

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
Преобразователь зарядно-разрядного устройства системы электропитания космического аппарата

УДК 621.314.5:621.35:621.782.064.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ51	Щербаков Евгений Сергеевич		

Руководитель

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

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		

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 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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	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 <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 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 <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, 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	Щербакову Евгению Сергеевичу

Тема работы:

Преобразователь зарядно-разрядного устройства системы электропитания космического аппарата	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	№ 2943/с от 15.04.2016 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Разработать драйвер на отечественных элементах для управления силовыми транзисторами преобразователя. Разработать преобразователь напряжения разрядного устройства со следующими характеристиками: 1) Входное напряжение 30 – 48В; 2) Напряжение нагрузки 28±1В; 3) Частота коммутации 50кГц; 4) Максимальный выходной ток 15А; 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 литературы в рассматриваемой области науки и техники; обоснованный выбор схемотехнического решения для реализации требований технического задания; расчёт принципиальной схемы устройства; разработка модели; сборка макета устройства, настройка и проведение экспериментальных исследований;
---	--

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема электрическая принципиальная
---	------------------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
--	--

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
1AM51	Щербаков Евгений Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Отчет по преддипломной практике содержит работа 95 с., 28 рис., 22 таблицы, 30 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: преобразователь, система электропитания, разрядное устройство, аккумуляторная батарея, драйвер.

Объектом исследования является преобразователь напряжения зарядно-разрядного устройства космического аппарата

Цель работы: Разработка модуля зарядно-разрядного устройства комплекса автоматики и стабилизации с высокими удельными характеристиками

В ходе выполнения ВКР проведен обширный обзор литературы по существующим системам электропитания и принципам построения СЭП. Также рассмотрены основные типы импульсных преобразователей напряжения и применение их в комплексах энергопреобразующей аппаратуры. Выбрано схемотехническое решение, которое эффективно реализует требования технического задания, проведены расчёты схемы понижающего преобразователя. Разработана принципиальная схема преобразователя, собран и настроен макет, проведены экспериментальные исследования.

В результате исследования был изучен текстовый материал по теме ВКР. Спроектирован работающий макет преобразователя. Получены навыки в области проектирования устройств для космической аппаратуры.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: входное напряжение – постоянное, выходное напряжение – постоянное, условия эксплуатации – в условиях космоса.

Степень внедрения: преобразователь планируется использовать в комплексах автоматики и стабилизации космических аппаратов.

Область применения: система электропитания комплекса автоматики и стабилизации космического аппарата

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

В будущем планируется: дальнейшая разработка, улучшение характеристик.

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:

АБ – аккумуляторная батарея;

БКИП – блок контроля источников питания;

БФ – блок фильтров;

ВАХ – вольт-амперная характеристика;

ВВХ – вольт-ваттная характеристика;

ЗРУ – зарядно-разрядное устройство;

ЗУ – зарядное устройство;

ИПН – импульсный преобразователь напряжения;

КА – космический аппарат;

КАС – комплекс автоматики и стабилизации;

РУ – разрядное устройство;

СБ – солнечная батарея;

СН – стабилизатор напряжения;

СН – стабилизатор напряжения;

СУ – система управления;

СЭП – система электропитания;

ШС – шунтовой стабилизатор;

ВИП – вторичный источник питания;

ПНЗУ – преобразователь напряжения зарядного устройства;

ПНРУ – преобразователь напряжения разрядного устройства;

ДТ – датчик тока;

ЗГ – задающий генератор.

Оглавление

Введение.....	10
1 Обзор литературы	12
1.1 Состояние систем электропитания КА	12
1.1.1 Существующие системы	12
1.1.2 Принципы построения СЭП.....	12
1.1.3 Повышение использования энергетической эффективности СБ....	21
1.2 Импульсные преобразователи напряжения.....	27
1.2.1. Основные типы импульсных стабилизаторов.....	28
1.2.2. Анализ вариантов создания комбинированного импульсного стабилизатора	31
1.2.3 Импульсные преобразователи напряжения в комплексах энергопреобразующей аппаратуры	33
1.2.4 Потери и КПД понижающего преобразователя напряжения.	38
2 Разработка и исследование ЗРУ	40
2.1 Структурная схема ЗРУ	40
2.2 Расчет схемы разрядного устройства.....	41
2.3 Разработка принципиальной схемы	45
2.4 Исследование	50
Раздел «Финансовый менеджмент»	57
Раздел «Социальная ответственность».....	74
Заключение	91
Список публикаций.....	92
Список используемых источников.....	93
ПриложениеА	96
Приложение Б.....	118

Введение

При изучении и освоении космоса космические аппараты (КА) различного назначения требуют развития и совершенствования. При этом наиболее практическое значение получают автоматические непилотируемые КА для формирования глобальной системы связи, телевидения, навигации и геодезии, наблюдения и передачи информации, изучения погодных условий и природных ресурсов Земли, исследования дальнего космоса. Создание КА для реализации этих функций требует обеспечения более жестких функций по точности ориентации, коррекции параметров орбиты. При создании сложных и дорогих аппаратов экономически целесообразно увеличивать сроки эксплуатации отдельных аппаратов вплоть до морального износа. Достаточно быстро меняющиеся требования к характеристикам обязывают разработчиков либо использовать огромный штат, либо создавать такие средства исследований и проектирования, которые могут использоваться без значительных корректировок при изменении проектных и целевых условий.

В современных космических аппаратах значительную часть занимают системы энергообеспечения. По сравнению остальными компонентами и системами, системы электроснабжения и распределения энергии, по стоимости, объему и массе, занимают до 30% самого КА. Таким образом, проблема создания систем электропитания космического аппарата имеет важнейшее первоочередное значение. Разрешение этой проблемы может улучшить технические и экономические показатели космического аппарата.

Основным источником электроэнергии сейчас и в ближайшее обозримое время, очевидно, будут солнечные батареи. Термоэмиссионные преобразователи, работающие за счет ядерных источников, используются на отдельных КА, однако стоимость таких источников энергии высока, требуются специальные радиационно-стойкие материалы, дополнительные конструкции радиационной защиты. Кроме генерирующих устройств на борту КА обязательно устанавливаются накопители энергии — в основном аккумуляторные батареи. Солнечные батареи вырабатывают постоянный ток,

что хорошо согласуется с накоплением энергии в аккумуляторных батареях. Использование этих элементов в системах электропитания обусловило создание сети постоянного тока. Для уменьшения массогабаритных показателей солнечные и аккумуляторные батареи подключаются на общие шины бесперебойного питания через регулирующие и стабилизирующие устройства. Также к шинам присоединяются все энергопотребители.

Названные составляющие систем электропитания требуют исследования и разработок, в то время как для полного использования каждого из элементов необходимо изучить всю систему в целом. Разработчики системы сталкиваются с огромными трудностями, которые объясняются не только противоречивыми требованиями (ограничение массы, габаритов, увеличение мощности и ресурса, повышенные требования к качеству электроэнергии), но и трудностями аналитического плана.

Актуальность:

В современном космическом приборостроении наибольшее значение приобретает тенденция к уменьшению массы космических аппаратов и их систем питания, с целью снижения их себестоимости вывода на орбиту. Поэтому создание компактной, а также надежной системы электропитания космического аппарата является актуальной задачей.

Цель:

Целью работы является разработка модуля зарядно-разрядного устройства комплекса автоматики и стабилизации с высокими удельными характеристиками.

1 Обзор литературы

1.1 Состояние систем электропитания КА

1.1.1 Существующие системы

Бортовая космическая электроэнергетическая система имеет ряд существенных особенностей по сравнению с традиционными автономными энергосистемами наземных транспортных средств, кораблей, самолетов. Прежде всего, это отсутствие электромашинного генерирования энергии. Безусловно, существенным фактором являются и условия эксплуатации в космосе.

В настоящей работе под системами автономной энергетики космического аппарата понимается совокупность устройств, обеспечивающих генерирование, накопление, распределение электроэнергии. Специальные энергетические системы, обеспечивающие управление параметрами движения и ориентации КА, не рассматриваются.

Бортовые электроэнергетические системы космических аппаратов начали развиваться на основе использования химических источников тока. Так как подобные системы имеют малый ресурс существует необходимость включения в состав СЭП первичных генераторов электрической энергии. В основном, на космических аппаратах отечественного производства в качестве первичных источников используются фотоэлектрические преобразователи — солнечные батареи. Помимо первичных генераторов на борту КА обязательно устанавливаются накопители энергии. В основном, эту роль выполняют аккумуляторные батареи. [1]

1.1.2 Принципы построения СЭП

Введение в СЭП солнечных батарей с их специфическими характеристиками (наличие внутреннего сопротивления, большой разброс по напряжению, нелинейность вольт-амперной характеристики) привело к

созданию структуры СЭП с общими шинами СБ-АБ-нагрузка (рис.1.1, $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление, БКИП – блок контроля источников питания).

