

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

Институт – Физико-технический

Направление – Ядерные физика и технологии

Кафедра – Электроника и автоматика физических установок

Специальность – Электроника и автоматика физических установок

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы	
РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ПРОТОТИПА СИЛОВОГО МНОГОЗАДАЧНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ С ЧАСТОТОЙ ТОКА ДО 100 кГц	

УДК 621.311.6.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0712	Митяев С.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Курочкин В.А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	канд. филос. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Акимов Д.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭАФУ	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, а также культурных ценностей; понимать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства; быть готовым к анализу социально-значимых процессов и явлений, применять основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при организации работы в организации, к осуществлению воспитательной и образовательной деятельности в сфере публичной и частной жизни.
Р2	Обладать способностями: действовать в соответствии с Конституцией РФ, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма, правилами и положениями, установленные законами и другими нормативными правовыми актами; к логическому мышлению, обобщению, анализу, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения; понимать основы национальной и военной безопасности РФ; работать в многонациональном коллективе; формировать цели команды, применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций; использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ.

P3	Самостоятельно, методически правильно применять методы самостоятельного физического воспитания для повышения адаптационных резервов организма и укрепления здоровья, готовностью к достижению и поддержанию должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P4	Свободно владеть литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи. Уметь создавать и редактировать тексты профессионального назначения, владеть одним из иностранных языков как средством делового общения.
P5	Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; быть готовым к принятию ответственности за свои решения в рамках профессиональной компетенции, принимать решения в нестандартных условиях обстановки и организовывать его выполнение, самостоятельно действовать в пределах предоставленных прав; самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, развития социальных и профессиональных компетенций.
P6	Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и объектов для формализации, анализа и выработки решения профессиональных задач.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Уметь самостоятельно повышать уровень знаний в области

	профессиональной деятельности, приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт, методы научно-исследовательской и практической деятельности, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях; оценивать перспективы развития АСУ и АСНИ физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), использовать современные достижения в научно-исследовательских работах.
P8	Применять знания о процессах в ядерных энергетических и физических установках, и о технологических процессах ядерного топливного цикла используя методы математического моделирования отдельных стадий и всего процесса для разработки АСУ ТП и АСНИ с применением пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P9	Использовать знания о протекающих процессах в ядерных энергетических установках, аппаратах производств ядерного топливного цикла, теории и практики АСУ ТП, при проектировании, настройке, наладке, испытаниях и эксплуатации современного оборудования, информационного, организационного, математического и программного обеспечения, специальных технических средств, сооружений, объектов и их систем; организовать эксплуатацию физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), современного оборудования и приборов с учетом требований руководящих и

	нормативных документов; быть готовым к освоению новых образцов физических установок, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.
P10	Использовать технические средства и информационные технологии, проводить предварительное технико-экономического обоснования проектных расчетов устройств и узлов приборов и установок, расчет, концептуальную и проектную проработку программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач с учетом неопределенностей объекта управления, разрабатывать способы применения программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, решать инженерно-физические и экономические задачи, применяя знания теории и практики АСУ, включающее математическое, информационное и техническое обеспечения, для проектирования, испытания, внедрения и эксплуатации АСУ ТП и АСНИ.
P11	Понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, соблюдать основные требования безопасности и защиты государственной тайны; выполнять мероприятия по восстановлению работоспособности физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики) при возникновении аварийных ситуаций, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; проводить анализ и оценку обстановки для принятия решения в случае возникновения аварийных ситуаций, экологическую безопасность, нормы и правило производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности.

P12	Разрабатывать проекты нормативных и методических материалов, технических условий, стандартов и технических описаний средств АСУ ТП и АСНИ, регламентирующих работу в сфере профессиональной деятельности; осуществлять разработку технического задания, расчет, проектную проработку современных устройств и узлов приборов, установок (образцов вооружения, программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ), использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.
P13	Использовать в профессиональной деятельности нормативные правовые акты в области защиты государственной тайны, интеллектуальной собственности, авторского права и в других областях; осуществлять поиск, изучение, обобщение и систематизацию научно-технической информации, нормативных и методических материалов в сфере своей профессиональной деятельности.
P14	Проявлять и активно применять способность к организации и управлению работой коллектива, в том числе: находить и принять управленческие решения в сфере профессиональной деятельности; разрабатывать планы работы коллективов; контролировать соблюдение технологической дисциплины, обслуживания, технического оснащения, размещения технологического оборудования; организовывать учет и сохранность физических установок (вооружения и техники), соблюдение требований безопасности при эксплуатации; использовать основные методы защиты персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.

P15	Демонстрировать способность к осуществлению и анализу научно-исследовательских, технологических и пуско-наладочных работ, разработке планов и программ их проведения, включая ядерно-физические эксперименты, выбору методов и средств решения новых задач с применением современных электронных устройств, представлению результатов исследований и формулированию практических рекомендаций их использования в формах научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных работ; выполнять полный объем работ, связанных с техническим обслуживанием физических установок с учетом требований руководящих и нормативных документов.
-----	---

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

Институт – Физико-технический
Направление – Ядерные физика и технологии
Кафедра – Электроника и автоматика физических установок
Специальность – Электроника и автоматика физических установок

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ЭАФУ ФТИ
_____ А.Г. Горюнов
« 03 » октября 2016 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0712	Митяеву С.А.

Тема работы:

Разработка лабораторного прототипа силового многозадачного источника питания с частотой тока до 100 кГц

Утверждена приказом директора ФТИ	от 31.10.2016 № 9286/с
--	------------------------

Дата сдачи студентом выполненной работы	23 января 2017 г.
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – Лабораторный прототип силового многозадачного источника питания с частотой тока до 100кГц
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор существующих моделей силовых источников питания, аналитический обзор электрических процессов при работе установки, модернизация исходной схемы прототипа источника питания, разработка метода взаимодействия прототипа источника с оператором, монтаж прототипа источника питания, проведение экспериментов на прототипе при различных видах нагрузки.
Перечень графического	Исходная схема прототипа источника питания

материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, канд. филос. наук Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	Ассистент Акимов Д.В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	3 октября 2016 г.
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Курочкин В.А.			

Задание принял к исполнению студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0712	Митяев С.А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 141 с., 57 рис., 22 табл., 25 источников, 13 приложений.

