

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 11.04.04 «электроника и наноэлектроника»
Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование многофазного резонансного инвертора

УДК 621.341.572

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Царёва Татьяна Викторовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ПМЭ	Огородников Дмитрий Николаевич	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. каф. менеджмента	Чистякова Наталья Олеговна	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ЭБЖ	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Губарев Федор Александрович	к. ф.-м. н		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	Профессиональные компетенции
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
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путем 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
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.
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
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчеты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения

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 преподавателя
Универсальные компетенции	
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
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
P9	Разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении, проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности

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

Институт неразрушающего контроля (ИНК)
Направление подготовки (специальность) 11.04.04 «электроника и наноэлектроника»
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Губарев Ф. А.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1AM41	Царёвой Татьяне Викторовне

Тема работы:

Исследование многофазного резонансного инвертора	
Утверждена приказом директора ИНК	№ 2942/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.).	Объектом исследования является схема многофазного резонансного инвертора с выходным стабилизированным напряжением синусоидальной формы
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).	• Литературный обзор (способы формирования синусоидального напряжения); • Разработка структурной и принципиальной схемы; • Эксперимент (определение работоспособности схемы двухфазного резонансного инвертора, сравнение с однофазной схемой);
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	нет

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Чистякова Наталья Олеговна
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Иностранный язык	Огородников Дмитрий Николаевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Разработка схемы двухфазного резонансного инвертора	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Огородников Дмитрий Николаевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Царёва Татьяна Викторовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 42 рис., 18 табл., 46 источников.

Ключевые слова: резонансный инвертор, двухфазный инвертор, стабилизация выходного напряжения, коэффициент гармоник.

Объектом исследования является схема многофазного резонансного инвертора.

Цель работы - разработка и исследование формирователя однофазного синусоидального напряжения на основе резонансного инвертора с улучшенными технико-экономическими показателями.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор литературных источников, моделирование и отладка разработки, обсуждение и анализ результатов выполненной работы, анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения, социальная ответственность.

В результате исследования удалось показать потребление тока от источника питания по двум параллельным фазам, которое привело к уменьшению коэффициента формы тока, а также снизило коэффициент гармоник выходного напряжения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: автономный источник питания — постоянное напряжение 54В, выходное синусоидальное напряжение 200В, частота выходного напряжения 400Гц, выходная номинальная мощность 500Вт.

Степень внедрения: модель схемы в среде OrCAD.

Область применения: научно-исследовательские организации и предприятия, авиационная промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы: за счет использования многофазного резонансного инвертора увеличивается ресурсоэффективность за счет уменьшения массогабаритных параметров входного сглаживающего фильтра.

В будущем планируется создание работоспособного макета многофазного резонансного инвертора

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
2. ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности
3. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
4. ГОСТ 12.2.033-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования
5. ГОСТ Р 54149-2010. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
6. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение
7. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях
8. ГОСТ Р 54073-2010. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

инвертирование: процесс преобразования постоянного напряжения в переменное.

автономный инвертор: преобразователь постоянного тока в переменный, который работают на сеть, в которой нет других источников электроэнергии

«Обозначения и сокращения»:

РИ — резонансный инвертор

АИТ — автономный источник тока

АИН — автономный источник напряжения

ПИД – пропорционально-интегрально-дифференциальный

Оглавление

Введение.....	10
1 Способы формирования синусоидального напряжения.....	14
1.1 Классификация инверторов и области применения.....	14
1.2 Трансформаторный инвертор.....	16
1.3 Автономный инвертор тока.....	18
1.4 Автономный инвертор напряжения.....	24
1.5 Модуляционные способы формирования выходного напряжения.....	28
1.6 Автономный резонансный инвертор.....	31
2 Анализ автономных резонансных инверторов.....	33
2.1 Основные схемы и характеристики автономного резонансного инвертора.....	33
2.2 Усовершенствованная схема параллельного резонансного инвертора.....	40
2.3 Система управления.....	45
3 Разработка схемы двухфазного резонансного инвертора.....	50
3.1 Структурная схема.....	50
3.2 Принципиальная схема.....	51
3.3 Расчет элементов схемы.....	51
4 Экспериментальная часть.....	57
4.1 Моделирование.....	57
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
5.1 Предпроектный анализ.....	69
5.2 Инициализация проекта. Организационная структура проекта.....	70
5.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	73
5.4 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	83

6 Социальная эффективность.....	87
6.1 Производственная безопасность.....	87
6.2 Экологическая безопасность.....	90
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	91
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	91
Заключение.....	98
Список публикаций.....	99
Список использованных источников.....	100
Приложение А Раздел на иностранном языке.....	103

Введение

Актуальность работы

В настоящее время существует огромное количество устройств, которые питаются от автономных источников (аккумуляторы, солнечные батареи и т.д.). Автономные источники выдают постоянное напряжение и ток, но для некоторых устройств необходима синусоидальная форма входного напряжения.

Выходное напряжение синусоидальной формы является наиболее универсальным, т.к. при нем обеспечивается эффективная работа всех видов нагрузок переменного тока. Иногда данная форма напряжения становится целесообразной в схемах промежуточного преобразования при питании нагрузок постоянного тока, т.к. коммутация силовых ключей происходит при токе близком к нулю, благодаря чему уменьшаются высокочастотные пульсации, радиопомехи, а, значит, массогабаритные параметры фильтрующих узлов в инверторе, потребителе и линии связи.

Перспективным видом преобразователей, для реализации данной функции, являются резонансные инверторы. Периодический характер электромагнитных колебаний в них вызван свойствами LC-контура, работающего на резонансной частоте. Благодаря синусоидальной форме выходных величин данные устройства имеют некоторые преимущества перед другими видами преобразователей: минимальные потери энергии на коммутацию силовых ключей; высокая надежность работы; малый уровень высокочастотных помех и перенапряжений на элементах; уменьшение несимметрии рабочих контуров в смежных полупериодах; возможность применения в инверторе ключей с неполной управляемостью, например, тиристоров и т.д [1]. Кроме того, работа в режиме резонанса колебательного контура дает возможность получить коэффициент усиления больше 1 не используя трансформаторов. Несмотря на описанные преимущества резонансных инверторов, в доступной литературе рассматриваются только их наиболее простые схемы, применение которых не получило широкого

использования на практике для формирования напряжения синусоидальной формы, так как величины выходного напряжения имеют сильную зависимость от добротности контура. Но при этом, имеются схемные решения, благодаря которым возможна стабилизация выходного напряжения несмотря на воздействия на устройство различных дестабилизирующих факторов.

Цель работы

Целью работы является исследование формирователя однофазного квазисинусоидального напряжения на основе усовершенствованной схемы двухфазного резонансного инвертора.

Объект исследования

Объектом исследования является схема многофазного резонансного инвертора.

Защищаемые положения

1. Схема двухфазного резонансного инвертора обеспечивает формирование синусоидального выходного напряжения требуемого качества.
2. Использование двухфазной схемы в резонансном инверторе позволяет снизить энергию, запасаемую входным фильтром, на 10 и более процентов при изменении нагрузки от 0.1 до 0.9 от номинального значения.

Научная новизна

1. Впервые предложена двухфазная система ввода энергии в резонансный контур с транзисторными ключами.

Практическая значимость

1. Разработана схема двухфазного резонансного инвертора, благодаря которой уменьшаются массогабаритные параметры входного сглаживающего фильтра.
2. Исследования модели схемы двухфазного резонансного инвертора показали, что система управления обеспечивает стабилизацию выходного напряжения в широком диапазоне изменения нагрузки. Коэффициент гармоник выходного напряжения при этом не превысил 5%.

Личный вклад автора

Личный вклад автора состоит в

- расчет и настройка схем исследования;
- проведение экспериментальных исследований;
- обработка полученных экспериментальных данных.

Постановка задачи исследований, анализ полученных данных осуществлялись совместно с научным руководителем. Результаты, составившие основу защищаемых положений, получены лично автором, либо при его определяющем участии.

Апробация результатов работы

Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на следующей конференции:

1. 6 Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» г.Томск, 2016 г.

Общее число публикаций по теме — 1.

Структура и краткое содержание работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, состоящего из ссылок.

Во введении обсуждается актуальность работы, сформулирована цель, задачи исследования, представлены защищаемые положения. Отмечается научная новизна и практическая значимость, приводится краткое содержание работ.

