

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

Институт Неразрушающего Контроля
Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Источник заряда конденсатора для возбуждения газового лазера

УДК 621.319.4:621.378.826.038.823

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Ивандаев Сергей Эдуардович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ярославцев Е.В.	К.Т.Н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Ю.В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи	Требования ФГОС (ПК-1-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путём подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов нанoeлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы нанoeлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-8), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.	Требования ФГОС (ПК-16), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени; разрабатывать физические и математические модели элементов нанoeлектроники, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере	Требования ФГОС (ПК-18), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчёты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения	Требования ФГОС (ПК-20), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования по учебным дисциплинам предметной области данного направления под руководством профессора, доцента или старшего	Требования ФГОС (ПК-26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности	Требования ФГОС (ОК-1; ПК-4), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов. Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта	Требования ФГОС (ОК-9; ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении. Проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-25), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	Требования ФГОС (ОК-4, ПК-19), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-2), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

_____ Ф.А. Губарев
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1AM51	Ивандаеву Сергею Эдуардовичу

Тема работы:

Источник заряда конденсатора для возбуждения газового лазера	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	№ 2943/с от 15.04.2016 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Разработать высоковольтный источник вторичного питания с параметрами:</i></p> <ol style="list-style-type: none">1) входное напряжение – промышленная сеть, $230 \pm 10\%$ В, частота $(50 \pm 0,2)$ Гц;2) выходное напряжение – постоянное до 12 кВ;3) выходная мощность – до 1000 Вт;4) характер нагрузки – емкостная;5) величина емкости конденсатора – 14 нФ;6) время заряда конденсатора – не более 2 мс;7) условия эксплуатации – лабораторные;8) массогабаритные параметры – не регламентируются. <p><i>Работа устройства не должна наносить вред окружающей среде и людям, находящимся в непосредственной близости от него.</i></p>
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Аналитический обзор литературы в рассматриваемой области науки и техники; обоснованный выбор схемотехнического решения для реализации требований технического задания; расчёт принципиальной схемы устройства; разработка модели и проведение имитационного моделирования; сборка макета устройства, настройка и проведение экспериментальных исследований; сравнение результатов моделирования с результатами, полученными в ходе эксперимента.</i></p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><i>Схема электрическая принципиальная</i></p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Анищенко Юлия Владимировна</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Николаенко Валентин Сергеевич</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Мыльникова Татьяна Степановна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>«Расчеты и аналитика»</p>	
<p> </p>	
<p> </p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ярославцев Е.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Ивандаев Сергей Эдуардович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM51	Ивандаеву Сергею Эдуардовичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Промышленной и медицинской электроники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	Затраты на выполнение НИР включают в себя затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, основную и дополнительную заработную плату исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	НИР выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений, кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Предпроектный анализ	Определение потенциальных потребителей результатов исследования и анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, оценка готовности проекта к коммерциализации
2. Инициация проекта	Информация о заинтересованных сторонах проекта, цели и ожидаемые результаты НИР, трудозатраты и функции исполнителей проекта
3. Планирование управления научно-техническим проектом	Составление перечня этапов и работ по выполнению НИР, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов
4. Оценка сравнительной эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя эффективности НИР, за счёт определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка
2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
3. График проведения и бюджет НИР
4. Календарный план проекта
5. Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Ганта)
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИР

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Ивандаев Сергей Эдуардович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM51	Ивандаеву Сергею Эдуардовичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Промышленной и медицинской электроники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Источник питания, преобразующий однофазное напряжение промышленной сети в постоянное регулируемое и стабилизированное напряжение до 12 кВ с выходной мощностью до 1000 Вт, предназначенный возбуждения газового лазера, который используется при проведении экспериментальных исследований в ходе выполнения научно-исследовательских работ
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности	Анализ выявленных вредных факторов при разработке проектируемого решения: – микроклимат; – повышенная концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны; – повышенный уровень статического электричества; – освещение; – повышенный уровень электромагнитного излучения Анализ выявленных опасных факторов при разработке проектируемого решения: – электрический ток
2. Экологическая безопасность	Экологическая безопасность: – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – анализ воздействия объекта на атмосферу (отходы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (отходы)
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – Возможные ЧС на объекте: пожар; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации ее последствий
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – компоновка рабочей зоны; – режимы труда и отдыха

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Ивандаев Сергей Эдуардович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 99 с., 38 рис., 23 таблицы, 33 источника, 4 приложения.

Ключевые слова: емкостной накопитель, источник питания, система управления, источник заряда, моделирование.

Объектом исследования является схема заряда емкостного накопителя.

Цель работы – разработка источника заряда конденсатора для возбуждения газового лазера.

В ходе выполнения ВКР проведен обзор литературы по схемам заряда емкостных накопителей, реализующие различные способы заряда, выбрано схемотехническое решение, позволяющее эффективно выполнить требования технического задания, проведены расчёты силовой части схемы и узлов системы управления устройством с выбором элементной базы, разработана модель и проведено имитационное моделирование процесса работы преобразователя.

В результате исследования модели источника в пакете *Pspice* получены диаграммы работы всех компонентов, которые подтверждают правильность выполненных расчетов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: входное напряжение – промышленная сеть, 230 ± 10 % В, частота ($50 \pm 0,2$) Гц; выходное напряжение – постоянное до 12 кВ; выходная мощность – до 1000 Вт, условия эксплуатации – лабораторные, массогабаритные параметры не регламентируются.

Степень внедрения: источник питания планируется использовать на кафедре Промышленной и медицинской электроники для исследовательских целей и опытов с использованием лазеров.

Область применения: промышленная электроника, лазерная техника.

Экономическая эффективность/значимость работы: оценка экономической эффективности выходит за рамки данной работы.

В будущем планируется доработка устройства, а именно, сборка и настройка системы управления и экспериментальное исследование макета устройства.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты Национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.
2. ГОСТ Р 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
3. ГОСТ Р 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.
4. ГОСТ Р 2.316 – 2008 Единая система конструкторской документации. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.
5. ГОСТ Р 7.05 – 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

АИР – амплитудно-импульсное регулирование;

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;

ВИР – время импульсное регулирование;

ЕН – емкостной накопитель;

ЗУ – зарядное устройство;

КПД – коэффициент полезного действия;

МК – микроконтроллер;

СУ – система управления;

ТФЭ – токоформирующий элемент;

ШИМ – широтно-импульсный модулятор;

IGBT (от англ. Insulated-gate bipolar transistor) – биполярный транзистор с изолированным затвором.

Оглавление	
Введение	11
1. Способы заряда емкостных накопителей энергии и их схемотехническая реализация	13
1.1 Газовый лазер	15
1.2 Способы зажигания лазеров	15
1.3 Анализ и сравнение методов преобразования энергии в зарядных устройствах емкостных накопителей энергии	17
1.4 Классификация зарядных устройств	19
2. Объект и методика исследования	27
2.1 Разработка структурной и принципиальной схем	27
3. Расчет и аналитика	32
3.1 Расчет выходного высокочастотного выпрямителя	33
3.2 Расчет трансформатора	35
3.3 Расчет дросселей	38
3.4 Выбор транзисторов	41
3.5 Расчет входного фильтра и выпрямителя	42
3.6 Разработка и расчет системы управления	45
4. Имитационное моделирование в программе PSpice	55
5. Разработка экспериментальной модели	62
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	66
7. Социальная ответственность	82
Заключение	93
Список публикаций студента	95
Список использованных источников	96
Приложение А «Calculations and analytics»	100
Приложение Б Диаграммы напряжений и токов	121
Приложение В Код программы для микроконтроллера	123
Приложение Г ФЮРА.341000.001.ЭЗ Источник заряда конденсатора	126
Приложение Д ФЮРА.421000 .001.ЭЗ Система управления	127

Введение

Электроэнергетические установки и устройства, потребляющие электрическую энергию, предварительно накопленную в электрическом поле конденсатора, нашли широкое применение на практике. Такие установки служат для накачки лазеров, создания электрогидравлического эффекта, для тестирования изоляции проводов и т.п.

