

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

Институт Физико – технический
Направление подготовки 140302 Ядерные физика и технологии
Кафедра Прикладная физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
РАЗРАБОТКА НИЗКОБЮДЖЕТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ГАММА – СПЕКТРОМЕТРА НА ОСНОВЕ PIN - ДИОДА

УДК 621.382.23

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Б	Брянский Кирилл Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПФ	Алейник А.Н.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмент	Тухватулина Л.Р.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ	Вагнер А.Р.	д.ф.-м.н		

Томск – 2016 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен обладать)
Общекультурными компетенциями	
ОК-1	Способностью <i>совершенствовать и развивать</i> свой интеллектуальный и общекультурный уровень, <i>добиваться</i> нравственного и физического совершенствования своей личности
ОК-2	Способностью <i>свободно</i> пользоваться <i>русским и иностранным</i> языками, как средством делового общения; способностью к активной социальной мобильности
ОК-3	Способностью <i>использовать на практике</i> навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, в управлении коллективом, <i>влиять</i> на формирование целей команды, <i>воздействовать</i> на ее социально-психологический климат в нужном для <i>достижения целей</i> направлении, <i>оценивать качество результатов</i> деятельности
ОК-4	Готовностью к принятию <i>ответственности</i> за свои решения в рамках профессиональной компетенции, способностью принимать <i>нестандартные решения</i> , разрешать <i>проблемные ситуации</i>
Профессиональными компетенциями	
ПК-3	Способностью к <i>профессиональной эксплуатации</i> современного оборудования и приборов, в соответствии с целями магистерской подготовки
ПК-7	Способностью <i>применять</i> экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области
ПК-9	Способностью <i>самостоятельно выполнять</i> экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования
ПК-14	Способностью к <i>анализу</i> технических и расчетно-теоретических разработок, к <i>учету</i> их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам
ПК-23	Способностью <i>разрабатывать планы и программы</i> организации инновационной деятельности на предприятии; <i>осуществлять техникоэкономическое обоснование</i> инновационных проектов, управлять программами освоения <i>новой продукции и технологии</i>

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 140302 Ядерные физика и технологии
Кафедра Прикладная физика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Б	Брянский Кирилл Сергеевич

Тема работы:

**РАЗРАБОТКА НИЗКОБЮДЖЕТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ГАММА –
СПЕКТРОМЕТРА НА ОСНОВЕ PIN - ДИОДА**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Разработка низкобюджетного полупроводникового гамма - спектрометра
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1) Обзор и сравнение устройств и систем, предназначенных для исследования механизмов регуляции сократительной активности.2) Разработать лабораторный макет емкостного датчика силы.3) Разработать программное обеспечение для обработки сигналов с датчика силы.4) Исследовать характеристики разработанного прибора, провести испытания на моделях кровеносных сосудов.5) Экономическая часть бакалаврской работы (расчет себестоимости НИОКР).

	б) Социальная ответственность.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема зарядового усилителя Схема формирования импульса
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Исследование сократительной активности	Алейник Александр Никонорович
Разработка и изготовление схемы прибора	
Экспериментальная часть	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение	Тухватулина Лилия Равильевна
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.03.16
---	-----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПФ	Алейник А.Н.	к.ф-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Б	Брянский Кирилл Сергеевич		

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 140302 Ядерная физика и технологии
Кафедра Прикладная физика
Период выполнения (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.16
--	----------

Дата контроля	Название раздела / вид работы
27.03.15	Разработка ТЗ на ВКР
28.03.15-30.03.15	Составление и утверждение ТЗ
01.04.15-10.04.15	Сбор и поиск литературы в рамках проекта
11.04.15-13.04.15	Выбор и обоснование оптимального средства измерения
14.04.15-16.04.15	Разработка принципиальной схемы
01.04.15-16.04.15	Изучение языка программирования C++ и Asembler
17.04.15-20.04.15	Изготовление макета устройства
21.04.15-30.04.15	Программирование микроконтроллера и микросхемы
03.05.15-05.05.15	Тестирование устройства и исследование его характеристик
06.05.15-07.05.15	Проведение эксперимента с источниками
07.05.15-12.05.15	Анализ и обработка полученных данных
15.05.15-20.05.15	Обобщение и оценка результатов
25.05.15-10.06.15	Оформление пояснительной записки
08.06.15-16.06.15	Подготовка к защите ВКР

Составил:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ПФ	Алейник А.Н.	К.ф.-М.Н.		

Согласовано:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ	Вагнер А.Р.	Д.ф.-М.Н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Б	Брянский Кирилл Сергеевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	Прикладная физика
Уровень образования	бакалавр	Направление подготовки	140302 Ядерная физика и 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 (электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током).
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 с ПЭВМ и осциллографом; – радиационная безопасность;

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; – предлагаемые средства защиты;
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; – радиационная безопасность;

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Б	Брянский Кирилл Сергеевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Б	Брянский Кирилл Сергеевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	Прикладная физика
Уровень образования	бакалавр	Направление подготовки	140302 Ядерная физика и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	SWOT-анализ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмент	Тухватулина Л.Р.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Б	Брянский Кирилл Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 100 с., 28 рисунков, 31 источник, 17 таблиц, 4 приложения.

Ключевые слова: спектрометр, PIN-Диод, излучение, Полупроводник, полупроводниковый детектор, источник, эффективность, разрешение

Объектом исследования является разработанный низкобюджетный полупроводниковый гамма – спектрометр на основе pin – диода, который служит для регистрации гамма – квантов..

Целью данной работы является исследование характеристик, разработка и создание низкобюджетного спектрометра на основе pin- диода.

Для достижения поставленной цели в рамках выпускной квалификационной работы необходимо решить следующие задачи:

1. Обзор литературы по применению pin-диода для регистрации излучения.
2. Исследование характеристик pin- диодов.
3. Разработка спектрометра на основе pin- диода.
4. Проведение спектрометрических измерений на полученном приборе.
5. Анализ и сравнение полученных результатов.

В ходе работы была разработана схема прибора, изготовлен полупроводниковый гамма - спектрометр, проведены испытания прибора, также было реализовано программное обеспечение для обработки сигналов со спектрометра.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007.

Оглавление

Введение.....	11
1. Устройство спектрометра.	12
2. Р-і-п диод	14
2.1 Принцип действия р-і-п диода.	14
2.2 Рабочие параметры р-і-п диода	16
2.3 Р-і-п-диод марки «ВРW34»	18
3. Зарядовый усилитель.....	20
3.1 Усиление с открытой обратной связью.	23
3.2 Шум	25
4. Схема формирования импульса.	27
4.1 формирование и обработка импульсов.	27
4.2 Напряжение и ток в зависимости от времени.	29
4.2.1 Разрядка	29
4.2.2 Зарядка	30
4.2 CR дифференциатор или фильтр высоких частот.....	30
4.3 RC – интегратор или фильтр низких частот.	32
4.4 CR – RC формирование.....	34
5. Аппаратурная форма линии.....	37
6. Экспериментальная часть.....	41
6.1 Расчет характеристик.....	46
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 49	
7.1 Потенциальные потребители результатов исследования	50
7.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	51

7.3 SWOT-анализ.....	53
7.4 Планирование научно-исследовательской работы.....	57
7.4.1 Определение трудоемкости выполнения НИОКР	58
7.4.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	60
7.4.3 Календарный план-график в виде диаграммы Гантта	61
7.5 Бюджет научного исследования.....	64
7.5.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	65
7.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы	67
7.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	70
7.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	71
7.5.5 Затраты на научные и производственные командировки.....	72
7.5.6 Контрагентные расходы	73
7.5.7 Накладные расходы	73
7.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	74
7.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	75
Заключение	78
Список использованных источников	79
Приложение А	82
Приложение Б.....	83
Приложение В.....	84

Введение

Актуальность данной работы продиктована тем, что разработка новых детекторов, регистрирующей аппаратуры, методов обработки экспериментальных данных по-прежнему остается важной задачей. Несмотря на то что, к настоящему времени создано множество детекторов различных типов, позволяющих регистрировать излучение любой природы.

Причина этого заключается в том, что решение конкретных задач, как правило, требует предельной оптимизации детектирующих систем. Предъявляемые требования чаще всего противоречивы. Например, необходимо одновременно обеспечить максимальное быстродействие и высокое энергетическое разрешение, либо максимальную эффективность регистрации при минимальном размере и т.д.

Все эти факторы делают актуальной разработку бюджетного переносного спектрометра, обладающего максимально большим возможным разрешением, при минимально возможной стоимости.

Целью данной работы является исследование характеристик, разработка и создание бюджетного спектрометра на основе pin- диода.

Для достижения поставленной цели в рамках выпускной квалификационной работы необходимо решить следующие задачи:

6. Обзор литературы по применению pín-диода для регистрации излучения.
 7. Исследование характеристик pín- диодов в качестве счетчика.
 8. Разработка спектрометра на основе pín- диода.
 9. Проведение спектрометрических измерений на полученном приборе.
 10. Анализ и сравнение полученных результатов.
1. Устройство спектрометра.

Ключевым элементом полупроводникового спектрометра является полупроводниковый детектор излучения. Полупроводниковый детектор это электроды, между которыми находится чувствительный объем детектора, изготовленный из полупроводникового материала. В первом приближении его можно рассматривать как твердотельную ионизационную камеру с твердым диэлектриком между электродами. Так же как и в других ионизационных камерах, в полупроводниковом спектрометре, при попадании в рабочий объем ионизирующего излучения, в нем образуются электроны и дырки, которые под действием электрического поля приложенного к электродам, двигаются в направлении электродов, собираются на них это приводит к возникновению электрического сигнала в цепи. Образующиеся при этом импульсные сигналы напряжения или тока используются для идентификации ионизирующего излучения. Число возникших электрон – дырочных пар практически полностью зависит только от энергии потерянной ионизирующей частицей в рабочем объеме детектора, и не зависит от каких либо других характеристик этой частицы. Это условие позволяет обеспечить линейную связь между амплитудой импульса и энергией частицы потерянной в объеме детектора.

Процесс формирования электрического сигнала протекает в несколько шагов.

Сначала в детекторе образуются свободные носители заряда (электроны и дырки) так как гамма - кванты не обладают электрическим зарядом, их регистрация напрямую не представляется возможной. При взаимодействии гамма – кванта с веществом детектора, он может испытать рассеяние на электроне, либо поглотиться. В любом из этих случаев образуются достаточно быстрые носители заряда, которые взаимодействуя с другими электронами, вызывают процесс каскадной ионизации. Такой процесс будет продолжаться до того момента пока энергии ионизирующих частиц не станут меньше определенного значения, после которого ионизация невозможна. Эта пороговая энергия приблизительно равна $1,5 \epsilon_g$, где ϵ_g - ширина запрещённой зоны. Весь этот процесс протекает за время порядка 10^{-12} с.

В дальнейшем разные взаимодействия электронов с кристаллической решеткой приводят к тому, что электроны как бы опускаются на дно зоны проводимости. А дырки как бы поднимаются к верхнему краю валентной зоны. Этот процесс так же длится около 10^{-12} с, в результате распределение скорости свободных носителей становится тепловым, одновременно с этим происходит замедление основной ионизирующей частицы.

На последней стадии свободные носители заряда собираются на электродах, при помощи внешнего поля, приложенного к этим электродам. И образовавшийся импульс напряжения или тока поступает далее на схему анализа. Так же одновременно с этими процессами протекает и процесс рекомбинации зарядов, который характеризуется временем жизни носителей τ_r . Из этого следует что, время сбора носителей заряда на электродах должно быть меньше времени рекомбинации, это необходимо для нормальной работы устройства.

Таким образом, учитывая все вышеперечисленные процессы и требования к устойчивой работе детектора, была выбрана следующая принципиальная схема полупроводникового спектрометра.

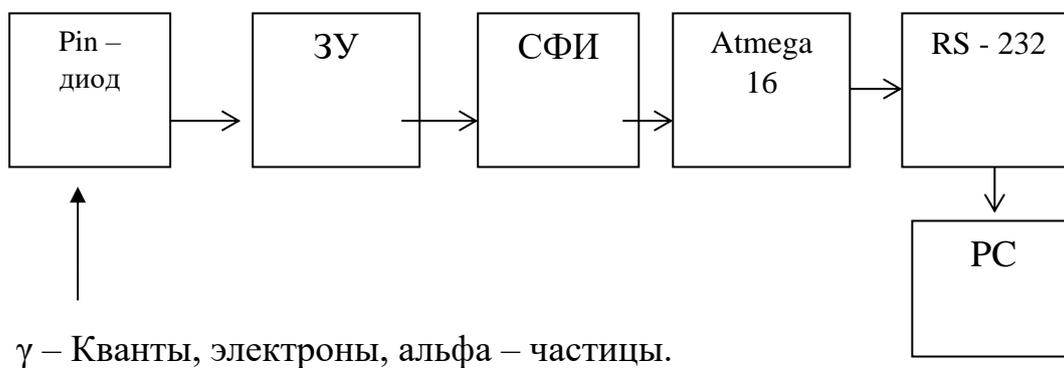


Рисунок.1 Блок – схема спектрометра.

Где, ЗУ – зарядовый усилитель, СФИ – схема формирования импульсов, Atmega 16 – микроконтроллер, RS -232 – comport.

2. P-i-n диод

2.1 Принцип действия p-i-n диода.

P-i-n-диод- это полупроводниковая структура, которая включает в себя область положительных зарядов (p), область отрицательных зарядов (n), и разделяющую их нейтральную область (i), обедненную носителями заряда.

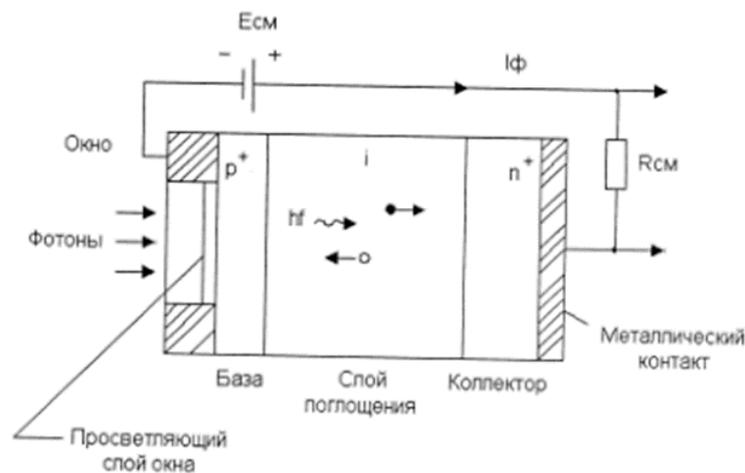


Рисунок 2. Конструкция p-i-n-диода

Чаще всего p и n слой делают сильно легированными для осуществления так называемого омического контакта между металлом и полупроводником. В то же время i-слой является обедненным слоем, так как в нем нет свободных носителей заряда. На p-i-n - переход подают напряжение с обратным смещением. Сильно легированные слои станут проводящими. А слаболегированный слой, так как там нет носителей заряда, будет испытывать только поляризацию.