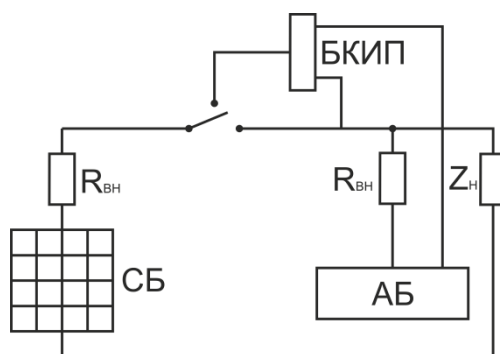


Рисунок 1.1 - Структура СЭП с общими шинами СБ-АБ-нагрузка.

Данная система использует аккумуляторную батарею в буферном режиме. Даже при полном заряде АБ, если имеется энергия со стороны СБ происходит разряд АБ на нагрузку Z_n . Вследствие этого появляется широкий диапазон изменения выходных напряжений (23 – 34 В). Требуется установка у потребителей специальных стабилизаторов.

Необходимость повышения ресурса СЭП побудила разработчиков создавать системы с индивидуальными зарядно-разрядными восстановительными циклами, что позволило, несмотря на определенные эксплуатационные неудобства, увеличить срок активного существования КА до двух-трех лет.

Задачи повышения гибкости систем, их адаптации к орбитам, учета деградации характеристик СБ были решены в процессе создания систем с активной стабилизацией параметров СЭП. [1]

Силовая структура подобных систем строится параллельными (рис. 1.2) либо параллельно-последовательными (рис. 1.3) способами, которые различаются исполнением стабилизатора напряжения (СН) солнечной батареи, подключаемого либо параллельно СБ, либо последовательно с ней. Обе структуры содержат устройство заряда (ЗУ) и разряда (РУ) АБ. [1]

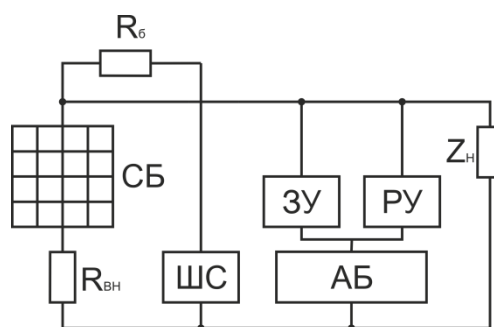


Рисунок 1.2 - Параллельная структура СЭП

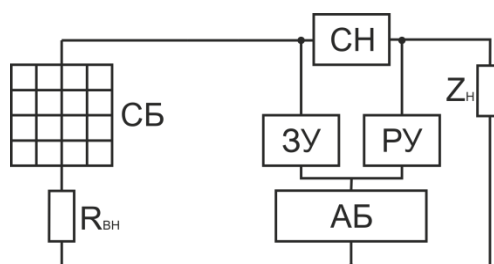


Рисунок 1.3 - Параллельно-последовательная структура СЭП

Особенности выбора структуры во многом определяются параметрами орбиты и циклограммами нагрузки.

Впервые в отечественной практике СЭП с активным регулированием потоков энергии созданы в НПО ПМ (г. Красноярск) и Сухумском физико-техническом институте и внедрены на геостационарных объектах типа "Экран", "Горизонт". В СЭП применены параллельные стабилизаторы напряжения СБ с дискретным переключением режимов работы в функции физического состояния генератора и накопителя.

Имеется положительный опыт создания и внедрения СЭП с параллельно-последовательными структурами в работах, проводимых в НПЦ "Полнос". [1]

Наличие в структуре СЭП солнечной батареи требует введения стабилизирующих средств, компенсирующих вариации параметров вольтамперной характеристики. В разработанных системах этим компенсатором (приемником избыточной энергии СБ) является аккумулятор. Блок контроля источников питания при достижении выходным напряжением

верхнего порогового уровня отключает СБ от нагрузки и буферной батареи. Затем АБ, обеспечивая потребителей питанием, разряжается, уровень ее напряжения снижается, и при достижении нижнего уровня происходит подключение СБ на заряд АБ и питание потребителей. По сути это релейная система регулирования с большим гистерезисом, в который из-за ограничений по энергетическим показателям невозможно реализовать точные законы регулирования. Разница в порогах срабатывания достигает 30 %, поэтому каких-либо дополнительных исследований, связанных с качеством процессов регулирования, устойчивости систем, не требуется.

В структурах с параллельным регулированием требуемое напряжение на нагрузке поддерживается шунтовым стабилизатором или разрядным устройством АБ. [1]

Включение и отключение РУ производится пороговым устройством, для которого входным сигналом является значение выходного напряжения. Напряжения срабатывания и отпускания порогового устройства находятся внутри зоны допуска на изменение номинального значения выходного напряжения. При снижении выходного напряжения до нижнего уровня срабатывания реле отключает напряжение питания от узлов управления ШС и ЗУ и одновременно падает питание на узел управления РУ. При повышении выходного напряжения до верхнего уровня срабатывания реле отключает РУ и АБ и вновь падает напряжение питания на узлы управления ШС и ЗУ. Подобную систему можно рассматривать как дискретную с малым гистерезисом и стабилизацией выходного параметра в рабочей зоне. Как показал опыт эксплуатации, при указанном способе управления для выхода ШС, ЗУ или РУ на режим необходимо 20...30 мс, что приводит к значительной динамической нестабильности при переходных процессах в момент захода на теневой участок орбиты. Из изложенного следует, что основной недостаток дискретных систем управления — низкое качество выходных параметров при переходе из режима в режим. Устранить этот недостаток можно при непрерывном контроле регулируемых параметров и

непрерывном управлении блоками, в том числе и вне рабочей зоны, чтобы при включении блока в работу сигнал управления адекватно соответствовал реально сложившейся обстановке в СЭП в функции отклонения выходного напряжения и степени заряженности АБ.

Поле допуска на выходное напряжение СЭП разделено на зоны, каждая из которых соответствует работе широтно-импульсных модуляторов (ШИМ) схемы управления силовых блоков (зарядного устройства ЗУ, разрядного устройства РУ, стабилизатора напряжения СН) комплекса автоматики и стабилизации (КАС) (рисунок.4). [1]

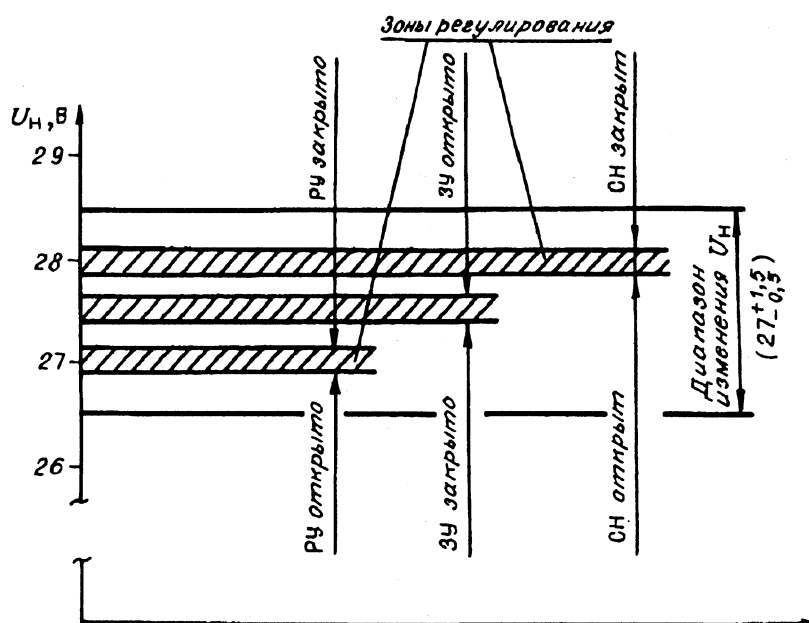


Рисунок 1.4 - Зоны управления в параллельно-последовательной структуре СЭП

Положение центра зоны регулирования стабилизатора напряжения СБ считается неизменным, расположенным выше номинального значения выходного напряжения. Верхняя граница зоны регулирования ЗУ находится ниже верхней границы зоны СН на величину расстояния между зонами U_3 , учитывающую температурные изменения и деградацию опорных элементов ШИМ. В пределах каждой зоны напряжение на выходных шинах изменяется не более чем на 0,4 %.