В первой главе проведен литературный обзор по теме исследования. Кратко рассматриваются способы формирования синусоидального напряжения, выявляются их достоинства и недостатки. Показывается актуальность и перспективность использования автономных резонансных инверторов.

Во второй главе рассматриваются различные схемные решения резонансных инверторов, приводятся их слабые и сильные стороны.

Показывается возможность модификации схемы параллельного резонансного инвертора. Приводится алгоритм ее работы. Рассматриваются системы управления

В третьей главе строится структурная и принципиальная схемы устройства. Производится расчет схемы исследования.

В четвертой главе приводится модель схемы многофазного резонансного инвертора, собранная в среде OrCAD. Представляются результаты исследования.

В пятой главе проводится анализ значимости работы, оценка коммерческого и инновационного потенциала разработки, разрабатывается план проекта и расчет бюджета научного исследования, оценивается сравнительная эффективность исследований.

В шестой главе проводится ноксологический анализ инновационных решений по теме диссертации на предмет возникновения вредных и опасных проявлений факторов рабочей среды, предложены средства защиты. При анализе негативного воздействия на окружающую природную среду было обнаружено, что существенного влияния на окружающую среду не оказывается. Приводятся меры по предупреждению наиболее типичной чрезвычайной ситуации.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

1 Способы формирования синусоидального напряжения

1.1 Классификация инверторов и области применения

Для формирования синусоидального напряжения от источника постоянного напряжения используется инвертирование. Инвертированием называется процесс преобразования постоянного напряжения в переменное. Устройства, осуществляющие такое преобразование, являются инверторами. Работа инвертора основана на том, что ток в ветвях периодически прерывается с помощью вентилях. В качестве вентилях используют тиристоры, МОП-транзисторы, биполярные транзисторы с изолированным затвором.

Основные свойства инверторов [2]:

Устранение или ослабление зависимость работы различных устройств от качества сетей переменного тока. Например, с помощью бесперебойного источника питания, построенного на базе аккумуляторной батареи и инвертора, можно обеспечить непродолжительную, а в ответственных системах и длительную работу оборудования параллельно с сетью или независимо от нее.

Широкое развитие получили технологии, когда инвертор является промежуточным звеном в цепочке преобразования энергии. Принципиальной особенностью в таких приложениях является высокая частота преобразования (до нескольких сотен кГц). Для эффективной работы преобразователя на высокой частоте требуется более совершенная и дорогостоящая элементная база.

Инвертор должен обладать высоким КПД, высокой надежностью и иметь приемлемые массогабаритные характеристики. Кривая выходного напряжения должна иметь установленный ГОСТ уровень высших гармоник (допустимое значение коэффициента гармоник). Уровень пульсаций на зажимах источника должен оставаться в пределах допустимого для работы

других потребителей.

Инверторы делятся на 2 типа:

- Зависимые или ведомые сетью;
- независимые или автономные инверторы.

Для работы зависимого инвертора в его выходной цепи должен находиться источник переменного напряжения, функцией которого является задание формы, частоты и величины напряжения, сети переменного напряжения, которую он организовал. К данной сети могут быть подключены потребители переменного тока, и задачей такого является поставка в эту сеть дополнительной активной энергии, которой не хватает. При этом линия состоит из выпрямителя и зависимого инвертора. Выпрямитель, преобразующий переменное напряжение в постоянное, находится на передающем конце и преобразует переменное напряжение в постоянное, а инвертор, расположен на принимающем конце, он преобразует постоянное напряжение в переменное, при этом добавляя в приемную энергосистему свою активную мощность.

Автономный инвертор - это преобразователи постоянного тока в переменный, работа которых не зависит от источников переменного тока. Переключение ключей в них осуществляются с помощью применения вентиля с полным управлением или устройств искусственной коммутации. При этом частота выходного напряжения устанавливается частотой переключения вентиля, а значение выходного напряжения - параметрами нагрузки и системой регулирования [3].

Автономные инверторы применяют в различных областях [4]:

1. В системах электроснабжения потребителей переменного тока, когда единственным источником питания является источник напряжения постоянного тока (аккумуляторная или солнечная батарея).
2. В системах гарантированного электроснабжения при исчезновении напряжения сети питания (для личных нужд электростанций, ЭВМ).
3. Для частотного регулирования скорости асинхронных двигателей.

4. Для питания потребителей переменного тока от линий электроснабжений постоянного тока.

5. В конверторах, преобразуя постоянное напряжение одного значения в постоянное напряжения другого значения.

Несмотря на большое разнообразие, все схемы инверторов могут быть выделены в четыре большие группы: трансформаторные инверторы, автономные инверторы напряжения, инверторы тока и резонансные.

1.2 Трансформаторный инвертор

Первыми появились инверторы на основе трансформаторов. Блок-схема инвертора приведена на рисунке 1.1.

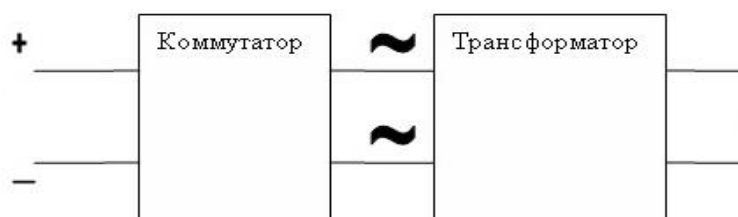


Рисунок 1.1 - Блок-схема трансформаторного инвертора

Источник энергии постоянного тока, в самом распространенном случае аккумулятор, подключается к трансформатору через трехпозиционный коммутатор. Коммутатор представляет собой набор электронных ключей, обеспечивающий 3 состояния: к первичной обмотке трансформатора подключен источник питания положительной полярностью, к первичной обмотке трансформатора подключен источник питания отрицательной полярностью и состояние, когда первичная обмотка замкнута. Последовательно переключая эти состояния, на первичной обмотке формируется переменное напряжение выходной частоты и амплитудой равной источнику. На вторичной обмотке трансформатора при этом формируется напряжение с той же частотой и формой, однако эффективное напряжение

составляет необходимое. Графики напряжения на трансформаторе приведены на рисунке 1.2. Выходное напряжение снимается с вторичной обмотки, поэтому имеет такие же параметры.



Рисунок 1.2 - Графики напряжения на трансформаторе

Данная форма напряжения называется «модифицированная синусоида» и широко применяется в инверторах для сети 50Гц. Вообще параметры, задающие форму модифицированной синусоиды, это амплитуда выходного напряжения и коэффициент заполнения, показывающий отношение длительности импульса к периоду сигнала. Эти параметры задаются при конструировании инверторов. В инверторе данного типа амплитуда выходного напряжения получается зависящей прямо пропорционально от напряжения источника. Если в качестве источника энергии используется аккумулятор, а это самый распространенный случай, то его напряжение при разряде понижается, и амплитуда модифицированной синусоиды на выходе преобразователя также понижается, соответственно понижается и эффективное значение напряжения на выходе преобразователя. Для того чтобы улучшить качество энергии на выходе преобразователя в этих условиях часто применяют схемы управления, которые изменяют коэффициент заполнения выходного напряжения таким образом, чтобы поддерживать эффективное напряжение неизменным. Однако

форма напряжения и его амплитуда меняется, что может быть недопустимо для некоторых нагрузок [5].

Так как основным элементом инвертора этого типа является трансформатор, возможности по миниатюризации, уменьшении материалоемкости и повышении эффективности работы инвертора весьма ограничены.

1.3 Автономный инвертор тока

Автономный инвертор тока имеет ряд отличительных энергетических особенностей. Первое, входная цепь инвертора тока обладает свойствами источника постоянного тока, а задача вентиля заключается в периодическом переключении направления этого выходного тока цепи инвертора. Получается, что на выходе вентильного коммутатора формируется переменный ток, т.е. в цепи появляются свойства источника переменного тока. Второе, необходима нагрузка, допускающая протекание скачкообразно меняющегося тока. Таким образом нагрузка инвертора должна обладать свойствами, близкими к источнику напряжения, т.е. иметь значения близкие к нулевому внутреннему динамическому сопротивлению. На практике это реализуется с помощью включения конденсатора на выход вентильного коммутатора. После которого появляется возможность подключения любой реальной нагрузки, которая не допускает скачков тока [6].

