

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

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Исследование источника бесперебойного питания для ответственных потребителей электрической энергии</b>

УДК 621.311.6:621.31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Пугач Евгений Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Данил Юрьевич	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Фех Алина Ильдаровна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Чернышев И.А.	к.т.н., доцент		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
<b>Общие по направлению подготовки</b>		
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4,5; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2,3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	Требования ФГОС ВО (УК-5, ОПК-4; ПК-4-6), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
<b>По профилям подготовки</b>		
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 7,8), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)

P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.	Требования ФГОС ВО (ПК-2, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-21, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Ивашутенко А.С.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5AM88	Пугачу Евгению Николаевичу

Тема работы:

Исследование источника бесперебойного питания для ответственных потребителей электрической энергии	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	27.02.2020 № 58-29/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Источник бесперебойного питания для ответственных потребителей электрической энергии.          Номинальная мощность – 10 кВА;          Номинальное входное напряжения – 220 В;          Диапазон входного напряжения – +/- 15% от номинального значения;          Частота питающей сети – 50 Гц;          Входной коэффициент мощности – 0,99;          Номинальное выходное напряжение – 220 В;          Отклонение выходного напряжения – +/- 3% при 100% изменении нагрузки;          Частота выходного напряжения – 50 Гц;          Время резервирования:– 10 мин.          Техническая литература, техническая документация</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Титульный лист Задание Реферат Введение Раздел 1 Обзор существующих типов источников бесперебойного питания, разработка функциональной схемы ИБП для ответственных потребителей. Раздел 2 Расчет и выбор силовой части ИБП Раздел 3 Разработка и исследование имитационной модели ИБП в среде Matlab. Раздел 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Раздел 5 Социальная ответственность Заключение Список литературы</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Основное исследование</p>	<p>Ляпунов Д. Ю.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Спицына Л.Ю.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Фех А.И.</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Пташкин А.С.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b></p>	
<p>Общие сведения об источнике бесперебойного питания, назначение и принцип действия источника бесперебойного питания, обзор силовых преобразователей энергии.</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>10.02.2020 г.</p>
---	----------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент</p>	<p>Ляпунов Д. Ю.</p>	<p>к.т.н.,</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5AM88</p>	<p>Пугач Е.Н.</p>		

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

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники  
 Период выполнения осенний/ весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.2020	Календарное планирование работ по теме	3
12.03.2020	Описание объекта исследования	3
20.03.2020	Подбор и изучение материалов по теме	3
22.03.2020	Составление и утверждение технического задания	3
28.03.2020	Расчет энергетических параметров	3
11.04.2020	Исследование макетов (моделей)	6
15.04.2020	Анализ полученных данных	3
25.04.2020	Контроль качества выполнения проекта и консультирование студента	3
02.05.2020	Оценка эффективности проделанной работы	3
10.05.2020	Вопросы экологической безопасности	3
16.05.2020	Технико-экономические расчеты	3
26.05.2020	Составление пояснительной записки	4
30.05.2020	Итог	40

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень / звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д. Ю.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Должность	ФИО	Ученая степень / звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Чернышев И.А.	к.т.н., доцент		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM88	Пугачу Евгению Николаевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	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>	<i>При проведении исследований используется материально-техническая база НИ ТПУ, в исследовании задействованы 2 человека: научный руководитель и инженер-дипломник. Бюджет проекта не более 300000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» Интегральный показатель эффективности не менее 4 баллов.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды составляют 27,1 %</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТИ)</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Не разрабатывается</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Разработка календарного плана работ, формирование сметы затрат.</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение ресурсной эффективности</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. «Портрет» потребителя результатов НТИ</li> <li>2. Сегментирование рынка</li> <li>3. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>4. Матрица SWOT</li> <li>5. График проведения и бюджет НТИ</li> <li>6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</li> <li>7. Потенциальные риски</li> </ol>	
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Пугач Евгений Николаевич		



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM88	Пугачу Евгению Николаевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Исследование источника бесперебойного питания для ответственных потребителей электрической энергии

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования.	Источник бесперебойного питания для защиты предприятий с непрерывным технологическим процессом размещается в отдельном помещении. Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются с позиции исполнителя, непосредственно связанного с технологическим процессом.
---	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<b>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b>	"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. М.: Изд-во стандартов, 1986. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
<b>Производственная безопасность</b>  Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.  Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	Вредные факторы: -Отсутствие или недостаток естественного света; -Химический фактор; -Отклонение показателей микроклимата; -Превышение уровня шума. Опасные факторы: -Пожароопасность; -Опасность электропоражения.
<b>2. Экологическая безопасность</b>	При неправильной утилизации компоненты аккумуляторов (пластик, электролит, кислоты) отравляют почву и грунтовые воды.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	Возможные ЧС: пожар в помещении; поражения электрическим током. Наиболее типичная ЧС пожар в помещении.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.03.2020г
--	-------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Фех Алина Ильдаровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM88	Пугач Евгений Николаевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 150 с., 79 рис., 39 табл., 31 источник, 15 прил.

Ключевые слова: Источник бесперебойного питания (ИБП), ответственный потребитель, инвертор, фильтр, напряжение, выпрямитель, аккумуляторная батарея, зарядное устройство.

Объектом исследования является Источник бесперебойного питания для ответственных потребителей электрической энергии.

Цель работы – Разработать, спроектировать ИБП; рассчитать элементы силовой части ИБП; разработать имитационную модель в среде Matlab; исследовать работу модели на нагрузки разного типа; выполнить анализ высших гармоник.

В процессе исследования проводились эксперименты с имитационной моделью при набросе на активно-индуктивной и выпрямительной нагрузок, выполнялся анализ Фурье выходного тока

В результате исследования было установлено, что применение трехуровневого инвертора позволяет существенно снизить величину высших гармоник, в сравнении с однофазным мостовым инвертором. Также стоит отметить, что применение отдельного зарядного устройства для АБ, позволяет увеличить срок их эксплуатации.

Область применения: используется для питания ответственных потребителей

Экономическая эффективность/значимость работы увеличение срока эксплуатации ответственных потребителей, за счет увеличения качества предоставляемого напряжения

В будущем планируется замена применяемого инвертора на 7-миуровневый инвертор, проведение анализа высших гармоник, сравнение результатов моделирования с результатами, полученными в настоящей работе и оценка экономической эффективности.

⋮

## Содержание

Введение .....	14
1. Источники бесперебойного питания для ответственных потребителей электрической энергии переменного тока .....	16
1.1. Основные типы ИБП.....	17
1.1.1. ИБП off-line (Stand-By) типа.....	17
1.1.2. ИБП Line-interactive типа.....	19
1.1.3. Системы типа on-line .....	20
1.2. Анализ структурных схем ИБП On-Line типа.....	21
2. Расчет и выбор элементов силовой части ИБП.....	27
2.1. Схема разрабатываемого источника бесперебойного питания.....	27
2.2. Расчет параметров входной сети и нагрузки .....	28
2.3. Выбор аккумуляторных батарей .....	29
2.4. Расчет инвертора напряжения .....	31
2.5. Расчет фильтра на выходе инвертора напряжения.....	33
2.6. Расчет импульсного преобразователя постоянного напряжения №1 .....	37
2.7. Расчет импульсного преобразователя постоянного напряжения №2 .....	42
2.8. Расчет неуправляемого выпрямителя №1 .....	47
2.9. Расчет неуправляемого выпрямителя №2 .....	48
2.10. Расчет сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя №1 .....	49
2.11. Расчет сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя №2 .....	51
2.12. Расчет фильтра на входе инвертора.....	53
2.13. Электрическая принципиальная схема ИБП с описанием работы ее элементов	55
3. Исследование имитационной модели ИБП.....	59
3.1. Описание имитационной модели .....	59
3.2. Исследование высших гармоник тока на выходе ИБП .....	64
3.2.1. Работа ИБП в режиме питания от сети.....	67
3.2.2. Работа ИБП в аварийном режиме .....	72
3.2.3. Исследование работы однофазного 3-уровневого инвертора.....	77
3.2.4. Сравнительный анализ 3-уровневого и однофазного мостового инвертора ...	79
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	83
4.1. Предпроектный анализ.....	83
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	83
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	86
4.1.3. SWOT- анализ .....	88

4.2.	Планирование научно-исследовательских работ.....	89
4.2.1.	Контрольные события проекта.....	89
4.2.2.	Планирование НИР.....	90
4.3.	Бюджет научного исследования.....	92
4.4.	Определение ресурсной и экономической эффективности исследования.....	97
5.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	99
5.1.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	100
5.2.	Производственная безопасность.....	102
5.2.1.	Инструкция по обслуживанию ИБП.....	103
5.2.2.	Отсутствие или недостаток естественного света.....	105
5.2.3.	Химический фактор.....	107
5.2.4.	Микроклимат аккумуляторных помещений.....	108
5.2.5.	Шум.....	109
5.2.6.	Анализ выявленных опасных факторов.....	110
5.2.6.1.	Электробезопасность.....	110
5.3.	Экологическая безопасность.....	110
5.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	112
	Заключение.....	117
	Список использованных источников.....	119
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	123
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	125
	ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	126
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	127
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	128
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	129
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	130
	ПРИЛОЖЕНИЕ К.....	131
	ПРИЛОЖЕНИЕ Л.....	132
	ПРИЛОЖЕНИЕ М.....	133
	ПРИЛОЖЕНИЕ Н.....	134
	ПРИЛОЖЕНИЕ П.....	135
	ПРИЛОЖЕНИЕ Р.....	136
	ПРИЛОЖЕНИЕ С.....	137
	ПРИЛОЖЕНИЕ Т.....	138

## **Введение**

В настоящее время электрические сети, как промышленные, так и общего назначения развиваются быстрыми темпами, и не всегда способны справиться с всё время возрастающими нагрузками, как на этапе распределения энергии потребителям, так и в процессе её передачи. Во время эксплуатации электрических сетей, возникают разнообразные проблемы: провалы напряжения, возникающие как правило из-за подключения потребителей большой мощности в пределах данной электрической сети; высшие гармоники; снижение или повышения напряжение относительно номинальных параметров; длительное отключение напряжения, возникающее, как правило, вследствие аварий. Данные проблемы, могут привести к различного рода негативным последствиям: отклонения от номинального режима работы различного оборудования; нарушение работы отлаженного, автоматизированного, непрерывного производства; потеря данных (при работе на компьютере; сервер); выход из строя оборудования. Перечисленные последствия приводят к нарушению технологического процесса на разных предприятиях, в следствии чего возникают материальные затраты и экономические проблемы. Но если данные проблемы влекут лишь материальные затраты, то, например, при нарушении питания медицинского оборудования, охранно-пожарной сигнализации, вентиляции или оборудования связанной с энергетикой, может привести к получению травм рабочего и обслуживающего персонала, гибели людей или техногенным катастрофам.

С прогрессивным развитием промышленности и науки в различных отраслях, увеличивается потребность в телекоммуникационном и компьютеризированном оборудовании: дата центры, высокоскоростные центры обработки данных, необходимость применение систем в промышленности, процесс работы которых нельзя прерывать. С ростом

необходимости такого оборудования, увеличиваются и требования к источникам электропитания [3].

В Российской Федерации предъявляемые к качеству электрической энергии требования стандартизированы. Показатели качества определяет ГОСТ 33 73-2014 [1], а значения этих показателей устанавливает ГОСТ 32144-2013 [2].

Для достижения необходимых требований для оборудования потребителей к электроэнергии необходимо применять источники бесперебойного питания (ИБП). Распространение получили следующие типы ИБП: Off-line типа, line-interactive типа, с двойным преобразованием, феррорезонансного типа, с дельта-преобразованием.

В данной магистерской диссертации производится разработка и исследование источника бесперебойного питания ответственных потребителей электрической энергии.

В ходе выполнения работы необходимо выбрать тип источника бесперебойного питания, спроектировать принципиальную электрическую схему, разработать систему управления, которая будет обеспечивать выходные параметры напряжения соответствующие требованиям технического задания. А также произвести расчет и выбрать элементы силовой части и произвести моделирование функционирования данной схемы.

## **1. Источники бесперебойного питания для ответственных потребителей электрической энергии переменного тока**

Ответственный потребитель – потребитель, при нарушении электропитания которого могут возникнуть следующие проблемы:

- аварийные ситуации, которые могут повлечь за собой экологические бедствия, экономические убытки и т. д.;
- опасность для жизни людей (вплоть до смертельных случаев);
- расстройство сложных технологических процессов.

Основными критериями нормальной работы разнообразного оборудования или потребителей, которые задействованы в различных технологических процессах, являются: бесперебойность и высокое качество питающего напряжения [3].

В качестве оборудования могут служить: серверные помещения, центры обработки данных, военные объекты, медицинское оборудование, торговые и развлекательные центры, атомные электростанции. Любые потребители, нарушение электропитания оборудования, которых может повлечь за собой выход из строя дорогостоящего оборудования, остановить сложный производственный процесс и опасность для жизни людей считаются ответственными потребителями.

Разрабатываемый источник бесперебойного питания должен обладать следующими режимами работы:

**Сетевой режим** – режим, при котором нагрузка питается электроэнергией от сети. Этот режим применяется в случае когда показатели напряжения находятся в допустимых пределах и отклонения не достигают максимальных значений. В этом режиме ИБП производит: с помощью выпрямителя и схемы коррекции коэффициента мощности преобразовывать переменный ток сети в постоянный ток; с помощью инвертора преобразовывать постоянный ток в переменный ток со стабильными и



требуемыми параметрами; фильтрацию сетевых помех; подзаряжать аккумуляторные батареи с помощью зарядного устройства.

**Автономный режим** – режим, когда нагрузка получает энергию только от аккумуляторной батареи. В случае отключения сети или отклонении за допустимые пределы параметров сетевого напряжения ИБП оперативно включает автономный режим питания нагрузки. И переходит обратно на сетевой режим при восстановлении напряжения сети.

**Режим Байпас** – режим, который защищает нагрузку от выхода из строя ИБП или для технического обслуживания ИБП. Если произошел перегрев, перегрузка ИБП или одна из частей неисправна, то ИБП автоматически переключает нагрузку напрямую к сети. При восстановлении номинальных параметров сети ИБП автоматически возвращается в сетевой режим. В режим Байпас так же возможно перейти в ручном режиме. В данном режиме нагрузка не защищена от некачественного напряжения сети.

### 1.1. Основные типы ИБП

Наибольшее распространение получили следующие источники бесперебойного питания: резервные, линейно-интерактивные, с двойным преобразованием энергии (рисунок 1.1).

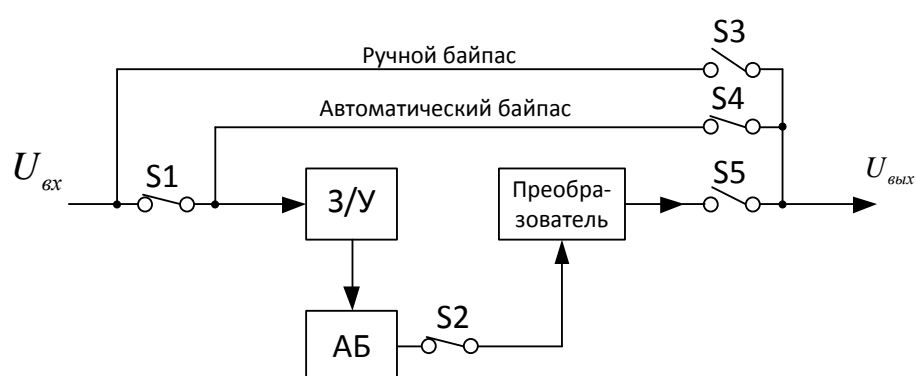


Рисунок 1.1 – Основные типы ИБП

#### 1.1.1. ИБП off-line (Stand-By) типа

К простым и поэтому достаточно дешевым относятся резервные ИБП (рисунок 1.2). В англоязычной литературе подобный тип ИБП называется

Standby, или «off-line», которые при любых неполадках в электросети переходят на питание от батарей. Применение тонного типа ИБП встречается в домашних или офисных помещениях для защиты ПК. Источники такого типа не применяются для более ответственных потребителей, так как во время переключения (которое занимает от 4 до 12 миллисекунд для разных моделей ИБП) на выходе ИБП отсутствует напряжение. Следовательно, имеется небольшой разрыв в напряжении, а для работы например серверов это неприемлемо. В таблице 1.1 приведены достоинства и недостатки данного типа ИБП.