На теновом участке орбиты происходит разряд АБ, выходное напряжение стабилизируется в зоне ШИМ РУ, силовые ключи СН открыты полностью. При появлении тока солнечной батареи энергия СБ через СН подается на выход СЭП, энергия, передаваемая в нагрузку, распределяется между АБ и СБ, при этом возможности СБ используются полностью.

Если мощность СБ - $P_{сб}$ равна мощности нагрузки P_n то напряжение на выходе СЭП выходит за пределы зоны регулирования РУ и силовые транзисторы РУ начинают управляться сигналом с регулятора ШИМ в сторону их закрывания. При дальнейшем увеличении $P_{сб}$ выходное напряжение стабилизируется СН. Разрядное устройство при этом закрыто по цепи управления. При наличии избыточной мощности СБ происходит заряд АБ через ЗУ. При этом ЗУ стабилизирует напряжение СБ в рабочей точке. Это управление можно определить, как непрерывное с непрерывным контролем регулируемой величины.

Проведенный анализ дает возможность классифицировать принципы управления СЭП КА. Реализация принципа непрерывного управления сопряжена с необходимостью разработки современных систем регулирования с повышенной точностью. Требуется во многом пересмотреть накопленный задел схемотехнических решений в области импульсных стабилизаторов напряжения и создать на основе современных систем регулирующие узлы, обладающие повышенными точностными характеристиками при одновременном обеспечении требуемых динамических качеств и характеристик надежности.

В зависимости от освещенности СБ, степени заряженности АБ и значения нагрузки СЭП работает в режимах, указанных в таблице 1.

Таблица 1

Режим	Участок орбиты	Состояние системы
ЗУ	Освещенный	Разряженная АБ, избыток энергии, генерируемой СБ
ЗУ и СН	Освещенный	Энергия, генерируемая СБ, превышает энергию, передаваемую в нагрузку и на заряд АБ
СН	Освещенный	Заряженная АБ в режиме хранения, избыток энергии, генерируемой СБ
СН и РУ	Освещенный	Разряд АБ, компенсирующий недостаток энергии, генерируемой СБ
РУ	Теневой	Разряд АБ на теневом участке

Оценка массогабаритных и энергетических характеристик при непрерывном переходе из режима в режим на основе эмпирических соотношений и опытных данных (удельных характеристик солнечных батарей, накопителей, преобразователей) показала, что СЭП с комплексом автоматики и стабилизации (КАС) имеют на 10—15 % лучшие массогабаритные характеристики. При увеличении срока активного существования КА это преимущество становится более значительным.

Как было указано ранее, стабилизация напряжения СБ в КАС производится в существующих системах двумя способами: параллельным или последовательным. Многих проектировщиков СЭП привлекает то, что параллельные структуры имеют непосредственное соединение СБ с нагрузкой. Следовательно, при сбалансированной нагрузке отсутствуют потери на стабилизацию. Однако достичь сбалансированности весьма затруднительно. Установленная мощность ШС должна быть пропорциональна разности $P_{сб \max} - P_{н \min}$ и зависит как от изменения мощности нагрузки, так и от мощности СБ.

В зависимости от орбиты КА и технологии изготовления фотопреобразователей установленная мощность первичного источника для

достижения ресурса должна быть увеличена. На основе экспериментальных данных для ряда орбит оптимальная рабочая точка вольт-амперной характеристики СБ за 5 лет ориентировочно снижается на 2—3 В (10—15 %), поэтому ток короткого замыкания СБ $I_{кз}$ при 5-летнем сроке активного существования должен быть не менее $1,5I_{нmax}$ (максимального тока нагрузки). Тогда установленная мощность параллельного стабилизатора должна быть в 1,5 раза больше, чем у последовательного. Учет динамических параметров СБ, наличие значительной электрической емкости только усиливают эту диспропорцию.

Установленная мощность силовых полупроводниковых устройств в структуре с последовательным стабилизатором зависит только от мощности нагрузки. Это не накладывает ограничений на увеличение мощности СБ и, следовательно, позволяет выбрать ее с учетом деградации при различных условиях эксплуатации, т.е. для широкого класса объектов. Структура с последовательным стабилизатором позволяет при необходимости реализовать режим экстремального регулирования мощности СБ (в схемах с ШС это затруднительно). [1]

При соизмеримых массогабаритных и энергетических показателях структура с последовательным стабилизатором напряжения СБ более предпочтительна как обеспечивающая наибольшую универсальность и в большей степени отвечает принципу блочно-модульного построения системы.

Принцип зонного управления может быть использован для построения и КАС с параллельными стабилизаторами, при этом процессы управления в обеих системах практически идентичны, что позволяет распространить результаты исследования последовательно-параллельных структур на структуры с параллельными регуляторами мощности СБ.

Параллельная структура может быть предпочтительнее для достижения лучших энергетических характеристик в случае геостационарных орбит с постоянной освещенностью при реализации на борту КА равномерного

графика нагрузки. При согласовании характеристик СБ и нагрузки ШС может быть отключен. [1]

В рамках исследования параллельно-последовательной структуры СЭП с зонным принципом управления необходимо определить основные структуры решения, направленные на уменьшение установленной мощности полупроводниковых преобразователей, снижение потерь при регулировании и преобразовании, а, следовательно, и на улучшение массогабаритных характеристик. К ним относятся:

- согласование напряжений первичного источника, буферной батареи, нагрузки для исключения излишних преобразований энергии;
- выбор оптимальных значений частоты преобразования, коэффициентов загрузки электрорадиоэлементов;
- определение оптимальных параметров напряжения (тока), распределяемого по бортовой кабельной сети при больших мощностях нагрузки.

При проектировании систем электропитания с КАС основное внимание должно быть уделено оптимальной взаимосвязи параметров СБ, АБ и устройству КАС.

Число вариантов схем в существующих системах электропитания ограничено тем, что напряжение СБ выбирается всегда выше зоны допуска на выходное напряжение при номинальной освещенности панелей. В этом случае СН для принятой последовательно-параллельной структуры выполняется в виде импульсного понижающего регулятора, имеющего наилучшие массогабаритные и энергетические характеристики.

Таблица 2

Вариант	Соотношение	Регулятор РУ	Регулятор ЗУ
1	$U_{аб} = U_n$	Вольторевверсивный	Вольторевверсивный
2	$U_{аб} < U_n$	Вольтодобавочный	Проходной понижающий
3	$U_{аб} > U_n$	Проходной понижающий	Вольторевверсивный

Схемы регуляторов ЗУ и РУ полностью определяются значением номинального напряжения аккумуляторной батареи. В таблице 2 представлены возможные варианты этих схем.

Важная характеристика СЭП — КПД разрядного устройства. Повышение КПД на 1 % дает выигрыш по массе первичного источника и буферной батареи примерно 3 кг/кВт. Расчетная зависимость массы и КПД РУ от напряжения на АБ показывает, что наименьшее значение массы и наибольшее значение КПД могут быть получены в СЭП с $U_{аб} > U_n$

Дальнейшее повышение эффективности буртовых СЭП КА в основном определяется синтезом оптимальных структур, которые должны обеспечить:

- гибкость и надежность;
- реализацию блочно-модульного принципа конструирования;
- автоматическое управление режимами, в том числе экстремальное регулирование мощности СБ;
- эффективный контроль АБ и использование этого контроля в рабочих режимах КАС.

1.1.3 Повышение использования энергетической эффективности СБ

Повышение энергетической эффективности — одна из основных проблем создания перспективных СЭП. Для пояснения физической сущности понятия "энергетическая эффективность" можно представить ряд систем, имеющих одинаковые условия эксплуатации (температура и освещенность

панелей СБ, циклограмма ориентации и т.д.), а также идентичные источники энергии и равные массы, но различающиеся уровнем энергии, передаваемой в нагрузку за расчетный период (при неизменном коэффициенте формы графика нагрузки).

В области космической автономной энергетики лучшей считается та система, которая при прочих равных условиях обладает большей средней выходной мощностью. Иными словами, энергетическую эффективность СЭП (K_3) можно охарактеризовать отношением разности между энергией, выработанной солнечными батареями $W_{СБ}$ при принятом в системе законе регулирования, потерями энергии в преобразующих устройствах $\Delta W_{П}$ и АБ $\Delta W_{АБ}$ к энергии, которую может выработать СБ при ее регулировании в оптимальной точке $W_{СБ \max}$.