ИСТОЧНИК ТОКА, ИНВЕРТОР, МОСТОВАЯ СХЕМА, СИЛОВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ, ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ, ТРАНСФОРМАТОР, СКИН-ЭФФЕКТ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, SCADA

Объектом исследования является (являются) процессы в лабораторном прототипе силового многозадачного источника питания с частотой до 100 кГц.

Цель работы – модернизация, разработка и конструкционный монтаж лабораторного прототипа силового многозадачного источника питания с частотой до 100 кГц.

В процессе исследования проводился аналитический обзор существующих прототипов силовых источников питания с частотой до 100 кГц.

В результате исследования разработан и смонтирован лабораторный силовой многозадачный источник питания с частотой тока до 100 кГц, проведены эксперименты на прототипе при различных видах нагрузки.

Область применения: питание индукционных печей.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в возможности импортозамещения существующих аналогов подобных источников питания.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.003–83. Система стандартов по безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

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

СНиП 41.01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

модуляция: Процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала.

амплитуда: Максимальное значение смещения или изменения переменной величины от среднего значения при колебательном или волновом движении.

В данной работе применены следующие сокращения:

персональный компьютер; ПК.

электронно-вычислительная машина; ЭВМ.

широтно-импульсная модуляция; ШИМ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	16
1 Аналитический обзор	18
1.1 Актуальность работы.....	18
1.2 Описание системы автоматического управления источником	20
1.3 Инвертор. Принципы управления мостовыми схемами	24
2 Разработка и монтаж прототипа источника	30
2.1 Модернизация исходной структурной схемы источника	30
2.2 Конструкционный монтаж силовой части источника	38
2.3 Реализация компенсационного стабилизатора в цепи затвора транзисторов	45
2.4 Разработка контроллера управления прототипом источника	47
3 Программное обеспечение источника	48
3.1 Реализация протокола ModBus на основе исходного программного обеспечения FreeModBus.....	48
3.2 Связь контроллера управления источника с ЭВМ оператора. OPC-сервер Insat	56
3.3 Реализация интерфейса оператора источника. САПР SCADA Simple-SCADA.....	61
3.4 Связь SCADA с OPC-сервером. Настройка переменных	66
3.5 Связь SCADA с СУБД. Методика сбора информации посредством контроллера управления.....	68
4 Экспериментальная часть	69
4.1 Калибровка датчиков тока и напряжения	69
4.2 Работа источника на активной нагрузке	73
4.3 Работа источника на активно-реактивной нагрузке.....	75
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	77

5.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	77
5.2 SWOT-анализ	79
5.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации	80
5.4 Инициация проекта.....	82
5.5 План проекта	84
5.6 Бюджет научного исследования.....	87
5.6.1 Основная заработная плата	87
5.6.2 Расчет потребляемой электроэнергии	89
5.6.3 Затраты на спецоборудование	90
5.7 Группировка затрат по статьям	91
5.8 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	94
6 Социальная ответственность	97
6.1 Введение	97
6.2 Характеристика вредных и опасных факторов, имеющих место в лаборатории	99
6.3 Электробезопасность.....	99
6.4 Мероприятия по выполнению норм естественного и искусственного освещения	101
6.5 Мероприятия по борьбе с производственным шумом.....	104
6.6 Мероприятия по выполнению норм вентиляции и отопления	105
6.7 Мероприятия по пожарной безопасности	105
6.8 Выводы по разделу	106
Заключение	108
Список использованных источников	110
Приложение А. Укрупненная структурная схема прототипа источника тока	113
Приложение Б. Схема электрическая функциональная.....	114
Приложение В. Схема электрическая соединений и подключений	115

Приложение Г. Перечень элементов в схеме электрической соединений и подключений	116
Приложение Д. Схема электрическая принципиальная платы управления	117
Приложение Е. Перечень элементов в схеме электрической принципиальной платы управления.....	118
Приложение Ж. Текст файла main.c.....	119
Приложение И. Текст файла portserial.c	124
Приложение К. Текст файла porttimer.c.....	127
Приложение Л. Текст файла portevent.c	129
Приложение М. Текст файла port.h.....	130
Приложение Н. Презентация	на отдельных листах
Титульный лист	
Актуальность работы	
Структурная схема прототипа источника тока	
Исходные данные к работе	
Цели и задачи	
Модернизация платы управления источником	
Разработка платы управления прототипом источника тока	
OPC-сервер InSat	
Интерфейс пользователя в САПР Simple-SCADA	
Нестабильность работы инверторной схемы	
Метод стабилизации напряжения в цепи затвора силовых транзисторов	
Функциональная схема прототипа источника	
Принципиальная схема силовой части источника	
Результаты установки стабилизатора в цепи затвора силовых транзисторов	
Результаты работы прототипа источника на активной нагрузке	
Результаты работы прототипа источника на активно-реактивной нагрузке	

Экономическая часть

Результаты работы

Диск CD-R.....в конверте на обороте обложки

ФЮРА.565342.015ПЗ Пояснительная записка ВКР. Файл

Митяев_ВКР.docx

Презентация к ВКР. Файл Митяев_ВКР_презентация.pptx

ВВЕДЕНИЕ

В рамках исследований [1–3] было установлено, что использование токов частотой 50 кГц и выше, позволяет, в процессе производства поликристаллического кремния (ПКК) высокой чистоты, в основе которого лежит Siemens-технология, реализующая метод парового химического осаждения кремния в процессе водородного восстановления трихлорсилана (ТХС), за одну компанию выращивать поликристаллические стержни вдвое большего диаметра, что значительно снижает себестоимость производства.

Для достижения требуемых значений частоты тока, величины тока и напряжения разработано «Устройство равномерного нагрева поликристаллических кремниевых стержней» [4], обеспечивающее частоты тока до 100 кГц. Укрупненная электрическая структурная схема которого представлена на рисунке 1, где 1 – силовой трехфазный диодный мост, 2 – конденсаторная сборка, 3 – транзисторные ячейки, 4 – силовые импульсный высокочастотный трансформаторы, 5 – малоиндуктивные высокочастотные конденсаторы, 6 – нагрузка.

