

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки (специальность) 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 621.311.6:622.323.012

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM07	Чалдин Константин Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазачев Александр Владимирович	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	канд. экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	—		

По разделу на иностранном языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воробьева Виктория Владимировна	канд. филол. наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Гарганеев Александр Георгиевич	д.т.н., профессор		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности, с использованием средств автоматизации
ПК(У)-2	Способен применять методы создания и анализа математических моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности.
ПК(У)-3	Способен разрабатывать, реализовывать и осуществлять контроль выполнения технических и организационных мероприятий, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности.
ПК(У)-4	Способен формулировать технические задания, анализировать различные варианты и искать компромиссные решения.
ПК(У)-5	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки (специальность) 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Гарганеев А.Г.
 (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
5AM07	Чалдину Константину Андреевичу

Тема работы:

Проектирование источника бесперебойного питания для защиты объектов нефтегазовой промышленности	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 10.12.2021 № 344-50/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Источник бесперебойного питания: Номинальная мощность – 16 кВА (12 кВт); Число фаз (вход) – 3; Номинальное входное напряжение – 220/ 380 В; Диапазон отклонений входного напряжения – ±25% В; Частота питающей сети – 50 Гц; Число фаз (выход) – 1; Номинальное выходное напряжение – 220 В; Отклонение выходного напряжения – +/- 3%; Частота выходного напряжения – 50 Гц; Время автономной работы – 10 мин.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор источников информации по вопросам применения источников бесперебойного питания для защиты объектов нефтегазовой промышленности. 2. Разработка функциональной схемы ИБП. 3. Расчет и выбор силовой части ИБП. 4. Разработка и исследование имитационной модели ИБП в среде Matlab.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Электрическая принципиальная схема силовой части ИБП. 2. Имитационная модель ИБП. 3. Результаты исследований.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Клемашева Елена Игоревна, канд.экон.наук
«Социальная ответственность»	Черемискина Мария Сергеевна, старший преподаватель
Раздел, выполняемый на иностранном языке	Воробьева Виктория Владимировна, канд. филол. наук

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

Введение; Электроснабжение объектов в нефтегазовой промышленности; Потребители электроэнергии в нефтегазовой промышленности; Особенности электроснабжения дожимной компрессорной станции; Система пожаротушения ДКС; Схемы построения ИБП с двойным преобразованием; ИБП с аккумуляторной батареей (АБ) в буфере цепи питания инвертора; ИБП с бустером в цепи питания инвертора; ИБП с входным ШИМ-преобразователем; ИБП с трансформатором; Структурная схема проектируемого ИБП

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	07.09.2021
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазачев Александр Владимирович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM07	Чалдин Константин Андреевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Группа	ФИО
5AM07	Чалдину Константину Андреевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<ol style="list-style-type: none"> Карта сегментирования Оценка конкурентоспособности технических решений Диаграмма FAST Матрица SWOT Иерархическая структура работ График проведения НТИ Проектная организационная структура 	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM07	Чалдин Константин Андреевич		01.03.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5AM07		ФИО Чалдину Константину Андреевичу	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Проектирование источника бесперебойного питания для защиты объектов нефтегазовой промышленности	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации 	<p>Объектом исследования является источник бесперебойного питания для защиты объектов нефтегазовой промышленности.</p> <p>Область применения: нефтегазовая промышленность.</p> <p>Рабочая зона: производственное помещение (серверная). Рабочий процесс источника бесперебойного питания сопровождается выделением тепла. Площадь помещения 20 м². Освещение общее.</p> <p>Кабинет оператора. Площадь помещения 9 м². Освещение общее.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</p> <p>ГОСТ 21889-76 Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования;</p> <p>ГОСТ 22269-76 Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования;</p> <p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 27.12.2018);</p> <p>Конституция Российской Федерации..</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Превышение уровня шума; 2. Превышение уровня вибрации; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 4. Отклонение показателей микроклимата. <p>Наиболее вероятно воздействие на персонал следующих опасных факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Опасность электро-поражения; <p><i>Средства коллективной защиты:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • к средствам защиты от повышенного уровня шума относятся устройства: звукоизолирующие, звукопоглощающие; глушители шума; автоматического контроля и сигнализации; • к средствам защиты от повышенного

	<p>уровня вибрации относятся устройства: виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие; автоматического контроля и сигнализации;</p> <ul style="list-style-type: none"> • к средствам защиты от поражения электрическим током относятся: оградительные устройства; устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения; предохранительные устройства; • к средствам нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест относятся: источники света; осветительные приборы; светозащитные устройства; • к средствам защиты от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов относятся устройства: автоматического контроля и сигнализации; термоизолирующие; дистанционного управления. <p><i>Средства индивидуальной защиты:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • средства защиты органов дыхания: респираторы; • одежда специальная защитная: накидки; плащи, полуплащи; халаты; • средства защиты ног: сапоги; сапоги с удлиненным голенищем; ботинки; полуботинки. • средства защиты рук: рукавицы; перчатки; полуперчатки. • средства защиты головы: каски защитные; шлемы, подшлемники; • средства защиты глаз: очки защитные. • средства защиты лица: щитки защитные лицевые • средства защиты органа слуха: противошумные шлемы; противошумные вкладыши; противошумные наушники. <p>В работе будет производиться расчет системы искусственного освещения.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<p><i>Воздействие на литосферу:</i> загрязнение твердыми отходами - бытовой мусор (отходы бумаги); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти электроники и микропроцессорной техники, аккумуляторные батареи;</p> <p><i>Воздействие на атмосферу:</i> размещение отходов на свалках ведет к выделению метана. Сжигание отходов ведет к выбросу газов из труб сжигающих их заводов. Эти газы содержат опасные химические вещества;</p> <p><i>Воздействие на гидросферу:</i> Микропроцессорная техника, содержащая в себе тяжелые металлы, попадая в водную среду, оказывает негативное влияние и загрязняет ее.</p>

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС: пожар (возгорание), наводнение, землетрясение. Наиболее типичная ЧС: пожар (возгорание).
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.02.2022

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM07	Чалдин Константин Андреевич		28.02.2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки (специальность) 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Уровень образования магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2021 /22 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.09.2021 – 30.11.2021	<i>Работа с литературой: Обзор источников информации по вопросам применения источников бесперебойного питания для защиты объектов нефтегазовой промышленности. Разработка структурной схемы ИБП</i>	15
01.12.2021 – 31.01.2022	<i>Расчет и выбор элементов силовой части ИБП</i>	25
01.02.2022 – 15.02.2022	<i>Составление электрической принципиальной схемы и описание ее работы</i>	5
16.02.2022 – 20.04.2022	<i>Разработка и исследование режимов работы имитационной модели ИБП в среде Matlab</i>	25
22.04.2022 – 28.05.2022	<i>Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	10
22.04.2022 – 28.05.2022	<i>Выполнение раздела «Социальная ответственность»</i>	10
31.05.2022	<i>Завершение оформления пояснительной записки</i>	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазачев Александр Владимирович	К.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев Александр Георгиевич	Д.т.н., профессор		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 122 стр., 40 рис., 33 табл., 36 использованных источников информации, 1 приложение.

Ключевые слова: ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ, НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ, ОТВЕТСТВЕННЫЙ ПОТРЕБИТЕЛЬ, ВЫПРЯМИТЕЛЬ, ИНВЕРТОР, ДИОД, ТИРИСТОР, ФИЛЬТР.

Объект исследования – источник бесперебойного питания для защиты объектов нефтегазовой промышленности.

Цель работы – разработать и исследовать модель ИБП для защиты ответственных потребителей дожимной компрессорной станции на Вынгаяхинском газовом промысле, в случае возможного отключения основной электрической сети или возникновения в ней отклонения заданных параметров, то есть при получении электроэнергии низкого качества.

В работе выполнялось проектирование и составление электрической схемы ИБП, расчет и выбор основных элементов силовой части, моделирование разработанной схемы и ее исследование в различных режимах работы и при различных видах нагрузки.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word. Схемы и рисунки обработаны в программе Microsoft Visio. Моделирование производилось в программной среде MATLAB Simulink.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	15
1.1 Потребители электроэнергии в нефтегазовой промышленности	15
1.2. Особенности электроснабжения дожимной компрессорной станции	15
1.2.1. Система пожаротушения ДКС.....	18
1.3 Схемы построения ИБП с двойным преобразованием	21
1.3.1 ИБП с аккумуляторной батареей (АБ) в буфере цепи питания инвертора.....	21
1.3.2 ИБП с бустером в цепи питания инвертора	22
1.3.3 ИБП с входным ШИМ-преобразователем.....	23
1.3.4 ИБП с трансформатором	25
1.4 Структурная схема проектируемого ИБП	26
2 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ИБП	28
2.1 Расчет параметров входной сети и нагрузки.....	28
2.2 Выбор аккумуляторных батарей	28
2.3 Расчет инвертора напряжения	31
2.4 Расчет фильтра на выходе инвертора	32
2.5 Расчет повышающего преобразователя.....	35
2.6 Расчет управляемого выпрямителя	40
2.7 Расчет сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя.....	41
2.8 Расчет фильтра на входе инвертора	42
2.9 Электрическая принципиальная схема силовой части ИБП	43
2.10 Разработка схемы управления с описанием режимов работы ИБП	45
3 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИБП	49
3.1. Исследование имитационной модели ИБП в сетевом режиме.....	49
3.1.1. Исследование сетевого режима работы ИБП при набросе активно- ёмкостной нагрузки	53
3.2. Имитационная модель ИБП при работе от аккумуляторных батарей	56

3.2.1 Исследование аварийного режима работы ИБП на активно-ёмкостную нагрузку.....	56
3.3. Исследование режимов работы ИБП при различных значениях нелинейной нагрузки	58
3.3.1. Влияние высших гармоник на электрооборудование	58
3.3.2. Исследование работы ИБП при изменении активной составляющей мощности нелинейной нагрузки.....	59
3.3.3. Исследование работы ИБП при изменении реактивной составляющей мощности нелинейной нагрузки.....	62
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	66
4.1 Предпроектный анализ	66
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	66
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	67
4.1.3 FAST-анализ	68
4.1.4 SWOT-анализ.....	71
4.1.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации	73
4.1.6 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	75
4.2 Инициация проекта	76
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	77
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	77
4.3.2 План проект	78
4.4 Бюджет научного исследования	80
4.4.1 Основная заработная плата	80
4.4.2 Отчисления во внебюджетные фонды.....	81
4.4.3 Накладные расходы	82
4.4.4. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	82
4.5 Организационная структура проекта	83
4.5.1 План управления коммуникациями проекта.....	83
4.5.2 Реестр рисков проекта	83
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	84

4.6.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	84
4.6.2 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	88
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	91
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	91
5.2 Производственная безопасность	93
5.2.1 Анализ опасных и вредных факторов на рабочем месте	93
5.2.2 Превышение уровня шума вентиляторов системы охлаждения.....	94
5.2.3 Повышенный уровень вибрации	94
5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	95
5.2.5 Микроклимат.....	98
5.2.6 Электробезопасность.....	100
5.3 Экологическая безопасность при эксплуатации.....	100
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	105
Приложение А	109

ВВЕДЕНИЕ

Данная выпускная квалификационная работа посвящена разработке источника бесперебойного питания (далее ИБП) для обеспечения бесперебойным электричеством ответственных потребителей объектов нефтегазовой промышленности.

Для выполнения работы решались следующие задачи:

1. Выявление перечня объектов в нефтегазовой промышленности, которые относятся к первой категории и нуждаются в аварийных источниках энергии;

2. Выявление ответственных потребителей на этих объектах и относящегося к ним электрооборудования с его анализом;

3. Разработка конкретной модели ИБП для выбранного ответственного потребителя, в которую входит: проектирование и составление схемы ИБП, расчет и выбор основных элементов силовой части, моделирование разработанной схемы;

4. Оценка коммерческого и инновационного потенциала разрабатываемого устройства. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности проекта по его разработке, а также оценка уровня возможных рисков.

5. Анализ вредных и опасных факторов при работе с ИБП.

В связи с этим актуальность данной работы в рассматриваемой области заключается в оценке ее финансовой, ресурсной и технологической эффективности.

1. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1 Потребители электроэнергии в нефтегазовой промышленности

В настоящее время, нефтегазовая промышленность является одной из самых перспективных ниш в мировой экономике и в России, в частности. Существует огромное количество объектов систем электроснабжения в данной сфере, которые выполняют различные роли: объекты для добычи и переработки нефти и газа, транспортировки и хранения, буровые установки, газораспределительные станции и множество других объектов, которые обеспечивают жизнедеятельность технологических и коммунально-бытовых потребителей. Для системы электроснабжения в нефтегазовой промышленности существует перечень объектов, которые относятся к первой категории, нуждающихся в аварийных источниках энергии, например, установка комплексной подготовки газа (УКПГ) — комплекс технологического оборудования и вспомогательных систем, обеспечивающих сбор и обработку природного газа и газового конденсата. На УКПГ осуществляется очистка газа от примесей (сепарация), его осушка и охлаждение. В основном в ее состав входят следующий перечень объектов и токоприемников: технологический корпус, аппараты воздушного охлаждения газа, насосная перекачки и кусты газовых скважин. При аварийных ситуациях, связанных с потерей электропитания происходит остановка технологического процесса и как следствие: прекращение добычи газа, остановка процесса осушки, нарушение температурного режима, потери реагента [1]. Также к объектам первой категории относится дожимная компрессорная станция (ДКС). Рассмотрим ее более подробно.

1.2. Особенности электроснабжения дожимной компрессорной станции

ДКС является одним из ключевых звеньев во всей нефтегазовой промышленности.

Она позволяет перекачивать природный или попутный нефтяной газ с различной производительностью и параметрами на входе. Ко всем ДКС различных модификаций предъявляются индивидуальные требования, вытекающие из сферы применения, особенностей проекта и условий эксплуатации.

На рисунке 1 представлена дожимная компрессорная станция Вынгаяхинского газового промысла.



Рисунок 1 – Дожимная компрессорная станция Вынгаяхинского газового промысла

Существуют три основных этапа при разработке месторождения: нарастающей добычи, постоянной и падающей.

Первые два этапа, как правило, не нуждаются в компрессорном оборудовании, так как для транспортировки газа от скважины к узлу его подготовки, а затем непосредственно к газопроводу достаточно имеющегося пластового давления. Но в процессе добычи, как правило, после изъятия около 2/3 запасов газа, наступает этап падающей добычи, при которой возникает проблема, связанная с тем, что пластового значения давления газа становится недостаточно, для его подачи в газопровод. Тогда и возникает необходимость в ДКС. Таким образом, повышение давления добываемого газа на месторождениях является важнейшем технологическим процессом, а

обеспечение его непрерывным электроснабжением одной из актуальных задач, которую ставят перед энергетиками добывающие компании.

Как было сказано ранее, ДКС могут сильно отличаться по конструкции и комплектации, но, тем не менее, в них можно выделить ряд основных элементов: компрессорный блок; привод; вспомогательное оборудование. Основополагающим элементом ДКС является сам компрессор или группа компрессоров, отвечающих за увеличение давления проходящего газа. Компрессор приводится в действие с помощью присоединенного к нему привода. Под вспомогательным оборудованием подразумевается любые дополнительные устройства, необходимые для корректной работы станции. Это может быть система циркуляции смазывающего масла, система охлаждения, набор КИПиА и т.д. Если ДКС выполнена в виде отдельного модуля, то дополнительное оборудование может включать в себя такие вспомогательные системы как отопление, освещение, вентиляция и т.п [2]. На рисунке 2 представлена одна из конструкций дожимной компрессорной станции.

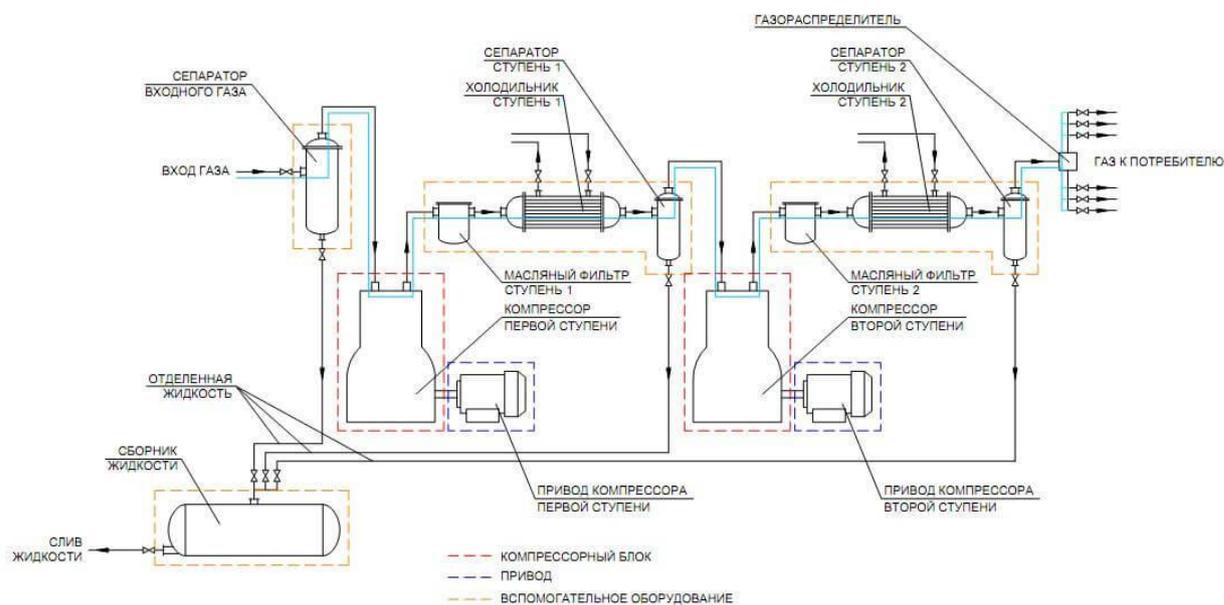


Рисунок 2 – Конструкция дожимной компрессорной станции

В случае нарушения электроснабжения дожимной компрессорной станции, возникает аварийная ситуация, при которой происходит:

1. Аварийная остановка ДКС;

2. Прекращение подачи газа в УКПГ;
3. Прекращение подачи газа в газопровод;
4. Неработоспособность систем пожаротушения;
5. Размораживание теплосетей и коммуникаций;
6. Прекращение добычи газа.

Все это приведет к остановке технологического процесса всего нефтегазового месторождения, и как следствие к огромным экономическим потерям.

Поэтому рациональным решением для обеспечения безопасности и предотвращения ЧС будет выявление ответственных потребителей компрессорной станции и обеспечение их бесперебойным питанием с помощью систем бесперебойного питания.

В первую очередь к ответственным потребителям относятся контрольно-измерительные приборы и аппаратура, система управления компрессором, система охраны и видеонаблюдения, система пожаротушения.

1.2.1. Система пожаротушения ДКС

Рассмотрим, как реализована противопожарная защита ДКС на Вынгаяхинском газовом промысле и на основе входящего в ее состав электрооборудования спроектируем для нее ИБП.

Вынгаяхинский газовый промысел находится в 45 километрах от посёлка Ханымей, в 110 километрах от Ноябрьска. Это комплекс, состоящий из двух газовых месторождений – Вынгаяхинского (запасы газа – 122,5 миллиарда кубометров) и Еты-Пуровского (315,2 миллиарда кубометров), расположенных в 40 километрах друг от друга.

Вынгаяхинский газовый промысел – самый современный и уникальный не только в «Газпром добыча Ноябрьск», но и в «Газпроме» в целом. Рациональное использование и расположение объектов инфраструктуры, передовая система газосбора по межпромысловому газопроводу с двух месторождений на одну установку комплексной подготовки газа, находящуюся

на Вынгаяхинском месторождении, обслуживание двух месторождений одной ДКС – вот его особенности.

Противопожарная защита обеспечена посредством следующего оборудования [3]:

- 1) Контроллеры систем пожарной автоматики «СПАРК» на ПЛК GE IP;
- 2) Извещатель пожарный пламени взрывозащищённый ИП 330/1-20 ИК диапазона;
- 3) Газоанализатор углеводородных газов стационарный инфракрасный взрывозащищённый PIR 9400;
- 4) Газоанализатор горючих газов взрывозащищённый ТГА.

Все вышеперечисленное оборудование нуждается в постоянном обеспечении электричеством, к которому предъявляются особые требования. Самым требовательным является контроллер, который обеспечивает сбор информации от пожарных извещателей, сигнализаторов, конечных выключателей, электропитание активных (токопотребляющих) пожарных извещателей, обработку принятой информации по заданным алгоритмам, формирование сигналов управления автоматическими средствами пожаротушения (АСПТ), контроль их состояния, управление световыми и звуковыми оповещателями, выдачу сигналов для включения (отключения) технологического оборудования. Основным узлом контроллера является программируемые логические контроллеры (ПЛК) GE IP (Intelligent Platforms), включающий в свой состав следующие элементы: стойки монтажные, блоки питания, модуль центрального процессора, модули ввода и вывода дискретных сигналов и модули ввода аналоговых сигналов. Элементами контроллера также являются блоки вторичного электропитания G, автоматические выключатели QF, релейные сборки K, клеммные колодки XT, кабели и другие элементы. Технические характеристики контроллера систем пожарной автоматики «СПАРК» на ПЛК GE IP представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики Контроллера систем пожарной автоматики «СПАРК»

Наименование параметра	Значение
Напряжение по основной линии электропитания	~220 В, диапазон от 180 до 242 В (частота 50±1 Гц)
Напряжение по резервной линии электропитания	~220 В, диапазон от 180 до 242 В (частота 50±1 Гц), =200 В, диапазон от 180 до 242 В, =110 В, диапазон от 93 до 132 В
Напряжение в шлейфах пожарной сигнализации	=24 В
Потребляемая мощность в дежурном режиме и при полной нагрузке	Зависит от проекта
Время готовности к работе после включения питания	30 сек
Максимальное сечение проводов шлейфов извещателей и соединительных линий оповещателей подключаемых к контроллеру	2,5 мм ²
Температура окружающей среды (рабочие условия эксплуатации)	от 0...+55°С
Относительная влажность воздуха (рабочие условия эксплуатации)	93% при температуре 40°С без конденсации влаги
Электрическая изоляция между соединенными вместе клеммами питания и корпусом контроллера, соединенными вместе проводами сигнальных линий и корпусом контроллера	~1500 В
Срок службы	не менее 15 лет
Гарантия	18 месяцев или 12 месяцев с даты установки на объекте

Из технических характеристик контроллера систем пожарной автоматики «СПАРК» выявлены следующие основные требования к электроэнергии: напряжение сети 220В, а частота 50 Гц [4]. Частота является важной характеристикой и исходя из выше представленных данных допускается ее отклонение не более, чем на 1 Гц. А из данного требования возникает еще одно – форма питающего напряжения. Она должна быть строго синусоидальной. Так как любое ее отклонение провоцирует появление гармонических колебаний более высокой частоты. Еще одним немаловажным условием является отсутствие отклонений напряжения.

Для обеспечения таких показателей электрической энергии и защиты ответственных потребителей от возникающих проблем с электропитанием необходимо использовать ИБП с двойным преобразованием. У него нулевое время переключения в аварийный режим, возможность работы в сетях с

нестабильной частотой и очень хорошая защита от искажений формы кривой напряжения.

1.3 Схемы построения ИБП с двойным преобразованием

1.3.1 ИБП с аккумуляторной батареей (АБ) в буфере цепи питания инвертора

Структурная схема ИБП с АБ в буфере цепи питания инвертора представлена на рисунке 3.

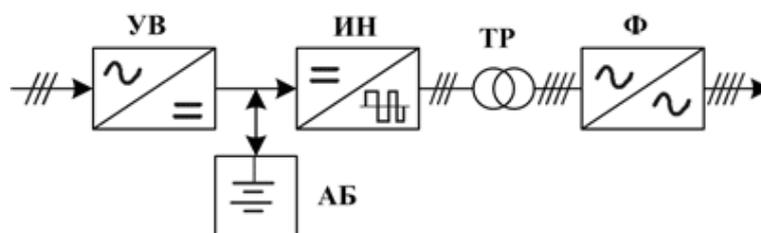


Рисунок 3 – ИБП с АБ в цепи питания инвертора

Основными узлами данной схемы являются:

- мостовой управляемый тиристорный выпрямитель (УВ);
- аккумуляторная батарея (АБ);
- трехфазный мостовой инвертор напряжения (ИН);
- трехфазный выходной трансформатор (ТР);
- выходной фильтр (Ф).

Принцип работы схемы заключается в следующем: при функционировании в статическом режиме работы, система управления (СУ) выпрямителя обеспечивает напряжение на его выходе в соответствии с допустимым диапазоном от номинального значения. При отклонении напряжения от указанных значений, ИБП переключается на работу в автономном режиме. Путем регулировки угла отпирания тиристоров происходит корректировка напряжения управляемого выпрямителя.

Достоинства и недостатки рассматриваемого ИБП представлены в таблице 2 [5].

