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
Стабилизатор тока нагревателя катода плазменного двигателя

УДК 621.316.721: 621.3.032.213.2: 621.455.32

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ51	Маниковский Иван Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Михайлов М.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
	Профессиональные компетенции	
Р1	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 *EUR-ACE* и *FEANI*
Р2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путём подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов наноэлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы наноэлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-8), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, 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 EUR-ACE и FEANI
Р4	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 наноэлектроники, 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 *EUR-ACE* и *FEANI*
Р5	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 *EUR-ACE* и *FEANI*
Р6	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 *EUR-ACE* и *FEANI*
	Универсальные компетенции	
Р7	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 *EUR-ACE* и *FEANI*
Р8	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 *EUR-ACE* и *FEANI*
Р9	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 *EUR-ACE* и *FEANI*
Р10	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 *EUR-ACE* и *FEANI*
Р11	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 *EUR-ACE* и *FEANI*

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

Институт Неразрушающего Контроля
Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника
Уровень образования – магистратура
Кафедра промышленной и медицинской электроники
Период выполнения весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.12.2015	*Научно исследовательская работа в 1 семестре*	*70*
11.06.2016	*Научно исследовательская работа во 2 семестре*	*82*
28.12.2016	*Научно исследовательская работа в 3 семестре*	*90*
	Подготовка статьи к Всероссийскому молодежному конкурсу научно-технических работ «Орбита молодежи»	
	Защита магистерской диссертации	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Михайлов М.В.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

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

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
1АМ51	Маниковскому Ивану Сергеевичу

Тема работы:

Стабилизатор тока нагревателя катода плазменного двигателя	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	№ 2943/с от 15.04.2016 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(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.).*	*Разработать модель стабилизатора тока нагревателя катода плазменного двигателя:* *1) напряжение питания 80-120 В ±10% 50 КГц±5%* *2) выходное действующее значение тока 12 А* *3) характер нагрузки: – активная ($R_н$ =0.3-1 МОм)* *4) условия эксплуатации – полевые;* *5) периодический режим работы* *6) массогабаритные параметры – не регламентируются.* *Работа устройства не должна наносить вред окружающей среде и людям, находящимся в непосредственной близости от него.*
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(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).*	*Аналитический обзор литературы в рассматриваемой области науки и техники; обоснованный выбор схемотехнического решения для реализации требований технического задания; разработка модели; анализ результатов.*

Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	*Схема электрическая принципиальная*

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич
Иностранный язык	Мыльникова Татьяна Степановна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

«Обзор литературы»

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Михайлов М.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ51	Маниковский Иван Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 22 рисунка, 17 таблиц и 15 формул.

Ключевые слова: стабилизатор тока, катод, мостовой инвертор, дроссель.

Объектом исследования является стабилизатор тока для электропитания нагревателя катода плазменного двигателя.

Цель работы – решение задачи создания модели стабилизатора тока нагревателя катода плазменного двигателя с повышенными удельной мощностью и энергетическими показателями.

В ходе выполнения ВКР проведён обзор литературы по устройству электропитания стационарных плазменных двигателей, схемотехнике преобразователей напряжения, выбрано схематическое решение, которое эффективно реализует требования технического задания, разработана модель источника электропитания нагревателя катода и проведено имитационное моделирование, проведен анализ результатов.

В результате исследования был изучен текстовый материал по теме ВКР, создана модель стабилизатора тока нагревателя катода плазменного двигателя с повышенными удельной мощностью и энергетическими показателями в программе OrCad. Получены навыки в области моделирования.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: входное напряжение – постоянное от 80 до 120 В, выходной действующее значение тока – 12 А, условия эксплуатации – полевые, массогабаритные параметры не регламентируются, автономная работа более 3 ч.

Область применения: средства выведения и электроракетные двигатели.

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

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:

СПД – стационарный плазменный двигатель;

ЭРД – электроракетный двигатель;

СТНК – стабилизатор тока нагревателя катода**;**

ФИМ – фазоимпульсный метод управления;

КА – космический аппарат;

КПД – коэффициент полезного действия

УЗЭП –установка запуска электропитания;

ИПР –источник питания разряда;

ИПНК – источник питания нагревателя катода;

ШИМ – широтно-импульсный модуляция;

ГПИ – генератор поджигающих импульсов;

ЭП – электрод поджига;

МОП – металл-оксид-полупроводник;

ФНЧ – фильтр низких частот;

RMS – среднеквадратичное значение;

Содержание

Введение 10
1 Обзор литературы и выбор структурной схемы 13
1.1 Технические характеристики стационарного плазменного двигателя 13
1.2 Устройство и принцип работы стационарного плазменного двигателя 14
1.3 Устройство электропитания стационарного плазменного двигателя 16
1.4 Мостовой инвертор 21
1.5 Фазоимпульсный метод управления в мостовом инверторе 23
1.6 Схема модуля ключа мостового инвертора 25
2 Разработка модели 27
2.1 Разработка модели стабилизатора тока нагревателя катода для плазменного двигателя с фазовым управлением в среде моделирования OrCad 27
2.2 Сравнительный анализ потерь мощности 31
Раздел «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ» 36
Раздел «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» 51
Заключение 64
Список публикаций 65
Список используемых источников 66
Приложение А 67

Введение

До настоящего времени практически все космические аппараты оснащались ракетными маршевыми двигателями на химическом топливе. Но возможности двигателей на химическом горючем значительно ограничены энергетикой окисилительно-восстановительных реакций. Все современные ракеты в пересчете на единицу израсходованного горючего создают не слишком большую тягу. Поэтому в дальний полет, к примеру, к внешним планетам Солнечной системы, сегодня можно отправить лишь относительно легкий космический аппарат. К тому же траекторию такого корабля прокладывают так, чтобы на пути к месту назначения он разгонялся в гравитационных полях планет или их спутников. Именно поэтому для дальних полетов столь узки стартовые интервалы времени с благоприятным расположением планет, и именно поэтому дальние полеты требуют много времени, так как для таких полетов используются протяженные траектории (с обязательным использованием гравитационного ускорения).

Чтобы поднять с Земли и разогнать до первой космической скорости огромный космический аппарат, требуются тяга в миллионы и десятки миллионов килоньютонов. На этом этапе никаких реальных альтернатив реактивным двигателям на химическом топливе не существует. Но если аппарат уже выведен на орбиту, им можно управлять при помощи двигателей малой тяги. Они могут поддерживать ориентацию спутника, стабилизировать его на орбите, переводить с одной орбиты на другую. В качестве такого двигателя используют Стационарные Плазменные Двигатели (СПД) – это космический электроракетный двигатель (ЭРД), созданный в СССР Морозовым А.И. на основе плазменного ускорителя с замкнутым дрейфом электронов и протяженной зоной ускорения или другими словами это, тип ускорителей в котором реализуется электростатический механизм ускорения ионов при сохранении квазинейтральности плазмы.