Ширина внутреннего слоя гарантирует, что высока вероятность поглощения входящих фотонов именно этим слоем, а не областями p- или n- типа. Внутренний слой имеет высокое сопротивление, поскольку в нем нет свободных носителей заряда. Это приводит к падению большей части напряжения на этот слой, и результирующее электрическое поле повышает скорость ответа и снижает шум.

Когда излучение с подходящей энергией попадает на внутренний слой, оно создает пару электрон - дырка, поднимая электрон из валентной зоны в зону проводимости и оставляя на его месте дырку. Под действием электрического поля, обусловленного напряжением смещения, приложенным к электродам носители заряда (электроны и дырки) быстро смещаются из переходной зоны, создавая ток, пропорциональный энергии падающего излучения.

P-i-n диод является неэффективным, если излучение падает на сильно легированные слои n+ и p+. При этом будет возникать диффузионный ток, который из-за большей инерционности ухудшает эффективность. По этой причине слои n+ и p+ нужно делать как можно тоньше, а i-слой обедненный слой - как можно больше, чтобы он поглощал все падающее излучение [7].

Pin-диоды изготавливаются из разных материалов. Для различных материалов различна длина волны излучения, при которой достигается максимальный эффект регистрации падающего излучения.

2.2 Рабочие параметры p-i-n диода

1) Длина волны

У входящей частицы должно быть достаточно энергии для подъема электрона через запрещенную зону и создания пары электрон - дырка. У различных полупроводниковых материалов ширина запрещенной зоны различная, энергетический барьер в электрон-вольтах (эВ) может быть связан с длиной волны (λ) с помощью того же самого уравнения, как для светодиодов.

$$\lambda = \frac{1240}{W} \text{ нм} \quad (1)$$

Для конкретного типа детектора энергетический барьер W есть величина постоянная, поэтому вышеприведенная формула дает максимальную длину волны, которая может быть зафиксирована, то есть длину волны отсечки.

2) Чувствительность

Чувствительность ρ есть отношение выходного тока (i) детектора к входной оптической -мощности (P).

$$\rho = \frac{i}{P} \text{ А/Вт} \quad (2)$$

Для 800 нм чувствительность кремния около 0,5 А/Вт, а пиковая чувствительность InGaAs около 1,1 А/Вт для 1700 нм, снижаясь до 0,77 А/Вт для 1300 нм.

3) Спектральная характеристика

Спектральная характеристика показывает изменение чувствительности в зависимости от длины волны.

4) Скорость ответа

Скорость ответа детектора ограничена временем прохода, которое является временем преодоления свободными зарядами ширины внутреннего слоя. Это функция напряжения обратного смещения и физической ширины. Для быстрых р-і-п-диодов она колеблется от 1,5 до 10 нс. Емкость также влияет на ответ устройства, причем емкость перехода образует изолирующим внутренним слоем между электродами, образованными р- и п-областями. У высокоскоростных фотодиодов время ответа может достигать 10 пикосекунд при емкости в несколько пикофард с очень маленькими площадями поверхностей.

5) Вольтамперная характеристика

Типичные вольтамперные (I-U) кривые для кремниевого р-і-п-фотодиода показаны на рис. 2. Можно видеть, что даже когда нет оптической мощности, течет небольшой обратный ток, который называется темновым током. Он вызывается температурным образованием свободных носителей зарядов, обычно удваиваясь через каждые 10°C прироста температуры после 25°C.

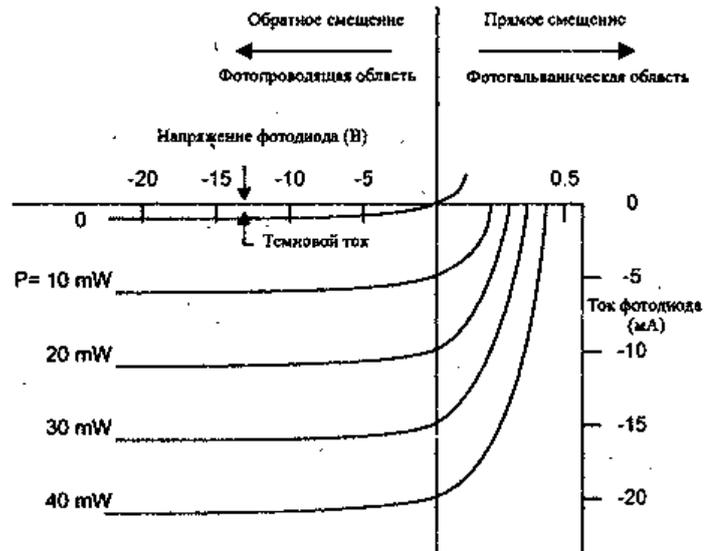


Рисунок 3. Вольтамперные характеристики кремниевого p-i-n- диода.

2.3 P-i-n-диод марки «BPW34»

В данной работе использовался pin-диод марки «BPW34». BPW34 является высокоскоростным и высокочувствительным Pin-диодом в миниатюрной плоской пластиковой упаковке. Также данный диод имеет низкую стоимость (порядка 50 руб/шт при покупке партии от 50 штук).



Рисунок 4. Внешний вид p-i-n- диода марки "BPW34"

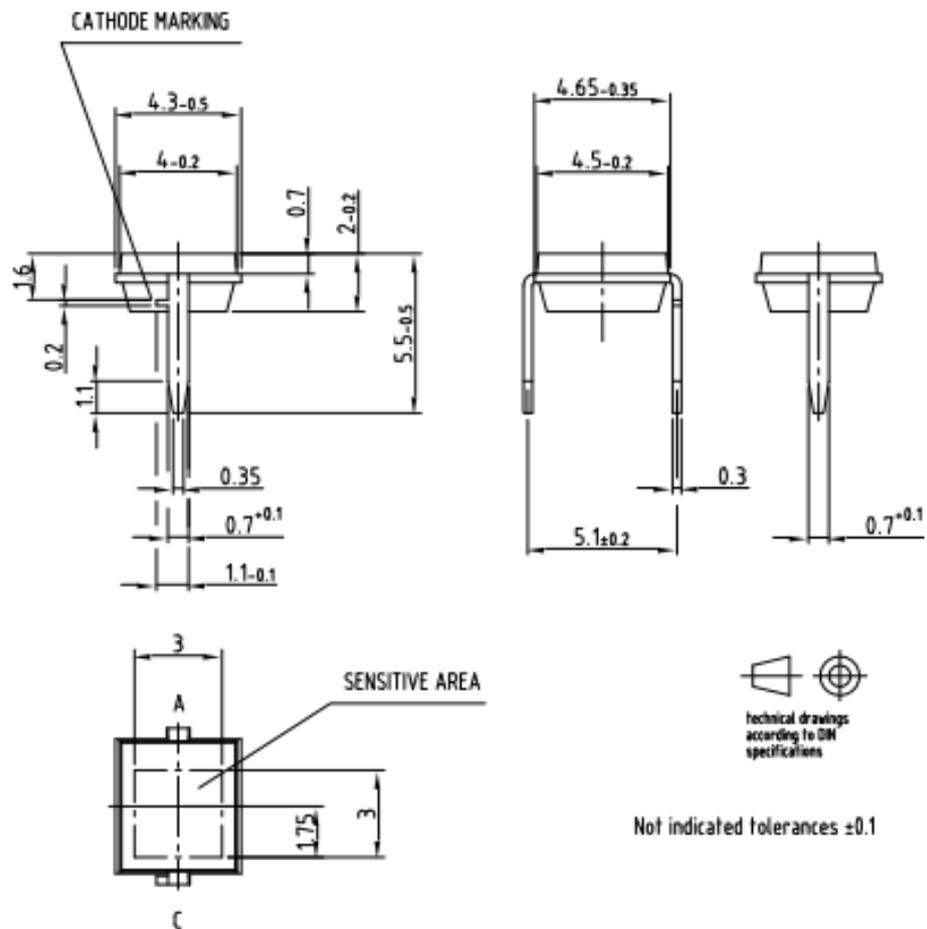


Рисунок 5. Геометрические размеры p-i-n-диода

Эффективная зона 7,5x7,5 мм, фабрикуется на 9x9 мм пластиковой подложке. Гамма излучение поступает с p-стороны и идет через полупроводниковую плоскость, за исключением поглощающей части около 300 мкм толщиной.

Таблица 1- Базовые характеристики диода марки BPW.34

Параметр	Значение
Линейные размеры, мм	5,4*4,3*3,2
Площадь чувствительной области, мм	7,5
Рабочее напряжение максимальное, В	60
Емкость диода, пФ	25-40
Максимум спектральной чувствительности	900
Угол половинной чувствительности	+65
Диапазон спектральной полосы пропускания	600 - 1050

При регистрации излучения малой длительности необходимо применять внешний усилитель, шумы которого не позволяют зарегистрировать вспышку с числом фотонов менее 1000. Поэтому для спектрометра требуется подобрать схему усилителя.

3. Зарядовый усилитель

В случае использования полупроводникового детектора для регистрации мягкого или жесткого рентгеновского или гамма излучения выходной сигнал представляет собой слабый импульс заряда, длительность которого составляет несколько десятков наносекунд. Сам по себе детектор представляет емкостное устройство, выходной, импеданс которого достаточно высокий. Поэтому при проектировании предварительного усилителя эти факты должны приниматься во внимание. В таких случаях часто применяются интеграторы на операционных усилителях с обратной емкостной связью. Так как такие операционные усилители имеют высокое входное сопротивление, они способны интегрировать слабые импульсные заряды и преобразовывать их в импульсы напряжения, которые затем можно усиливать с целью получения низкого выходного импеданса. Усилители такого типа называются зарядовыми усилителями. Входная цепь зарядового усилителя обычно представляет собой низко шумящие полевые транзисторы, а коэффициент усиления имеет очень большую величину. В этом случае усиление не зависит от емкости детектора. Выходной каскад представляет собой низкоимпедансный буфер для того чтобы управлять внешними цепями, которые могут быть присоединены с помощью длинных кабелей.

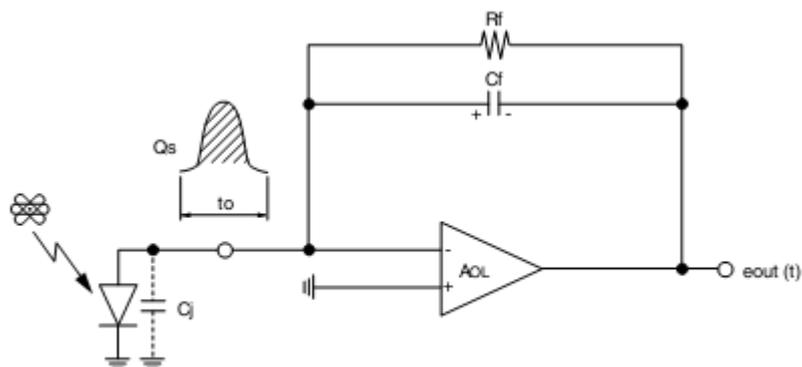


Рисунок 6

Когда гамма квант попадает в полупроводниковый детектор, генерируется импульс заряда Q_s , амплитуда которого зависит от энергии гамма кванта. Вследствие появления заряда на входе одновременно возрастает входной потенциал зарядового усилителя. В то же время на выходе появляется сигнал обратной полярности. Так как коэффициент усиления зарядового усилителя достаточно большой, то выходной сигнал одновременно через цепь обратной связи подается на вход. Влияние цепи обратной связи приводит к тому, что потенциал на входе зарядового усилителя становится равным нулю.

В результате импульсы заряда Q_s интегрируются емкостью обратной связи C_f и появляются на выходе усилителя как импульсы напряжения. Так как, сопротивление обратной связи R_f для постоянного тока подсоединено параллельно емкости обратной связи C_f , то выходные импульсы напряжения представляют собой импульсы, амплитуда которых медленно спадает в соответствии с постоянной времени $\tau = C_f \cdot R_f$. Если детектор обеспечивает постоянную величину заряда в течение промежутка времени от 0 до t_0 то величину заряда можно получить с помощью преобразования Лапласа.

$$Q_s(S) = Q_s \left(\frac{1}{S} - \frac{e^{-St_0}}{S} \right) \quad (3)$$

Аналогично коэффициент передачи дается выражением

$$T(S) = -\frac{1}{C_f} * \frac{1}{S+1/\tau} \quad (\tau = C_f * R_f) \quad (4)$$

В этом случае выходное напряжение будет равным

$$\begin{aligned}
 V(S) &= Q_S(S) * T(S) = Q_S \left(\frac{1}{S} - \frac{e^{-St_0}}{S} \right) * \frac{1}{Cf} * \frac{1}{S + 1/\tau} \\
 &= -\frac{Q_S}{Cf} \left(\frac{1}{S} * \frac{1}{S + 1/\tau} - \frac{e^{-St_0}}{S} * \frac{1}{S + 1/\tau} \right)
 \end{aligned}$$

Импульсное выходное напряжение равно

$$U_{out}(t) = -\frac{Q_S}{Cf} * \frac{1 - e^{-t/\tau}}{t_0/\tau} = \frac{Q_S}{Cf} * \frac{e^{-t_0/\tau} - 1}{t_0/\tau} e^{-t/\tau} \quad (5)$$

Так как обычно $t_0 \ll \tau$, то последнее выражение можно записать в виде

$$U_{out}(t) = -\frac{Q}{Cf} e^{-t/\tau} \quad (6)$$

Как можно видеть из этого уравнения. Импульсы заряда Q_s преобразуются в импульсы напряжения с амплитудой

$$U_{out}(t) = -\frac{Q}{cf} \quad (7)$$

Амплитуда спадает во времени в соответствии с постоянной времени $\tau = C_f R_f$.