Таблица 2 – Достоинства и недостатки ИБП с аккумуляторной батареей в буфере цепи питания инвертора

Достоинства	Недостатки
Высокая точность регулирования	Повышенные массогабаритные характеристики
Относительно простая структурная схема, в сравнении с другими структурами, меньшее количество силовых узлов	
Более высокие показатели надежности	

1.3.2 ИБП с бустером в цепи питания инвертора

Структурная схема ИБП с бустером в цепи питания инвертора представлена на рисунке 4 [6].

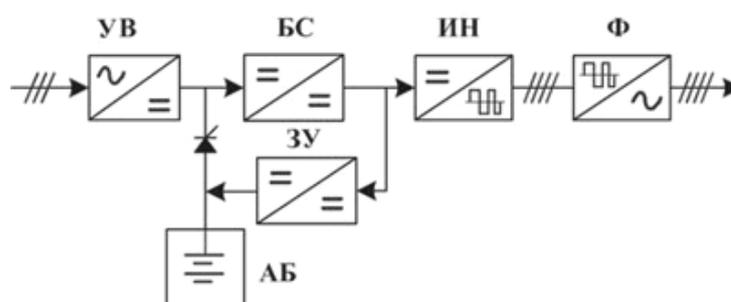


Рисунок 4 – ИБП с бустером в цепи питания инвертора

Основными узлами данной схемы являются:

- мостовой управляемый тиристорный выпрямитель (УВ);
- аккумуляторная батарея (АБ);
- трехфазный мостовой инвертор напряжения (ИН);
- бустер (БС);
- зарядное устройство (ЗУ);
- выходной фильтр (Ф).

Отличительной особенностью данной схемы является наличие неуправляемого выпрямителя и бустера, а также отсутствия трансформатора. Основной функцией бустера в данной схеме является корректировка коэффициента мощности в силовой цепи.

Применение двухсекционной аккумуляторной батареи (АБ) со средней точкой позволяет подключать каждую секцию по отдельности через тиристоры к соответствующей выходной шине выпрямителя. Во время заряда АБ, тиристоры

закрыты и работают в сетевом режиме. Зарядные устройства (ЗУ) подключаются к шинам на выходе бустера, за счет чего КПД ЗУ достигает 96%...99%.

Применение двухплечевого бустера в данной схеме позволяет реализовать следующие задачи:

- стабилизация питающего напряжения инвертора в соответствии с заданной величиной выходного напряжения;
- балансировка напряжений положительной и отрицательной шин постоянного тока относительно нейтрали, что исключает появление постоянной составляющей в выходном напряжении;
- коррекция активного входного коэффициента мощности ИБП за счет формирования входного тока.

Достоинства и недостатки описанного ИБП представлены в таблице 3 [5].
Таблица 3 – Достоинства и недостатки ИБП с бустером в цепи питания инвертора

Достоинства	Недостатки
Возможность активной коррекции коэффициента мощности;	Более сложная схема относительно ИБП с АБ в цепи питания инвертора;
Наличие бустера.	Повышенная стоимость.

1.3.3 ИБП с входным ШИМ-преобразователем

Структурная схема ИБП с входным ШИМ-преобразователем представлена на рисунке 5 [6].

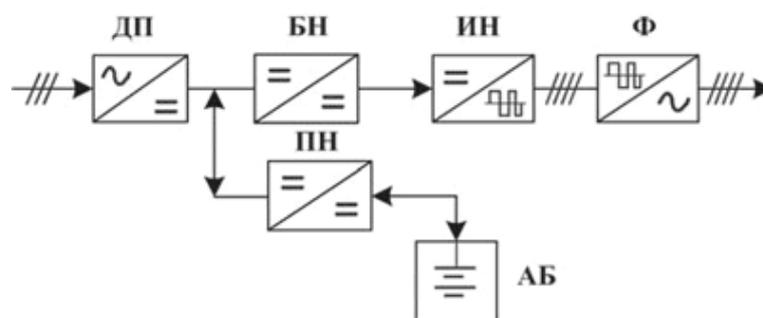


Рисунок 5 – ИБП с входным ШИМ-преобразователем

Основными узлами данной схемы являются:

- дельта преобразователь (ДП);

- аккумуляторная батарея (АБ);
- трехфазный мостовой инвертор напряжения (ИН);
- балансировщик напряжений (БН);
- преобразователь напряжения (ПН);
- зарядное устройство (ЗУ);
- выходной фильтр (Ф).

Применение быстродействующих силовых IGBT-модулей в данной схеме позволяет увеличить коэффициент мощности в широком диапазоне изменения нагрузки, а также значительно улучшить динамические характеристики ИБП.

Входной трехфазный ШИМ-преобразователь реализован на IGBT-транзисторах, фазных дросселях и накопительных конденсаторах и имеет следующие особенности:

- высокие значения входного коэффициента мощности (0,99) в широком диапазоне изменения нагрузки;
- регулирование напряжения постоянного тока на шинах питания инвертора;
- двунаправленная передача энергии – из сети в нагрузку и в обратном направлении, что улучшает динамические свойства ИБП.

Применение балансировщика напряжений, реализованного на транзисторах и индуктивности, позволяет обеспечить балансировку дифференциального напряжения постоянного тока. Для исключения постоянной составляющей в выходном напряжении производится симметрирование напряжений на шинах постоянного тока питания инвертора.

Преобразователь напряжения (ПН) выполняет следующие функции:

- функция зарядного устройства в сетевом режиме работы ИБП;
- функция бустера цепи аккумуляторной батареи (АБ) в автономном режиме работы ИБП.

Достоинства и недостатки такого ИБП представлены в таблице 4 [5]:

Таблица 4 – Достоинства и недостатки ИБП с входным ШИМ-преобразователем

Достоинства	Недостатки
Увеличенное, по сравнению с ранее описанными схемами, количество силовых IGBT-транзисторов	Сложность схемы управления транзисторами
Повышенные динамические характеристики	Повышенная стоимость

1.3.4 ИБП с трансформатором

Структурная схема ИБП с гальванической развязкой представлена на рисунке 6 [6].

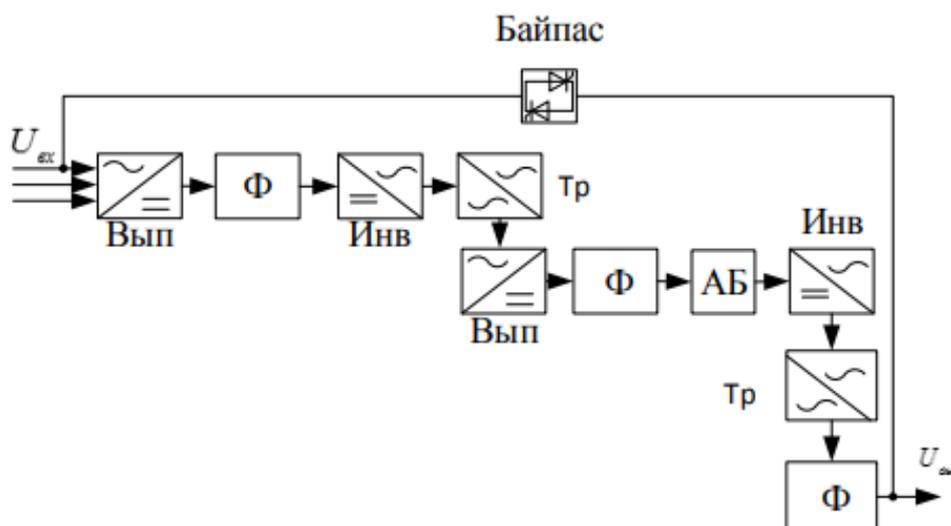


Рисунок 6 – ИБП с трансформатором

Основными узлами данной схемы являются:

- выпрямитель (Вып);
- фильтр (Ф);
- инвертор (Инв);
- трансформатор (Тр);
- аккумуляторная батарея (АБ);
- выходной фильтр (Ф).

При функционировании схемы в нормальном режиме работы, питание к нагрузке поступает по следующей цепи: *выпрямитель – фильтр – инвертор 1 – трансформатор 1 – выпрямитель – фильтр – инвертор 2 – трансформатор 2 – фильтр*. В тех случаях, когда характеристики питающей сети не соответствуют необходимым требованиям, питание к нагрузке подается через цепь: *аккумуляторная батарея – инвертор – трансформатор2 – фильтр*. Применение байпаса целесообразно лишь в случаях, когда инвертор не способен обеспечить нагрузку требуемой мощностью, это может произойти по ряду причин, таких как перегрузка, разряд аккумуляторной батареи, отсутствие входного напряжения.

В таблице 5 приведены достоинства и недостаткам таких ИБП [5].

Таблица 5 – Достоинства и недостатки ИБП с гальванической развязкой

Достоинства	Недостатки
Применение гальванической развязки, что положительно сказывается на времени переключения на резервное питание от АБ	Сложность схемы
Высокое качество выходного напряжения	Низкий КПД
Надежность	

1.4 Структурная схема проектируемого ИБП

На основе проведенного анализа проектируемый ИБП будем выполнять по схеме, представленной на рисунке 7.

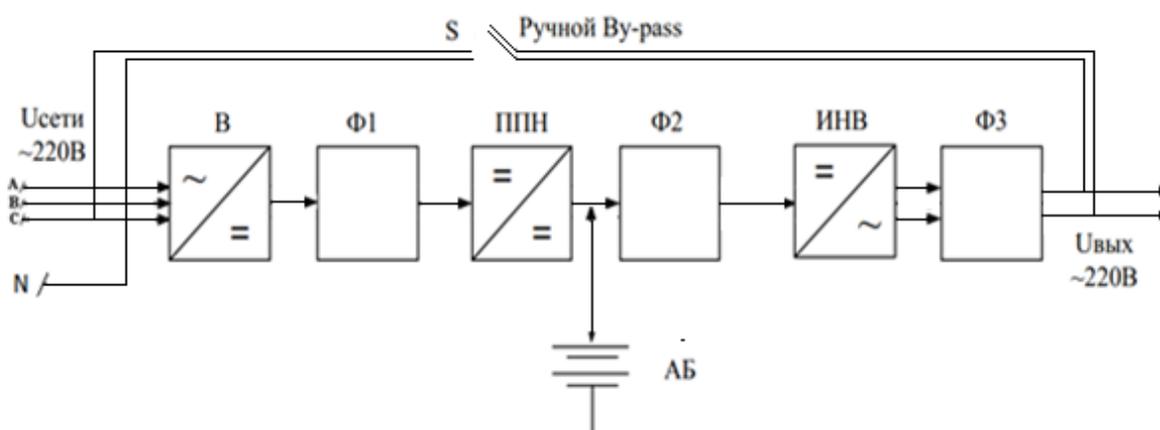


Рисунок 7 - Структурная схема ИБП

Состав схемы: В – управляемый выпрямитель, Ф1 – фильтр 1, ППН – повышающий преобразователь напряжения, Ф2 – фильтр 2, ИНВ – инвертор, Ф3 – фильтр 3, АБ – аккумуляторная батарея, без зарядного устройства, для того чтобы повысить надежность системы и уменьшить стоимость ИБП.

Выпрямитель преобразовывает поступающее на вход трехфазное напряжение сети переменного тока в напряжение постоянного тока. Выпрямленное напряжение фильтруется Г-образным фильтром Ф1, далее с помощью повышающего преобразователя напряжения ППН отфильтрованное напряжение повышается до требуемого уровня, фильтруется фильтром Ф2. Отфильтрованное повышенное напряжение постоянного тока преобразуется в напряжение переменного тока инвертором, фильтруется фильтром Ф3 и поступает на нагрузку. При необходимости нагрузка может подключаться байпасно к сети. В зависимости от состояния сети и величины нагрузки, ИБП с двойным преобразованием может работать в различных режимах: сетевом, автономном, Байпас и других.

При наличии сетевого напряжения в пределах допустимого отклонения, и нагрузки, не превышающей максимально допустимую, ИБП работает в сетевом режиме. При этом режиме осуществляется:

- 1) фильтрация импульсных и высокочастотных сетевых помех;
- 2) преобразование энергии переменного тока сети в энергию постоянного тока с помощью выпрямителя и схемы коррекции коэффициента мощности;
- 3) преобразование с помощью инвертора энергии постоянного тока в энергию переменного тока со стабильными параметрами.

2 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ИБП

2.1 Расчет параметров входной сети и нагрузки

Расчет сводится к выбору необходимых элементов для схемы разрабатываемого ИБП. В начале расчета определим допустимые изменения качества электроснабжения сети.

Максимальное и минимальное напряжение питающей сети:

$$U_{СНОМ} = 220 \text{ В} - \text{ фазное напряжение сети;}$$

$$U_{СМАХ} = 275 \text{ В;}$$

$$U_{СМИН} = 165 \text{ В.}$$

Максимальное и минимальное напряжение нагрузки:

$$U_H = 220 \text{ В;}$$

$$U_{HМАХ} = U_H + 0,03 \cdot U_H = 220 + 0,03 \cdot 220 = 226,6 \text{ В;}$$

$$U_{HМИН} = U_H - 0,03 \cdot U_H = 220 - 0,03 \cdot 220 = 213,4 \text{ В.}$$

Максимальный и минимальный ток нагрузки:

$$\cos_{МАХ} \varphi = \frac{P_{МАХ}}{S} = \frac{12000}{16000} = 0,75;$$

$$I_{HМАХ} = \frac{P_{МАХ}}{U_{HМИН}} = \frac{S \cdot \cos_{МАХ} \varphi}{U_{HМИН}} = \frac{16000 \cdot 0,75}{213,4} = 56,2 \text{ А;}$$

$$I_{HМИН} = \frac{P_{МАХ}}{U_{HМАХ}} = \frac{S \cdot \cos_{МАХ} \varphi}{U_{HМАХ}} = \frac{16000 \cdot 0,75}{226,6} = 52,9 \text{ А.}$$

2.2 Выбор аккумуляторных батарей

В источниках бесперебойного питания в качестве источника энергии применяются аккумуляторные батареи, которые обеспечивают систему постоянным напряжением. В большинстве случаев у моноблочной батареи из 6 секций напряжение заряда составляет 14 В, напряжение разряда 11 В. Оптимальным током заряда аккумуляторных батарей считается ток, соответствующий 10% от номинальной емкости АБ. Нормальный заряд длится

порядка 10 часов, для ускорения процесса зарядки, возможно, необходимо увеличить ток заряда до 20% от номинальной емкости АБ.

Аккумуляторные батареи в схемах ИБП on-line типа в нормальном режиме подзаряжаются постоянно. Перезарядка не происходит, потому что зарядный ток уменьшается после того, как напряжение на выходах батареи перестает повышаться. Это упрощает требования к зарядному устройству батареи.

Амплитуда первой гармоники напряжения на нагрузке:

$$U_{mH} = \sqrt{2} \cdot U_{H\text{ MAX}} = \sqrt{2} \cdot 226,6 = 320,5 \text{ В.}$$

Примем максимальный коэффициент модуляции инвертора напряжения

$$(M = 0,9 \dots 0,95):$$

$$M_{\text{MAX}} = 0,95.$$

Потери напряжения в силовых ключах ($\Delta U_{\text{ключ}} = 1,7 \dots 2,8 \text{ В}$);

$$\Delta U_{\text{ключ}} = 2,2 \text{ В.}$$

Падение напряжения на выходном реакторе

$$\Delta U_L = 0,01 \cdot U_{\text{СНОМ}} = 0,01 \cdot 220 = 2,2 \text{ В.}$$

Напряжение на входе инвертора соответствует напряжению разряда аккумуляторных батарей:

$$\begin{aligned} U_{d\text{ MAX}} = U_{\text{БРАЗР}} &= \frac{(U_{mH} + 2 \cdot \Delta U_{\text{ключ}} + \Delta U_L)}{M_{\text{MAX}}} = \\ &= \frac{320,461 + 2 \cdot 2,2 + 2,2}{0,95} = 344,3 \text{ В.} \end{aligned}$$

Необходимое число батарей:

$$N = \frac{U_{\text{БРАЗР}}}{11} = \frac{344,275}{11} = 31,298 \approx 32.$$

Максимальная мощность на нагрузке:

$$P_{H\text{ MAX}} = S \cdot \cos_{\text{MAX}} \varphi = 16000 \cdot 0,75 = 12000 \text{ Вт.}$$

Примем КПД инвертора:

$$\eta_{\text{инв}} = 0,95.$$

Мощность разряда батареи:

$$P_{БРАЗМАХ} = \frac{P_{НМАХ}}{\eta_{инв}} = \frac{12000}{0,95} = 12631,6 \text{ Вт.}$$

Максимальный ток разряда батареи:

$$I_{БРАЗРМАХ} = \frac{P_{БРАЗМАХ}}{U_{срРАЗР} \cdot N} = \frac{12631,58}{11 \cdot 32} = 35,9 \text{ А.}$$

Емкость батареи:

$$Q_B = I_{БРАЗМАХ} \cdot t_{АВТРАБ} = 35,885 \cdot 0,17 = 6,1 \text{ Ач};$$

где $t_{АВТРАБ} = \frac{10}{60} = 0,17 \text{ ч.}$

По техническому заданию требуется обеспечить автономную работу ИБП в течение 10 минут, для этого необходимо выбрать аккумуляторную батарею с током разряда равным или большим 35,9 А и емкостью 6,1 Ач или больше. Исходя из этого выбираем аккумуляторную батарею (АБ) фирмы Sonnenshein типа А500, которая по своим разрядным характеристикам подходит для применения в источниках бесперебойного питания особо важных потребителей. А512/30 G6 обеспечит в течении 10 минут ток разряда 49,3 А [7].

А512/30 G6 (серийный номер NGA5120030HS0BA) выбрана по постоянному разрядному току батареи.

Ток разряда (А) до напряжения 1,85 В/эл при 20°C

Тип	Номер по каталогу	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	30 мин	1 ч	2 ч	3 ч	5 ч	8 ч	10 ч
A512/30 G6	NGA5120030HS0BA	60.7	49.3	44.0	36.5	28.0	18.0	10.6	7.60	4.90	3.20	2.60
A512/40 A	NGA5120040HS0CA'	75.0	63.0	50.0	42.0	34.0	22.0	12.0	8.80	6.40	4.30	3.50
A512/55 A	NGA5120055HS0CA'	99.2	83.1	70.1	59.1	46.4	32.7	18.9	13.6	9.00	6.00	4.90
A512/60 A	NGA5120060HS0CA'	122	100	82.4	69.2	54.2	33.8	21.5	15.3	9.90	6.60	5.40

Рисунок 8 – Выбор аккумуляторной батареи

Напряжение разряда батареи (при напряжении 1,85 В/эл) составит 11,1 В.

Находим уточненное число батарей:

$$N_{уточн} = \frac{U_{БРАЗР}}{11,1} = \frac{344,275}{11,1} = 31,015 \approx 32.$$

Ток заряда батареи:

$$I_{БЗАР} = \frac{Q_{10}}{10} = \frac{30}{10} = 3 \text{ А.}$$

Мощность зарядного устройства на выходе:

$$P_{ЗУ} = I_{БЗАР} \cdot U_{БЗАР} \cdot N_{уточн} = 3 \cdot 14 \cdot 32 = 1344 \text{ Вт.}$$

2.3 Расчет инвертора напряжения

Инвертор – устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения. Обычно представляет собой генератор периодического напряжения, по форме приближённого к синусоиде, или дискретного сигнала. Позволяет сформировать напряжение требуемого качества. На рисунке 9 представлена схема однофазного инвертора напряжения.

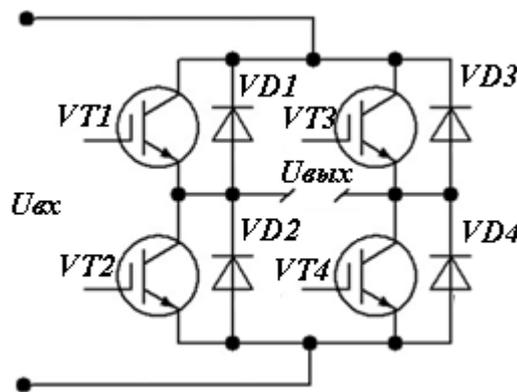


Рисунок 9 – Схема однофазного инвертора напряжения

При расчете инвертора определяются параметры для выбора транзисторов и диодов. Для выбора данных элементов рассчитывается максимальный ток коллектора, напряжение на коллекторе и учитывается крест-фактор и коэффициент запаса. Коэффициент запаса принимаем равным 1,5.

Падение напряжения на открытом IGBT-транзисторе принимаем равным $U_{к-энас} = 2,2$

Крест-фактор нагрузки (Crest Factor) – показатель, характеризующий способность ИБП питать нелинейную нагрузку, потребляющую нелинейный импульсный ток. Определяется как отношение амплитуды импульсного тока в нелинейной нагрузке к амплитуде тока гармонической формы при эквивалентной потребленной мощности:

$$Crest\ Faktor = \frac{I_{m(нелин)}}{I_{m(лин)}} .$$

Величина крест-фактора зависит от формы питающего напряжения. Для синусоидального напряжения и линейной нагрузки крест-фактор равен 1,4. Но в случае синусоидального питающего напряжения и компьютерной нагрузки крест-фактор возрастает до 2–3. Использование синусоидального напряжения, полученного в результате ступенчатой аппроксимации на той же нагрузке, обычно дает диапазон величин крест-фактора от 1,4 до 1,9. Для расчета примем наибольший коэффициент, равный 3 [8].

Обратное напряжение на транзисторе:

$$U_{к-эMAX} = U_{БРАЗР} - U_{к-энас} = 344,275 - 2,2 = 342,1\text{ В.}$$

Максимальный коллекторный ток через транзистор с учетом крест-фактора:

$$I_{KMAX} = \sqrt{2} \cdot I_{HMAX} \times [Crest\ Faktor] = \sqrt{2} \cdot 56,232 \cdot 3 = 238,6\text{ А.}$$

Определив данные параметры из каталога товаров фирмы Semicron, выбираем IGBT модуль SKM195GB066D. Данный IGBT-транзистор обладает следующими параметрами [9]: $U_{к-эmax} = 600\text{ В};$ $I_{KMAX} = 265\text{ А.}$

$$f_{КОМmax} = 1\text{ МГц.}$$

2.4 Расчет фильтра на выходе инвертора

Фильтр необходим на выходе инвертора, чтобы обеспечить требуемое качество электрической энергии. Для выделения первой гармоники и устранения высших гармоник будем использовать Г-образный фильтр. На рисунке 10 приведена его принципиальная схема.

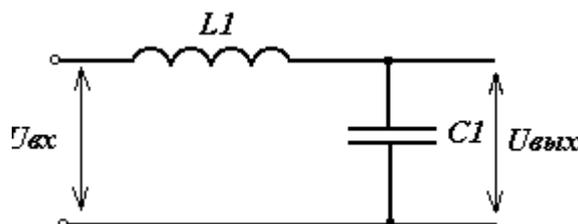


Рисунок 10 – Г-образный фильтр на выходе инвертора

Для расчета Г-фильтра будем использовать метод наложения. На рис. 11 приведены схемы замещения выходной части инвертора.

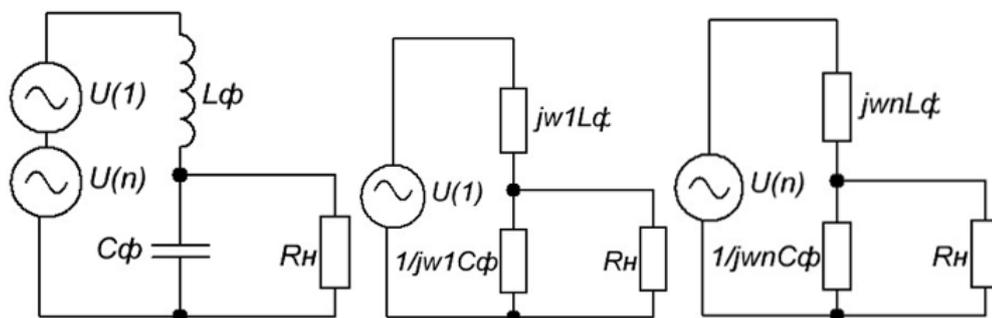


Рисунок 11 – Схемы замещения выходной части инвертора

Для расчета индуктивности зададимся падением напряжения на ней от первой гармоники $U_{L(1)} = 2,2 \text{ В}$, $I_{L(1)}$ – первая гармоника тока нагрузки.