Условные обозначения:

(З/У-зарядное устройство, АБ-аккумуляторная батарея, S1-S5 коммутационные ключи, преобразователь-инвертор)

Рисунок 1.2 – Структура ИБП резервного типа в общем виде

Таблица 1.1 – Достоинства и недостатки ИБП резервного типа

Достоинства		Недостатки	
1	КПД около 99 %	1	Относительно долгое время переключения (порядка 4...12 мс) на питание от батарей
2	Имеют минимальное тепловыделение	2	Отсутствие возможности корректировать напряжение и частоту

3	Невысокая стоимость	3	Несинусоидальная форма выходного напряжения (квази-синусоида, аппроксимированная синусоида)
---	---------------------	---	---

### 1.1.2. ИБП Line-interactive типа

Данный тип источника бесперебойного питания (рисунок 1.3) получается модифицированием ИБП резервного типа, путем добавления дополнительных цепей стабилизации напряжения («бустеры», «трансформаторы» и т.п.). Инвертор соединен с выходом и работает параллельно со стабилизатором входного напряжения, который построен на основе автотрансформатора. Благодаря этому переключение на питание от батареи не происходит даже при значительных колебаниях входного напряжения. Инвертор обеспечивает «подстройку» выходного напряжения и подзарядку аккумуляторов, включаясь на полную мощность при исчезновении входного напряжения. Переключение питания нагрузки от батареи и обратно происходит разрыв электропитания. В таблице 1.2 приведены достоинства и недостатки ИБП типа line-interactive.

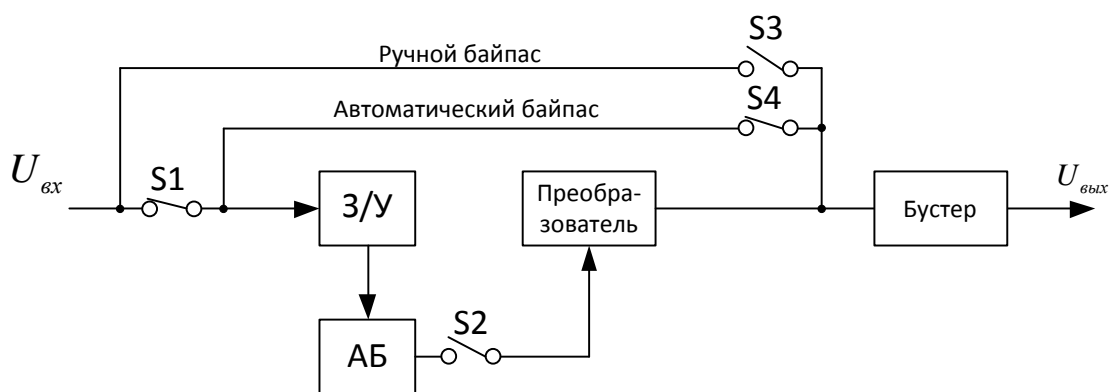


Рисунок 1.3 – Схема ИБП типа line-interactive в общем виде

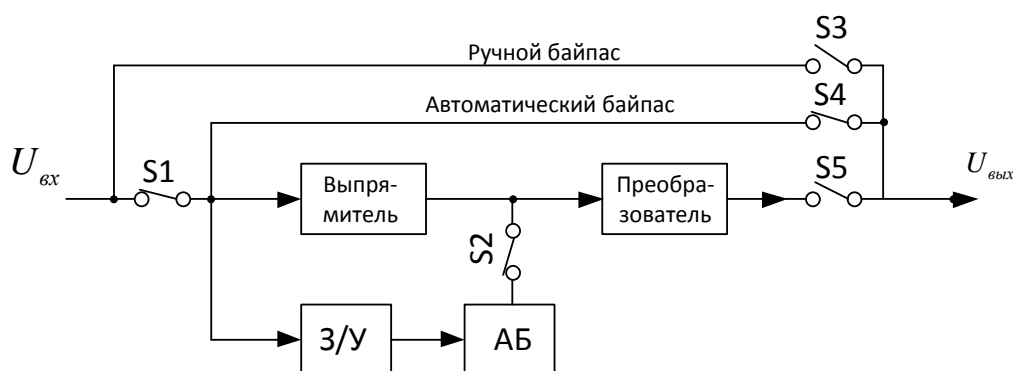
Таблица 1.2 – достоинства и недостатки ИБП линейно-интерактивного типа

Достоинства	Недостатки
-------------	------------

1	Имеется возможность регулирования напряжения.	1	<u>Низкое значение КПД (по сравнению с системой типа Off-line).</u>
2	Гальваническая развязка.	2	Относительно долгое время переключения (порядка 4..12 мс) на питание от батарей.

### 1.1.3. Системы типа on-line

Данный тип ИБП (рисунок 1.4) подразумевает, что поступающее на вход ИБП переменное сетевое напряжение преобразуется выпрямителем в постоянное, а затем с помощью инвертора снова в переменное. Аккумуляторная батарея, постоянно включенная между выпрямителем и инвертором. Схема On-Line обеспечивает идеальное выходное напряжение при любых неполадках в электросети. Она характеризуется нулевым временем переключения из нормального режима в автономный и обратно без переходных процессов в выходном напряжении. В таблице 1.3 приведены достоинства и недостатки ИБП on-line типа.



Условные обозначения

(З/У-зарядное устройство, АБ-аккумуляторная батарея, S1-S5 коммутационные ключи, преобразователь-инвертор)

Рисунок 1.4 – ИБП on-line типа

Таблица 1.3 – достоинства и недостатки ИБП on-line типа

Достоинства	Недостатки
-------------	------------

1	Отсутствие времени переключения на питание от батарей	1	Низкий КПД (80—94 %), повышенная шумность и тепловыделение
2	Синусоидальная форма выходного напряжения	2	Высокая стоимость
3	Возможность корректировать и напряжение, и частоту		

Для обеспечения качественного электропитания ответственного потребителя необходимо напряжения с частотой 50 Гц. ИБП резервного (off-line) типа имеет относительно большое время переключения (4..12 мс), а также не имеет возможности регулировать напряжения и частоту. ИБП типа Line-interactive также обладает значительным временем переключения, не фильтрует частоту от помех и не обеспечивает корректирование напряжения по частоте. ИБП on-line типа, представленный на рисунке 1.4, отфильтровывает напряжение, обеспечивает переключение на работу от аккумуляторных батарей без разрыва напряжения питающего нагрузку, за счет того, что коммутирующие ключи находятся в режиме плавающего заряда. Он полностью подходит для питания ответственных потребителей, обеспечивает все требования предъявляемые к ИБП и обеспечивает решение поставленной задачи. Для дальнейших расчетов выбираем on-line тип ИБП.

## 1.2. Анализ структурных схем ИБП On-Line типа

Источники бесперебойного питания On-Line типа разделяют на два вида:

- Трансформаторные;
- Безтрансформаторные.

Данное разделение основано не только из-за применения трансформаторов, но и в общем из-за особенности построения схемы ИБП [3].

## Безтрансформаторные источники бесперебойного питания

При построение источника бесперебойного питания без трансформатора, необходимо учитывать, что инвертор должен обеспечивать более высокое напряжение, поэтому в цепи постоянного тока необходимо установить устройства повышающие напряжение – ППН (рисунок 1.5).

С помощью преобразователей постоянного напряжения можно осуществить регулирование постоянного напряжения, таким образом, возможно применение неуправляемых выпрямителей. Но стоит отметить, что данный тип выпрямителя не обладает возможность регулирования входного напряжения, а значит не возможно осуществить плавный старт ИБП.

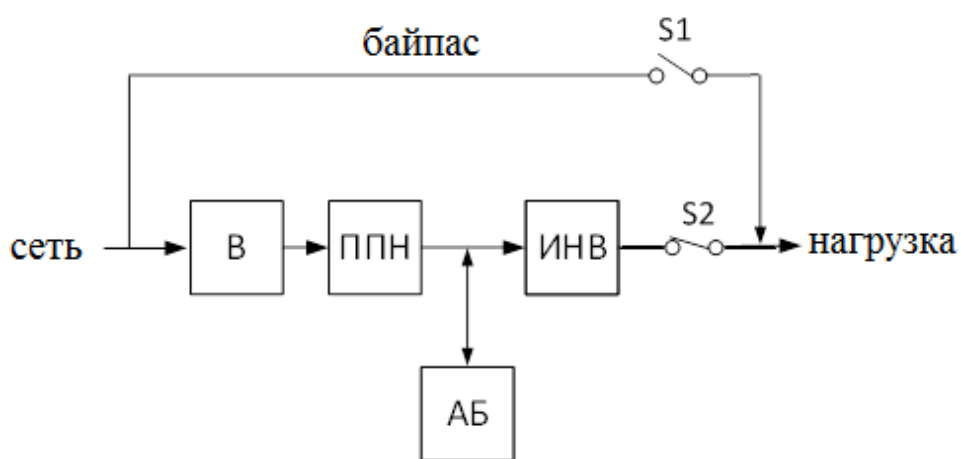


Рисунок 1.5 – Блок-схема ИБП Он-лайн типа без трансформатора ( В-выпрямитель, ППН-преобразователь постоянного напряжения; ИНВ-инвертор; S1-S2-коммутационные ключи)

Отсутствие трансформатора в данной схеме ИБП способствует снижению габаритных размеров и общей массе устройства. Трансформатор занимает довольно большой объем в корпусе устройства, тем самым его отсутствие обеспечивает требования, предъявляемые к доступу обслуживаемых частей. Коэффициент мощности безтрансформаторного источника бесперебойного питания достигает 0.95-0.99, а значение коэффициента полезного действия(КПД) достигает значений 93-93.5%, что немного выше значений ИБП с трансформатором (см. ниже).

## Трансформаторные источники бесперебойного питания

Для оптимальной зарядки аккумуляторных батарей необходимо снизить пульсации заряжающего напряжения, для чего на выходе выпрямителя в однофазных источниках бесперебойного питания ставят фильтр. Так как выходной трансформатор обеспечивает повышение напряжения, то инвертор может работать при пониженном напряжении, поступающий на его вход. Трансформатор и конденсаторы, находящиеся на выходе инвертора, выполняют роль пассивного фильтра.

Из-за применения трансформатора в данном типе ИБП, увеличиваются габаритные размеры и масса устройства в целом, а из-за большого объема, занимаемым трансформатором усложняется обслуживание и доступ к составным частям ИБП, поэтому необходим доступ к комплектующим с разных сторон, что усложняет конструкцию.

При использовании стандартных шести импульсных выпрямителей, трансформаторные источники бесперебойного питания (рисунок 1.6) порождают во входных цепях высокий уровень гармоник. Высокий уровень гармоник, порядка 28%, при применении пассивных фильтров, существенно снижается. Также пассивные фильтры существенно повышают коэффициент мощности от 0.8 до 0.89-0.97.

В данном типе источника бесперебойного питания, выпрямитель совмещен с зарядным устройством аккумуляторной батареи, что позволяет обеспечить необходимый зарядный ток для аккумуляторной батареи.

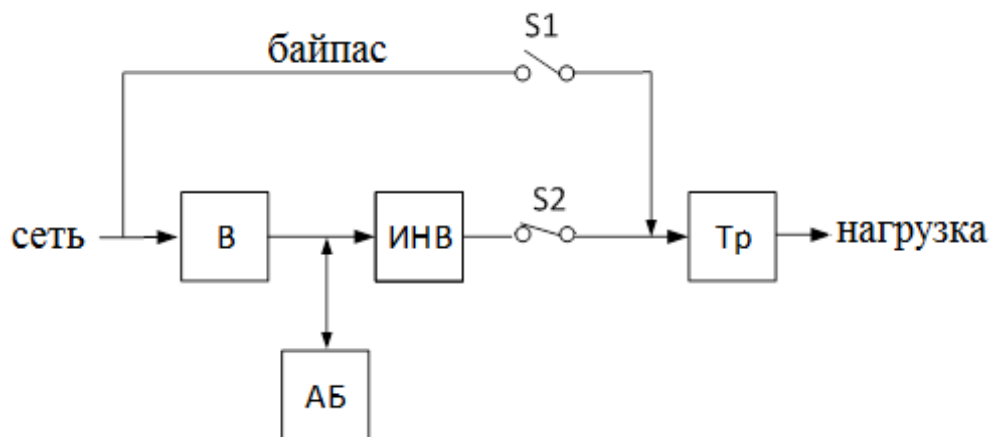


Рисунок 1.6 – Блок-схема ИБП On-line типа с трансформатором

Применение трансформатора в данном типе источника бесперебойного питания, снижает общий КПД источника, но при определенном алгоритме управления инвертора, например, пространственно-векторной модуляции, КПД данного типа может составлять 92-93%. Применения трансформатора в данном типе ИБП обеспечивает отсутствие постоянной составляющей в выходном напряжении, что является преимуществом, а также наличие трансформатора обеспечивает гальваническую развязку.

Рассмотрев преимущества и недостатки двух вариантов построения ИБП On-Line типа, выбираем источник бесперебойного питания без трансформатора, основное преимущество которых, упрощенная конструкция, меньшие габаритные размеры и масса.

Рассмотрим 4 наиболее распространённых схем построения безтрансформаторных ИБП On-Line типа.

1) На рисунке 1.7 представлена схема, в которой входное напряжение регулируется с помощью управляемого выпрямителя (УВ). Если напряжение ниже уровня, необходимого потребителю, то с помощью преобразователя постоянного напряжения (ППН) напряжение увеличивается до номинального значения. С помощью инвертора (И) происходит преобразование постоянного напряжения в переменное. На выходе инвертора устанавливается фильтр, для уменьшения пульсаций высших гармоник, фильтрации и сглаживания напряжения. В данной схеме, вместо управляемого выпрямителя (УВ), можно использовать неуправляемый выпрямитель (НУ), при таком построении схемы, регулирование входного напряжения осуществляется на ППН.

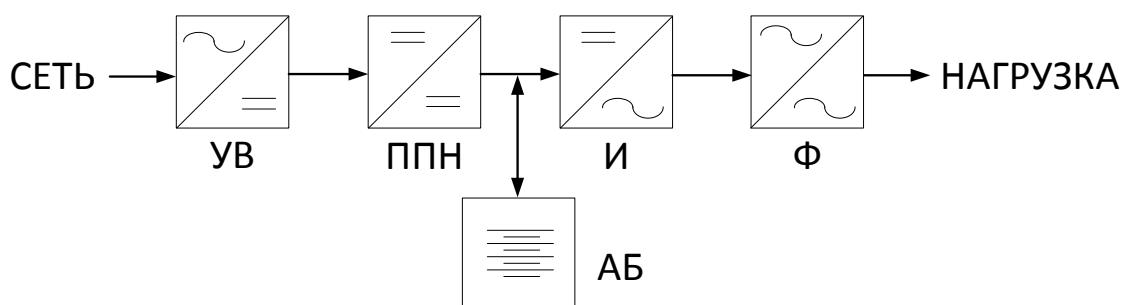




Рисунок 1.7 – Структурная схема ИБП с АБ в цепи питания инвертора

Данная схема имеет минимальное количество блоков, однако при таком построение схемы уменьшается надежность, например, при некорректной работе или поломки УВ или ППН, есть вероятность возникновения больших токов на участке с постоянным напряжением, что может привести к серьезному ущербу устройства в целом.

2) Для заряда аккумуляторной батареи можно использовать отдельное зарядное устройство (ЗУ), схема построенная по данному принципу представлена на рисунке 1.8. Аккумуляторная батарея (АБ) заряжается независимо от общей схемы, тем самым, в целом, повышается надежность. Отдельное зарядное устройство позволяет снизить нагрузку на управляемы выпрямитель (УВ). При аварийном режиме работы схемы, питание осуществляется непосредственно от аккумуляторных батарей, а верхняя часть схемы находится в режиме плавающего заряда, благодаря коммутирующим ключам. При заряде АБ отдельными ЗУ, обеспечивается регулирование процесса заряда, что благоприятно отображается на состоянии АБ. Недостатком данной схемы, является более сложная конструкция и система управления, по сравнению с схемой, представленной выше.