Космические аппараты уже давно оснащают плазменными двигателями. Эта разновидность электроракетного двигателя потребляет значительно меньше химического горючего, поскольку обеспечивается энергией от аккумуляторов, радиоизотопных генераторов и солнечных батарей. Основное достоинство плазменного двигателя – долговременное функционирование при относительно небольшом расходе рабочего тела.

В настоящее время во многих странах ведется разработка и создание новых СПД, но Россия занимала и занимает лидирующие позиции в области разработки электроракетных двигателей. С 2004 года российские СПД начали применяться на борту зарубежных космических аппаратов ведущих фирм США и Европы.

Таким образом, расширяется круг задач, в которых возможно эффективное применение СПД, а для реализации новых возможностей необходимо дальнейшее совершенствование конструкции двигателя, в том числе и улучшение массогабаритных характеристик, в первую очередь с целью повышения удельного тяги и ресурса двигателя. Это обуславливает актуальность создания двигательной установки с повышенной удельной мощностью.

Целью данной работы является решение задачи создания модели стабилизатора тока нагревателя катода плазменного двигателя с повышенными удельной мощностью и энергетическими показателями.

Это ставит перед нами задачи по моделирования и исследованию работы данной модели.

Для реализации поставленной цели определены следующие направления исследования:

1.Обзор литературы

2.Выбор структуры построения

3. Моделирование предложенной структуры

4. Анализ результатов

Методы исследования базируются на общих положениях теории электрических цепей. Расчеты и моделирование проведены с использованием пакета программ OrCad 16.6.

Научная новизна

1. Определен оптимальный способ управления источника питания нагревателя катода на переменном токе (ФИМ)

2. Предложен способ снижения погрешности измерения переменного тока нагревателя катода (неизменность формы).

Положения, выносимые на защиту

1. Управление источником питания нагревателя катода на переменном токе с помощью ФИМ позволяет снизить содержание высших гармоник в спектре выходного сигнала.

2. Пониженная амплитуда высших гармоник тока нагревателя катода позволяет увеличить точность его стабилизации

Практическая ценность

Разработана модель источника питания нагревателя катода на переменном токе, позволяющая оперативно определять требуемые параметры принципиальной схемы устройства.

1 Обзор литературы и выбор структурной схемы

1.1 Технические характеристики стационарного плазменного двигателя

Спецификой этого двигателя, как и других электроракетных двигателей, является значительно большая скорость истечения рабочего тела по сравнению с использовавшимися ранее химическими двигателями, позволяющая значительно уменьшить запасы рабочего тела, необходимые для решения названных выше задач. Его применение в составе геостационарных КА позволяет увеличить долю массы целевой аппаратуры и срок их активного существования до 12-15 лет. За счёт этого значительно повышается эффективность КА.

ОКБ «Факел» производит различные двигатели, отличающиеся тягой, массогабаритными характеристиками, потребляемой мощностью для различных КА.

Таблица 1 – Перечень современных СПД

Модель	Назначение	Тяга, мН	Мощность, кВт	Удельный импульс, с	Тяговый КПД, %	Ресурс, ч	Масса, кг
СПД-50	ЭРД малых космических аппаратов	20	0,2…0,6	до 1750	45	2500	1,4
СПД-100	ЭРД различных космических аппаратов	83	1,35	1500	50	9000	3,5
СПД-200	довыведение КА с высокоэллиптической стартовой	до 500	3-15	2500	до 60	18000	15

	орбиты на геостационарную в составе разгонного блока на основе ЭРДУ мощностью 10…15 кВт						
СПД-2300	многорежимный двигатель, довыведение с низкой опорной орбиты на геостационарную и стабилизации положения геостационарных ИСЗ	98	2,3	2500-3000	65	7000	3,5

1.2 Устройство и принцип работы стационарного плазменного двигателя

Стационарные плазменные двигатели (СПД) представляют собой источник ускоренного потока плазмы. В этом типе ускорителей реализуется электростатический механизм ускорения ионов при сохранении квазинейтральности плазмы, что позволяет повысить плотность тяги при небольших разностях потенциалов. Кроме того, следует отметить простоту конструктивной схемы, малое количество потребляемых номиналов электропитания и достаточно высокие тяговые характеристики. Наземные исследования двигательных установок с СПД и многократные космические испытания подтвердили эффективность использования СПД в системах коррекции орбит искусственных спутников Земли.

Традиционный СПД содержит (рисунок 1):

1 – анод-газораспределитель

2 – керамическая разрядная камера

3 – магнитопровод

4 – магнитные катушки

5 – катод-компенсатор с электродом поджига и нагревателем

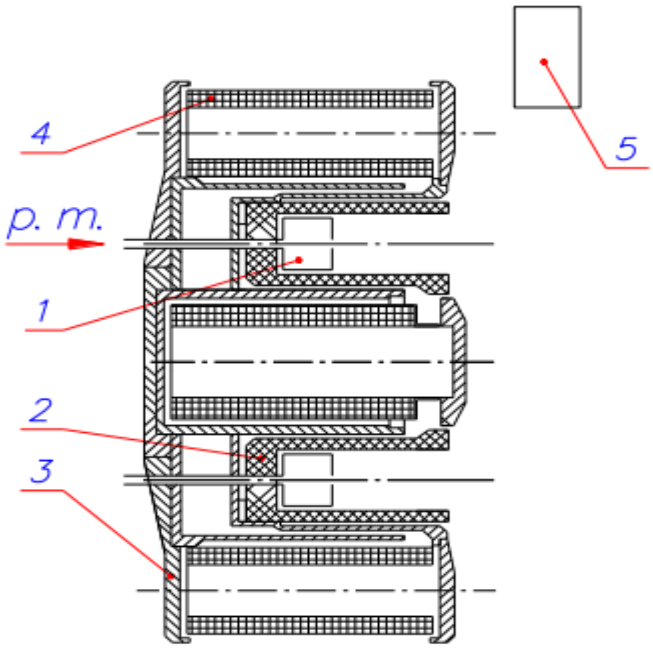

Рисунок 1– Схематическое изображение СПД

СПД представляет собой источник ускоренного потока плазмы. Она образуется и ускоряется в разряде на рабочем теле, горящем в скрещенных электрическом и магнитном полях. Магнитная система спроектирована таким образом, что в кольцевом ускорительном канале реализуется преимущественно радиальное магнитное поле. Разрядное напряжение приложено между анодом и катодом, а электрическое поле в канале направлено примерно параллельно оси ускорителя. Рабочее тело подается в канал через анод. Высокий КПД можно получить в том случае, когда максимум радиальной компоненты магнитного поля реализуется вблизи среза ускорителя. Ускоритель работает следующим образом. Рабочее тело, поступающее в канал вблизи анода, ионизуется

