IGBT – транзистор IRG7PH42UPBF	шт.	24	420	10080
4. Диод UF5408	шт.	100	12	1200
5. Кабель ОФЛ РК-75-4	м	20	20,5	410
6. Электроэнергия	кВт·ч	900	2,70	4698
Итого				16768

3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и

опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, студента) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Для руководителя: $Z_{осн} = 1255 \cdot 5 = 6276$ рублей

Для студента: $Z_{осн} = 118,89 \cdot 76 = 9036$ рублей

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 11).

Тогда,

для руководителя: $Z_{\text{дн}} = \frac{22300 \cdot 11,2 \cdot 1,3}{209} = 1553,53$ рублей

для студента: $Z_{\text{дн}} = \frac{1750 \cdot 10,4 \cdot 1,3}{185} = 127,89$ рублей

где 1,3 – это районный коэффициент для Томска, k_p

Заработная плата Z_m по тарифной ставке (оклад) доцента, кандидата наук – 22300 руб.

Государственная академическая стипендия студента – 1750 руб.

Таблица 4.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	118	118
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	209	185

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	-	1,3	22300	1553,53	5	7768
Студент	1750	1,3	1750	127,89	76	9719,64

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1. оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2. стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.
3. иные выплаты; районный коэффициент.

3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 7768 \cdot 0,12 = 932,$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Дополнительная заработная плата

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$	$Z_{\text{доп}}$
Руководитель	0,12	6276	932
Итого			932

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ)

и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пф}} + k_{\text{с}} + k_{\text{пн}},$$

где $k_{\text{пф}}$ – коэф. отчисления в пенсионный фонд; $k_{\text{с}}$ – коэф. Отчисления страховых взносов; $k_{\text{пн}}$ – коэф. отчисления в подоходный налог.

$$k_{\text{внеб}} = 0,271$$

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	7768	9719,64
Дополнительная заработная плата, руб.	932	-
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Сумма отчислений	2357,7	-
Итого	2357,7	

3.3.5 Формирование бюджета затрат НИП

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	16768
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	17487,64
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	932
Отчисления во внебюджетные фонды	2357,7
Контрагентные расходы	-
Накладные расходы	-
Бюджет затрат НИИ	37544,64

3.3.6. Оценка научно-технического эффекта

Социально-научный эффект проявляется в росте открытий, изобретений, увеличении суммарного объема научно-технической информации, полученной в результате выполнения НИОКР, создании научного «задела», являющегося необходимой предпосылкой для проведения в будущем прикладных НИОКР и выполнения работ по модернизации конструкции выпускаемых изделий.

За последние года появились предложения не только по качественной характеристике социального эффекта, но и по системе количественных показателей его оценки.

Элементом количественной оценки социально-научного эффекта следует считать определение научно-технического эффекта НИОКР по методике[55]. Сущность этой методики состоит в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент научно-технического эффекта НИОКР:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 r_i \cdot k_i ,$$

где r_i – весовой коэффициент i -того признака (определяется по таблице 4.1);

k_i – количественная оценка i -того признака.

Признак научно-технического эффекта НИОКР (i)	Примерные значения весового коэффициента (r)
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможности реализации	0,2

Количественная оценка уровня новизны НИОКР определяется на основе значения баллов по таблице 4.2

Уровень новизны разработки	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Результаты исследований открывают новое направление в данной области науки и техники	8-10
Новая	По-новому или впервые объяснены известные факты, закономерности	5-7
Относительно новая	Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути дальнейших исследований	2-4
Традиционная	Работа, выполненная по традиционной методике, результаты исследований носят информационный характер	1
Не обладающая новизной	Получен результат, который был ранее известен	0

Теоретический уровень полученных результатов НИОКР определяется на основе баллов, приведённых в таблице 4.3

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
Установление закона; разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы: многоаспектный анализ связей, взаимозависимости между фактами с наличием объяснения	8
Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство и т.п.)	6
Элементарный анализ связей между фактами с наличием гипотезы, симплексного прогноза, классификации, объясняющей версии или практических рекомендаций частного характера	2
Описание отдельных элементарных фактов (вещей, свойств и отношений); изложение опыта, наблюдений, результатов измерений	0.5

Возможность реализации научных результатов определяется на основе значения баллов (таблица 4.4).

Время реализации	Баллы
В течении первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Более 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль (министерство)	4
Народное хозяйство	10
Примечание: Баллы по времени и масштабам реализации складываются.	

Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, вследствие чего определим уровень новизны разработки как относительно новой, т.е. $k_1=4$.