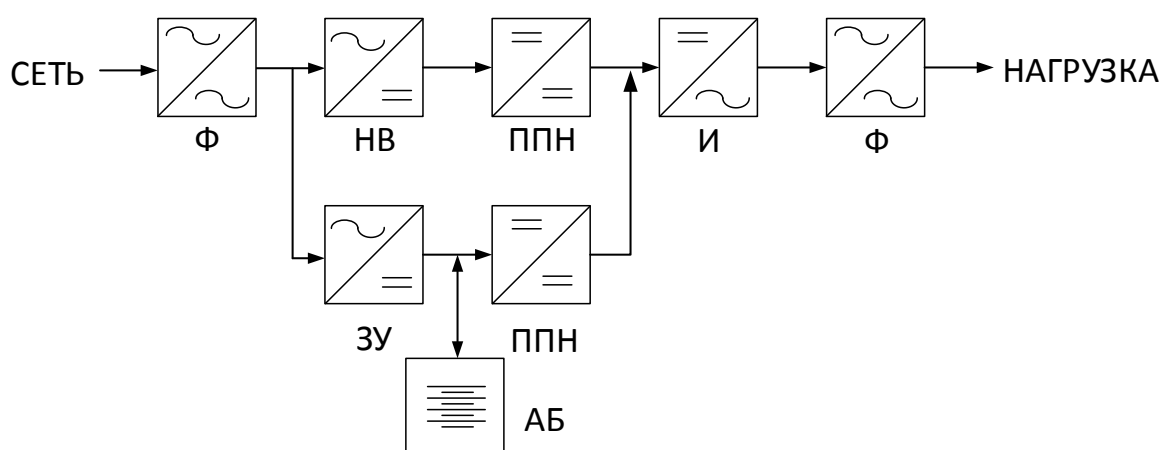


Рисунок 1.8 – Структурная схема ИБП с отдельным зарядным устройством

3) В схеме представленной на рисунке 1.9, при построение использовалось отдельное зарядное устройство (ЗУ), питание которого осуществляется параллельно с питанием инвертора, что является отличительной особенностью со схемой представленной выше. В данном

случае, ЗУ преобразует постоянное напряжение одного уровня в постоянное напряжение другого уровня, тем самым обеспечивая оптимальные условия для заряда аккумуляторной батареи (АБ). В сетевом режиме АБ находится в режиме подзарядки. В данной схеме имеется тиристор-силовой управляемый ключ(К), который в сетевом режиме, запирает ветвь, через которую в аварийном режиме, питает нагрузку АБ.

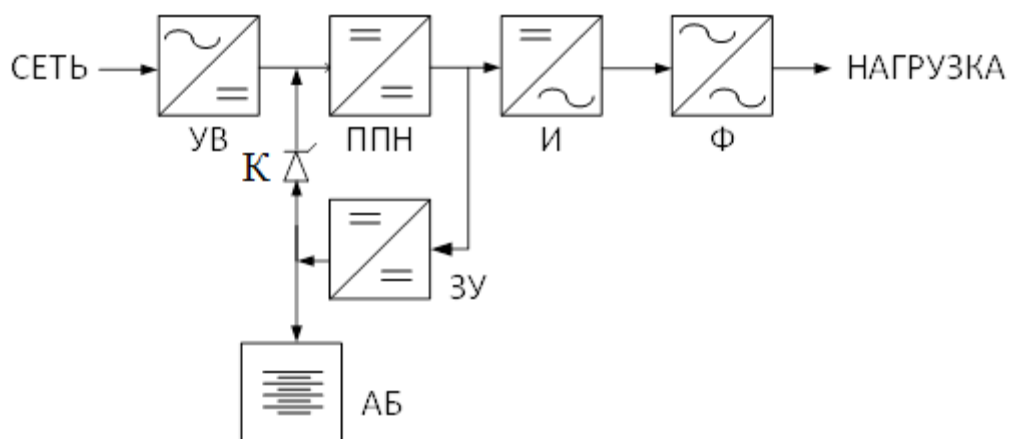


Рисунок 1.9 – Структурная схема ИБП с зарядным устройством в цепи питания инвертора

Недостаткам данной схемы, в отличие от схемы представленной выше (рисунок 1.8), является усложнение конструкции и из-за отсутствия отдельного входа для ЗУ, уменьшается надежность ИБП в целом.

4) Для решения проблемы низкой надежности, в схеме представленной на рисунке 1.10, применяется дополнительное зарядное устройство (ДЗУ). В номинальном-сетевом режиме заряд аккумуляторной батареи (АБ) осуществляется через преобразователь постоянного напряжения (ППН). Если необходимо управлять током заряда, для оптимальной зарядки АБ, используется ДЗУ. В данной схеме имеется тиристор-силовой управляемый ключ(К), который в сетевом режиме, запирает ветвь, через которую в аварийном режиме, питает нагрузку АБ. К недостаткам схемы можно отнести усложнение как системы управления, так и конструкции ИБП в целом, что влечет к его удорожанию.

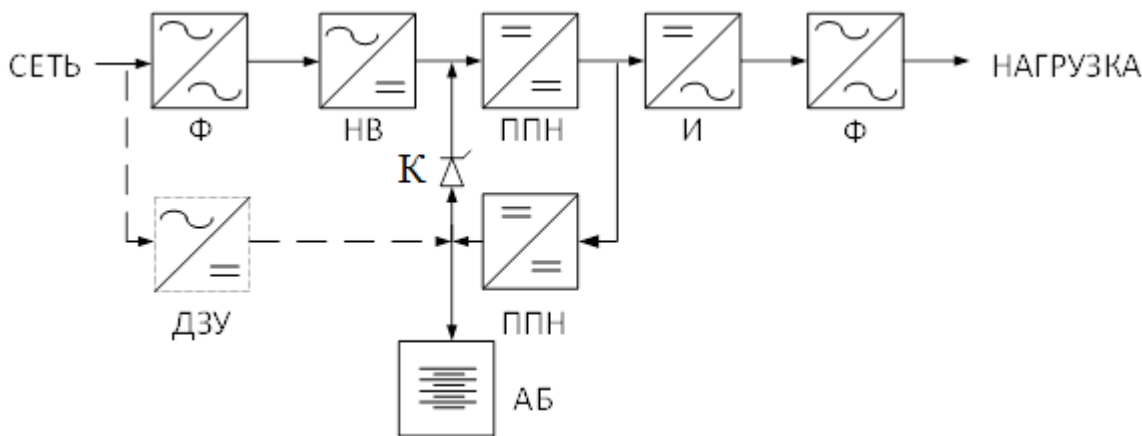


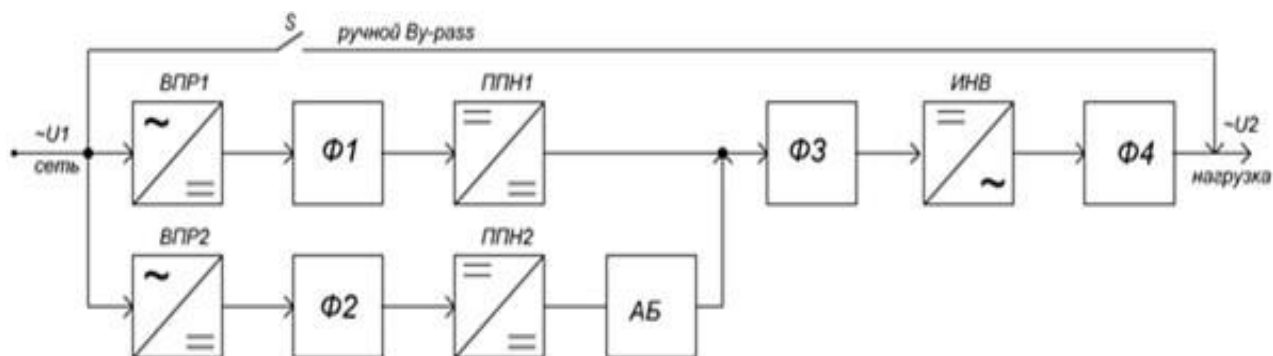
Рисунок 1.10 – Структурная схема ИБП с двойным преобразованием и дополнительным зарядным устройством

Рассмотрев все преимущества и недостатки рассмотренных выше схем, для обеспечения решения поставленной задачи, выбирается структурная схема ИБП с отдельным зарядным устройством, представленная на рисунке 1.8. Данная схема обладает оптимальным количеством блоков, необходимых для получения качественного напряжения для питания ответственных серверов. Так же данная схема обладает отдельным зарядным устройством, что обеспечит заряд АБ, необходимым напряжением, тем самым увеличит срок их эксплуатации.

## 2. Расчет и выбор элементов силовой части ИБП

### 2.1. Схема разрабатываемого источника бесперебойного питания

Используемый ИБП будет выполнен по технологии On-line типа с режимом ручного Ву-pass. Структурная схема разрабатываемого ИБП приведена на рисунке 2.1.



## Рисунок 2.1 – Структурная схема рассматриваемого ИБП

В сетевом режиме работы, питание нагрузки будет осуществляться по цепи «СЕТЬ-ВПР1-Ф1-ППН1-Ф3-ИНВ-Ф4-НАГРУЗКА». Параллельно будет происходить зарядка АБ и, в дальнейшем, батарея будет находиться в режиме ожидания. В данной схеме будет применен трехуровневый инвертор, так как он обеспечивает синусоиду выходного напряжения, максимально приближенную к идеальной.

В случае потери питающего напряжения, инвертор начинает работать в аварийном режиме. Основная цепь питания при этом обесточивается. Автоматически, без разрыва питающей синусоиды, происходит переключение на аварийное питание от аккумуляторной батареи, находящейся в режиме ожидания. Цепь питания будет выглядеть так: «АБ-Ф3-ИНВ-Ф4-НАГРУЗКА». За счет особенностей используемого инвертора, подключение батарей происходит последовательно-параллельно по отношению друг к другу.

### 2.2. Расчет параметров входной сети и нагрузки

Номинальное напряжение питающей сети:

$$U_{с.НОМ} = 220(\text{В}).$$

Напряжение питающей сети  $U_{с \text{ макс}}$  и  $U_{с \text{ мин}}$  согласно техническому заданию определяем по формуле:

$$U_{с \text{ макс}} = U_{с \text{ ном}} + 0,15 \cdot U_{с \text{ ном}} = 220 + 33 = 253 \text{ В}, \quad (2.1)$$

$$U_{с \text{ мин}} = U_{с \text{ ном}} - 0,15 \cdot U_{с \text{ ном}} = 220 - 33 = 187 \text{ В}. \quad (2.2)$$

Номинальное, минимальное и максимальное напряжение нагрузки, согласно техническому заданию:

$$U_{НОМ} = 220 \text{ В};$$

$$U_{НОМ \text{ макс}} = U_{НОМ} + 0,03U_{НОМ} = 220 + 6,6 = 226,6 \text{ В}; \quad (2.3)$$

$$U_{НОМ \text{ мин}} = U_{НОМ} - 0,03U_{НОМ} = 220 - 6,6 = 213,4 \text{ В}. \quad (2.4)$$

Находим максимальный и минимальный ток нагрузки:

$$I_{\text{номмакс}} = \frac{P_{\text{макс}}}{U_{\text{номмин}}} = \frac{S \cdot \cos_{\text{макс}} \varphi}{U_{\text{номмин}}} = \frac{10000 \cdot 0.99}{213.4} = 46.4 (\text{А}); \quad (2.5)$$

$$I_{\text{номмин}} = \frac{P_{\text{макс}}}{U_{\text{номмакс}}} = \frac{S \cdot \cos_{\text{макс}} \varphi}{U_{\text{номмакс}}} = \frac{10000 \cdot 0.99}{226.6} = 43.7 (\text{А}). \quad (2.6)$$

### 2.3. Выбор аккумуляторных батарей

Напряжение заряда моноблочной батареи, состоящей из 6 секций, составляет 14В, напряжение разряда 11В. Оптимальным током заряда аккумуляторных батарей считается ток, соответствующий 10% от номинальной емкости АБ. Нормальный заряд длится порядка 10 часов. Заряжая батареи током больше 10% от номинальной емкости возможно вызвать перегрев и потери активной части пластин. Но для уменьшения времени заряда увеличивают ток заряда до 20%

При последовательном соединении батарей одинаковой емкости общая емкость батарейного блока не меняется. Если требуется увеличить суммарную емкость или получить больший ток разряда, применяется параллельное соединение, при котором напряжение блока не увеличивается.

В ИБП on-line типа аккумуляторные батареи постоянно подзаряжаются от сети без перезарядки. Уменьшение зарядного тока происходит после того, когда напряжение на выводах батареи перестает повышаться. Это говорит о том, что батарея автоматически регулирует процесс заряда и не создает дополнительных требований к устройству зарядного устройства.

Амплитуда первой гармоники напряжения на нагрузке:

$$U_{\text{тном}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{номмакс}} = \sqrt{2} \cdot 226.6 = 320.46 (\text{В}). \quad (2.7)$$

Примем максимальный коэффициент модуляции инвертора  $M_{\text{макс}} = 0,95$  [11].

Потери напряжения в силовых ключах  $\Delta U_{\text{ключ}} = 2,5 \text{ В}$  [11].

Падение напряжения на входном реакторе:

$$\Delta U_L = 0.01 \cdot U_{c \text{ ном}} = 0.01 \cdot 220 = 2.2 \text{ (В)}. \quad (2.8)$$

Напряжение входа инвертора соответствует напряжению разряда аккумуляторных батарей:

$$U_{d \text{ макс}} = U_{\text{бр}} = \frac{U_{m \text{ ном}} + 2 \cdot \Delta U_{\text{ключ}} + \Delta U_L}{M_{\text{макс}}}. \quad (2.9)$$

Согласно (2.9) находим напряжение разряда аккумуляторных батарей:

$$U_{\text{бр}} = \frac{320.46 + 2 \cdot 2.5 + 2.2}{0.95} = 344.91 \text{ (В)}.$$

Необходимое число батарей:

$$N = \frac{U_{\text{бр}}}{11} = \frac{344.91}{11} = 31.36 \approx 32. \quad (2.10)$$

Максимальная мощность на нагрузке:

$$P_{n \text{ макс}} = S \cdot \cos_{\text{макс}} \varphi = 10000 \cdot 0.8 = 8.0 \text{ (кВт)}. \quad (2.11)$$

$\varphi$  – коэффициент мощности примем равным 0,8 [6].

Примем КПД инвертора  $\eta_{\text{инв}} = 0.95$  [10].

Мощность разряда батареи, с учетом (2.11):

$$P_{\text{бр макс}} = \frac{P_{n \text{ макс}}}{\eta_{\text{инв}}} = \frac{8000}{0.95} = 8421 \text{ (Вт)}. \quad (2.12)$$

Максимальный ток разряда батареи:

$$I_{\text{бр макс}} = \frac{P_{\text{бр макс}}}{N \cdot U_{\text{бр}}} = \frac{8421}{32 \cdot 11} = 24.42 \text{ (А)}. \quad (2.13)$$

Емкость батареи:

$$Q_{\text{б}} = I_{\text{бр макс}} \cdot t_{\text{авт раб}} = 24.42 \cdot 0.167 = 4.07 \text{ (А} \cdot \text{ч)},$$

$$\text{Где } t_{\text{авт раб}} = \frac{10}{60} = 0.167 \text{ (ч)}, \text{ согласно техническому заданию}. \quad (2.14)$$

Для поддержания работы нагрузки в течение 10 минут, требуется аккумуляторная батарея у которой так разряда равен 24,42 А

Для разрабатываемого источника бесперебойного питания выбираем аккумуляторную батарею фирмы Sonnenschein A412/20, способную в течение 10 минут выдавать ток разряда равный 25 А [7]. В таблице 2.1 представлены технические характеристики данной аккумуляторной батареи, а в таблице 2.2 разрядная характеристика. Полная информация о параметрах выбранной аккумуляторной батареи приведена в приложении А.

Таблица 2.1 – Технические характеристики аккумуляторной батареи A412/20

Ном. U, В	Ном. емкость, А·ч	Ток разряда, А	Макс. Нагрузка, А	Время резервирования, мин	Ток резервирования, А
12	20	2,0	200	10	25

Таблица 2.2 – Разрядная характеристика аккумуляторной батареи.

$V_{pc}$	5 мин	10 мин	15 мин
1,85	33	25	22
1,80	36	27	23
1,75	45	34	27

Ток заряда батареи:

$$I_{б\text{ зар}} = \frac{Q_{10}}{10} = \frac{20}{10} = 2.0(\text{А}). \quad (2.15)$$

Мощность зарядного устройства на выходе:

$$P_{зу} = I_{б\text{ зар}} \cdot N \cdot U_{б\text{ зар}} = 2.0 \cdot 32 \cdot 14 = 0.896(\text{кВт}). \quad (2.16)$$

#### 2.4. Расчет инвертора напряжения

В источнике бесперебойного питания, для формирования выходного напряжения, используется инвертор. Для того, чтобы выходное напряжение имело высокое качество, инвертор должен иметь качественную сборку и электрическую схему, обеспечивающую необходимые выходные параметры.

При разработке ИБП, для формирования напряжения, используется три уровня напряжения: напряжение на одном конденсаторе, нулевой уровень и напряжение на двух последовательно соединенных конденсаторах. Из-за данного деления напряжения, рассматриваемый инвертор называется трехуровневым рисунок 2.2.