В связи с развитием импульсной электроэнергетики и возникновением новых требований, обусловленных необходимостью улучшения эксплуатационных и энергетических характеристик источников заряда конденсаторов (повышением КПД, уменьшением времени зарядки, уменьшением мощности, потребляемой из сети при зарядке), появилось большое количество источников, отличающихся друг от друга как схемными решениями, так и протекающими в них процессами. В качестве ключевых элементов в большинстве источников используются полупроводниковые элементы. С развитием в области полупроводниковых приборов создаются мощные полупроводниковые элементы с улучшенными характеристиками. Использование элементов с улучшенными характеристиками при разработке устройств силовой электроники позволяет повысить энергетическую эффективность устройства и уменьшить массогабаритные показатели. Поскольку зарядка емкостных накопителей энергии широко используется в различных технологических процессах, разработка универсального эффективного источника заряда конденсатора с применением современной системы контроля процесса зарядки является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является разработка высокоэффективного источника питания для заряда емкостного накопителя. Для достижения данной цели необходимо решение следующих задач:

- на основании обзора литературы выбрать и разработать структурную и принципиальную схемы устройства, отвечающие всем требованиям технического задания;
- выполнить расчет принципиальной схемы силовой части источника с выбором подходящей элементной базы;
- выбрать структурную и принципиальную схему системы управления, произвести необходимые расчеты и выбрать элементы принципиальной схемы СУ;
- разработать модель устройства заряда устройства в пакете PSpice, провести имитационное моделирование;
- провести верификацию модели путем сравнения результатов имитационного моделирования с результатами расчетов с определением погрешности;
- разработать, собрать и настроить экспериментальный макет источника заряда конденсатора, провести экспериментальные исследования.

1. Способы заряда емкостных накопителей энергии и их схемотехническая реализация

В современной науке и технике очень активно используются устройства и установки, потребляющие энергию в виде импульсов большой мощности. Для питания таких установок электрическая энергия предварительно запасается в накопительном устройстве, время заряда которого во много раз превышает время разряда. Накопительным устройством таких установок обычно является емкостной накопитель, накопление энергии которого происходит в электрическом поле.

Существует достаточное количество устройств, принцип работы которых основан на использовании энергии накопителя при формировании импульсов большой мощности:

- установки для создания кратковременных сильных магнитных полей при исследованиях в ядерной физике (ускорители плазмы);
- установки для дробления пород в горнодобывающей промышленности;
- установки для обработки металлов (электроэрозионная обработка, импульсная конденсаторная сварка, микроиндукционная закалка);
- установки для испытаний импульсной прочности изоляции электрооборудования;
- установки для накачки лазеров.

Импульсные установки как потребители электроэнергии отличаются от потребителей обычного типа, тем что сначала идет непрерывное накопление энергии в конденсаторе, а затем реализация этой энергии импульсной установкой. Структурные схемы импульсных установок при питании от источников постоянного и переменного напряжения приведена на рисунке 1.1.

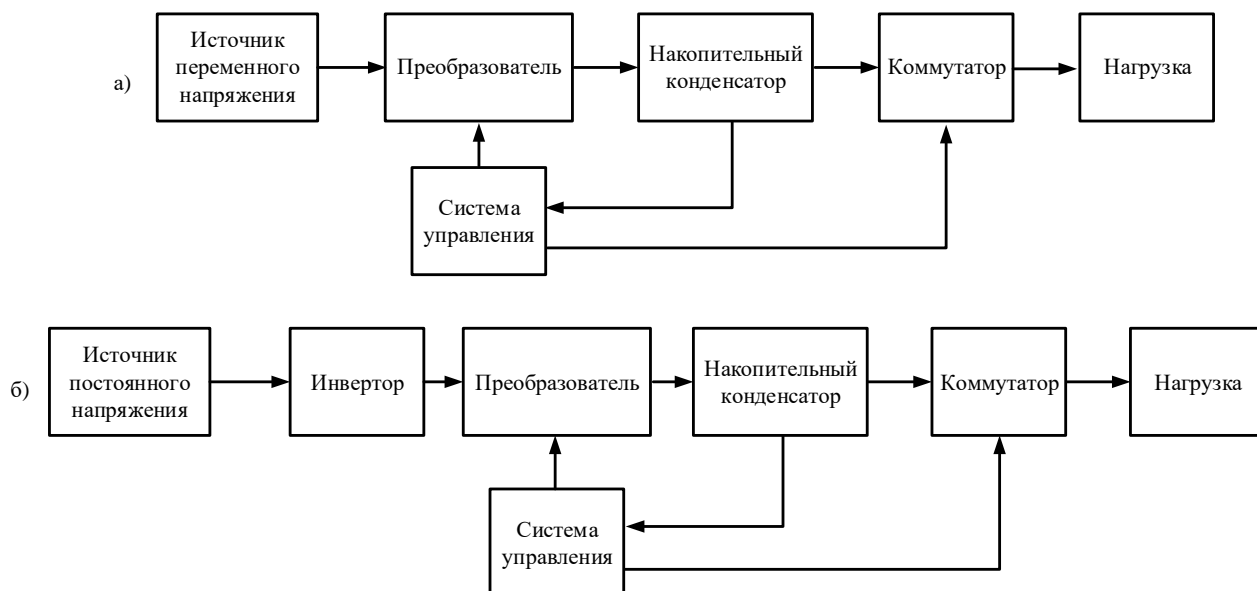


Рисунок 1.1 – Структурные схемы систем заряда накопительных конденсаторов: а – от источника переменного напряжения; б – от источника постоянного напряжения

Основным элементом системы заряда емкостного накопителя, определяющим эффективность всей системы заряда в целом, является преобразователь. Преобразователь осуществляет равномерное потребление электроэнергии от источников, согласование напряжения источника питания и напряжения на накопительном конденсаторе в конце интервала заряда. Питание преобразователя осуществляется от источника переменного напряжения. Также для электропитания преобразователя вместо источника переменного напряжения используют источник постоянного напряжения, напряжение которого при помощи инвертора преобразуется в переменное с требуемыми параметрами. При этом преобразователь должен обеспечить отключение электропитания при разряде накопительного конденсатора в нагрузку. Кроме этих требований есть и другие требования, характерные для устройств силовой электроники: высокий КПД, надежность и массогабаритные показатели.

1.1 Газовый лазер

Газовый лазер – лазер, в качестве активной среды которого используется вещество, находящееся в газообразном состоянии. Устройство лазера представлено на рисунке 1.2. Он представляет собой стеклянную трубку, внутри которой находится газовая смесь низкого давления.



Рисунок 1.2 – Устройство газового лазера

Ионизация газа производится высоковольтными импульсами, затем ионы переводятся в возбужденное состояние постоянным током. По краям трубки расположены зеркала, одно из которых полностью отражает излучение, а другое полупрозрачное, служит для вывода лазерного излучения.

Самым универсальным из всех газовых лазеров является CO_2 -лазер. Свою популярность он получил из-за наименьшей расходимости луча, что позволяет располагать источник вдали от зоны обработки без снижения качества луча. Основная область применения этих лазеров – резка и гравировка. В настоящее время широкое распространение получили щелевые (slab) CO_2 -лазеры. Накачка таких лазеров происходит высокочастотным разрядом. Эти лазеры работают в импульсном режиме с частотой 10-20 кГц, при этом мощность в одном импульсе составляет 1000-1500 Вт, что очень важно при резке металлов [1].

1.2 Способы зажигания лазеров

Электрические импульсные установки широко используются для электрической накачки лазеров. Накачка электрическим током применяется для возбуждения двух типов лазеров: газовых и полупроводниковых. В газовых

лазерах в начальном состоянии электрическая проводимость незначительна, поэтому газоразрядный промежуток представляет собой разрыв электрической цепи. Процесс включения прибора называется иницированием, в результате которого происходит зажигание разряда в газе и рабочий промежуток приобретает проводимость. Есть несколько способов иницирования: статическим электрическим полем, высокочастотным электрическим полем и высоковольтными импульсами [2].

При первом способе схема зажигания вырабатывает однополярное иницирующее напряжение U_i с малой скоростью нарастания, при которой напряжение самопробоя еще сохраняется. При достижении определенного значения напряжения U_i возникает пробой разрядного промежутка, приводящий к образованию проводящего канала. Но для поддержания канала пробоя недостаточно, необходимо чтобы основной источник удержал канал в таком состоянии.

При втором способе процесс иницирования происходит при помощи воздействия на промежуток медленно нарастающего высокочастотного напряжения. При достижении напряжения до напряжения пробоя, промежуток пробивается, что приводит к зажиганию разряда. Особенность данного способа заключается в уменьшении пробивного напряжения при увеличении частоты и при некотором значении достигает минимума [2].

Самый распространенный способ из всех рассмотренных — это иницирование при помощи импульсов с амплитудой иницирующего напряжения значительно превышающей напряжение статического пробоя. При этом к газоразрядному промежутку прикладывается одиночный высоковольтный импульс и промежуток пробивается. Основной разряд, возникший при иницировании, поддерживается основным источником питания.

Накопление энергии, необходимой для инициализации газового промежутка, может происходить в емкостном или индуктивном накопителях энергии. Наиболее просты схемы с емкостными накопителями. Возможные

диапазоны частот повторения выходных импульсов источников питания для различных типов лазеров приведены на рисунке 1.3.