электронами, перемещающимся под действием электрического поля от катода к аноду в поперечном магнитном поле. Преимущественное движение электронов происходит в азимутальном направлении, а т.к. она существенно больше продольной компоненты скорости, траектории электронов замыкаются. В процессе работы происходит смещение электронов к аноду за счет столкновений с атомами рабочего вещества, ионами и со стенками, а также за счет колебаний. Ионы же практически не замагничены, движутся преимущественно вдоль электрического поля и ускоряются в этом поле. Истекающий из ускорителя поток «захватывает» с собой необходимое количество электронов и создает тягу.

1.3 Устройство электропитания стационарного плазменного двигателя

Основными элементами электропитания СПД являются: анод — основной силовой каскад, нагреватель катода (основной и резервный), электрод поджига (основной и резервный), магнитные катушки и термодроссель (основной и резервный). Структурная схема элементов СПД показана на рисунке 2.

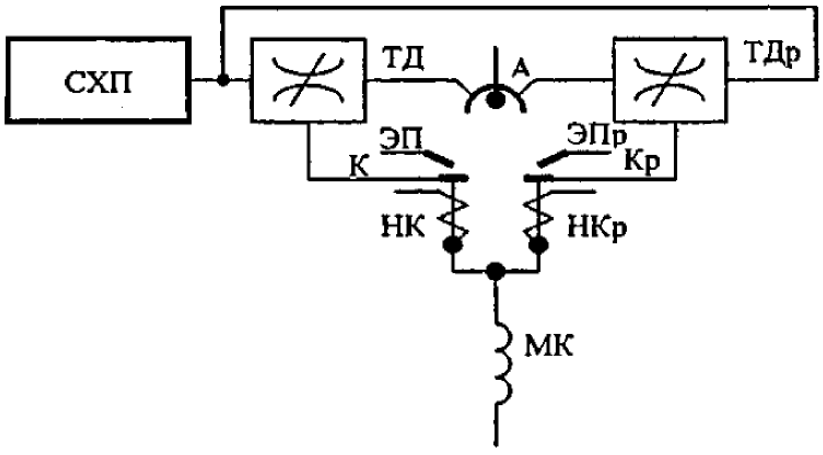

Рисунок 2 – Структурная схема элементов СПД

Анод (А); катод (к); катод резервный (Кр); магнитные катушки (МК); нагреватель катода (НК); нагреватель катода резервный (НКР); электрод

поджига (ЭП); электрод поджига резервный (ЭПР); термодроссель (ТД); термодроссель резервный (ТДр); система хранения и подачи рабочего вещества (СХП).

Наибольшее распространение получила схема установки запуска электропитания (УЗЭП) с тремя раздельными преобразователями (рисунок 3), включающая источник питания разряда (ИПР), источник питания нагревателя катода (ИПНК) и генератор поджигающих импульсов, (ГПИ). ИПНК и, особенно, ГПИ работают кратковременно, только в момент запуска и подготовки к запуску двигателя, остальное время эти преобразователи обесточены. В этом случае не важно, каким током питать нагреватель катода, главное обеспечить действующее значение тока, т.е. его температуру. Следовательно, в схеме ИПНК можно исключить выпрямляющий элемент В2.

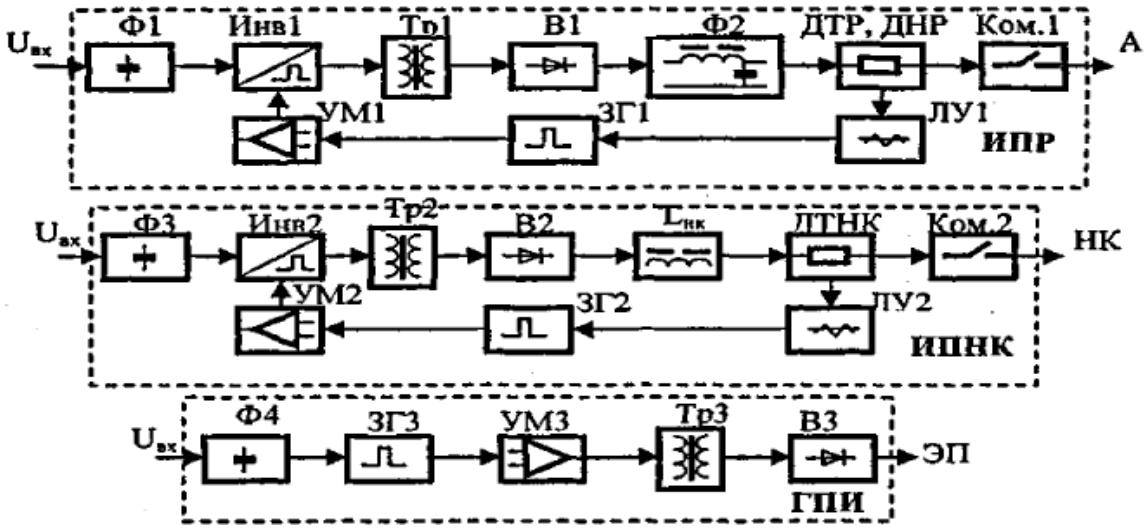

Рисунок 3 – Структурная схема источников с раздельным - электропитанием элементов СПД

Исключение выпрямляющего элемента В2 позволит снизить массу источника питания нагревателя катода на 16 процентов. [7]

$$\frac{\gamma_{В2}}{\gamma_{Ф3} + \gamma_{Инв2} + \gamma_{УМ2} + \gamma_{Тр2} + \gamma_{В2} + \gamma_{ЗГ2} + \gamma_{Lнк} + \gamma_{ДТНК} + \gamma_{Кои2} + \gamma_{ЛУ2}} = 0.16 \quad (1)$$

Где γ – коэффициенты массы элемента электропитания СПД.