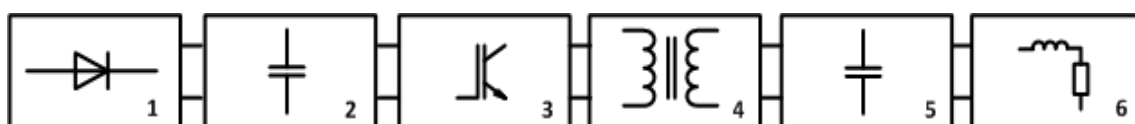


Рисунок 1 – Структурная электрическая схема источника переменного тока

					ФЮРА.565342.015ПЗ		
Изм.	Лист	И докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Митяев			Введение	Лит.	Лист
Провер.		Курачкин					Листов
Консульт							
Н. Кантр.		Ефремов				ТПУ ФТИ Группа 0712	
Утверд.		Горюнов					

Основой источника является мостовой инвертор с применением современных IGBT-транзисторов со временем спада импульсов не более 50 нс и временем «хвоста» не более 70 нс. и силовой трансформатор с кольцевой магнитопроводом серии ГМ414 из аморфных и нанокристаллических сплавов, разработанный и выпускаемый научно-производственным предприятием «ГАММАМЕТ». Обмотка трансформатора выполнена кабелем типа «витая пара».

Данный источник тока обладает недостатками, в которые входят:

- нестабильность работы инверторной схемы вследствие отсутствия цепи стабилизации на затворах силовых транзисторов;
- отсутствие элементов, осуществляющих управление питанием силовой частью установки;
- отсутствие цепи разряда конденсаторной сборки;
- осуществление управления источником с помощью контура сбора данных.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация, разработка и конструкционный монтаж данного лабораторного силового источника тока.

1 Аналитический обзор

1.1 Актуальность работы

«Устройство равномерного нагрева поликристаллических кремниевых стержней» [4] в силу инвариантности к изменению параметров нагрузки, возможности масштабирования тока и напряжения, а также частоты тока до 100 кГц, помимо резистивного нагрева, может найти массу применений.

Индукционный нагрев редкоземельных металлов в вакуумных индукционных печах, для которого на многих химико-металлургических предприятиях постсоветского пространства используются вращающиеся преобразователи частоты (ВПЧ), производство и реализация которых полностью остановлены. Представленные на рынке источники рассчитаны под определенный тип нагрузки и не могут учитывать особенности печей предприятий и протяженность силовых линий.

Например, для питания литейных установок химико-металлургического завода (ХМЗ) СХК используются вращающиеся преобразователи частоты, рассчитанные на частоту 2,4 кГц. Для применения источника в качестве эквивалента ВПЧ достаточно изменить элементную базу, т.е. транзисторы и трансформатор, обеспечивающие меньшую частоту генерируемого тока. После разработанный источник может быть применен в качестве замены ВПЧ и подключен к существующей инфраструктуре литейных установок ХМЗ, что позволяет:

- обеспечить устойчивую работу индукцион-ных печей ХМЗ;
- повысить КПД более чем на 20 %, по сравнению с ВПЧ;
- снизить эксплуатационные расходы;

					ФЮРА.565342.015ПЗ		
Изм.	Лист	И докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Митяев			Аналитический обзор	Лит.	Лист
Провер.		Курачкин					Листов
Консульт							
Н. Кантр.		Ефремов				ТПУ ФТИ Группа 0712	
Утверд.		Горюнов					

Индукционный нагрев расплава солей в процессе пирохимической переработки ОЯТ, возможность реализации которого описана в патентах РФ № 2227336 и DE 1221203 А. Согласно способу пирохимической переработки металлического или оксидного топлива, ОЯТ растворяют в солевом расплаве, а затем металлический уран и/или металлический плутоний осаждают и собирают путем электролиза или с помощью электролиза осаждают и собирают оксиды урана и/или плутония в гранулированном состоянии. Данный способ требует разогрева смеси до 1000 градусов. В традиционном способе нагрева для плавления ОЯТ в солевом расплаве применяется прямой нагрев тигля. При индукционном нагреве солевого раствора ОЯТ (патенты: РФ № 2227336, DE 1221203 А) существует ряд дополнительных проблем и задач: по сравнению с индукционными токами, используемыми в традиционном способе плавления металлов, в данном случае необходимы индукционные токи более высокой частоты вследствие различий в электропроводности (не менее 50 кГц). На данный момент времени влияние индукционного нагрева на электролиз в расплаве солей недостаточно изучено. Источник может способствовать необходимым исследованиям, позволить разработать эффективную и безопасную конфигурацию тигля и индуктора индукционных печей и без изменения функциональной структуры может быть использован в качестве питания индукционной печи процесса пирохимической переработки.

В случае индукционного нагрева циркониевых оболочек отработанных стержневых тепловыделяющих элементов тепловыделяющей сборки существует проблема взаимного экранирования стержней, которая в существующем аналоге (патенты: РФ №2376667, JP 6117688 А, US 4507267 А) не решена. Предлагается использовать частотно-модулированные токи (частота тока изменяется во времени по определенному алгоритму). Источник способен обеспечивать генерацию необходимых токов и решить проблему индукционного нагрева циркониевых оболочек.

1.2 Инвертор. Принципы управления мостовыми схемами

Инвертором называется устройство, выполняющее преобразование постоянного тока в переменный с изменением величины преобразуемого напряжения. В данной работе инвертор, или мостовая схема (рисунок 2 и 3), используется как элемент в силовой части лабораторного силового прототипа источника тока.