1.3.1 Схемные решения автономного инвертора тока

Принципиальная классическая схема параллельного однофазного инвертора тока показана на рисунке 1.3. Коммутационную функцию в данном случае выполняет однофазная мостовая тиристорная схема. Для создания режима источника тока на входе инвертора, который получает питание от входного источника напряжения, в цепь постоянного тока необходимо

включить дроссель L_d , индуктивность которого будет достаточна для подавления пульсаций входного тока. Кроме того, L_d выполняет функции фильтра высших гармоник, так как к нему в любой момент времени прикладывается разность между неизменным напряжением источника питания и пульсирующим напряжением на выходе автономного инвертора. Препятствует разряду конденсатора на источнике питания во время коммутации токов тиристоров, а также обеспечивает апериодический режим работы инвертора, характеризующийся малыми пульсациями входного тока. Нагрузка инвертора состоит из сопротивления R .

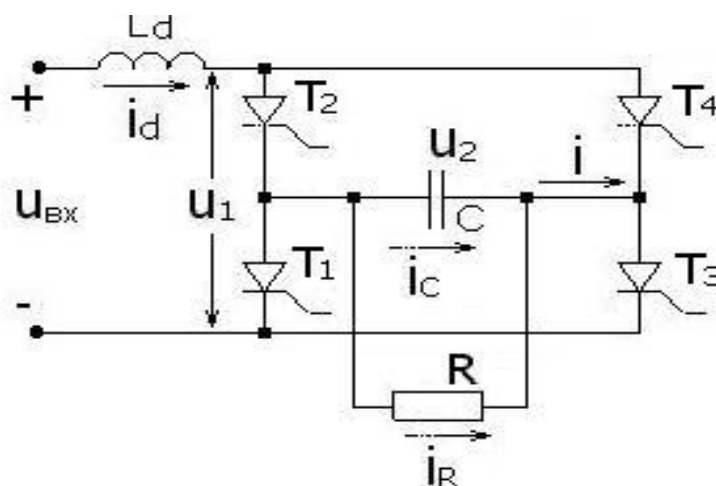
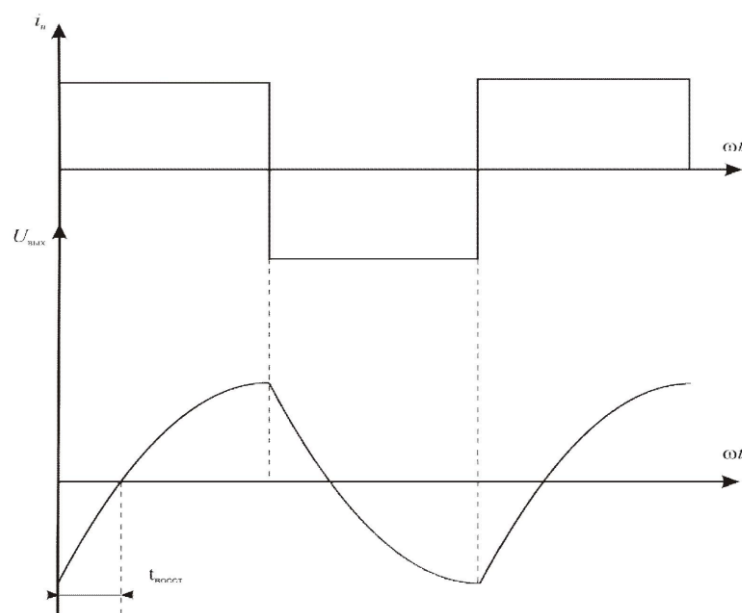


Рисунок 1.3 - Схема параллельного однофазного инвертора тока

Выходное напряжение формируется при поочередном включении тиристоров расположенных по диагонали моста, рисунке 1.4.



Рисунке 1.4 - Кривые выходных токов и напряжений

В результате на выходе инвертора формируется прямоугольный, двуполярный ток. Для обеспечения протекания такого тока выходная цепь должна иметь малое внутреннее динамическое сопротивление. На практике это осуществляется включением конденсатора C на выходе вентильного коммутатора, протекание через который прямоугольного, двуполярного тока порождает переменное изменяющееся по экспоненциальному закону напряжения, что позволяет после него подключить любую реальную нагрузку с индуктивностью, которая не допускает скачков тока. Кроме того, конденсатор выполняет роль энергетического буфера по току между выходом инвертора с разрывным током и нагрузкой, участвует в формировании выходного напряжения и обеспечивает искусственную коммутацию тиристоров.

В момент, когда проводят тиристоры $VS1, VS4$, заряд конденсатора C происходит от входного источника напряжения с полярностью плюс слева и минус справа. В момент отпирания $VS2, VS3$ напряжение конденсатора прикладывается с запирающей полярностью к ранее проводившим тиристорам $VS1, VS4$ и выключает их. Конденсатор начинает перезаряжаться в обратную полярность, за время действия обратного напряжения $t_{восст}$ тиристоры $VS1, VS4$ должны успеть восстановить свои запирающие свойства. Из чего следует, что

автономный инвертор тока имеет ограничение на предельное значение тока нагрузки, так как с увеличением тока нагрузки процесс перезаряда конденсатора после каждой коммутации ускоряется, а значит, время, в течение которого к тиристорам прикладывается обратное напряжение, необходимое для восстановления управляющих свойств.

Зависимость относительного выходного напряжения от относительной проводимости нагрузки $U_{\text{вых}}^* = f(1/R^*)$ или квазивнешняя характеристика инвертора тока показана на рисунке 1.5 [6].

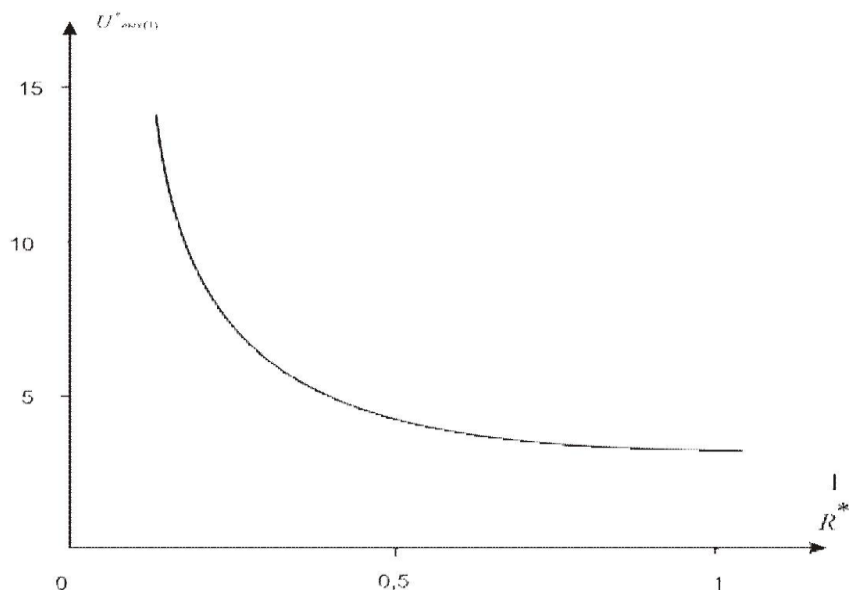


Рисунок 1.5 - Квазивнешняя характеристика инвертора

Автономный источник тока имеет ряд недостатков, такие как [7]:

- не допускает работы на холостом ходу;
- ток нагрузки ограничен предельным значением;
- внешняя характеристика инвертора имеет участок с резким спадом напряжения;
- форма выходного напряжения имеет сильную зависимость от величины нагрузки;
- скорость изменения режима определяется скоростью изменения тока в дросселе с большой индуктивностью L_d , поэтому данный преобразователь является инерционным;
- не подходит для получения выходного напряжения низких частот, так

как при этом увеличиваются массогабаритные параметры дросселя и конденсатора.

Для устранения или ослабления перечисленных выше недостатков предлагаются следующие схемотехнические модификации классической схемы параллельного инвертора тока [8]:

- добавление дополнительных конденсаторов на выходе инвертора (рисунок 1.6);
- включение в схему отсекающих вентилях (рисунок 1.7 а);
- установка тиристорно-индуктивного регулятора (рисунок 1.7 б);
- использование вентилях обратного тока (рисунок 1.8);
- использование ШИМ выходного тока инвертора.