В результате исследований был разработан способ связи между ЭВМ и формирования прямоугольного импульса. В соответствии с таблицей 4.3 $k_2=6$.

Возможность реализации результатов разработки: по времени – в течении первых лет по масштабам реализации – на одном или нескольких предприятиях. В соответствии с таблицей 4.3 $k_3=10+2=12$.

Коэффициент научно – технического эффекта равен:

$$H_T=0,6 \cdot 4 + 0,4 \cdot 6 + 0,2 \cdot 12 = 7,2.$$

Таблица 4.5 – Оценка уровня научно – технического эффекта.

Уровень научно – технического эффекта	Коэффициент научно – технического эффекта
Низкий	1-4
Средний	5-7
Сравнительно высокий	8-10
Высокий	11-14

В соответствии с таблицей 4.5, уровень научно – технического эффекта – средний.

Вывод к разделу

В данном разделе рассмотрена экономическая эффективность настоящей выпускной работы. Проведенный SWOT-анализ позволил выявить сильные и слабые стороны проекта, проанализировать их и предпринять меры по устранению слабых сторон, а также возможности и угрозы данной НИР, которые нужно учитывать при дальнейшем развитии методик разработки. Сравнение с аналогами позволило выявить преимущества и недостатки, на которые стоит уделять особое внимание. Построенный график работ позволил рассчитать реальную заработную плату для всех участников проекта. Для того, чтобы показать, что данный проект имеет место быть в научной и экономической сфере, был проведен анализ эффективности данной работы и сравнен с эффективностью других работ.

Глава 4. Социальная ответственность

В связи с различными чрезвычайными ситуациями происходящими на предприятии, соответственно очень важным является обеспечение безопасности рабочих мест на предприятии, и предотвращение возможных опасных ситуации. Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Одновременно должно осуществляться последовательное повышение качества и эффективности всех средств коллективной и индивидуальной защиты от вредных и опасных производственных факторов, увеличение объема их производства до полного удовлетворения потребностей народного хозяйства и рациональное их использование.

Охрана труда - это система законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека во время труда [34].

Полностью безопасных и безвредных производств не существует. Задача охраны труда — свести к минимуму вероятность поражения или заболевания работающего с одновременным обеспечением комфорта при максимальной производительности труда. Реальные производственные условия характеризуются, как правило, наличием некоторых опасных и вредных производственных факторов.

Опасным производственным фактором, согласно ГОСТ [34], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

4.1. Анализ опасных и вредных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов [35], которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

В выпускной квалификационной работе были разработаны методы для определения масс-зарядового состояния плазмы для времяпролётного масс-спектрометра и были проведены измерения на этом приборе. В таблице 4.1 приведены основные вредные и опасные факторы производственного процесса.

Таблица 4.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПК. Получение прямоугольного импульса схемой формирователя, в лаборатории №1 ИФВТ		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
		Пожарная опасность	ППБ 01-03. Правила пожарной

			безопасности в Российской Федерации.
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)		Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»

На инженера, работа которого связана с разработкой генератора прямоугольных импульсов, воздействуют следующие факторы:

- физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой чистоты; освещённость; наличие излучения; психофизиологические.

- психофизиологические опасные и вредные производственные факторы делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

4.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ

4.2.1. Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая квалификационная группа по технике безопасности с учётом его знаний и опыта работы и выдается специальное удостоверение. Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

4.2.2. Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости изображены на рисунке 45.

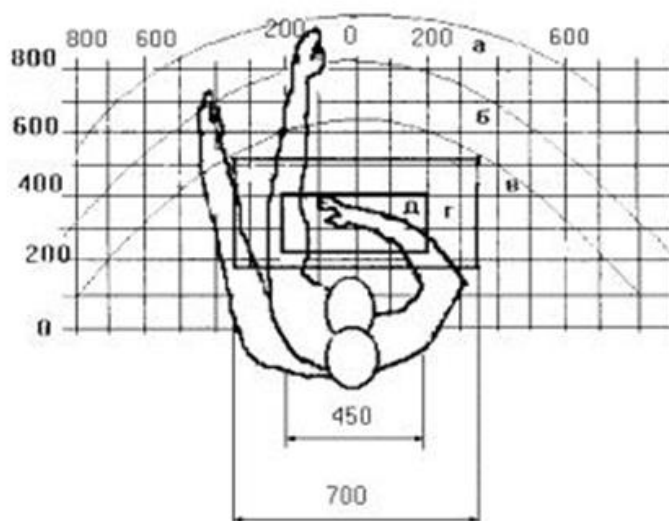


Рисунок 45 – Зоны досягаемости рук.