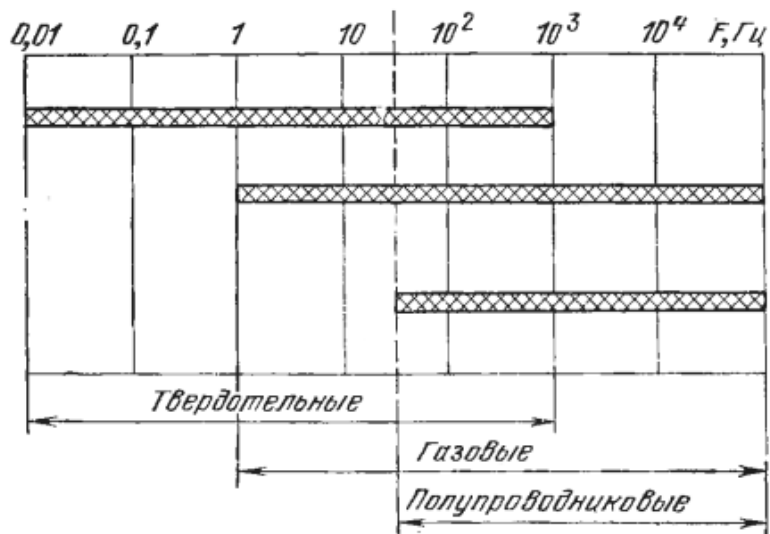


Рисунок 1.3 – Диапазоны частот повторения импульсов накачки лазерных излучателей

1.3 Анализ и сравнение методов преобразования энергии в зарядных устройствах емкостных накопителей энергии

Анализ различных зарядных устройств [3, 4, 5] емкостных накопителей энергии показывает, что основным элементом эффективных ЗУ является звено, осуществляющее преобразование постоянного тока в переменный, т. е. звено переменного тока. Различные варианты реализации этого звена и определяют методы преобразования энергии, являясь одновременно основной для классификации зарядных устройств емкостных накопителей. На рисунке 1.4 приведены структурные схемы методов заряда накопителя.

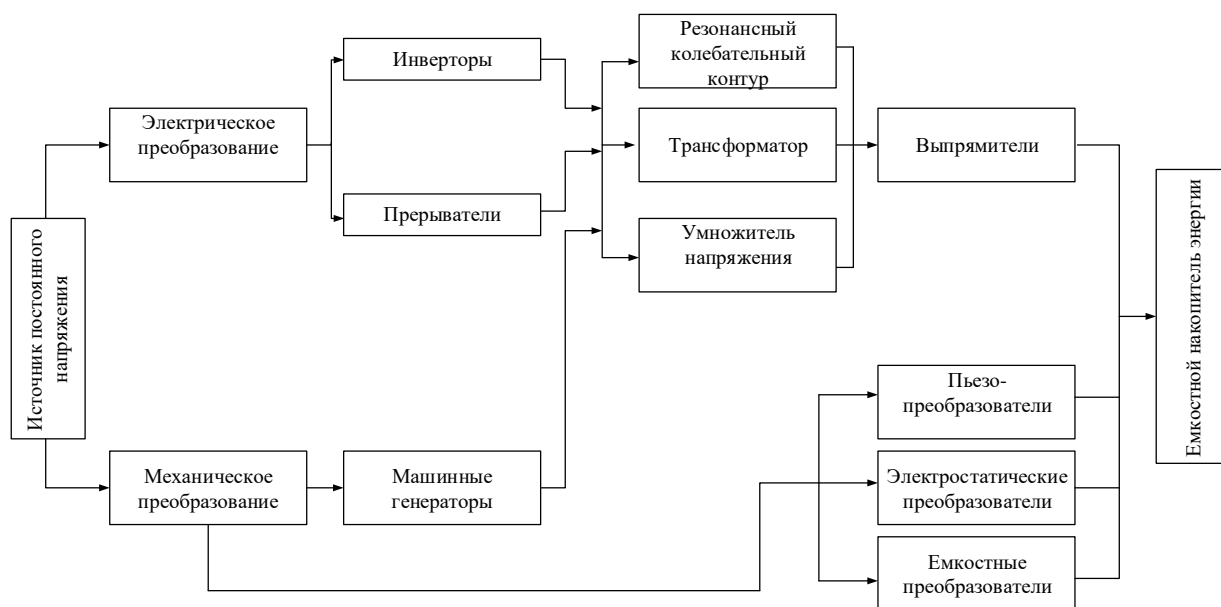


Рисунок 1.4 – Структурная схема методов заряда емкостного накопителя

В схеме [6], приведенной на рисунке 1.4, преобразование энергии может происходить при помощи электрического преобразования или механического. Получение переменного напряжения осуществляется инверторами и прерывателями при электрическом преобразовании, а при механическом преобразовании – машинными генераторами.

Поскольку получение высоких напряжений непосредственно на выходе как машинных генераторов, так и прерывателей, и инверторов затруднено, на структурной схеме приведены методы повышения переменного напряжения, которые осуществляются с помощью резонансных контуров, трансформаторов и умножителей напряжения. Все перечисленные методы повышения переменного напряжения для передачи энергии емкостному накопителю требуют применения выпрямителей. Для увеличения коэффициента усиления зарядного устройства, возможно каскадное включение некоторых элементов структурной схемы.

Сравнение методов преобразования приведено в таблице 1.1. К достоинствам пьезоэлектростатических, емкостных преобразователей относится помехозащищенность. К недостаткам следует отнести преобразование электрической энергии в механическую и обратное преобразование, что существенно снижает КПД преобразователя, увеличиваются массагабариты.

Таблица 1.1 – Сравнительная оценка методов преобразования

Критерии оценки	Методы преобразования энергии и их оценки			
	Механическое преобразование		Электрическое преобразование	
	Пьезо-, электростатические, емкостные преобразователи	Машинные генераторы	Инверторы	Прерыватели
Коэффициент усиления по напряжению		-	+	-
КПД	-	-	+	+
Масса	-	-	+	+
Габариты	-	-	+	+
Надежность		-	+	+
Помехозащищенность	+	+	-	-
Управляемость	-	+	+	+

Предпочтительным среди рассматриваемых методов преобразования энергии в зарядных устройствах является метод, основанный на применении автономных инверторов, основные недостатки которого ограничиваются низкой помехозащищенностью, а также необходимостью для получения требуемого коэффициента усиления по напряжению применения промежуточных уровней преобразования энергии. Метод преобразования энергии, основанный на применении прерывателей, уступает инверторному методу в КПД.

1.4 Классификация зарядных устройств

В связи с развитием импульсной электроэнергетики и возникновением новых требований, обусловленных необходимостью улучшения эксплуатационных и энергетических характеристик зарядных устройств (повышением КПД, уменьшением времени зарядки, уменьшением мощности, потребляемой из сети при зарядке, и т. д.), появилось большое количество зарядных устройств, отличающихся друг от друга как схемными решениями, так и протекающими в них процессами.

По характеру потребления энергии из сети различают три основных типа устройств, осуществляющих зарядку емкостных накопителей энергии [6].

В зарядных устройствах первого типа мощность, потребляемая из сети, максимальна в начале зарядки и уменьшается в процессе зарядки. Это, в основном, зарядные устройства, питаемые от источников напряжения с падающей внешней характеристикой, и устройства, содержащие различные типы токоограничивающих элементов.

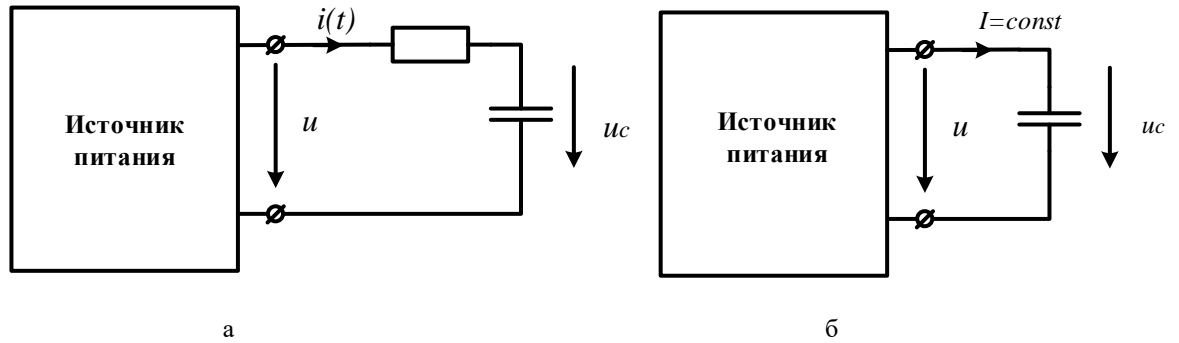


Рисунок 1.5 – Структурные схемы заряда емкостного накопителя

В простейшем случае зарядки конденсатора C через резистор R (рисунок 1.5,а) от источника постоянного напряжения $u = U = \text{const}$ при нулевых начальных условиях ток зарядки i и напряжение на клеммах конденсатора u_c будут, как известно, изменяться по экспоненциальному закону

$$i(t) = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}}; u_c(t) = U(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1.1)$$