Усиление зарядового усилителя можно представить двумя способами: усиление самого усилителя или усиление цепи детектор/усилитель. Коэффициент усиления самого зарядового усилителя G_c дается следующим выражением

$$G_c = \frac{U_{out}}{Q_S} \left(= \frac{1}{cf} \right) \quad (7)$$

Во втором случае обычно используется термин «чувствительность» а, не усиление. Чувствительность выражается в величине выходного напряжения в мВ на один МэВ энергии частицы попавшей в детектор. Амплитуда заряда образованного в детекторе определяется энергией частицы и видом материала, из которого сделан детектор.

$$Q_S = \frac{E * e^-}{\varepsilon} \quad (8)$$

Получим выражение для чувствительности

$$R_S = \frac{U_{out}}{E} = \frac{\frac{Q_S}{Cf}}{Q_S * \frac{\varepsilon}{e^-}} = \frac{e^-}{Cf} * \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\text{мВ}}{\text{МэВ}} \right) \quad (9)$$

Например, при использовании кремниевого детектора и зарядового усилителя с емкостью

$C_f = 2$ пФ чувствительность при комнатной температуре R_S становится равной

$$R_S = 22 \frac{\text{мВ}}{\text{МэВ}}$$

В общем случае для регистрации рентгеновского и гамма излучений необходимо предусмотреть следующие характеристики зарядового усилителя.

- Высокое усиление.
- Низкий уровень шумов.
- Высокая линейность интегрирования.
- Высокая скорость нарастания импульса.
- Высокая температурная стабильность.

3.1 Усиление с открытой обратной связью.

При проведении измерений с рентгеновским или гамма излучением используются различные виды полупроводниковых детекторов. Даже среди кремниевых детекторов имеется много разновидностей. Которые

различаются активной площадью или толщиной уровня обеднения. Более того детекторы имеют различную величину емкости. Поэтому зарядовый усилитель должен обеспечить постоянный коэффициент усиления независимо от емкости детектора. В действительности, выходной сигнал детектора независит от емкости соединения C_j . Это происходит вследствие того, что усиление открытой связи зарядового усилителя очень высокое.

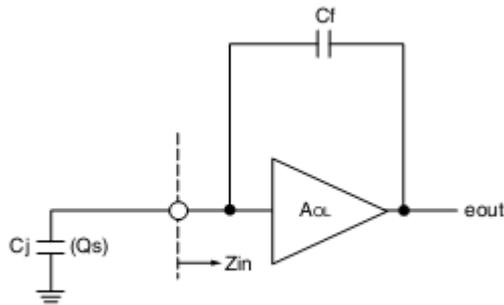


Рисунок 7

Когда зарядовый усилитель присоединяется к детектору, его эквивалентная схема приведена на рис. 7. Исходя из нее входной импеданс со стороны входа усилителя R_{in} дается выражением

$$R_{in} = \frac{1}{j\omega C_f (1 + A_{ol}(j\omega))} \quad (10)$$

Если в детекторе генерируется заряд Q_s то напряжение на входе усилителя становится равным

$$U_{in} = \frac{Q_s}{j\omega C_j + (1 + A_{ol}(j\omega)) * j\omega C_f} \quad (11)$$

Таким образом, выходное напряжение с использованием будет иметь вид

$$U_{out} = \frac{Q_s}{j\omega C_j + \frac{j\omega}{A_{ol}(j\omega)} (C_f + C_j)} \quad (12)$$

Предполагая что $A_{oL} \gg 0$, или другими словами коэффициент усиления открытой обратной связи достаточно большой, то выражение для выходного напряжения упрощается

$$U_{out} = \frac{Q_s}{j\omega C_f} \quad (13)$$

Как видно из этого выражения выходное напряжение зарядового усилителя не зависит от емкости детектора.

3.2 Шум

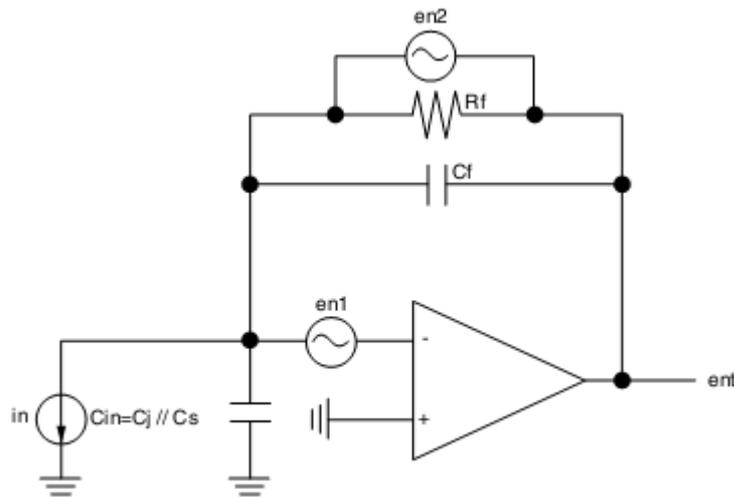


Рисунок 8

Шум в зарядовом усилителе возникает из следующих трех источников:

1. Тепловой шум входных полевых транзисторов $en1$ дается выражением

$$en1 = \sqrt{\frac{8KT}{3gm}} \text{ В/Гц.} \quad (14)$$

Шум, вызываемый входом затвора входной ступени полевых транзисторов и темновым током детектора дается выражением

$$in = \sqrt{2q(I_G + I_D)} \quad (15)$$

Тепловой шум вызываемый сопротивлением обратной связи дается выражением

$$en2 = \sqrt{4KTRf} \quad (16)$$

где R_f – сопротивление обратной связи.

Из уравнений 14, 15 и 16 выражение для полного шума $en^2(j\omega)$ будет иметь вид

$$en^2(j\omega) = en_1^2 * \left(1 + \frac{C_{in}}{C_f}\right)^2 + \left\{in^2 + \left(\frac{en1}{R_f}\right)^2 * \frac{1}{(j\omega C_f)^2}\right\} \quad (17)$$

В уравнении первый член является постоянным во всем диапазоне частот и усиливается за счет величины $(1 + C_{in}/C_f)$ которая определяется значением входной емкости C_{in} . Второй член не зависит от входной емкости, однако уменьшается с увеличением частоты.

Схема разработанного зарядового усилителя показана на рис.9.

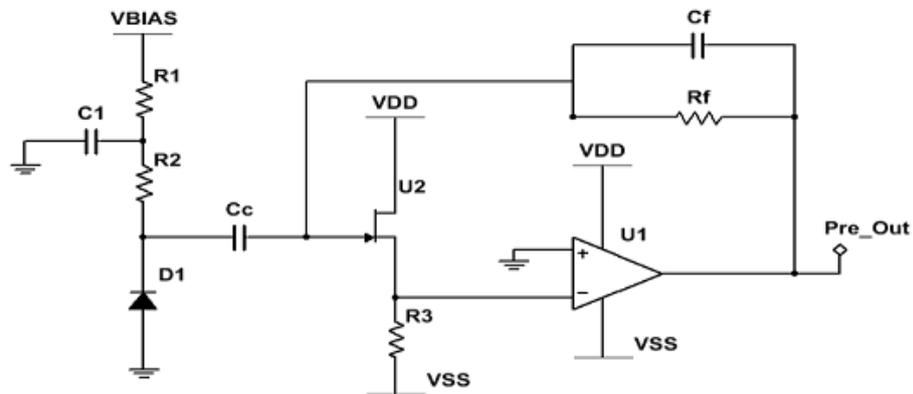


Рисунок 9 – принципиальная схема зарядового усилителя

Во входной цепи выбран полевой транзистор BF862. Он имеет емкость 16 пФ и шум $0.8 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. В этом случае вклад тока через емкость обратной связи определяется током шума фотодиода и уменьшается за счет того, что ток шума операционного усилителя исключается. Это происходит потому что вклад темнового тока будет значительно меньше чем шум от операционного усилителя, в то время как в традиционной схеме доминирует ток операционного усилителя. Вклад шума резистора обратной связи

преобладает для малых значений емкости обратной связи вследствие зависимости от частоты.

Добавление полевого транзистора приводит к тому, что шумом операционного усилителя можно пренебречь. Однако это возможно только в том случае когда проводимость полевого транзистора достаточно большая и сопротивление источника маленькое. Шум полевого транзистора в основном определяется шумом Джонсона, который обратно пропорционален проводимости. Поэтому наличие большой проводимости значительно уменьшает шум.

4. Схема формирования импульса.

4.1 формирование и обработка импульсов.

Форма импульса поступающего с детектора обыкновенно оказывается измененной, вклад в изменение импульса вносят процессорные элементы и система сбора данных. Очень часто пагубные изменения наблюдаются после усиления сигнала в схемах ЗЧП или любых других усилителей.

Для обеспечения полного сбора заряда с детектора, схемы предусиления обычно регулируют, чтобы обеспечить долгое время затухания импульса порядка 50 мкс. Так как импульсы происходят в случайные моменты времени, то они будут иногда пересекаться. В таких обстоятельствах, с последовательностью импульсов, может произойти то, что показано на рисунке

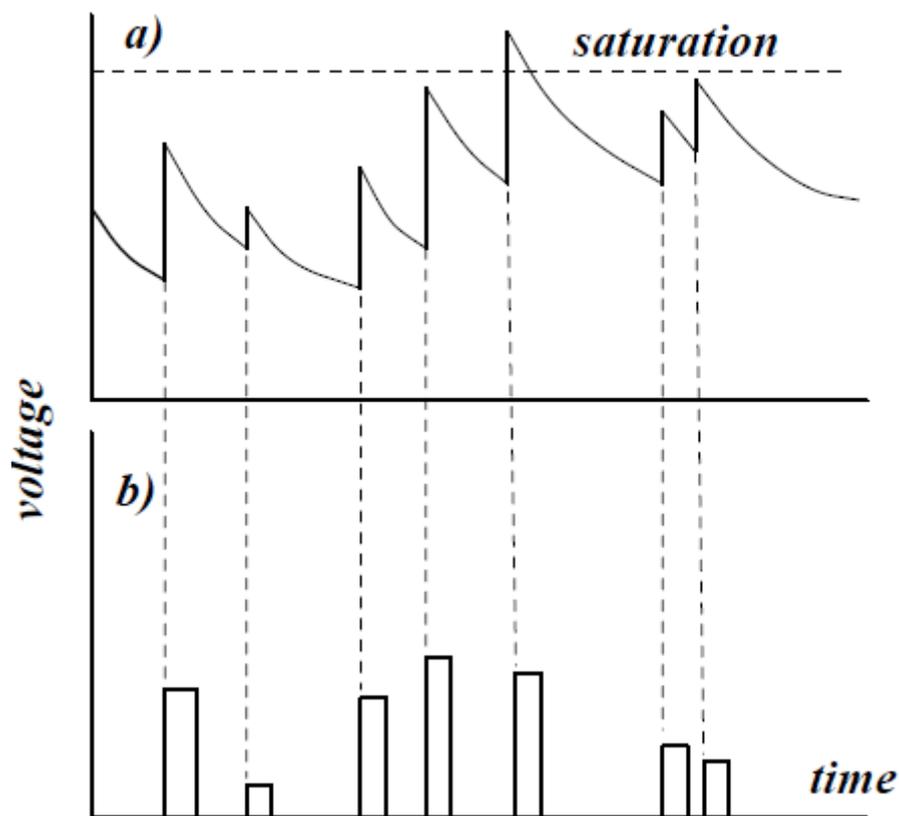


Рисунок 10

Амплитуда импульсов несет в себе основную информацию о заряде, накапливаемом в детекторе. Следовательно, накопление, насыщение и последующее нелинейный отклик, показанный на рисунке 10 (а) является очень нежелательным. Для решения проблемы необходимо формирование импульсов изображенных на рисунке 10 (б). За одним исключением, импульсы должны быть сформированы таким образом, чтобы их общая длина была уменьшена без влияния на амплитуду импульса. Такое формирование обычно осуществляют в линейном усилителе, как правило, с использованием различных формовочных сетей RS. Далее будет описана работа некоторых из таких формовочных сетей.

4.2 Напряжение и ток в зависимости от времени.

4.2.1 Разрядка

Рассмотри простую схему, изображенную на рисунке 2.2, где заряженный конденсатор C подключен через резистор R . Эволюция во времени напряжения описывается дифференциальным уравнением,

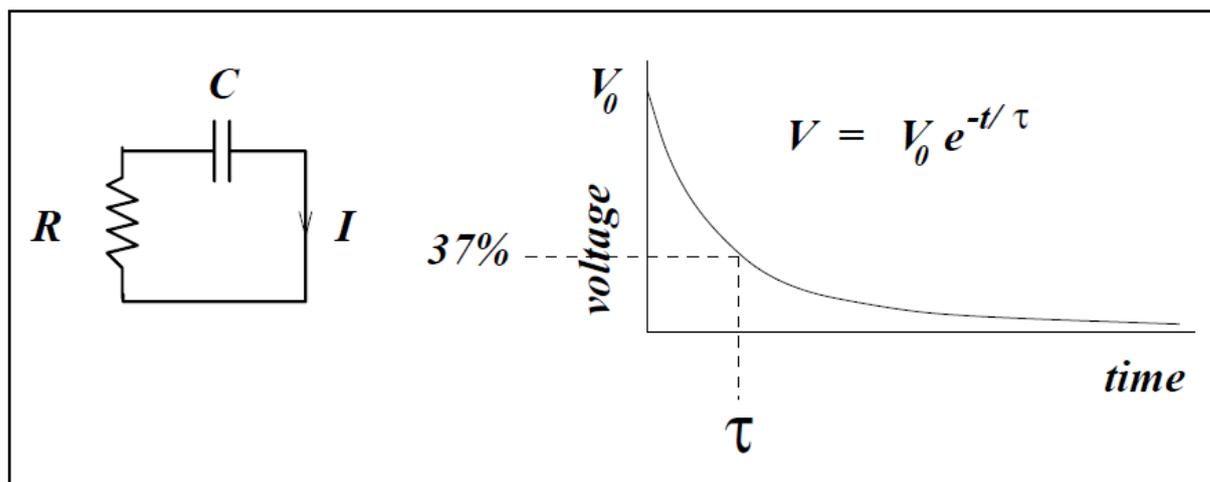


Рисунок. 11

$$C \frac{dV}{dt} = I = -\frac{V}{R} \quad (18)$$

Решением этого уравнения будет являться:

$$V = V_0 e^{-t/RC} \quad (19)$$

Где V_0 это начальное напряжение на конденсаторе.

Таким образом, заряженный конденсатор, размещённый через резистор, будет разряжаться, как показано на рисунке 11 с временной константой $\tau = RC$. Где сопротивление выражается в Омах, емкость в Фарадах, а их произведение в секундах.