Реактивное сопротивление индуктивности:

$$X_{L(1)} = \frac{U_{L(1)}}{I_{L(1)}} = \frac{2,2}{56,232} = 0,039 \text{ Ом.}$$

Индуктивность фильтра:

$$L_{\Phi} = \frac{X_{L(1)}}{\omega} = \frac{0,039}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

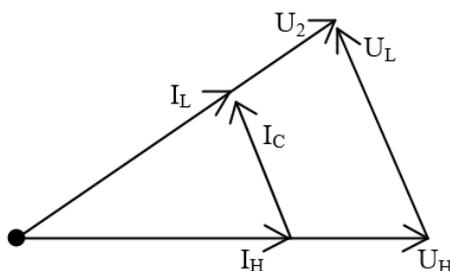


Рисунок 12 – Векторная диаграмма токов и напряжений

Примем, что через емкость будет протекать ток равный 20 % от тока нагрузки:

$$I_{\text{нном}} = \frac{S}{U_{\text{нном}}} = \frac{16000}{220} = 72,7 \text{ А};$$

$$I_C = 0,2 \cdot I_{\text{нном}} = 0,2 \cdot 72,727 = 14,5 \text{ А.}$$

Исходя из векторной диаграммы, представленной на рисунке 11, через индуктивность будет протекать ток:

$$I_{L\Phi} = \sqrt{(I_c^2 + I_{нном}^2)} = \sqrt{(14,545^2 + 72,727^2)} = 74,2 \text{ А.}$$

Индуктивное сопротивление фильтра:

$$X_{L\Phi} = \frac{U_{L(1)}}{I_{L\Phi}} = \frac{220 \cdot 0,01}{74,168} = 0,029 \text{ Ом};$$

$$L_{\Phi} = \frac{X_{L\Phi}}{2 \cdot \pi \cdot f_{вых}} = \frac{0,029}{2 \cdot 50 \cdot 3,14} = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Потери в реакторе:

$$\Delta P_L = 0,01 \cdot P_{MAX} = 0,01 \cdot 12000 = 120 \text{ Вт};$$

$$R_L = \frac{\Delta P_L}{I_{н max}^2} = \frac{120}{56,232^2} = 0,038 \text{ Ом.}$$

На схемах замещения обходим контура и записываем расчетные уравнения:

$$I_{сф} = \frac{U_{(n)}(j\omega)}{X_{C\Phi} R_H + X_{L\Phi} + X_{C\Phi} + R_H};$$

$$I_{сф} = \frac{U_{(n)}(j\omega) - U_{(H)}(j\omega)}{X_{L\Phi}} = \frac{U_{(n)}(j\omega) - k_2 U_{(n)}(j\omega)}{X_{L\Phi}} = \frac{U_{(n)}(j\omega)(1 - k_2)}{X_{L\Phi}}.$$

Приравнявая данные уравнения выражаем $X_{C\Phi}$:

$$X_{C\Phi} = \frac{X_{L\Phi} \cdot k_2 \cdot R_H}{(1 - k_2) R_H - X_{L\Phi} k_2}.$$

Номинальное сопротивление нагрузки:

$$R_H = \frac{U_{нном}}{I_{нном}} = \frac{220}{72,727} = 3,025 \text{ Ом.}$$

Определяем $X_{C\Phi}$ на реальной частоте коммутаций принятой 20 кГц, что

соответствует частоте коммутаций IGBT модулей:

$$X_{L\Phi} = \omega_k \cdot L_{\Phi} = 2 \cdot \pi \cdot 20000 \cdot 0,944 \cdot 10^{-4} = 11,9 \text{ Гн};$$

$$X_{C\Phi} = \frac{X_{L\Phi} \cdot k_2 \cdot R_H}{(1-k_2)R_H - X_{L\Phi} k_2} = \frac{11,865 \cdot 0,03 \cdot 3,025}{(1-0,03) \cdot 3,025 - 11,865 \cdot 0,03} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$C_{\Phi} = \frac{1}{\omega_k \cdot X_{C\Phi}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20000 \cdot 0,418} = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ Ф.}$$

Используя справочные данные, выбираем конденсатор В32774D4226K000 металлоплёночный, фирмы EPCOS, с $U_{НОМ} = 450 \text{ В}$, $C = 22 \text{ мкФ}$ и максимальной частотой коммутации до 5 МГц, что позволяет ему работать на заданной частоте в 20000 Гц [10].

2.5 Расчет повышающего преобразователя

Данный элемент на схеме выполняет функцию стабилизации напряжения питания инвертора. Коэффициент передачи по напряжению повышающего преобразователя (бустера) обеспечивает широкий диапазон допустимого входного напряжения, при котором ИБП не переходит в автономный режим.

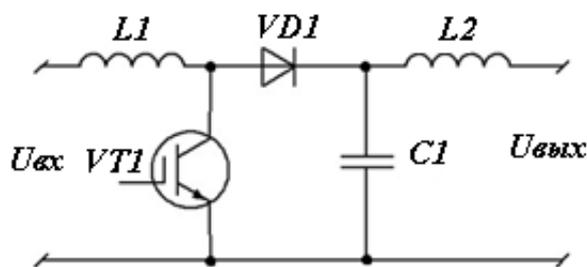


Рисунок 13 – Схема повышающего преобразователя напряжения

Повышающий преобразователь работает в режиме непрерывных токов, т.к. в этом режиме пульсаций напряжения на выходе преобразователя меньше, чем в режиме прерывистых токов.

Определим максимальное и минимальное напряжение на входе импульсного преобразователя с учетом потерь в выпрямителе:

$$U_{dMAX} = 2,34 \cdot U_{cmax} - \Delta U_{III} = 2,34 \cdot 275 - 2 = 641,5 \text{ В};$$

$$U_{dMIN} = 2,34 \cdot U_{cmin} - \Delta U_{III} = 2,34 \cdot 165 - 2 = 384,1 \text{ В}.$$

Определим коэффициент передачи преобразователя:

$$k_{ПЕРMAX} = \frac{U_{БЗMAX}}{U_{dMIN}} = \frac{448}{384,1} = 1,17;$$

$$k_{ПЕРMIN} = \frac{U_{БЗMIN}}{U_{dMAX}} = \frac{344,275}{641,5} = 0,54.$$

Рассчитаем относительную длительность открытого состояния транзистора для управляемого выпрямителя. Приравняем $\gamma_{MIN} = 0,1$ и найдем угол управления и U_{dMAX} при котором $\gamma_{MIN} = 0,1$ Тогда максимальное напряжение на входе импульсного преобразователя с учетом потерь в выпрямителе:

$$U_{dmax} = (1 - 0,1) \cdot U_{браз min} = (1 - 0,1) \cdot 344,275 = 309,8 \text{ В}.$$

Данное значение получается при угле открытия тиристоров на управляемом выпрямителе в 77 градусов, исходя из формулы

$$U_{d\alpha} = 2,34 * U_{dmax} * \cos \alpha,$$

$$\text{при } \alpha = \arccos\left(\frac{U_{d\alpha}}{2,34 * U_{dmax}}\right) = \arccos\left(\frac{344,275}{2,34 * 641,5}\right) = 76,76^\circ,$$

$$\gamma_{min} = 1 - \frac{U_{dmax}}{U_{браз min}} = 1 - \frac{309,85}{344,275} = 0,1.$$

Зададим КПД преобразователя $\eta = 0,95$, частоту коммутации силового ключа = 20 кГц, коэффициент пульсаций = 0,2.

Ток на входе импульсного преобразователя необходимо рассчитывать, обеспечивая мощность инвертора.

Мощность на входе инвертора:

$$P_{дИНВ} = \frac{P_{НMAX}}{\eta} = \frac{12000}{0,95} = 12632 \text{ Вт}.$$

Суммарная мощность батареи и инвертора она же мощность на входе импульсного преобразователя:

$$P_{ВЫХ ИП} = P_{d ИНВ} + P_{Б ЗАР} = P_{d ИНВ} + I_{Б ЗАР} \cdot U_{d МАХ} = \\ = 12632 + 3 \cdot 245,5 = 13369 \text{ Вт.}$$

Ток на входе преобразователя определяется с учетом мощности инвертора.

Мощность на входе импульсного преобразователя:

$$P_{ВХ ИП} = \frac{P_{ВЫХ ИП}}{\eta_{ИП}} = \frac{13369}{0,95} = 14070 \text{ Вт.}$$

Максимальный ток на входе импульсного преобразователя:

$$I_{ВХ ИП \text{ max}} = \frac{P_{ВХ ИП}}{U_{d \text{ MIN}}} = \frac{14070}{142} = 99,1 \text{ А.}$$

Рассмотрим интервал времени, когда транзистор открыт. Запишем уравнения для контура, соответствующие этому состоянию транзистора:

$$L_1 \frac{di_{L_1}}{dt} = U_{dВЫП} - \Delta U_{ИП}; \\ i_{L_1}(t) = \frac{U_{dВЫП} - \Delta U_{ИП}}{L_1} \cdot t + i_{L_1 \text{ MIN}}.$$

Изменение тока в реакторе зависит от состояния ключа:

$$i_{L_1 \text{ MAX}} = i_{L_1}(\gamma T) = \frac{U_{dВЫП} - \Delta U_{ИП}}{L_1} \gamma T + i_{L_1 \text{ MIN}}.$$

С учетом принятой величины пульсаций:

$$i_{L_1 \text{ MIN}} = 0,2 i_{L_1 \text{ CP}};$$

$$i_{L_1 \text{ MAX}} = 1,2 i_{L_1 \text{ CP}}.$$

Подставляя эти значения в выражение, получим:

$$1,2 i_{L_1 \text{ CP}} = \frac{U_{dВЫП} - \Delta U_{ИП}}{L_1} \gamma T + 0,8 i_{L_1 \text{ CP}};$$

$$\frac{U_{dВЫП} - \Delta U_{ПП}}{L_1} = \frac{1,2i_{L1CP} - 0,8i_{L1CP}}{\gamma T};$$

$$L_1 = \frac{(U_{dВЫП} - \Delta U_{ПП})\gamma T}{0,4i_{L1CP}}.$$

Рассчитываем индуктивность в самом сложном режиме, когда γ – максимальна; $U_{dВЫП}$ – минимальное; i_{L1CP} – максимальное; L_1 – максимальное

$$L_{1MAX} = \frac{(U_{dMIN} - \Delta U_{ПП})\gamma_{MAX} T}{0,4i_{L1CPMAX}} = \frac{(142-2) \cdot 0,683}{0,4 \cdot 99,096 \cdot 20000} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Гн};$$

$$i_{L1CPMAX} = I_{BX \text{ ИП max}}.$$

Определим ток, протекающий через диод VD1:

$$I_{VD1CP} = i_{L1CPMAX} (1 - \gamma_{MIN}) = 99,096 \cdot (1 - 0,287) = 70,7 \text{ А}.$$

Определим напряжение диода VD1:

$$U_{VD1MAX} = U_{B3MAX} = 448 \text{ В}.$$

Определим напряжение и ток транзистора VT1.

$$I_{VT1MAX} = i_{L1CPMAX} (1 + k_{II}) = 99,096(1 + 0,2) = 118,9 \text{ А};$$

$$U_{VT1} = U_{B3MAX} + U_{VD1ПР} = 448 + 1 = 449 \text{ В}.$$

Определив данные параметры выбираем IGBT FGA60N65SMD фирмы ON Semiconductor. Данный IGBT-транзистор обладает следующими параметрами [11]: $U_{к-эмакс} = 650 \text{ В}$, $I_{кмакс} = 120 \text{ А}$, $f_{max} = 1 \text{ МГц}$.

Выбираем диод VS-88HF80 фирмы Vishay обладающий параметрами [12]: $I_{МАКС} = 85 \text{ А}$, $U_{никобр} = 800 \text{ В}$, $f_{max} = 50 \text{ кГц}$.

Пульсационная составляющая тока определяется:

$$\Delta I_{C1} = I_{VT1MAX} - I_{VD1CP} = 118,915 - 70,665 = 48,2 \text{ А}.$$

Напряжение в режиме заряда равно напряжения на конденсаторе:

$$U_{C1} = U_{БЗМАХ} = 448 \text{ В};$$

$$\Delta U_{C1} = k_{II} \cdot U_{C1} = 0,02 \cdot 448 = 8,9 \text{ В};$$

$$C1 = \frac{\Delta I_{C1} \cdot \gamma_{МАХ}}{\Delta U_{C1} \cdot f_{КОМ}} = \frac{48,251 \cdot 0,683}{8,96 \cdot 20000} = 183,9 \text{ мкФ}.$$

Выбираем конденсатор В43513А4397М000 (производитель EPCOS) с параметрами [13]: $C_{НОМ} = 390 \text{ мкФ}$, $U_{НОМ} = 350 \text{ В}$, $f_{\max} = 50 \text{ кГц}$.

Будем использовать два конденсатора включенных последовательно, следовательно параметры двух последовательно включенных конденсатора будут равны $C_{НОМ} = 195 \text{ мкФ}$, $U_{НОМ} = 700 \text{ В}$.

$$\Delta U_{C1} = \frac{\Delta I_{C2}}{C1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{КОМ}} = \frac{48,251}{183,9 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 20000} = 2,1 \text{ В}.$$

Ток через реактор

$$I_{L2} = I_{БЗ} + I_{БРМАХ} = 3 + 35,885 = 38,9 \text{ А}.$$

Примем k_{II} тока реактора = 0,05

$$I_{L2\Box} = k_{II} \cdot I_{L2} = 38,885 \cdot 0,05 = 1,9 \text{ А};$$

$$\Delta U_{L2\Box} = \Delta U_{C1};$$

$$L2 = \frac{X_{L2}}{2 \cdot \pi \cdot f_{КОМ}} = \frac{1,074}{2 \cdot \pi \cdot 20000} = 0,85 \cdot 10^{-5} \text{ Гн};$$

$$X_{L2} = \frac{\Delta U_{L2\Box}}{I_{L2\Box}} = \frac{2,088}{1,944} = 1,1 \text{ Ом};$$

$$\Delta P_{L2} = 0,005 \cdot P_2 = 0,005 \cdot 12000 = 60 \text{ Вт};$$

$$R_{L2} = \frac{\Delta P_{L2}}{I_{L2}^2} = \frac{60}{38,885^2} = 0,04 \text{ Ом}.$$

2.6 Расчет управляемого выпрямителя

Зарядка аккумулятора происходит постоянным током, для этого в схеме ИБП производим отбор энергии из сети и с помощью выпрямителя переменное напряжение преобразуется в постоянное. Принципиальная схема рассчитываемого выпрямителя изображена на рисунке 14.

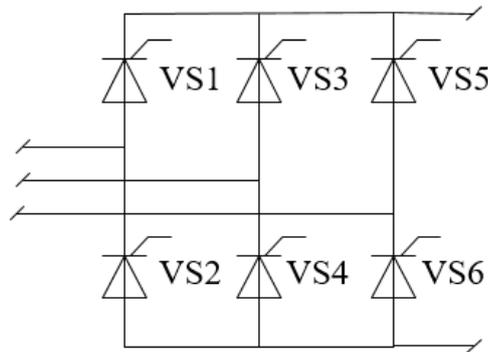


Рисунок 14 – Схема управляемого выпрямителя

Максимальное и минимальное выпрямленное напряжение:

$$U_{dMAX} = 2,34 \cdot U_{C MAX} - \Delta U_B = 2,34 \cdot 275 - 2 = 641,5 \text{ В};$$

$$U_{dMIN} = 2,34 \cdot U_{C MIN} - \Delta U_B = 2,34 \cdot 165 - 2 = 384,1 \text{ В}.$$

Максимальный ток через диод:

$$I_{dMAX} = I_{L1} = I_{L2} = \frac{P_{BX III}}{U_{dMIN}} = \frac{14070}{384,1} = 36,6 \text{ А}.$$

Средний ток диода:

$$I_{DCP} = \frac{I_{dMAX}}{2} = \frac{36,6}{2} = 18,3 \text{ А}.$$

Максимальное обратное напряжение на диодах:

$$U_{VD MAX} = \frac{\pi}{2} \cdot U_{d MAX} = \sqrt{2} U_{C MAX} = \sqrt{2} \cdot 275 = 388,9 \text{ В}.$$

Выбираем быстродействующий диод VS-40EPF12-M3 фирмы Vishay с параметрами [14]: $I_{np} = 40 \text{ А}$, $U_{обр} = 1200 \text{ В}$.

2.7 Расчет сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя

Для уменьшения пульсаций в зарядном устройстве после выпрямителя применяем Г-образный LC-фильтр. Схема рассчитываемого LC – фильтра была приведена на рисунке 10.

В номинальном режиме для необходимого коэффициента пульсаций выбираем индуктивность фильтра. Уменьшая ток нагрузки, переходим в режим прерывистых токов. В данном режиме относительные пульсации тока будут обладать наибольшими значениями. Задавшись коэффициентом пульсации $k_{\Pi} = 0,2$, найдем пульсацию тока выпрямителя:

$$I_{m(1)} = k_{\Pi} \cdot I_d = 0,2 \cdot 99,096 = 19,8 \text{ А.}$$

Для нахождения индуктивности найдем:

$$U_{dm(1)} = U_{dMAX} \cdot \frac{2}{m^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + m^2} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha = 245,5 \cdot \frac{2}{2^2 - 1} \cdot \sqrt{1} = 163,7 \text{ В;}$$

$$X_{d(1)} = \frac{U_{dm(1)}}{I_{m(1)}} = \frac{163,667}{19,819} = 8,3 \text{ Ом.}$$

Найдем индуктивность дросселя:

$$L_d = \frac{X_{d(1)}}{2 \cdot 2\pi \cdot f} = \frac{8,258}{2 \cdot 2\pi \cdot 50} = 0,013 \text{ Гн.}$$

Найдем потери в индуктивности:

$$\Delta P_{L_d} = 0,01 \cdot P_H = 0,01 \cdot 12000 = 120 \text{ Вт.}$$

Сопротивление реактора:

$$R_{L_d} = \frac{\Delta P_{L_d}}{I_d^2} = \frac{120}{99,096^2} = 0,012 \text{ Ом.}$$

Зададим $k_{\Pi} = 0,02$ для напряжения на конденсаторе:

$$U_{c(1)} = k_{\Pi} \cdot U_{dMAX} = 0,02 \cdot 245,5 = 4,9 \text{ В,}$$

$$X_C = \frac{U_{c(1)}}{I_{m(1)}} = \frac{4,91}{19,819} = 0,2 \text{ Ом.}$$

Найдем емкость конденсатора:

$$C = \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,248} = 64,2 \cdot 10^{-4} \text{ Ф.}$$

Выбираем два последовательно включенных конденсатора ЕСАР (К50-35) с параметрами [15]: $C_{НОМ} = 15000 \text{ мкФ}$, $U_{НОМ} = 450 \text{ В}$, $f_{\max} = 50 \text{ кГц}$.

2.8 Расчет фильтра на входе инвертора

Входной фильтр представлен Г-образной схемой, которая уже демонстрировалась на рисунке 9.

Пульсации тока:

$$I_{m(100\text{Гц})} = \frac{2}{3} \cdot I_{БРМАХ} = \frac{2}{3} \cdot 35,885 = 23,9 \text{ А.}$$

Задаемся пульсациями напряжения на входе 5%.

Амплитуда пульсаций напряжения для частоты 100 Гц:

$$U_{Cm(100\text{Гц})} = 0,05 \cdot U_{ВХ ИНВ} = 0,05 \cdot 344,275 = 17,2 \text{ В.}$$

Емкостное сопротивление фильтра:

$$X_{C(100\text{Гц})} = \frac{U_{Cm(100\text{Гц})}}{I_{m(100\text{Гц})}} = \frac{17,21}{23,923} = 0,7 \text{ Ом.}$$

Определим значение емкости конденсатора С:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{П} \cdot X_{C(100\text{Гц})}}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 0,719} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ф.}$$

Выбираем электролитический алюминиевый конденсатор К50-35 (производитель EPCOS), с параметрами [16]: $C_{НОМ} = 2700 \text{ мкФ}$, $U_{НОМ} = 400 \text{ В}$, $f_{\max} = 50 \text{ кГц}$.

Задаемся пульсациями тока на входе инвертора 5%. Найдем переменную составляющую тока через индуктивность:

$$I_{L(100Гц)} = 0,05 \cdot I_{БРМАХ}$$

$$I_{L(100Гц)} = 0,05 \cdot 35,885 = 1,8 \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление фильтра:

$$X_{L(100Гц)} = \frac{U_{Cm(100Гц)}}{I_{L(100Гц)}}$$

$$X_{L(100Гц)} = \frac{17,21}{1,794} = 9,6 \text{ Ом.}$$

Определим индуктивность реактора по формуле:

$$L_{L(100Гц)} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_n)^2 \cdot C} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 100)^2 \cdot 2,2 \cdot 10^{-3}} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Активное сопротивление реактора:

$$R_L = \frac{\Delta P}{I_{БРМАХ}^2} = \frac{0,01 \cdot P_{БРАЗ}}{I_{БРМАХ}^2} = \frac{12630 \cdot 0,01}{35,885^2} = 0,098 \text{ Ом.}$$

2.9 Электрическая принципиальная схема силовой части ИБП

Электрическая принципиальная схема силовой части ИБП представлена на рисунке 15.

Управляемый выпрямитель, выполненный на тиристорах *VS1*, *VS2*, *VS3*, *VS4*, *VS5*, *VS6* выпрямляет переменное напряжение сети, которое преобразуется Г-образным фильтром, построенным на элементах *C3* и *L4* в постоянное с заданным коэффициентом пульсаций.

Повышающий преобразователь напряжения (ППН) выполнен на элементах *L2*, *L3*, *VT1*, *C2*, *VD5*.

Транзистор *VT1* замыкается/ размыкается с заданной частотой преобразования.

Когда ключ замкнут, ток от источника питания *U1* протекает через дроссель *L2*, запасая в нем энергию. Диод *VD5* при этом не позволяет

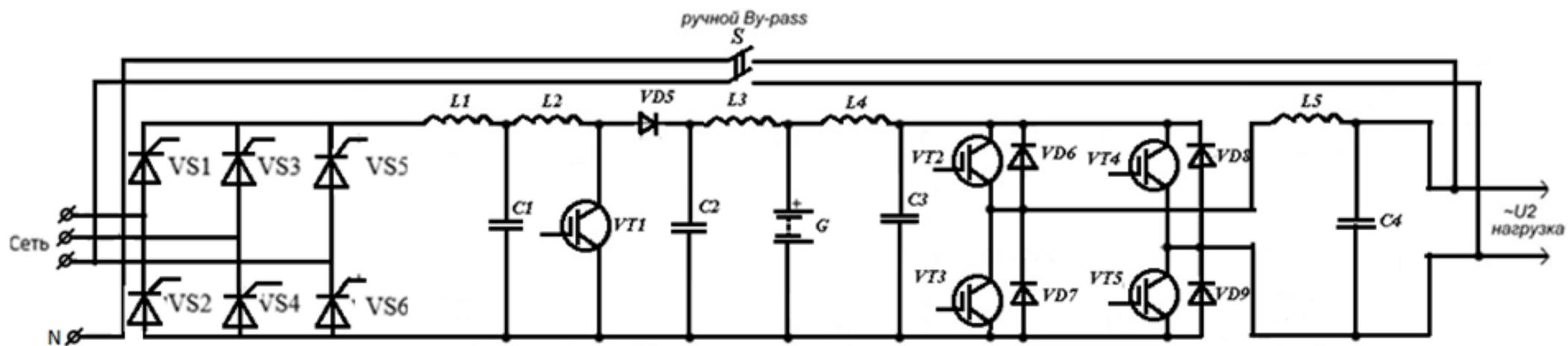


Рисунок 15 – Электрическая схема ИБ

конденсатору фильтра разряжаться через замкнутый ключ. Ток в нагрузку в этот промежуток времени поступает только от конденсатора $C2$.

Далее, когда ключ закрывается, ЭДС самоиндукции дросселя суммируется с выходным напряжением и энергия тока дросселя отдается в нагрузку.

Γ -образный фильтр, построенный на элементах $C3$ и $L4$, сглаживает выходное напряжение и ток преобразователя.

Инвертор постоянного напряжения представлен мостовой схемой на IGBT транзисторах $VT2$, $VT3$, $VT4$, $VT5$ и защитных обратных диодах $VD6$, $VD7$, $VD8$, $VD9$.

Управляя частотой переключения транзисторов, добиваемся периодического изменения полярности напряжения питания нагрузки и уровня выходного напряжения.

Таким образом, получаем на выходе стабильный уровень переменного напряжения.

Γ -образный фильтр, построенный на элементах $C4$ и $L5$, сглаживает выходное напряжение и ток инвертора постоянного напряжения.

2.10 Разработка схемы управления с описанием режимов работы ИБП

На рисунке 16 представлена функциональная схема ИБП.

В нормальном режиме работы в первоначальный момент времени напряжение сети проходит через управляемый выпрямитель, где преобразуется в пульсирующее напряжение одной полярности. Γ -образный фильтр сглаживает это напряжение, затем оно поступает на преобразователь постоянного напряжения.

Проходя через второй Γ -образный фильтр, напряжение поступает на автономный инвертор (АИН), который преобразует его уже из постоянного в переменное напряжение и проходя третий Γ -образный фильтр поступает на нагрузку. Необходимо отметить, что одновременно с этим происходит заряд аккумуляторной батареи.