и выражение для мгновенного значения мощности $p(t)$, потребляемой от источника, имеет вид

$$p(t) = U \cdot i(t) = \frac{U^2}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1.2)$$

Максимальное значение мощности P_{II} наблюдается при $t=0$ и равно U^2/R . Найдем величину сопротивления резистора R . При этом за время t_3 напряжение на конденсаторе должно достичь своего номинального значения U_{ch} . Подставив данные значения в формулы (1.1) и (1.2) получим

$$R = \frac{t_3}{C \ln(1 - \frac{U_{ch}}{U})^{-1}}; \quad (1.3)$$

$$P_{II} = \frac{U^2}{R} = \frac{CU_{ch}^2}{t_3} \left[\left(\frac{U_{ch}}{U} \right)^2 \ln \left(1 - \frac{U_{ch}}{U} \right)^{-1} \right]. \quad (1.4)$$

Выражение в квадратных скобках в формуле (1.4) является функцией отношения U_{ch}/U и имеет минимум при $U_{ch}/U=0,716$. При таком значении минимальное значение мощности при использовании такой зарядной цепи будет

$$P_{II} = 2,44 \frac{CU_{ch}^2}{t_3}. \quad (1.5)$$

В зарядных устройствах второго типа мощность, потребляемая из сети, минимальна в начале процесса зарядки и максимальна в конце процесса зарядки. К этому типу устройств относятся устройства, осуществляющие заряд накопителя при неизменном зарядном токе (рисунок 1.5,б). При зарядке неизменным током $i = I = \text{const}$ напряжение на конденсаторе $u_c(t)$ и потребляемая мощность p изменяются по линейному закону

$$u_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = \frac{I}{C} \cdot t; \quad (1.6)$$

$$p(t) = u_c(t) \cdot i = \frac{I^2}{C} t. \quad (1.7)$$

При времени заряда равном t_3 величина напряжения $u_c(t_3) = U_{ch}$, выражения (1.6) и (1.7) приобретают вид

$$I = \frac{CU_{ch}}{t_3}; \quad (1.8)$$

$$P_{II} = \frac{CU_{ch}^2}{t_3}. \quad (1.9)$$

В зарядных устройствах третьего типа мощность, потребляемая из сети неизменна на всем интервале процесса зарядки. Если для цепи, приведенной на рисунке 1.5,б, потребовать чтобы значение мгновенной мощности $p = \text{const}$, то при $u = u_c$ решение дифференциального уравнения

$$p(t) = u \cdot i = C u_c \frac{du_c}{dt} \quad (1.10)$$

позволяет определить закон, по которому должны изменяться напряжение u_c на емкостном накопителе и зарядный ток чтобы выполнялось условие $p = \text{const}$:

$$u_c(t) = \sqrt{\frac{2p}{C} t}, \quad (1.11)$$

$$i(t) = \sqrt{\frac{pC}{2t}}, \quad (1.12)$$

Используя условие, что при $t = t_3$ величина $u_c(t_3) = U_{сн}$, из выражения (1.1) находим

$$p = \frac{CU^2_{сн}}{2t_3} = \text{const}. \quad (1.13)$$

При сравнении формул (1.5), (1.9) и (1.13), можно сказать, что значение максимальной мощности при зарядке неизменным током в 2 раза, а при зарядке от источника постоянного напряжения через резистор в 4,88 раза больше, чем при зарядке от источника постоянной мощности.

Классификация зарядных устройств очень схожа с классификацией преобразователей переменного и постоянного напряжений. Из приведенной классификации (рисунок 1.6) простым типом преобразователей являются нерегулируемые преобразователи [5]. К ним относятся неуправляемые инверторы и выпрямители. Для того, чтобы использовать данный вид преобразователей для заряда емкостного накопителя, необходимо использовать токоформирующий элемент.

Самым простым и универсальным токоформирующим элементов является резистор. Недостатком использования такого преобразователя является большие потери, следовательно, использовать такое устройство заряда возможно только в маломощных устройствах (рисунок 1.7.б) [6]. Лучшими показателями

обладают ТФЭ на реактивных элементах: индуктивностях, емкостях или их сочетаниях. Но, в отличие от резистивных ТФЭ, они применяются, как правило, в цепях переменного тока.

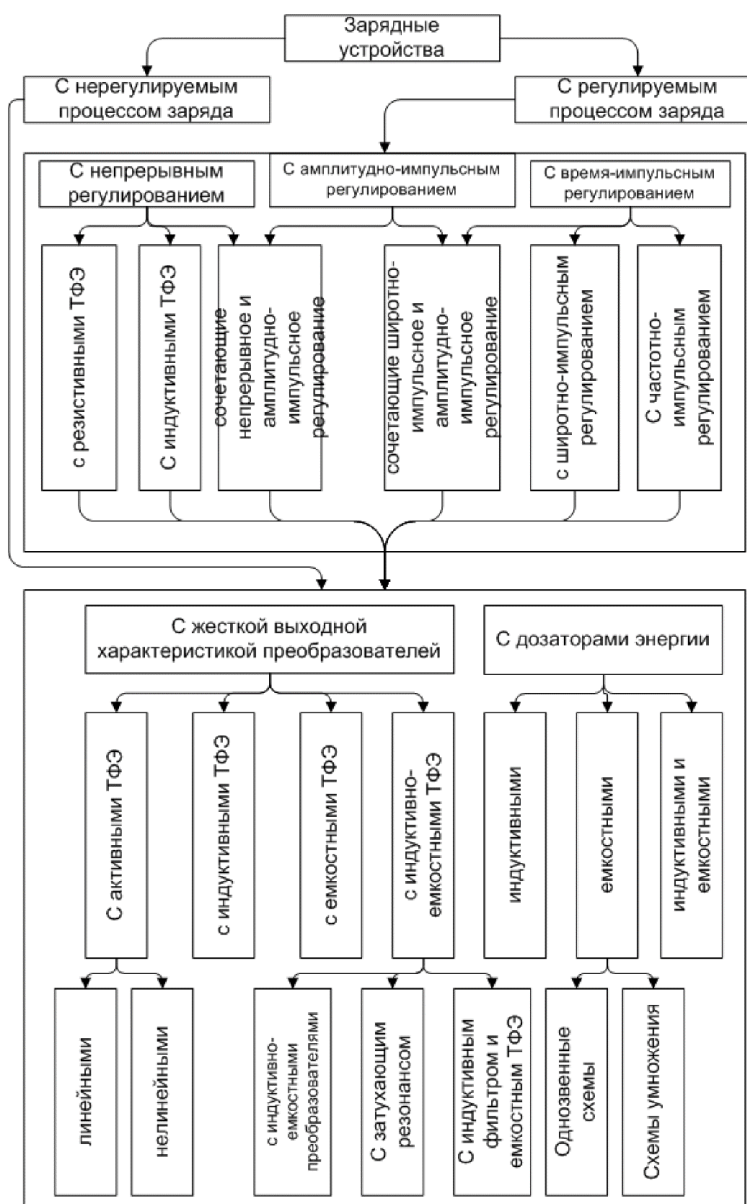


Рисунок 1.6 – Классификация зарядных устройств емкостных накопителей

Варианты схем с нерегулируемыми выходными характеристиками представлены на рисунке 1.7. В этих зарядных устройствах могут использоваться разные токоформирующие элементы, при этом эти элементы могут стоять как в цепи переменного напряжения или же в цепи выпрямленного напряжения.