4.2.2 Зарядка

Рисунок 12 показывает несколько иную ситуацию, в которой резистор и конденсатор подключены через батареи (источник напряжения). В момент времени $t = 0$, переключатель соединяющий батарею – замкнут. Уравнение для тока выглядит следующим образом:

$$C \frac{dV}{dt} = I = \frac{V_s - V}{R} \quad (20)$$

Решением этого уравнения будет:

$$V = V_s(1 - e^{-t/RC}) \quad (21)$$

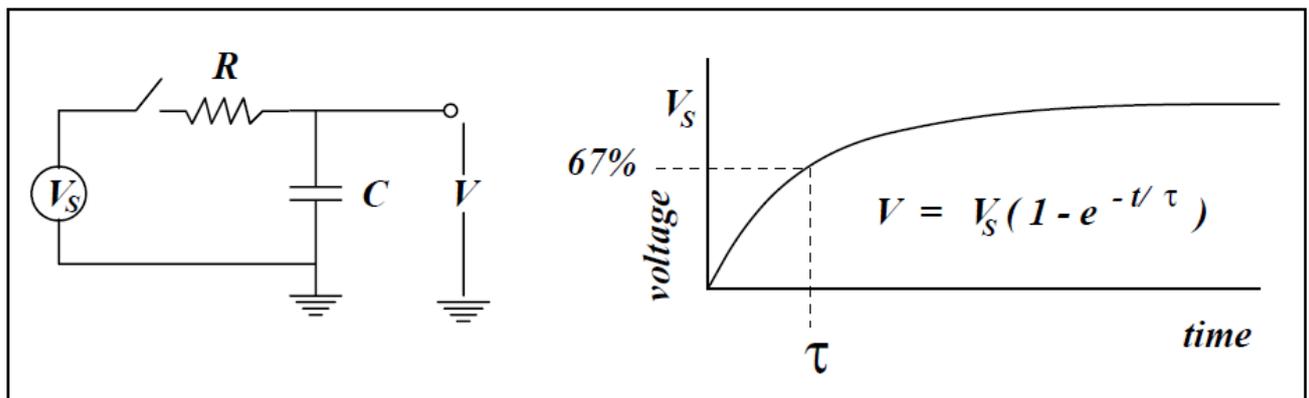


Рисунок 12

Как можно видеть, после долгого времени ($t \gg 5RC$) напряжение приближается к его конечной величине (равновесие).

$5RC$ правило: заряжается конденсатор или затухает в пределах 1% от конечного значения примерно через пять временных констант.

4.2 CR дифференциатор или фильтр высоких частот.

Базовая схема фильтра высоких частот изображена на рисунке 13.

Входные и выходные напряжения связаны уравнением:

$$V_i = \frac{Q}{C} + V_0 \quad (22)$$

Где Q это заряд конденсатора в момент времени t . Дифференцируя получаем:

$$\frac{dV_i}{dt} = \frac{I}{C} + \frac{dV_0}{dt} \quad (23)$$

Где ток $I = \frac{dQ}{dt}$. Используя $V_0 = IR$ и $\tau = RC$

$$V_0 + \tau \frac{dV_0}{dt} = \tau \frac{dV_i}{dt} \quad (24)$$

Возможно, найти общее решение для этого уравнения. Но так же крайне полезно рассмотреть два предельных случая, когда постоянная времени τ , много меньше или много больше, длительности импульса.

$\tau \ll T$:

Если $\tau = RC$, а это довольно маленькая величина, то вторым членом в левой части уравнения (24) можно пренебречь, а выходное напряжение пропорционально производной по времени от входного напряжения.

Для выполнения этого требования, постоянная времени должна быть мала по сравнению с длительностью входного импульса.

$\tau \gg T$:

При большой постоянной времени, мы можем пренебречь первым членом в уравнении (24)

$$\tau \frac{dV_0}{dt} = \tau \frac{dV_i}{dt} \quad (25)$$

После интегрирования получается следующее выражение

$$V_0 = V_i \quad (26)$$

В этом пределе сеть будет работать без искажения формы сигнала.

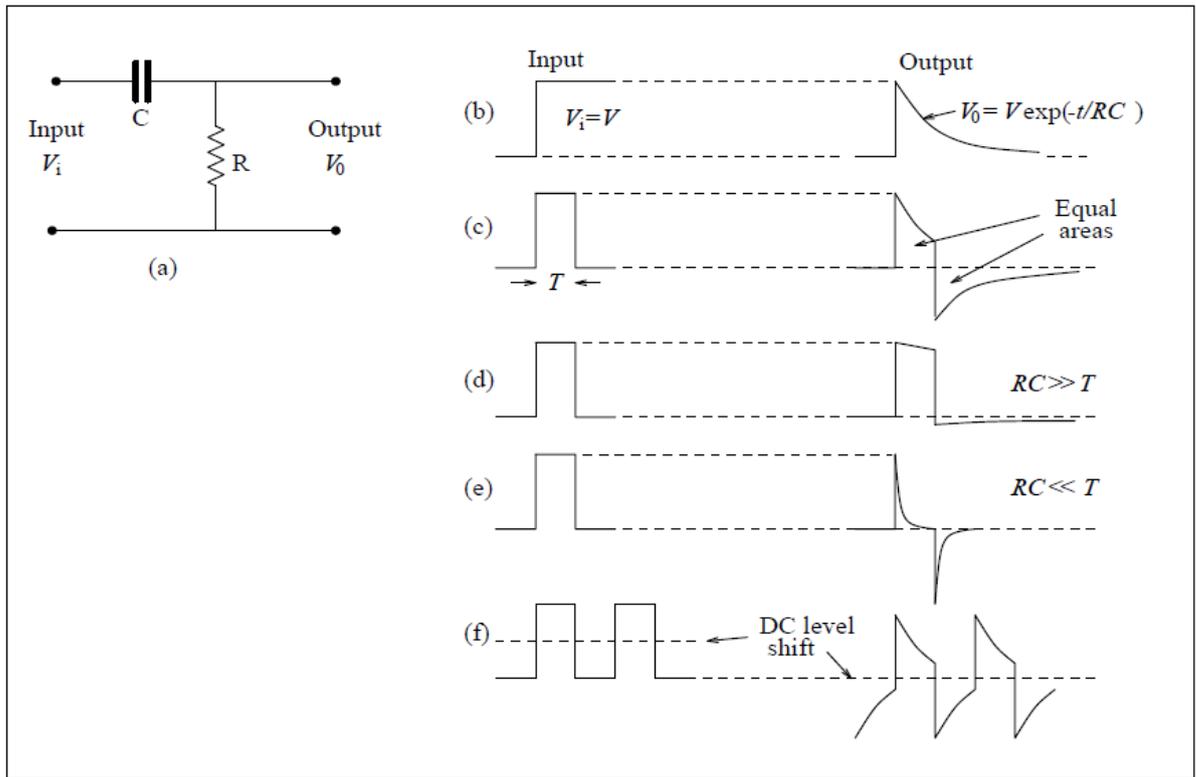


Рисунок 13. Фильтр высоких частот

4.3 RC – интегратор или фильтр низких частот.

Пассивная сеть RC действует как интегратор, при условии, что он сконфигурирован, как показано на рисунке 14. Уравнение цепи теперь имеет вид:

$$V_i = IR + V_0 \quad (27)$$

Так как dV/dt представляет собой скорость зарядки конденсатора. То это можно переписать как:

$$V_i = \tau \frac{dV_0}{dt} + V_0 \quad (28)$$

Можно переписать как:

$$\frac{dV_0}{dt} + \frac{V_0}{\tau} = \frac{V_i}{\tau} \quad (29)$$

Рассмотрим опять два предельных случая.

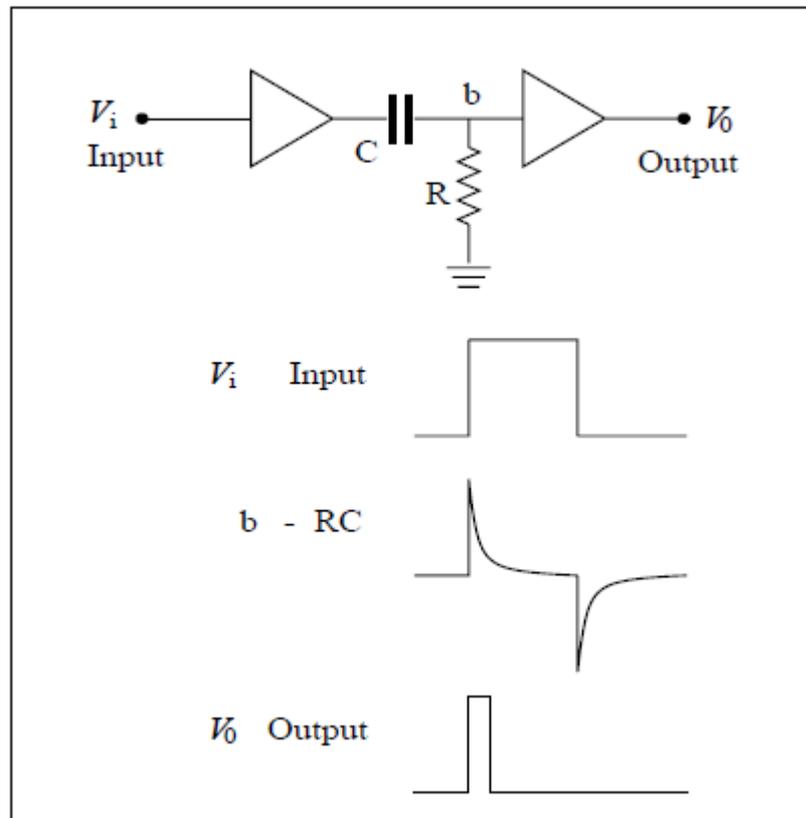


Рисунок 14

$\tau \gg T$:

Если τ велико, то тогда видно, что выходное напряжение пропорционально интегралу от входного напряжения.

$$V_0 = \frac{1}{\tau} \int V_i dt \quad (30)$$

$\tau \ll T$:

При малой временной константе (низкие частоты), только второе слагаемое является значимым.

$$V_0 = V_i \quad (31)$$

В таком случае сеть будет передавать сигнал без изменений.

На рисунке 15 изображен эффект от использования фильтра низких частот, при различно входном напряжении.

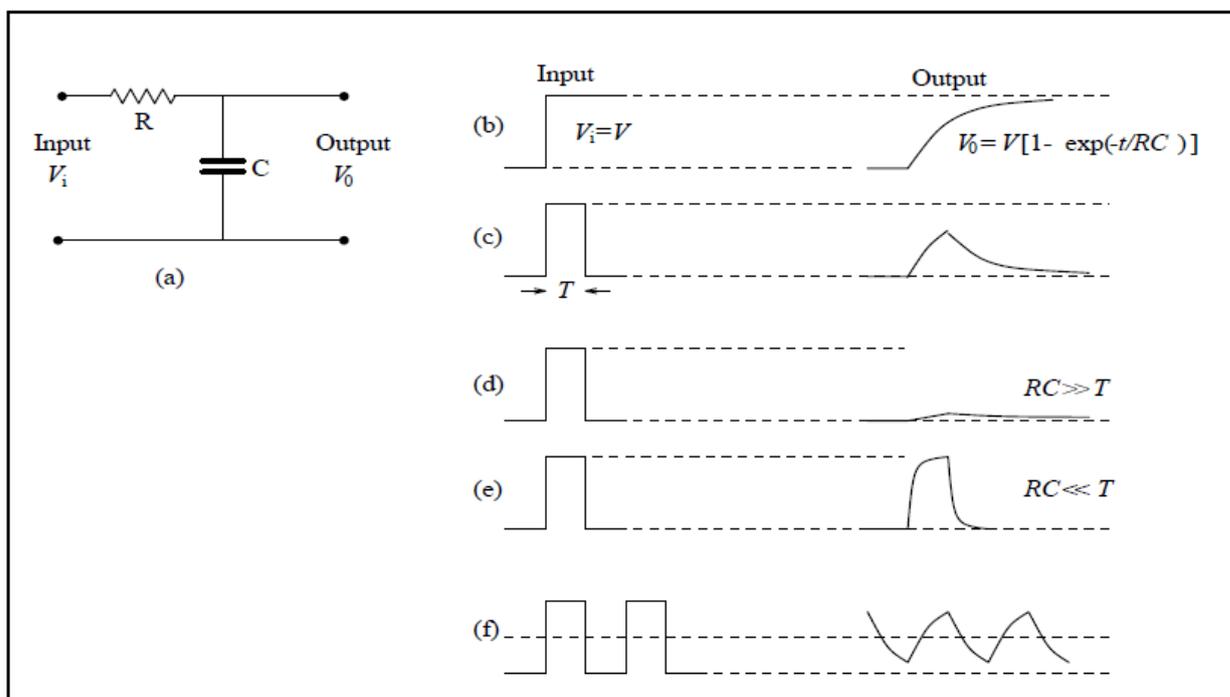


Рисунок 15

4.4 CR – RC формирование.

Сочетание дифференциатора CR и RC интегратора обычно используется в качестве формирователя импульсов в линейных усилителях.

Выходной сигнал с одной лишь дифференцирующей цепи имеет несколько нежелательных функций для системы обработки импульсов:

- Заострённый верх импульса делает последующий анализ импульса очень трудоемким.
- Весь высокочастотный шум передается через схему, при этом подразумевается, что соотношение сигнал – шум очень мало.

Но если за дифференцирующей цепью следует интегрирующая цепь, то вышеописанные функции могут быть заметно улучшены.

Такое сочетание, как показано на рисунке 16 является одним из наиболее широко используемых методов для формирования предусилителя импульсов.