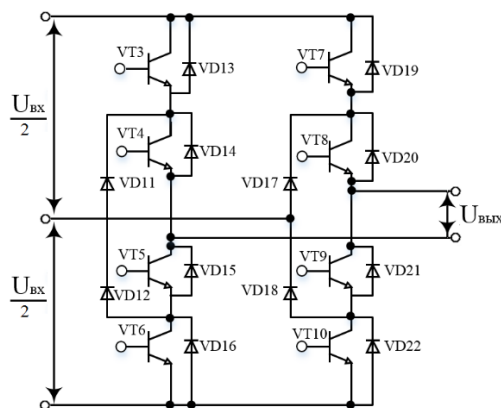


Рисунок 2.2 – Инвертор постоянного напряжения

Трехуровневый инвертор имеет ряд преимуществ, влияние которых и сказалось на выборе схемы построения инвертора:

- При работе инвертора, в режиме синусоидальной ШИМ, обеспечиваются наименьшие искажения тока и напряжения нагрузки;
- Имеется возможность использовать сравнительно низковольтные элементы в схеме (конденсаторы, транзисторные сборки), при повышенном напряжении как на входе, так и на выходе инвертора;
- При работе инвертора, в режиме синусоидальной ШИМ, в полупроводниковых элементах, минимальные динамические потери;

Расчет инвертора напряжения состоит в выборе IGBT-транзисторов со встроенными обратными диодами. Элементы будут выбираться по максимальному току коллектора с учетом крест-фактора и напряжению на коллекторе. Коэффициент запаса примем равным 1,5 [4].

При работе инвертора к закрытому транзистору прикладывается напряжение звена постоянного тока, исключая напряжение перехода коллектор-эмиттер открытого транзистора. Обычно значение падения



напряжения на открытом IGBT-транзисторе принимают равным  $U_{к-энас} = 1.7..2.8(V)$

Крест-фактор нагрузки (Crest Factor) – показатель, характеризующий ИБП способностью обеспечивать питанием нелинейную нагрузку, потребляющую нелинейный импульсный ток. Определяется как отношение амплитуды импульсного тока в нелинейной нагрузке к амплитуде тока гармонической формы при эквивалентной потребленной мощности. Для нагрузки серверных помещений, крест-фактор(CF) принимают равным 3 [10].

Определяем обратное напряжение на транзисторе:

$$U_{к-эмакс} = U_{бр} - U_{к-энас} = U_{dмакс} - U_{к-энас} = 344.91 - 2.5 = 342.41 (V). \quad (2.17)$$

Максимальный коллекторный ток через транзистор с учетом крест- фактора:

$$I_{кмакс} = \sqrt{2} \cdot I_{номмакс} \cdot CF = \sqrt{2} \cdot 46.39 \cdot 3 = 196.82 (A). \quad (2.18)$$

По полученным расчетным параметрам выбираем IGBT модуль CM200DY-12H выпускаемы фирмой Mitsubishi Electric Semiconductor [11]. Данные по выбранному модулю приводятся в приложении Б.

Протекание тока через диоды нулевой точки подразумевает его загруженность только половиной нагрузки тока транзистора. Но в случае выхода из строя одного из транзисторов, вся нагрузка приходится на диод. В связи с этим выбираем диод с запасом по току и напряжению.

## 2.5. Расчет фильтра на выходе инвертора напряжения

При построении схемы источника бесперебойного питания, в качестве выходного фильтра, после инвертора, применяем Г- образный LC- фильтр, представленный на рисунке 2.3. Главными задачами данного фильтра является выделение первой гармоники напряжения, формируемым инвертором, а также ослабление высших гармоник.

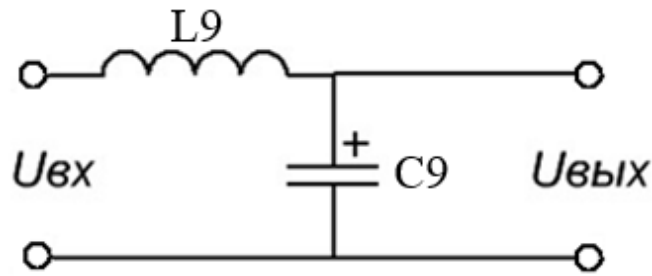


Рисунок 2.3– Схема фильтра на выходе инвертора

Для расчета данного фильтра, воспользуемся методом наложения, используя схему замещения, которая представлена на рисунке 2.4. В разрабатываемом ИБП инвертор формирует напряжение в режиме синусоидальной ШИМ, поэтому на вход данного фильтра поступает напряжение, которое представляет собой высокочастотные модулированные импульсы, содержащие первую и высокочастотные гармоники. Исходя из этого при расчете фильтра можно использовать приведенную схему замещения, которая представлена на рисунке 2.5, учитывая, что  $U_{(1)}$  - источник первой полезной гармоники,  $U_{(n)}$  - источник остальных гармоник.

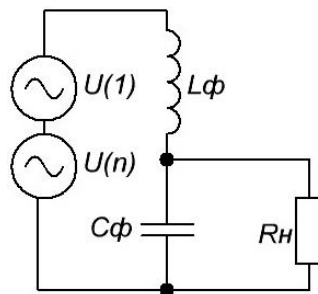


Рисунок 2.4 – Схема замещения выходной цепи инвертора

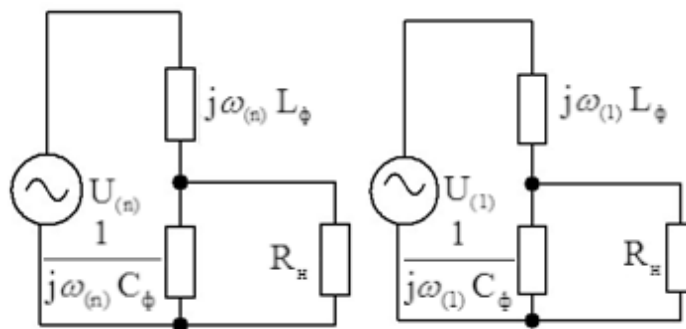


Рисунок 2.5 – Приведенная схема замещения выходной цепи инвертора

Для расчета индуктивности зададимся падением напряжения на ней от первой гармоники  $U_{L(1)} = 2.3(\text{В})$ ,  $I_{L(1)}$  - первая гармоника тока нагрузки.

Реактивное сопротивление индуктивности L9:

$$X_{L(1)} = \frac{U_{L(1)}}{I_{L(1)}} = \frac{2.3}{46.39} = 0.05 \text{ (Ом)}. \quad (2.19)$$

Индуктивность фильтра:

$$L_{\phi} = \frac{X_{L(1)}}{\omega} = \frac{X_{L(1)}}{2\pi f_{\text{ВЫХ}}} = \frac{0.05}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.193 \text{ (мГн)}. \quad (2.20)$$

Номинальный ток нагрузки:

$$I_{\text{н.ном}} = \frac{S_{\text{ВЫХ.}}}{U_{\text{н.ном}}} = \frac{10000}{220} = 45.46 \text{ (А)}. \quad (2.21)$$

Ток который протекает через емкость составляем 20% от тока нагрузки [4]:

$$I_c = 0.2 \cdot I_{\text{н.ном}} = 0.2 \cdot 45.46 = 9.09 \text{ (А)}. \quad (2.22)$$

Векторная диаграмма токов и напряжение, протекающих в выходном фильтре, представлена на рисунке 2.6.

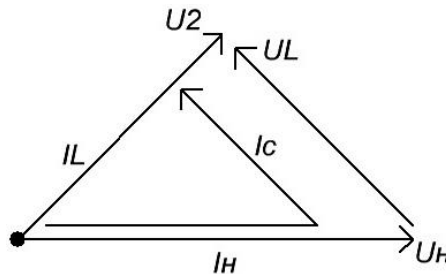


Рисунок 2.6– Векторная диаграмма токов и напряжений

Исходя из выше указанной диаграммы, определяем ток протекающий через индуктивность:

$$I_{L\phi} = \sqrt{I_c^2 + I_{\text{н.ном}}^2} = \sqrt{9.09^2 + 45.46^2} = 46.36 \text{ (А)}. \quad (2.23)$$

Находим сопротивление индуктивности:

$$X_{L\phi} = \frac{U_{L(1)}}{I_{L\phi}} = \frac{2.3}{46.36} = 0.05 \text{ (Ом)}. \quad (2.24)$$

Тогда индуктивность фильтра равна:

$$L_{\phi} = \frac{X_{L\phi}}{2\pi f_{\text{ВЫХ}}} = \frac{0.05}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 158 \text{ (мкГн)}. \quad (2.25)$$

Определяем потери в реакторе L9:

$$\Delta P_L = 0.01 \cdot P_{\text{макс}} = 0.01 \cdot 8000 = 80 \text{ (Вт)}. \quad (2.26)$$

Определяем активное сопротивление реактора L9:

$$R_L = \frac{\Delta P_L}{I_{\text{нном}}^2} = \frac{80}{45.46^2} = 0.039 \text{ (Ом)}. \quad (2.27)$$

Обойдем получившиеся контура и запишем расчетные уравнения:

$$I_{\text{сф}} = \frac{U_{(n)}(j\omega)}{X_{L\phi} + \frac{X_{\text{сф}} \cdot R_{\text{н}}}{X_{\text{сф}} + R_{\text{н}}}}, \quad (2.28)$$

$$I_{\text{сф}} = \frac{U_{(n)}(j\omega) - U_{\text{н}}(j\omega)}{X_{L\phi}} = \frac{U_{(n)}(j\omega) - k_{\text{г}} \cdot U_{(n)}(j\omega)}{X_{L\phi}} = \frac{U_{(n)}(j\omega) \cdot (1 - k_{\text{г}})}{X_{L\phi}}. \quad (2.29)$$

Приравниваем выражения (2.28) и (2.29), выражаем  $X_{\text{сф}}$ :

$$X_{\text{сф}} = \frac{X_{L\phi} \cdot k_{\text{г}} \cdot R_{\text{н}}}{(1 - k_{\text{г}}) \cdot R_{\text{н}} - X_{L\phi} \cdot k_{\text{г}}}. \quad (2.30)$$

где  $k_{\text{г}}$  – коэффициент гармоник, принимаем равным 3%.

Определим номинальное сопротивление нагрузки:

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н.нном}}}{I_{\text{нном}}} = \frac{220}{45.46} = 4.84 \text{ (Ом)}. \quad (2.31)$$

Определяем  $X_{L\phi}$  на реальной частоте коммутаций принятой 25 кГц, что соответствует частоте коммутаций IGBT модулей:

$$X_{L\phi} = \omega_{\text{к}} L_{\phi} = 2\pi f_{\text{к}} L_{\phi} = 2 \cdot 3.14 \cdot 25000 \cdot 0.158 \cdot 10^{-3} = 24.81 \text{ (Ом)}. \quad (2.32)$$

Подставляя в (2.113) получаем:

$$X_{\text{сф}} = \frac{24.81 \cdot 4.84 \cdot 0.03}{(1 - 0.03) \cdot 4.84 - 24.81 \cdot 0.03} = 0.92 \text{ (Ом)}.$$

Следовательно:

$$C = \frac{1}{\omega_k \cdot X_{C\phi}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 25000 \cdot 0.92} = 7 (\text{мкФ}). \quad (2.33)$$

По полученным расчетным параметрам выбираем конденсатор К78-36 [10]. Технические параметры конденсатора приведены в приложении В.

## 2.6. Расчет импульсного преобразователя постоянного напряжения №1

Для обеспечения требуемого уровня напряжения на входе инвертора, необходимо стабилизировать напряжение, подаваемое из сети с отклонениями. В данной схеме в качестве стабилизатора напряжения выступает импульсный преобразователь постоянного напряжения, который повышает постоянное напряжение одного уровня в постоянное напряжение другого уровня (рисунок 2.7).

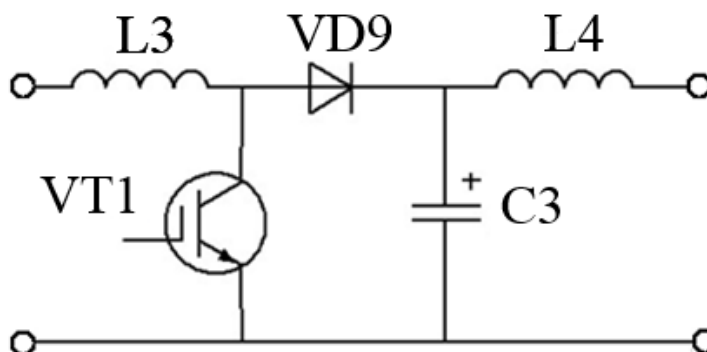


Рисунок 2.7 – импульсный преобразователь постоянного напряжения №1

Импульсный преобразователь постоянного напряжения (ППН1) работает в режиме непрерывного тока, это обеспечивает меньшие пульсации напряжения на выходе, в отличие от работы в режиме прерывистых токов.

На рисунке 2.8 представлены временные диаграммы, поясняющие работу импульсного преобразователя постоянного напряжения.

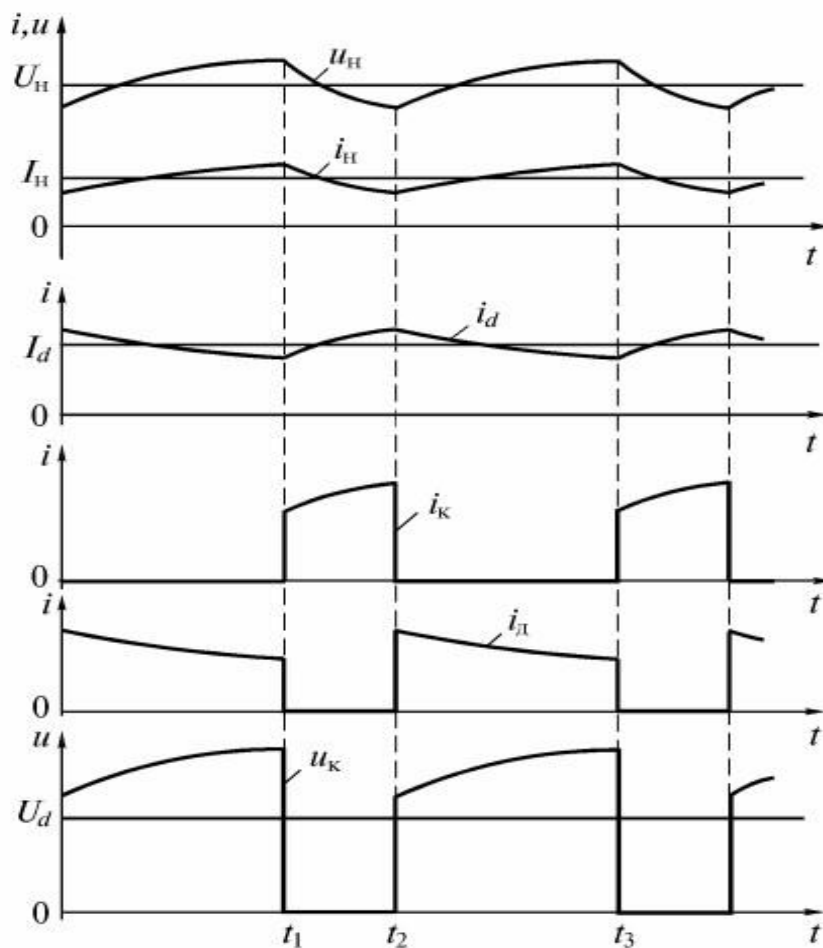


Рисунок 2.8 – Временные диаграммы импульсного преобразователя постоянного напряжения

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

$$\begin{aligned}
 U_{d \max} &= \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{c \max} - \Delta U_{\text{пп}} = 0.9 \cdot 253 - 2 = 226 \text{ (В)}; \\
 U_{d \min} &= \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{c \min} - \Delta U_{\text{пп}} = 0.9 \cdot 187 - 2 = 166 \text{ (В)};
 \end{aligned}
 \tag{2.34}$$

Где  $\Delta U_{\text{пп}}$  – потери в выпрямителе,

Определим коэффициент передачи (преобразования):

$$\begin{aligned}
 k_{\text{пер max}} &= \frac{U_{\text{бзар max}}}{U_{d \min}} = \frac{14 \cdot 32}{166} = \frac{448}{166} = 2.69; \\
 k_{\text{пер min}} &= \frac{U_{\text{бзар min}}}{U_{d \max}} = \frac{344.91}{226} = 1.53.
 \end{aligned}
 \tag{2.35}$$

Рассчитаем максимальную и минимальную относительную длительность открытого состояния транзистора VT1:

$$\begin{aligned} \gamma_{\max} &= 1 - \frac{U_{d \min}}{U_{\text{бзар max}}} = 1 - \frac{166}{448} = 0.63; \\ \gamma_{\min} &= 1 - \frac{U_{d \max}}{U_{\text{бзар min}}} = 1 - \frac{226}{344.91} = 0.37 \end{aligned} \quad (2.36)$$

Для дальнейшего расчета задаемся следующими параметрами [4]:

- Частота коммутации силового ключа (транзистор VT1)  $f_k = 25 \text{ кГц}$ ;
- КПД импульсного преобразователя напряжения  $\eta_{\text{ППН}} = 0.92$  ( $\eta_{\text{ППН}} = 0.9 \dots 0.95$ );
- Коэффициент пульсации тока реактора  $K_{\Pi} = 0.2$  ( $K_{\Pi} = 0.2 \dots 0.3$ ).