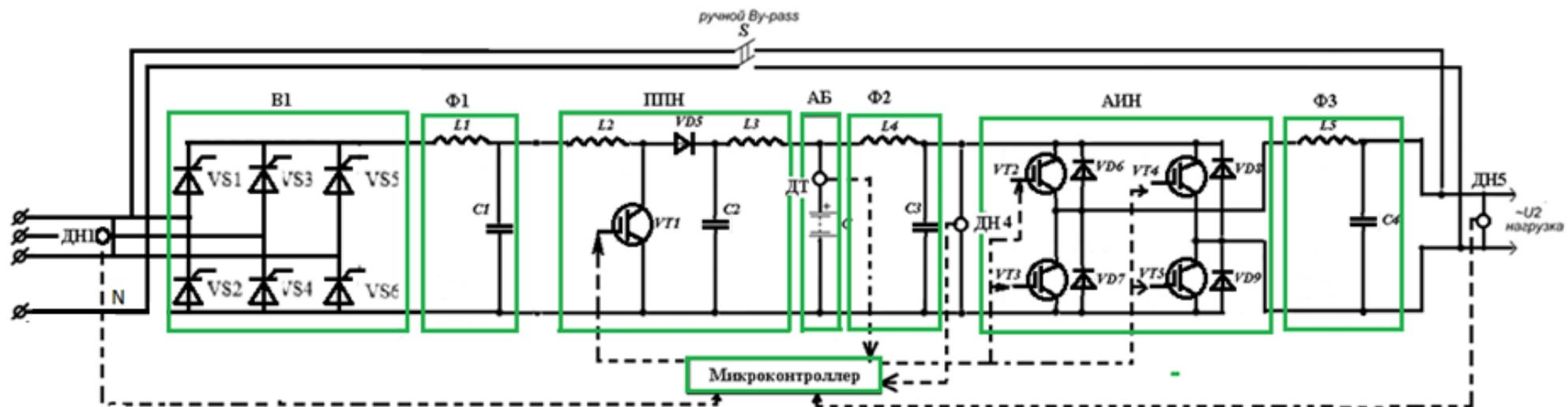


Рисунок 16 – Функциональная схема ИБП

В аварийном режиме работы при сбое питания сети, основная цепь питания обесточивается. При таком условии без разрыва питающей синусоиды, происходит переключение на аварийное питание от аккумуляторной батареи, находящейся в режиме ожидания. Датчик тока ДТ позволяет контролировать ток аккумуляторной батареи.

При отсутствии питания информация посредством датчика напряжения ДН1 передается на микроконтроллер, который выводит аккумуляторную батарею из режима ожидания и питание нагрузки осуществляется от аккумуляторной батареи.

Датчик напряжения ДН5 перед нагрузкой позволяет контролировать выходное напряжение.

В случае послеаварийного режима, при восстановлении входного сетевого напряжения, аккумуляторная батарея автоматически переключится в режим ожидания, система возвращается в нормальный режим работы

Датчик напряжения ДН4, установленный на входе АИН, позволяет контролировать поступающее напряжение.

Микроконтроллер, как в нормальном, так и в аварийном режимах, осуществляет открытие/закрытие транзисторов $VT1 - VT5$ с заданной частотой.

При отклонениях сетевого напряжения датчик ДН1 передает информацию на микроконтроллер, который управляет открытием и закрытием транзисторов, с помощью чего осуществляется управление и регулировка напряжением.

В пункте 2.1 (расчет параметров входной сети и нагрузки) приводится расчет допустимого диапазона напряжения питающей сети и нагрузки. Поэтому при отклонениях сетевого напряжения в рамках допустимых значений микроконтроллер с помощью датчика ДН1 считывает напряжение из сети и регулирует угол открытия транзистора $VT1$ - при просадке напряжения увеличивает угол его открытия, при увеличении уменьшает.

При изменении нагрузки изменяется напряжение на выходе. Датчик ДН5 считывает выходное напряжение, а микроконтроллер управляет углами

открытия транзисторов VT2-VT5 так, чтобы напряжение оставалось в рамках допустимого диапазона. Это происходит за счет коэффициента модуляции, значение которого задает микроконтроллер и подает его на АИН.

Коэффициент модуляции обеспечивает номинальное значение выходного напряжения. В случае, если напряжение отклоняется ниже номинального, напряжение необходимо повышать и МК подает на АИН повышающий коэффициент модуляции, соответственно, если напряжения превышает 220В, его нужно понижать и МК подает понижающий коэффициент модуляции.

3 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИБП

3.1. Исследование имитационной модели ИБП в сетевом режиме

Далее (на рисунке 17) представлена имитационная модель источника бесперебойного питания. Схема состоит из выпрямителя (В), Г-образного фильтра (Ф1), построенного на элементах $C1$ и $L1$, которые сглаживают напряжение и ток. Повышающий преобразователь напряжения (ППН) для стабилизации напряжения на входе инвертора выполнен на элементах $L2$, $L3$, $VT1$, $C2$, VD . Транзистор $VT1$ замыкается/ размыкается с заданной частотой преобразования, которая задается с помощью блока системы управления (СУ ППН) представленной на рисунке 16.

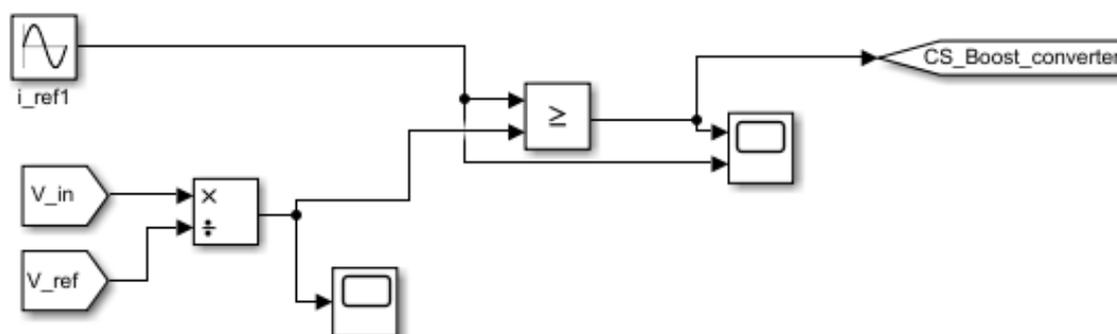


Рисунок 16 – Система управления ППН

СУ ППН работает по принципу сравнения синусоидального сигнала с уставкой. Уставка задается делением входного напряжения ППН на напряжение задания. Когда сигнал синусоиды больше, чем отношение входного напряжения к заданному, транзистор $VT1$ открыт, при противоположном условии – закрыт. Блок i_ref1 с параметрами:

- Амплитуда 1.
- Частота $2\pi \cdot 50$ рад/сек.
- Фаза 0 радиан.
- $V_in = 727,74\text{В}$; $V_ref = 680\text{В}$.

Блок АБ представляет собой блок аккумуляторных батарей. Г-образный фильтр (Ф2), выполнен на элементах $C3$ и $L4$, которые сглаживают напряжение и ток.

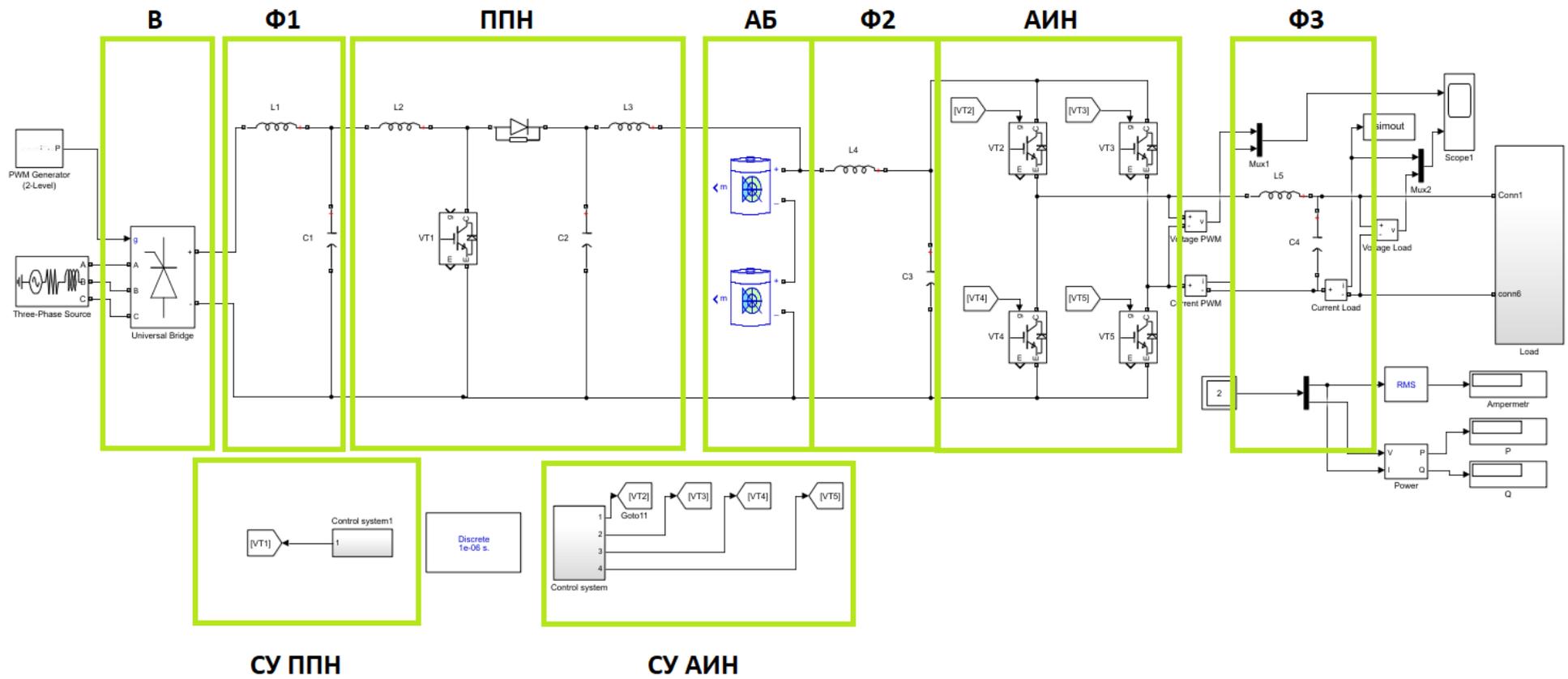


Рисунок 17 – Имитационная модель однофазного ИБП в сетевом режиме работы

Инвертор напряжения (АИН), выполнен на IGBT-транзисторах $VT2$ - $VT5$, и управляется с помощью системы управления, представленной в виде блока «Control system» (рисунок 18).

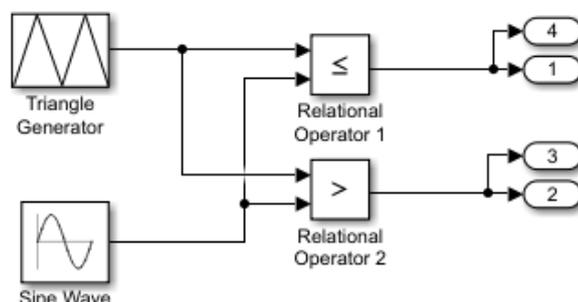


Рисунок 18 – Система управления АИН

Постоянное напряжение на входе АИН преобразуется в переменное при помощи IGBT-транзисторов, управляемых СУ АИН с широтно-импульсной модуляцией. В СУ АИН сравнивается синусоидальный сигнал, подаваемый с блока Sine Wave с сигналом пилообразной формы. Если сигнал пилообразной формы больше или равен синусоидальному, то $VT2$ и $VT5$ открыты, а когда пилообразный сигнал ниже, то открыты $VT4$ и $VT3$. Таким образом, получаем на выходе стабильный уровень переменного напряжения. Далее на выходе инвертора подключается сглаживающий фильтр (ФЗ), состоящий из элементов $L5$ и $C4$, для уменьшения помех тока и напряжения.

На рисунках 19 представлена осциллограмма напряжения на выходе выпрямителя, после фильтра и на выходе повышающего преобразователя.

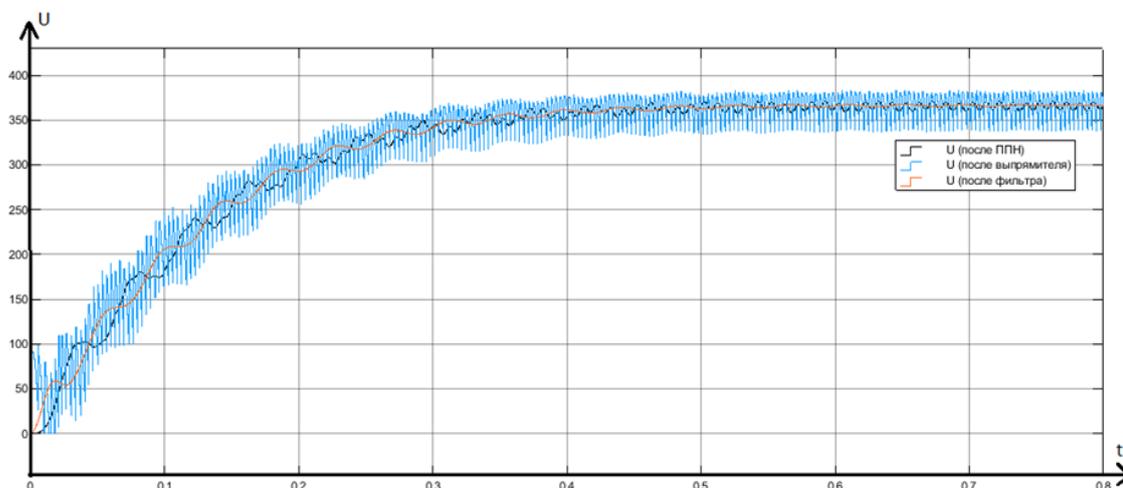


Рисунок 19 – Осциллограммы напряжения на выходе выпрямителя, после фильтра и на выходе повышающего преобразователя

На рисунке 20 представлена аналогичная осциллограмма напряжения на выходе выпрямителя, после фильтра и на выходе повышающего преобразователя в увеличенном масштабе.

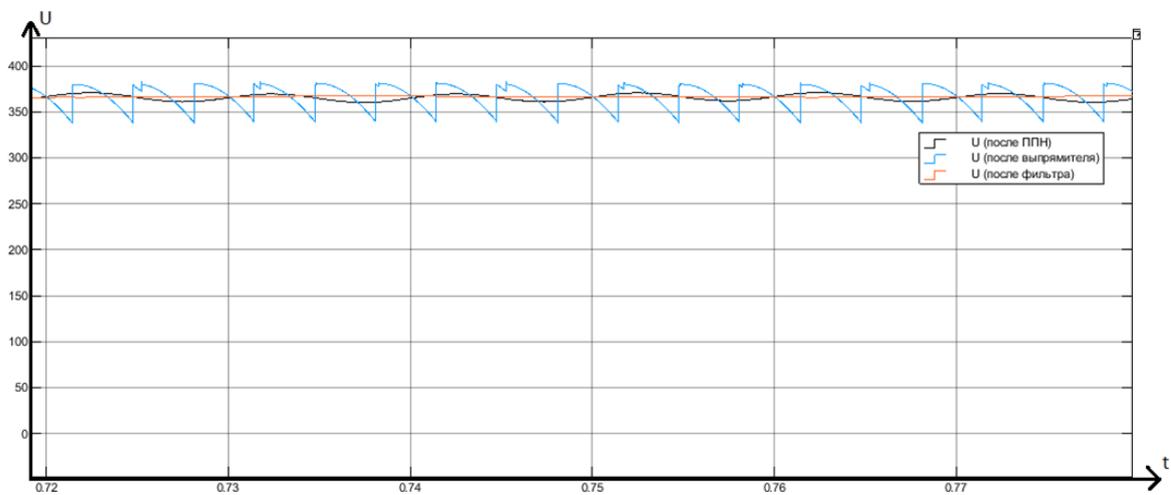


Рисунок 20 – Осциллограммы напряжения на выходе выпрямителя, после фильтра и на выходе повышающего преобразователя (в приближении)

На рисунке 21 представлены осциллограммы тока и напряжения на выходе инвертора и на нагрузке.

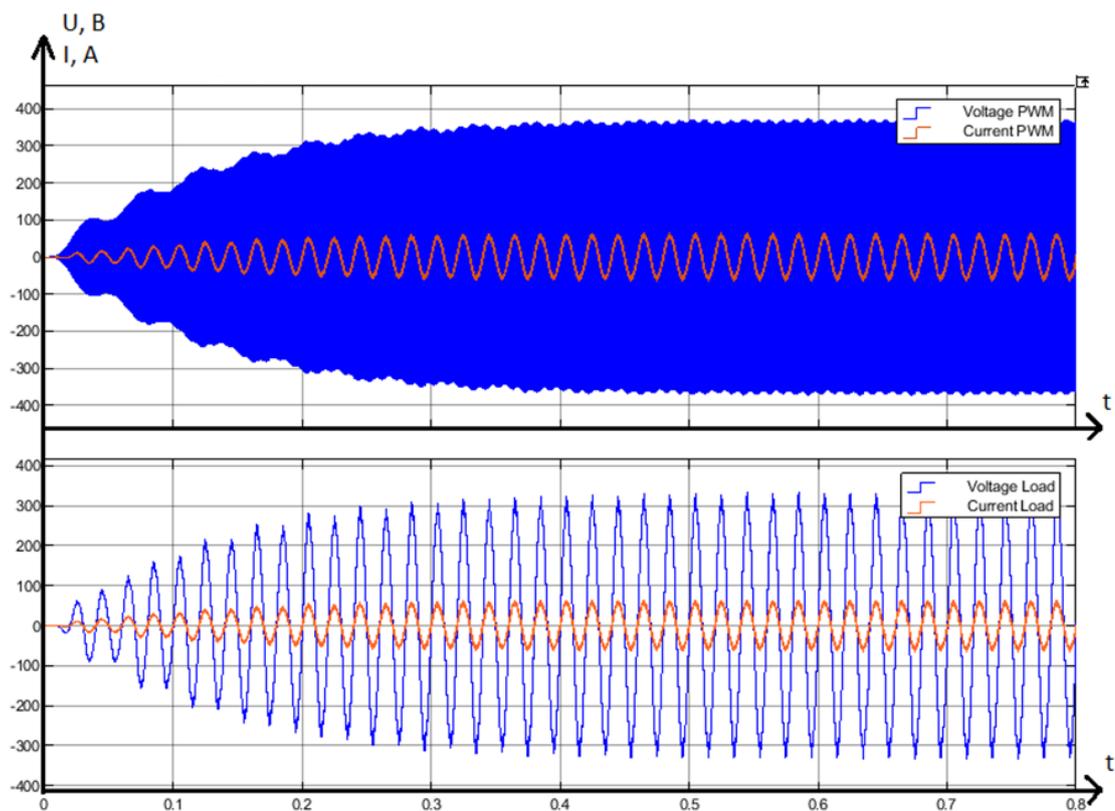


Рисунок 21 – Осциллограммы тока и напряжения на выходе инвертора и на нагрузке

Для номинальной нагрузки получаем следующие параметры: $P_1 = 8982$ Вт;
 $Q_1 = 385,9$ Вт; $S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{8982^2 + 385,9^2} = 8990,29$; $K = \frac{P_1}{S_1} = 0,99$,

где P_1 – активная мощность; Q_1 – реактивная мощность; S_1 – полная мощность; K – коэффициент мощности.

3.1.1. Исследование сетевого режима работы ИБП при набросе активно-ёмкостной нагрузки

Оборудование имеет в своем составе блоки питания, которые в свою очередь выступают активно-ёмкостной нагрузкой и вносят свои искажения в напряжение питания. Наброс активно-ёмкостной нагрузки моделируется в блоке «Load». Структура блока показана на рисунке 22.

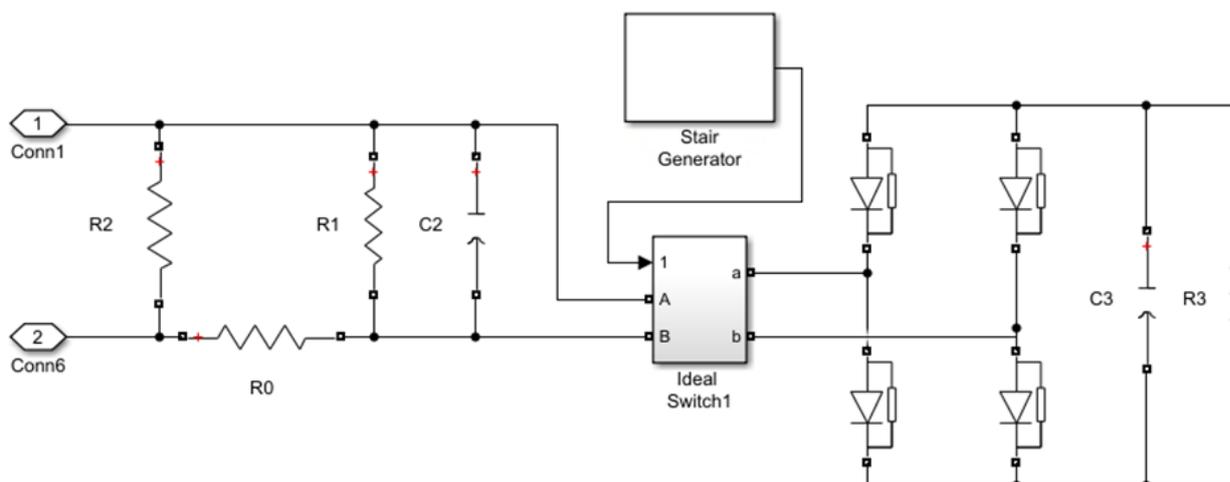


Рисунок 22 – Структура блока «Load»

Элементы R1 и C2 являются основной нагрузкой, R3 и C3 – та нагрузка, которая подключается по таймеру, в момент времени 0,5 с. Подключение нагрузки осуществляется подсистемой, структура которой показана на рисунке 23.

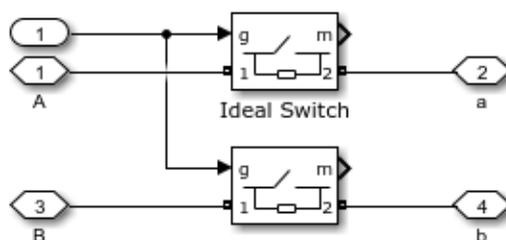


Рисунок 23 – Подсистема переключателя нагрузки

Параметры основной нагрузки: $P = 9000$ Вт, $Q = 400$ ВАр.

Параметры набрасываемой нагрузки: $P = 3000$ Вт, $Q = 1500$ ВАр.

На рисунке 24 приведено окно гармонического анализа до наброса нагрузки.