- а - зона максимальной досягаемости рук;
- б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в - зона легкой досягаемости ладони;
- г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура - в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация: в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) - литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования: высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм; высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм.; рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм.; должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.; рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем; монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме

того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели. При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

4.2.3. Условие безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Микроклимат – комплекс физических факторов внутренней среды помещений, оказывающий влияние на тепловой обмен организма и здоровье человека.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность,

скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии со [36К] и приведены в таблице 18.

Таблица 18– Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40-60	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека — не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность — 40%, скорость движения воздуха — 0,1 м/с, температура летом — 20..25 °С, зимой — 13..15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [36] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц — 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц — 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц — 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц — 25нТл

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на

расстоянии 0,05 м от экрана не более $7,7 \cdot 10$ А/кг, что соответствует эквивалентной дозе, равной 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света

4.3. Электробезопасность

Действие электрического тока на человека носит сложный и разнообразный характер. При замыкании электрической цепи через организм человека ток оказывает термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие.

Термическое действие тока проявляется в виде ожогов как наружных участков тела, так и внутренних органов, в том числе кровеносных сосудов и нервных тканей. Электроожоги излечиваются значительно труднее и медленнее обычных термических, сопровождаются внезапно возникающими кровотечениями, омертвением отдельных участков тела.

Электролитическое действие тока вызывает электролиз крови и лимфатической жидкости, в результате чего нарушается их химический состав и ткани организма в целом.

Биологическое воздействие выражается в раздражении живых тканей организма. Электрический ток нарушает действие биотоков, управляющих внутренним движением ткани, вызывает непроизвольное, противоестественное судорожное сокращение мышц сердца и легких.

Механическое действие тока, на организм является причиной электрических травм. Характерными видами электротравм являются ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия, разрывы тканей, вывихи суставов и переломы костей.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует

работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. При измерениях и численном моделировании существует опасность электропоражения в следующих случаях [37]:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы следующие защитные средства. Отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы, вывешивание плакатов, указывающих место работы, заземление корпусов всех установок через нулевой провод, покрытие металлических поверхностей инструментов надёжной изоляцией, недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклучение в корпус токоведущих частей).

4.4. Противопожарная безопасность

Согласно нормам пожарной безопасности, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [38]. Так как помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер [39]. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному);
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС;
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Список публикаций

1. Грант РФФИ 14-19-00439 "Разработка и исследование метода эффективной генерации мощных пучков легких и тяжелых ионов в магнитно-изолированных диодах с активными плазменными источниками для создания технологических импульсно-периодических ускорителей с высокой частотой следования импульсов."
2. High-current pulsed induction plasma source for generation of high intensity ion beams of different gases / A. V. Petrov [et al.] // Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE-2016) : International Congress, October 2–7, 2016, Tomsk, Russia : abstracts. — Tomsk : TPU Publishing House, 2016. — [P. 41].
3. Lopatin V.S., Stepanov A.V., Remnyov G.E., Shamanin V.I., Veresov A.E. Gas release of an anode and its effect on the characteristics of an ion diode with electron flux insulation by a radial magnetic field // Technical Physics Letters. – 2017 – Vol. 43 - №. 1. – p. 12 -15.

Список использованных источников

1. Кралькина Е.А. // Успехи физических наук. 2008. Том 178. № 5. С. 519-540.
2. Kurt A. Polzin // Journal of propulsion and power. Vol. 27, No. 3, May – June 2011.
3. Сиберт У.М. // Цепи, сигналы, системы. В 2-х ч: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982.
4. Левин Б.Р. Теоретические основы статической радиотехники: М.: Радио и связь, 1989.
5. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры: Соврадио, 1980.
6. Прикладные математические методы анализа в радиотехнике. Под ред. Обрезкова Г.В.: М.: Высшая школа, 1985.
7. Тихонов В.И. Статическая радиотехника: Соврадио, 1982.
8. Надольский А.Н. Теоретические основы радиотехники: Минск: БГУИР, 2005.
9. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. Пособие для вузов. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Дрофа, 2006.
10. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. Для вузов по спец. “Радиотехника”, – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2003.
11. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы: в 2-х ч.: пер. с англ. – М.: Мир, 1988.
12. Дьяков В.П. Генерация и генераторы сигналов, М.: СОЛОН – Пресс, 2009.
13. Дьяконов В.П. Многофункциональные генераторы Tektronix AFG3000// Контрольно – измерительные приборы и системы. 2006. № 6(часть 1). 2007. №1 (часть 2).
14. Ельчанинов А. С., Месяц Г. А.//Физика и техника мощных импульсных систем. М.: Энергоатомиздат, 1987. С. 179—188.