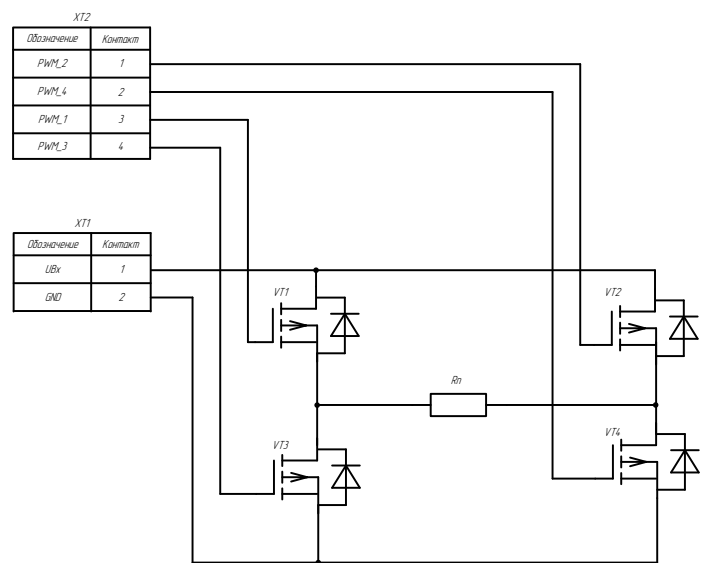


Рисунок 2 – Принципиальная схема мостового инвертора без трансформатора

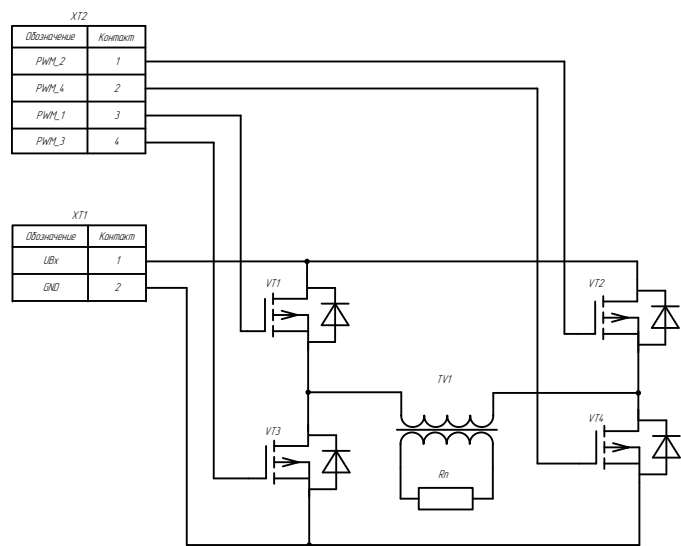


Рисунок 3 – Принципиальная схема мостового инвертора с трансформатором

Техническая реализация данных устройств обуславливается определенными особенностями работы данных схем. Одной из последних является регулирование выходного напряжения инверторов при помощи изменения площади импульса управляющих сигналов, которое достигается изменением длительности ширины импульса управляющего сигнала и является одним из методов широтно-импульсной модуляции (ШИМ) управляющего сигнала. При этом недопустимо нарушение симметрии управляющего сигнала, которое приводит к порождению побочных продуктов преобразования с частотой ниже основной и появлению постоянной составляющей напряжения на трансформаторе, что недопустимо для цепей данного типа.

В мостовой инверторной схеме преобразование постоянного напряжения первичного источника в переменное достигается параллельной периодической коммутацией группы ключей, коммутируемых таким образом, чтобы получить разнополярное напряжение на зажимах нагрузки. Для разрабатываемого прототипа источника тока пропорциональность выходного напряжения зависит от длительности импульса управления ключами.

Таким образом, при разработке прототипа источника, следует уделить особое внимание следующим вопросам:

- реализация платы-драйвера ШИМ;
- реализация стабилизатора на цепи затвора силовых транзисторов.

Плата-драйвер ШИМ должна генерировать сигнал для управления двумя парами транзисторов при симметричности управляющих сигналов. В обратном случае, постоянная составляющая напряжения после инвертора на трансформаторе приведет к выводу из строя высокочастотного трансформатора или управляющих ключей инверторной схемы.

Компенсационный стабилизатор в цепи затвора должен обеспечить гашение наводок в цепи между платой-драйвером ШИМ и затворами силовых транзисторов, тем самым сохраняя симметричность сигнала управления.

Генерация управляющих сигналов платой-драйвером ШИМ будет рассмотрена во втором разделе.

Рассмотрим методы компенсации наводок, представленные фирмой IXYS [5].

Одним из методов является установка параметрического стабилизатора в цепи затвора силового транзистора. На рисунке 4 представлена схематическая реализация данного метода.

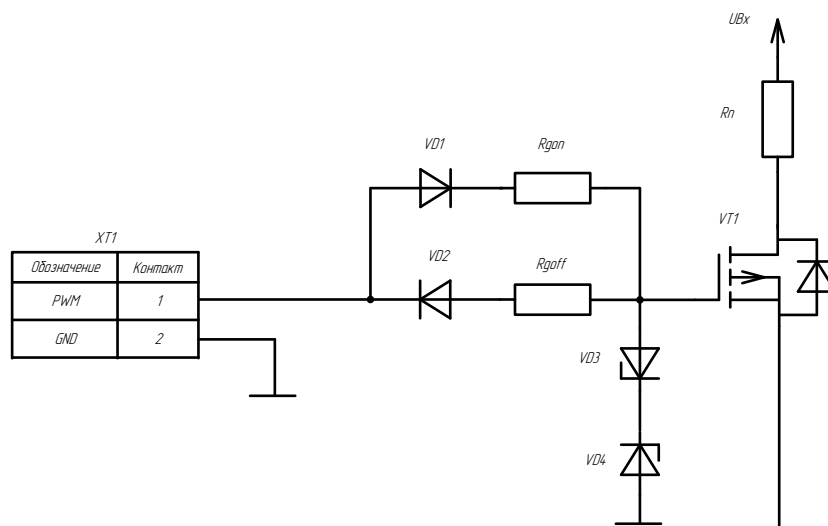


Рисунок 4 – Установка параметрического стабилизатора в цепи затвора силового транзистора для одинарного транзистора

На данной схеме роль параметрического стабилизатора выполняют стабилитроны $VD3$ и $VD4$, соединенные последовательно с диодами $VD1$ и $VD2$. Диоды Зенера обеспечивают стабилизированный уровень напряжения на затворе силового транзистора. Данный уровень равен напряжению стабилизации последовательно соединенных диодов Зенера, исходя из характеристики последних, либо равен нулю благодаря включению последовательно с диодами $VD1$ и $VD2$. Верхняя полуволна импульса управления будет иметь амплитуду стабилизации диодами Зенера, а нижняя полуволна импульса управления прерываться диодом $VD2$.

Схема подключения мостовой схемы с параметрическими стабилизаторами в цепи затвора силовых транзисторов для *IGBT*-транзисторов имеет следующий вид (рисунок 5).