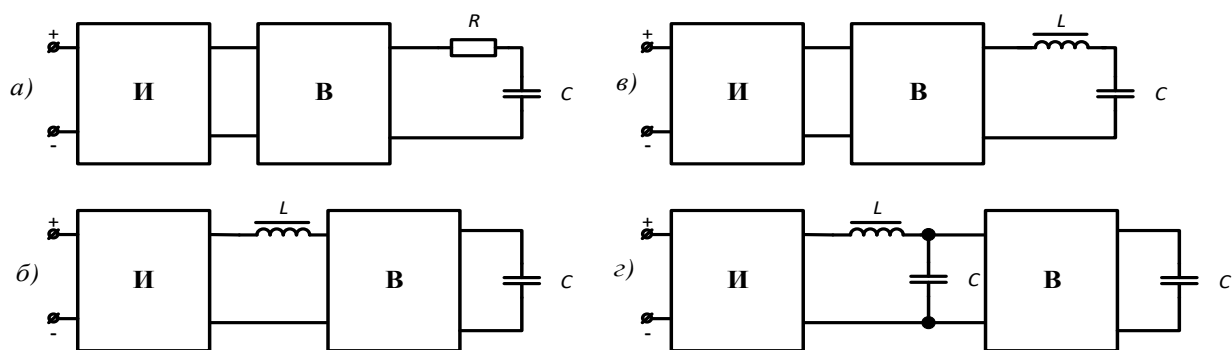


Рисунок 1.7 – Схемы зарядных устройств на базе преобразователей с жесткими выходными характеристиками с различными ТФЭ:

а – схема с резистивными ТФЭ; б схема с индуктивным ТФЭ в цепи переменного тока; в – схема с индуктивным ТФЭ в цепи постоянного тока; г – схема с индуктивным и емкостным ТФЭ

Следующий вид преобразователей: величина энергии, передаваемая в накопитель, дозируется. Поэтому данный вид преобразователей получил название: преобразователи с дозаторами энергии (рисунок 1.8).

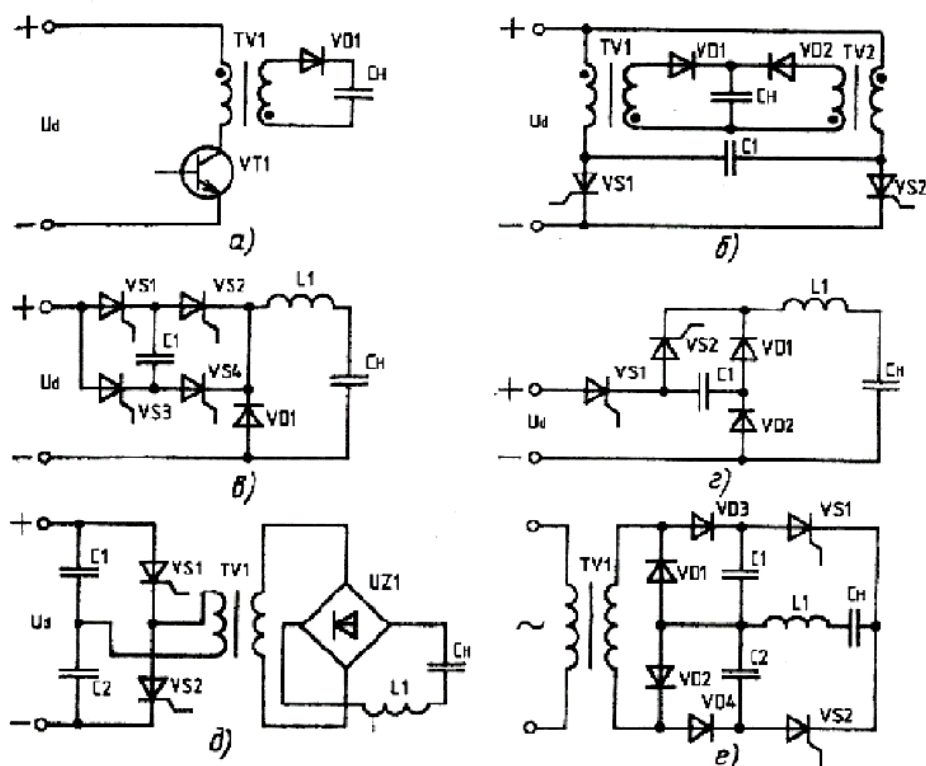


Рисунок 1.8 – Схемы зарядных устройств с индуктивными и емкостными дозаторами, которые являются схемными элементами преобразователей:

а – базовая схема; б – схема с резистивными ТФЭ; в – схема с индуктивным ТФЭ в цепи постоянного тока; г – схема индуктивным ТФЭ в цепи переменного тока; д, е – схемы с индуктивно-емкостными ТФЭ

Данный класс преобразователей не может обеспечить высокий коэффициент усиления по напряжению. Для заряда емкостного накопителя до напряжения, во много раз превышающее питающее, целесообразно использовать схемы с трансформаторами (рисунок 1.8). К данному классу зарядных устройств принадлежат тиристорные регуляторы и полупроводниковые инверторы с ШИМ.

Перечисленные способы регулирования процесса заряда ЕНЭ чаще всего используются комплексно, то есть наблюдается сочетание тех или иных способов. Это позволяет использовать преимущества каждого из способов и уменьшить присущие им недостатки.

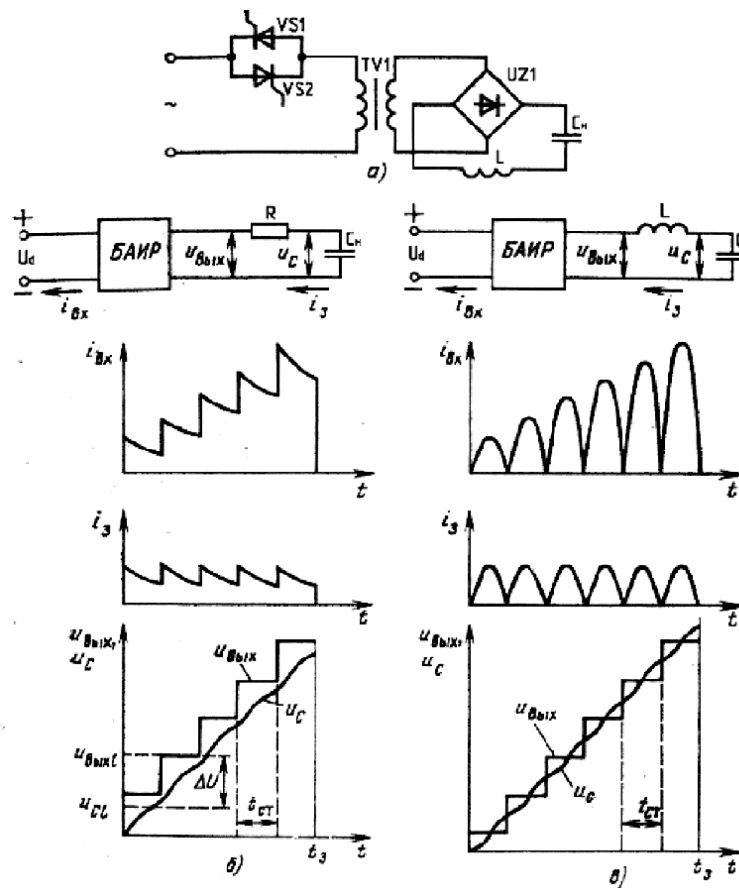


Рисунок 1.9 – Схемы и временные диаграммы для зарядных устройств с импульсным регулированием зарядного процесса: а – при импульсно-фазовом регулировании; б – при амплитудно-фазовом регулировании и резистивном токоформировании; в – при амплитудно-импульсном регулировании и индуктивном токоформировании

В статье [3] приведен сравнительный анализ ЗУ различных типов.

Результат анализа приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Сравнительный анализ ЗУ

Устройство	Способ воздействия	М, г	КПД	Ku
Базовый преобразователь	Транзисторный преобразователь постоянного напряжения в постоянное	2000	0,935	1
Нерегулируемые ЗУ	С резистивным ТФЭ	10200	0,365	0,57
	С индуктивным ТФЭ	30500	0,84	0,64
Регулируемые ЗУ при зарядке постоянным зарядным током	Непрерывное регулирование	16600	0,48	1
	Время-импульсное регулирование	7300	0,891	0,5
	Амплитудно-импульсное регулирование с резистивным ТФЭ	5350	0,893	0,5
	Сочетание АИР и ВИР	2940	0,902	0,5
	Сочетание АИР и НР	3310	0,856	0,5
Регулируемые ЗУ с ИР и НР в различных режимах	Режим неизменной потребляемой мощности	4550	0,844	1
	Компромиссный режим	3570	0,854	0,84

Из проведенного анализа следует, что наилучшими показателями по исследуемым параметрам обладают регулируемые ЗУ, осуществляющие зарядку емкостного накопителя постоянным током. Для заряда накопителя до напряжения, во много раз превышающего напряжение питания, в цепь переменного тока включают трансформатор. При использовании полупроводниковых преобразователей, работающих на повышенных частотах преобразования, снижаются массогабаритные показатели устройства и увеличивается его КПД.

2. Объект и методика исследования

2.1 Разработка структурной и принципиальной схем

По техническому заданию необходимо спроектировать источник заряда емкостного накопителя энергии. Источником входного напряжения является промышленная сеть, а емкостной накопитель должен зарядиться до высокого постоянного напряжения. Литературный обзор показал, что требуемое зарядное устройство целесообразно выполнить по следующей структурной схеме.