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

Мощность на входе инвертора:

$$P_{d.\text{инв}} = P_{\text{вых ппн}} = \frac{P_{\text{н max}}}{\eta_{\text{инв}}} = \frac{8000}{0.95} = 8421 \text{ (Вт)}. \quad (2.37)$$

Мощность на входе импульсного преобразователя:

$$P_{\text{вх ппн}} = \frac{P_{\text{вых ппн}}}{\eta_{\text{инв}}} = \frac{8421}{0.95} = 8864 \text{ (Вт)}. \quad (2.38)$$

Максимальный ток на входе импульсного преобразователя:

$$I_{\text{вх ппн max}} = \frac{P_{\text{вх ппн}}}{U_{d \min}} = \frac{8864}{166} = 53.28 \text{ (А)}. \quad (2.39)$$

Рассмотрим интервал времени, соответствующий открытому состоянию транзистора. Составляем дифференциальное уравнение для контура на входе источника бесперебойного питания:

$$L_3 \frac{dI_{L3}}{dt} = U_{d \text{ вып}} - \Delta U_{\text{пт}}. \quad (2.40)$$

Ток будет изменяться от минимума до максимума по следующему закону в течении времени  $t$ :

$$I_{L3}(t) = \frac{U_{\text{двып}} - \Delta U_{\text{пп}}}{L2} t + I_{L3\text{max}}. \quad (2.41)$$

Ток в реакторе увеличивается и уменьшается в зависимости от состояния ключа, изменяясь от начального значения до максимального:

$$I_{L3\text{max}} = I_{L3\text{max}}(\gamma T) = \frac{U_{\text{двып}} - \Delta U_{\text{пп}}}{L3} \gamma T + I_{L3\text{min}}. \quad (2.42)$$

Запишем выражения с учетом принятой величины пульсаций:

$$I_{L3\text{min}} = 0.8 \cdot I_{L3\text{cp}};$$

$$I_{L3\text{max}} = 1.2 \cdot I_{L3\text{cp}}.$$

Подставляя эти значения в выражения, получим:

$$1.2 I_{L3\text{cp}} = \left( \frac{U_{\text{двып}} - \Delta U_{\text{пп}}}{L3} \right) (\gamma T) + 0.8 I_{L3\text{cp}}. \quad (2.43)$$

$$\frac{U_{\text{двып}} - \Delta U_{\text{пп}}}{L3} = \frac{1.2 I_{L3\text{cp}} - 0.8 I_{L3\text{cp}}}{\gamma T}. \quad (2.44)$$

Отсюда получаем:

$$L3 = \frac{(U_{\text{двып}} - \Delta U_{\text{пп}}) \gamma T}{0.4 I_{L3\text{cp}}}. \quad (2.45)$$

При расчете индуктивности рассматриваемы самый тяжелый режим работы импульсного преобразователя постоянного напряжения, при котором:

- $\gamma$  – максимальный;
- $U_{\text{двып}}$  – максимальное .

$$L3 = \frac{(U_{\text{двып}} - \Delta U_{\text{пп}}) \gamma_{\text{max}} T}{0.4 I_{L3\text{cpmax}} \cdot f_{\text{к}}} = \frac{(166 - 2) \cdot 0.63}{0.4 \cdot 25000 \cdot 53.28} = 0.31 (\text{мкГн}); \quad (2.46)$$

$$I_{L3\text{cpmax}} = I_{\text{вхипmax}} = 53.28 (\text{А}).$$

Определим ток, протекающий через диод VD9:



$$I_{VD9\text{ ср}} = I_{L3\text{ срmax}} \cdot (1 - \gamma_{\text{min}}) = 53.28 \cdot (1 - 0.37) = 34.88 \text{ (A)}. \quad (2.47)$$

Определим напряжение диода VD9:

$$U_{VD9\text{ ср}} = U_{\text{бзmax}} = 448 \text{ (В)}.$$

Определим ток, протекающий через транзистор VT1:

$$I_{VT1\text{ max}} = I_{L3\text{ срmax}} \cdot (1 - k_{\text{п}}) = 53.28 \cdot (1 + 0.2) = 63.94 \text{ (A)}. \quad (2.48)$$

Определим напряжение транзистора VT1:

$$U_{VT1\text{ max}} = U_{\text{бзmax}} + U_{VD9\text{пр}} = 448 + 1 = 449 \text{ (A)}. \quad (2.49)$$

По полученным расчетным параметрам выбираем IGBT транзистор HGTG20N60A4 фирмы Fairchild Semiconductor [6], параметры которого приведены в таблице 2.3. Полная информация параметров представлена в приложении Г [10].

Таблица 2.3 – Технические параметры IGBT транзистора HGTG20N60A4

$U_{\text{к-э max}}, \text{ В}$	$I_{\text{к ном}}, \text{ А}$	$f_{\text{ком}}, \text{ кГц}$
600	70	30

Выбираем диод VS-40EPF06PBF фирмы Vishay, полная информация параметров представлена в приложении Д [10].

Рассчитаем параметры необходимые для выбора конденсатора.

П пульсационная составляющая тока:

$$\Delta I_{C3} = I_{VT1\text{ max}} - I_{VD9\text{ ср}} = 63.94 - 34.88 = 29.06 \text{ (A)}. \quad (2.50)$$

Напряжение в режиме заряда:

$$U_{C3} = U_{\text{бзmax}} = 448 \text{ (В)}.$$

$$\Delta U_{C3} = k_{\text{п}} \cdot U_{C3} = 0.02 \cdot 448 = 8.96 \text{ (В)}. \quad (2.51)$$

$$C_3 = \frac{\Delta I_{C3} \cdot \gamma_{\text{max}}}{\Delta U_{C3} \cdot f_{\text{ком}}} = \frac{29.06 \cdot 0.63}{8.96 \cdot 30000} = 67.97 \text{ (мкФ)}. \quad (2.52)$$

По полученным расчетным параметрам выбираем конденсатор ECAP K50-35 [10], который позиционируются фирмой производителем для работы

в режиме заряд-разряд в качестве накопителей электроэнергии. Параметры данного конденсатора указаны в приложении Е.

Следовательно:

$$\Delta U_{C3} = \frac{\Delta I_{C3}}{C_3 2\pi f_{\text{ком}}} = \frac{29.06}{67.97 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 30000} = 2.27 \text{ (В)}. \quad (2.53)$$

Определяем через реактор L4:

$$I_{L4} = I_{\text{бз}} + I_{\text{бразрmax}} = 2 + 24.42 = 26.42 \text{ (А)}. \quad (2.54)$$

Примем коэффициент пульсации тока реактора  $k_{\text{п}} = 0.05$ , тогда

$$\Delta I_{L4} = k_{\text{п}} \cdot I_{L4} = 0.05 \cdot 26.42 = 1.32 \text{ (А)}. \quad (2.55)$$

Падение напряжения на индуктивности приравниваем падению напряжения на конденсаторе:

$$\Delta U_{L4} = \Delta U_{C3} = 2.27 \text{ (В)}.$$

Определяем сопротивление и индуктивность реактора:

$$X_{L4} = \frac{\Delta U_{L4}}{\Delta I_{L4}} = \frac{2.26}{1.32} = 1.72 \text{ (Ом)}. \quad (2.56)$$

$$L_4 = \frac{X_{L4}}{2\pi f_{\text{ком}}} = \frac{1.72}{2 \cdot 3.14 \cdot 30000} = 9.11 \text{ (мкГн)}. \quad (2.57)$$

Определим потери мощности и сопротивление индуктивного элемента:

$$\Delta P_{L4} = 0.005 P_2 = 0.005 \cdot 8000 = 40 \text{ (Вт)}. \quad (2.58)$$

$$R_{L4} = \frac{\Delta P_{L4}}{I_{L4}^2} = \frac{40}{26.42^2} = 0.06 \text{ (Ом)}. \quad (2.59)$$

## **2.7. Расчет импульсного преобразователя постоянного напряжения №2**

Данный элемент на схеме выполняет функцию стабилизации напряжения питания АБ. Принцип работы импульсного преобразователя постоянного напряжения (ППН2-рисунок 2.9) аналогичен принципу работы

ПШН1, временные диаграммы, поясняющие работу которых, представлены на рисунке 2.8.

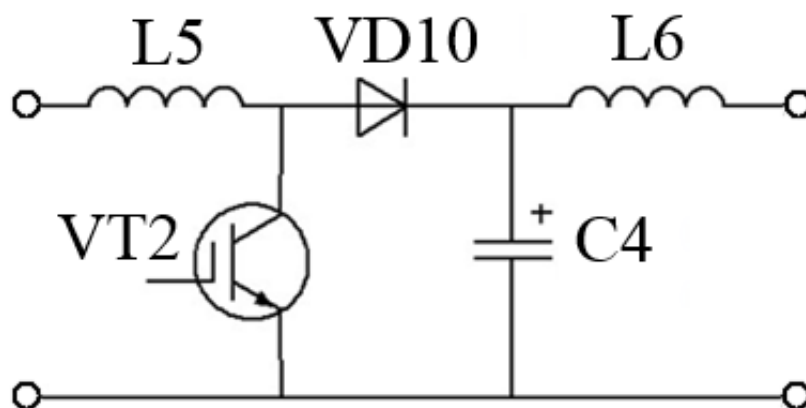


Рисунок 2.9 – импульсный преобразователь постоянного напряжения №2

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

$$\begin{aligned}
 U_{d \max} &= \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{c \max} - \Delta U_{\text{пр}} = 0.9 \cdot 253 - 2 = 226 \text{ (В)}; \\
 U_{d \min} &= \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{c \min} - \Delta U_{\text{пр}} = 0.9 \cdot 187 - 2 = 166 \text{ (В)};
 \end{aligned}
 \tag{2.60}$$

Где  $\Delta U_{\text{пр}}$  – потери в выпрямителе,

Определим коэффициент передачи (преобразования):

$$\begin{aligned}
 k_{\text{перmax}} &= \frac{U_{\text{бзар max}}}{U_{d \min}} = \frac{14 \cdot 32}{166} = \frac{448}{166} = 2.69; \\
 k_{\text{перmin}} &= \frac{U_{\text{бзар min}}}{U_{d \max}} = \frac{344.91}{226} = 1.53.
 \end{aligned}
 \tag{2.61}$$

Рассчитаем максимальную и минимальную относительную длительность открытого состояния транзистора VT2:

$$\begin{aligned}
 \gamma_{\max} &= 1 - \frac{U_{d \min}}{U_{\text{бзар max}}} = 1 - \frac{166}{448} = 0.63; \\
 \gamma_{\min} &= 1 - \frac{U_{d \max}}{U_{\text{бзар min}}} = 1 - \frac{226}{344.91} = 0.37
 \end{aligned}
 \tag{2.62}$$

Для дальнейшего расчета задаемся следующими параметрами [4]:

- Частота коммутации силового ключа (транзистор VT2)  $f_k = 25 \text{ кГц}$ ;
- КПД импульсного преобразователя напряжения  $\eta_{\text{ППН}} = 0.92$  ( $\eta_{\text{ППН}} = 0.9 \dots 0.95$ );
- Коэффициент пульсации тока реактора  $K_{\text{П}} = 0.2$  ( $K_{\text{П}} = 0.2 \dots 0.3$ ).

Ток на входе импульсного преобразователя напряжения необходимо рассчитывать, обеспечивая мощность аккумуляторной батареи.

Мощность на выходе импульсного преобразователя:

$$P_{\text{вых ип}} = P_{\text{бзар}} = I_{\text{бзар}} \cdot U_{d \text{ max}} = 2 \cdot 448 = 896 \text{ (Вт)}. \quad (2.63)$$

Мощность на входе импульсного преобразователя:

$$P_{\text{вх ппн}} = \frac{P_{\text{вых ппн}}}{\eta_{\text{ППН}}} = \frac{896}{0.95} = 943.16 \text{ (Вт)}. \quad (2.64)$$

Максимальный ток на входе импульсного преобразователя:

$$I_{\text{вх ппн max}} = \frac{P_{\text{вх ппн}}}{U_{d \text{ min}}} = \frac{943.16}{166} = 5.67 \text{ (А)}. \quad (2.65)$$

Рассмотрим интервал времени, соответствующий открытому состоянию транзистора. Составляем дифференциальное уравнение:

$$L_5 \frac{dI_{L5}}{dt} = U_{d \text{ вып}} - \Delta U_{\text{пп}}. \quad (2.66)$$

Ток будет изменяться от минимума до максимума по следующему закону в течении времени  $t$ :

$$I_{L5}(t) = \frac{U_{d \text{ вып}} - \Delta U_{\text{пп}}}{L_5} t + I_{L5 \text{ max}}. \quad (2.67)$$

Ток в реакторе увеличивается и уменьшается в зависимости от состояния ключа, изменяясь от начального значения до максимального:

$$I_{L5 \text{ max}} = I_{L5 \text{ max}}(\gamma T) = \frac{U_{d \text{ вып}} - \Delta U_{\text{пп}}}{L_5} \gamma T + I_{L5 \text{ min}}. \quad (2.68)$$

Запишем выражения с учетом принятой величины пульсаций:

$$I_{L5\min} = 0.8 \cdot I_{L5\text{cp}};$$

$$I_{L5\max} = 1.2 \cdot I_{L5\text{cp}}.$$

Подставляя эти значения в выражения, получим:

$$1.2I_{L5\text{cp}} = \left( \frac{U_{\text{двып}} - \Delta U_{\text{ПП}}}{L_5} \right) (\gamma T) + 0.8I_{L5\text{cp}}. \quad (2.69)$$

$$\frac{U_{\text{двып}} - \Delta U_{\text{ПП}}}{L_5} = \frac{1.2I_{L5\text{cp}} - 0.8I_{L5\text{cp}}}{\gamma T}. \quad (2.70)$$

Отсюда получаем:

$$L_5 = \frac{(U_{\text{двып}} - \Delta U_{\text{ПП}})\gamma T}{0.4I_{L5\text{cp}}}. \quad (2.71)$$

При расчете индуктивности рассматриваемы самый тяжелый режим работы импульсного преобразователя постоянного напряжения, при котором:

- $\gamma$  – максимальный;
- $U_{\text{двып}}$  – максимальное .

$$L_{5\max} = \frac{(U_{\text{двып}} - \Delta U_{\text{ПП}})\gamma_{\max} T}{0.4I_{L5\text{cp}\max} \cdot f_k} = \frac{(166 - 2) \cdot 0.63}{0.4 \cdot 25000 \cdot 5.67} = 1823 \text{ (мкГн)}; \quad (2.72)$$

$$I_{L5\text{cp}\max} = I_{\text{вхип}\max} = 5.67 \text{ (А)}.$$

Определим ток, протекающий через диод VD10:

$$I_{\text{VD10 cp}} = I_{L5\text{cp}\max} \cdot (1 - \gamma_{\min}) = 3.55 \cdot (1 - 0.3) = 2.49 \text{ (А)}. \quad (2.73)$$

Определим напряжение диода VD10:

$$U_{\text{VD10 cp}} = U_{\text{бз max}} = 448 \text{ (В)}.$$

Определим ток, протекающий через транзистор VT2:

$$I_{\text{VT2 max}} = I_{L5\text{cp}\max} \cdot (1 - k_{\pi}) = 5.67 \cdot (1 + 0.2) = 6.8 \text{ (А)}. \quad (2.74)$$

Определим напряжение транзистора VT2:

$$U_{\text{VT2 max}} = U_{\text{бз max}} + U_{\text{VD10np}} = 448 + 1 = 449 \text{ (В)}. \quad (2.75)$$

По полученным расчетным параметрам выбираем IGBT транзистор IRGB4607DPBF фирмы International Rectifier, параметры которого приведены

в таблице 2.4. Полная информация параметров представлена в приложении Ж [10].

Таблица 2.4 – Технические параметры IGBT транзистора IRGB4607DPBF

$U_{к-э макс}, В$	$I_{к ном}, А$	$f_{ком}, кГц$
600	7	30

Выбираем ультрабыстрый диод HFA04TB60 фирмы Vishay, полная информация параметров представлена в приложении К [10].

Рассчитаем параметры необходимые для выбора конденсатора.