На Рисунке 4 показана схема УЗЭП на базе одного совмещенного преобразователя, который также обслуживает канал разряда А - К, ИПННК и ЭП. Формирование поджигающих импульсов происходит с помощью энергии, накопленной в дозирующем дросселе выходной цепи канала ИПНК, путем кратковременного прерывания тока НК коммутатором Ком.2. Это позволило полностью исключить маломощный преобразователь ГПИ, инвертор, трансформатор и фильтр ИПНК. Однако, исключить В2 здесь невозможно, так как с его помощью питается электрод поджига (ЭП).

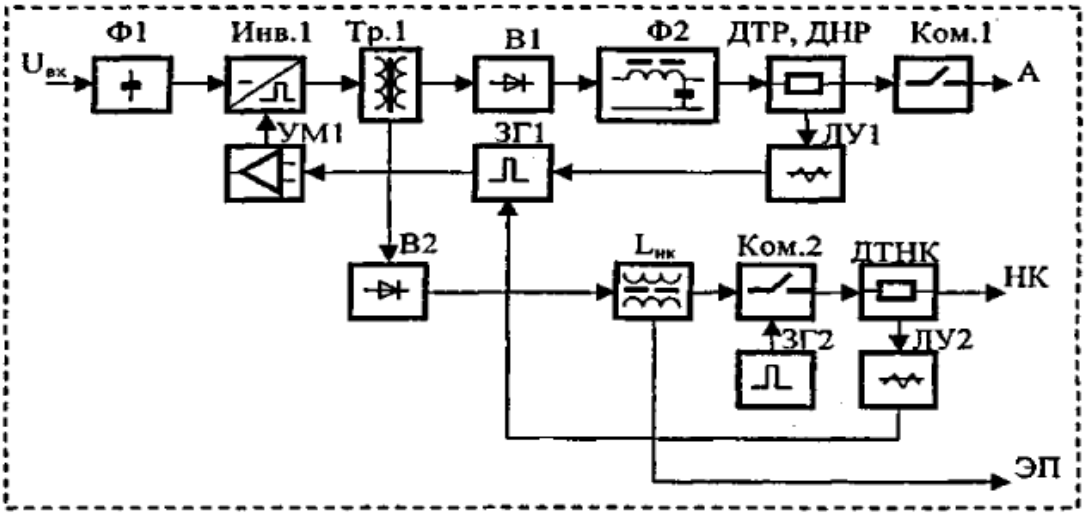

Рисунок 4 – Структурная схема совмещенного устройства запуска и электропитания СПД

Для решения задачи создания стабилизатора тока нагревателя катода с повышенной удельной мощностью необходимо усовершенствовать силовую часть ИПНК (рисунок 3) и схему управления, приведенные на Рисунке 5.

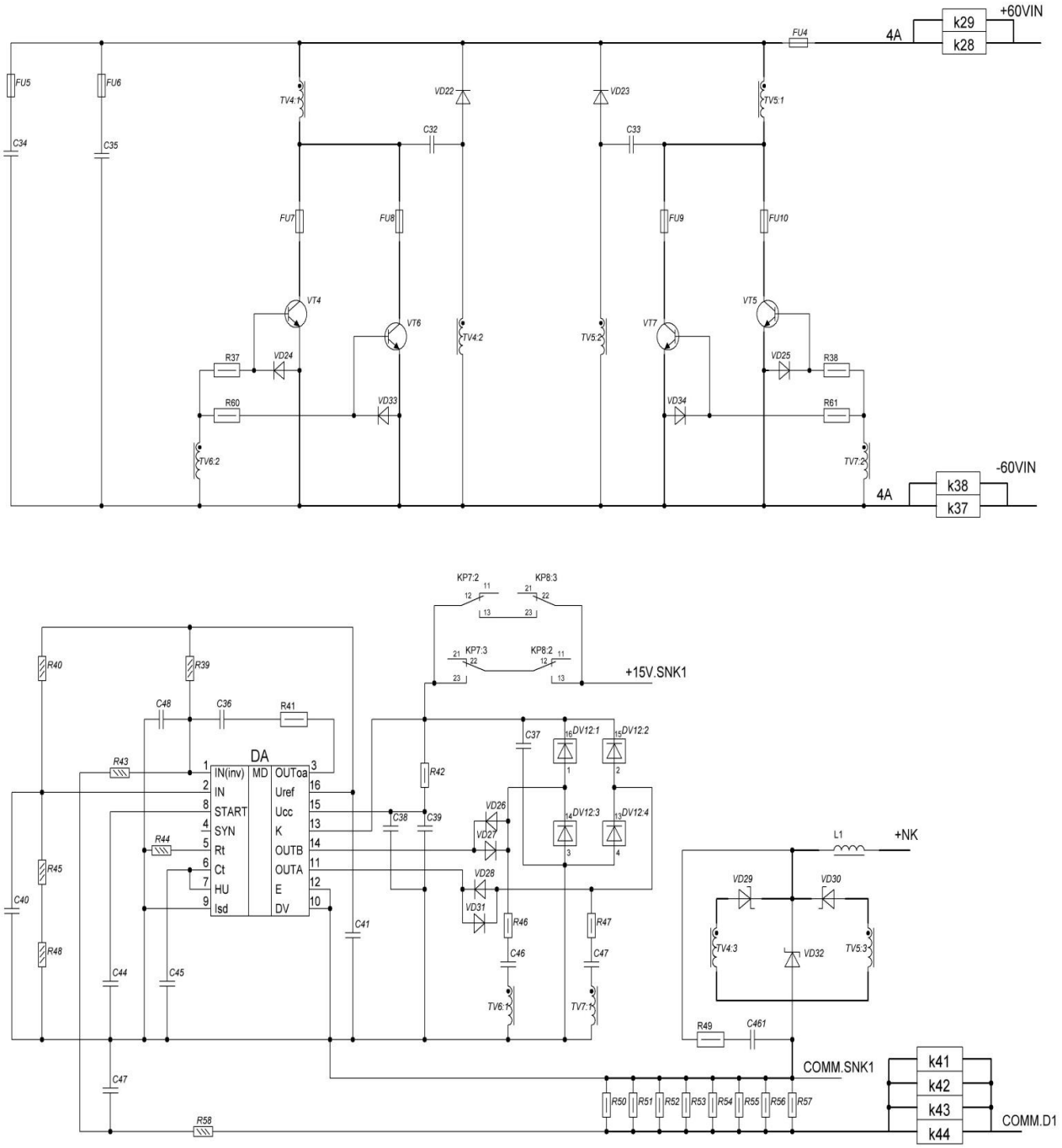

Рисунок 5 – Схема СТНК

В данной схеме электропитание нагревательного элемента (катода) осуществляется постоянным током из-за простоты его измерения и стабилизации. Так как требуется гальванически развязанное питание, то на выходе трансформатора устанавливается мощный низковольтный выпрямитель, который значительно увеличивает потери. Кроме того, низкое быстродействие диодов вызывает увеличение уровня помех трансформатора. Если же

использовать переменный стабилизированный ток, то это позволит улучшить массогабаритные и энергетические показатели системы преобразования и управления, а также снизить уровень помех.