Осуществление режима экстремального регулирования мощности СБ ($K_T \rightarrow 1$) предполагает введение в состав КАС экстремального регулятора и согласование его с СН, ЗУ, РУ. Его действие направлено на определение оптимального напряжения СБ и выдачу на преобразующее устройство такого задающего воздействия, при котором напряжение СБ стабилизируется на уровне, равном найденному оптимальному значению.

СЭП, выполняющие функцию оптимального регулирования мощности первичного источника, делятся на системы, осуществляющие регулирование напряжения СБ в экстремальной точке при непосредственном измерении мощности, генерируемой СБ, и системы, обеспечивающие регулирование напряжения СБ при использовании косвенных признаков. В частности, последние могут быть построены на основе информации об освещенности и температуре СБ, получаемой от измерительных элементов самой СБ.

В системах с регулированием мощности СБ в зависимости от температуры и освещенности для управления может быть использовано отношение напряжения СБ при максимальном отборе мощности к напряжению холостого хода $U_{\text{опт}}/U_{\text{хх}}$ равное 0,8. Однако соотношение

$U_{\text{опт}}/U_{\text{хх}}$ даже при изменении температуры панелей СБ на 30 °С не позволяет получить максимальное значение мощности СБ с погрешностью менее $\pm 5\%$.

Основной недостаток систем с измерительными элементами СБ – необходимость сохранения идентичности вольтамперных характеристик измерительных и силовых элементов СБ, что трудно достижимо для КА длительного функционирования ввиду возможных повреждений и затенений панелей.

Обеспечение режима экстремального регулирования мощности СБ при изменении в широких пределах температуры панелей и освещенности, а также затенения части СБ возможно самонастраивающимися системами (экстремального управления или автоматической оптимизации).

Системы с поиском экстремальной точки универсальны, что объясняется автоматическим регулированием максимального значения мощности СБ независимо от условий эксплуатации. Однако они более сложны и требуют организации какого-либо возмущающего воздействия на режим работы СБ.

Системы автоматической оптимизации различаются по принципу, используемому для определения движения системы к экстремуму. Наиболее приемлем для применения в СЭП КА шаговый метод поиска экстремума мощности СБ.

Требования, предъявляемые к экстремальным системам, и особенности ВАХ СБ обуславливают необходимость исследовать точность регулирования экстремума в зависимости от шагового изменения напряжения стабилизации СБ ($\Delta U_{\text{ст.}}$) и определить быстродействие экстремального регулятора, гарантирующее устойчивость системы при дрейфе ВАХ.

Вольтамперные, вольт-ваттные (ВВХ) характеристики СБ изменяются с течением времени в зависимости от деградации, освещенности и температуры. Причем форма ВВХ в области экстремума при изменении температуры искажается незначительно, что объясняется изменением наклона прямой, линеаризующей область экстремума. Точность определения

экстремума мощности СБ с меньшей температурой панелей и неизменной освещенностью выше, так как увеличивается абсолютное значение мощности СБ в районе оптимальной точки и не изменяются потери мощности при одинаковом отклонении $U_{СБ}$ от $U_{СБ\text{ опт}}$.

С уменьшением освещенности процент потерь энергии СБ при неизменном отклонении $U_{СБ}$ от $U_{СБ\text{ опт}}$ остается постоянным, поэтому значение шагового изменения напряжения СБ и чувствительность системы автоматической оптимизации должны рассчитываться на функционирование при минимальной рабочей освещенности панелей СБ и максимальной температуре. Целесообразно воспользоваться математической моделью СБ, где ВАХ задана тремя характерными точками: напряжением холостого хода ($U_{ХХ}$, током короткого замыкания $I_{кз}$, оптимальными значениями тока $I_{\text{опт}}$ и напряжения $U_{\text{опт}}$ (рисунок 1.5).

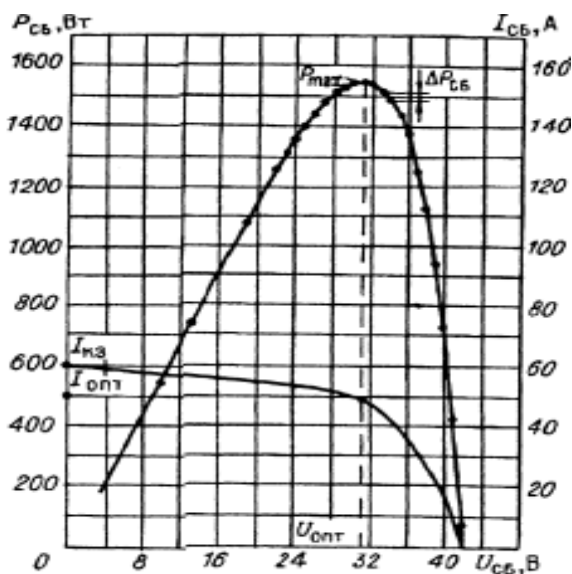


Рисунок 1.5 – Вольтамперные и вольт - ваттные характеристики СБ

На рис. 1.6, в табл. 3 приведены зависимости потерь энергии от значения шагового изменения $U_{СБ}(\Delta U_{ст})$.

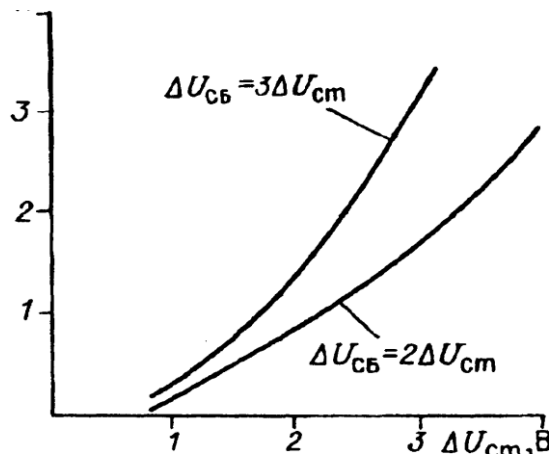


Рисунок 1.6 - Зависимость потерь энергии СБ на поиск от величины шага.

Таблица 3

Параметр	Двухшаговый режим				Трехшаговый режим		
	1	2	3	4	1	2	3
$\Delta U_{ст}, В$	1	2	3	4	1	2	3
$P_n, Вт (P_{max}=1553)$	3	12	25.5	43	4	22	48
$P_n/P_{max}, \%$	0.2	0.77	1.6	2.8	0.26	1.4	3.1

При шаговом изменении $U_{СБ}$ не превышающем 2 В, гарантируется отбор экстремальной мощности от СБ с точностью $P_n < 2 \% P_{max}$.

Характеристики СБ (ВАХ, ВВХ) большинства объектов с течением времени изменяются со значительными скоростями, поэтому для обеспечения работоспособности экстремального регулятора необходимо выполнить условие $\Delta U_{ст}/\Delta t > \Delta U_{СБ опт}/\Delta t$, т.е. скорость изменения напряжения СБ экстремальным регулятором должна быть выше скорости дрейфа напряжения оптимальной точки СБ.

Если рабочая точка при очередном шаговом изменении попадает в точку экстремума, то $\Delta P_{СБ max}(\Delta t) = a(t)[\Delta U_{ст} - \Delta U_{СБ опт}(\Delta t)]^2$.

При $\Delta P_{СБ} = 0$ получается квадратное уравнение, определяющее зависимость $\Delta U_{ст}$ от длительности шага системы Δt и параметра $a(t)$.

Предлагается следующая последовательность нахождения характеристик систем автоматической оптимизации шагового типа: а)

определение значения шагового изменения напряжения СБ, обеспечивающего требуемую точность при статической ВВХ; б) вычисление требуемого быстродействия (времени шагового изменения $U_{СБ}$), гарантирующего устойчивость системы при реальных параметрах действующей ВВХ; в) расчет минимального изменения $P_{СБ \min}$ при статической ВВХ.

1.2 Импульсные преобразователи напряжения

Для разработки силовых структур стабилизаторов напряжения и зарядно-разрядных устройств с позиций модульного построения СЭП должны быть в первую очередь рассмотрены вопросы совершенствования импульсных преобразователей напряжения, обеспечивающих достижение столь противоречивых требований, как высокие удельные характеристики и высокое качество электроэнергии, использования импульсно-модуляционных методов преобразования и управления потоками электроэнергии.

Применение модульного принципа конструирования и повышение надежности разрабатываемых систем предъявляют новые дополнительные требования к ИПН.

Так, для увеличения мощности СЭП при параллельном включении модулей ИПН необходимо решить проблему повышения их функциональной надежности, т.е. их равномерной электрической и тепловой загрузки, а также защиты от перегрузки и превышения напряжения в выходной цепи стационарных, переходных и аварийных режимах. Это приводит к введению в схему дополнительных контуров по току и напряжению, что существенно усложняет структуру ИПН, позволяя, однако, добиться максимальной автономности модулей.