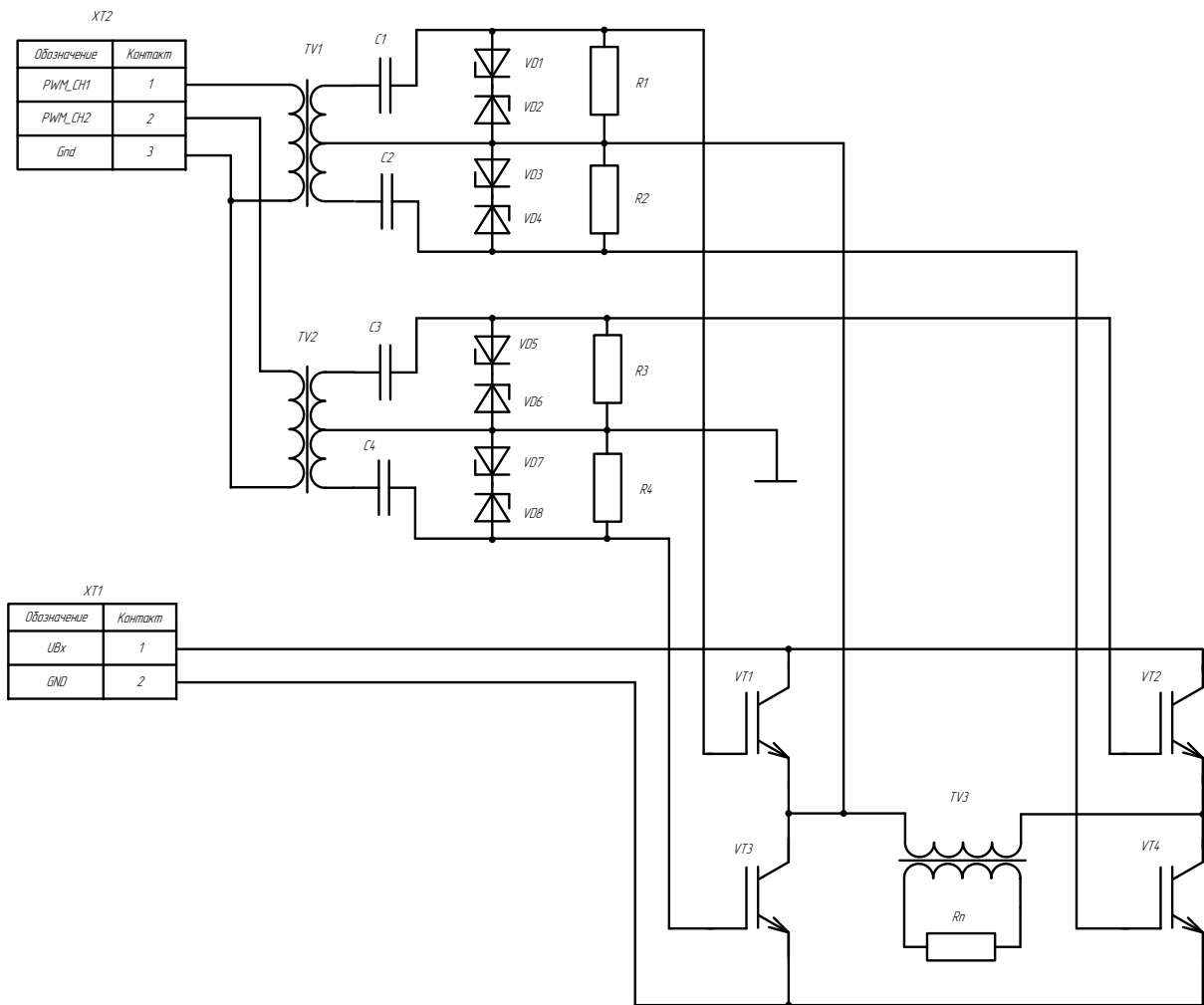


Рисунок 5 – Установка параметрического стабилизатора в цепи затвора силового транзистора для мостовой схемы на *IGBT* транзисторах

На схеме рисунка 5 роль параметрического стабилизатора выполняют диоды *VD1–VD8*.

Использование параметрического стабилизатора снижает предельное значение управляющего тока на затворе транзистора, что ведет к ухудшению динамических свойств данной схемы. Решением данной проблемы является схема с компенсационным стабилизатором в цепи затвора силового транзистора (рисунок 6).