Пулсационная составляющая тока:

$$\Delta I_{C4} = I_{VT2max} - I_{VD10cp} = 6.8 - 3.71 = 3.09 (A). \quad (2.76)$$

Напряжение в режиме заряда:

$$U_{C4} = U_{бзmax} = 448 (В).$$

$$\Delta U_{C4} = k_{п} \cdot U_{C4} = 0.02 \cdot 448 = 8.96 (В). \quad (2.77)$$

$$C_4 = \frac{\Delta I_{C4} \cdot \gamma_{max}}{\Delta U_{C4} \cdot f_{ком}} = \frac{3.09 \cdot 0.63}{8.96 \cdot 30000} = 7.2 (мкФ). \quad (2.78)$$

По полученным расчетным параметрам выбираем конденсатор ЕСАР ТКР100М2WJ20, который позиционируются фирмой производителем для работы в режиме заряд-разряд в качестве накопителей электроэнергии. Параметры данного конденсатора указаны в приложении Л.

Следовательно:

$$\Delta U_{C4} = \frac{\Delta I_{C4}}{C_4 2\pi f_{ком}} = \frac{3.09}{7.2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 30000} = 2.27 (В). \quad (2.79)$$

Определяем через реактор L6:

$$I_{L6} = I_{бз} + I_{бразрmax} = 2 + 24.42 = 26.42 (А). \quad (2.80)$$

Примем коэффициент пульсации тока реактора  $k_{п} = 0.05$ , тогда

$$\Delta I_{L6} = k_{п} \cdot I_{L6} = 0.05 \cdot 26.42 = 1.32 (А). \quad (2.81)$$

Падение напряжения на индуктивности приравниваем падению напряжения на конденсаторе:

$$\Delta U_{L6} = \Delta U_{C4} = 2.27 \text{ (В)}.$$

Определяем сопротивление и индуктивность реактора:

$$X_{L6} = \frac{\Delta U_{L6}}{\Delta I_{L6}} = \frac{2.27}{1.32} = 1.72 \text{ (Ом)}. \quad (2.82)$$

$$L_6 = \frac{X_{L6}}{2\pi f_{\text{ком}}} = \frac{1.72}{2 \cdot 3.14 \cdot 30000} = 9.1 \text{ (мкГн)}. \quad (2.83)$$

Определим потери мощности и сопротивление индуктивного элемента:

$$\Delta P_{L6} = 0.005 P_2 = 0.005 \cdot 8000 = 40 \text{ (Вт)}. \quad (2.84)$$

$$R_{L6} = \frac{\Delta P_{L6}}{I_{L6}^2} = \frac{40}{26.42^2} = 0.06 \text{ (Ом)}. \quad (2.85)$$

## 2.8. Расчет неуправляемого выпрямителя №1

На рисунке 2.10 представлен неуправляемый выпрямитель №1, входящий в состав схемы источника бесперебойного питания.

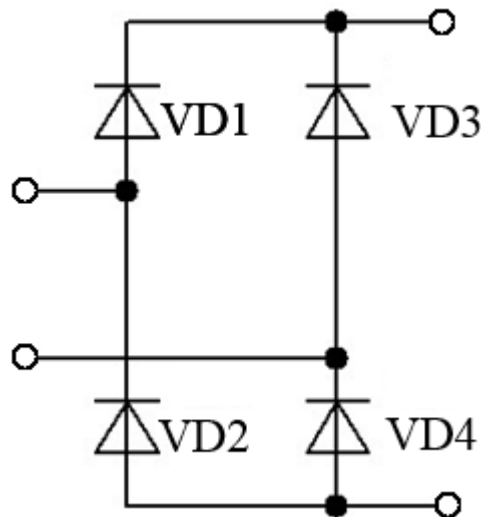


Рисунок 2.10 – Неуправляемый выпрямитель №1

Определим максимальное и минимальное напряжение на диоде, с учетом падения напряжения:

$$U_{d \max} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{c \max} - \Delta U_{\text{пр}} = 0.9 \cdot 253 - 2 = 226 \text{ (В)};$$

$$U_{d \min} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{c \min} - \Delta U_{\text{пр}} = 0.9 \cdot 187 - 2 = 166 \text{ (В)};$$
(2.86)

Максимальный ток через диод:

$$I_{d \max} = \frac{P_{\text{вх ппн}}}{U_{d \min}} = \frac{8864}{166} = 53.28 \text{ (А)}.$$
(2.87)

Средний ток диода:

$$I_{d \text{ ср}} = \frac{I_{d \max}}{2} = \frac{53.28}{2} = 26.64 \text{ (А)}.$$
(2.88)

Максимальное обратное напряжение на диодах:

$$U_{VD \max} = \frac{\pi}{2} \cdot U_{d \max} = \sqrt{2} \frac{I_{d \max}}{2} \cdot U_{c \max} = 1.41 \cdot 253 = 357.8 \text{ (В)}.$$
(2.89)

По полученным расчетным параметрам выбираем диод фирмы «Semiconductor» FFH60UP40S [10]. Полная информация параметров представлена в приложении М.

## 2.9. Расчет неуправляемого выпрямителя №2

На рисунке 2.11 представлен неуправляемый выпрямитель №2, входящий в состав схемы источника бесперебойного питания.

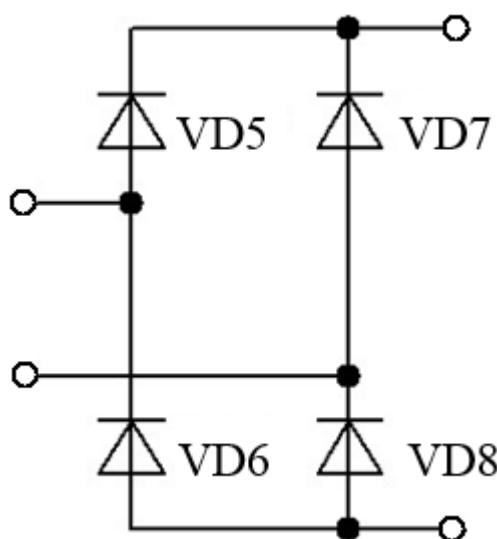


Рисунок 2.11– Неуправляемый выпрямитель №2



Определим максимальное и минимальное напряжение на диоде, с учетом падения напряжения:

$$U_{d \max} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{c \max} - \Delta U_{\text{пад}} = 0.9 \cdot 253 - 2 = 226(\text{В});$$

$$U_{d \min} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{c \min} - \Delta U_{\text{пад}} = 0.9 \cdot 187 - 2 = 166(\text{В});$$
(2.90)

Максимальный ток через диод, с учетом (2.43):

$$I_{d \max} = \frac{P_{\text{вх ппн}}}{U_{d \min}} = \frac{943.16}{166} = 5.67(\text{А}).$$
(2.91)

Средний ток диода:

$$I_{d \text{ср}} = \frac{I_{d \max}}{2} = \frac{5.67}{2} = 2.84(\text{А}).$$
(2.92)

Максимальное обратное напряжение на диодах:

$$U_{VD \max} = \frac{\pi}{2} \cdot U_{d \max} = \sqrt{2} \frac{I_{d \max}}{2} \cdot U_{c \max} = 1.41 \cdot 253 = 357.8(\text{В}).$$
(2.93)

По полученным расчетным параметрам выбираем диод фирмы «Vishay» VS-10ETF06PBF [10]. Полная информация параметров представлена в приложении Н.

## 2.10. Расчет сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя №1

На рисунке 2.12 представлен Г-образный LC-фильтр который установлен на выходе неуправляемого выпрямителя №1, для уменьшения пульсаций напряжения.

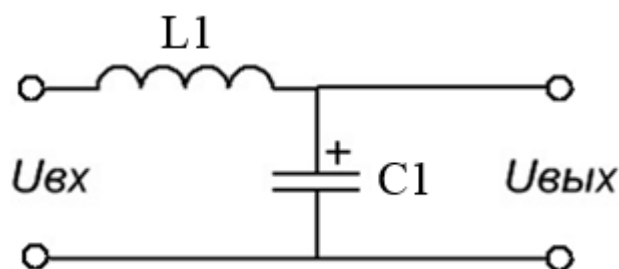


Рисунок 2.12– Фильтр №1 на выходе выпрямителя №1

При реализации Г-образного фильтра необходимо учитывать, что емкостное сопротивление конденсатора, для низшей частоты пульсации, должно быть меньше сопротивления нагрузки, а для первой гармонике, много меньше индуктивного сопротивления дросселя [4к].

Индуктивность фильтра выбирается из заданного числа пульсаций в номинальном режиме. При уменьшении тока нагрузки переходим в режим прерывистых токов, в котором относительный пульсации тока достигают больших значений.

Задавшись коэффициентом пульсации  $k_{\pi} = 0,2$ , найдем пульсацию тока выпрямителя [11]:

$$I_{d(1)} = k_{\pi} \cdot I_{d \max} = 0,2 \cdot 53,28 = 10,66(\text{А}). \quad (2.94)$$

Для нахождения индуктивности найдем:

$$U_{d \ m(1)} = U_{d \ max \ \pi} \cdot \frac{2}{m^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + m^2 \cdot tg^2 \alpha} = 226 \cdot \frac{2}{2^2 - 1} \sqrt{1} = 150,52(\text{В}). \quad (2.95)$$

$$X_{d(1)} = \frac{U_{d \ m(1)}}{I_{d(1)}} = \frac{150,52}{10,66} = 14,12(\text{Ом}). \quad (2.96)$$

Определяем индуктивность дросселя L1:

$$L_{\text{д}} = \frac{X_{d(1)}}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{14,12}{2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 22(\text{мГн}). \quad (2.97)$$

Найдем потери реактора L1:

$$\Delta P_{L_{\text{д}}} = 0,01 \cdot P_{\text{н}} = 0,01 \cdot 8000 = 80(\text{Вт}). \quad (2.98)$$

Сопротивление реактора L1:

$$R_{L_{\text{д}}} = \frac{\Delta P_{L_{\text{д}}}}{I_d^2} = \frac{80}{53,28^2} = 0,028(\text{Ом}). \quad (2.99)$$

Зададим  $k_{\text{пс}} = 0,02$  для напряжения на конденсаторе [4], получаем:

$$U_{c(1)} = k_{\text{пс}} \cdot U_{d \ max} = 0,02 \cdot 226 = 4,52(\text{В}). \quad (2.100)$$

$$X_c = \frac{U_{c(1)}}{I_{d(1)}} = \frac{4.52}{10.66} = 0.42 \text{ (Ом)}. \quad (2.101)$$

Определим емкость конденсатора С1:

$$C = \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} = \frac{1}{4 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 0.42} = 3756 \text{ (мкФ)}. \quad (2.102)$$

По полученным расчетным параметрам выбираем конденсатор ЕСАР (К50-35) В43456А9478М000 выпускаемые фирмой TDK-EPС(EPСOS) [10]. Технические параметры конденсатора приведены в таблице 2.5. Полная информация параметров представлена в приложении П.

Таблица 2.5 – Технические параметры конденсатора В43456А9478М000

$C_{\text{ном}}, \text{ мкФ}$	$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	Допустимый перепад Т, °С
4700	400	-40/+85

### 2.11. Расчет сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя №2

На рисунке 2.13 представлен Г-образный LC-фильтр который установлен на выходе неуправляемого выпрямителя №2, для уменьшения пульсаций напряжения.

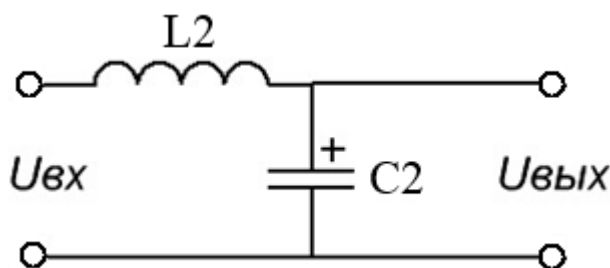


Рисунок 2.13– Фильтр №2 на выходе выпрямителя №2

При реализации Г-образного фильтра необходимо учитывать, что емкостное сопротивление конденсатора, для низшей частоты пульсации, должно быть меньше сопротивления нагрузки, а для первой гармонике, много меньше индуктивного сопротивления дросселя [11].

Индуктивность фильтра выбирается из заданного числа пульсаций в номинальном режиме. При уменьшении тока нагрузки переходим в режим прерывистых токов, в котором относительный пульсации тока достигают больших значений.

Задавшись коэффициентом пульсации  $k_{\pi} = 0,2$ , найдем пульсацию тока выпрямителя [11]:

$$I_{d(1)} = k_{\pi} \cdot I_{d \max} = 0,2 \cdot 5,67 = 1,13(\text{А}). \quad (2.103)$$

Для нахождения индуктивности найдем:

$$U_{d m(1)} = U_{d \max \pi} \cdot \frac{2}{m^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + m^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha} = 226 \cdot \frac{2}{2^2 - 1} \sqrt{1} = 150,52(\text{В}). \quad (2.104)$$

$$X_{d(1)} = \frac{U_{d m(1)}}{I_{d(1)}} = \frac{150,52}{1,13} = 132,75(\text{Ом}). \quad (2.105)$$

Определяем индуктивность дросселя L2:

$$L_d = \frac{X_{d(1)}}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{132,75}{2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 220 \text{ (мГн)}. \quad (2.106)$$

Найдем потери реактора L2:

$$\Delta P_{Ld} = 0,01 \cdot P_{\pi} = 0,01 \cdot 8000 = 80(\text{Вт}). \quad (2.107)$$

Сопротивление реактора L2:

$$R_{Ld} = \frac{\Delta P_{Ld}}{I_d^2} = \frac{80}{1,13^2} = 2,49 \text{ (Ом)}. \quad (2.108)$$

Зададим  $k_{\text{пс}} = 0,02$  для напряжения на конденсаторе [4], получаем:

$$U_{c(1)} = k_{\text{пс}} \cdot U_{d \max} = 0,02 \cdot 226 = 4,52 \text{ (В)}. \quad (2.109)$$

$$X_c = \frac{U_{c(1)}}{I_{d(1)}} = \frac{4,52}{1,13} = 3,98 \text{ (Ом)}. \quad (2.110)$$

Определим емкость конденсатора C2:

$$C = \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 3,98} = 399,6 \text{ (мкФ)}. \quad (2.111)$$

По полученным расчетным параметрам выбираем конденсатор серии ECAP (K50-35) TKR100M2WJ20 выпускаемые фирмой Jamicon [10]. Технические параметры конденсатора приведены в таблице 2.6. Полная информация параметров представлена в приложении Р.

Таблица 2.6 –Технические параметры конденсатора TKR100M2WJ20

$C_{\text{НОМ}}$ , мкФ	$U_{\text{НОМ}}$ , В	Допустимый перепад Т, °С
470	450	-40/+105

### 2.12. Расчет фильтра на входе инвертора

На рисунке 2.14 представлен Г-образный LC-фильтр который установлен на входе инвертора, для уменьшения пульсаций напряжения.

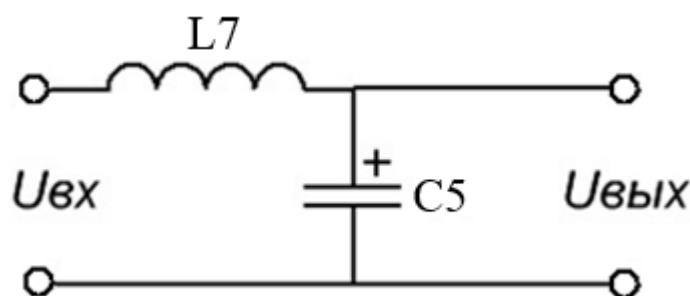


Рисунок 2.14– Фильтр на входе инвертора

Пульсации тока для двухполупериодного выпрямителя:

$$I_{\text{м}(100\text{Гц})} = \frac{2}{3} \cdot I_{\text{бр max}} = \frac{2 \cdot 24.42}{3} = 16.28 \text{ (А)}. \quad (2.112)$$

Зададим пульсации напряжения на входе инвертора = 5% [11].

Определим амплитуду пульсации напряжения для частоты 100 Гц:

$$U_{\text{см}(100\text{Гц})} = 0.05 \cdot U_{\text{вх инв}} = 0.05 \cdot 448 = 22.4 \text{ (В)}. \quad (2.113)$$

Находим емкостное сопротивление фильтра:

$$X_{\text{с}(100\text{Гц})} = \frac{U_{\text{см}(100\text{Гц})}}{I_{\text{м}(100\text{Гц})}} = \frac{22.4}{16.28} = 1.38 \text{ (Ом)}. \quad (2.114)$$

Определим значение емкости конденсатора С3:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f_{\Pi} \cdot X_{c(100\Gamma\Omega)}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 100 \cdot 1.38} = 1154 \text{ (мкФ)}. \quad (2.115)$$

По полученным расчетным параметрам выбираем конденсатор ЕСАР В43458-А9158-М [10]. Технические параметры конденсатора приведены в таблице 2.7. Полная информация параметров представлена в приложении С.