Известно, что электромагнитные процессы, методы оценки устойчивости и других динамических характеристик в схемах ИПН идентичны, меняются только некоторые звенья цепи, их передаточные характеристики и расчетные соотношения. Учитывая это, обобщенную структурную схему ИПН можно представить, как совокупность силовой части, нагрузки с конденсатором фильтра и системы управления СУ.

При проектировании устройств преобразовательной техники требуемая точность определяется структурой и параметрами схемы управления. Силовая часть проектируется исходя из требований, предъявляемых к массогабаритным и энергетическим показателям ИПН. В то же время параметры силовой части ИПН оказывают значительное влияние на его

статические и динамические характеристики, и требуется проведение углубленных исследований, связанных с оценкой этого влияния, в том числе учета нелинейных параметров электромагнитных и активных элементов.

Другой важный аспект проектирования ИПН – определение влияния изменения нагрузки на динамику и устойчивость системы. Вследствие нелинейности характеристик силовых элементов ИПН его КПД в рабочем диапазоне нагрузок практически неизменен.

1.2.1. Основные типы импульсных стабилизаторов

Теории построения основных типов импульсных стабилизаторов посвящено достаточно много работ. В них, как правило, описываются три основных типа импульсных стабилизаторов, схематичное изображение которых приведено на рисунке 1.7. Регулирование выходного напряжения в импульсных стабилизаторах осуществляется скважностью переключения регулирующего элемента (биполярного или полевого транзистора), работающего в ключевом режиме (на рисунке б он изображен схематически и обозначен буквой "К"). Модулированное входное напряжение поступает на индуктивно-емкостной (LC) накопитель энергии. Для обеспечения требуемых путей заряда-разряда в нем используются диоды (VD).

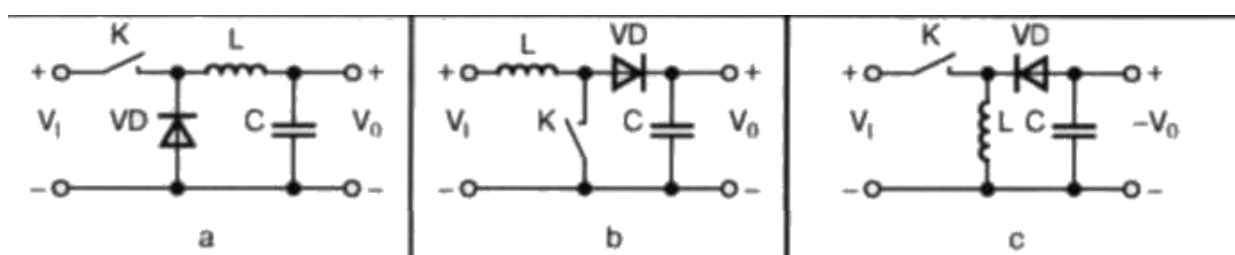


Рисунок 1.7 - Основные типы импульсных стабилизаторов

На рисунке 1.7(a) схематично показан импульсный стабилизатор напряжения понижающего типа, то есть такие стабилизаторы, у которых выходное напряжение меньше входного. Выходное напряжение в них

определяется отношением (1.1) длительности включения ключевого элемента τ к периоду следования импульсов T :

$$U_{out} = U_{inp} \cdot \tau / T, \quad 1,1$$

где τ – длительность импульса включения ключевого элемента; T – период следования импульсов; U_{inp} – входное напряжение; U_{out} – выходное напряжение.

Принцип работы такого стабилизатора заключается в том, что, когда регулирующий (ключевой) элемент K открыт, через него, индуктивность L и нагрузку течет ток. При этом ток (благодаря свойствам индуктивности) нарастает линейно и достигает своего пикового значения. При этом также заряжается конденсатор C . Диод VD в это время закрыт. При закрывании ключевого элемента K , открывается диод VD и линейно уменьшающийся ток течет через нагрузку, конденсатор C , индуктивность L и диод VD . Очевидно, что индуктивность L должна иметь достаточную величину (иными словами — запасать достаточно энергии) для обеспечения тока нагрузки на время выключения регулирующего элемента (время паузы t).

На рисунке 1.7(b) схематично показан импульсный стабилизатор напряжения повышающего типа, то есть такие стабилизаторы, у которых выходное напряжение больше входного. Выходное напряжение в таких стабилизаторах определяется отношением (1.2) периода следования импульсов T к длительности выключения ключевого элемента (паузы) t :

$$U_{out} = U_{inp} \cdot T / t, \quad 1,2$$

где t – длительность выключения ключевого элемента; T – период следования импульсов; U_{inp} – входное напряжение; U_{out} – выходное напряжение.

Принцип работы такого стабилизатора состоит в том, что, когда регулирующий элемент K открыт, через него и индуктивность L течет ток. В это время диод VD закрыт, и нагрузка питается от заряженного конденсатора C . При закрывании ключевого элемента K открывается диод VD , и линейно

уменьшающийся ток течет через индуктивность L , диод VD , нагрузку и конденсатор C , заряжая последний.

На рисунки 1.7(с) изображены импульсные стабилизаторы напряжения инвертирующего типа. У таких импульсных стабилизаторов выходное напряжение может быть меньше или больше входного, но имеет противоположный знак. Выходное напряжение в таких стабилизаторах определяется отношением (1.3) длительности включения ключевого элемента τ к длительности его выключения t :

$$U_{out} = U_{inp} \cdot \frac{\tau}{t}, \quad 1,3$$

где τ – длительность импульса включения ключевого элемента; t – длительность выключения ключевого элемента; U_{inp} – входное напряжение; U_{out} – выходное напряжение. Принцип работы такого стабилизатора аналогичен предыдущему.

Из всех трех приведенных типов импульсных стабилизаторов лучшими энергетическими и массогабаритными характеристиками обладают понижающие стабилизаторы (рис. 1.7(а)), наиболее часто применяющиеся на практике. Применение других типов импульсных стабилизаторов отмечается значительно реже из-за значительно более высоких требований к параметрам индуктивности L и конденсатора C .

Однако иногда приходится решать задачи, когда входное напряжение может быть и выше, и ниже выходного. Обычно при незначительных мощностях в нагрузке применяются различные преобразователи с использованием импульсных трансформаторов, имеющих, как минимум, две обмотки. При высоких мощностях трансформаторы должны обеспечивать передачу токов до нескольких десятков ампер на высокой частоте.

Очевидно, что для построения составного импульсного стабилизатора с выходным напряжением, лежащим в середине диапазона входных напряжений, можно использовать последовательное включение двух стабилизаторов понижающего и повышающего типа (рис. 1.7 а, б) в различных комбинациях, либо два последовательно включенных

инвертирующих импульсных стабилизатора (рис. 1.7(с)). При этом первый из стабилизаторов должен создавать свое выходное напряжение за пределами диапазона входных напряжений, а второй — формировать требуемое выходное напряжение.

Составные импульсные стабилизаторы, естественно, имеют определенные достоинства и недостатки. Несомненным и, пожалуй, единственным их достоинством является снижение уровня пульсаций на выходе. К недостаткам относятся сложность и громоздкость устройства (в первую очередь из-за необходимости использования двух дросселей) и низкий КПД. Кроме того, не следует забывать, что при последовательном соединении импульсных стабилизаторов необходимо принимать меры по исключению сквозных токов через два включенных ключевых элемента, то есть, необходимо определенным образом синхронизировать работу двух стабилизаторов.

Из вышесказанного, следует, что возникает необходимость использовать комбинированный импульсный стабилизатор, у которого выходное напряжение находится внутри диапазона входных напряжений.

1.2.2. Анализ вариантов создания комбинированного импульсного стабилизатора

С целью попытки реализации комбинированного импульсного стабилизатора, соединим последовательно схемы понижающего и повышающего стабилизаторов, как показано на рисунке 1.8(а).