Для получения переменного тока из постоянного необходимо исключить В2 (рисунок 3), однако возникнет проблема измерения действующего значения тока, из-за изменения его скважности и гармонического спектра, вызывающего изменение формы в зависимости от сопротивления нагрузки, напряжения питания и длины кабеля.

Для решения этой проблемы необходимо использовать мостовой инвертор с подключенным к его выходу L- фильтром.

Инверторы – устройства, предназначенные для преобразования постоянного тока в переменный с регулируемыми напряжением и частотой. Эти устройства применяются в источниках бесперебойного питания, при индукционном нагреве, для регулирования скорости вращения электродвигателей переменного тока. В результате преобразования необходимо получить напряжение синусоидальной формы, амплитуду и частоту которого можно регулировать. Работа инвертора основана на том, что ток в ветвях периодически прерывается с помощью вентилей. В качестве вентилей используют тиристоры, МОП-транзисторы, биполярные транзисторы с изолированным затвором.

Для получения токов и напряжений, форма которых близка к синусоидальной, необходимы меры по снижению уровня высших гармоник.

Как правило, эти меры заключаются в следующем.

1. Включение на выходе инвертора сглаживающего фильтра.
2. Усложнение алгоритма работы ключей для уменьшения коэффициента гармоник (использование ФИМ).
3. Коммутация промежуточных отводов первичной обмотки трансформатора.

Это необходимо для увеличения коэффициента мощности устройства, уменьшения электромагнитных потерь и увеличения точности измерения действующего значения тока

1.4 Мостовой инвертор

Схема мостового инвертора показана на рисунке 6. В одну диагональ моста, образованного ключами K1−K4, включен источник постоянного напряжения, а в другую – нагрузка. Ключи переключаются так, что в одну половину периода замкнута одна диагональная пара ключей, а во вторую – другая пара ключей. Примем для определенности, что на интервале 0−T2 замкнуты ключи K1 и K4, а на интервале T 2−T замкнуты ключи K2 и K3. Если нагрузка имеет резистивный характер, напряжение u(t) будет иметь форму симметричных прямоугольных импульсов. Регулирование частоты переменного напряжения обеспечивается изменением частоты коммутации ключей.

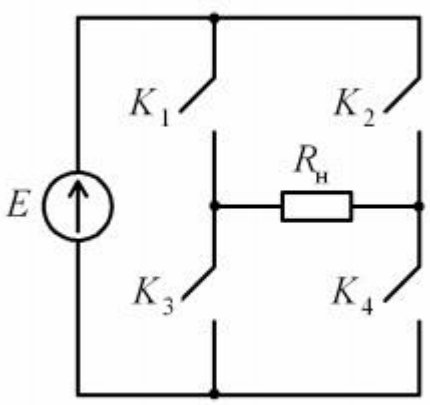

Рисунок 6 – Схема мостового инвертора

Для уменьшения амплитуд гармоник с номерами n=3,5.. на выходе инвертора включают LC-фильтр нижних частот (ФНЧ). Схема простейшего ФНЧ показана на рисунке 7. Однако использование только сглаживающего фильтра оказывается недостаточно эффективным. Для подавления третьей или

пятой гармоники, имеющие наибольшие амплитуды, необходим фильтр нижних частот с частотой среза, близкой к частоте первой гармоники. Для реализации такого фильтра требуются индуктивная катушка и конденсатор больших номиналов. Соответственно, такой фильтр имеет большие массу и габариты.

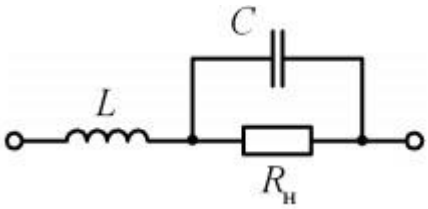

Рисунок 7 – Схема LC фильтра

Выходной L-фильтр – это дроссель, индуктивность которого много больше индуктивности кабелей. Сглаживающий фильтр позволяет уменьшить изменение гармонического спектра тока, вызванное коммутацией силовых транзисторов инвертора. Сглаживающий фильтр может иметь большую частоту среза, и, следовательно, меньшие габариты, если в спектре выходного напряжения гармоники высшего порядка (n=3 или 5) отсутствуют. Напряжение с уменьшенным содержанием высших гармоник можно получить с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

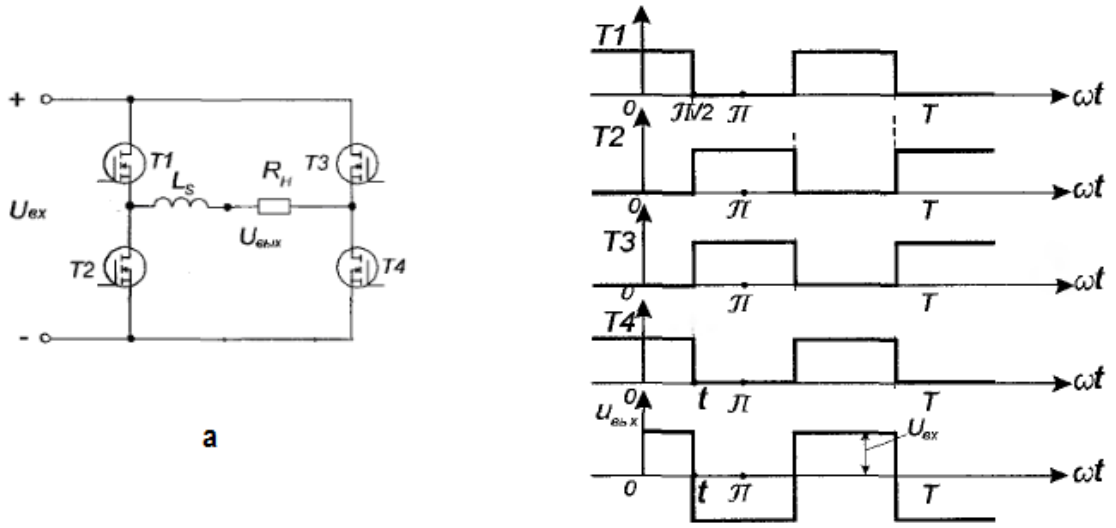

Рисунок 8 – Мостовой преобразователь при обычном ШИМ – управлении: а – выходной каскад; б – диаграммы процессов