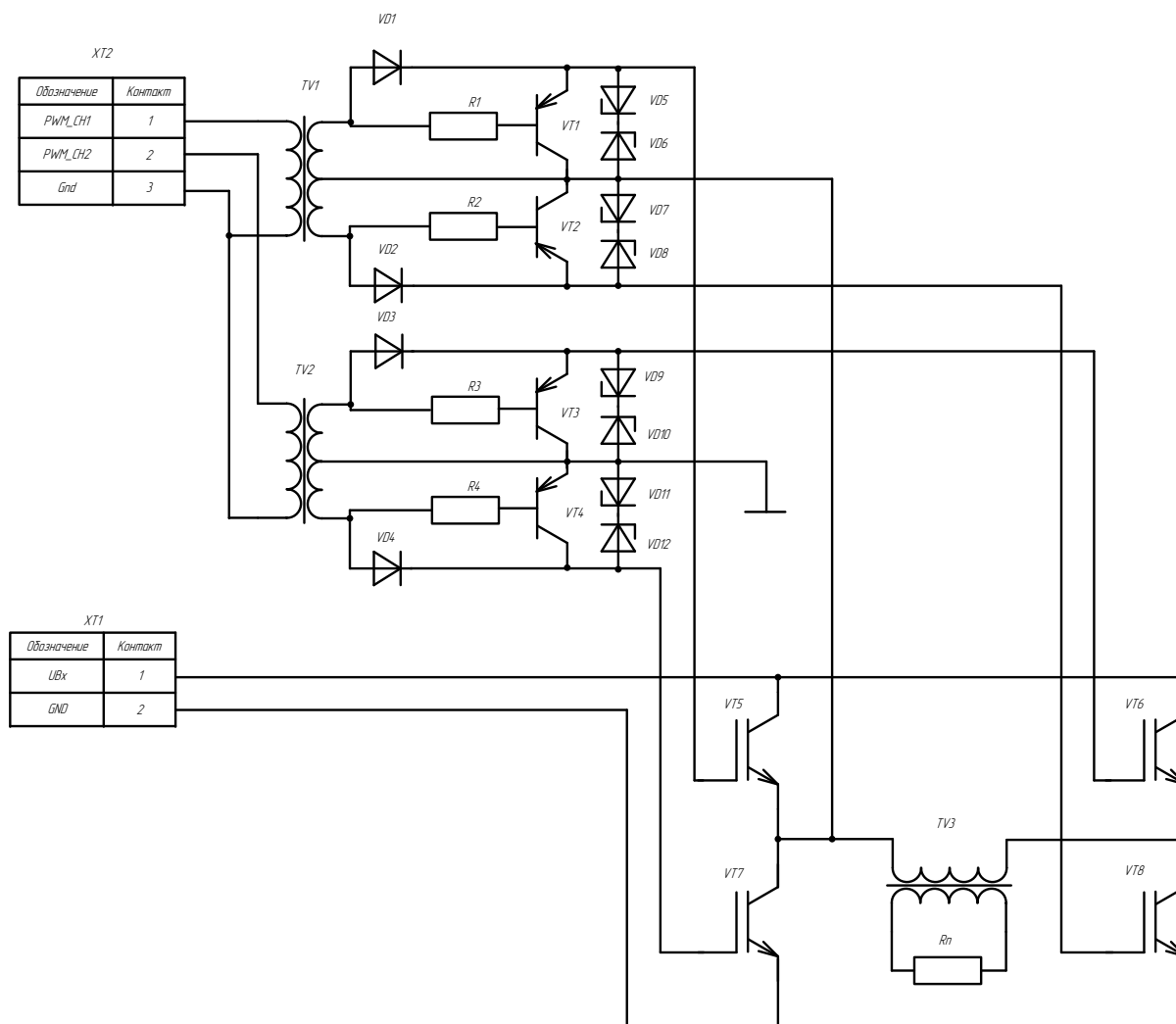


Рисунок 6 – Установка компенсационного стабилизатора в цепи затвора силового транзистора для мостовой схемы на *IGBT* транзисторах.

Схема, изображенная на рисунке 6, аналогично схеме 5 имеет стабилизатор на диодах Зенера, устанавливающих амплитудное значение для верхнего импульса управления. Компенсационный стабилизатор выполнен в виде диодов *VD1–VD4*, транзисторов *VT1–VT4* и резисторов *R1–R4*. Верхний импульс управления проходит через диод, оставляя закрытым транзистор через обратную связь в виде резистора, подключенного к базе транзистора. Если напряжение будет иметь противоположный вышеописанному случаю знак, транзистор откроется через воздействие обратной связи и осуществляет подтяжку данного уровня напряжения к нулю схемы.

Несмотря на то, что схема 6 рекомендована для полевых силовых транзисторов, ее можно использовать для биполярных транзисторов с изолированным затвором, на которых основывается мостовая схема лабораторного силового прототипа источника питания [6]. Демонстрация использования схемы с данным видом стабилизатора будет рассмотрена в следующем разделе.

2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

2.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Поскольку рынок и технологии находятся в постоянном движении и развитии, необходимо проводить детальный анализ конкурирующих разработок. Данный анализ позволит внести коррективы в развитие научного исследования, а также даст оценку сильным и слабым сторонам всем конкурентным разработкам.

Основным конкурентом данного прототипа источника тока (Бк1) является источник тока ВЧ-80АВ фирмы Мосиндуктор.

Анализ конкурентных технических решений целесообразно проводить с помощью оценочной карты (таблица 1).

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк1	Кф	Кк1
1 Достоверность полученных экспериментальных данных	50 %	5	1	2,5	0,5
2 Программируемость событий работы	10 %	5	2	0,5	0,2
3 Коэффициент полезного действия	10 %	3	3	0,3	0,3
4 Безопасность	10 %	1	3	0,1	0,3

					ФЮРА.56534.2.015ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Митяев			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение			Лист	Лист	Листов
Провер.		Курачкин								
Консульт										
Н. Контр.		Ефремов						ТПУ ФТИ		
Утверд.		Горюнов						Группа 0712		

Продолжение таблицы 1

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк1	Кф	Кк1
5 Гибкость структуры источника	5 %	5	2	0,25	0,1
6 Простота использования	5 %	4	3	0,2	0,15
7 Уровень шума	2,5 %	4	2	0,1	0,05
8 Срок эксплуатации	2,5 %	3	4	0,075	0,1
9 Проведение эксперимента в предельных режимах работы	2,5 %	3	2	0,075	0,05
10 Обслуживание при эксплуатации	2,5 %	4	3	0,1	0,075
Итого	100 %	37	25	4,2	1,825

Как видно из таблицы 1, наиболее значимым критерием является достоверность полученных экспериментальных данных. Предлагаемая разработка позволяет выполнять сбор данных о процессах на нагрузке в режиме реального времени, непосредственно через панель управления оператора, либо через внешний аналогово-цифровой преобразователь с большей точностью. По этой причине данный источник позиционируется как лабораторный, и следовательно, имеет балл 5 по сравнению с баллом 1 источника ВЧ-80АВ. Другим важным критерием является программируемость режима работы, которая в данном прототипе осуществляется посредством написания и выполнения скриптов, а в конкурентном решении осуществляется вручную, поэтому для данного прототипа этот показатель равен 5, а для конкурента 2. Коэффициент полезного действия обоих источников равен, поэтому равны и баллы за этот показатель. Но конкурент более безопасен в своем использовании чем разрабатываемый прототип. В общем итоге суммарное количество баллов разрабатываемого прототипа больше, что доказывает его преимущество.

2.2 SWOT-анализ

Для объективного оценивания конкурентоспособности и перспектив развития разработки необходимо проанализировать сильные и слабые стороны, а также угрозы и возможности, которые могут повлиять на разработку. SWOT-анализ позволит сформировать направление, в котором необходимо работать, чтобы повысить конкурентоспособность научной разработки.

Для составления итоговой матрицы SWOT-анализа необходимо определить сильные и слабые стороны проекта, угрозы и возможности проекта, а также взаимную корреляцию между ними.

Сильными сторонами разрабатываемого проекта являются возможность сбора данных, как интегрированными в интерфейс пользователя средствами, так и внешним преобразователем, возможность управления с АРМ оператора, возможность подключения к интерфейсу RS-485 по протоколу ModBus.

Слабыми сторонами проекта являются ограниченное время работы установки без охлаждения и ограничения в диапазоне рабочих значений мощности.

Возможностью проекта является применение данного источника в промышленности после определенного изменения структуры источника, упрощения путем демонтажа измерительного оборудования.