15. Википедия свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>

Приложение А

Расчёт параметров схемы и импульса в Mathcad

Расчёт параметров для замены S_1 и S_2 :

$$s1 := \frac{\left(59.895 \cdot 10^{-9} \cdot 76 + 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot 76 + 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot 75\right) - \sqrt{\left(59.895 \cdot 10^{-9} \cdot 76 + 75 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} - 0.605 \cdot 10^{-9}\right)^2 + 4 \cdot 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot 75 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9}}}{2 \cdot 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot 59.895 \cdot 10^{-9} \cdot 76} = 1.091 \times 10^5$$

$$s2 := \frac{\left(59.895 \cdot 10^{-9} \cdot 76 + 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot 76 + 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot 75\right) + \sqrt{\left(59.895 \cdot 10^{-9} \cdot 76 + 75 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} - 0.605 \cdot 10^{-9}\right)^2 + 4 \cdot 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot 75 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9}}}{2 \cdot 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot 59.895 \cdot 10^{-9} \cdot 76} = 2.208 \times 10^7$$

Тогда расчёт времени импульса, зависмый от параметра U_{01} :

$$t_{2000} := \frac{1}{2.208 \times 10^7 + (-1.091)10^5} \cdot \ln \left[\frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5) - \frac{1000}{2000} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7) - \frac{1000}{2000} \cdot (1.091 \times 10^5)} \cdot \frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5)} \right] = 4.966 \times 10^{-8}$$

$$t_{1800} := \frac{1}{2.208 \times 10^7 + (-1.091)10^5} \cdot \ln \left[\frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5) - \frac{1000}{1800} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7) - \frac{1000}{1800} \cdot (1.091 \times 10^5)} \cdot \frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5)} \right] = 3.958 \times 10^{-8}$$

$$t_{1700} := \frac{1}{2.208 \times 10^7 + (-1.091)10^5} \cdot \ln \left[\frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5) - \frac{1000}{1700} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7) - \frac{1000}{1700} \cdot (1.091 \times 10^5)} \cdot \frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5)} \right] = 3.353 \times 10^{-8}$$

$$t_{1600} := \frac{1}{2.208 \times 10^7 + (-1.091)10^5} \cdot \ln \left[\frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5) - \frac{1000}{1600} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7) - \frac{1000}{1600} \cdot (1.091 \times 10^5)} \cdot \frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5)} \right] = 2.653 \times 10^{-8}$$

$$t_{1500} := \frac{1}{2.208 \times 10^7 + (-1.091)10^5} \cdot \ln \left[\frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5) - \frac{1000}{1500} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7) - \frac{1000}{1500} \cdot (1.091 \times 10^5)} \cdot \frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5)} \right] = 1.822 \times 10^{-8}$$

$$t_{1400} := \frac{1}{2.208 \times 10^7 + (-1.091)10^5} \cdot \ln \left[\frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5) - \frac{1000}{1400} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7) - \frac{1000}{1400} \cdot (1.091 \times 10^5)} \cdot \frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5)} \right] = 8.017 \times 10^{-9}$$

$$t_{1200} := \frac{1}{2.208 \times 10^7 + 1.091 \times 10^5} \cdot \ln \left[\frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5) - \frac{1000}{1200} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7) - \frac{1000}{1200} \cdot (1.091 \times 10^5)} \cdot \frac{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7)}{1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5)} \right] = -2.374 \times 10^{-8}$$

Расчёт точности:

$$v = \left[1 - \frac{2000}{1000} \cdot \left[1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7) \right] \cdot \left[1 - 76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (1.091 \times 10^5) \cdot \frac{e^{\left[- (1.091 \times 10^5) \cdot (4.966 \times 10^{-8}) \right]}}{76 \cdot 0.605 \cdot 10^{-9} \cdot (2.208 \times 10^7)} \right] - 1 \right] = 0.03$$

Электрические характеристики коаксиального кабеля:

1. Волновое сопротивление - 75 +/- 3.5 Ом;
2. Электрическая емкость кабеля - 55 пФ/м;
3. Коэффициент укорочения длины волны - 1,22;
4. Сопротивление связи - не более 15 мОм/м;
5. Скорость распространения волны - 82%.