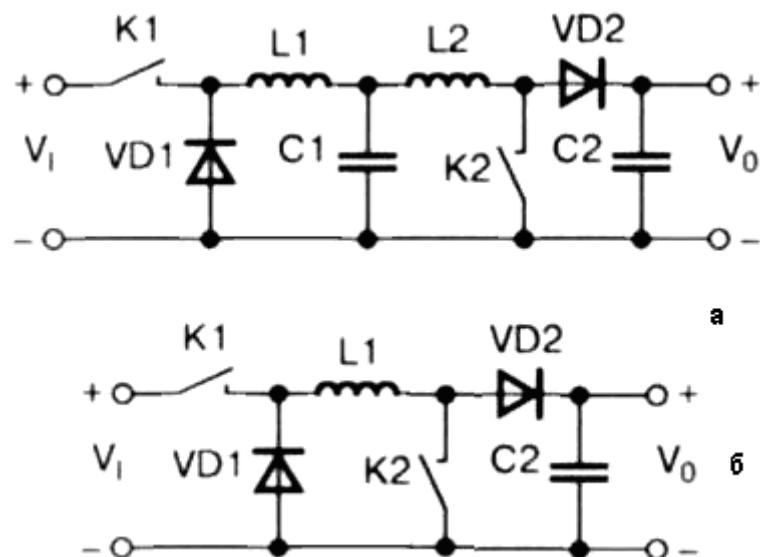


Рисунок 1.8 - Этапы формирования комбинированного стабилизатора

При внимательном рассмотрении этой схемы можно обнаружить, что две индуктивности $L1$ и $L2$ фактически включены последовательно. Одну из них можно убрать. Конденсатор $C1$ так же может быть удален. При этих изменениях исходная схема преобразуется в схему, изображенную на рисунке 1.8(б). При этом, если предположить, что на этой схеме регулирующий элемент $K2$ постоянно выключен, схема представляет собой типичный понижающий импульсный стабилизатор, у которого имеется лишний диод $VD2$, не мешающий ее работе. Если же предположить, что регулирующий элемент $K1$ постоянно включен, то мы имеем типовую схему повышающего импульсного стабилизатора, у которого имеется лишний диод $VD1$, который также работе не мешает. Таким образом, если разработать схему управления, которая бы анализировала входное напряжение и включала либо режим понижения, либо повышения напряжения, мы получим экономичный в смысле аппаратных затрат и габаритов комбинированный импульсный стабилизатор.

Так же асинхронная работа повышающего и понижающего преобразователя напряжения (в отличии от схем, где он работает синхронно) приводит к снижению суммарных динамических потерь в ключевых элементах, а, следовательно, к увеличению КПД.

Повышающий преобразователь напряжения может быть построен как на однотактной, так и на двухтактной схеме (трансформатор со средней точкой).

1.2.3 Импульсные преобразователи напряжения в комплексах энергопреобразующей аппаратуры

ИПН являются основой силовой энергопреобразующей аппаратуры СЭП КА. Они должны обеспечивать выполнение таких требований, предъявляемых к СЭП, как качество электроэнергии, высокие удельные характеристики, непрерывное управление потоками энергии.

ИПН достаточно хорошо изучены. Они могут выполняться по различным схемам: однотактным, двухтактным, без гальванической развязки между входом и выходом и с гальванической развязкой. По принципу регулирования различают релейные преобразователи и стабилизаторы, управляемые по принципам импульсной модуляции.

Принцип действия ИПН основан на квантовании потока электрической энергии силовым ключевым элементом (модуляция), накоплении энергии в сглаживающем фильтре (демодуляция) с последующей передачей ее в нагрузку. Обобщенную структурную схему ИПН можно представить, как совокупность источника питания E , силовой части (силовой ключевой элемент и сглаживающий фильтр), нагрузки N и схемы управления (рисунок 1.9).

Основные исходные данные для проектирования ИПН определяются по приведенным в ТЗ интегральным параметрам СЭП: диапазону изменения мощности нагрузки, диапазонам изменения напряжений и мощностей первичного источника и накопителя энергии, возмущающим воздействиям по цепям питания, нагрузки и управления, условиям и сроку эксплуатации.

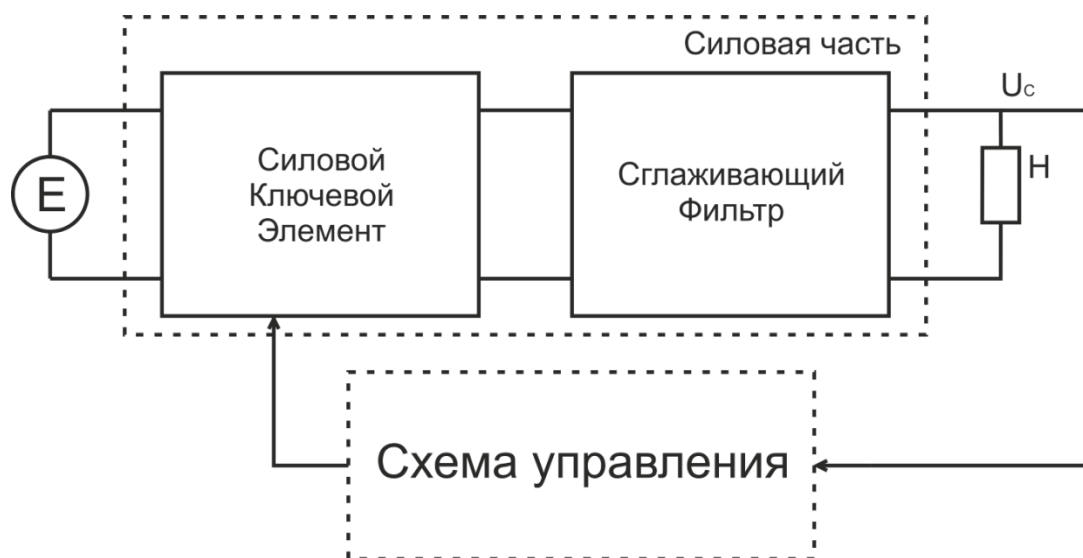


Рисунок 1.9 – Обобщенная структурная схема ИПН

При блочно-модульном построении СЭП, основанном на использовании унифицированных силовых модулей, требуемое количество модулей для каждой подсистемы определяется исходя из мощности единичного модуля, гарантируемой точности токораспределения при параллельной работе модулей, способа резервирования и обеспечения надежности СЭП. При этом мощность модуля определяется в основном частотами преобразования, имеющейся элементной базой (силовые транзисторы и конденсаторы фильтра) и конструктивными особенностями сглаживающих дросселей.

Вид функционально необходимой части ИПН определяется требованиями ТЗ, выполнение которых не может быть обеспечено (или нецелесообразно) контуром регулирования. Схема функционально необходимой части оптимизируется по энергетическим показателям с учетом ограничений по габаритам и массе. В то же время параметры силовой части оказывают значительное влияние на статические и динамические характеристики ИПН, поэтому выбор параметров контура регулирования следует проводить после выбора и расчета функционально необходимой части, учитывая нелинейный характер параметров электромагнитных и активных элементов.

Для сглаживания пульсаций напряжения или тока потребления от первичного источника и обеспечения надежной работы силовых ключей на входе ИПН устанавливается входной С- или LC-фильтр. Наличие на входе преобразователя сглаживающего фильтра может привести к возникновению автоколебаний из-за отрицательного значения активной составляющей входного сопротивления преобразователя на низких частотах. При выполнении определенных условий наличие входного фильтра практически не оказывает влияния на работу преобразователя. Для получения такого эффекта необходимо уменьшать комплексное сопротивление входного фильтра, что достигается увеличением его емкости.

Статическая точность – одна из важнейших характеристик ИПН, определяющая стабильность напряжения в нагрузке при изменении напряжения первичного источника и тока нагрузки. Еще более важной она становится в СЭП с несколькими первичными источниками (АБ), параллельная работа которых обеспечивается ИПН. Здесь она имеет два аспекта – стабильность напряжения сети и точность распределения тока между источниками при воздействии различных возмущений. Повышение статической точности ведет непосредственно к уменьшению объема и массы СЭП за счет снижения перегрузок одних и недогрузок других элементов, увеличению КПД, повышению надежности СЭП.

Схема управления ИПН должна обеспечивать необходимое качество параметров напряжения в установившихся и переходных режимах. Она, как правило, содержит источник опорного напряжения, усилитель сигнала ошибки и устройство квантования релейного или иного типа. В общую схему ИПН система управления входит как отрицательная обратная связь и представляет собой параллельную форму коррекции, при которой корректирующее звено подключается к силовой цепи ИПН встречно-параллельно.

На рисунке 1.10 представлена структурная схема ИПН со схемой управления на основе ШИМ.