Угрозой данному проекту является сокращение срока службы или выход из строя силовых частей вследствие недоработок управляющей схемы.

Корреляция между сильными и слабыми сторонами проекта с возможностями и угрозами отображена в итоговой матрице SWOT-анализа (таблица 2).

Основной стратегией для данного научного проекта является разработка лабораторного силового источника тока, который может применяться на производстве при определенном изменении своей структуры.

Таблица 2 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны проекта: С1 Достоверность полученных данных. С2 Программируемость событий работы. С3 Гибкость структуры источника. С4 Простота использования.	Слабые стороны проекта: Сл1 Ограниченное время работы без охлаждения.
Возможности проекта: В1 Применение данного источника в промышленности	Перевод прототипа источника тока в аналоговый продукт для промышленности	Реализация системы внешнего охлаждения источника
Угрозы проекта: У1 Сокращенный срок службы.	Модернизация управляющей платы источника	Изменение структуры источника по требованиям увеличения срока службы

2.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На любой стадии жизненного цикла проекта полезно оценивать степень его готовности к коммерциализации. Для этого необходимо оценить степень проработанности научного проекта и уровень имеющихся знаний у разработчика (таблица 3).

Таблица 3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	3	3
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	1
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3
Проработаны вопросы финансирования научной разработки	1	1

Продолжение таблицы 3

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
Проработан механизм реализации научного проекта	3	1
ИТОГО БАЛЛОВ	15	12

Исходя из оценок степени готовности проекта к коммерциализации видно, что проект имеет низкую степень готовности. По вопросам маркетинговых исследований, финансирования коммерциализации, необходимо привлечение в команду проекта специалистов из данных областей.

2.4 Инициация проекта

Инициация проекта состоит из процессов, которые выполняются для нового проекта или новой стадии проекта. Для этого определяются начальные цели, содержание, фиксируются ресурсы. Также определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта.

Заинтересованные стороны проекта отображены в таблице 4.

Таблица 4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ, кафедра ЭАФУ	Реализация лабораторного силового источника тока с дальнейшей возможностью проведения экспериментов на нем

В таблице 5 представлена информация о целях проекта, критериях достижения целей, а также требования к результатам проекта.

Таблица 5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта	Создание лабораторного силового источника тока;
Ожидаемые результаты проекта	Готовое устройство лабораторного прототипа источника тока с возможностью дальнейшего проведения экспериментов на данном прототипе
Критерии приемки результата проекта	Технически реализованное в едином корпусе устройство, имеющее вход для подключения к трехфазной сети и вывод в виде дифференциальной шины передачи данных
Требования к результату проекта	Функционирующее устройство, подключаемое к рабочему месту оператора, позволяющее получать ток в цепи нагрузки в зависимости от действий оператора

Рабочая группа проекта отображена в таблице 6.

Таблица 6 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, ч.
Курочкин В.А., ТПУ, кафедра ЭАФУ, ассистент	Научный руководитель	Консультирование, определение задач, контроль выполнения.	512
Митяев С.А., ТПУ, кафедра ЭАФУ, студент	Студент (дипломник)	Анализ литературных источников, разработка схемы, монтаж, программирование, эксперименты.	1392

2.5 План проекта

В рамках планирования научного проекта составляется календарный график проекта, который может быть представлен в виде линейного графика.

Линейный график представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление технического задания	4	06.06.16	09.06.16	Курочкин В.А.
2	Изучение литературы	10	10.06.16	19.06.16	Митяев С.А.
3	Монтаж прототипа источника	64	20.06.16	22.08.15	Митяев С.А.
4	Реализация платы управления	24	23.08.16	16.09.16	Митяев С.А.
5	Разработка программы	16	17.09.16	03.10.16	Митяев С.А.
6	Проведение экспериментов	30	04.10.16	02.11.16	Митяев С.А., Курочкин В.А.
7	Обработка результатов экспериментов	30	03.11.16	02.12.16	Митяев С.А., Курочкин В.А.

По результатам таблицы 7 выполнен план-график, представленный в таблице 8.

Таблица 8 – Календарный план-график проведения работ

Код работ ы	Вид работ	Исполнители	Календа рные дни	Продолжительность выполнения работ																											
				июнь				июль				август				сентябрь				октябрь				ноябрь				декабрь			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Составление технического задания	Курочкин В.А.	4																												
2	Изучение литературы	Митяев С.А.	10																												
3	Монтаж прототипа источника	Митяев С.А.	64																												
4	Реализация платы управления	Митяев С.А.	24																												
5	Разработка программы	Митяев С.А.	16																												
6	Проведение экспериментов	Курочкин В.А. Митяев С.А.	30																												
7	Обработка результатов экспериментов	Курочкин В.А. Митяев С.А.	30																												



- дипломник
- руководитель

2.6 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

В данной научной разработке планируемыми расходами являются основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды, накладные расходы, а также расходы на электроэнергию при работе с компьютером.

2.6.1 Основная заработная плата

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Величина расходов определяется из трудоемкости выполняемых работ. Расчет основной заработной платы представлен в таблице 9.

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле (5.1):

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб} \quad (5.1)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата,

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника,

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых работником.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (5.2):

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot M}{F_{д}} \quad (5.2)$$

где Z_m – оклад работника,

M – количество месяцев работы без отпуска в год,

F_d – годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Оклад руководителя составляет 6538,5 р.

Оклад дипломника составляет 2461,5 р.