1.5 Фазоимпульсный метод управления в мостовом инверторе

В мостовой схеме (Рисунок 8а) в которой переключение происходит традиционно для ШИМ – управления - в интервале паузы все транзисторы заперты, - включение транзисторов происходит с потерями, без переключения на нуле напряжения. Идея построения преобразователя с фазовым управлением, позволяющим реализовать мягкое переключение к мостовой схеме, заключается в том, что в паузе проводят ток горизонтально расположенные транзисторы схемы (Т1 и Т3 или Т2 и Т4). Вследствие этого первичная обмотка трансформатора замыкается на небольшое сопротивление открытых приборов, и напряжение на ней близко к нулю. Ток, проходящий в индуктивности рассеяния L_s во время импульса, продолжает поддерживаться на уровне, близком к тому значению, которое было до наступления интервала паузы. В результате, после окончания интервала паузы в коротком временном интервале, когда запирается один из ранее открытых транзисторов, создаются

условия для перезарядки выходных емкостей транзисторов той пары ключей, расположенных вертикально на схеме, которые в данный момент переключаются. Таким образом, достигается переключение при нулевом напряжении, при котором отсутствуют потери в транзисторе при его включении.

Можно организовать работу моста с мягким переключением включая в паузе только верхние транзисторы (Т1,Т3) или только нижние (Т2,Т4). При этом нагрев транзисторов моста будет неравномерным, а суммарные потери возрастут по сравнению с вариантом, когда в паузе включаются попеременно либо транзисторы (Т1,Т3), либо (Т2,Т4). Именно такой алгоритм, когда в одном полупериоде работы в паузе включены верхние транзисторы, расположенные горизонтально, а в другом полупериоде - нижние, используется в настоящее время в контроллерах, реализующих фазовое управление.

Рассмотрим принцип управления ключами для организации при нулевом напряжении, предположив, что каждая из вертикально расположенных транзисторов в схеме мостового преобразователя управляются импульсным противофазным напряжением, имеющим короткий временной задержки включения транзистора. На рисунке 9 показаны диаграммы напряжений, поступающих на входы транзисторов, а также напряжение на выходе схемы $U_{вых}$. Смещение во время импульсов, подаваемые на входы транзисторов одной стойки относительно другой пары импульсов позволяет изменять длительность $t_и$ и тем самым управлять коэффициентом заполнения D.

$$D = \frac{2t_и}{T} \qquad (2)$$

Где D – коэффициент заполнения;

$t_И$ – длительность управляющего импульса, *с*;

Т – период, *с*.

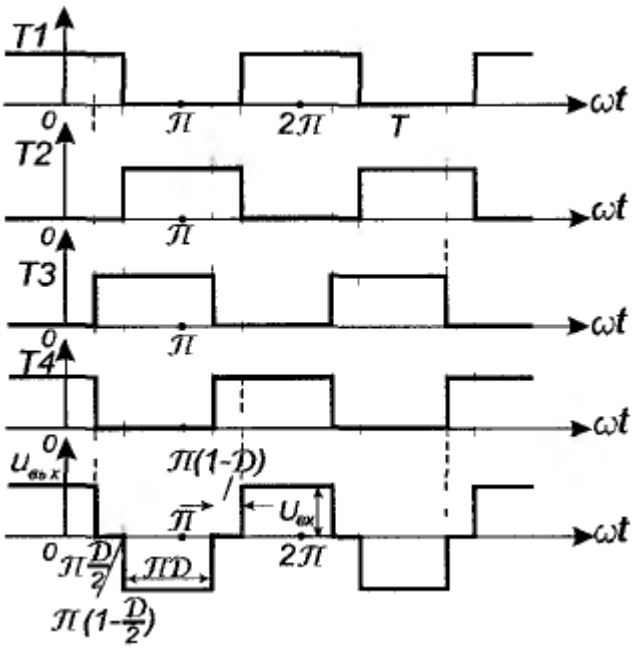

Рисунок 9 – Диаграммы процессов в мостовом инверторе при фазовом управлении.

1.6 Схема модуля ключа мостового инвертора

Каждый ключ моста представляет собой отдельный модуль, содержащий мощный полевой МОП-транзистор и небольшой «стандартный» набор пассивных элементов, обеспечивающих безопасную работу ключа в мосте. Схема модуля ключа представлена на рисунке 10.

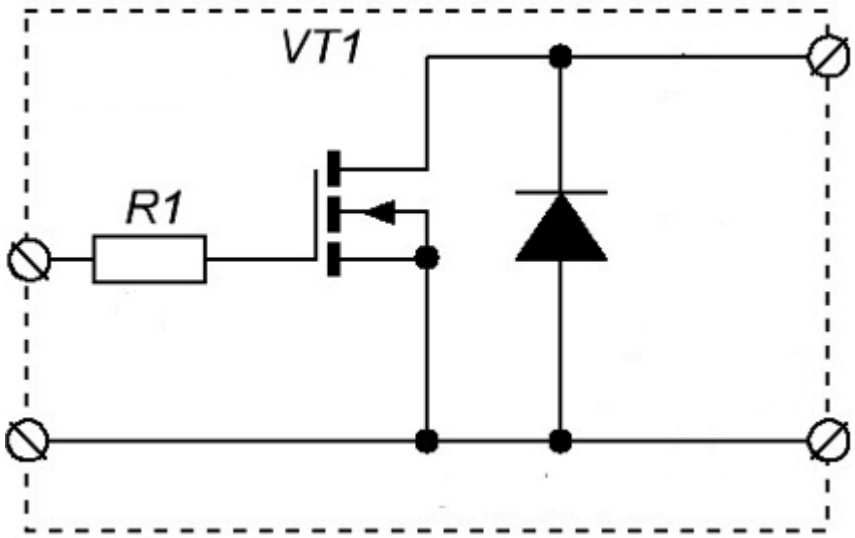

Рисунок 10 – Схема модуля ключа

В ключах можно использовать любые полевые МОП-транзисторы достаточной мощности, имеющие рабочее напряжение не менее 200 В. Рабочие токи и частоты определяются конкретными задачами.

Возвратный диод VD1 предназначен для устранения выбросов напряжения во время простоя. Он должен быть быстрым и рассчитанным на напряжение не менее 200 В.

Резистор R1 предназначен для ограничения зарядного тока затвора и подавления высокочастотных колебаний в его цепях.