Значение полной, активной и реактивной мощностей, коэффициента мощности до наброса нагрузки: $P_1 = 7960$ Вт; $Q_1 = 353,7$ Вт;

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{7960^2 + 353,7^2} = 7967,8; K = \frac{P_1}{S_1} = 0,99$$

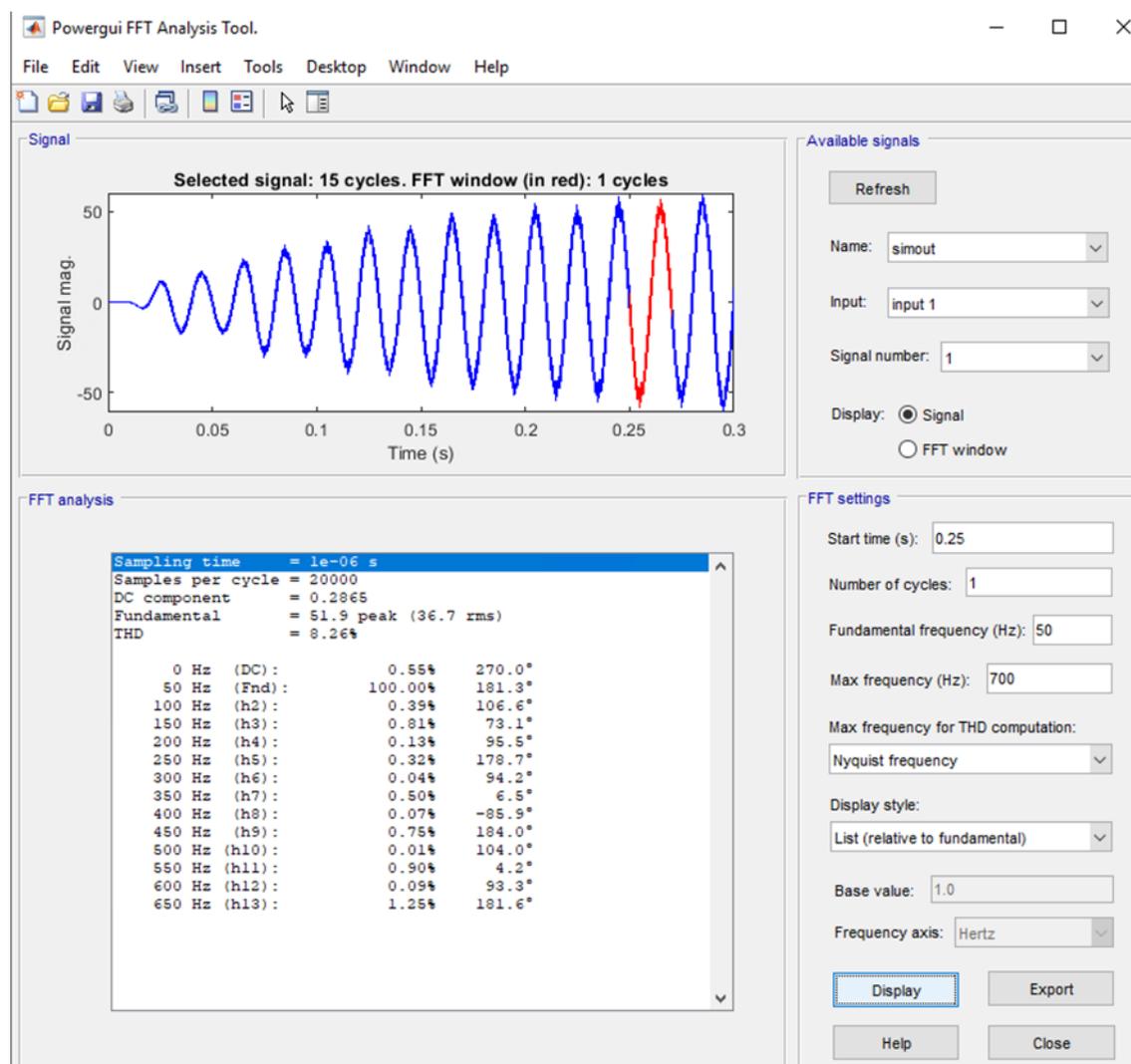


Рисунок 24 – Гармонический анализ состава выходного тока на нагрузке до наброса нагрузки

На рисунке 25 приведено окно гармонического анализа после наброса нагрузки. Значение полной, активной и реактивной мощностей, коэффициента мощности после наброса нагрузки: $P_1 = 10061$ Вт; $Q_1 = 1264$ Вт;

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{10061^2 + 1264^2} = 10140; K = \frac{P_1}{S_1} = 0,99.$$

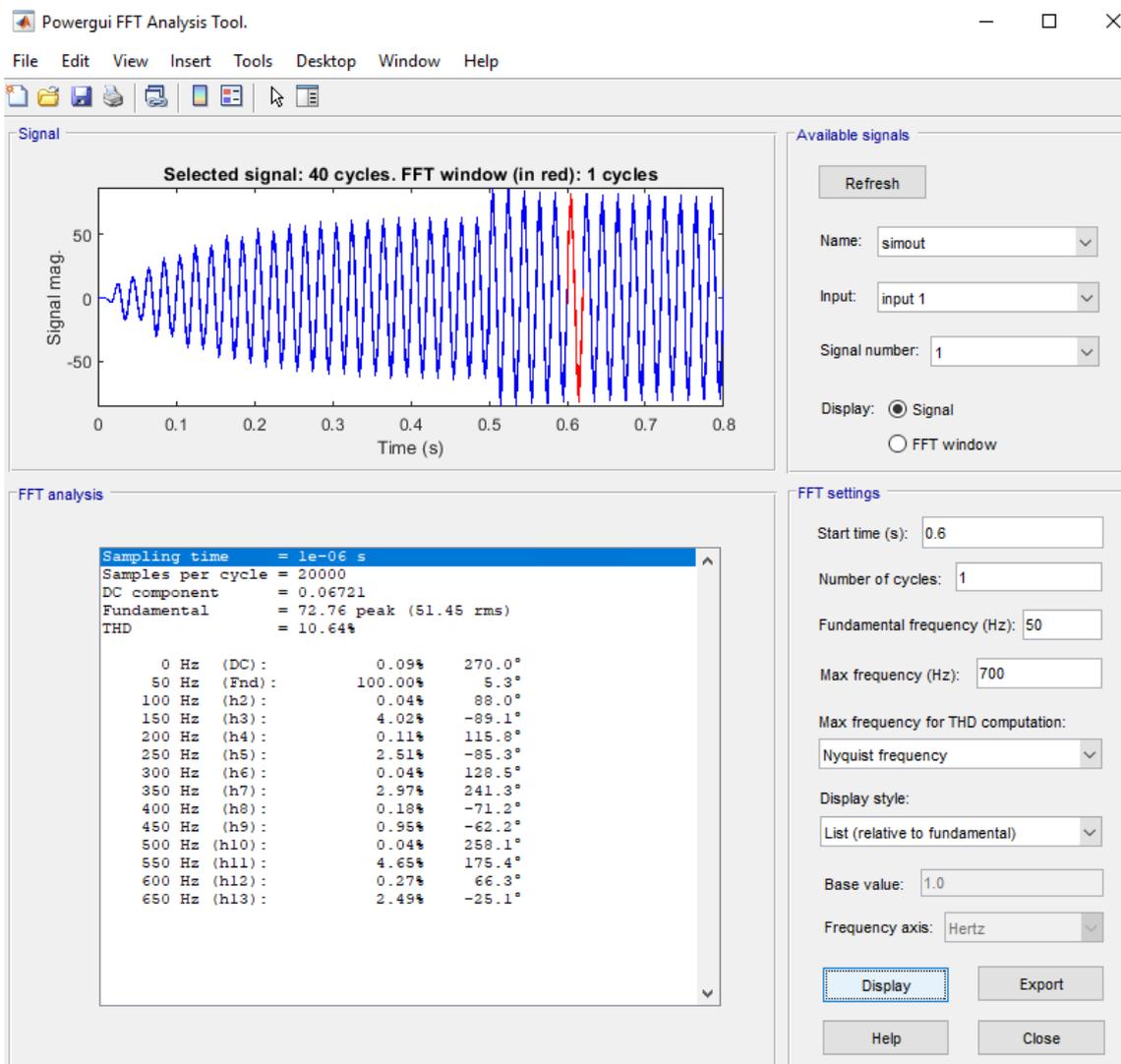


Рисунок 25 – Гармонический анализ состава выходного тока на нагрузке после наброса нагрузки

По полученным гармоническим анализам до наброса нагрузки и после наброса, можно сделать вывод, что ёмкостная нагрузка ухудшает показатели качества электроэнергии, добавляя высшие гармоники. Видно, что после наброса нагрузки показания третьей, пятой и седьмой гармоники выросли. Данные гармоники оказывают негативное влияние на электроэнергию. Следовательно возникают дополнительные потери электроэнергии в цепях, сокращается срок службы оборудования, появляются помехи в работе.

3.2. Имитационная модель ИБП при работе от аккумуляторных батарей

Испытание системы в аварийном режиме работы (работа от аккумуляторных батарей) производится по схеме, представленной на рисунке.

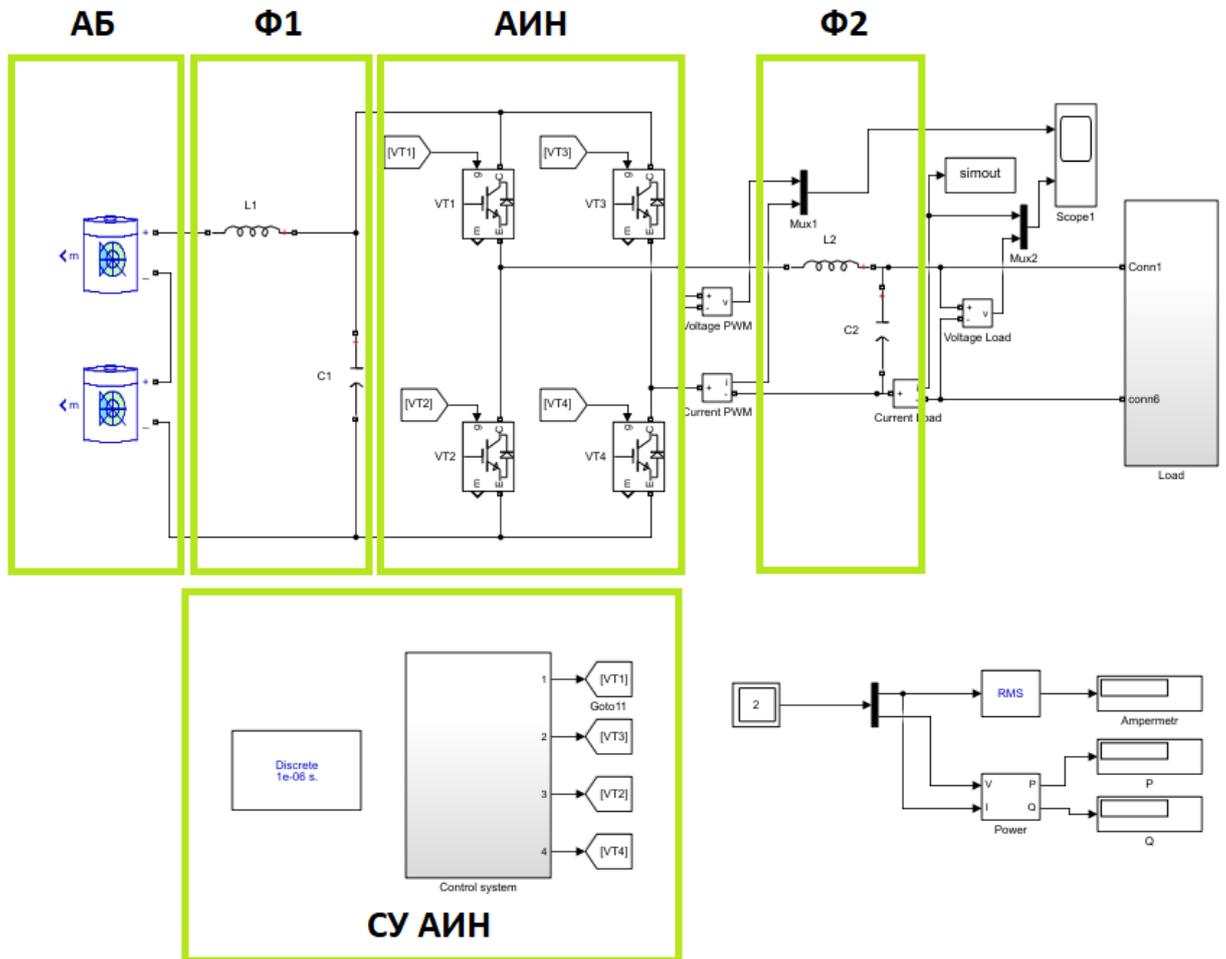


Рисунок 26 – Имитационная модель ИБП в аварийном режиме

Модель состоит из двух аккумуляторных батарей, инвертора, собранного на четырех IGBT-модулях с обратными диодами, LC-фильтра на выходе инвертора, блока нагрузки «Load», системы управления инвертором «Control system».

3.2.1 Исследование аварийного режима работы ИБП на активно-ёмкостную нагрузку

Структурная схема блока «Load», настроена на активно-ёмкостную нагрузку и представлена ранее на рисунке 22. Данная схема позволяет моделировать наброс нагрузки. Методика изменения нагрузки, следующая: в момент времени равный 0,15 с происходит ее наброс из-за замыкания ключей блока «Stair Generator», после чего правая часть схемы становится параллельно

подключенной к левой части. Время, когда происходит замыкание ключей и соответственно наброс нагрузки задается с помощью блока «Stair Generator».

После моделирования работы схемы, получены следующие данные:

- Осциллограммы тока и напряжения на выходе АИН и нагрузки, представлены на рисунке 27.

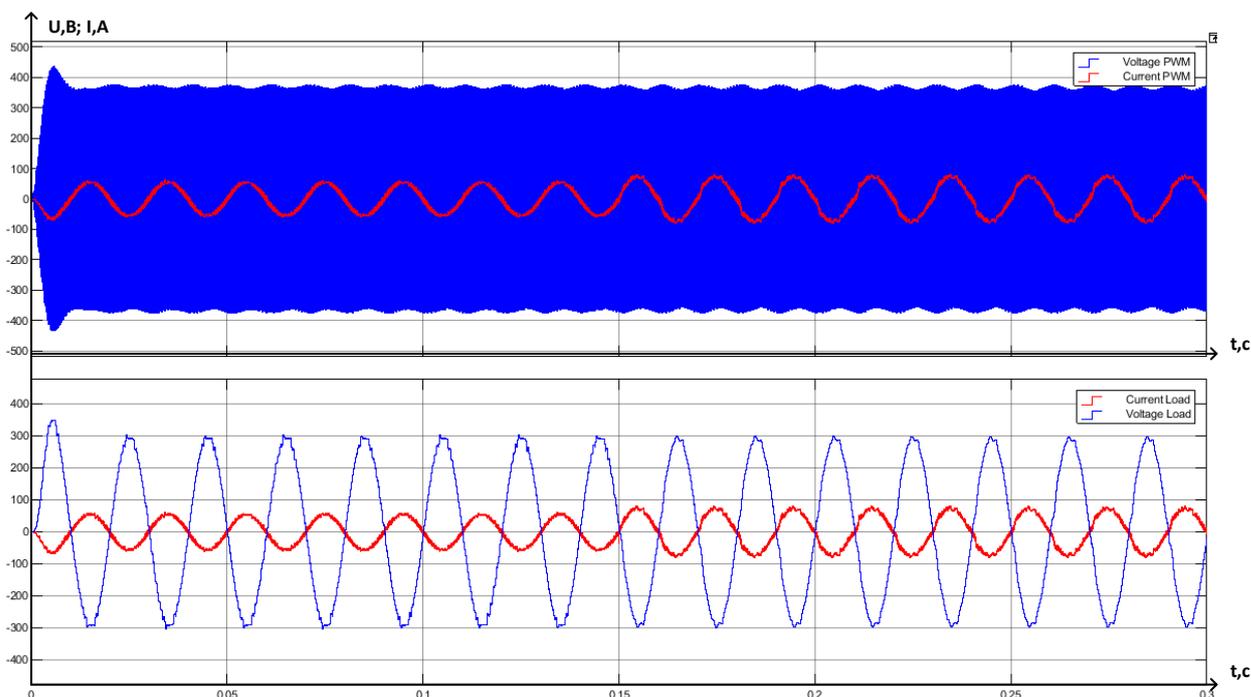


Рисунок 27 – Осциллограммы тока и напряжения на выходе АИН и нагрузки

- Гармонический анализ состава выходного тока на нагрузке до наброса нагрузки: $h_3 = 2,97\%$; $h_5 = 0,07\%$; $h_7 = 0,2\%$.
- Гармонический анализ состава выходного тока на нагрузке после наброса нагрузки: $h_3 = 4,96\%$; $h_5 = 2,27\%$; $h_7 = 2\%$

Величина полной, активной и реактивной мощностей, величина коэффициента мощности до и после наброса нагрузки представлена в Таблице 1.

Таблица 2. Величина полной, активной и реактивной мощностей, величина коэффициента мощности

	$S, \text{ ВА}$ $(\sqrt{P^2 + Q^2})$	$P, \text{ Вт}$	$Q, \text{ вар}$	Коэффициент мощности $(\frac{P}{S})$
До наброса нагрузки ($t=0,9$ с)	10660,8	10600	1137	0,9942
После наброса нагрузки ($t=0,3$ с)	10922,2	10860	1164	0,9943

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что для активно-емкостной нагрузки по мере увеличения нагрузки происходит увеличение гармоник. Параметры, приведенные в таблице 1, свидетельствуют о том, что при изменении активной и реактивной составляющих полной мощности, коэффициент мощности практически не изменяется, что говорит об использовании электроэнергии с наименьшими потерями до и после нагрузки.

3.3. Исследование режимов работы ИБП при различных значениях нелинейной нагрузки

3.3.1. Влияние высших гармоник на электрооборудование

Работа большинства электрических приборов обеспечивается качеством поступающей на них электрической энергии. Но даже в условиях безаварийной работы в системе возникают процессы, обуславливающие возникновение гармоник в электрических сетях. При этом никаких отключений или нарушений может и не происходить, большинство гармоник спокойно вырабатываются во всех цепях, независимо от рода нагрузки. Однако с возрастанием их величины, возможен ряд негативных последствий, как для потребителей, так и для энергосистемы в целом. Высшие гармоники напряжения и тока оказывают влияние на все элементы систем электроснабжения [17].

Основными формами воздействия высших гармоник на системы электроснабжения являются [18]:

- увеличение токов и напряжений высших гармоник вследствие параллельного и последовательного резонансов;
- снижение эффективности процессов генерации, передачи, использования электроэнергии;
- старение изоляции электрооборудования и сокращение вследствие этого срока его службы;
- ложная работа оборудования.

По сути, гармоники – это токи-паразиты, которые оборудование не может потребить или потребляет частично с негативным эффектом. В электродвигателях они

являются причиной вибраций, в различных сетях приводят к перегреву, а если гармоника ниже, чем номинальный синусоидальный ток необходимый для работы электротехники, то в сервоприводах, автоматических выключателях и другом оборудовании они могут вызывать ложные срабатывания. Большая проблема – преждевременное старение электроизоляции в сетях с обилием гармоник. Гармоники, превышающие частоту номинального тока, вызывают нагрев проводников, при этом в изоляционных материалах начинаются термохимические процессы, меняющие их свойства. Следствием данных процессов являются пробой изоляции.

3.3.2. Исследование работы ИБП при изменении активной составляющей мощности нелинейной нагрузки

Для изучения работы ИБП при изменении активной составляющей нелинейной нагрузки, необходимо провести моделирование работы схемы при изменении активной мощности нагрузки и при постоянном значении реактивной мощности нагрузки. В данной случае нет необходимости моделировать наброс нагрузки, в связи с этим измененная структурная схема блока «Load» относительно представленной ранее. Измененный блок нагрузки представлен на рисунке 28. Изменение активной мощности нагрузки принято в диапазоне $P=(855,6\div 8148,2)$, Вт при значении реактивной мощности $Q=\text{const}=400$, Вар.

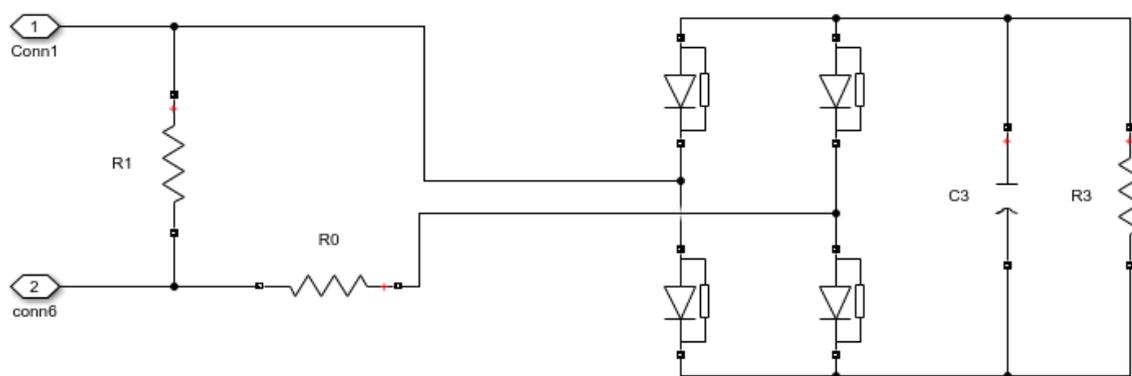


Рисунок 28 - Блок нагрузки для исследования работы ИБП при изменении активной составляющей мощности нелинейной нагрузки

Результаты моделирования работы схемы при изменяемых значениях активной мощности нагрузки представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты моделирования работы схемы ИБП при изменении значения активной мощности нагрузки

S, ВА	P, Вт	Q, ВАр	Коэффициент мощности	I _н , А	h ₃ ,%	h ₅ ,%	h ₇ ,%
855,6	820,5	242,6	0,958960667	5,298	9,58	8,21	5,21
1678,03	1654	283	0,98567608	8,921	3,58	3,15	2,2
2507,9	2490	299,4	0,992848509	12,69	1,98	1,82	1,35
3334,2	3320	307,5	0,995738124	16,6	1,35	1,23	0,95
4154,6	4143	311	0,997194371	20,56	1,08	0,94	0,72
4967,9	4958	314	0,998000542	24,53	0,92	0,75	0,55
5773,6	5765	316,4	0,998497327	28,5	0,85	0,63	0,43
6572,7	6565	318,2	0,998827436	32,46	0,83	0,55	0,34
7363,9	7357	319	0,999061276	36,41	0,82	0,5	0,28
8148,2	8142	319,7	0,999229999	40,34	0,81	0,47	0,24

По полученным результатам построены следующие зависимости:

- зависимость коэффициента мощности от тока нагрузки, представленная на рисунке 29;

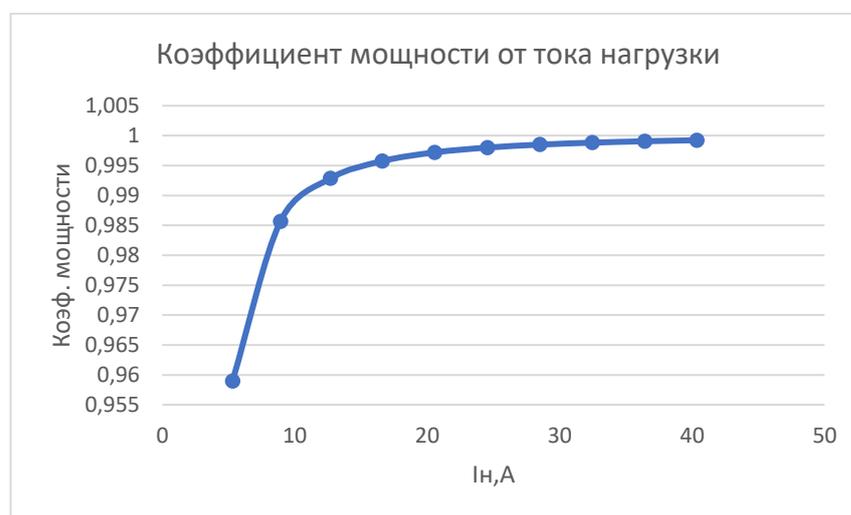


Рисунок 29 – Зависимость коэффициента мощности от тока нагрузки

- зависимость коэффициента мощности от величины активной нагрузки, представленная на рисунке 30;

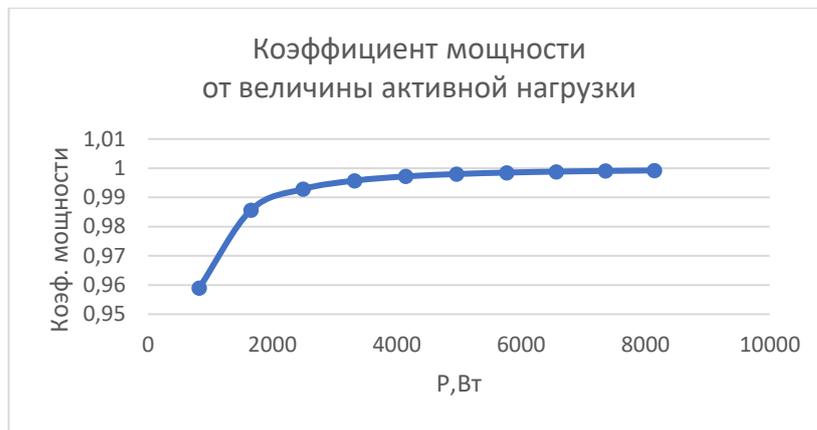


Рисунок 30 – Зависимость коэффициента мощности от величины активной нагрузки

- гармонический состав выходного тока от величины активной нагрузки, представленный на рисунке 31;

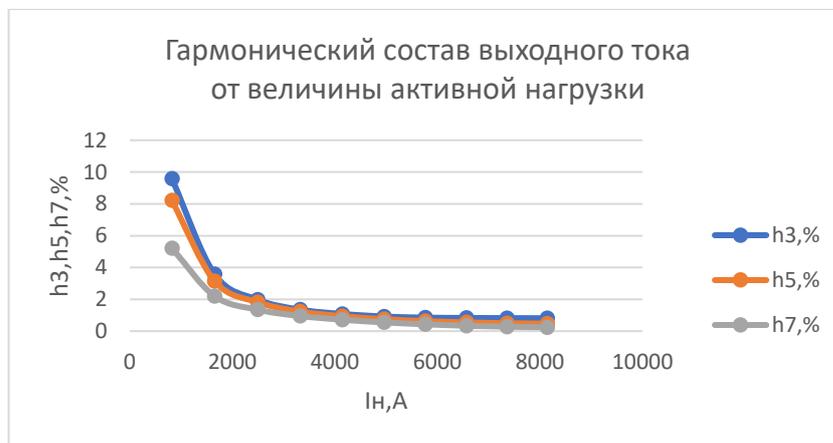


Рисунок 31 – Гармонический состав выходного тока от величины активной нагрузки

- зависимость активной мощности, выделяемой в нагрузке, представленный на рисунке 32;

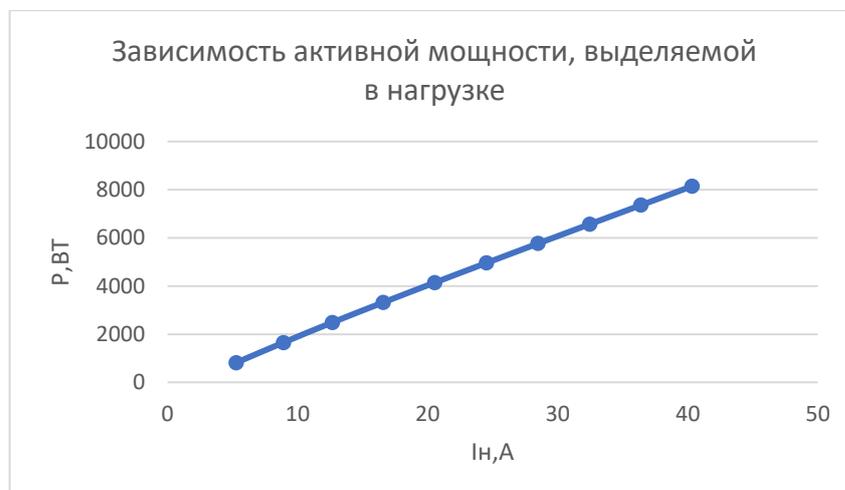


Рисунок 32 – Зависимость активной мощности, выделяемой в нагрузке

Графические зависимости, изображенные на рисунках 29, 30, свидетельствуют о том, что при увеличении активной составляющей мощности нагрузки, составляющая реактивной мощности в процентном соотношении уменьшается, тем самым происходит увеличение коэффициента мощности. Данный факт говорит о том, что эффективное использование электроэнергии с наименьшими потерями при питании потребителя, работающего на нелинейную нагрузку, достигается путём потребления нагрузкой такого значения мощности, которое сопоставимо с мощностью источника.