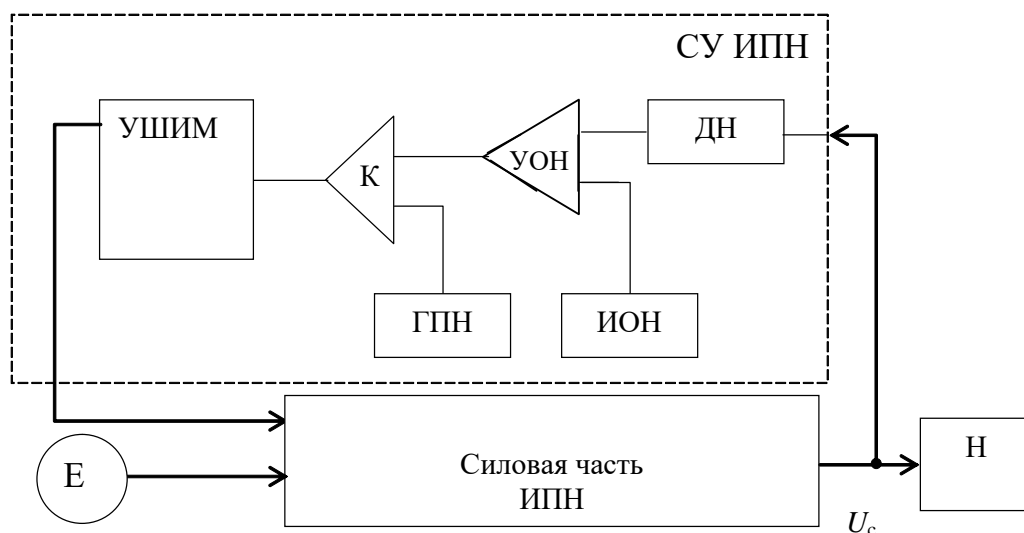


Рисунок 1.10 – Структурная схема ИПН со схемой управления на основе ШИМ

Е – источник питания; УШИМ – усилитель ШИМ-сигнала; К – компаратор; ГПН – генератор пилообразного напряжения; УОН – усилитель сигнала ошибки отрицательной обратной связи по напряжению; ИОН – источник опорного напряжения; СУ – схема управления ИПН; ДН – датчик напряжения; Н – нагрузка.

Способ управления основан на широтно-импульсной модуляции сигнала управления регулирующим элементом и заключается в том, что текущее значение стабилизированного напряжения U_c сравнивают с постоянным опорным напряжением, полученный сигнал ошибки усиливают и в моменты равенства синхронизирующего напряжения пилообразной формы с полученным усиленным сигналом ошибки формируют широтно-импульсный сигнал управления регулирующим элементом (силовыми ключами).

При проектировании автономных СЭП на основе блочно-модульного принципа конструирования возникает необходимость параллельного подключения к общей сети нескольких источников электроэнергии (БФ или АБ) через индивидуальные преобразовательные каналы. При этом преобразовательные каналы, наряду со стабилизацией напряжения сети,

должны обеспечивать согласование режимов работы источников, т. е. заданное распределение мощности между ними.

Только при условии заданного распределения мощности между параллельно работающими источниками в соответствии с их установленной мощностью и равномерного её распределения между идентичными силовыми преобразовательными модулями, входящими в каждый преобразовательный канал, возможно обеспечить миниатюризацию, высокую надежность и лучшие энергетические характеристики, в том числе реализовать многофазный режим работы преобразователей СЭП.

Для заданного распределения токов необходимо ввести в схему управления силовыми преобразовательными модулями дополнительные контуры отрицательной обратной связи по току.

В схеме управления ИПН автономных СЭП одновременно работают несколько контуров регулирования по напряжению и току, осуществляя стабилизацию напряжения, экстремальное регулирование мощности, токовую стабилизацию, равномерное токораспределение. При этом каждый контур управления обеспечивает хорошее качество процессов регулирования в своем режиме (стабильность, устойчивость и быстродействие), плавный переход из одного режима в другой и минимальное взаимное отрицательное влияние. Кроме того, ИПН обеспечивает функционирование СЭП в аварийных и специальных режимах: работу после полного разряда АБ и возобновления генерирования мощности БФ, тестовые профилактические и восстановительные работы с АБ и т. д.

Для снижения массы электромагнитных элементов ИПН частота коммутации силовых ключей должна быть достаточно высокой (50 – 100 кГц), при этом длительность переключения токов (для снижения коммутационных потерь) должна быть минимальной (50 – 200 нс).

1.2.4 Потери и КПД понижающего преобразователя напряжения.

Через обмотку дросселя проходит только постоянная составляющая, то есть I_H . Потери в открытом состоянии электронных приборов и потери в дросселе равны (1.4):

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{откр}} &= \frac{1}{T} \int_0^{t_{\text{и}}} I_H^2 r_{\text{кл}} dt + \frac{1}{T} \int_0^{t_{\text{п}}} I_H U_{\text{пор}} dt + \frac{1}{T} \int_0^{t_{\text{п}}} I_H^2 r_D dt + \frac{1}{T} \int_0^T I_H^2 r_{\text{др}} dt = \\ &= I_H^2 r_{\text{кл}} D + I_H U_{\text{пор}} (1 - D) + I_H^2 r_D (1 - D) + I_H^2 r_{\text{др}}. \end{aligned} \quad 1,4$$

Приняв сопротивление ключа и диода за время проводящего состояния равным ($r_{\text{кл}} = r_D = r$), запишем проще потери $\Delta P_{\text{откр}}$:

$$\Delta P_{\text{откр}} = I_H^2 (r + r_{\text{др}}) + I_H U_{\text{пор}} (1 - D) = U_{\text{вых}} I_H \frac{r + r_{\text{др}}}{R} + I_H U_{\text{пор}} (1 - D), \quad 1,5$$

Как уже было сказано, при расчете потерь на переключение диод считается безынерционным прибором в отличие от транзистора (ключа). Такое допущение занижает расчетные потери по сравнению с потерями в реальной схеме, не показывает влияние сквозного тока в ключе и диоде в реальных устройствах при переключении, но позволяет достаточно просто показать качественную картину динамических потерь в регуляторе. Процессы при включении ключа и его отключении в понижающем преобразователе с учетом сделанного допущения показаны на рис 1.11а, б.

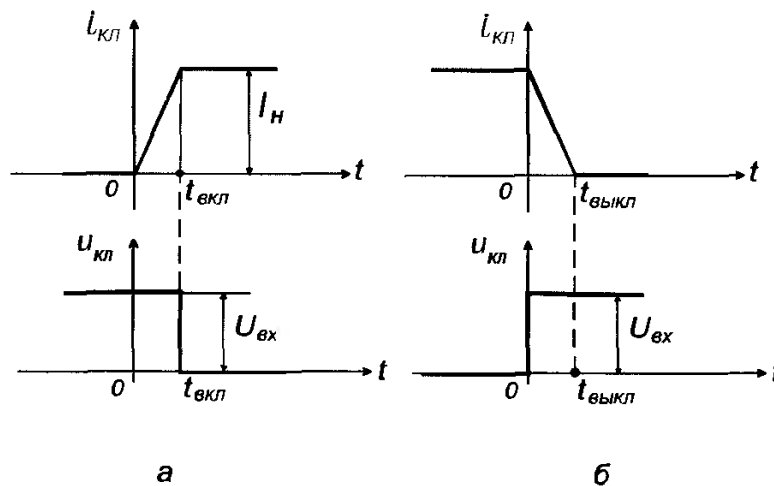


Рисунок 1.11 Процессы включения (а) и выключения (б) в понижающем преобразователе

Потери на переключение равны средней мощности, рассеиваемой в ключе за время его включения и выключения:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{пер}} &= \frac{1}{T} \int_0^{t_{\text{вкл}}} U_{\text{кл}} i_{\text{к вкл}} dt + \frac{1}{T} \int_0^{t_{\text{выкл}}} U_{\text{кл}} i_{\text{к выкл}} dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^{t_{\text{вкл}}} U_{\text{вх}} I_H \frac{t}{t_{\text{вкл}}} dt + \frac{1}{T} \int_0^{t_{\text{выкл}}} U_{\text{вх}} I_H \left(1 - \frac{t}{t_{\text{выкл}}}\right) dt = \\ &= \frac{1}{2} \frac{U_{\text{вх}} I_H}{T} (t_{\text{вкл}} + t_{\text{выкл}}), \end{aligned} \quad 1,6$$

Принимая время включения равным времени выключения и учитывая РХ рассматриваемого регулятора, получим:

$$\Delta P_{\text{пер}} = U_{\text{вх}} I_H f \frac{t_{\text{пер}}}{D}, \quad 1,7$$

Последнее соотношение показывает, что с уменьшением коэффициента заполнения, то есть с ростом входного напряжения потери на переключение возрастают.