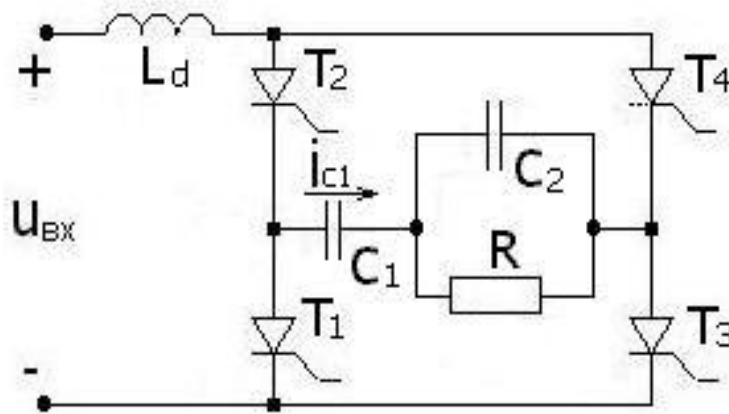


Рисунок 1.6 - Параллельный АИТ с дополнительным конденсатором на выходе

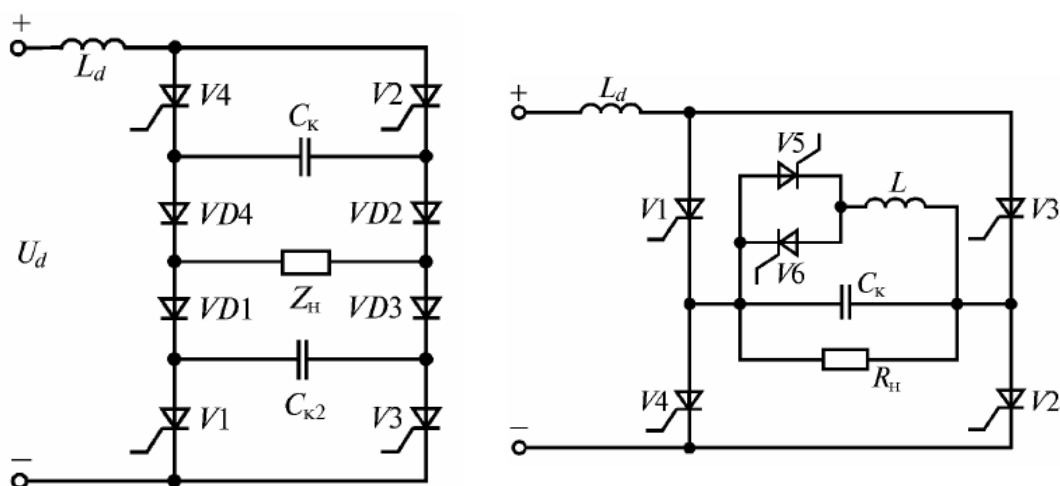


Рисунок 1.7 - Параллельный АИТ с отсекающими диодами (а), с индуктивно-тиристорным компенсатором (б)

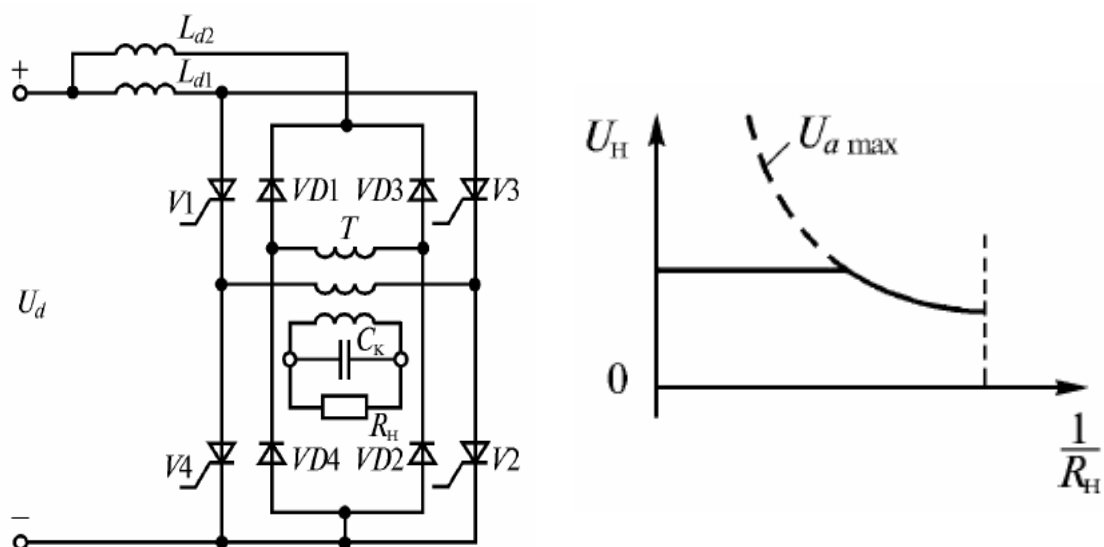


Рисунок 1.8 - Параллельный АИТ с обратным выпрямителем и его внешняя характеристика

Рассмотрев модифицированные схемы автономного инвертора тока можно выделить следующие свойства:

- классическая схема инвертора отличается высокой зависимостью величины и формы выходного напряжения от значения и характера нагрузки;
- реализация режима источника тока требует большой величины

индуктивности дросселя, это приводит к ухудшению массогабаритных параметров инвертора;

- высокая степень инерционности регулирования величины выходного напряжения за счет регулирования входного напряжения инвертора из-за большой электромагнитной постоянной времени дросселя в звене постоянного тока;

- уменьшение диапазона изменения выходного напряжения инвертора в модифицированной схеме с помощью использования выпрямителей обратного тока или тиристорно-индуктивного регулятора;

- уменьшения величины емкости коммутирующего конденсатора за счет добавления отсекающих вентиля;

- при использовании метода широтно-импульсного формирования токов вентиля, возможно улучшить гармонический состав выходного напряжения инвертора;

1.4 Автономный инвертор напряжения

Название обусловлено режимом работы источника питания, который работает в режиме источника напряжения. В качестве источника используют либо аккумулятор, либо выпрямитель. На выходе выпрямителя включают конденсатор большой емкости, шунтирующий источник питания по переменному току и обеспечивающий проводимость в обратном направлении. В качестве вентиля могут применяться транзисторы, одно- или двух-операционные тиристоры. В случае использования однооперационных тиристоров схемы дополняют элементами, предназначенными для искусственной коммутации тиристоров. АИН формирует в нагрузке напряжение прямоугольной формы, а форма тока определяется характером нагрузки. АИН находит большое применение в преобразовательной технике, его иначе называют универсальным модулем преобразования электроэнергии [9].

1.4.1 Схемные решения автономного инвертора напряжения

На рисунке 1.9 приведена схема однофазного мостового АИН. Представленная схема является наиболее распространенной схемой данного типа. Форма выходного напряжения определяется видом коммутационной функции вентильного комплекта.

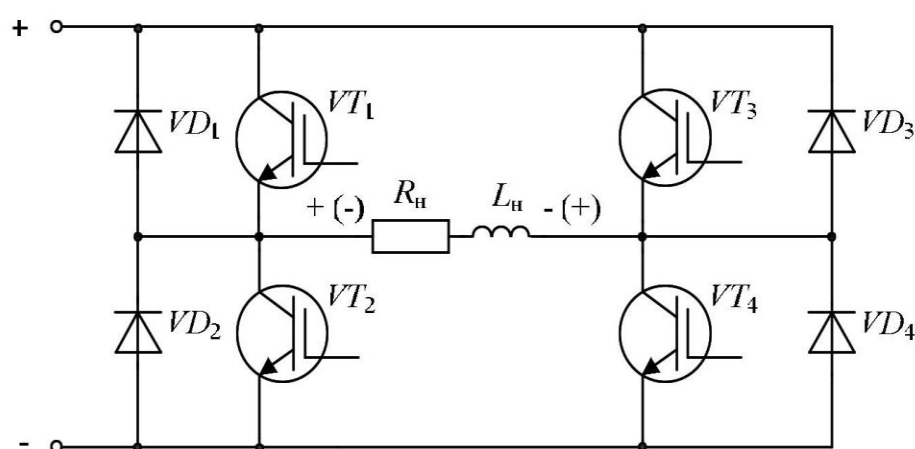


Рисунок 1.9 - Схема однофазного мостового автономного инвертора напряжения

Форма выходного напряжения определяется видом коммутационной функции вентильного комплекта. При широтном управлении поочередно переключаются накрест лежащие вентили VT1, VT4 и VT2, VT3, так что каждый из них открыт 180 градусов. При включении транзисторов VT1, VT4 к нагрузочному сопротивлению и катушке прикладывается положительное напряжение. При этом в нагрузке нарастает ток в прямом направлении, но в данном случае наличие эдс самоиндукции удерживает увеличение тока в контуре. В момент t1 с транзисторов VT1, VT4 снимается, а на транзисторы VT2, VT3 подается отпирающее напряжение. Напряжение прикладывается к

нагрузке с обратной полярностью. Но ток на данном интервале времени продолжает сохранять свое прежнее направление, это достигается за счет энергии, которая запасена в индуктивности нагрузки. Диаграмма представлена на рисунке 1.10.