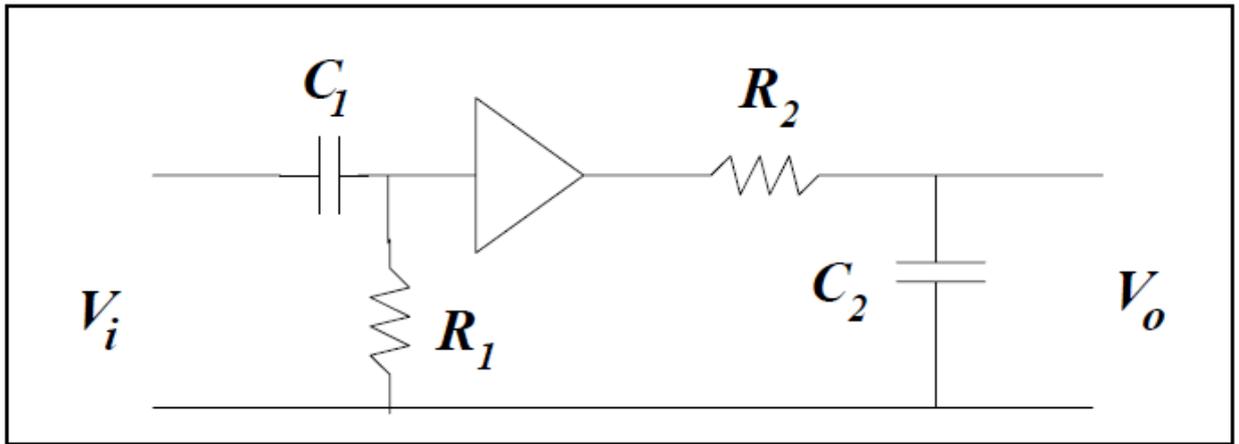


Рисунок 16

Где треугольный символ это операционный усилитель, который в этой конфигурации имеет бесконечное входное сопротивление и нулевое выходное сопротивление. Операционный усилитель не служит для изоляции одной схемы от другой, и потому не влияет на работу не одной из схем.

Отклик этой схемы на напряжение амплитуды V_i

$$V_o = \frac{V_i \tau_i}{\tau_1 - \tau_2} (e^{-t/\tau_1} - e^{-t/\tau_2}) \quad (32)$$

Где τ_1 и τ_2 это временные постоянные дифференцирующей и интегрирующей схемы соответственно.

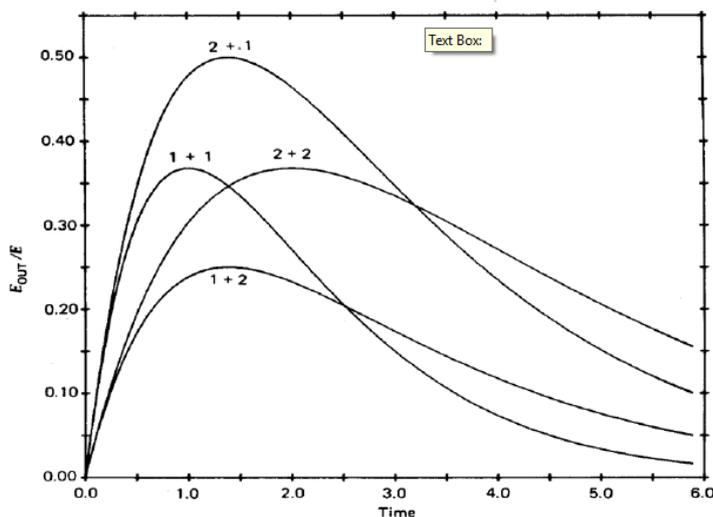


Рисунок 17

В некоторых случаях, например при обработке сигнала возникшего в результате ядерного взаимодействия, CR-RC формирование осуществляется с использованием равных постоянных времени. Для этого конкретного случая, решение выглядит иначе:

$$V_0 = V_i \frac{t}{\tau} e^{-t/\tau} \quad (33)$$

Отклик такой схемы изображен на рисунке 17.

Выбор постоянной времени определяется в основном временем сбора заряда в детекторе. Как всегда, есть еще несколько определенных факторов, которые необходимо учитывать:

Для того, чтобы минимизировать эффект нагромождения, временные постоянные должны быть короткими настолько чтобы это обеспечивало возвращение импульса к исходному уровню, так быстро насколько это возможно.

С другой стороны, когда постоянные времени становятся сравнимыми со временем нарастания импульсов от предусилителя, форма входного напряжения перестает выглядеть ступенчато, и в результате некоторые из амплитуд сигналов теряются.

Типичные значения для диапазона τ от нескольких десятых долей мкс, для небольших полупроводниковых детекторов до нескольких микросекунд для `больших 'германиевых детекторов и до десятков микросекунд для некоторых типов пропорциональных счетчиков.

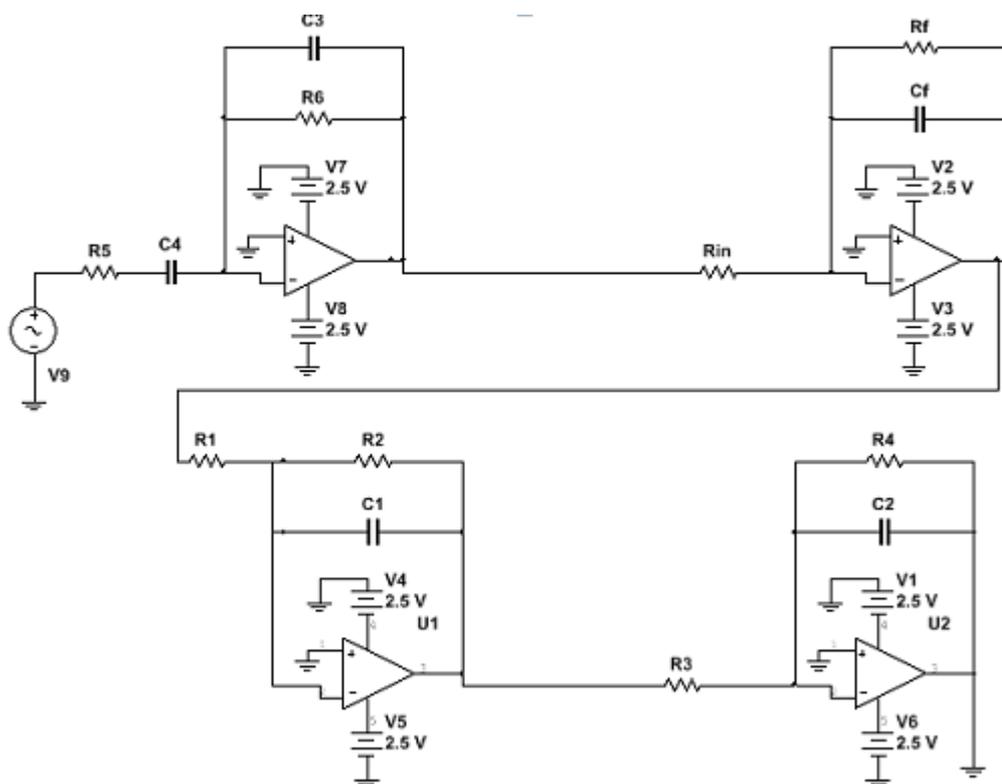


Рисунок 18 схема формирования импульса

Схема состоит из дифференциатора и трех интеграторов. Три интегратора выбраны с целью улучшения отношения сигнал/шум, за счет ослабления высоких частот, а также увеличения времени нарастания импульса. Теперь схема формирования преобразует короткий сигнал с детектора в более длинный с одновременным уменьшением шума

5. Аппаратурная форма линии

Для решения задач полупроводниковой гамма – спектрометрии необходимо знать форму аппаратурной линии спектрометра, т.е. аппаратурный спектр (гистограмму) для монохроматического источника гамма-квантов. Форма аппаратурной линии определяется параметрами детектора и зависит от энергии гамма-квантов.

В детекторах относительно малых размеров ($\sim 10 - 20$ мм) многократные взаимодействия гамма-квантов маловероятны. В этом случае

распределение вторичных заряженных частиц по энергиям можно представить следующим образом:

1. Моноэнергетические электроны, возникающие при фотопоглощении γ – квантов атомами вещества детектора. Энергия таких электронов равна энергии γ – кванта за вычетом энергии связи К-электрона (реже L- или M-) в атоме. Возбужденный атом переходит в основное состояние путем испускания характеристического рентгеновского излучения или Оже – электрона, которые легко поглощаются веществом. Поэтому практически вся энергия регистрируемого γ – кванта превращается в кинетическую энергию вторичных электронов. Это приводит к тому, что амплитуда импульса на выходе детектора, соответствующая процессу фотопоглощения γ – кванта в детекторе, будет пропорциональна энергии гамма – кванта, а не энергии фотоэлектрона. Наблюдаемый при этом пик в спектре амплитуд импульсов называется пиком полного поглощения или фотопиком. В реальном детекторе всегда имеется неопределенность преобразования энергии кванта в амплитуду импульса детектора. Эта неопределенность обусловлена следующими факторами:

- тепловыми шумами детектора;
- нестабильностью характеристик детектора во времени;
- флуктуациями электрического тока в цепях питания и нагрузки детектора.

В результате этого фотопик в реальном аппаратном спектре имеет значительную ширину. Его форма очень хорошо описывается распределением Гаусса:

$$g(n) = \frac{S}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{n-n_0}{2\sigma^2}} \quad (34)$$

где S – площадь под пиком,

n – номер канала (n_0 – положение максимума пика),

σ – среднеквадратичное отклонение от его среднего значения.

2. Непрерывное распределение электронов в результате комптоновского взаимодействия. В этом случае амплитудный спектр импульсов является сплошным, а возможные значения энергии комптоновских электронов ограничены пределами

$$0 \leq E_e \leq \frac{2E_\gamma^2}{m_e c^2 + 2E_\gamma}, \quad (35)$$

где $m_e c^2 = 0.511$ МэВ – энергия покоя электрона,

E_γ и E_e – энергии γ – квантов и электронов, измеренные в МэВ, соответственно.

Таким образом, максимальная энергия комптоновских электронов ниже, чем энергия фотоэлектронов на величину.

$$\frac{E_\gamma}{1 + \frac{2E_\gamma}{m_e c^2}} \quad (36)$$

Поэтому существует принципиальная возможность выделить пик полного поглощения из суммарного непрерывного спектра. Кривая распределения комптоновских электронов характеризуется весьма резким возрастанием около точки их максимальной энергии. Граница в аппаратном спектре, соответствующая максимальной энергии комптоновских электронов, называется краем комптоновского спектра. По этой границе также можно определить энергию E_γ , как и по фотопику, но с существенно большей погрешностью.

На форму реального аппаратного спектра дополнительное влияние оказывает утечка быстрых электронов из краевых частей сцинтиллятора и рассеянное γ – излучение от конструктивных элементов самого детектора. Утечка электронов приводит к некоторой деформации аппаратного спектра. Однако, если сцинтиллятор не слишком мал, то доля электронов,

выходящих из него, невелика. Рассеянные в конструкции детектора γ – кванты имеют различную энергию и направление. Среди них существенную роль играют кванты, рассеянные обратно в сцинтиллятор от примыкающих к нему элементов детектора и экрана, защищающего детектор от внешнего фонового излучения. На основании выражения для энергии рассеянного кванта при комптоновском эффекте.

$$E'_\gamma = \frac{m_e c^2 E_\gamma}{m_e c^2 + E_\gamma (1 - \cos\theta)}, \quad (37)$$

где θ – угол рассеяния, можно сделать вывод, что в случае обратного рассеяния ($\theta \sim 130^\circ - 180^\circ$) энергия рассеянных гамма-квантов меняется мало. Поэтому на аппаратурной линии может наблюдаться пик, соответствующий данной энергии – пик обратного рассеяния.

6. Экспериментальная часть

Для того, чтобы разработать спектрометр, на основе pin- фотодиода, нужно произвести сборку и проверку отдельных его частей.

Для начала была собрана схема подходящего нам усилителя. Схему собранного усилителя можно увидеть в приложении А

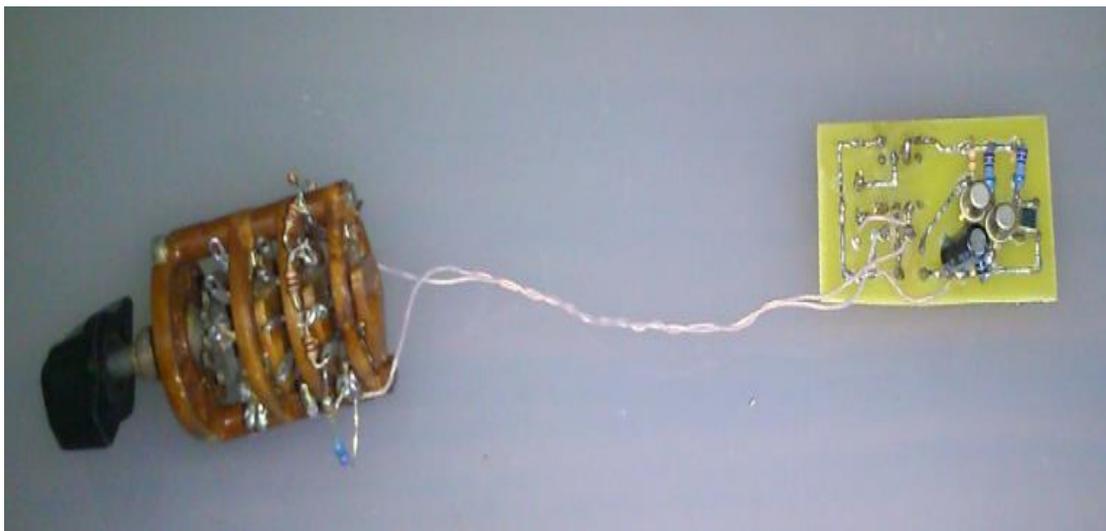


Рисунок 19 – Фото собранного усилителя

Затем подключаем усилитель к генератору и осциллографом определяем наличие электрического сигнала при различных коэффициентах усиления.

Вывод: усилитель напряжения является работоспособным.

Далее подсоединяем pin-фотодиод и подносим источник ионизирующего излучения (Для проверки использовался источник электронов ${}^{90}_{38}\text{Sr} + {}^{90}_{39}\text{Y}$).

Данный усилитель обеспечивает коэффициент усиления 10, 25, 40, 200.

Ниже можно увидеть получившиеся сигналы с разными коэффициентами усиления.