Преимущества использования мостового инвертора:

1) Более высокий КПД по сравнению с однотактным преобразователем. За счет включения двух горизонтальных ключей при фазовом управлении снижаются динамические потери в схеме (трансформатор замыкается на два горизонтальных ключа, вследствие чего, напряжение на первичной обмотке становится близким к нулю).

2) Фазовое управление возможно только в мостовой схеме

3) Улучшение массогабаритных характеристик за счет использования двухтактной схемы (можно исключить размагничивающие катушки трансформаторов).

Недостатки использования мостового инвертора:

1) Увеличение количества силовых ключей управления

2) Возникновение вероятности замагничивания силового ключа, но в современных ФИМ контроллерах схема защиты от этого эффекта предусмотрена.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1АМ51	Маниковскому Ивану Сергеевичу

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 специальное оборудование для научных работ, основную и дополнительную заработную платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы*
2. *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 НТИ* 4. *Календарный план проекта* 5. *Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Гантта)* 6. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ*	

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
1АМ51	Маниковский Иван Сергеевич		

Пред проектный анализ

Потенциальные потребители результатов исследования

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

Разрабатываемая в данной работе модель стабилизатора тока нагревателя катода плазменного двигателя позволит улучшить массогабаритные и энергетические показатели двигательных установок, модель так же, позволит оперативно определять требуемые параметры принципиальной схемы устройства.

Таким образом, целевым рынком для разработанной модели, в основном, являются научно-производственные центры, промышленные предприятия и опытные конструкторские бюро, а основными потребителями будут разработчики электронной техники, конструкторы и технологи.

Выполним сегментирование рынка моделей или оборудования для электропитания нагревательного элемента стационарного плазменного двигателя по следующим критериям: питание переменным стабилизированным током; возможность оперативно определять требуемые параметры принципиальной схемы устройства; учет влияния изменения индуктивности длинны кабеля, источника питания и сопротивления нагрузки на содержание высших гармоник в спектре выходного сигнала.

Таблица 2 – Карта сегментирования рынка

	Возможности расчета		
	Питание переменным стабилизированным током	Возможность оперативно определять требуемые параметры принципиальной схемы устройства	Учет влияния изменения индуктивности длинны кабеля, источника питания и сопротивления нагрузки на содержание высших гармоник в спектре выходного сигнала
Наличие разработанной модели			
Наличие			

разработанного оборудования			

	Существует на рынке
	Частично присутствует
	Отсутствует на рынке

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять конкурентным разработкам и определить направления ее будущего повышения. С позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения его удобно проводить с помощью оценочной карты (таблица 3).

В качестве источника питания нагревательного элемента для сравнения при разработке СТНК выбрана модель источника питания на постоянном токе, автор Михайлов М.В. [7], а также стабилизатор тока, разработанный «АО НПЦ Полюс».

Аналоги создаваемого СТНК на рынке фактически отсутствуют, и выбранный для сравнения источник питания нагревательного элемента хуже по массогабаритным и энергетическим характеристикам. Он принят в качестве базового варианта, исходя из следующих соображений:

1) Простоты измерения выходного действующего значения тока;

2) Простоты стабилизации действующего значения тока на нагревателе катода;

Подобный анализ осуществляется с помощью анализа конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K=\sum B_i \cdot Б_i , \qquad (5)$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$В_i$– вес показателя (в долях единицы);

$Б_i$ – балл *i*–го показателя.

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

Критерии оценки	**Вес критерия**	**Баллы**			**Конкуренто-способность**		
		$Б_ф$	$Б_{к1}$	$Б_{к2}$	$К_ф$	$К_{к1}$	$К_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Улучшение массогабаритных показателей	0,09	5	3	4	0,45	0,27	0,36
2. Учет влияния источника питания, сопротивления нагрузки на выходное значение тока	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Улучшение энергетических показателей	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
4. Надежность	0,12	5	4	2	0,6	0,48	0,24
5.Снижение динамических потерь	0,08	5	2	3	0,4	0,16	0,24
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,13	4	3	3	0,52	0,39	0,39
7. Простота стабилизации действующего значения тока	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
8. Время эксплутации	0,03	4	4	2	0,12	0,12	0,06
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	3	2	0,06	0,09	0,06
3. Цена	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	3	4	0,35	0,21	0,28
6. Срок выхода на рынок	0,01	1	3	3	0,01	0,03	0,03
7. Наличие сертификации разработки	0,05	1	5	5	0,05	0,25	0,25

Итого	**1**	**71**	**65**	**59**	**4,24**	**3,38**	**3,28**

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод, что разработанная модель стабилизатора тока нагревателя катода плазменного двигателя достаточно конкурентоспособна. Таким образом, разрабатываемый проект является перспективным, поскольку обладает рядом уникальных свойств, повышенными энергетическими и массогабаритными показателями.

Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Для проведения оценки необходимо заполнить специальную форму оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. В таблице 3 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле:

$$Б_{СУМ} = \sum Б_i \qquad (6)$$

где $Б_{СУМ}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$Б_i$ – балл по *i*-му показателю.

Таблица 4 – 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	1	2

на рынок		
5.Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6.Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8.Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
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	2	2
13.Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
14.Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
ИТОГО БАЛЛОВ	**32**	**31**

На основе данных, представленных в таблице 3, можно говорить о том, что проект пока частично готов к коммерциализации, так как имеет ряд недоработок, устраняемых научной группой.

Инициация проекта

Цели и результаты проекта

В таблице 5 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 5 – 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, реализация нового технического продукта
Спонсор проекта	Развитие российских научных исследований и программ. Повышение уровня качества научных исследований в стране.

В таблице 6 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 6 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка Модели стабилизатора тока нагревателя катода плазменного двигателя с повышенными энергетическими и массогабаритными показателями
Ожидаемые результаты проекта:	Получение готовой модели
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособная модель СТНК, обеспечивающая действующее значение тока на нагревательном элементе плазменного двигателя с низким уровнем амплитуды высших гармоник
Требования к результату проекта:	**Требование:**
	Повышенные энергетические и массогабаритные показатели
	Учет влияния изменения источника питания и нагрузки на гармонический спектр выходного сигнала
	Снижения погрешности измерения переменного тока нагревателя катода

Организационная структура проекта

В таблице 7 приведена информация о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатратах каждого.