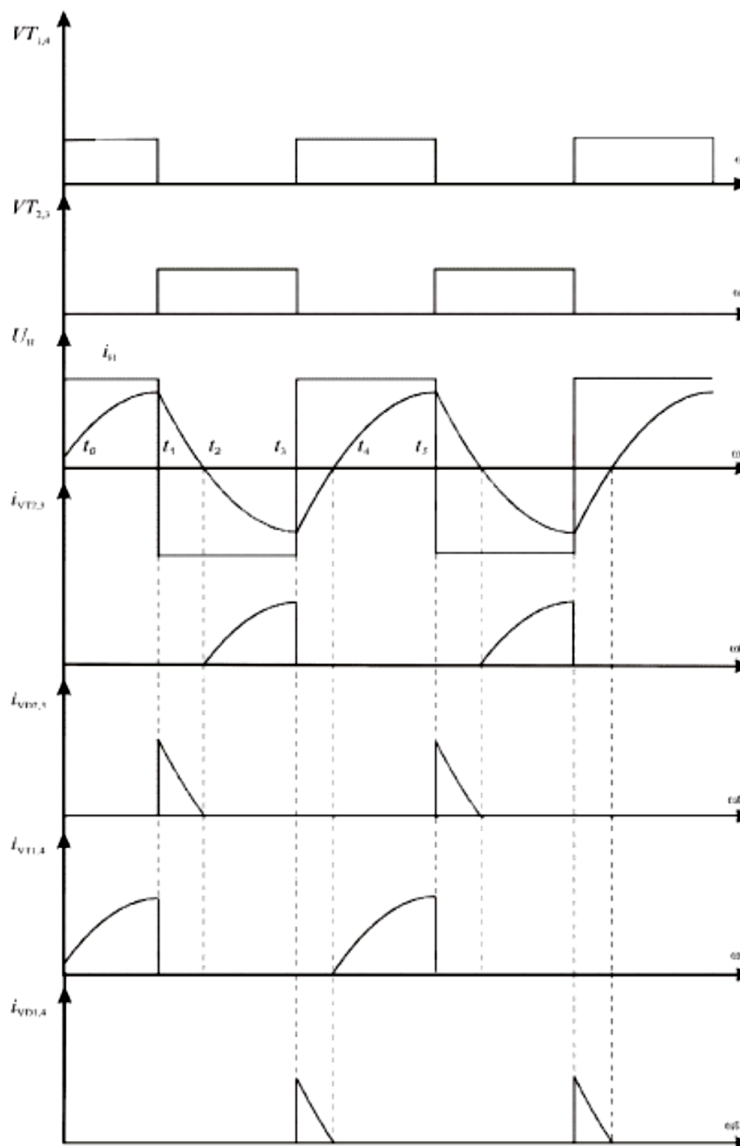


Рисунок 1.10 – Выходные диаграммы АИН

Транзисторы VT2, VT3 в таком направлении проводить не могут, поэтому ток протекает через диоды встречно включенного диодного моста VD2, VD3. В момент t_2 ток нагрузки становится равным нулю, диода VD2, VD3 закрываются и транзисторы VT2, VT3 начинают проводить ток. В момент t_3 происходит очередное переключение транзисторов с VT2, VT3 на VT1, VT4. Нормальное функционирование схемы возможно в том случае, если имело

место включение транзисторов VT1, VT4 к моменту спада тока нагрузки до нуля, что способствует повторению всех процессов, но с противоположной полярностью тока. Процессы протекают аналогично, на интервале t_3 - t_4 проводят диоды VD1, VD4, на интервале t_4 - t_5 транзисторы VT1, VT4.

Из-за малой длительности процесса коммутации выходное напряжение по форме близко к прямоугольному и зависит от тока нагрузки. В связи с чем внешняя характеристика инвертора напряжения $U_n = f(I_n)$ выглядит как прямая линия с очень малым наклоном.

Входной ток инвертора I при нагрузке $L_n \neq 0$ становится знакопеременным, что говорит о периодическом энергообмене между цепью нагрузки и источником питания.

Длительность протекания тока через силовые полупроводниковые элементы напрямую зависит от характера нагрузки: при чисто активной нагрузке обратные диоды не проводят ток, а длительность протекания тока через транзисторы достигает полпериода. С увеличением индуктивной составляющей сопротивления нагрузки, момент перехода тока нагрузки через нуль смещается назад, длительность протекания тока через обратные диоды увеличивается, а через транзисторы – уменьшается. В предельном случае, при чисто индуктивной нагрузке, ток, изменяясь по линейному закону, переходит через нуль в момент $\pi/2$ и длительности протекания тока в транзисторах и обратных диодах становятся одинаковыми [10].

Как следует из анализа диаграммы напряжения на коллекторе транзистора моста, при выключении происходит непосредственное его нарастание, фактически, это происходит при протекании полного тока нагрузки через силовой ключ. Следовательно, чтобы обеспечить нормальную работу схемы, необходимо использовать полностью управляемые силовые полупроводниковые приборы, которые могут обеспечивать принудительную коммутацию тока. Для использования приборов с неполным управлением в схемах АИН необходимо дополнять схему специальными узлами искусственной коммутации [11], благодаря которым будет формироваться

обратное напряжение на выключаемом тиристоре. Такое схемотехническое решение усложняет силовую часть схемы и алгоритмы управления, поэтому в настоящее время данное направление является малоперспективным.

Рассмотрев работу автономного инвертора можно сделать следующие выводы:

- 1) Основными элементами инверторов напряжения являются обратные диоды, с помощью которых происходит сбрасывание энергии индуктивного элемента источнику питания;
- 2) Источник питания должен обладать свойством принимать реактивную энергию при коммутациях;
- 3) Форма выходного напряжения отличается от синусоидальной и содержит высшие гармоники.
- 4) Скорость нарастания напряжения очень высока, поэтому необходимо ограничивать этот параметр.

Улучшения формы выходного напряжения можно достичь применением фильтров, настроенных на определенную гармонику. Такой способ в значительной мере ухудшает массогабаритные показатели инвертора.

1.5 Модуляционные способы формирования выходного напряжения

Напряжение на выходе инвертора должно иметь форму, близкую к синусоидальной. В противном случае уменьшается коэффициент мощности устройства, возрастают электромагнитные помехи. Если нагрузка мостового инвертора резистивная, выходное напряжение имеет форму прямоугольных импульсов (рисунок 1.11).

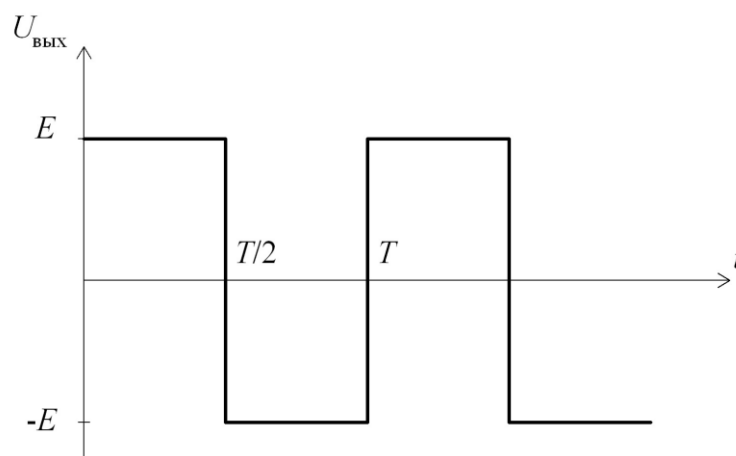
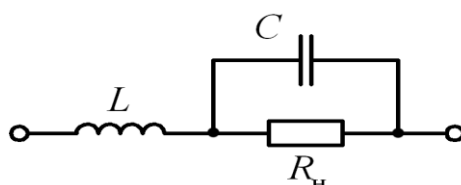


Рисунок 1.11 – Форма выходного напряжения при резистивной нагрузке

Для уменьшения амплитуд гармоник с номерами $n = 3, 5, n$ на выходе инвертора включают LC-фильтр нижних частот (ФНЧ). Схема простейшего



ФНЧ показана на рисунке 1.12.