Таблица 2.7 – Технические параметры конденсатора В43458-А9158-М

$C_{\text{ном}}, \text{мкФ}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Допустимый перепад Т, °С
1500	400	-10/+55

Определим переменную составляющую тока через индуктивность:

$$I_{L(100\Gamma\Omega)} = 0.05 \cdot I_{\text{бр max}} = 0.05 \cdot 24.42 = 1.21 \text{ (А)}. \quad (2.116)$$

Реактивное сопротивление индуктивности L4:

$$X_{L(100\Gamma\Omega)} = \frac{U_{Lm(100\Gamma\Omega)}}{I_{Lm(100\Gamma\Omega)}} = \frac{22.4}{1.21} = 18.35 \text{ (Ом)}. \quad (2.117)$$

Найдем значение индуктивности L4:

$$L_L = \frac{X_{L(100\Gamma\Omega)}}{2\pi \cdot f_{\Pi}} = \frac{18.35}{2 \cdot 3.14 \cdot 100} = 29 \text{ (мГн)}. \quad (2.118)$$

Активное сопротивление индуктивности L4:

$$R_L = \frac{\Delta P}{I_{\text{бр max}}^2} = \frac{0.01 \cdot P_{\text{браз}}}{I_{\text{бр max}}^2} = \frac{0.01 \cdot 8864}{24.42^2} = 0.15 \text{ (Ом)}. \quad (2.119)$$

В данном источнике бесперебойного питания для формирования выходного напряжения используется трехуровневый инвертор, имеющий 3 уровня напряжения. Для реализации данного инвертора, необходима средняя точка, поэтому при построении входного фильтра для инвертора, необходимо учесть эту особенность. Входной фильтр состоит из двух Г-образных LC фильтров, входящих в каждое плечо инвертора. Расчет первого плеча представлен выше, второе плечо фильтра (рисунок 2.15) является

аналогичным первому, параметры элементов которого представлены в таблице 2.7.

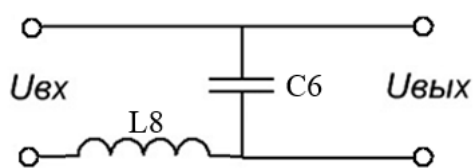


Рисунок 2.15– второе плечо фильтра на входе инвертора

### 2.13.Электрическая принципиальная схема ИБП с описанием работы ее элементов

Согласно структурной схеме представленной на рисунке 2.1, составляем электрическую принципиальную схему ИБП (рисунок 2.16), расчет элементов которой представлен выше.

Диоды VD1-4 формируют схему выпрямительного моста и служат для выпрямления переменного напряжения U1 сети в постоянное напряжение.

Г-образный фильтр, построенный на элементах L1 и C1, сглаживает выходное напряжение и ток выпрямителя.

Управляя работой транзистора VT1, получаем на выходе повышающего преобразователя стабильный уровень постоянного напряжения. Схема ППН №1 задана элементами: VT1, L3, C3, L4 и VD9. Подавая различный уровень относительной длительности импульсов со схемы управления на базу IGBT транзистора, можно получать различный уровень выходного напряжения преобразователя. В том случае, если накопительный конденсатор C3 заряжается не до уровня напряжения питающей сети, разницу напряжений компенсирует заряд энергии, накопленный индуктивностью L3. При перезарядке конденсатора C3, происходит накопление энергии катушкой L4, что и обуславливает свойство ППН выдавать повышенный уровень напряжения. Этот уровень зависит от сопротивления нагрузки и от относительной длительности импульсов на базе транзистора. Диод VD9 выполняет защитную функцию, предотвращая приложение высокого уровня напряжения выхода ППН №1 к транзистору

VT1. Использование ППН в данной цепи питания нагрузки обусловлено тем, что при изменении уровня входного напряжения и выходного тока уровень выходного напряжения преобразователя остается стабильным. Здесь ППН №1 выполняет функцию питания инвертора постоянного напряжения.

Г-образный фильтр, состоящий из двух плеч и построенный на элементах L7, C5 и L8, C6 сглаживает выходное напряжение и ток преобразователя.

Для преобразования постоянного напряжения в однофазное переменное напряжение используется трехуровневый инвертор, построенный с использованием IGBT VT3-VT10 и обратных диодов VD13-VD22. Управляя контроллером частотой переключений транзисторов, происходит периодическое изменение полярности напряжения питания нагрузки и уровня выходного напряжения. На выходе имеем стабильный уровень переменного напряжения.

Г-образный фильтр, построенный на элементах L9 и C9, сглаживает выходное напряжение и ток инвертора постоянного напряжения.

Работа мостового выпрямителя переменного напряжения, построенного на диодах VD5-8, Г-образного фильтра на элементах L2 и C2, ППН №2 на элементах VT2, L5, C4, L6 и VD10, аналогична приведенной выше работе соответствующих им элементов. С тем отличием, что ППН №2 здесь выполняет функцию заряда аккумуляторной батареи. В аварийном режиме, например при потере сетевого напряжения, АБ разряжается на инвертор постоянного напряжения через фильтр, состоящий из двух плеч L7, C5 и L8, C6 описываемый ранее.



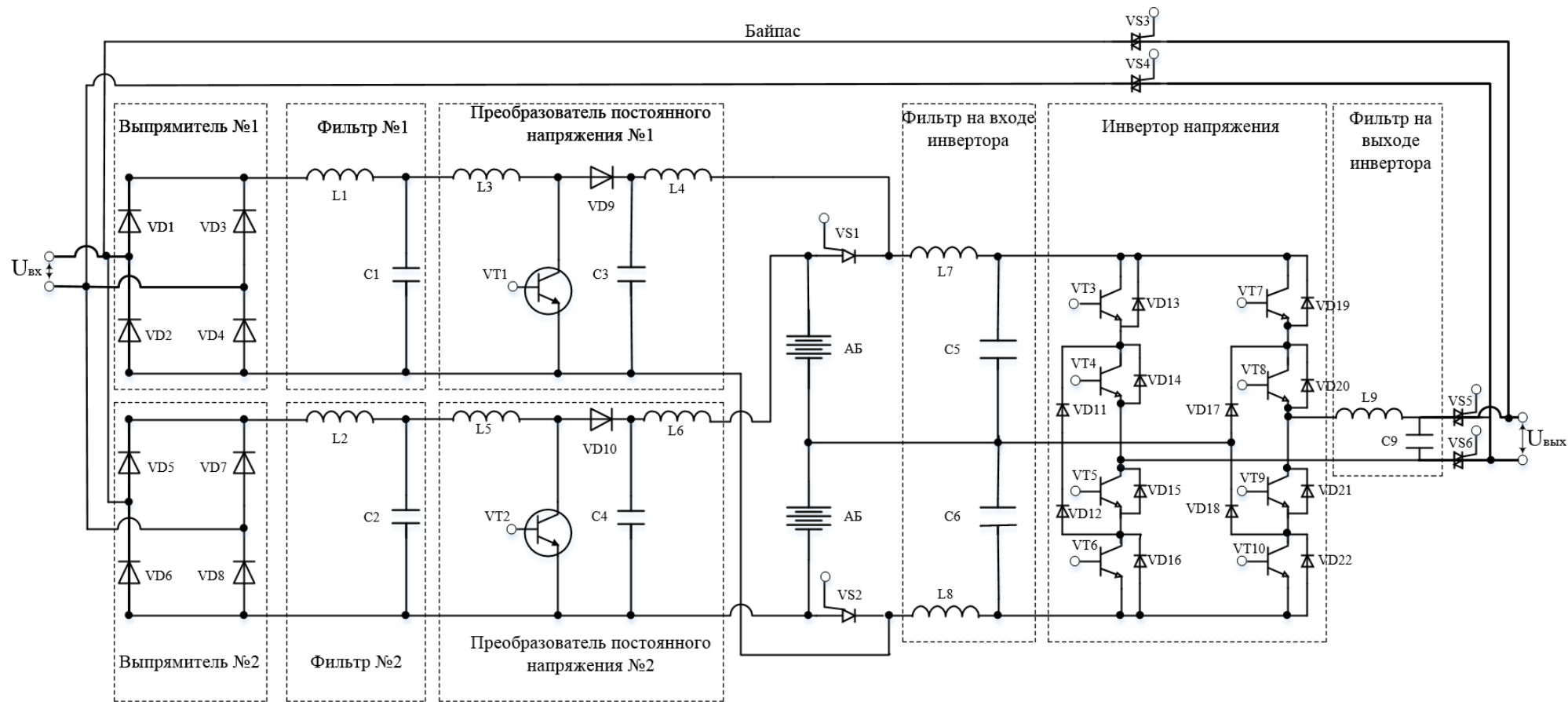


Рисунок 2.16 – Электрическая принципиальная схема источника бесперебойного питания

Быстродействующие тиристоры VS1-VS2 разграничивают работу ИБП для двух режимов, работы от сети и аварийный режим. При работе ИБП от сети, тиристоры находятся в закрытом состоянии, и зарядное устройство, описанное выше, постоянно поддерживает заряд аккумуляторных батарей на номинальном уровне. При потере сетевого напряжения, тиристоры VS1-VS2 мгновенно открываются и питание инвертора напряжения осуществляется от АБ, без разрыва синусоиды выходного напряжения.

Симисторы VS3-VS4 и VS5-VS6 выполняют роль силовых ключей, обеспечивающих переключение питания нагрузки непосредственно от сети (байпас), стоит отметить, что в данном случае, питание нагрузки не гарантируется качественным напряжением, а используется при аварийных ситуациях и выходе каких-либо блоков ИБП, в качестве резервирования.

### **3. Исследование имитационной модели ИБП**

Согласно электрической принципиальной схемы источника бесперебойного питания (рисунок 2.16), была разработана имитационная модель в моделирующей среде Matlab (рисунок 3.1), для рассмотрения двух режимов работы: сетевой и аварийный.

#### **3.1. Описание имитационной модели**

В качестве источника сетевого переменного напряжения применяется блок AC Voltage Source. Для построения двух неуправляемых выпрямителей – выпрямитель №1 и выпрямитель №2, используем 2 блока Universal bridge соответственно. В параметрах блока выбираем однофазную мостовую схему выпрямления.

С помощью элемента Load следующим элементом по схеме устанавливаем Г-образные LC фильтры, для сетевого режима, и для зарядного устройства. В элементе Load указывается емкость или индуктивность и рассчитанные ранее параметры (2.94-2.102 и 2.103-2.111).

Импульсные преобразователи постоянного напряжения реализованы с помощью блоков Subsystem IPPT1 и Subsystem IPPT2, содержимое которых представлено на рисунке 3.2. Каждый элемент схемы настраиваем согласно рассчитанным ранее параметрам (2.34-2.59 и 2.60-2.85).

Управления импульсными преобразователями постоянного напряжения осуществляется блоками Control IPPT1 и Control IPPT2, представленные на рисунке 3.3. Работа блока управления основана на статической ошибке, которая определяется сравнением заданного напряжения и напряжением на выходе ППН№1 и ППН№2. PID Controller1 применяется для формирования сигнала, пропорциональному задаваемому сигналу  $i_{sin}$ . PID Controller2 формирует сигналы, приходящие на базу транзистора, входящего в состав импульсного преобразователя постоянного напряжения.

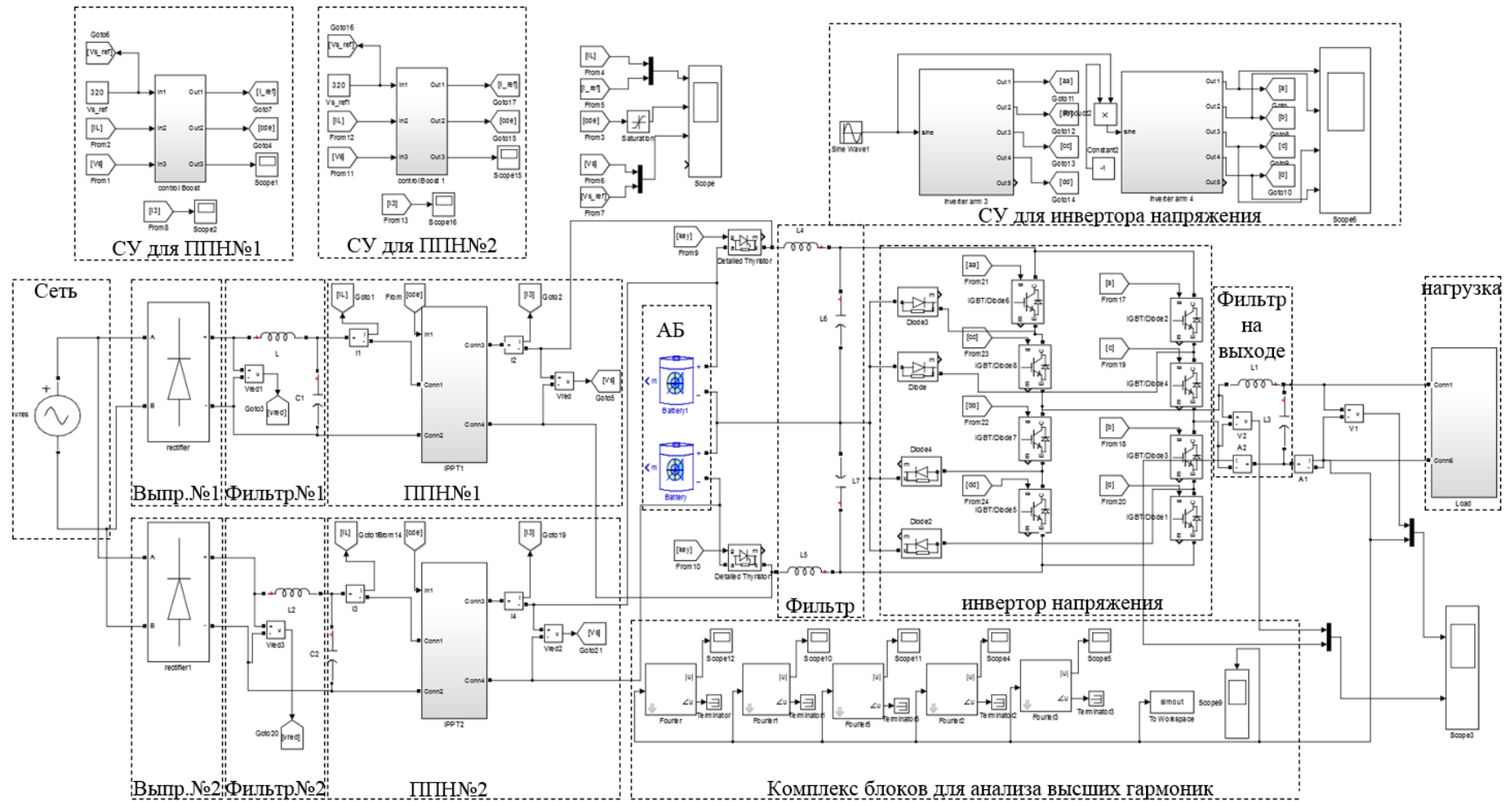


Рисунок 3.1 – Имитационная модель ИБП в моделирующей среде Matlab

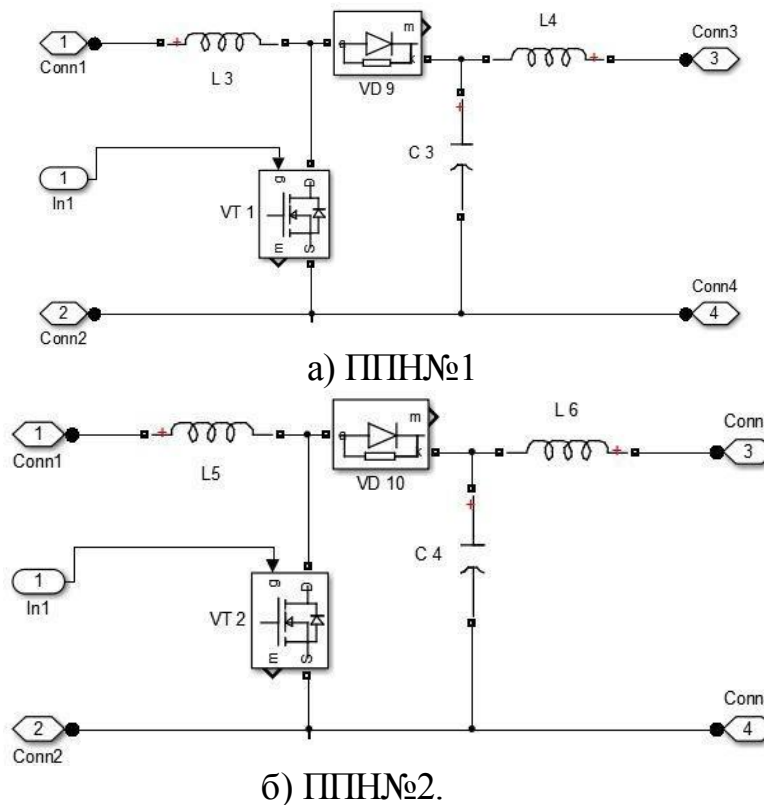


Рисунок 3.2 – Блок Subsystem IPPT:

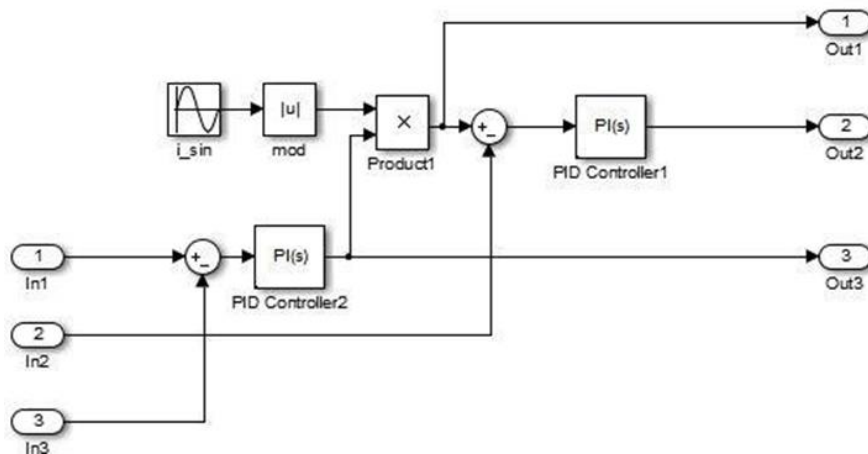


Рисунок 3.3 – Блок Subsystem control IPPT1(IPPT2)

Аккумуляторные батареи реализованы с помощью двух блоков battery.