Рисунок 20 сигнал с коэффициентом усиления 10

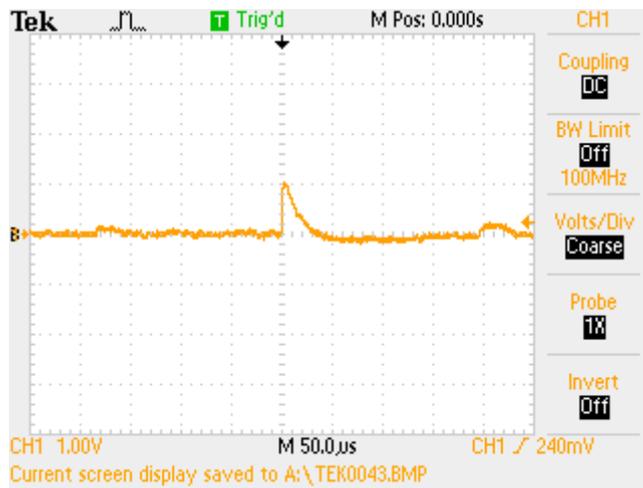


Рисунок 21 сигнал с коэффициентом усиления 25

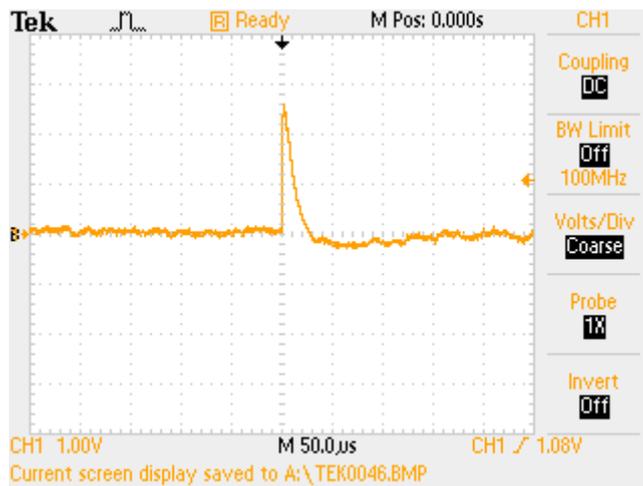


Рисунок 22 сигнал с коэффициентом усиления 40

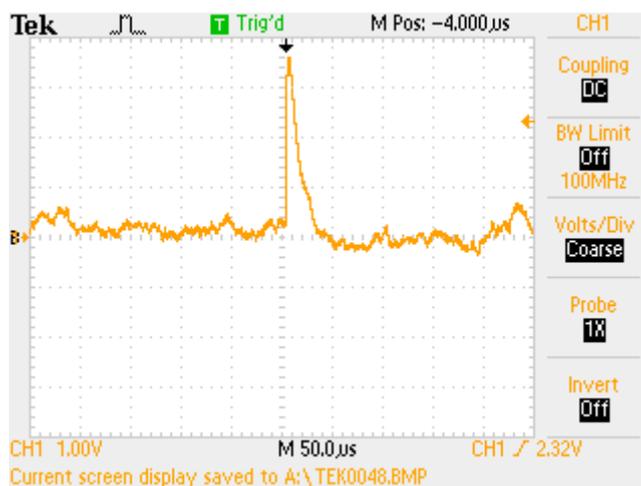


Рисунок 23 сигнал с коэффициентом усиления 200

Следующим шагом является сборка анализирующего устройства. Для это было собрано анализирующее устройство, которое включает в себя: блок питания, микроконтроллер AtMega16, содержащий АЦП, компаратор напряжения и последовательный порт [18].

Характеристики АЦП представлены в таблице 3

Таблица 2- Характеристики усилителя электрических импульсов

Разрешение	10Бит
Интегральная нелинейность	0,5 младший значащий бит
Время преобразования	12 мксек
Диапазон входных напряжений	От 0 до 5 В

Параметры микроконтроллера

1. 32 8-разрядных регистра общего назначения
2. Частота 16 МГц
3. 3 таймера
4. 10-разрядных АЦП
5. Программируемый последовательный порт
6. Встроенный аналоговый компаратор
7. Внешние источники прогревания
8. 32 программируемых выходных линии
9. Напряжение питания от 2,7-5,5 В

10. Потребляемый ток 0,6 мА

Затем проводилась сборка всех частей спектрометра (рис 24).

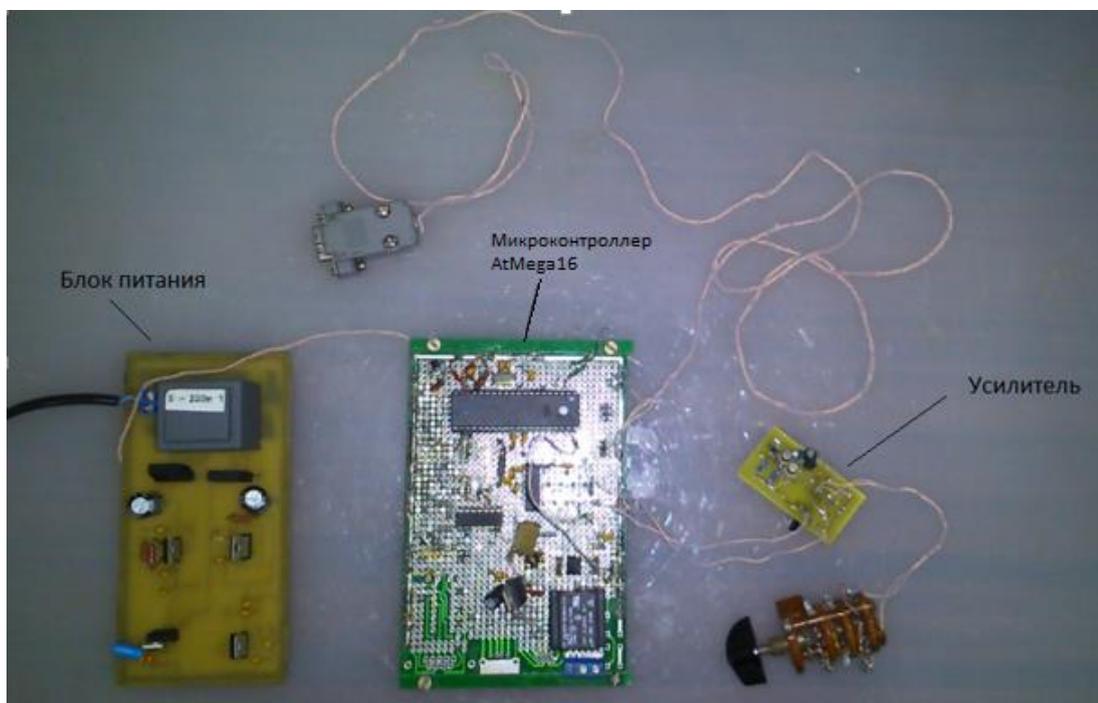


Рисунок 24- Общий вид полученного спектрометра

После сборки гамма - спектрометра, необходимо прибор проверить его на работоспособность.

Сигнал с pin- диода усиливается и затем подается на измерительный узел. В качестве измерительной части выбран микроконтроллер AtMega16. В его состав входит компаратор, АЦП, узел связи с компьютером. Сигнал с усилителя подается одновременно на компаратор и вход АЦП. Напряжение на управляющем входе компаратора можно изменять. Если входной сигнал превышает уровень сравнения компаратора, то выходной сигнал с компаратора запускает АЦП, который начинает оцифровывать входной сигнал. Цифровое значение входного сигнала с АЦП через последовательный порт подается на компьютер, который отображает спектр амплитуд импульсов в виде графика. Наличие компаратора позволяет отсеять шумовые

сигналы в спектре в случае необходимости, или выделить определенную группу линий в спектре. Далее производится непосредственно спектральный анализ.

Спектр строится с помощью специально разработанной программы SBuilder, код программы написан на языке С.

Бета- спектр источника ${}^{90}_{38}\text{Sr}+{}^{90}_{39}\text{Y}$

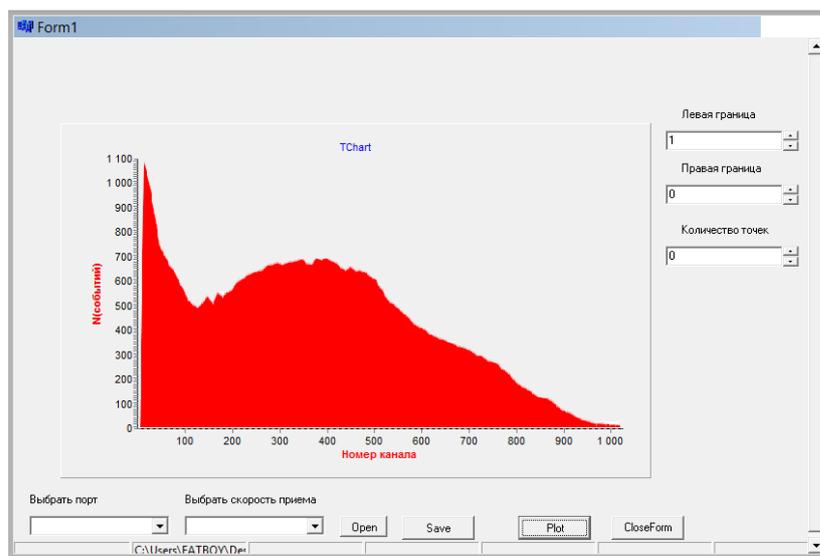


Рисунок 25 Бета спектр источника ${}^{90}_{38}\text{Sr}+{}^{90}_{39}\text{Y}$

На данном спектре явно можно видеть два распада первый это распад Sr, А следующий это распад Y.

Гамма спектр мы получаем от источника ${}^{241}_{95}\text{Am}$.

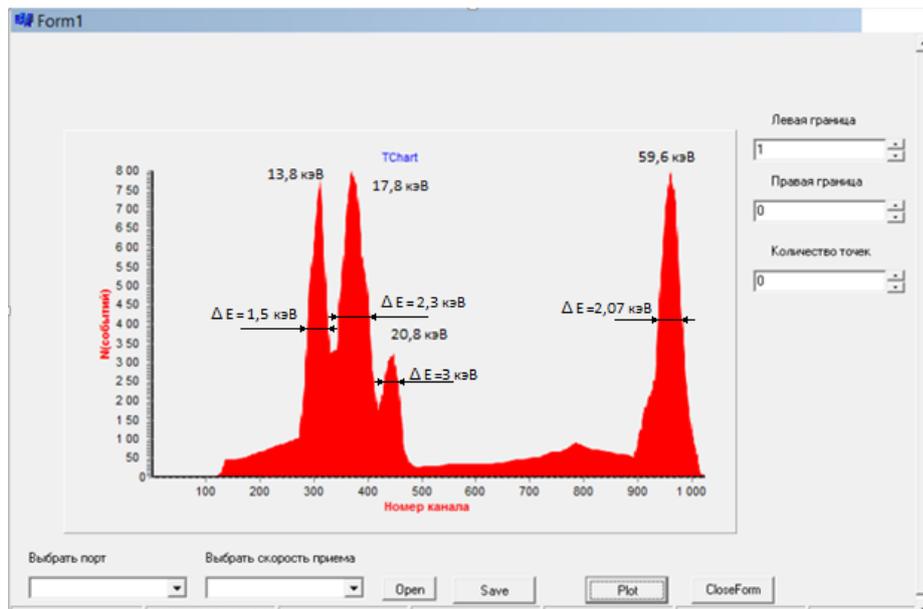


Рисунок 26- Спектр ^{241}Am

Проводится обработка спектров и построение калибровочной прямой.

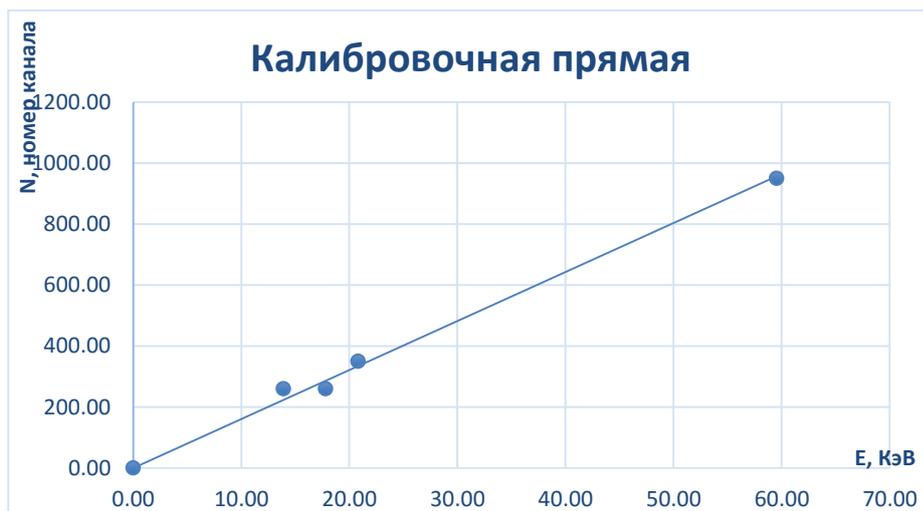


Рисунок 27 Калибровочная прямая

6.1 Расчет характеристик

разрешение спектрометра:

Так как отклонение от линейности калибровочной кривой малы (не более 0.5%), в ограниченном интервале энергии в первом приближении ее можно экстраполировать прямой линией.

$$E_{\gamma} = b \cdot (N - N_0) = 1,7 \cdot (N - 100), \quad (38)$$

Где $b = 1/\text{tg}\alpha$,

N-номер канала, соответствующий амплитуде импульса,

N₀-начальная точка номера канала

Разрешающая способность для каждой линии:

$$\eta = \Delta E / E \quad (39)$$

$\eta_1 = 9,7 \%$, $\eta_2 = 11,9 \%$, $\eta_3 = 11,1 \%$, $\eta_4 = 3,4 \%$

Будем считать разрешающую способность нашего спектрометра наилучшей разрешающей способностью спектрометра и равной 3,4 %.

Еще одной важной характеристикой спектрометра является эффективность регистрации частиц.

Эффективность численно равна отношению числа квантов, зарегистрированных спектрометром к числу попавших в спектрометр - квантов. Эффективность зависит от энергии гамма-квантов и убывает с возрастанием энергии –лучей, что можно увидеть на нашем графике.

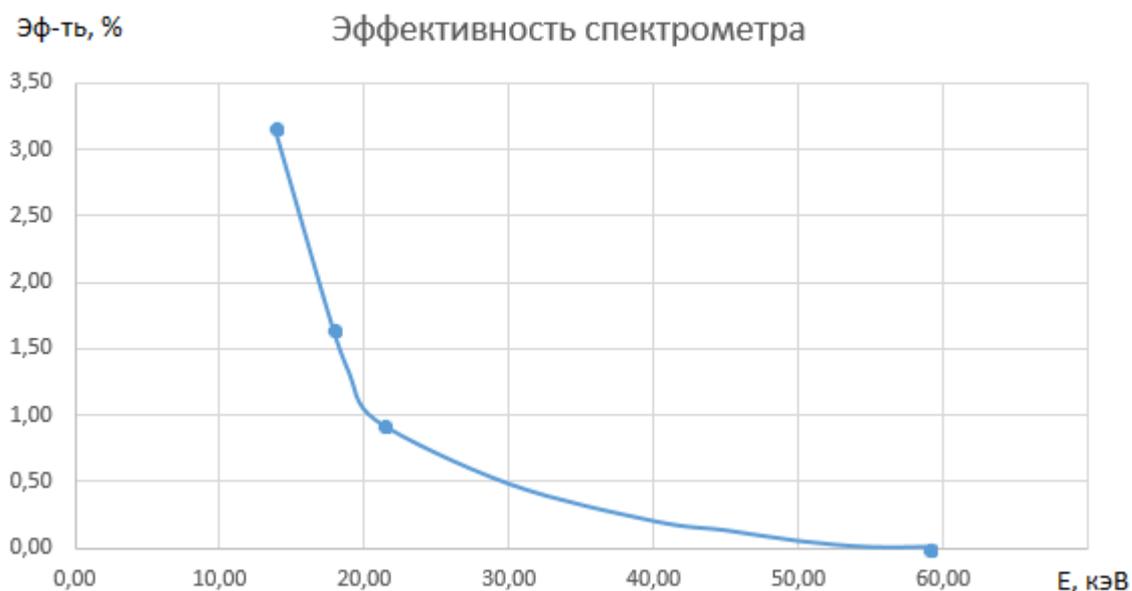


Рисунок 28 Эффективность спектрометра

Параметры разработанного гамма-спектрометра на основе полупроводникового детектора приведены ниже в таблице 3.