Рисунок 1.12 - Фильтр нижних частот

Однако использование только сглаживающего фильтра оказывается недостаточно эффективным. Для подавления третьей и пятой гармоник, имеющих 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 [12].

Сглаживающий фильтр может иметь большую частоту среза, и, следовательно, меньшие габариты, если в спектре выходного напряжения гармоники низшего порядка отсутствуют. Напряжение с уменьшенным содержанием высших гармоник можно получить с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Однократная широтно-импульсная модуляция. При такой модуляции импульсное напряжение содержит только один импульс за половину периода (рисунок 1.13). Такое напряжение мы получим, если ключи в схеме замыкаются со смещением во времени. Диаграмма, показывающая интервалы замыкания ключей, изображена в нижней части рисунка 1.13 [13].

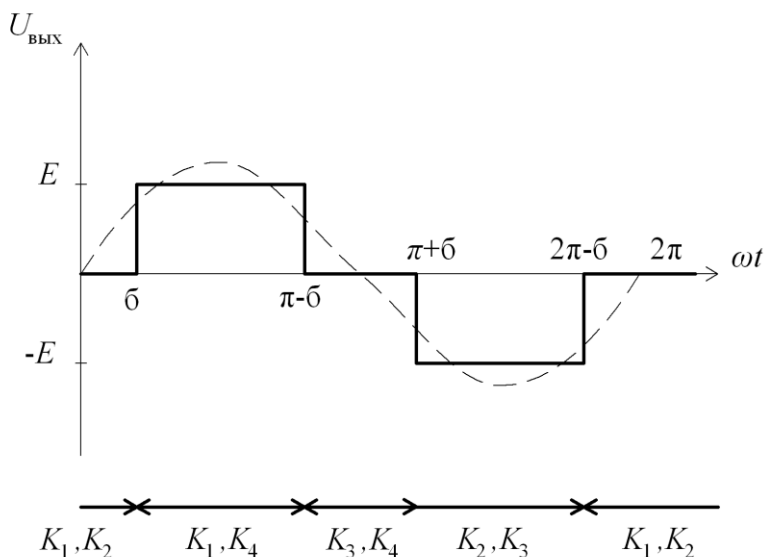


Рисунок 1.13 – Однократная широтно-импульсная модуляция

Варьируя угол включения, можно изменять амплитуду гармоник.

Многократная широтно-импульсная модуляция. В этом случае напряжение представляет серию импульсов за половину периода. На рисунке 1.14 показано напряжение, имеющее два импульса одинаковой полярности на полупериоде. Напряжение такой формы позволяет исключить две высших гармоники. Однако это не могут быть одновременно третья и пятая гармоники.

Для исключения третьей и пятой гармоник необходимо напряжение, содержащее три импульса на полупериоде [14].

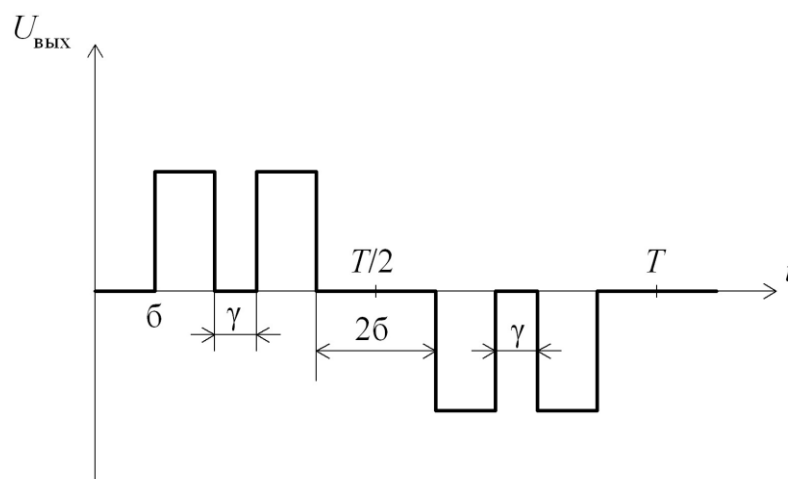


Рисунок 1.14 – Многократная широтно-импульсная модуляция

Синусоидальная широтно-импульсная модуляция. Другой способ исключения высших гармоник из спектра заключается в модуляции длительности импульсов по синусоидальному закону. Такой способ эффективен при большом числе импульсов на полупериоде основной гармоники. Форма сигналов широтно-импульсного модулятора показана на рисунке 1.15. В течение полупериода цикла преобразования длительность центрального импульса максимальна, а длительность крайних импульсов уменьшается. Такой тип ШИМ называется асимметричным, т.к. длительности управляющих импульсов неодинаковы. Высшие гармонические составляющие в выходном напряжении такого инвертора будут меньше, чем при симметричной широтно-импульсной модуляции [15].



Рисунок 1.15 – Синусоидальная широтно-импульсная модуляция

1.6 Автономный резонансный инвертор

Для регулирования формы и частоты выходного напряжения в инверторах, традиционно, используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Выходное напряжение в схемах с ШИМ имеет пульсирующую форму. Недостаток инверторов с ШИМ заключается в том, что они имеют значительные коммутационные потери. Эти потери возникают из-за того, что в момент коммутации напряжение и ток ключа не равны нулю. Одним из способов уменьшения коммутационных потерь является проектирование схемы инвертора таким образом, чтобы коммутация ключей осуществлялась при нулевом токе («мягкое» выключение) или нулевом напряжении («мягкое» включение). Такие инверторы называют резонансными. Периодический характер электромагнитных процессов в нагрузке в резонансных инверторах обеспечивается благодаря резонансному LC-контур. Конденсаторы, входящие в состав колебательного контура, могут быть включены с нагрузкой последовательно, параллельно и последовательно-параллельно. По сравнению с ШИМ-преобразователями в резонансных схемах меньше коммутационные потери и ниже перегрузки силовых элементов. Для них не требуются ключи, способные выдерживать большие пиковые токи и импульсные напряжения [16]. Отметим основные преимущества резонансных инверторов перед инверторами с ШИМ [17]:

1. Низкие коммутационные потери. Следствием этого является большой КПД.
2. Более высокие частоты коммутации ключей. Это ведет к уменьшению размеров магнитных элементов и всего инвертора.
3. Меньший уровень электромагнитных помех.

Резонансные схемы нашли применение в мощных тиристорных электроприводах, системах бесперебойного питания, в случаях, когда нагрузка меняется в широких пределах (включая режим холостого хода). Однако в маломощных преобразователях они используются редко.

Кроме преимуществ, о которых говорилось выше, работа в режиме

резонанса напряжений позволяет получить повышенное относительно входного напряжение на нагрузке без применения трансформатора.

Рассмотрев различные способы формирования синусоидального сигнала от источника постоянного напряжения, можно сделать вывод, что наиболее удобным способом, но при этом не нашедший широкого использования, является способ резонансных инверторов. Так как использование резонансного инвертора в преобразователе постоянного напряжения позволяет получить:

- синусоидальное напряжение без использования ШИМ и дополнительных фильтров;
- коэффициент усиления больше 1 без использования трансформатора.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM41	Царёвой Татьяне Викторовне

Институт	ИНК	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	11.04.04. Электроника и нанoeлектроника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ потенциальных потребителей результатов исследования, конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	План проекта, расчет бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности исследования
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Диаграмма Ганта	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Чистякова Наталья Олеговна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Царёва Татьяна Викторовна		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

Многофазный резонансный инвертор является автономным источником питания с частотой выходного напряжения, отличающейся от стандартной промышленной, ее значение составляет 400 Гц. Данная частота находит свое применение в бортовой аппаратуре летательных аппаратов и их наземном оборудовании. Таким образом, целевым рынком для разработанного многофазного резонансного инвертора, в основном, является авиастроительная отрасль и научно-исследовательские организации и предприятия [35].