Таблица 7 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	**Функции**	**Трудозатраты, день**
1.Научный руководитель проекта	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта в области электроники, участие в обсуждениях по результатам работы, промежуточная проверка достигнутых результатов	26

2. Исполнитель по проекту	Обзор литературы об имеющихся источниках электропитания нагревательных элементов плазменных двигателе; оценка их недостатков и преимуществ; выбор структуры построения СТНК; определение оптимального способа управления источника питания нагревателя катода на переменном токе; моделирование предложенной схемы; анализ результатов; участие в обсуждениях по результатам работы	130
ИТОГО:		156

Планирование управления научно-техническим проектом

План проекта

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ (Таблица 8).

Таблица 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, И	09.01.2017	1	-	-
2	Анализ технического задания (ТЗ), сбор информации о предметной области	НР, И	21.01.2017	7	21.01.2017	10
3	Подбор и изучение литературы по теме исследования	И	-	-	9.02.2017	6
4	Анализ существующих источников электропитания нагревателя катода	И	-	-	23.02.2017	18
5	Выбор структуры построения СТНК	И	-	1	1.03.2017	20
6	Определение оптимального способа управления источником питания НК	И	-	-	20.03.2017	8
7	Моделирование предложенной схемы	НР, И	12.02.2017	6	25.03.2017	45

8	Анализ результатов	И	23.05.2017	5	22.05.2017	10
11	Сдача разработки и отчета о работе	НР, И	04.06.2017	11	10.06.2017	11

Целесообразно применять линейное планирование с построением диаграммы Гантта, представленной в таблице 9. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 9 – Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Этап	**НР**	**И**	Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			1	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**
Постановка задачи	1	-																	
Анализ технического задания (ТЗ), сбор информации о предметной области	7	10																	
Подбор и изучение литературы по теме исследования	-	6																	
Анализ существующих источников электропитания нагревателя катода	-	18																	
Выбор структуры построения СТНК	1	20																	
Определение оптимального способа управления источником питания НК	-	8																	
Моделирование предложенной схемы	6	45																	
Анализ результатов	5	10																	
Сдача разработки и отчета о работе	11	11																	

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

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 материалов, необходимых для выполнения работ, формируется исходя из стоимости приобретения и платы за транспортировку (в данной работе 3%) (Таблица 10).

Таблица 10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	**Кол-во**	**Цена единицу, руб**	**Сумма, руб**
Принтер	1	2000	2000
Расходные материалы	1	1000	1000
Печатная бумага	1	250	250
Канцелярские товары	1	100	100
USB-flash накопитель, 8 Гб	1	450	450
Тонер для лазерного принтер	1	500	500
Компьютер на базе процесс Intel Core i5 4200U	1	25000	25000
Всего за материалы			29300
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			879
Итого по статье $С_м$			30179

Основная заработная плата

В статью включается основная заработная плата работников, непосредственно участвующих в выполнении работ, включая премии, доплаты и дополнительную заработную плату.

$$С_{ЗП}=З_{ОСН}+З_{ДОП}, \quad (7)$$

где $З_{ОСН}$ – основная заработная плата;

$З_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата.

$$З_{ОСН}=З_{ДН}\cdot Т_{РАБ}, \quad (8)$$

где $Т_{РАБ}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней.

$З_{ДН}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{ДН}=\frac{З_{М}\cdot М}{F_{Д}}, \quad (9)$$

где $З_{М}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года (примем М = 10,4 месяца, 6-дневная неделя)

$F_{Д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (примем для научного руководителя $F_{Д}$ =87, для инженера $F_{Д}$=75)

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{М}=З_{б}\cdot k_{р}, \quad (10)$$

где $З_{б}$ – базовый оклад, руб;

$k_{р}$ –районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{б}$, руб.	$k_{р}$	$З_{м}$, руб.	$З_{дн}$, руб.	$Т_{р}$, раб.дн.	$З_{осн}$, руб.
Научный руководитель	17240	1,3	22412	2679,1	26	69657,5
Инженер	8000	1,3	10400	1442,1	130	187477,3

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:

$$З_{доп}=k_{доп}\cdot З_{осн}, \quad (11)$$

где $К_{доп}$ –коэффициент дополнительной зарплаты.

В таблице 12 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 12 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	**Научный руководитель**	**Инженер**
Основная зарплата	69657,5	187477,3
Дополнительная зарплата	6965,75	18747,73
Зарплата исполнителей	76623,25	206225,03
Итого по статье $С_{зп}$	282848,28	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$С_{внеб}=k_{внеб}\cdot\left(З_{осн}+З_{доп}\right), \quad (12)$$

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

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

$$C_{внеб} = 0{,}3 \cdot 282848{,}28 = 84854{,}5 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

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:

$$С_{НАКЛ}=k_{НАКЛ}\cdot\left(З_{ОСН}+З_{ДОП}\right), \quad (13)$$

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

$$C_{накл} = 0{,}8 \cdot 282848{,}28 = 226275{,}6 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы (таблица 13).

Таблица 13 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	**Сумма, руб**
Сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	30179
Основная заработная плата	282848,28
Дополнительная заработная плата	28284,8
Отчисления на социальные нужды	84854,5
Накладные расходы	226275,6
Итого себестоимость НИР	652441,58

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:

$$I_{Ф}^{p} = \frac{Ф_{pi}}{Ф_{\max}}, \quad (14)$$

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

$Ф_{pi}$ – стоимость i-го варианта исполнения;

$Ф_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^{n} a_i b_i^a \,,\; I_m^p = \sum_{i=1}^{n} a_i b_i^p \tag{15}$$

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.

Таблица 14– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2	Iтп	Iан1	Iан2
1.Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
2.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
3.Помехоустойчивость	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
4.Энергосбережение	0,25	4	4	3	1	1	0,75
5.Надежность	0,3	5	4	3	1,5	1,2	0,9
6.Материалоемкость	0,1	2	4	4	0,2	0,4	0,4
ИТОГО	1	24	21	23	4,25	3,8	3

Из таблицы 14 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов. Таким образом, разработанная модель СТНК является более

ресурсоэффективной разработкой, относительно имеющихся на рынке аналогов.

Вывод: в данном разделе были рассчитаны основные показатели на каждом этапе проектирования, рассчитана себестоимость продукта, а также затраты на заработную плату инженеру и научному руководителю. Исходя из результатов анализа данной главы, можно сделать вывод, что разработанная модель стабилизатора тока нагревателя катода плазменного двигателя достаточно конкурентоспособна. Так же, разрабатываемый проект является перспективным, поскольку обладает рядом уникальных свойств, повышенными энергетическими и массогабаритными показателями

Список публикаций

1. Маниковский Иван Сергеевич, Стабилизатор тока нагревателя катода плазменного двигателя// Всероссийский молодежный конкурс научно-технических работ «Орбита молодежи», 25.05.2017 – (в печати)