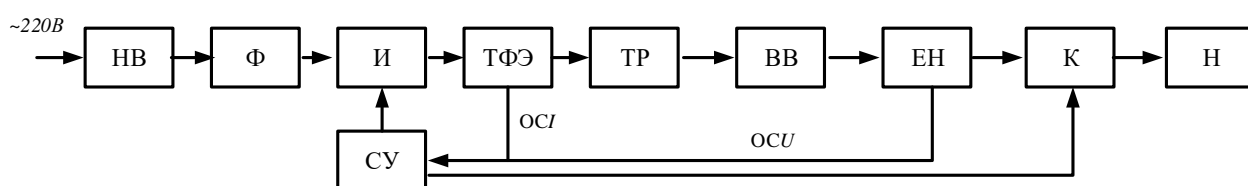


Рисунок 2.1 – Структурная схема источника заряда емкостного накопителя

НВ – низковольтный выпрямитель, который необходим для получения постоянного входного напряжения;

Ф – сглаживающий фильтр;

И – инвертор, предназначен для преобразования постоянного напряжения в переменное;

ТФЭ – токоформирующий элемент;

ТР – трансформатор, предназначен для повышения напряжения до необходимого значения;

ВВ – высоковольтный выпрямитель, предназначен для выпрямления выходного напряжения;

ЕН – емкостной накопитель;

К – коммутатор;

Н – нагрузка;

СУ – система управления.

Источник заряда емкостного накопителя работает следующим образом. При включении прибора система управления сравнивает сигнал обратной связи, который пропорционален выходному напряжению на емкостном накопителе, с заданным значением. Если напряжение на емкостном накопителе меньше заданного, то система управления запускает силовую часть. Электропитание силовой части производится постоянным напряжением, полученным путем выпрямления сетевого напряжения. Силовая часть, которая состоит из инвертора, токоформирующего элемента и трансформатора, формирует зарядный ток. Этот ток высокой частоты, протекая через высоковольтный выпрямитель, заряжает емкостной накопитель. Система управления по сигналам обратной связи регулирует скважность управляющих импульсов таким образом, чтобы средний зарядный ток за весь цикл заряда был примерно постоянным. Это обеспечивает линейный рост напряжения на емкостном накопителе. При достижении напряжения на накопителе заранее заданного уровня, система управления останавливает процесс заряда накопителя и запрещает работу силовой части. Далее производится разряд накопителя через коммутатор на нагрузку (потребитель) и процессы повторяются.

Для реализации требования технического задания в качестве источника заряда емкостного накопителя энергии была предложена схема, разработанная на кафедре ПМЭ ТПУ, изображенная на рисунке 2.1.

Достоинства данной схемы [8]:

- возможность работы в широком диапазоне изменения нагрузки в качестве как источника напряжения, так и источника тока;
- хорошие регулировочные возможности подобные регулировочным возможностям однотактных преобразователей постоянного напряжения в постоянное с трансформаторным выходом;
- сниженные массогабаритные параметры силового трансформатора, работающего на полном магнитном цикле, как в двухтактных схемах;

- индуктивная реакция силовой части преобразователя, исключая сквозные токи.

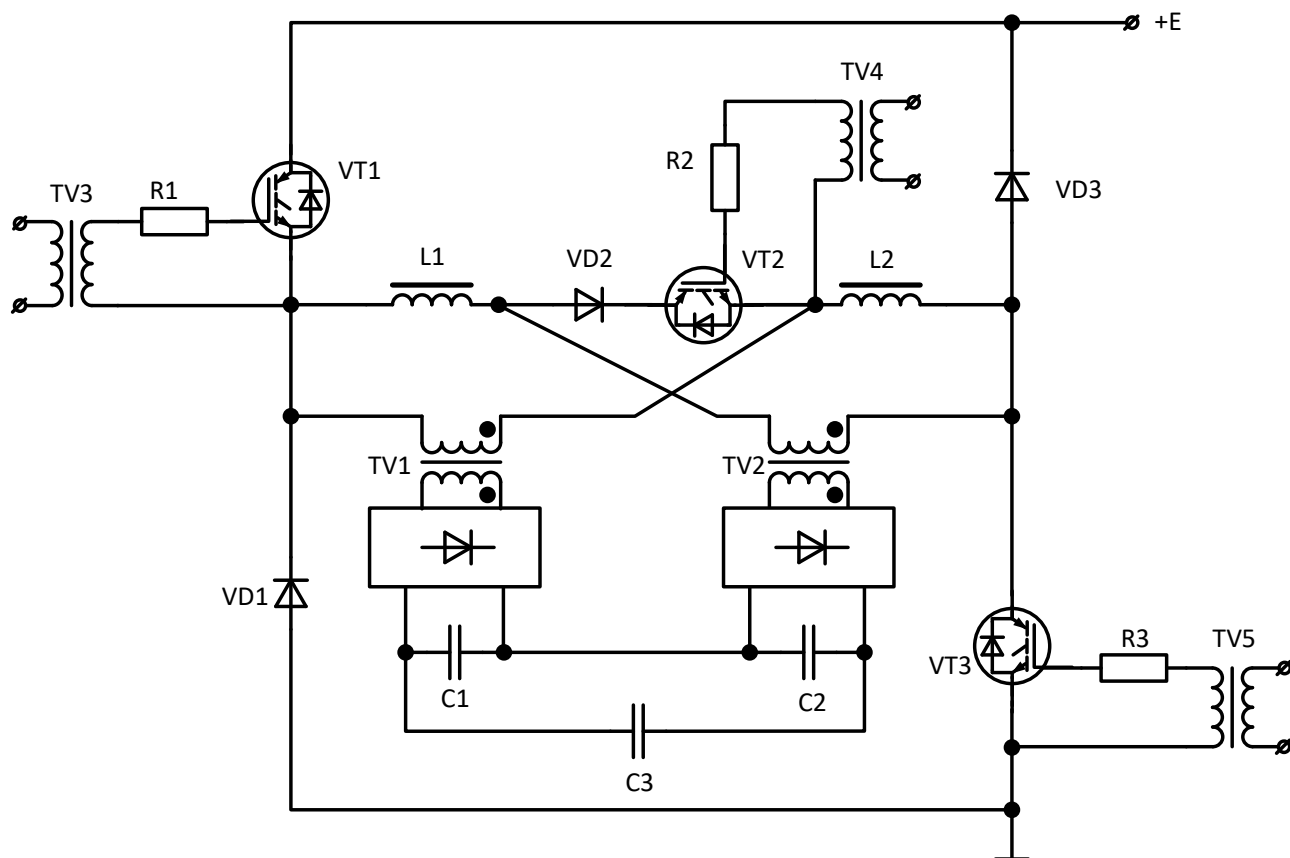


Рисунок 2.2 – Схема преобразователя для заряда емкостного накопителя энергии

Основными элементами схемы являются транзисторы $VT1$, $VT2$, $VT3$, токоформирующие дроссели $L1$, $L2$ и трансформаторы $TV1$, $TV2$.

Принцип работы схемы. В исходном состоянии конденсаторы $C1$, $C2$ и $C3$ разряжены. Работа схемы начинается с одновременным включением транзисторов $VT1$ и $VT3$. Транзистор $VT2$ заперт и работает в противофазе с $VT1$. Диоды $VD1$, $VD3$ заперты обратным напряжением источника питания E . При включении $VT1$ и $VT3$ к параллельно соединенным ветвям ($L1-W1_{TV2}$; $W1_{TV1}-L2$), состоящим из последовательно соединенных индуктивности и первичной обмотки трансформатора, прикладывается напряжение E . Через $L1$ и по первичной обмотке трансформатора $TV2$ ($W1_{TV2}$), а также через $L2$ и $W1_{TV1}$ начинает протекать ток от источника питания, заряжающий конденсаторы $C1$;