Таблица 3 Параметры разработанного спектрометра на основе полупроводникового детектора

Параметры	Значение
Разрешающая способность	3,4 %
Разрядность АЦП	10
Энергетический диапазон гамма квантов	0,1÷60 кэВ
Энергетический диапазон электронов	0,1÷600 кэВ
Эффективность	3,17 %
Быстродействие	20 тыс. имп/сек
Вес	0,5 кг.
Стоимость	800б.

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Научно-исследовательские работы (НИР) – это работы научного характера, связанные с научным поиском, проведением исследований с целью получения научных обобщений, изыскания принципов и путей создания (модернизации) продукции, они включают в себя:

1) фундаментальные исследования, выполняемые с целью расширения научных знаний, явлений и закономерностей их развития безотносительно к их конкретному практическому применению;

2) поисковые исследования, выполняемые с целью нахождения путей использования выявленных явлений и закономерностей в конкретной области науки и техники для создания принципиально новых изделий, материалов и технологий;

3) прикладные исследования, направленные на решение научных проблем, совершенствование методов с целью получения конкретных результатов, используемых в опытно-конструкторских разработках при создании научно-технической продукции (в том числе технических средств обучения).

Перспективность научного исследования определяется не только важностью проделанной работы, но еще не в малой степени зависит и от коммерческой значимости. По этому поводу при пред проектном анализе следует учитывать и экономические стороны выполняемой работы. Оценка экономической стороны проекта поможет оптимально распределить ресурсы, контролировать состояние продвижения работы. Также через такую оценку разработчик может найти партнера для проведения дальнейших научных исследований и предоставить на рынок продукт исследования.

Таким образом, целью данного раздела является определение перспективности и успешности научного проекта, расчет

ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической части исследования.

7.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является разработанный полупроводниковый спектрометр на основе pin – диода, способный регистрировать гамма – излучение.

Для того чтобы узнать в каком направлении проводить исследования, был проведен анализ потребителей.

Целевым рынком данной разработки будет являться научная и образовательная отрасль. В качестве потребителей были выбраны предприятия промышленности и учебные учреждения, заинтересованные в проведении быстрого и дешевого гамма – спектрометрического анализа.

Таблица 4 карта сегментирования

Организации	Гамма - спектрометрия	
	Контроль объектов внешней среды	Контроль излучения от источников ИИ
Научно исследовательские институты		
Учебные учреждения		

Из карты сегментирования видно, что в разработке полупроводникового спектрометра следует ориентироваться на исследовательские институты и высшие учебные заведения, проводящие эксперименты, связанные с измерением гамма – фона от различных источников при помощи полупроводниковых детекторов.

7.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 2. Б – продукт, который является результатом данной работы, $B_{к1}$ и $B_{к2}$ – конкурентные разработки. В качестве конкурентных разработок были приняты: $B_{к1}$ – Альфа-спектрометр МКС-01А «Мультирад-АС», производство компании «ДОЗА». БДПА-1, производство компании «РАДЭК»- $B_{к2}$.

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.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (40)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Из данного анализа видно, что разработанный спектрометр имеет преимущество перед конкурентными разработками за счет того, что является портативным и обладает крайне низкой себестоимостью при стандартном наборе определяющих его параметров. Однако заметной проблемой является слабое проникновение на рынок.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б	Б _{к1}	Б _{к2}	К	К _{к1}	К _{к2}
Технические характеристики оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Удобство эксплуатации	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
Энергоэкономичность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Надежность	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
Уровень шума	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Безопасность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,2	4	5	4	0,8	1	0,8
Простота эксплуатации	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5

Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
Уровень проникновения на рынок	0,05	2	5	5	0,10	0,25	0,25
Цена	0,05	5	2	3	0,25	0,1	0,15
Послепродажное обслуживание	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Итого	1	59	58	57	4,73	4,6	4,3

Б_{к1} – Альфа-спектрометр МКС-01А «Мультирад-АС», производство компании «ДОЗА». Б_{к2} - БДПА-1, производство компании «РАДЭК».

7.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

В таблице 6 представлен SWOT-анализ виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 6 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1.Простота устройства.</p> <p>С2.Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С3.Возможность</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Непривлекательный дизайн.</p> <p>Сл2.Отсутствие инжиниринговой</p>
--	--	---

	усовершенствования самим потребителем. С4.Открытый программный код.	компании, способной наладить серийное производство.
<p>Возможности:</p> <p>В1. Государственное финансирование.</p> <p>В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>Нужно показать покупателям простоту устройства и сделать упор на портативность и дешевизну.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>Появление компании, которая будет готова построить производство, даст шанс новым потребителям получать устройство в короткие сроки.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>Более низкая стоимость устройства по сравнению с другими аналогами, а также простота обслуживания позволит разработанному</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>Следует повысить характеристики, сделать более привлекательным внешним вид.</p>

продукции.	спектрометру	быть
	востребованным	в
	отечественных учреждениях.	

Из SWOT-анализа видно, что для реализации данной работы необходимо получить дополнительное инвестирование (получение грантов, субсидий, премиальных и т.д.).

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа строится интерактивная матрица проекта (табл. 7). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта			
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	0	+	0	0
	B2	+	+	+	+
	B3	+	+	0	-
		Слабые стороны проекта			
		Сл1		Сл2	

Угрозы проекта	У1	+	+
	У2	0	-

7.4 Планирование научно-исследовательской работы

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок этапов и работ при выполнении ВКР приведен в таблице 6.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работы	Исполнитель
Разработка технического задания на НИР	Разработка ТЗ на ВКР	Руководитель
	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель, студент
Выбор направления исследования	Сбор и поиск тематической литературы в рамках проекта	Студент
	Сравнение аналогичных изделий, выбор и обоснование предмета разработки	Руководитель, студент
Теоретические исследования	Разработка принципиальной схемы	Руководитель, студент
	Изучение языка программирования С++ и Assembler. И программы Sprintlayout	Студент
Изготовление	Изготовление макета	Студент

прибора	устройства	
	Программирование микроконтроллера	Руководитель, ассистент руководителя, студент
Тестирование прибора	Тестирование устройства и исследование его характеристик	Студент
	Проведение эксперимента с регистрацией излучения от источника	Ассистент руководителя, студент
	Анализ и обработка полученных данных	Студент
	Обобщение и оценка результатов	Руководитель
Оформление отчета по НИР	Оформление пояснительной записки	Студент
	Подготовка к защите ВКР	Студент

7.4.1 Определение трудоемкости выполнения НИОКР

Следующим этапом является определение трудоемкости выполнения НИОКР. Трудоемкость выполнения НИОКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ используется следующая формула (41):

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{маi}}{5}, \quad (41)$$

где $t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, (чел.-дн.);

t_{mini} - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), (чел.-дн.);

$t_{маi}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), (чел.-дн.).

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1.8 \text{ чел} - \text{дн}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i}, \quad (42)$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, (раб. дн.);

$t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, (чел.-дн.);

$ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, (чел.).

$$T_{p1} = \frac{t_{ож1}}{ч_1} = \frac{1,8}{1} = 1,8 \text{ раб. дн.};$$

Дальнейшие расчеты продолжительности каждой работы проводятся подобным образом с использованием данных из таблицы 8.

7.4.2 Разработка графика проведения научного исследования

Затем был разработан календарный план работ. В ходе данной работы был построен ленточный графика проведения НИР в форме диаграмм Гантта. 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 календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (43)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения одной работы, (кален. дн.); T_{pi} - продолжительность одной работы, (раб. дн.); k - коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Расчёт коэффициента календарности производится по следующей формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 95 - 23} = 1.47 \quad (44)$$

где, $T_{кг}$ - количество календарных дней в году ($T_{кг} = 365$ дн.); $T_{вд}$ - количество выходных дней в году ($T_{вд} = 95$); $T_{пд}$ – количество праздничных дней в году, ($T_{пд} = 23$).

$$T_{k1} = T_{p1} \cdot k = 1.8 * 1.47 = 2.646 \approx 3 \text{ кал. Дн.}$$

Расчетная величина продолжительности работ T_{ki} была округлена до целых чисел. Расчетные данные сведены в таблице 7, на основании которой был построен календарный план-график.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Исполнитель	$t_{min i}$	$t_{max i}$	$t_{ож i}$	Ψ_i	$T_{p i}$, раб.д н	T_k , кал.дн .
Р	1	3	1,8	1	1,8	3
РС	2	4	2,8	2	1,4	2
С	5	15	9	1	9	14
РС	3	6	4,2	2	2,1	3
РС	2	4	2,8	2	1,4	2
С	10	20	10	1	10	15
С	3	7	4,6	1	4,6	7
РАС	5	10	7	3	2,3	4
С	3	5	3,8	1	3,8	6
АС	1	3	1,8	2	0,9	2
С	1	3	1,8	1	1,8	5
Р	1	3	1,8	1	1,8	5
С	10	20	10	1	10	15
С	5	10	5	1	5	8
	52	113	66,4	-	55,9	91

7.4.3 Календарный план-график в виде диаграммы Ганта

ик																			
Проведение эксперимента с радиоисточниками	А С	2																	
Анализ и обработка полученных данных	С	5																	
Обобщение и оценка результатов	Р	5																	
Оформление пояснительной записки	С	15																	
Подготовка к защите ВКР	С	8																	

 - студент;
 - руководитель,
 - ассистент руководителя

Как видно из календарного рейтинг плана, время отведенное на выполнение бакалаврской работы, было распределено равномерно, это позволило упорядочить и облегчить процесс подготовки бакалаврской работы.

7.5 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

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

- материальные затраты НИИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

7.5.1 Расчет материальных затрат НИИ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 11.

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

Таблица 11 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за ед., руб	Сумма, руб
1	2	3	4	5
Pin - диод	BPW34	1	90	90
Микроконтроллер	ATmega16A-PU	1	120	120
Ком - порт	RS - 232	1	210	210
Операционный усилитель	LM082	5	7,7	38,5
Резистор	чип 0805	10	0,17	1,7
Кв. резонатор	HC-49S 16,000 МГц	1	10	10
Конденсатор керамический		11	5	55
Микросхема	FT232RL SSOP28	1	180	180
Микросхема	MAX232EPE, RS232	1	59	59
Диодный мост	RS206	2	10	20
Стабилитрон	L7905CV	1	15	15
Конденсатор	53 мкФ	1	3	3
Конденсатор	1000 мкФ	2	9	18
Всего за материалы				830,2

Транспортно-заготовительные расходы (3 - 5%)	32,15
Итого по статье C_m	862,35

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 2,81 \cdot 0,5 \cdot 300 = 421,5 \quad (44)$$

где $C_{\text{эл}}$ — тариф на промышленную электроэнергию (2,81 руб. за 1 кВт·ч); P — мощность оборудования, кВт; $F_{\text{об}}$ — время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 421,5 рубль.

7.5.2 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 размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (45)$$

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (46)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (47)$$

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 12)

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель/ Ассистент руководителя	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	256	256
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	31	45
- отпуск		

- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	225	211

Месячный оклад работника с учетом районного коэффициента для Томска $k_p = 1,3$, вычисляется:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot 1,3. \quad (48)$$

Например, для руководителя расчет основной заработной платы, зная, что его оклад 23264руб/месяц, проводится следующим образом:

- находим месячный должностной оклад:

$$Z_m = 23264 \cdot 1,3 = 30243 \text{ руб./месяц};$$

- рассчитываем среднедневную заработную плату:

$$Z_{дн} = \frac{30243 \cdot 11,2}{225} = 1505 \text{ руб./день};$$

- рассчитываем основную заработную плату:

$$Z_{осн} = 1505 \cdot 7 = 10535 \text{ руб.}$$

Подобный расчет проводится для вычисления основной заработной платы ассистента руководителя и студента.

Данные и результаты расчета основной заработной платы приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	k_p	Z_m , руб./месяц	$Z_{дн}$, руб./день	$T_{p,раб.}$ дн.	$Z_{осн}$, руб.

			Ц			
Руководитель	23264	1,3	30243	1505	7	10535
Студент	1500	-	1500	69	46	3174
Ассистент руководителя	16000	1,3	20800	1035,38	1,2	1242,5
Итого $Z_{осн}$						14951,5

7.5.3 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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (49)$$

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

Дополнительная заработная плата для руководителя вычисляется следующим образом:

$$Z_{доп} = 10535 \cdot 0,12 = 1264,2 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$	$Z_{\text{доп}}$
Руководитель	0,12	10535	1264,2
Ассистент Руководителя	0,12	1242,5	149,1
Итого			1413,3

7.5.4 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:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (50)$$

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

На 2016 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%.

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пф}} + k_{\text{с}} + k_{\text{пн}}, \quad (51)$$

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

$$k_{\text{внеб}} = 0,271$$

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (11777,5 + 1413,3) = 3574,7 \text{ руб.}$$

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель + Ассистент руководителя
Основная заработная плата, руб.	11777,5
Дополнительная заработная плата, руб.	1413,3
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Сумма отчислений	3574,7

7.5.5 Затраты на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов. В данной выпускной квалификационной работе затраты на командировки равны нулю.

7.5.6 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

1) Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями.

2) Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (соисполнительским) договорам на создание научно-технической продукции, головным (генеральным) исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками. В данной работе затраты по данной статье расходов отсутствуют.

7.5.7 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы в ТПУ составляют 50 - 80 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (52)$$

где $k_{\text{накл}}$ — коэффициент накладных расходов, равный 60 %.