Исходя из данных, представленных на карте сегментирования рынка производства и использования автономных инверторов, можно сделать вывод, что основные потребители заняты в авиационной отрасли.

Несмотря на эти данные для реализации и внедрения устройства имеется большой потенциал, так как схема устройства является концептуально новой и имеет ряд преимуществ.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

	Вид области			
	Гражданская авиация	Военная авиация	Научно-исследовательская	Научно-производственная
Российские				
Зарубежные				

	Сегмент освоен
	Сегмент освоен слабо
	Сегмент не освоен или информация не найдена

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

Проводить анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения удобно с помощью оценочной карты (таблица 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 5.2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Наиболее конкурентными разработками для автономного многофазного резонансного инвертора являются: трансформаторные инверторы, резонансные безканальные инверторы.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения выбранных решений по техническим и экономическим критериям оценки ресурсоэффективности

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0.04	5	5	3	0.2	0.2	0.12
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.05	5	3	4	0.25	0.15	0.2
3. Помехоустойчивость	0.08	4	4	5	0.32	0.32	0.4
4. Энергоэкономичность	0.07	4	3	4	0.28	0.21	0.28
5. Надежность	0.09	4	4	3	0.36	0.36	0.27
6. Уровень шума	0.03	4	2	4	0.12	0.06	0.12
7. Безопасность	0.09	5	4	3	0.45	0.36	0.27
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.07	5	5	3	0.35	0.35	0.21
9. Качество интеллектуального интерфейса	0.03	3	3	3	0.09	0.09	0.09
10.Массогабаритные параметры устройства	0.06	4	2	5	0.24	0.12	0.3
Экономические критерии оценки эффективности							

1. Конкурентоспособность продукта	0.05	4	4	3	0.2	0.2	0.15
2. Уровень проникновения на рынок	0.04	2	5	2	0.08	0.2	0.08
3. Цена	0.04	5	3	5	0.2	0.12	0.2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.07	5	4	3	0.35	0.28	0.21
5. Послепродажное обслуживание	0.05	4	4	5	0.2	0.2	0.25
6. Срок выхода на рынок	0.05	3	5	3	0.15	0.25	0.15
7. Наличие сертификации разработки	0.09	2	5	5	0.18	0.45	0.45
Итого	1	68	65	63	4,02	3,92	3,75

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод, что многофазный резонансный инвертор на данном этапе недостаточно конкурентоспособен, так как имеются недоработки в экономической части проекта. Основную часть рынка занимают трансформаторные инверторы, поскольку данная разработка является наиболее исследованной и стабильной. Главными преимуществами разрабатываемого проекта являются малые массогабаритные размеры входного фильтра, а, следовательно, и всего устройства, и улучшенная система потребления тока от автономного источника питания.

Таким образом, разрабатываемый проект является перспективным, поскольку обладает рядом уникальных свойств, а также привлекательная невысокая цена.

5.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

При разработке оборудования полезно оценивать степень его готовности к коммерциализации и выявить возможность ее самостоятельного проведения

или завершения. Для проведения оценки необходимо заполнить специальную форму оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. В таблице 5.3 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле;

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (5.2)$$

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

B_i – балл по i -му показателю.

Таблица 5.3 –Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	3
3.Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	3
4.Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	3
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	2

8.Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10.Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11.Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
ИТОГО БАЛЛОВ	25	28

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

5.2 Инициализация проекта

5.2.1 Цели и результаты проекта

В таблице 5.4 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 5.4 – Заинтересованные стороны проекта

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

В таблице 5.5 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 5.5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Создание макета автономного многофазного резонансного инвертора
Ожидаемые результаты проекта:	Автономный источник питания с заданными выходными параметрами
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособный макет устройства, технические характеристики которого соответствуют математическим расчетам
Требования к результату проекта:	Требования
	Выходная частота 400 Гц
	Выходное напряжение 200 В
	Получение «жесткой» нагрузочной характеристики
	Уменьшение коэффициента формы потребляемого тока

5.2.2 Организационная структура проекта

В таблице 5.6 приведена информация о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатратах каждого.

Таблица 5.6 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, день.
1.Руководитель проекта Огородников Дмитрий Николаевич	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта в области электроники, проведение экспериментов с макетом	48
2.Исполнитель по проекту Царёва Татьяна Викторовна	Обзор литературы о схемотехнических решениях резонансных инверторов, оценка их недостатков и преимуществ, исследование моделей различных схем резонансных инверторов, разработка и сборка макета устройства, проведение экспериментов на макете, участие в обсуждениях по результатам работы.	177
ИТОГО:	179	

5.2.3 Ограничения и допущения проекта

Данные об ограничениях и допущениях проекта представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	10000 р.

1.1. Источник финансирования	Кафедра промышленной и медицинской электроники ТПУ
2. Сроки проекта:	01.09.2015-17.06.2016
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2015
2.2. Дата завершения проекта	17.06.2016
3. Прочие ограничения и допущения	Ограниченное время работы за ПК, связанное с вредным влиянием ЭМ излучения, ограниченное время работы при монтаже макета, связанное с высоким содержанием вредных веществ в воздухе

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

5.3.1 План проект

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

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

Целесообразно применять линейное планирование с построением диаграммы Ганта (тип столбчатых диаграмм), представленной в таблице 5.9. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени дипломирования.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k, \quad (5.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы в календарных днях;

T_{pi} - продолжительность одной работы в рабочих днях;

k – коэффициент календарности, предназначенный для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{к2}}{T_{к2} - T_{в0} - T_{п0}} \quad (5.4)$$

где $T_{к2}$ – количество календарных дней в году;

$T_{в0}$ – количество выходных дней в году;

$T_{п0}$ - количество праздничных дней в году.

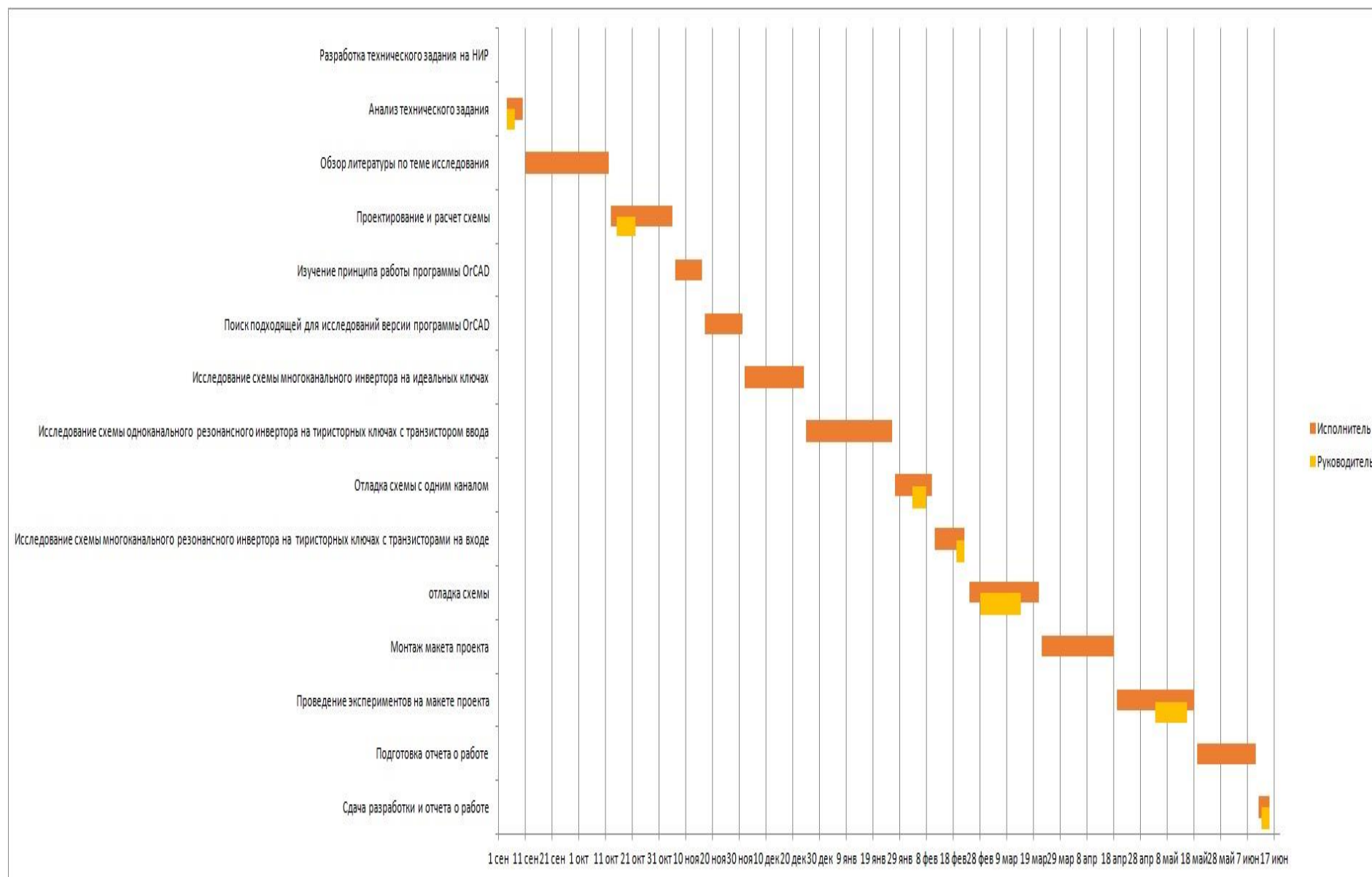
Таблица 5.8 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, рабочие дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания на НИР	2	01.09.2015	03.09.2015	руководитель
2	Анализ технического задания	4	04.09.2015	10.09.2015	исполнитель
3	Обзор литературы по теме исследования	21	11.09.2015	12.10.2015	исполнитель
4	Проектирование и расчет схемы	17	13.10.2015	05.11.2015	исполнитель, руководитель
5	Изучение принципа работы программы OrCAD	5	06.11.2015	16.11.2015	исполнитель
6	Поиск подходящей для исследований версии программы OrCAD	10	17.11.2015	01.12.2015	исполнитель
7	Исследование схемы	16	02.12.2015	24.12.2015	исполнитель