Определим КПД понижающего преобразователя, используя (1.5) и (1.7):

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_H}{P_H + \Delta P_{\text{откр}} + \Delta P_{\text{пер}}} = \frac{U_{\text{вых}} I_H}{U_{\text{вых}} I_H + U_{\text{вых}} I_H \frac{r+r_{\text{др}}}{R} + U_{\text{пор}} I_H (1-D) + U_{\text{вых}} I_H f \frac{t_{\text{пер}}}{D}} = \\ &= \left[1 + \frac{r+r_{\text{др}}}{R} + \frac{U_{\text{пор}}}{U_{\text{вых}}} (1-D) + f \frac{t_{\text{пер}}}{D} \right]^{-1}, \end{aligned} \quad 1,8$$

Соотношение (1.8) показывает, что энергетически выгодно использовать схему преобразователя понижающего типа при значениях D близких к единице.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM51	Щербакову Евгению 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»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

<i>Карта сегментирования рынка</i>	
<i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i>	
<i>График проведения и бюджет НИИ</i>	
<i>Календарный план проекта</i>	
<i>Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Гантта)</i>	
<i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i>	

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	Щербаков Евгений Сергеевич		

ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель раздела – комплексное описание и проведения анализа финансовоэкономических аспектов выполненной работы. Необходимо провести расчет полных денежных затрат на исследование, а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

Предпроектный анализ

Потенциальные потребители результатов исследования

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

Карта Сегментирования рынка

	Вид области		
	Научно-исследовательская	Космическая	Промышленность
Российские			
Зарубежные			

	Сегмент освоен
	Сегмент освоен слабо
	Сегмент освоен или информация не найдена

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Поскольку рынок пребывает в постоянном движении, необходимо систематически производить детальный анализ конкурирующих разработок. Проведение такого анализа помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешно противостоять конкурентным разработкам и определить направления ее будущего повышения. 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 5.2). 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, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Наиболее конкурентными разработками для преобразователя зарядно-разрядного устройства являются: одноконтурные, двухконтурные, мостовые и полумостовые схемы преобразователей с гальванической и без гальванической развязки.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

Таблица 6 – 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	0,06	5	3	4	0,3	0,18	0,24
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	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
6. Уровень шума	0,02	5	5	4	0,1	0,1	0,08
7. Безопасность	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
9. Простота эксплуатации	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,01	4	4	3	0,04	0,04	0,03
11.Массогабаритные параметры устройства	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09
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	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
6. Срок выхода на рынок	0,01	1	3	3	0,02	0,03	0,03
7. Наличие сертификации разработки	0,09	2	5	5	0,18	0,45	0,36
Итого	1	71	65	59	4,17	3,56	3,3

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод, что разработанный преобразователь ЗРУ СЭП КАна данном этапе достаточно конкурентоспособны. Таким образом, разрабатываемый проект является перспективным, поскольку обладает рядом уникальных свойств, гибкостью, а также относительно невысокой ценой.

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 7 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (4.2)$$

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

B_i – балл по i -му показателю.

Таблица 7 – 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	4
2. Определены перспективные направления коммерциализации	4	3
3. Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4. Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	2
5. Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6. Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
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	2	1
15.Проработан механизм реализации научного проекта	4	3
ИТОГО БАЛЛОВ	39	35

На основе данных, представленных в таблице 1.2, можно говорить о том, что проект не готов к коммерциализации, так как имеет ряд недоработок, устраняемых научной группой.

Проводить анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения удобно с помощью оценочной карты (таблица 7). 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 1.3, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Инициализация проекта

Цели и результаты проекта

В таблице 8 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 8 – 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 9 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 9 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка модуля ЗРУ СЭП КА в соответствии с требованиями к космической аппаратуре
Ожидаемые результаты проекта:	Получение готового макета модуля
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособный макет преобразователя, технические характеристики которого соответствуют техническому заданию
Требования к результату проекта:	Требование:
	Удельные характеристики преобразователя в соответствии с требованиями заказчика
	Учет влияния внешних факторов
	Входные и выходные параметры необходимые заказчику

Организационная структура проекта

В таблице 10 приведена информация о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатратах каждого.

Таблица 10 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, день
1. Научный руководитель проекта	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта в области электроники, проведение экспериментов с макетом разработки, участие в обсуждениях по результатам работы, промежуточная проверка достигнутых результатов	29
2. Исполнитель по проекту	Обзор литературы о принципах построения зарядно-разрядных устройств для СЭП КА, использование импульсных преобразователей напряжения, управление силовыми ключами. Участие в обсуждениях по результатам работы.	130
ИТОГО:		159

Планирование управления научно-техническим проектом

План проект

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ (Таблица 11).

Таблица 11 – 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	09.01.2017	5	9.01.2017	3
3	Подбор и изучение литературы по теме исследования	И	-	-	9.01.2017	6
4	Изучение принципов построения преобразователей для космической аппаратуры	И	-	-	15.01.2017	8
5	Анализ существующих методов построения импульсных преобразователей напряжения для ЗРУ СЭП КА	И	-	-	23.01.2017	15
6	Анализ принципиальных схем модулей систем электропитания космических аппаратов	И	-	-	07.02.2017	5
7	Разработка принципиальной схемы преобразователя	НР, И	12.02.2017	1	12.02.2017	10
8	Подбор элементов	НР, И	25.02.2017	3	25.02.2017	7
9	Монтаж макета преобразователя ЗРУ СЭП КА	И	-	-	04.03.2017	35
10	Исследование макета, получение осциллограмм	И	-	-	8.04.2017	15
11	Анализ результатов. Оформление расчетно-пояснительной записки	НР, И	23.05.2017	5	23.05.2017	10
12	Сдача разработки и отчета о работе	НР, И	04.06.2017	11	04.06.2017	11

Целесообразно применять линейное планирование с построением диаграммы Ганта, представленной в таблице 12. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 12 – 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	5	1				■													
Подбор и изучение литературы по теме исследования	-	6				■													
Изучение принципов построения преобразователей для космической аппаратуры	-	8				■													
Анализ существующих методов построения импульсных преобразователей напряжения для ЗРУ СЭП КА	-	15					■	■											
Анализ принципиальных схем модулей систем электропитания космических аппаратов	-	5							■										
Разработка принципиальной схемы преобразователя	1	10							■	■									
Подбор элементов	3	7								■	■								
Монтаж макета преобразователя ЗРУ СЭП КА	-	35									■	■	■	■					
Исследование макета, получение осциллограмм	-	15												■	■				
Анализ результатов. Оформление расчетно-пояснительной записки	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, 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 специального оборудования, комплектующих изделий приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Специальные оборудования, комплектующие изделия

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Принтер	1	4000	4000
Расходные материалы	1	1000	1000
Канцелярские товары	1	100	100
ПК на базе процессора Pentium 4	1	10000	10000
Осциллограф	1	5000	5000
Источник питания Б5-49	1	5000	5000
Генератор импульсов Г5-82	1	4000	4000
Конденсаторы элетролитические	30	11	330

Конденсаторы керамические	20	8	160
Диоды	10	5	50
Транзисторы	4	600	2400
Прочие материалы	1	3000	3000
Всего за материалы			35040
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			1051
Итого по статье С_м			36091

Основная заработная плата

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (3)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}, \quad (5)$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot k_p, \quad (6)$$

где Z_b – базовый оклад, руб;

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	18500	1,3	24050	3334,933	26	86708,27
Инженер	9000	1,3	11700	1622,4	130	210912

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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (7)$$

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

В таблице 15 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 15 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Научный руководитель	Инженер
Основная зарплата	86708,2	210912
Дополнительная зарплата	8670,82	21091,2
Зарплата исполнителей	95379,08	232003,2
Итого по статье $C_{зп}$	327382,28	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (8)$$

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

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

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 327382,286 = 98214,69 \text{ руб.}$$

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:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (9)$$

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

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 327382,28 = 261905,8 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы (таблица 16).

Таблица 16 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	36091,2
Основная заработная плата	327382,28
Дополнительная заработная плата	29762,02
Отчисления на социальные нужды	98214,68
Накладные расходы	261905,82
Итого себестоимость НИР	753356,02

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:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (10)$$

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:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (11)$$

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 17

Таблица 17– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2	$I_{\text{тп}}$	$I_{\text{ан1}}$	$I_{\text{ан2}}$
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45

требованиям потребителей)							
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 17 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов. Таким образом, разработанный преобразователь является более ресурсоэффективной разработкой, относительно имеющихся на рынке аналогов.

Список публикаций

Щербаков Е.С., Киселева Е.И., Лейман В.В., Развитие силовых преобразовательных устройств для комплексов автоматики и стабилизации систем электропитания космических аппаратов// V Международный молодежный форум «Инженерия для освоения космоса» ПМЭ ТПУ, 19.04.2017, (в печати)