$C2'$, подключенные параллельно $W1_{TV1}$ и $W1_{TV2}$, соответственно. $C1'$, $C2'$ это емкости конденсаторов $C1$, $C2$, пересчитанные в первичные цепи. Поскольку в первом цикле начальное напряжение на конденсаторах, которое не может измениться мгновенно, равно нулю, следовательно, обмотки $W1_{TV1}$ и $W1_{TV2}$ замкнуты. Всё напряжение источника питания прикладывается к дросселям. Поскольку за цикл напряжение на конденсаторах меняется незначительно, то напряжение на дросселях можно принять постоянным. Напряжение, приложенное к дросселям, определяет скорость нарастания и скорость спада зарядного тока. При достижении тока дросселя $L1$ и $L2$ заданного значения, транзистор $VT3$ выключается, и цепь питания прерывается. Токи дросселей $L1$ и $L2$ продолжают протекать через первичные обмотки трансформаторов и начинают спадать, замыкаясь через диод $VD3$ и транзистор $VT1$. Напряжение на дросселях меняет знак. Величина этого напряжения определяется пересчитанным в первичную цепь значением напряжения на конденсаторах, так как через открытый транзистор $VT1$ напряжение первичных обмоток прикладывается к дросселям. Через полпериода транзистор $VT1$ запирается, а транзистор $VT2$ отпирается. Токи дросселей меняют свой путь и начинают протекать через транзистор $VT2$ и по первичным обмоткам трансформаторов. При этом ток дросселя $L1$ замыкается через $W1_{TV1}$, а ток дросселя $L2$ через $W1_{TV2}$. Эти токи «пересчитываются» во вторичную обмотку трансформатора и продолжают заряжать конденсаторы. Этот процесс продолжается до тех пор, пока токи дросселей не спадут до нуля. Затем запирается транзистор $VT2$, а транзисторы $VT1$ и $VT3$ отпираются. Далее процессы повторяются. По мере заряда конденсатора, скорость нарастания тока дросселя уменьшается, а скорость спада увеличивается. Диаграммы, отражающие работу устройства в конце интервала зарядки конденсатора, приведены на рисунке 2.3.

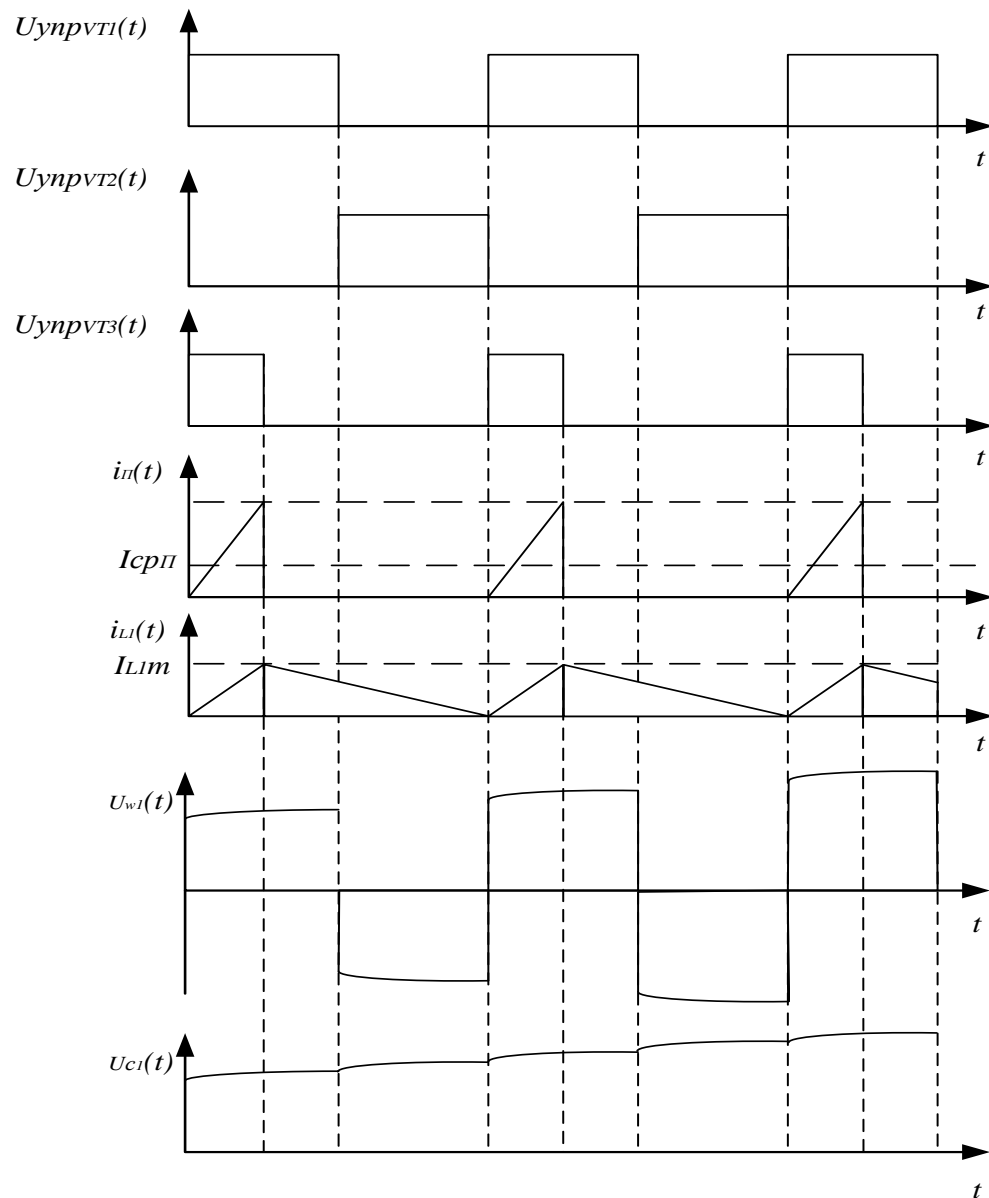


Рисунок 2.3 – Диаграммы работы устройства заряда емкостного накопителя в конце процесса зарядки конденсатора

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Предпроектный анализ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В результате анализа потенциальных потребителей результатов разработок рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование. Определены основные критерии сегментирования.

Источник заряд конденсатора имеет выходное напряжение, значительно превышающее напряжение, требуемое для работы оборудования общего пользования, что говорит о невозможности его использования в частных домашних целях. Напряжение такого высокого уровня используется для работы промышленных установок. Таким образом, целевым рынком для разработанного источника заряда конденсатора, в основном, являются научно-исследовательские организации и промышленные предприятия.

Исходя из данных, представленных на карте сегментирования рынка производства и использования источников питания, можно сделать вывод, что основные потребители относятся к промышленной отрасли.

Несмотря на эти данные, для реализации и внедрения устройства имеется большой потенциал, так как данное устройство имеет высокую надёжность, высокий КПД, хорошее качество выходного напряжения за счёт снижения его пульсации.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования рынка

	Для чего используется		
	Накачка лазера	Высоковольтные ЛЭП	Электрическая очистка жидкостей
Научно – исследовательские центры			
Промышленные предприятия			
Физические лица			



Сегмент освоен

Сегмент освоен слабо

Сегмент не освоен или информация не найдена

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Поскольку рынок пребывает в постоянном движении, необходимо систематически производить детальный анализ конкурирующих разработок. Проведение анализа помогает вносить коррективы в научное исследование для успешного противостояния конкурентным разработкам. Для проведения данного анализа необходимо обладать всей имеющейся информацией о разработках конкурентов, такой как: технические характеристики разработки, конкурентоспособность разработки, уровень завершенности научного исследования, уровень проникновения на рынок и т.д.

Проводить анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения удобно с помощью оценочной карты (таблица 6.2). Это необходимо для оценки сравнительной эффективности научной разработки и определения направления ее будущего повышения.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 6.2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Наиболее конкурентными разработками для источника заряда емкостного накопителя для возбуждения газового лазера являются: тиристорные преобразователи, высоковольтные трансформаторные преобразователи.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (6.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений(разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,04	5	3	4	0,2	0,12	0,16
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
3. Помехоустойчивость	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
4. Энергоэкономичность	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
5. Надежность	0,09	5	2	3	0,45	0,18	0,27
6. Уровень шума	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
7. Безопасность	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
9. Простота эксплуатации	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,02	4	4	3	0,08	0,08	0,06
11.Массогабаритные параметры устройства	0,02	3	3	3	0,06	0,06	0,06
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	3	2	0,16	0,12	0,08
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	3	2	0,06	0,09	0,06
3. Цена	0,04	4	4	3	0,16	0,16	0,12
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
6. Срок выхода на рынок	0,02	1	3	3	0,02	0,06	0,06
7. Наличие сертификации разработки	0,09	2	5	5	0,18	0,45	0,45
Итого	1	71	65	59	4,14	3,66	3,41

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод, что источник для заряда емкостного накопителя на данном этапе достаточно конкурентоспособен.

Разрабатываемый проект является перспективным, поскольку главными его преимуществами являются высокая надёжность его работы, низкий уровень создаваемых шумов.

6.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

При разработке оборудования полезно оценивать степень его готовности к коммерциализации и выявить возможность ее самостоятельного проведения или завершения. Для проведения оценки необходимо заполнить специальную форму оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. В таблице 6.3 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (6.2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Таблица 6.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1. Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2. Определены перспективные направления коммерциализации	4	3
3. Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	2
4. Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	2
5. Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6. Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7. Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	1
8. Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1

Продолжение таблицы 6.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

9.Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10.Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11.Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
ИТОГО БАЛЛОВ	27	26

На основе данных, представленных в таблице 6.3, можно говорить о том, что проект не готов к коммерциализации, так как имеет ряд недоработок, устраняемых научной группой.