Увеличение значения активной составляющей мощности нелинейной нагрузки, также положительно сказывается на величине гармонических составляющих выходного тока (рисунок 31). Так при минимальном значении активной мощности нагрузки, видно, что наибольшее значение имеет гармоника номер 3, гармоники 5 и 7 также имеют высокие значения. При увеличении активной составляющей нагрузки, прослеживается значительно снижение 3, 5 и 7 гармоник, однако значение 3-ей гармоники всё еще превосходит остальные. Дальнейшее увеличение активной составляющей мощности приводит к уменьшению 3, 5 и 7 гармоник, достигая минимального значения при значении активной мощности близкой к номинальной.

3.3.3. Исследование работы ИБП при изменении реактивной составляющей мощности нелинейной нагрузки

Для изучения работы ИБП при изменении реактивной составляющей нелинейной нагрузки, необходимо провести моделирование работы схемы при изменении реактивной мощности нагрузки и при постоянном значении активной мощности нагрузки. Изменение реактивной мощности нагрузки принято в диапазоне $Q=(686,3\div 3533)$, Вар при значении активной мощности $P=\text{const}$, Вт.

Результаты моделирования работы схемы при изменяемых значениях активной мощности нагрузки представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты моделирования работы схемы ИБП при изменении значения активной мощности нагрузки

S, ВА	P, Вт	Q, ВАр	Коэффициент мощности	I _н , А	h ₃ ,%	h ₅ ,%	h ₇ ,%
8132,01	8103	686,3	0,99643239	40,27	1,4	1,06	0,8
8136,2	8034	1286	0,98742989	40,34	3,07	3,06	2,66
8194,7	7986	1838	0,97452266	40,76	5,47	5,9	5,41
8293,3	7966	2307	0,96053036	41,76	9,22	10,04	9,48
8380,02	7903	2787	0,94307622	42,75	12,44	14,73	16,85
8428,7	7881	2989	0,93501109	43,51	16,79	18,57	21,95
8420,5	7797	3180	0,92594937	44,24	21,64	25,17	23,77
8449,9	7691	3500	0,91018401	45,7	25,26	34,12	24,07
8380,4	7603	3525	0,90723509	47,8	27,43	41,13	25,5
8370,1	7588	3533	0,90655211	50,16	30,72	46,57	25,55

По полученным результатам построены следующие зависимости:

- зависимость коэффициента мощности от тока нагрузки, представленная на рисунке 33;



Рисунок 33 – Зависимость коэффициента мощности от тока нагрузки

- зависимость коэффициента мощности от величины реактивной нагрузки, представленная на рисунке 34;

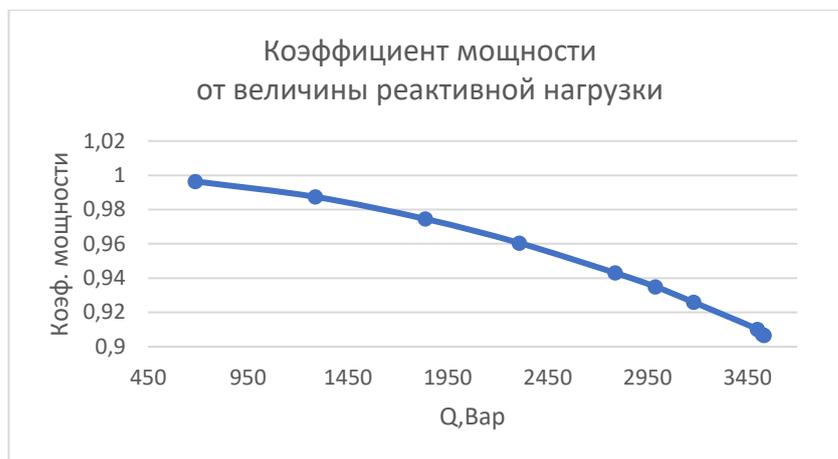


Рисунок 34 – Зависимость коэффициента мощности от величины реактивной нагрузки

- гармонический состав выходного тока от величины реактивной нагрузки, представленный на рисунке 35;

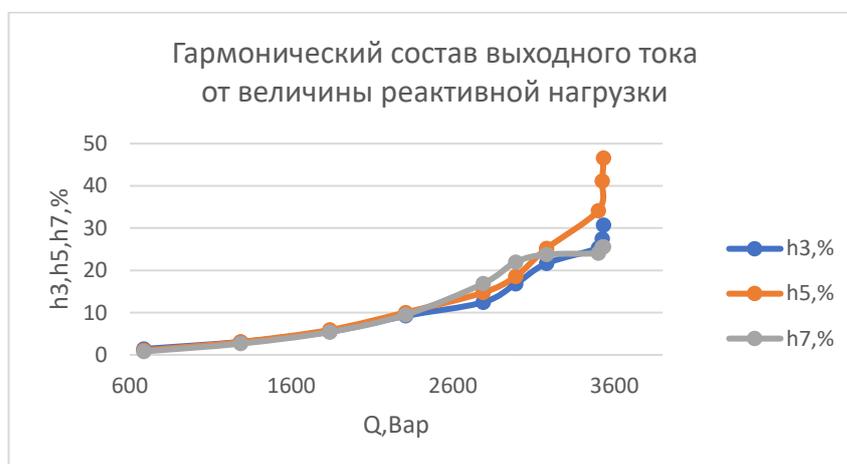


Рисунок 35 – Гармонический состав выходного тока от величины реактивной нагрузки

- зависимость реактивной мощности, выделяемой в нагрузке, представленный на рисунке 36;

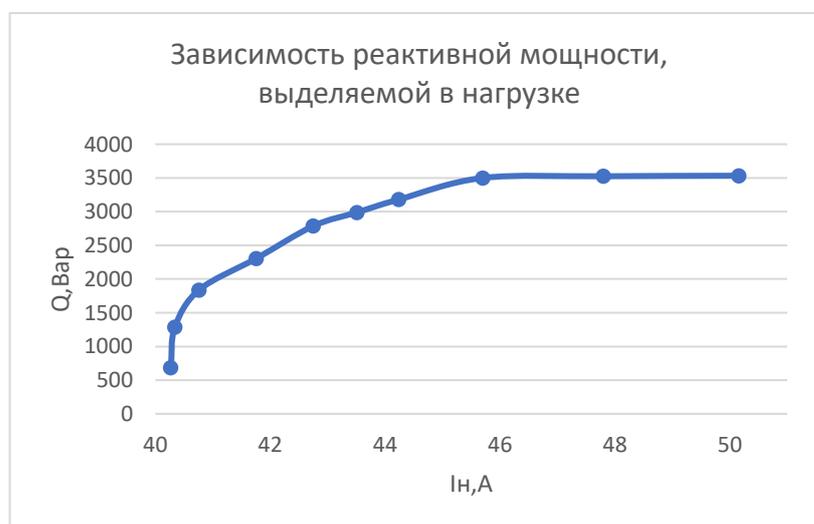


Рисунок 36 – Зависимость реактивной мощности, выделяемой в нагрузке

Работа приборов с нелинейной нагрузкой, в частности, с емкостным характером, приводит к увеличению такой составляющей полной мощности как реактивная мощность. Увеличение значения реактивной составляющей мощности нелинейной нагрузки приводит к уменьшению активной составляющей полной мощности в процентном соотношении и, соответственно, происходит уменьшение коэффициента мощности, что приводит к увеличению потребления электроэнергии и нежелательному росту тока в электропроводке, вызывающего сбой при работе электрооборудования.

Несмотря на то, что значение активной составляющей нелинейной нагрузки постоянно и относительно близко к мощности источника, рост реактивной составляющей нагрузки приводит к нежелательным последствиям. Так, графическая зависимость, представленная на рисунке 35, отображает тот факт, что увеличение реактивной составляющей нагрузки влияет на гармонический состав выходного тока – происходит рост 3, 5 и 7 гармоник. Увеличение гармоник выходного тока приводит к сопутствующему нагреву элементов электрооборудования, также может приводить к ложному срабатыванию оборудования, реагирующего на изменение режима, обусловленного гармониками, возможны и последствия в виде старения оборудования – разрушение чувствительных элементов высокоточных приборов приводит к утрачиванию класса точности, тем самым они подвергаются преждевременному изнашиванию.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок. Источник бесперебойного питания для микроконтроллера может использоваться в IT-компаниях, банках, крупных предприятиях.

Сегменты рынка. На данный момент на территории России имеется более 100 тысяч IT-компаний, которые применяют в своей работе источники бесперебойного питания для обеспечения непрерывной работы микроконтроллеров.

Основными сегментами, на которые необходимо ориентироваться, являются именно IT-компании, но также можно сотрудничать с банками и крупными предприятиями.

Карта сегментирования рынка показана в таблице 4.

Таблица 4 – Карта сегментирования потребителей

Потребители	Использование серверов		
	Хранение данных	Обеспечение удаленного доступа	Обработка запросов
IT-компании	+	+	+
Банки	+	+	+
Крупные предприятия	+	+	

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,14	5	3	4	0,7	0,42	0,56
2. Качество интеллектуального интерфейса (простота эксплуатации)	0,24	4	5	5	0,96	1,2	1,2
3. Потребность в ресурсах памяти	0,07	2	5	5	0,14	0,35	0,35

4. Надежность	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
5. Безопасность	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,15	5	2	3	0,75	0,3	0,45
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
3. Наличие сертификации разработки	0,1	2	5	5	0,2	0,5	0,5
ИТОГО:	1				4,25	3,97	4,36

где B_{Φ} – балл показателя нашей разработки; B_{K1}, B_{K2} – балл показателя конкурентов.

Оценочная карта показывает, что разработанный источник бесперебойного питания обладает высоким баллом для конкурентоспособности и превосходит в ряде нескольких критериев, для повышения балла необходимо получить сертификат разработки.

Для проведения данного анализа сравнение проводится с двумя источниками бесперебойного питания для серверов: 1) ИБП Vertiv Liebert GXT5 16000VA, Rack/Tower 9U, GXT5-16KIRT9UXLE, 2) ИБП APC SMART-UPS RT RM 15KVA/12KW SURT15KRMXLI.

$$K = \sum B_i \cdot B_i.$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

4.1.3 FAST-анализ

Стадия 1.

В рамках магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает проектируемый источник питания.

Стадия 2.

Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

Таблица 6 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Аккумулятор	1	Обеспечение электрической энергией	×		
Инвертор	1	Преобразование постоянного напряжения в переменное		×	
Неуправляемый выпрямитель	2	Преобразование переменного напряжения в постоянное		×	
Повышающий преобразователь напряжения	2	Увеличение амплитуды напряжения		×	
Фильтр	4	Ограничение высших гармоник			×
Зарядное устройство АБ	1	Осуществление подзаряда АБ			×

Стадия 3

Для оценки значимости функции используем метод расстановки приоритетов, для этого построим матрицу смежности функций (таблица 4), где «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая, и матрицу количественных соотношений функций (таблица 5), для которой 0,5 при «<»; 1,5 при «>»; 1 при «=».

Таблица 7 – Матрица смежности

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6
Функция 1	=	>		>	>	>
Функция 2	<	=	=	=	>	>
Функция 3	<	=	=	=	=	>
Функция 4	<	=	=	=	=	>
Функция 5	<	<	<	=	=	=
Функция 6	<	<	<	<	=	=

Таблица 8 – Матрица смежности

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6	Итого
Функция 1	1	1,5		1,5	1,5	1,5	7

Функция 2	0,5	1	1	1	1,5	1,5	6,5
Функция 3	0,5	1	1	1	1	1,5	6
Функция 4	0,5	1	1	1	1	1,5	6
Функция 5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	4,5
Функция 6	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	4
							Σ 34

Стадия 4

С помощью нормативного метода проведена оценка уровня затрат на выполнение каждой функции.

Таблица 9 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наимен. детали	Кол-во дет. на узел	Выполняемая функция	Трудоемк. дет., нормо-ч	Стоим. мат-ла, руб	ЗП, руб.	Себестоим., руб.
Аккумулятор	1	Обеспечение электрической энергией	1,4	17000	5000	22000
Инвертор	1	Преобразование постоянного напряжения в переменное	0,9	600	320	920
Неуправляемый выпрямитель	2	Преобразование переменного напряжения в постоянное	0,9	600	320	920
Повышающий преобразователь напряжения	2	Увеличение амплитуды напряжения	1,2	1200	1500	1100
Фильтр	4	Ограничение высших гармоник	0,5	300	160	450
Зарядное устройство АБ	1	Осуществление подзаряда АБ	0,6	540	220	760

Стадия 5

Суммирование затрат по каждой из функций определяет общую стоимость каждой из них и используется для построения функционально-стоимостной диаграммы (ФСД), представленной на рисунке 37. Построенная ФСД позволяет выявить диспропорции между важностью функций и затратами на них.

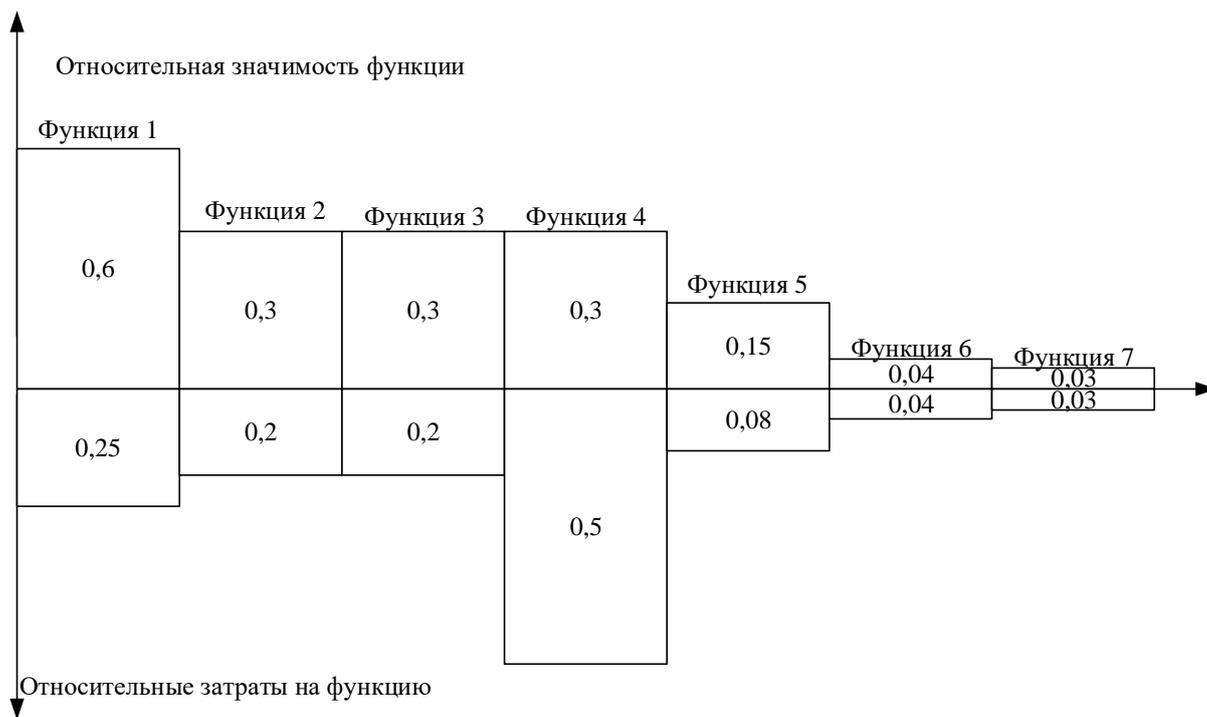


Рисунок 37 – Функционально-стоимостная диаграмма

4.1.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT - анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде (таблица 10).

Таблица 10 – Матрица SWOT

<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Малые габариты и вес;</p> <p>С2. Хорошие показатели качества электроэнергии;</p> <p>С3. Качественная защита потребителя;</p> <p>С4. Легко заменяемые компоненты, в случае выхода их из строя в процессе эксплуатации;</p> <p>С5. Быстродействие системы.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров;</p> <p>Сл2. Жесткие требования к помещению, где эксплуатируется;</p> <p>Сл3. Необходимо техническое обслуживание.</p>
---	--

<p>Возможности:</p> <p>В1. Возможно применение в разных отраслях;</p> <p>В2. Использование новых технологий;</p> <p>В3. Увеличение клиентской базы</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Ответственность за оборудование и убытки потребителя;</p> <p>У2. Растущее конкурентное давление;</p> <p>У3. Ограничение на экспорт технологии.</p>
--	--

Второй этап – выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды, что поможет выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 11. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	-
	B2	-	+	-	+	+
	B3	+	+	-	+	+
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3		
	B1	-	-	+		
	B2	-	-	-		
	B3	+	-	-		
Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	+	-	-
	У2	-	-	-	0	-
	У3	0	-	-	+	-
Слабые стороны проекта						
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3		
	У1	-	-	-		
	У2	0	-	-		
	У3	0	+	-		

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в таблице 12.

Таблица 12– SWOT-анализ

	Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
	С1. Малые габариты и вес; С2. Хорошие показатели качества электроэнергии; С3. Качественная защита потребителя; С4. Легко заменяемые компоненты, в случае выхода их из строя в процессе эксплуатации; С5. Быстродействие системы.	Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров; Сл2. Жесткие требования к помещению, где эксплуатируется; Сл3. Необходимо техническое обслуживание.
Возможности (O):	Мероприятия (S–O)	Мероприятия (W–O)
В1. Возможно применение в разных отраслях; В2. Использование новых технологий; В3. Увеличение клиентской базы.	1. Развитие технической базы; 2. Участие на выставках; 3. Организация промышленного производства модели с улучшенными техническими характеристиками.	1. Проведение постоянного мониторинга потребителей и анализ действия конкурентов; 2. Разработка и применение новых технологий.
Угрозы (Т):	Мероприятия (S–Т)	Мероприятия (W–Т)
У1. Ответственность за оборудование и убытки потребителя; У2. Растущее конкурентное давление; У3. Ограничение на экспорт технологии.	1. Проведение гибкой ценовой политики и введение системы скидок; 2. Продвижение рекламы и укрепление бренда на рынке.	1. Наладка устойчивой обратной связи с клиентами.

4.1.5 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 этого заполнена специальную форму, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 13).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало

знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 13 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно–технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно–технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
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	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ:	35	39

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i,$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; $B_{\text{сум}}$ – балл по i -му показателю.

Перспективность средняя, следовательно, необходимо увеличивать объемы инвестирования и улучшать направления проведения оценки стоимости интеллектуальной стоимости, повышать уровень компетенций недостающих разработчику в данном вопросе и предусматривать возможности привлечения требуемых специалистов в команду проекта.

4.1.6 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец, преследует вполне определенную цель, куда он намерен направить полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств, для продолжения своих научных исследований и разработок, одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Инжиниринг как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

Данный вид применим, т.к. источник бесперебойного питания создается по техническому заданию к конкретному потребителю.

4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В таблице 14 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 14 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка и исследование источника бесперебойного питания для защиты ответственных серверов
Ожидаемые результаты проекта:	Разработан источник бесперебойного питания согласно ТЗ
Критерии приемки результата проекта:	Представление расчетного материала параметров схемы и результатов моделирования схемы (осциллограммы напряжения и тока на нагрузке)
Требования к результату проекта	Работоспособность системы
	Показатели качества электроэнергии должны удовлетворять техническому заданию

В таблице 15 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 15 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1.	Глазачев А. В., НИ ТПУ, доцент ИШЭ	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	19
2.	Чалдин К. А., магистрант ИШЭ	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, проведение расчета, моделирования, анализ полученных результатов, написание работы	186
ИТОГО:				205

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы

проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (таблица 16).

Таблица 16 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	296 655
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта:	01.09.2021-31.05.2022
Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2021
Дата завершения проекта	12.06.2022

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 38 представлена иерархическая структура работ.



Рисунок 38 – Иерархическая структура работ

4.3.2 План проект

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблицы 17 и 18).

Таблица 17– Календарный план проекта

Основные этапы	Длительность	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Поиск и изучение информации	41	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
Расчет и выбор оборудования, подбор необходимых технических средств	40	Разработка функциональной и структурной схемы	Исполнитель
	67	Проведение расчетов элементов схемы	
	70	Моделирование системы в программной среде Matlab	
	1	Проверка проекта	Исполнитель, научный руководитель
Пояснительная записка	63	Составление пояснительной записки	Исполнитель
Оформление отчета по техническому проектированию	16	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	6	Подготовка к защите ВКР	Исполнитель Научный руководитель

4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- Специальное оборудование
- Заработную плату исполнителей технического проекта
- Отчисления во внебюджетные фонды
- Накладные расходы

В настоящую смету включается основная и дополнительная заработные платы научных и инженерно-технических работников, отчисления во внебюджетные фонды, материальные и накладные расходы,

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования и программного обеспечения необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 19).

Таблица 19 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (HP)	1	53 000,0	53 000,0
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	5 990,0	5990,0
3	MathCad	1	7818	7818
Итого, руб.:				66808

4.4.1 Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 20.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату: $Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}$, где, $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-15 % от $Z_{осн}$).

Величина расходов по основной заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок: $Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m + Z_d + Z_{рк}}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

Z_d – доплата за руководство расчетного проектирования;

$Z_{рк}$ – доплата с учетом районного коэффициента $K_{рк}$;

$K_{рк}$ равный 1,3 (для Томска).

F_d – фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Таблица 20 – Расчёт основной и дополнительной заработной платы

Исполнители	Z_m , руб	Z_d , руб	$Z_{рк}$, руб	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , дн	$Z_{осн}$, руб	$Z_{доп}$, руб	
Руководитель	36174	723,48	11069,244	47966,72	2533,9	19	48144,1	7221,615	
Исполнитель	21611		6483,3	28094,3	1484,1	186	276045,4	41406,81	
ИТОГО								324189,5	48628,43

4.4.2 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы: $Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$,

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), для ТПУ равный 30% + 0,2% учитывающие травматизм.

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 55365,7 = 16720,4 \text{ руб.}$$

4.4.3 Накладные расходы

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 80%.

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (324189,5 + 48628,43) = 298254,3$$

4.4.4. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Структура затрат, %
Специальное оборудование	66808	8,85
Основная заработная плата	324189,5	42,96
Дополнительная заработная плата	48628,43	6,44
Отчисления во внебюджетные фонды	16720,44	2,22
Накладные расходы	298254,36	39,52
Бюджет затрат НТИ	754600,74	100

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят 754600,74 руб., из которых большую часть 42,96 % составит заработная плата исполнителей и накладные расходы -39,52%.

4.5 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 39.



Рисунок 39 – Проектная организационная структура проекта

4.5.1 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 22).

Таблица 22 – План управления коммуникациями

Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передается информацию
Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.5.2 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 23.

Таблица 23 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешний и внутренние анализы	Низкая точность метода анализа
2	Неточность модели	2	4	Средний	Учет допущений	Особенность программ
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

4.6.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{on_t}}{(1+i)^t} - I_0$$

где $ЧДП_{opt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности; I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году; t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$); n – горизонт расчета; i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 24. При расчете рентабельность проекта составляла 20-25 %, норма амортизации- 10 %.

Таблица 24 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	943250,9	943250,9	943250,9	943250,9
2	Итого приток, руб.	0	943250,9	943250,9	943250,9	943250,9
3	Инвестиционные издержки, руб.	754601	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35%от бюджета)	0	249018,2	249018,2	249018,2	249018,2
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	694232,7	694232,7	694232,7	694232,7
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	138846,5	138846,5	138846,5	138846,5
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	555386,1	555386,1	555386,1	555386,1
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль + амортизация (10% от себест))	-754601	630846,2	630846,2	630846,2	630846,2
10	Коэффициент дисконтирования при $i=25\%$ (КД)	1	0,8	0,64	0,512	0,41
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-754601	504677	403741,6	322993,3	258394,6
12	\sum ЧДД	1489806,4 руб.				
12	Итого NPV, руб.	735205,7 руб.				

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 735205,7 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 = 1,97$$

где ЧДД – чистый денежный поток, руб.; I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или 10. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 25 и на рисунке 40.