	многоканального инвертора на идеальных ключах				
8	Исследование схемы одноканального резонансного инвертора на тиристорных ключах с транзистором ввода	16	25.12.2015	26.01.2016	исполнитель
9	Отладка схемы с одним каналом	10	27.01.2016	10.02.2016	исполнитель, руководитель
10	Исследование схемы многоканального резонансного инвертора на тиристорных ключах с транзисторами на входе	7	11.02.2016	22.02.2016	исполнитель, руководитель
11	Отладка схемы	17	24.02.2016	21.03.2016	исполнитель, руководитель
12	Монтаж макета проекта	19	22.03.2016	18.04.2016	Исполнитель
13	Проведение экспериментов на макете проекта	17	19.04.2016	18.05.2016	исполнитель, руководитель
14	Подготовка отчета о работе	15	19.05.2016	10.06.2016	Исполнитель
15	Сдача разработки и отчета о работе	3	11.06.2016	15.06.2016	исполнитель, руководитель
Итого:		179			

В таблице 5.9, которая представляет собой диаграмму Ганта приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 5.9 – Диаграмма Ганта



5.3.2 Бюджет научного исследования

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

5.3.2.1 Сырье, материалы, покупные изделия

Стоимость всех видов и материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ формируется исходя из приобретения и платы за транспортировку. Транспортно – заготовительные расходы принимаются в пределах от 3 до 5 % от цены материалов (в данной работе 3%). В том случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов незначительны, то их можно опустить. Стоимость сырья, материалов, комплектующих изделий приведена в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
1.Источник питания	1	1755	1755
2.Мультиметр	1	3900	3900
3.Компьютер	1	20000	20000
4.Паяльная станция	1	4700	4700
5.Принтер	1	3500	3500
6.Макетная плата	1	220	220
7.Радиодетали	1	1000	1000
8.Расходные материалы	1	1000	1000
9.USB-flash накопитель	1	550	550
10.Печатная бумага	1	140	140

11.Канцелярские товары	1	150	150
Всего за материалы			3060
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			91,8
Итого по статье С _м			33506,8

5.3.2.2 Специальное оборудование для научных работ

В статье затраты на приобретение различного оборудования учитываются затраты на покупку и эксплуатацию специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов и устройств).

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам или по договорной цене. Если при выполнении научного проекта используется оборудование, имеющееся в организации, то стоимость этого оборудования учитывается в виде амортизационных отчислений.

Амортизация – это процесс постепенного перенесения стоимости основных фондов по мере износа на производимую продукцию в целях последующего воспроизводства основных фондов.

По формуле рассчитывается сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных средств используемых при реализации проекта.

$$C_A = \frac{\Phi_{\text{пер}} \cdot H_A}{100\%}, \quad (5.5)$$

где $\Phi_{\text{пер}}$ – первоначальная стоимость оборудования;

H_A – норма амортизации.

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{T_{\text{сл}}} 100\%, \quad (5.6)$$

где $T_{\text{сл}}$ – срок службы оборудования, мес.

Специальное оборудование, используемое в проекте, приведено в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Специальное оборудование, используемое в проекте

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Ф _{пер} , тыс.руб	Т _{сл} , мес	Н _А , % в мес	С _А в месяц, руб	Период реализации, мес	С _А за весь период, тыс.руб
осциллограф	1	120	24	4.1	4920	10	49.2
Итого:							49.2

5.3.2.3 Основная заработная плата

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.7)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (5.8)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5.9)$$

Где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня М = 11,2 месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней М = 10,4 месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дней.

Таблица 5.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	395	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	40	70
- праздничные дни	15	15
Потери рабочего времени		
- отпуск	74	74
- невыходы по болезни	12	20
Действительный годовой фонд рабочего времени	224	186

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_6 \cdot k_p, \quad (6.10)$$

где Z_6 – базовый оклад, руб;

k_p – районный коэффициент, равный 1.3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.13.

Таблица 5.13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	23264.860	1,3	30244.32	1260.2	48	60490
Исполнитель	6342.03	1,3	8244.63	343.52	177	60804

5.3.2.4 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:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (5.11)$$

Где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

В таблице 5.14 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.14 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зар.плата	60490	60804
Дополнительная зар.плата	7258,8	7296,48
Зар.плата исполнителя	67748,8	68100,48
Итого по статье $C_{зп}$	135849	

5.3.2.5 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (5.12)$$

Где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

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

$$C_{внеб} = 0,3 \cdot 162183,21 = 40754,7 \text{ руб}$$

5.3.2.6 Накладные расходы

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

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

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (5.13)$$

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

$$C_{\text{накл}} = 0,8 * 162746,21 = 108679,2$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы (таблица 6.15).

Таблица 5.15 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Сырье, материалы, покупные изделия	33506,8
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	49200
Основная заработная плата	121294
Дополнительная заработная плата	14555,28
Отчисления на социальные нужды	40754,7
Накладные расходы	108679,2
Итого себестоимость НИР	367990

5.4 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (5.14)$$

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:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (5.15)$$

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 [36].

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен в форме таблицы 5.16

Таблица 5.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Текущий проект	Трансформ аторный инвертор	Безканальный резонансный инвертор

	параметр а			
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	4
3. Помехоустойчиво сть	0,2	4	4	5
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надежность	0,3	5	5	3
6. Материалоемкость	0,1	4	3	5
ИТОГО	1	27	24	25

$I_{\text{тп}}=4.55$

Аналог 1=4.15

Аналог 2=4.05

Из таблицы 5.16 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов. Таким образом, многофазный резонансный инвертор является более ресурсоэффективной разработкой, относительно аналогов.

Список публикаций

- Мусоров И.С., Торгаев С.Н., Чертихина Д.С., Евтушенко Г.С., Огородников Д.Н., Царёва Т.В.осушитель воздуха на элементе Пельтье // Вестник науки Сибири. - 2015 - №. Спецвыпуск (15). - С. 173-181
- Торгаев С.Н., Евтушенко Г.С., Чертихина Д.С., Мусоров И.С., Огородников Д.Н., Царева Т.В.осушитель воздуха на элементе Пельтье // Вестник науки Сибири. – 2015., №15. – <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/1218>.
- Моделирование стабилизированного резонансного инвертора / Т. В. Царева; науч. рук. Д. Н. Огородников // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 23-27 мая 2016 г. [в печати]