6.2 Инициация проекта

6.2.1 Цели и результаты проекта

В таблице 6.4 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 6.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Использование результатов проекта в дальнейших исследованиях
Исполнитель по проекту	Повышения уровня квалификации благодаря работе в научной сфере.
Организация заказчик	Использование результатов интеллектуальной деятельности для повышения конкурентоспособности организации
Спонсор проекта	Развитие российских научных исследований и программ. Повышение уровня качества научных исследований в стране.

В таблице 6.5 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 6.5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка, создание и исследование источника заряда конденсатора для возбуждения газового лазера
Ожидаемые результаты проекта:	Действующий макет источника заряда
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособное устройство, технические характеристики которого соответствуют требованиям технического задания
Требования к результату проекта:	Требование:
	Выходное напряжение до 12 кВ
	Мощность до 1000 Вт
	Плавность регулировки выходного напряжения
	Стабильность выходного напряжения

6.2.2 Организационная структура проекта

В таблице 6.6 приведена информация о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатратах каждого.

Таблица 6.6 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, день
1. Научный руководитель	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта в области электроники, проведение экспериментов с макетом разработки, участие в обсуждениях по результатам работы	20
2. Инженер	Обзор литературы о схемотехнических решениях, оценка их недостатков и преимуществ, исследование моделей схем заряда, разработка и сборка макета устройства, проведение экспериментов на макете, участие в обсуждениях по результатам работы	75
ИТОГО:		95

6.2.3 Ограничения и допущения проекта

Данные об ограничениях и допущениях проекта представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	40000 р.
1.1. Источник финансирования	Кафедра промышленной и медицинской электроники ТПУ
2. Сроки проекта	01.03.2016-15.06.2017
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.03.2017
2.2. Дата завершения проекта	17.06.2017
3. Прочие ограничения и допущения	Ограниченное время работы за ПК, связанное с вредным влиянием ЭМ излучения, ограниченное время работы при монтаже макета, связанное с недостатком компонентной базы

6.3 Планирование управления научно-техническим проектом

6.3.1 План проекта

Планирование управления научно-техническим проектом заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной цели, определение сроков их выполнения.

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ. В таблице 6.8 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей.

Целесообразно применять линейное планирование с построением диаграммы Ганта, представленной в таблице 6.9. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 6.8 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Вид работы	Исполнители	Период работы научного руководителя		Период работы инженера	
			Начало, дата	Длительность, дни	Начало, дата	Длительность, дни
1	Постановка задачи	НР	09.01.2017	1	-	-
2	Анализ технического задания (ТЗ)	НР, И	27.02.2017	1	27.02.2017	3
3	Подбор и изучение литературы по теме исследования	И	-	-	05.03.2017	10
4	Разработка методики исследований	И	-	-	15.03.2017	3
5	Проектирование и расчет схемы	И	-	-	18.03.2017	8
6	Исследование схемы источника заряда конденсатора в программе PSpice	И	-	-	25.03.2017	3
7	Сборка источника заряда конденсатора	НР, И	10.04.2017	3	28.03.2017	12
8	Проведение экспериментов и исследование модуля, его доработка	НР, И	13.04.2017	1	13.04.2017	1
9	Дальнейшая сборка прибора и его испытание	НР, И	14.05.2017	10	14.04.2017	41
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	-	-	25.05.2017	10
11	Сдача разработки и отчета о работе	НР, И	04.06.2017	11	04.06.2017	11

В таблице 6.9, которая представляет собой диаграмму Ганта, приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 6.9 – Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Постановка задачи	1	-	■													
Анализ технического задания (ТЗ)	1	3			■											
Подбор и изучение литературы по теме исследования	-	10				■										
Разработка методики исследований	-	3					■									
Проектирование и расчет схемы	-	8					■									
Исследование схемы источника заряда конденсатора в программе PSpice	-	3						■								
Сборка источника заряда конденсатора	3	12						■	■							
Проведение экспериментов и исследование модуля, его доработка	1	1							■							
Дальнейшая сборка прибора и его испытание	10	41								■	■	■	■	■	■	■
Оформление расчетно-пояснительной записки	-	10													■	■
Сдача разработки и отчета о работе	11	11													■	■

■ - НР (Научный руководитель); ■ - И (Инженер)

6.3.2 Бюджет научного исследования

Планирование бюджета научного исследования производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов.

Сырье, материалы, специальное оборудование, покупные изделия

Стоимость всех видов и материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ формируется исходя из стоимости приобретения и платы за транспортировку. Транспортно – заготовительные расходы принимаются в пределах от 3 до 5 % от цены материалов (в данной работе 3%). В том случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов незначительны, то их можно опустить. Стоимость сырья, материалов, специального оборудования, комплектующих изделий приведена в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Принтер	1	2000	2000
Электронные компоненты	1	8000	8000
Расходные материалы	1	1000	1000
Печатная бумага	1	250	250
Канцелярские товары	1	100	100
Осциллограф	1	25000	25000
Источник питания	1	1000	1000
Мультиметр	2	1000	2000
Персональный компьютер	1	20000	20000
Паяльная станция	1	1500	1500
Всего за материалы			60850
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			1825,5
Итого по статье С_м			62675,5

Основная заработная плата

В статью включается основная заработная плата работников, непосредственно участвующих в выполнении работ. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, включая премии, доплаты и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6.3)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (6.4)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней.

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}, \quad (6.5)$$

Где $Z_{м}$ – 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;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней.

Таблица 6.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	110	110
Количество нерабочих дней: - выходные дни - праздничные дни	20 3	32 3
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	87	75

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_6 \cdot k_p, \quad (6.6)$$

где Z_6 – базовый оклад, руб;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	25400	1,3	33020	3947,22	20	78944,37
Инженер	7500	1,3	9750	1352	75	101400

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (6.7)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 6.13 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 6.13 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Научный руководитель	Инженер
Основная зарплата	78944,37	101400,00
Дополнительная зарплата	7894,44	10140,00
Зарплата исполнителей	86838,81	111540,00
Итого по статье С _{зп}	198378,81	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{ВНЕБ}} = k_{\text{ВНЕБ}} \cdot (З_{\text{ОСН}} + З_{\text{ДОП}}), \quad (6.8)$$

где $k_{\text{ВНЕБ}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Итого 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР:

$$C_{\text{ВНЕБ}} = 0,3 \cdot (198378,81) = 59513,64 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

В данную статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, содержание, эксплуатацию, ремонт оборудования, производственного инструмента и инвентаря.

Коэффициент накладных расходов составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{НАКЛ}} = k_{\text{НАКЛ}} \cdot (З_{\text{ОСН}} + З_{\text{ДОП}}), \quad (6.9)$$

где $k_{\text{НАКЛ}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{НАКЛ}} = 0,8 \cdot (198378,81) = 158703,05 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы (таблица 6.14).

Таблица 6.14 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	62675,50
Основная заработная плата	180344,37
Дополнительная заработная плата	18034,44
Отчисления на социальные нужды	59513,64
Накладные расходы	158703,05
Итого себестоимость НИР	479271,00

6.4 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 и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (6.10)$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта

(в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (6.11)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен в форме таблицы 6.15

Таблица 6.15– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2	$I_{тп}$	$I_{ан1}$	$I_{ан2}$
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
3. Помехоустойчивость	0,2	4	3	3	0,8	0,6	0,6
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5	0,6	0,6	0,75
5. Надежность	0,3	5	4	3	1,5	1,2	0,9
6. Материалоемкость	0,1	2	4	5	0,2	0,4	0,5
ИТОГО	1	24	21	23	4,25	3,55	3,65

Из таблицы 6.16 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов. Таким образом, источник заряда конденсатора является более ресурсоэффективной разработкой, относительно аналогов.

Список публикаций студента

- 1) Бардамов А.В., Ивандаев С. Э. «Широкополосный усилитель для задач неразрушающего контроля»// V Всероссийский молодежный Форум с международным участием "Инженерия для освоения космоса", НИ Томский политехнический университет, г.Томск, 19.04.2017 г. (в печати)
- 2) Ивандаев С. Э., Бардамов А.В. «Моделирование высокочастотного инвертора напряжения на основе индуктивно-емкостного преобразователя для питания нелинейной нагрузки» // V Всероссийский молодежный Форум с международным участием "Инженерия для освоения космоса", НИ Томский политехнический университет, г.Томск, 19.04.2017 г. (в печати)