Таблица 25 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки, руб.	-754600,7	630846,2	630846,22	630846,22	630846,22	NPV, руб.
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
1	1	0,500	0,250	0,125	0,062		
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-754600,7	573439,2	521079	473765,5	430868	1244550,9
	0,2	-754600,7	525494,9	437807,3	364629,1	304067,9	877398,4
	0,3	-754600,7	485120,7	373461	287035	220796,2	611812,2
	0,4	-754600,7	450424,2	321731,6	229628	164020	411203,1
	0,5	-754600,7	420774,4	280095,7	186099,6	124907,6	257276,6

	0,6	-754600,7	394278,9	246030	153926,5	96519,5	136154,1
	0,7	-754600,7	370937,6	211333,5	128061,8	70654,8	26386,9
	0,8	-754600,7	350750,5	194931,5	107874,7	59930,4	-41113,7
	0,9	-754600,7	331825,1	174744,4	92103,5	48575,2	-107352,5
	1,0	-754600,7	315423,1	157711,6	78855,8	39112,5	-163497,8

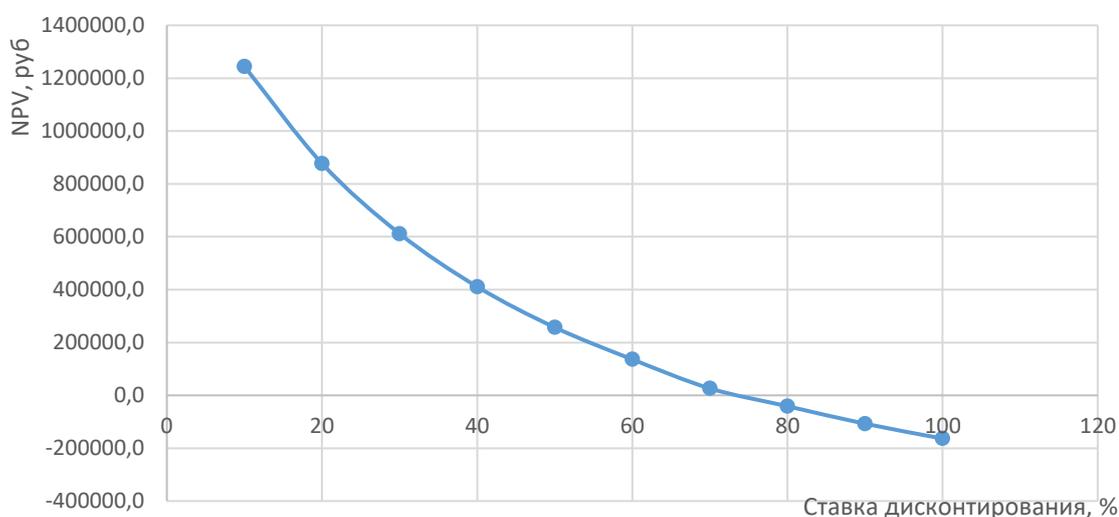


Рисунок 40 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,74 -> проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $74\% - 25\% = 49\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени. Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 26).

Таблица 26 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый	-754600	504677,0	403741,6	322993,3	258394,6

	денежный поток ($i=0,25$), руб.					
2	То же нарастающим итогом, руб.	-754600	-249923,8	153817,8	476811,1	735205,7
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DPP_{дск} = 1 + (249923,8 / 403741,6) = 1,62$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 27).

Таблица 27 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие имитационной модели источника бесперебойного питания для защиты ответственных серверов	Представлен расчет параметров схемы и результатов моделирования схемы источника бесперебойного питания для защиты ответственных потребителей.

4.6.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент разработки; b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 28.

1. Гибкость: возможность частых перестроек технического процесса, расширение системы за счет введения новых технологических модулей;

2. Безопасность: обеспечение безопасности работ при эксплуатации и ремонте оборудования;

3. Помехоустойчивость: максимальное значение электромагнитных помех, воздействующих на стенд, при котором он может продолжать работу с требуемыми рабочими характеристиками;

4. Энергосбережение – малое потребление электроэнергии оборудованием;

5. Надежность: способность объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах;

6. Материалоемкость – расход запасов, который приходится на денежную единицу готовой продукции.

Таблица 28 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Гибкость	0,10	5,00	4,0	5,0
2. Безопасность	0,20	5,00	5,0	5,0
3. Помехоустойчивость	0,15	5,00	4,0	4,0
4. Энергосбережение	0,20	5,00	4,0	4,0
5. Надежность	0,25	5,00	5,0	4,0
6. Материалоемкость	0,10	4,00	4,0	4,0
Итого:	1,00	4,9	4,45	4,3

$$I_m^p = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 = 4,9$$

$$I_1^A = 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 = 4,45$$

$$I_2^A = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 = 4,3$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{финр}}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{\text{финр}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 29.

Таблица 29 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,21	0,18	0,25
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,90	4,45	4,30
3	Интегральный показатель эффективности	23,33	24,7222	17,20
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	1,17	0,84

Выводы: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 735205,7 руб.; индекс доходности $PI = 1,97$, внутренняя ставка доходности $IRR = 74\%$, срок окупаемости $DPP_{\text{дск}} = 1,62$ года.

Таким образом, был разработан ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и достаточно коротким сроком окупаемости.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В процессе трудовой деятельности человек подвергается воздействию производственных факторов, которые способны влиять на здоровье человека. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называется условиями труда.

Реальные условия труда характеризуются различными вредными и опасными факторами. При этом, между опасными и вредными факторами не существует чёткой границы, каждый фактор может рано или поздно привести к потере здоровья.

Объектом изучения в ВКР является источник бесперебойного электропитания. Область применения: нефтегазовая промышленность. Работа данной системы производится в производственном помещении (серверная), площадью 20 м². В ходе выполнения настоящей работы необходимо разработать и спроектировать схему ИБП, и в соответствии с этой схемой составить систему управления.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Целями трудового законодательства являются установление государственных гарантий трудовых прав и свобод граждан, создание благоприятных условий труда, защита прав и интересов работников и работодателей.

Согласно статье 212 ТК РФ работодатель должен обеспечить безопасных условий и охраны труда. Для работников, чьи условия труда на рабочих местах по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда устанавливается сокращенная, продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю [36].

На работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также

смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами, которые устанавливаются в порядке, определяемом ТК РФ [36].

Санитарно-бытовое обслуживание и медицинское обеспечение работников в соответствии с требованиями охраны труда возлагается на работодателя. В этих целях работодателем по установленным нормам оборудуются санитарно-бытовые помещения, помещения для приема пищи, помещения для оказания медицинской помощи, комнаты для отдыха в рабочее время и психологической разгрузки; организуются посты для оказания первой помощи, укомплектованные аптечками для оказания первой помощи; устанавливаются аппараты (устройства) для обеспечения работников горячих цехов и участков газированной соленой водой и другое [36].

Так как оператор проводит большое время в кресле, наблюдая за показателями, то кресло должно обеспечивать человеку-оператору соответствующую характеру и условиям труда физиологически рациональную рабочую позу [23]. При невозможности покинуть рабочее место длительное время конструкция кресла должна обеспечивать условия для отдыха человека-оператора в кресле. В конструкции кресла должны регулироваться высота поверхности сиденья и угол наклона спинки. При необходимости должны регулироваться также следующие параметры: высота спинки, высота подлокотников, угол наклона подлокотников, высота подголовника, высота подставки для ног, угол наклона подставки для ног. Кроме того, следует учитывать, что взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования, а также, должно способствовать оптимальному режиму труда и отдыха, снижению утомления оператора, предупреждению появления ошибочных действий [24]; правильная установка освещения, которое не должно светить в глаза и оставлять блики на рабочем мониторе; для облегчения длительной работы эксперты рекомендуют использовать вспомогательное оборудование, например, особые очки, антибликовые мониторы, коврики для мыши и проч.

Поверхность пола в рабочем помещении должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки и влажной уборки, обладать антистатическими свойствами. В помещении должны находиться аптечка первой медицинской помощи.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ опасных и вредных факторов на рабочем месте

Эксплуатация любого оборудования сопряжена с опасными и вредными производственными факторами, воздействие которых на персонал приводит к заболеваниям и травмам.

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. В связи с чем необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать в процессе эксплуатации погружных электродвигателей в составе УЭЦН (таблица 30).

Таблица 30 Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Повышенный уровень шума	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания ГОСТ 12.1.003 – 2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
2. Превышение уровня вибрации	
3. Отклонение показателей микроклимата	ГОСТ 12.4.002 – 97 ССБТ. Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования.
4. Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений
5. Опасность электропоражения	Правила устройства электроустановки (ПУЭ)

5.2.2 Превышение уровня шума вентиляторов системы охлаждения

Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Шум способен увеличивать содержание в крови таких гормонов стресса, как кортизол, адреналин и норадреналин - даже во время сна. Чем дольше эти гормоны присутствуют в кровеносной системе, тем выше вероятность, что они приведут к опасным для жизни физиологическим проблемам.

Для защиты от шума обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты [39]: наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении шума на рабочих местах.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука и звукового давления на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 31 [34].

Таблица 31. Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Мех. цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

В источниках бесперебойного питания применяются вентиляторы охлаждения, уровень шума которых, согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ, варьируется в пределах 35 – 50 дБА. [19]

Согласно данным, уровень шума, для проведения ремонтных работ, находится в допустимых пределах 40 – 50 Дб и не требует мероприятий по снижению.

5.2.3 Повышенный уровень вибрации

Причиной возникновения вибраций являются вентиляторы системы охлаждения. Воздействие производственной вибрации на человека вызывает

изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни.

Для защиты от вибрации предусматриваются следующие меры [34]:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Технические нормы вибрации представлены в таблице 32 [34].

Таблица 32 – Нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Цех по ремонту оборудования	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда [29].

Система освещения должна быть организована таким образом, чтобы не существовало ни затененных зон способных вызвать неудобство, ни раздражающего ослепляющего света, ни опасного стробоскопического эффекта на движущихся частях из - за освещения. Внутренние элементы, требующие

частой проверки и регулировки, а также зоны технического обслуживания должны быть обеспечены достаточным освещением.

Для общего освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы как энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы. Не смотря на большую стоимость, необходимость в обслуживании и пусковой аппаратуре, они обладают хорошей светоотдачей, имеют длительный срок службы, хорошую цветопередачу и низкую температуру. При выборе типа светильников следует учитывать светотехнические требования, экономические показатели, условия среды.

При выборе необходимого количества ламп необходимо руководствоваться целью создания требуемой освещенности. Выбор необходимой освещенности осуществляется по наименьшей освещенности рабочей поверхности E_{min} . Для помещений, где проводятся управление работами выбираем $E_{min} = 300$ лк [34].

Помещения для АБ ИБП разрешается выполнять без естественного освещения. Габариты помещения и коэффициенты отражения приведены в таблице 33.

Таблица 334 – Габариты помещения и коэффициенты отражения

Габариты помещения, м			Коэффициенты отражения, %		
Длина(a)	Ширина (b)	Высота(h)	Потолок	Стены	Пол
5	4	3	70	50	20

Принимаем, что светильники укреплены непосредственно на потолок.

Высота помещения: $h=3$ м. Высота рабочей поверхности: $h_p = (h - (h_1 - h_2)) = (3 - (0,07 + 0,8)) = 2,13$ м. Расстояние от стен помещения до крайних светильников $L/3$. Оптимальное расстояние между светильниками определяется из отношения $L / H_p = 0,86$. Из данного соотношения находим расстояние между светильниками по следующей формуле:

$$L = H \cdot 0,8 = 3 \cdot 0,86 = 2,57 \text{ м.}$$

Количество рядов светильников:

$$N = \frac{b}{L} = \frac{4}{2,57} = 1,6 \text{ шт.}$$

Количество светильников в ряду:

$$M = \frac{a}{L} = \frac{5}{2,57} = 1,94 \text{ шт.}$$

Округлим полученные значения и примем к установке 2 светильника в 2 ряда.

При расчете по данному методу, потребный поток ламп в каждом светильнике находится по формуле:

$$\Phi = \frac{(E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z) \cdot 100}{(N \cdot \eta)},$$

где E – заданная минимальная освещенность, $E=300$ лк.; K_3 – коэффициент запаса, (1,5); S – освещаемая площадь, $S=20$ м²; Z – коэффициент неравномерности освещения; η – коэффициент использования светового потока, %.

Число светильников подбираем методом итераций, для нахождения светового потока, способного обеспечить одной лампой.

Для определения коэффициента использования η рассчитываем индекс помещения:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p \cdot (a + b)} = \frac{5 \cdot 4}{2,13 \cdot (5 + 4)} = 1,04,$$

где h_1 – высота подвеса светильника; h_2 – расстояние от пола до рабочей поверхности; h_p – расчетная высота помещения.

Определяем коэффициент использования, исходя из значений коэффициентов отражения и индекса помещения, для ЛПО $\eta = 49\%$ [28].

$$\Phi = \frac{(300 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,1)}{(8 \cdot 0,49)} = 2525,5 \text{ лм}$$

Выбираем светильник ОДЛ и люминесцентные лампы ЛД 34 Вт $\Phi = 2300$ лм (в одном светильнике 2 лампы).

Таким образом, с помощью приведённых выше расчетов был рассмотрен вариант организации системы освещения в рабочем помещении, согласно которым требуется 6 светильников (рисунок 40). При этом не нарушая установленные в [27] требования.

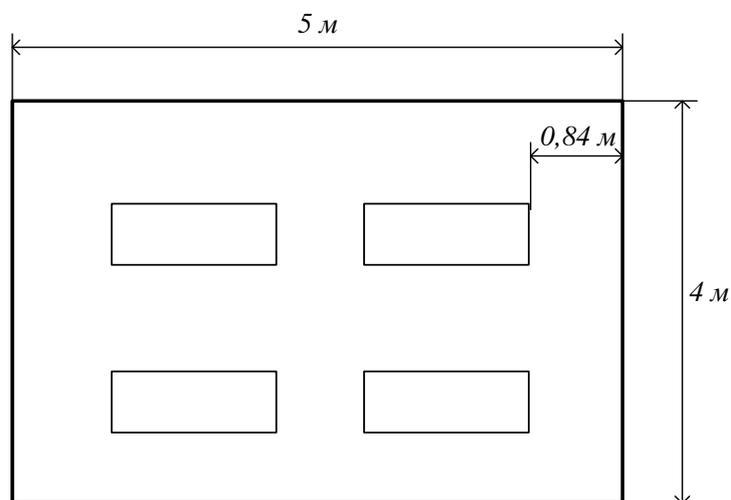


Рисунок 40 – План освещения рабочего помещения

5.2.5 Микроклимат

Аккумуляторные помещения нуждаются в качественной вентиляции, из-за вредоносных газовых выделений батарей. При протекании химических реакций, в аккумуляторных батареях, происходит выделение различных газообразных смесей, при том что газ выделяется не только при заряде аккумуляторной батареи, но также и в течение длительного времени, после отключения. Если концентрации газа превышает допустимую норму, то возникает возможность возникновения пожара или взрыва.

Для предотвращения возникновения опасности для людей и оборудования, которая может возникнуть при эксплуатации аккумуляторных батарей, необходимо придерживаться мерам предосторожности, относящимся к процессу организации и эксплуатации системы воздухообмена. Важно, чтобы вентиляции аккумуляторных помещений была отдельной и не включалась в общую систему здания. Кнопки управления, системой вентиляции, должны находиться снаружи здания, при входе в него.

В аккумуляторных помещениях должны устанавливаться только приточно-вытяжные вентиляции с механической тягой. Также, механическую систему вентиляции необходимо резервировать, создав естественную вентиляцию. При механической вентиляции, воздухообмен за один час, должен быть как минимум двукратным, в то время как при естественной не менее чем однократный.

Чтобы обеспечить долгую и безотказную работу аккумуляторных батарей, необходимо строго соблюдать условия их эксплуатации. Основные из которых – качественное электропитание и создание регламентированного микроклимата (поддержание необходимой температуры и влажности) в аккумуляторном помещении, согласно СНиП 3.05.06-85 [35].

При эксплуатации аккумуляторных батарей, температура воздуха должна быть в пределах $+20 - +25^{\circ}\text{C}$, а относительная влажность составляет $50 \pm 10\%$. Несоблюдение вышеуказанных параметров, может привести к сокращению срока службы, ненадежности, сбоям работы или к неисправности аккумуляторных батарей. При превышении допустимой температуры на 10°C , происходит сокращение срока службы аккумуляторной батареи в 2 раза.

Высокая влажность в аккумуляторных помещениях приводит к образованию конденсата, который приводит к коррозии или короткому замыканию токоведущих проводников, на печатных платах, что в свою очередь может привести к выходу отдельных узлов аппаратуры. При низкой влажности возникает накопление статического электричества, при попадании которого на электронные элементы, выводит их из строя.

Согласно ГОСТ 30494-2011, кабинет оператора должен соответствовать следующим параметрам: температура воздуха $19-22^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 60-40%, средняя скорость движения воздуха, не более 3 м/с. [25].

5.2.6 Электробезопасность

К опасным факторам можно отнести питание источника бесперебойного питания электрическим током напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Наличие высокого напряжения до 500 В постоянного тока.

Во время нормального режима работы оборудования опасность поражения электрическим током практически отсутствует, однако существуют аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека током может произойти в следующих случаях:

- при возникновении короткого замыкания в электроприборе;
- при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование токоведущих частей, исключаящее возможное соприкосновение с ними;
- установки защитного заземления и зануления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции;
- безопасное расположение токоведущих частей;
- малое напряжение;
- соблюдение техники безопасности ГОСТ 12.0.004–2015;
- соблюдение мер безопасности в ходе выполнения задач;
- регулярный контроль за состоянием оборудования, организация необходимого планового ремонта, технического обслуживания и инструктажи сотрудников на местах.

5.3 Экологическая безопасность при эксплуатации

Наиболее важной проблемой при эксплуатации источников бесперебойного питания является безвредная утилизация аккумуляторных

батарей. В работе выбраны свинцово-кислотные необслуживаемые аккумуляторные батареи.

При истечении срока службы эксплуатации АБ крайне запрещено выбрасывать, так как это приведет к существенному загрязнению окружающей среды. После окончания эксплуатации аккумуляторной батареи, её необходимо отправить в специализированные пункты приёма и переработки.

Переработка отработанных АБ — это обязательная мера, которая позволяет обезопасить планету от загрязнения ядовитыми веществами, находящимися в свинцово-кислотных аккумуляторных батареях. Процесс переработки свинцовых АБ заключается, что необходимо извлечь как можно больше сырья(свинца) для переработки, которое в дальнейшем послужит основой для создания новых аккумуляторных батарей. Также при переработке необходимо устранить все вредные и опасные вещества.

Создание и организация эффективной системы сбора свинцово-кислотных АБ с последующей передачей их на экологически чистую переработку по всей России, является важнейшим моментом выполнения Постановления Правительства РФ от 26 сентября 1997 г. № 1237 "О целевой программе "Охрана окружающей природной среды от свинцового загрязнения и снижение его влияния на здоровье человека" [29].

Работа со свинецсодержащими отходами требует соответствующих классов опасности лицензий, в том числе на транспортировку, но далеко не все организации, которые занимаются приёмом, производят это легально. Опасность заключается в том, что нелегальные пункты сбора принимают батареи только без электролита, чем вынуждают население избавляться от экологически-вредного электролита самостоятельно. Пункты приёма, которые имеют лицензию, выдают справку об утилизации, как организациям, так и частным лицам.

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 28.12.2020 №2314 [30]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения,

являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртуть содержащих ламп.

Согласно ГОСТ Р 53692–2009 [26] Ресурсосбережение: бытовой мусор (отходы бумаги, комплектующие и запчасти) после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку).

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

На месторождении могут возникнуть различные чрезвычайные ситуации: пожар (возгорание), взрыв, разлив нефти.

Пожар – наиболее вероятная ЧС, которая может возникнуть. Операторское помещение по техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности, согласно [35] по степени огнестойкости, конструктивной и функциональной пожарной опасности относятся к классу Ф4.1. Так как в помещении находятся и используются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии, то по пожарной опасности данное помещение можно отнести к классу Д. Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования, брошенные непотушенные спички и сигареты, нарушение правил хранения легко воспламеняющихся жидкостей и ГСМ.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 [21], пожарная профилактика обеспечивается:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;

К мерам предотвращения пожара относятся:

- применение средств защитного отключения возможных источников загорания;
- применение искробезопасного оборудования;

- выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

При обнаружении возгорания, обнаружившему следует немедленно сообщить в пожарную охрану и руководителю, после чего приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Ликвидация пожара осуществляется первичными средствами пожаротушения с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается первая медицинская помощь, так же необходимо вызывать скорую медицинскую помощь.

Выводы по разделу

В разделе «Социальная ответственность» описано рабочее место источника бесперебойного питания и связанные с ним опасные и вредные факторы производства. Были найдены источники и меры предотвращения данных факторов. Установлено что рабочее место соответствует всем нормативам.

Анализ вредных и опасных факторов и мер по уменьшению их влияния на работников, позволит создать более и безопасную обстановку. Кроме того, был произведен расчет системы искусственного освещения для обеспечения необходимого уровня освещения, согласно которому были выбраны люминесцентные лампы ЛД мощностью 40 Вт и значением светового потока равным 2300 лм. Количество светильников составило 4 штук.

Выявление и применение мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций, а также планирования мер по их ликвидации с минимальными последствиями позволяет свести к минимуму риски возникновения чрезвычайных ситуаций, количество жертв и ущерб, нанесённый предприятию. Согласно выявленным факторам выбранное помещение относится к категории «безопасных» помещений [31]. Персоналу, работающему в данном помещении, персонал должен иметь группу по электробезопасности не ниже III [32]. В соответствии с [34] категория тяжести труда определяется как вторая. В соответствии с [35] рассматриваемое помещение по критерию взрывопожарной и пожарной опасности можно отнести к категории Д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обеспечения бесперебойным питанием системы пожаротушения ДКС был выбран ИБП с двойным преобразованием, так как данный тип ИБП обеспечивает нулевое время переключения в аварийный режим, имеет возможность работы в сетях с нестабильной частотой и обладает хорошей защитой от искажений формы кривой напряжения. Проведенные исследования имитационной модели, разработанной в программной среде MATLAB Simulink, демонстрируют должную работу устройства – стабильный уровень переменного напряжения на выходе устройства. Эксперименты с различными видами нагрузок показали, что ёмкостная нагрузка ухудшает показатели качества электроэнергии, добавляя высшие гармоники, которые оказывают негативное влияние на электроэнергию. Следовательно, возникают дополнительные потери электроэнергии в цепях, сокращается срок службы оборудования, появляются помехи в работе.

В настоящей работе решены все поставленные задачи, разработан источник бесперебойного питания, который полностью соответствует требованиям, представленным в техническом задании. Выполнен расчет и выбор силовых элементов, разработана электрическая принципиальная схема ИБП.

При выполнении работы были рассмотрены сильные и слабые стороны проекта с финансовой точки зрения: он обладает высоким запасом финансовой прочности и достаточно коротким сроком окупаемости.

Рассмотрены вопросы техники безопасности при эксплуатации ИБП, регламентация по проведению обслуживающих работ, анализ опасных и вредных факторов при данном виде производственной деятельности, а также вопросы утилизации аккумуляторных батарей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РД 51-00158623-06-95 Применение аварийных источников электроэнергии на КС МГ, УКПГ и других объектах газовой промышленности [Электронный доступ]: <http://www.gostrf.com>.
2. Компрессорные станции. Дожимная компрессорная станция. [Электронный доступ]. - https://intech-gmbh.ru/gas_booster_station/#gas_booster_station_example
3. Обеспечения противопожарной защиты дожимной компрессорной станции на Вынгаяхинском ГП [Электронный доступ]: <https://spetzpozh.com/projects/obespechenija-protivopozharnoj-zashhity-dozhimnoj-kompressornoj-stancii-na-vyngajahinskom-gp/>
4. Контроллеры систем пожарной автоматики «СПАРК» на ПЛК GE IP [Электронный доступ]: <https://spetzpozh.com/catalog/fire-control-systems/fire-automation-controllers-spark-ge-ip/>
5. Электропитание без перебоев [Электронный доступ]: <https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/319588/>
6. Трёхфазные ИБП: схемотехника и технические характеристики [Электронный доступ]: <https://kruso.su/pitanie/22-trexfaznye-ibp.html>
7. Sonnenschein A500 разряд постоянной мощностью [Электронный доступ] – Режим доступа: https://www.h-energy.ru/wa-data/public/site/manuals/akb/sonnenschein/sonnenschein_A500-datasheetRU.pdf
8. Выбор значения крест-фактора [Электронный доступ]: <https://www.ixbt.com/power/ups-test-dec2k2.shtml>
9. SKM195GB066D [Электронный доступ] – Режим доступа <https://www.semikron.com/dl/service-support/downloads/download/semikron-datasheet-skm195gb066d-22890052>
10. B32774D4226K000, 22мкф , 450 В, 10 % МКР BOXED, Конденсатор металлоплёночный, [Электронный доступ] – Режим доступа <https://www.chipdip.ru/product0/9000504774>

11. FGA60N65SMD, IGBT 650В 60А [ТО-3PN] [Электронный доступ] – Режим доступа <https://www.chipdip.ru/product/fga60n65smd-ons>

12. VS-88HF80, 800V 85A, Silicon Junction Diode, 2-Pin DO-5 [Электронный доступ] – Режим доступа <https://www.chipdip.ru/product/vs-88hf80-rectifier-diode-88hf80-8>

13. ECAP (K50-35), 390 мкФ, 350 В, 85°C, SNAP IN, B43513A4397M000, Конденсатор электролитический алюминиевый [Электронный доступ] – Режим доступа <https://www.chipdip.ru/product0/9000808434>

14. STTH20004TV1, Диод x2 400V 2*120A 60ns UltraFast [ISOTOPBR] [Электронный доступ] – Режим доступа <https://www.chipdip.ru/product/stth20004tv1>

15. ECAP (K50-35), 15000 мкФ, 450 В, 85 °С, 90 × 197, Screw Terminals (под винт), B43723A5159M000, Конденсатор электролитический алюминиевый [Электронный доступ] – Режим доступа <https://www.chipdip.ru/product0/9000640992>

16. ECAP (K50-35), 1800 мкФ, 500 В, 85 °С, 64.3 × 96.7, Screw Terminals (под винт), B43704B6188M000, Конденсатор электролитический алюминиевый [Электронный доступ] – Режим доступа <https://www.chipdip.ru/product0/9000640879>

17. ASUTPP – портал [Электронный ресурс]: Гармоники в электрических сетях: причины, источники, защита. – Режим доступа: <https://yandex.ru/turbo/asutpp.ru/s/garmoniki-v-elektricheskikh-setyah.html>.