Среднедневная заработная плата руководителя (формула (5.3)):

$$Z_{\text{Д}}^{\text{Рук}} = \frac{8500 \cdot 10,4}{299} = 295,6 \text{ р.} \quad (5.3)$$

Среднедневная заработная плата дипломника (формула (5.4)):

$$Z_{\text{Д}}^{\text{Дип}} = \frac{3200 \cdot 10,4}{299} = 111,3 \text{ р.} \quad (5.4)$$

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

Этап	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн.	З/п на один чел.-дн., р.	Всего з/п, р.
Составление ТЗ	Руководитель	4	295,6	1182,4
Изучение литературы	Дипломник	10	111,3	1113
Монтаж прототипа источника	Дипломник	64	111,3	7123,2
Реализация платы управления	Дипломник	24	111,3	2671,2
Разработка программы	Дипломник	16	111,3	1780,8
Проведение экспериментов	Дипломник	30	111,3	3339

Продолжение таблицы 16

Этап	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн.	З/п на один чел.-дн., р.	Всего з/п, р.
Проведение экспериментов	Руководитель	30	295,6	8868
Обработка результатов измерений	Дипломник	30	111,3	3339
Обработка результатов измерений	Руководитель	30	295,6	8868
Итого				38284,6

Таблица 10 Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	6538,5	1	1	1,3	8500	295,6	64	18918,4
Дипломник	2461,5	1	1	1,3	3200	111,3	174	19366,2

2.6.2 Расчет потребляемой электроэнергии

Основным потребляемым сырьем в данной научной разработке является потребление электроэнергии компьютером. Для расчета стоимости потребляемой электроэнергии необходимо знать потребляемую мощность компьютером, время работы и текущий тариф на электроэнергию (формула (5.5)).

$$C_{\text{ЭЭ}} = 6 \cdot Д \cdot Т \cdot М \quad (5.5)$$

где 6 – 6-часовой рабочий день;

Д – продолжительность работ;

Т – тариф на электроэнергию;

М – мощность, потребляемая ноутбуком.

По техническим характеристикам, ноутбук потребляет 75 Вт электроэнергии. Стоимость одного киловатт-часа электроэнергии составляет 5,8 рублей. Значит, за 6-часовой рабочий день затраты на работу ноутбука составят: $6 \cdot 1 \cdot 5,8 / 1000 \cdot 75 = 2,61$ р.

Так же был выполнен расчет дополнительной заработной платы.

2.6.3 Затраты на спецоборудование

В статью «затраты на специальное оборудование для научных работ» включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. В эту статью следует отнести персональный компьютер, который использовался непосредственно как средство разработки. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений.

Для расчета амортизационных отчислений был выбран срок полезного использования n равный 5 лет. Тогда годовая норма амортизации a равна (формула (5.6)):

$$a = \frac{100}{n} = \frac{100}{5} = 20 \% \quad (5.6)$$

Зная норму амортизации можно найти сумму амортизации на время проекта для машин и оборудования A (формула (5.7)):

$$A = \frac{30000 \cdot 20 \cdot 178}{100 \cdot 365} = 2926 \text{ р.} \quad (5.7)$$

Поэтому общая стоимость оборудования будет складываться из суммы цены оборудования, затрат на доставку и монтаж и нормы амортизации. Расчеты по данной статье приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Затраты на специальное оборудование для научных работ за время проекта

Наименование оборудования	Кол-во ед. оборудования	Цена ед. оборудования, р.	Общая стоимость амортизации оборудования, р.
Ноутбук Acer Aspire	1	30000	2926

2.7 Группировка затрат по статьям

Группировка затрат по статьям отображена в таблице 12.

Весь бюджет исследования составил 54962,6 р.

Таблица 12 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Основная з/п, р.	Доп. з/п, р.	Отчисления на соц. нужды, р (27,1%)	Затраты на спецоборудование, р.	Прочие прямые расходы, р	Итого себестоимость, р
1	1182,4	141,8	358,8	2926	10,4	1693,4
2	1113	133,5	337,8		26,1	1610,4
3	7123,2	854,7	2162		167	10306,9
4	2671,2	320,5	810,7		62,6	3865
5	1780,8	213,7	540,5		41,7	2576,7
6	12207	1464,8	3705		78,3	17455,1
7	12207	1464,8	3705		78,3	17455,1
Итого						54962,6

Таблица 13 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
Вывод из строя конденсаторной сборки	Потеря работоспособности устройства	1	3	низкий	Установка защитного кожуха на конденсаторную сборку	Механическое повреждение конденсаторов
Вывод из строя силовых транзисторов	Перегрев устройства и вследствие этого потеря работоспособности	2	3	низкий	Установка системы активного охлаждения	Перегрев подложки транзисторов
Вывод из строя платы управления	Потеря работоспособности устройства	3	3	средний	Установка заземляющего контура	Статический разряд

2.8 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности I_{Φ}^P и ресурсоэффективности I_m^P .

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают I_{Φ}^P в ходе оценки бюджета затрат для вариантов исполнения научного исследования. Для разрабатываемого источника тока затратами на разработку прототипа источника, или 72897 рублей. В качестве аналога выступает промышленный источник тока фирмы Мосиндатор, его рыночная цена составляет 100000 рублей. Из этого следует, что затраты на установку будут являться наибольшим интегральным показателем реализации технической задачи Φ_{max} .

Интегральный финансовый показатель разработки I_{Φ}^P определяется (формула (5.8)):

$$I_{\Phi}^P = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{54962,6}{100000} = 0,55 \quad (5.8)$$

Интегральный финансовый показатель аналога I_{Φ}^A (формула (5.9)):

$$I_{\Phi}^A = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{100000}{100000} = 1 \quad (5.9)$$

Показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения определяется как сумма произведений балла критерия на его оценку. Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитан в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Текущий проект	Аналог
1 Достоверность полученных экспериментальных данных	0,4	5	1
2 Программируемость событий работы	0,2	5	2
3 Гибкость структуры источника	0,2	5	2
4 Простота использования	0,1	4	3
5 Проведение эксперимента в предельных режимах работы	0,05	3	2
6 Обслуживание при эксплуатации	0,05	4	3
Итого	1	26	13

Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности разработки и аналога приведен в формулах (5.10) и (5.11).

$$I_{\text{финр}}^p = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,05 = 4,75 \quad (5.10)$$

$$I_{\text{финр}}^a = 1 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,05 = 1,75 \quad (5.11)$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{\text{финр}}^p$ определяется по формуле (5.12).

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p} = \frac{4,75}{0,55} = 8,63 \quad (5.12)$$

Интегральный показатель эффективности аналога $I_{\text{финр}}^a$ определяется по формуле (5.13).

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a} = \frac{1,75}{1} = 1,75 \quad (5.13)$$

Сравнение интегральных показателей эффективности текущего проекта и аналога позволяет определить сравнительную эффективность проекта $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ (формула (5.14)).

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} = \frac{6,5}{1,75} = 3,7 \quad (5.14)$$

Результаты расчетов сравнительной эффективности проекта приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Сравнительная эффективность проекта

Показатели	Аналог	Разработка
Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,55
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	1,75	4,75
Интегральный показатель эффективности	1,75	8,63
Сравнительная эффективность проекта	4,9	