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл.}} = 0,6 \cdot (11777,5 + 1413,3) = 7914,48 \text{ руб.}$$

7.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	1133,85
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	14951,5
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	1413,3

ТЕМЫ	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	3574,7
5. Затраты на научные и производственные командировки	-
6. Контрагентные расходы	-
7. Накладные расходы	7914,5
Бюджет затрат НИИ	28987,85

Из таблицы видно, что итоговая стоимость проекта будет составлять порядка 30 тысяч рублей, основной вклад в итоговую сумму бюджета вносят затраты на заработную плату.

7.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Кроме выше перечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и др.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 17). В качестве аналога был взят Альфа-спектрометр МКС-01А «Мультирад-АС», производство компании «ДОЗА».

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в выпускной квалификационной работе бакалавра технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таблица 17 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог (FT10G)
----------------	-------------------------------	----------------	----------------

Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5
Помехоустойчивость	0,15	4	4
Энергосбережение	0,2	4	5
Надежность	0,25	5	5
Материалоемкость	0,15	5	4
ИТОГО:	1	4,5	4,6

Данные таблицы 17 показывают, что текущий вариант исполнения проекта имеет свои недостатки, но, несмотря на это, он имеет хорошие показатели финансовой и ресурсной эффективности.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие задачи:

- Изготовлен макет спектрометра на основе pin-диода и проверен на работоспособность.
- Проведены измерения на полученном спектрометре
- Рассчитаны основные характеристики получившегося полупроводникового спектрометра (эффективность, стоимость, разрешение, энергетический диапазон)
- Разработанный спектрометр является малогабаритным, недорогим, обладает хорошим энергетическим разрешением для электронов и гамма квантов, имеет хорошую эффективность регистрации.

Список использованных источников

1. Цирлин Ю.А., Глобус М.Е., Сысоева Е.П. Оптимизация детектирования гамма – излучения сцинтилляционными детекторами. М.: Энергоатомиздат, 1991г
2. Берковский А.Г., Гаванин В.А., Зайдель И.Н. Вакуумные фотоэлектронные приборы. М.: Радио и связь, 1988г.
3. Акимов Ю.К., Игнатъев О.В., Калинин А.И., Кушнирук В.Ф. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Меликов Ю.В. Экспериментальные методы в ядерной физике. Курс лекций.- М.: Изд-во Моск. ун.-та, 1996
5. Степанов Ю.М. «Экспериментальные методы ядерной физики»
6. Потапов Л. А. «Электротехнические устройства, Полезная информация, Основы электроники»
7. «Волоконная оптика. Теория и практика» Дэвид Бейли, Эдвин Райт
9. А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич. Основы экспериментальных методов ядерной физики. Москва, «Атомиздат», 1977, с. 161–207.
10. Столярова Е.Л. Прикладная спектрометрия ионизирующих излучений. Москва, «Атомиздат», 1964, с. 3–20.
11. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. – М.: Мир, 1982.13.
- Волков Н.Г., Христофоров В.А. Методы ядерной спектрометрии. –М.: Энергоатомиздат, 1990.
12. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы. - . – М.: Энергоатом издат, 2005. - 440с.
13. Миклашевский С. П. Промышленная электроника. – М.: Недра, 1973.]

14. Блоки детектирования спектрометрические 6931-17, 6931-20, БДЭГ2-22, БДЭГ2-23.
15. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – Изд. 6-е. – М.: Мир, 2003. – 704с.,
16. Миклашевский С. П. Промышленная электроника. – М.: Недра, 1973.
17. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники. – М.: Сов.радио, 1980.
18. Григорьев О.П., Замятин Б.В., Кондатов БВ., Пожидаев С.Л. Транзисторы справочник изд-во «Радио и связь»М-1990.
19. Големинов Н.Г. "Спектрометрические методы в радиационной экологии" ,М, МИФИ, 1993г.
20. Гуров Ю.Б. Мохоров П.В. Шафигуллин Р.Р. Шишков А.В. Выбор формирующих цепей полупроводникового спектрометра заряженных частиц с учетом конечного времени собирания заряда. -М.: изд. МИФИ 1987г.
21. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. №181-ФЗ
22. СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
23. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
24. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.
25. Пожаро и взрывобезопасность промышленных объектов.ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность
26. Инструкция по охране труда при проведении радиомонтажных и настроечных работ на кафедре Прикладной физики (ПФ)
27. ГОСТ 27212-87. Источники ионизирующего излучения радионуклидные закрытые. Общие технические условия.

28. «Общие положения обеспечения безопасности радиационных источников» (НП-038-11), утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 05.03.2011 г № 104.

29. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.

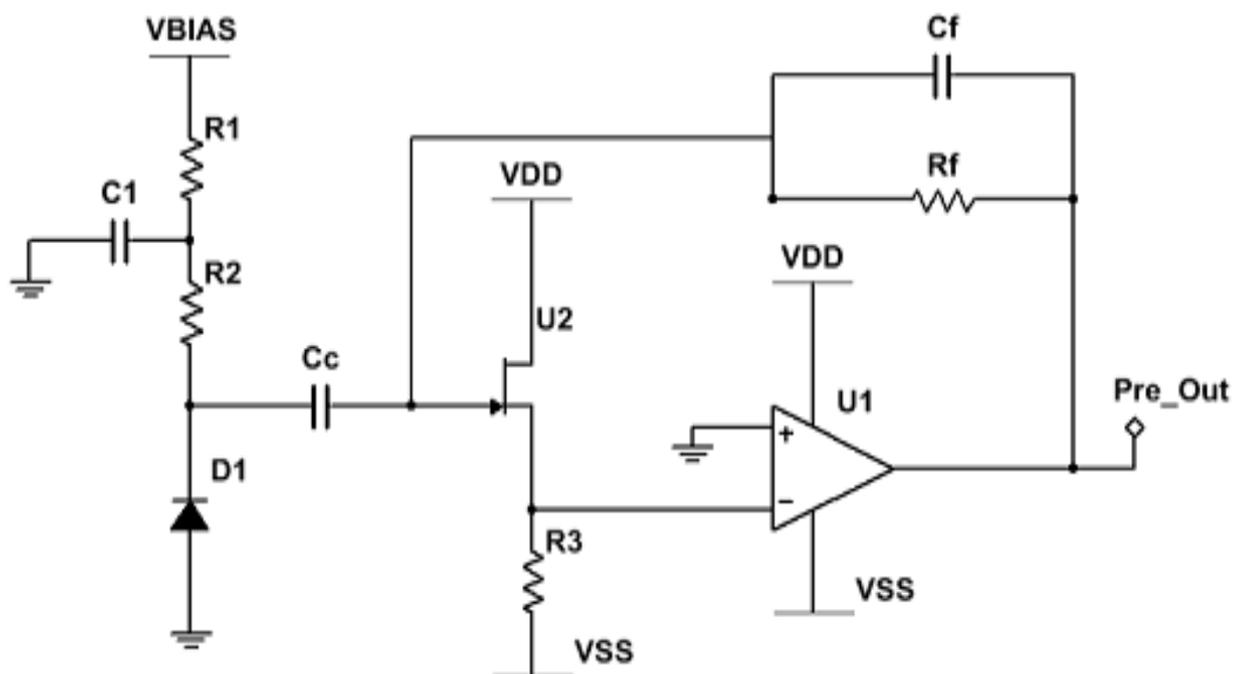
30. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). СП 2.6.1.2612-10

31. ИНСТРУКЦИЯ № 5 -13 по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником, кафедры Прикладная физика (ПФ) (ТИ Р М-075-2003)

Приложение А

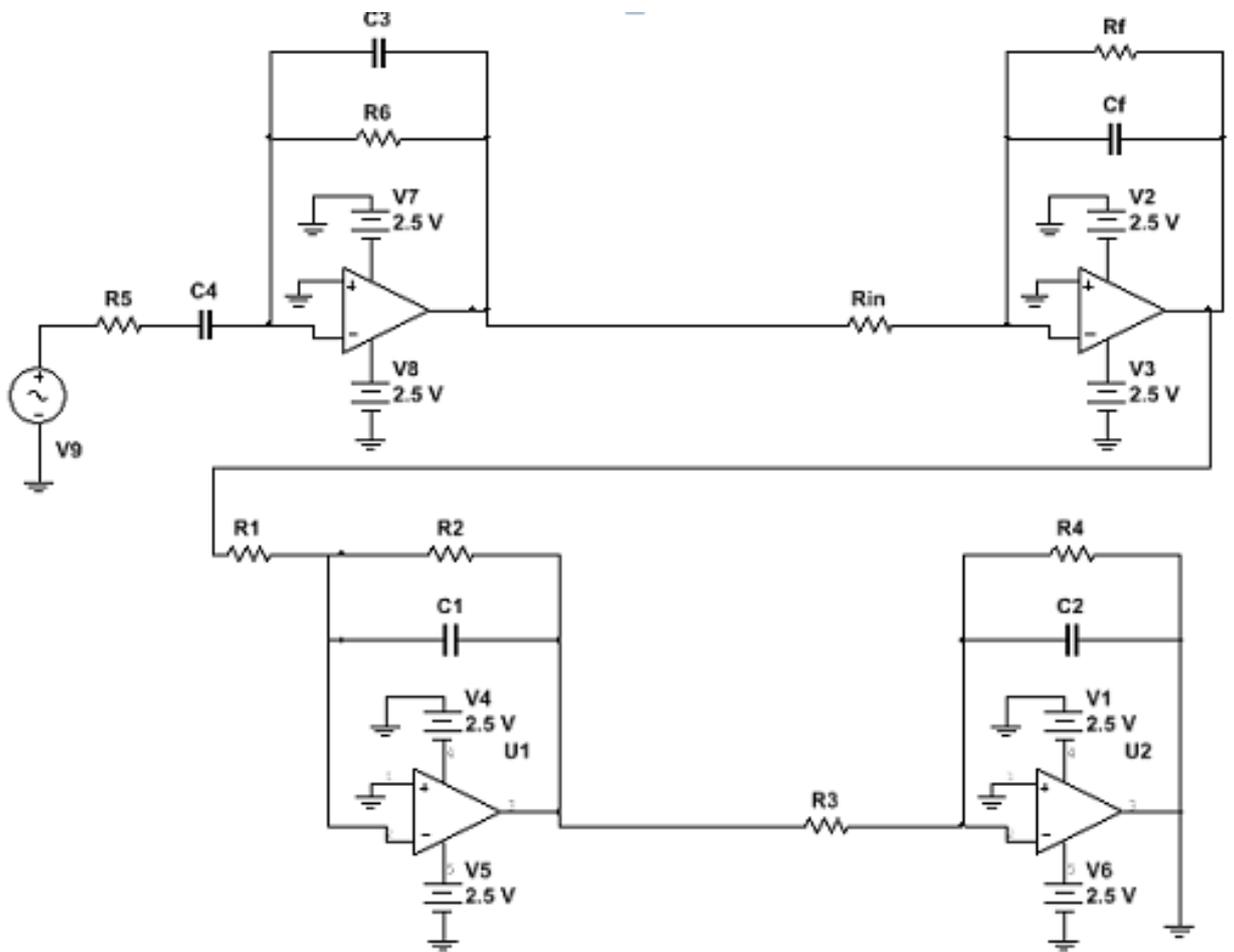
(обязательное)

Принципиальная схема зарядового усилителя



Приложение Б

Схема формирования импульсов



Приложение В

```
.include "m16def.inc"

.org 0x00 ; адрес, начала кода
    jmp reset ; переход на reset

.org ADCCaddr ; адрес вектора прерывания = 0x001c
    rjmp ADD_isr ; переход на метку ADD_isr

.org INT0addr ; адрес вектора внешнего прерывания = 0x0002
    rjmp INT0_isr ; переход на метку INT0_isr

.def temp = r16
.def adw1 = r18
.def adw0 = r17

.cseg ; начало сегмента кода
.org 100 ; начало кода с 100-ой ячейки, первые 100 оставлены для
reset: ; адресов прерываний

    ldi temp,low(RAMEND) ;конец памяти считается началом стека
    out SPL, temp ; число не умещается в 1 регистр,
    ldi temp,high(RAMEND) ; используем второй
    out SPH,temp

    ldi r16,0
    out ubrrh,r16 ; записываем 0 в ubrrh
    ldi r16,8 ;103 bode rate=>9600,8->115200,12->76800
    out ubrrl,r16

    ldi r16,(1<<txen)|(1<<rxen) ;1 в 3 и 4 биты, разрешить прием и передачу
    out ucsrb,r16

    ldi r16,0x86
    out ucsr0b,r16 ;(ursel=1,ucsz1=ucsz0=1)-> 8 bit

    ldi r16,0x00
```

```
out sfior,r16
ldi temp,0x02
out MCUCR,temp;ISC01,00=0x0 низкий уровень INT0 генерирует
прерывание
```

```
ldi temp,0x40
out GICR,temp ;разрешить INT0
ldi r16,0x40
out admux,r16
ldi r16,0xAF ;0x8F 3->/8,4->/16,5->/32,6->/64,7->/128
out ADCSRA,r16
ldi r22,0x00
ldi r19,0x00
sei
ldi adw0,0x00
ldi adw1,0x00
;-----
out ADCL,r19` ; обнуляем ADCL и ADCH
out ADCH,r19
out UDR,r19
```

t3:

```
sbrs r23,1 ;skip if bit 1 set; ждем нажатия кнопки, PD2
rjmp t3
cbr r23,2 ;clear bit 1
; sbi adcsra,adsc ;Start ADC
rjmp t3
;-----
```

ADD_isr:

```
in adw0,ADCL
in adw1,ADCH
```

```

    inc r22
    cpi r22,3;251
brne S3
    clr r22
    rjmp t4
S3:
    sbis UCSRA,UDRE
    rjmp S3
    out UDR,adw1
S4:
    sbis UCSRA,UDRE
    rjmp S4
    out UDR,adw0
;    sbi adcsra,adsc ;Start ADC
    rjmp t5
t4:
    cbi adcsra,adate ;stop ADC
t5:  reti
;-----
INT0_isr:
s1:  sbis PIND,2 ;проверяем на замыкание
    rjmp s1
    cl r24
s2:  sbis PIND,2 ;проверяем еще один раз
    rjmp s2
;задержка
    inc r24
    ldi r21,1 ;0xFF
k2:  ldi r16, 1;0xFF

```

k3: dec r16

brne k3

dec r21

brne k2

cpi r24,1 ;30

brne s2

sbr r23,2 ;set bit 1; кнопка нажата

reti