18. Школа для электрика – портал [Электронный ресурс]: Влияние высших гармоник напряжения и тока на работу электрооборудования. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/260-vlijanie-vysshikh-garmonik.html>.

19. ГОСТ 12.1.003 – 2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

20. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

21. ГОСТ 12.1.004-91". Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;

22. ГОСТ 12.4.002 – 97 ССБТ. Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования.

23. ГОСТ 21889-76 Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования;

24. ГОСТ 22269-76 Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования;

25. ГОСТ 30494-2011 Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях" (введен в действие Приказом Росстандарта от 12.07.2012 N 191-ст).

26. ГОСТ Р 53692–2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов" (утв. и введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 15.12.2009 N 1092-ст)

27. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений

28. Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева, О.А. Антонец, И.И. Авдеева. Социальная ответственность: учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2022. – 27 с.

29. Постановления Правительства РФ от 26 сентября 1997 г. № 1237 "О целевой программе "Охрана окружающей природной среды от свинцового загрязнения и снижение его влияния на здоровье человека".

30. Постановлением Правительства РФ от 28.12.2020 №2314. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного

31. Правила устройств электроустановок. 6-е и 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2003. – 640 с.

32. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок
Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от
27.22.11.2021).

33. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к
обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды
обитания

34. СНиП 3.05.06-85 Строительные нормы и правила Электротехнические
устройства

35. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и
наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»

36. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред.
От 27.12.2018);

Приложение А

(обязательное)

Раздел магистерской диссертации, выполненный на иностранном языке

1. Designing an uninterruptible power supply for the protection of oil and gas industry facilities

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM07	Чалдин Константин Андреевич		

Консультант школы отделения (НОЦ)ИШЭ, ОЭЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазачев Александр Владимирович	к техн. наук		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) ОЭЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воробьева Виктория Владимировна	канд. филол. наук		

Introduction

The purpose of this master's degree project is to design an uninterruptible power supply (UPS) that will provide a constant electricity supply for responsible consumers of oil and gas industry.

To achieve the purpose next tasks were set:

- to identify the objects that require stable power supply;
- to highlight the responsible consumers and oil electrical equipment working on gas industry objects;
- to design a UPS model for the responsible consumer, select suitable the elements of the system and to model the designed circuit;
- to evaluate of the commercial and innovative potential of the designed device; to determine the resource, financial, economic efficiency of the project, as well as to assess the level of possible risks.
- to analyze harmful and dangerous factors appearing during the UPS work.

Practical value of this work is to assess the financial, resource, and technological efficiency of the uninterruptible power supply designed for an oil and gas industry.

1. POWER SUPPLY OIL AND GAS INDUSTRY FACILITIES

1.1 Power consumers in oil and gas industry

Nowadays, the oil and gas industry is really promising the global economy and in economy of Russia. Power supply system's objects of the oil and gas industry perform various roles: production and processing of oil and gas, transportation and storage, drilling rigs, gas distribution stations and also providing the life of technological and domestic consumers. Some of these objects belong to the first category of power supply reliability and require emergency sources of energy. An example of such object is a gas processing facility (GPF) - a set of equipment and supporting systems that provide collecting and processing of natural gas and gas condensate. The GPF performs gas purification from impurities, its dehydration and cooling. The GPF is presented by technological casing, gas air coolers, pumping station and gas well clusters. In emergency caused by a loss of power supply leads to stop of the technological process is stopped thus the gas production, the drying process are stopped, the temperature conditions get changed, and the reagent is lost [1]. Another important object of the system required uninterrupted power energy supply is a booster compressor station (BCS).

1.2. Features of the power supply of the booster compressor station

BCS is one of the key elements in the entire oil and gas industry. The function of the system is to pump natural or associated petroleum gas with different capacities and inlet parameters. Various modifications of BCS meet individual requirements according to the application, features of the project and operating conditions.

Figure 1 shows the booster compressor station of the Vyangayakhinskoye gas field.



Figure 1 – Booster compressor station of the Vyingayakhinskoye gas field

The development of a gas field can be divided into three main: increasing, constant and declining production.

Compressor equipment is not used on first two stages, since the available reservoir pressure is sufficient to transport gas from the well to the gas treatment unit and directly to the gas pipeline. However, after the extraction of $2/3$ of the gas reserves, production increases and the value of reservoir gas pressure becomes insufficient to supply gas to the pipeline. This is the moment to use BCS. Increasing of produced gas the pressure is significant, that is why providing an uninterrupted power supply is an urgent tasks that mining companies set for power engineers.

Booster compressor stations differ in design and configuration, nevertheless they have similar main elements: compressor block, drive unit, support equipment. The compressor driven by the motor is responsible for increasing the pressure of the passing gas in the BCS. Support equipment like lube oil circulation system, cooling system, instrumentation kit is necessary for the correct operation of the station. If the BCS is made as a separate module then additional equipment may include such heating, lighting, ventilation systems as well. [2]. Figure 2 shows one of the designs of the booster compressor station.

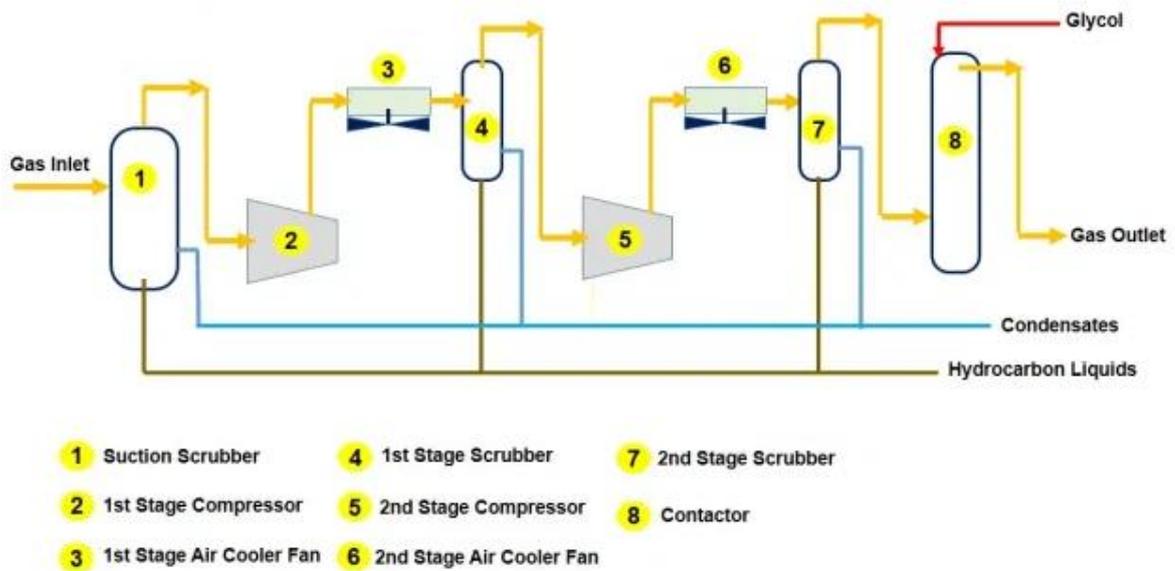


Figure 2 - The design of the booster compressor station

A power failure of the booster compressor station leads to:

- emergency stop of the BCS;
- interruption of gas supply to the GTP;
- interruption of gas supply to the gas pipeline;
- inoperability of fire extinguishing systems;
- defrosting of heating networks and communications;
- interruption of gas production.

That becomes the reason of the technological process shutdown of the entire oil and gas field and results in huge economic losses.

Therefore, a solution to ensure safety and prevent emergencies is to identify responsible consumers of the compressor station and provide them with uninterrupted power using uninterruptible power systems. In this case, responsible consumers are measuring and control equipment, a compressor control system, a security and video surveillance system, and a fire extinguishing system.

1.2.1. Fire extinguishing system of the BCS

To find out how the fire extinguishing system of the BCS is implemented the Vyngayakhinskoye gas field can be considered. Taking into account the electrical equipment included in this system, the UPS will be desinged.

The Vyingayakhinsky gas field is located 45 kilometers from the village of Khanymei, 110 kilometers from Noyabrsk. This complex includes two gas fields - Vyingayakhinskoye (gas reserves - 122.5 billion cubic meters) and Ety-Purovsky (315.2 billion cubic meters) located 40 kilometers from each other.

The Vyingayakhinsky gas field is the most modern and unique in "Gazprom dobycha Noyabrsk" and in the whole "Gazprom" system. This field is unique since it provides efficient usage, characterized with a great location of infrastructure facilities, an advanced gas gathering system by an interfield gas pipeline from two fields to one complex gas treatment unit located at the Vyingayakhinskoye field.

Fire protection is provided by the following equipment [3]:

- Controllers of fire automatics systems "SPARK" on PLC GE IP;
- Flame fire detector explosion-proof IP 330/1-20 IR;
- Gas analyzer of hydrocarbon gases stationary infrared explosion-proof PIR 9400;
- Gas analyzer of combustible gases explosion-proof TGA.

All this equipment must be provided with a constant supply of electricity relevant to the special requirements.

The controller provides the data collection from many devices such as fire detectors, signaling devices, terminal switches, power supply to active (current-consuming) fire detectors, moreover it processes received information according to specified algorithms, generate control signals for automatic fire extinguishing equipment (AFEE), control their condition, light and sound alarm systems. The main part of the controller is programmable logic controllers (PLCs) GE IP (Intelligent Platforms), it contains mounting racks, power supplies, central processor module, discrete signal input and output modules, and analog signal input modules. Controller elements are also G secondary power supplies, QF circuit breakers, K relay assemblies, XT terminal blocks, cables and other elements. The technical characteristics of the controller of fire automation systems "SPARK" on the PLC GE IP are presented in table 1 below.

Table 1. Technical characteristics of the Controller of fire automatic systems

"SPARK"

Parameter name	Value
Main power line voltage	~220 V, in range 180 – 242 V (frequency 50±1 Hz)
Voltage on the backup power line	~220 V, in range 180 – 242 В (частота 50±1 Гц), =200 V, in range 180 – 242 V, =110 В, in range 93 – 32 V
Voltage in fire alarm loops	=24 V
Power consumption in standby mode and at full load	Depends on project
Ready time after power on	30 s
Maximum cross-section of wires of detector loops and connecting lines of alarm system connected to the controller	2,5 mm ²
Ambient temperature (operating conditions)	0...+55°C
Relative humidity (operating conditions)	93% at a temperature 40°C without condensation
Electrical isolation between the power terminals connected together and the controller case, the signal lines wires connected together and the controller case	~1500 V
Life time	not less 15 years
Assurance	18 month or 12 month from the moment of installation

The technical characteristics of the controller of fire automation systems "SPARK" helps to highlight the basic requirements to the power supply system: input voltage is 220V and the frequency is 50 Hz [4]. The frequency is an important characteristic and, based on the above data, its deviation must be no more than 1 Hz. According to these requirements, the form of the supply voltage must be strictly sinusoidal, any changes in it provokes the appearance of harmonic oscillations of a higher frequency. Moreover, power supply must be characterized by the absence of voltage deviations.

Usage of double conversion in UPS helps to provide electrical energy on required level and protect critical consumers from emerging power problems. The fulfilment of these condition characterized by zero switching time, the ability to work in networks with unstable frequency and high protection against distortion of the voltage waveform.

1.3 Double conversion UPS Construction Schemes

1.3.1 UPS with storage battery (SB) in inverter power circuit buffer

Figure 3 shows block diagram of UPS with storage battery in inverter power circuit buffer.

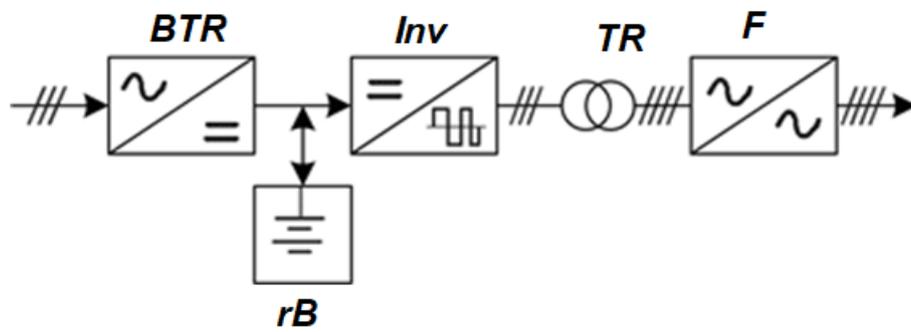


Figure 3 – UPS with battery in inverter power circuit

The block diagram includes

- bridge controlled thyristor rectifier (BTR);
- rechargeable battery (rB);
- three-phase bridge voltage inverter (Inv);
- three-phase output transformer (TR);
- the output filter (F).

In a static mode, the control system (CS) of the rectifier provides voltage at its output according to the allowable range from the nominal value. If the voltage deviates from the specified values, the UPS switches to offline operation. Adjusting the firing angle of the thyristors the voltage of the controlled rectifier is changed.

The advantages and disadvantages of the considered UPS are presented in Table 2 [5].

Table 2 - Advantages and disadvantages of a UPS with a battery in the buffer of the inverter power circuit

Advantages	Disadvantages
High control accuracy	Increased weight and size characteristics
Relatively simple block diagram, in comparison with other structures, fewer power nodes	
Higher reliability	

1.3.2 UPS with a booster in the inverter power supply circuit

The block diagram of a UPS with a booster in the inverter power circuit is shown in Figure 4 [6].

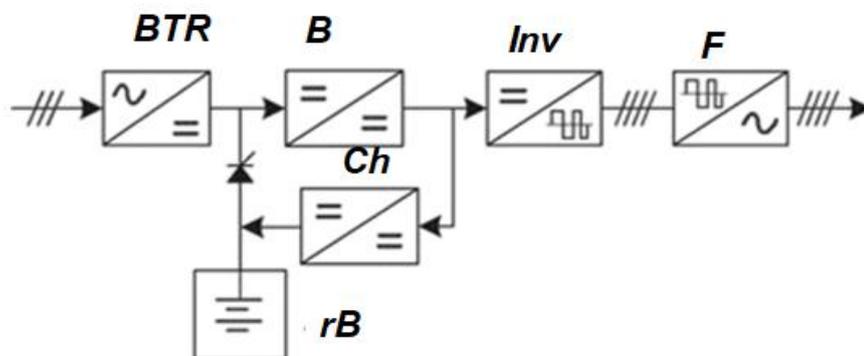


Figure 4 - UPS with a booster in the inverter power circuit

The main elements of this scheme:

- bridge controlled thyristor rectifier (BTR);
- rechargeable battery (rB);
- three-phase bridge voltage inverter (IN);
- booster (B);
- charger (Ch);
- output filter (F).

A distinctive feature of this circuit is the presence of an uncontrolled rectifier and booster, as well as the absence of a transformer. The main function of the booster in this circuit is to correct the power factor in the power circuit. The use of a two-section storage battery (rB) with a midpoint allows to connect each section individually through thyristors relative to rectifier output bus. While the battery is

charging the thyristors are closed and they operate in network mode. Chargers (Ch) are connected to the tires at the booster output due to which the efficiency of the charger reaches 96% ... 99%.

The use of a two-arm booster in this scheme allows to implement:

- stabilization of the inverter voltage supply according to the set value of the output voltage;
- voltage balancing of the positive and negative DC busbars relative to the neutral, which eliminates the appearance of a DC component in the output voltage;
- correction of the active input power factor of the UPS due to the formation of the input current.

The advantages and disadvantages of the described UPS are presented in Table 3 [5].

Table 3 - Advantages and disadvantages of a UPS with a booster in the inverter power supply circuit

Advantages	Disadvantages
The possibility of active correction of the power factor	A more complex scheme for a UPS with AB in the inverter power circuit;
The presence of a booster.	Increased cost..

1.3.3 UPS with PWM input converter

The block diagram of a UPS with an input PWM converter is shown in Figure 5 [6].

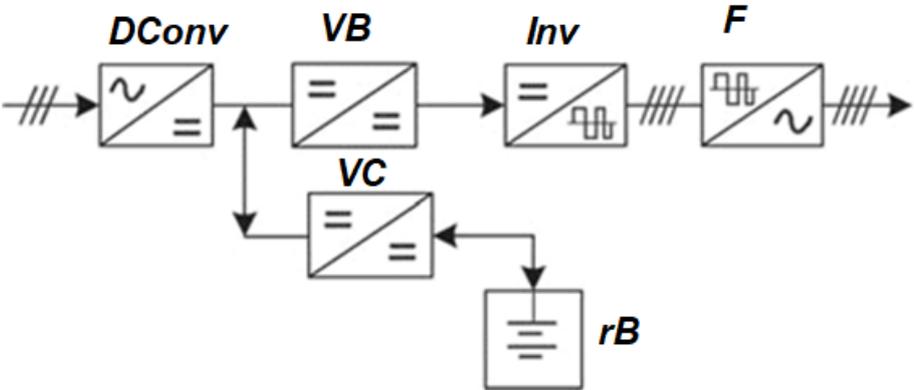


Figure 5 - UPS with input PWM converter

The main elements of this scheme:

- delta converter (DConv);
- rechargeable battery (rB);
- three-phase bridge voltage inverter (IN);
- voltage balancer (VB);
- voltage converter (VC);
- charger (Ch);
- output filter (F).

The use of high-speed power IGBT modules in this circuit gives a possibility to increase the power factor in a wide range of load changes, as well as to improve the dynamic characteristics of the UPS in significant way.

The input three-phase PWM converter is implemented on IGBT transistors, phase chokes and storage capacitors, it is characterized with:

- high input power factor (0.99) in a wide range of load changes;
- DC voltage regulation on the inverter power buses;
- bi-directional power transfer - from the network to the load and vice versa

which improves the dynamic properties of the UPS.

The use of a voltage balancer implemented on transistors and inductance makes it possible to balance the differential DC voltage. To eliminate the constant component in the output voltage the voltages on the inverter supply DC buses are balanced as well.

The voltage converter (Vconv) performs the following functions:

- charger in the network mode of the UPS;
- booster of a chain of the storage battery (rB) in the autonomous mode of operation of the UPS.

The advantages and disadvantages of such a UPS are presented in Table 4 [5]:

Table 4 - Advantages and disadvantages of a UPS with an input PWM converter

Advantages	Disadvantages
Increased number of power IGBTs compared to the previously described	Complexity of the transistor control circuit

circuits	
Increased dynamic performance	Increased cost

1.3.4 UPS with transformer

The block diagram of a UPS with galvanic isolation is shown in Figure 6 [6].

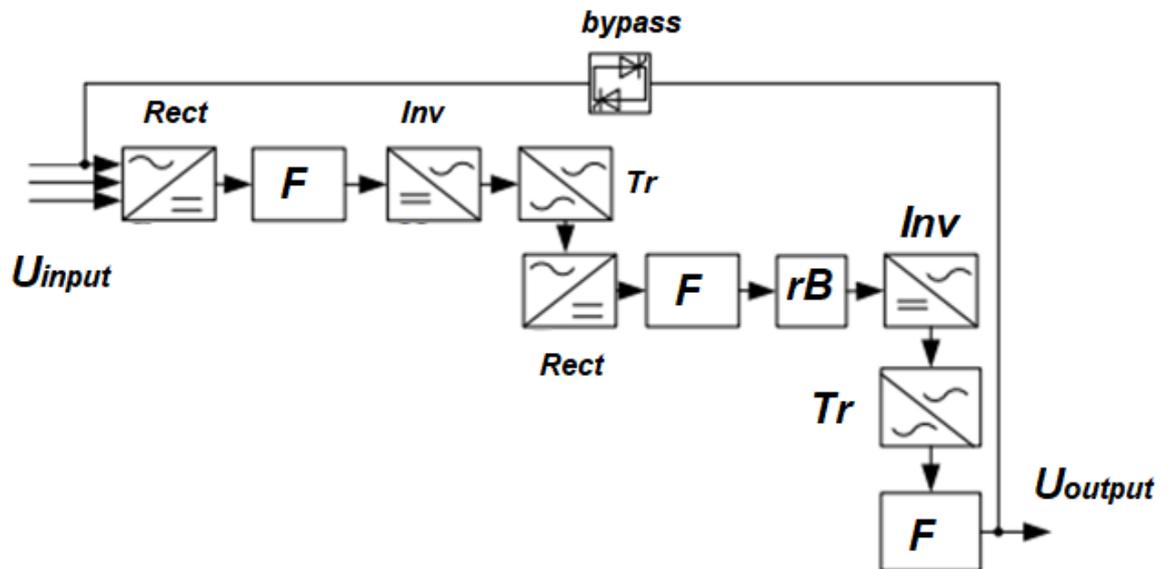


Figure 6 - UPS with transformer

The main elements of this scheme are:

- rectifier (Rect);
- filter (F);
- inverter (Inv);
- transformer (Tr);
- rechargeable battery (AB);
- the output filter (F).

On normal mode power is supplied to the load through the following circuit: *rectifier - filter - inverter 1 - transformer 1 - rectifier - filter - inverter 2 - transformer 2 - filter*. In cases when the characteristics of the power supply do not meet the necessary requirements, power is provided to the load through the circuit: *battery - inverter - transformer2 - filter*. The use of bypass is necessary only when the inverter is not able to provide the load with the required power, this can happen in cases of battery discharge, lack of input voltage.

Table 5 shows the advantages and disadvantages of such UPS [5].

Table 5 - Advantages and disadvantages of UPS with galvanic isolation

Advantages	Disadvantages
The use of galvanic isolation, which has a positive effect on the time of switching to backup power from the battery	Circuit complexity
High quality of output power	Low efficiency
Reliability	

1.4 1.4 Structural diagram of the designed UPS

Based on the analysis of the designed UPS will be performed according to the scheme shown in Figure 7.

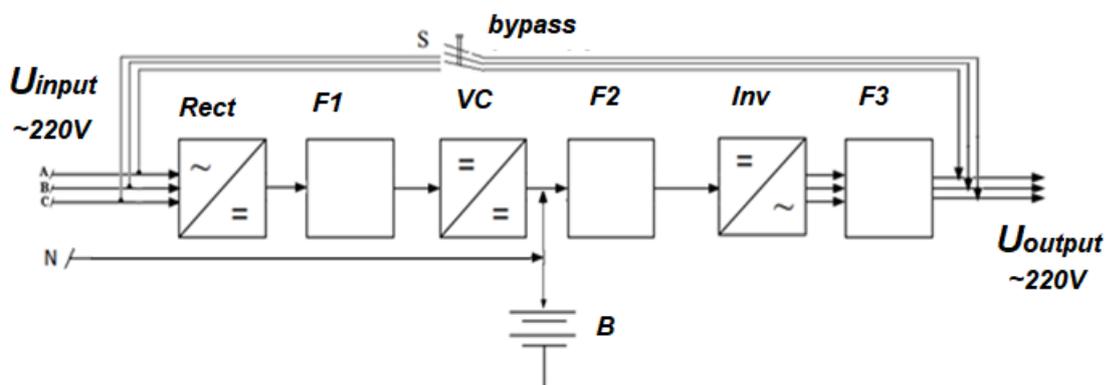


Figure 7 - Block diagram of the UPS

The elements of the circuit: V - controlled rectifier, F1 - filter 1, VC – step-up voltage converter, F2 - filter 2, INV - inverter, F3 - filter 3, B - battery, without charger, in order to increase the reliability of the system and reduce UPS cost.

The rectifier converts the input three-phase AC voltage into DC. The rectified voltage is filtered by the L-shaped filter F1, then with the help of a step-up voltage converter VC the filtered voltage is increased to the required level and finally went through the filter F2. The filtered increased DC voltage is converted into AC voltage back by the inverter, filtered by the F3 filter and supplied to the load. If it is necessary, the load can be connected to the network through bypass. Depending on the state of the network and the magnitude of the load, the double converting UPS can operate in various modes: network, autonomous, bypass and others.

If the mains voltage is within acceptable range and the load does not exceed the maximum allowable, the UPS will operate in network mode. This mode includes:

- 1) filtering of impulse and high-frequency network interference;
- 2) conversion of grid AC energy into DC energy using a rectifier and a power factor correction circuit;
- 3) conversion of DC energy into AC energy with stable parameters using an inverter.