На входе инвертора установлен входной Г-образный фильтр, реализованный с помощью элементов Load, состоящий из двух плечей, для обеспечения средней точки для инвертора. Настраиваем элементы по параметрам рассчитанным в предыдущей главе (2.112-2.119).

После входного фильтра, размещаем трехуровневый инвертор напряжения (рисунок 3.4), реализованный с помощью 4 диодов и 8 транзисторов со встроенными обратными диодами. Параметры, полупроводниковых приборов, настраиваем согласно рассчитанных значений (2.17-2.18)

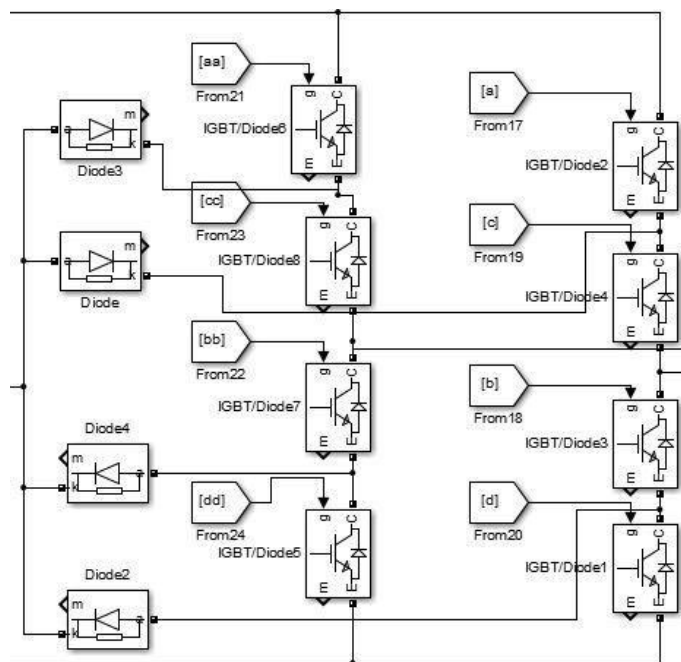


Рисунок 3.4 – модель трёхуровневого инвертора со средней точкой

Преобразование постоянного напряжения в переменное на инверторе осуществляется с помощью системы управления, реализованной двумя блоками: subsystem inverter arm 1 и subsystem inverter arm 2 (рисунок 3.5). Стоит отметить, что второй блок выполнен аналогично первому. Данные блоки осуществляют имитацию широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для каждого плеча инвертора напряжения.

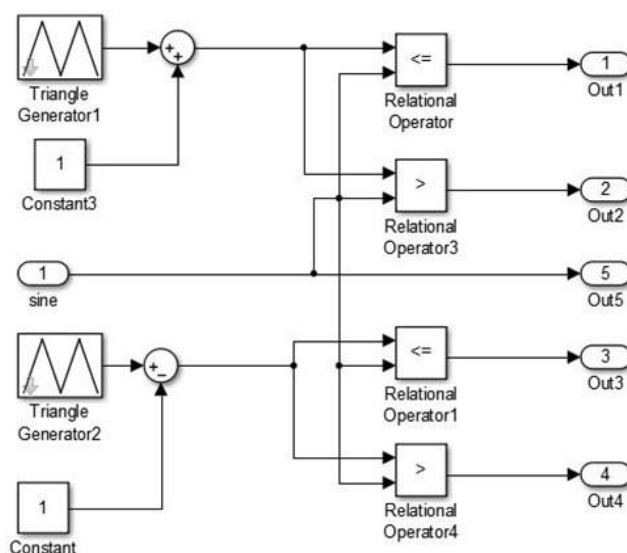


Рисунок 3.5 – Блок subsystem inverter arm 1, имитирующий ШИМ для одного плеча инвертора

Для формирования управляющих сигналов, для каждого плеча инвертора напряжения, используется следующие блоки: синусоида и

треугольный сигнал. Для формирования каждой полуволны синусоиды применяется пилообразный сигнал с определенной полярностью. После использования блоков, обеспечивающих сравнение, создается 4 выходных сигнала, обеспечивающих работу одного плеча инвертора. Работа второго плеча, основано на том же принципе, с той лишь разницей, что используемая синусоида сдвинута по фазе на  $180^\circ$ .

После инвертора установлен выходной Г-образный фильтр, реализованный с помощью элементов Load. Настраиваем элементы по параметрам рассчитанным в предыдущей главе (2.19-2.33).

Для моделирования изменяющейся нагрузки применяется блок subsystem Load, представленный на рисунке 3.6.

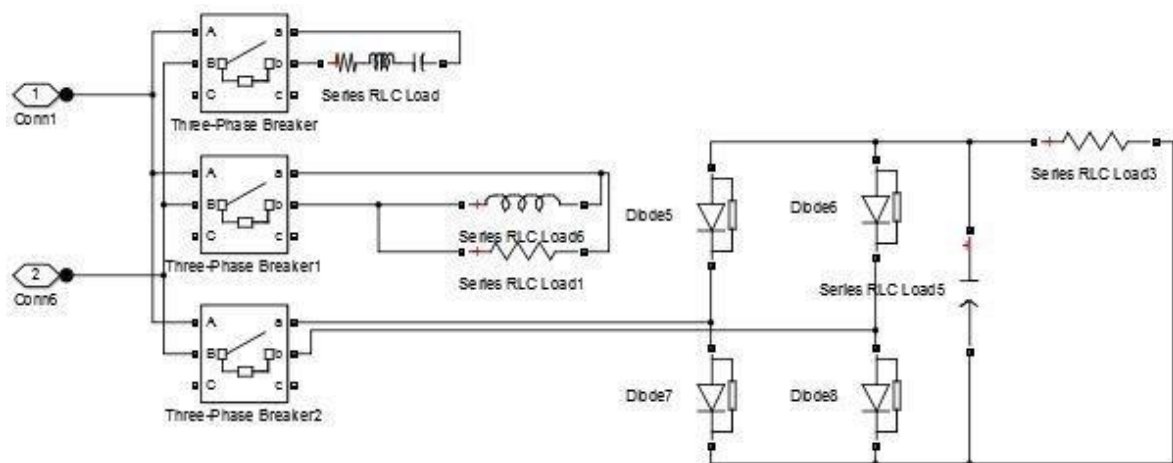


Рисунок 3.6 - Блок Subsystem load

Для моделирования работы источника бесперебойного питания, в двух режимах: сетевом и аварийном, применяем, согласно техническому заданию, следующую нагрузку:

- 1) Неизменная активно-индуктивная нагрузка 12кВА,  $\cos\phi=0.95$ ;
- 2) Подключаемая активно-индуктивная нагрузка, 3кВА,  $\cos\phi=0.95$ ;
- 3) Подключаемая выпрямительная нагрузка, 3кВА.  $\cos\phi=0.95$ .

Для обеспечения включения и отключения нагрузки необходимы коммутационные устройства, реализованные с помощью блоков Breaker, которые обеспечивают коммутацию в заданное время, при моделировании работы ИБП, тем самым обеспечивается наброс нагрузки.

### **Описание модели ИБП при работе в сетевом режиме:**

При работе ИБП в сетевом режиме, питание поступает от источника переменного напряжения с амплитудным значением в 310 В. Зарядное устройство, в состав которого входит выпрямитель №2, фильтр №2, преобразователь постоянного напряжения №2, работает на заряд аккумуляторных батарей, которые отключены, с помощью тиристоров, от цепи питания нагрузки.

Питание нагрузки осуществляется через неуправляемый выпрямитель №1, фильтр №1 и преобразователь постоянного напряжения №1, который обеспечивает регулирование напряжения на участке постоянного тока. Затем выпрямленное напряжение поступает, на входной фильтр инвертора, сглаживается, и поступает на трехуровневый инвертор, после формируется переменное напряжение и через выходной фильтр поступает непосредственно на нагрузку.

### **Описание модели ИБП при работе в аварийном режиме:**

Для имитации аварийного режима, обеспечивается отключение питающего напряжения, принимая напряжения источника питания равное 0 В. Зарядное устройство обесточивается, и питание нагрузки осуществляется от аккумуляторных батарей, которые включаются в цепь питания нагрузки при мгновенном открытии тиристоров, используемых ранее для работы в сетевом режиме. Стоит отметить, что диод VD10, входящий в состав импульсного преобразователя постоянного напряжения №2, разрывает контур, тем самым обеспечивает предотвращение утечки тока в сеть и разряд батареи.

### **3.2. Исследование высших гармоник тока на выходе ИБП**

При подключении электроустановок из категории ответственных потребителей к электрической сети, которая обеспечивает питание от двадцати и более персональных компьютеров, то данные электроустановки питаются токами, которые содержат значительное количество высших гармоник в сравнении с промышленной сетью с частотой 50 Гц.



В современной промышленности можно выделить следующее оборудование, генерирующее высшие гармоники в электрическую сеть:

- Электросварочные комплексы;
- Персональные компьютеры и компьютерные сети;
- Статически преобразователи энергии (тиристорные регуляторы напряжения, выпрямители, импульсные источники питания и т.п.)
- Индукционные и электродуговые печи;
- Электродвигатели переменного тока, с осуществлением регулирования напряжения;
- Электроосветительные приборы построенные на газоразрядных лампах и электронных балластах;
- Устройства для плавного пуска двигателя и т.п.

При включении в сеть персональных компьютеров такого количества, что их суммарная мощность окажется сопоставима с характерной мощностью эклектической сети, то может произойти искажение синусоиды электрической сети. Это объясняется перегрузкой питающей сети нелинейными нагрузками, что может привести к сбоям и отклонениям от номинальной работы чувствительного оборудования, к которым относятся ответственные серверы.

Характерным признаком того, что сеть перегружена большим количеством персональных компьютеров, является наличие в сети третьей гармоники, которая оказывает самые интенсивные влияния на нагрузку [11].

Нелинейные потребители способствуют к генерации высших гармонических составляющих в сети, что приводит к негативным последствиям для нагрузки:

- Возникновение помех в линиях связи;
- На частотах высших гармоник есть вероятность возникновения резонансных явлений, что может привести к выходу из строя как отдельных элементов, так и комплексных сборок системы;

- В системах электропитания с заземленной нейтралью, третья гармоника и гармоники кратные 3, могут потребовать увеличения сечения нулевых проводников. Это объясняется превосходством токов в нулевом проводнике, в отличие от фазных, что приводит к перегреву и разрушению изоляции.
- Наличие гармоник приводит к перегреву и выходу из строя конденсаторов, электродвигателей, балластных люминесцентных светильников;
- Высшие гармоники приводят дополнительные потери в трансформаторах, которые влекут за собой его перегрев, и как следствие приводят к выходу из строя;
- Происходит значительное старение изоляции, что существенно сокращает срок эксплуатации кабельных линий;
- Гармоники приводят к вибрации в электромагнитных системах, например, электромагнитный пускатель, вибрации токоведущий ножей приводит к искрению и плохому контакту, что может привести к возникновению пожара;
- Высокочастотные помехи способствуют к сбоям в работе систем управления и нестабильной работе чувствительного электронного оборудования.

В разработанной имитационной модели источника бесперебойного питания (рисунок 3.1), для исследования выходного тока на гармонический состав, в моделирующей среде Matlab используем блок Powergui.

Моделирования нагрузки используем блок Load, представленный на рисунке 3.6. Нагрузка применяется активно-индуктивная и выпрямительная, построенная с помощью однофазного выпрямителя. Источник бесперебойного питания постоянно нагружен 80% нагрузкой, согласно технического задания  $S=10$  кВА, через 0.2 секунды набрасываются остальные 20% нагрузки  $S=2$  кВА.

После моделирования процесса работы ИБП, с заданным промежутком времени, для гармонического анализа, используем модуль FFT Anflysis, входящий в состав блока Powergui. Для анализа гармонического состава, необходимо осуществить настройку в окне Powergui FFT Tools (быстрое преобразование фурье). Задаем частоту основной гармоники 50 Гц, количество периодов и вид сигнала. Сверху, в окне Signal to analuze, отображается входной сигнал с заданным промежутком времени, начиная с 0.2 секунд, продолжительностью в один период колебания, снизу отображается гармонический состав.

### **3.2.1. Работа ИБП в режиме питания от сети**

Необходимо отметить, что при моделировании работы источника бесперебойного питания от сети, используется блок AC source, внутреннее сопротивление которого стремится к бесконечности, поэтому при увеличении нагрузки обеспечивается стабильное напряжение сети.

В реальной же сети будет наблюдаться просадка напряжения, которая обусловлена внутренним сопротивлением источника. Вследствие этого результаты моделирования и реальной работы ИБП могут значительно отличаться.

#### **Наброс активно-индуктивной нагрузки**

При моделировании работы источника бесперебойного питания, в момент времени 0.2 с., происходит коммутация ключей, и подключается активно индуктивная нагрузка, составляющая 20% от заданного значения 10 кВА. На рисунках 3.7 и 3.8 представлены осциллограммы напряжения и тока соответственно.

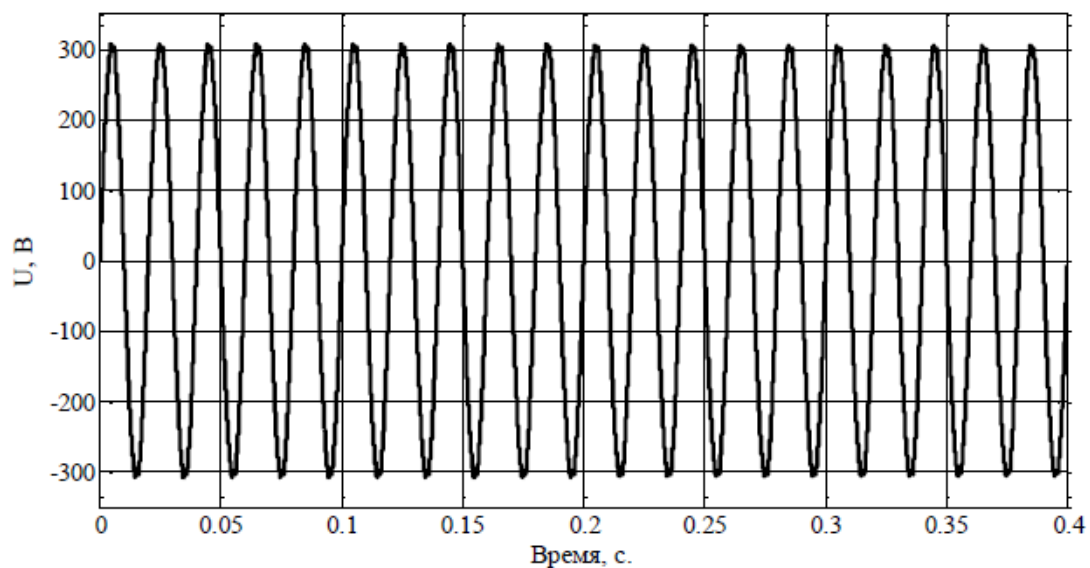


Рисунок 3.7 – Осциллограмма напряжения при набросе активно-индуктивной нагрузки

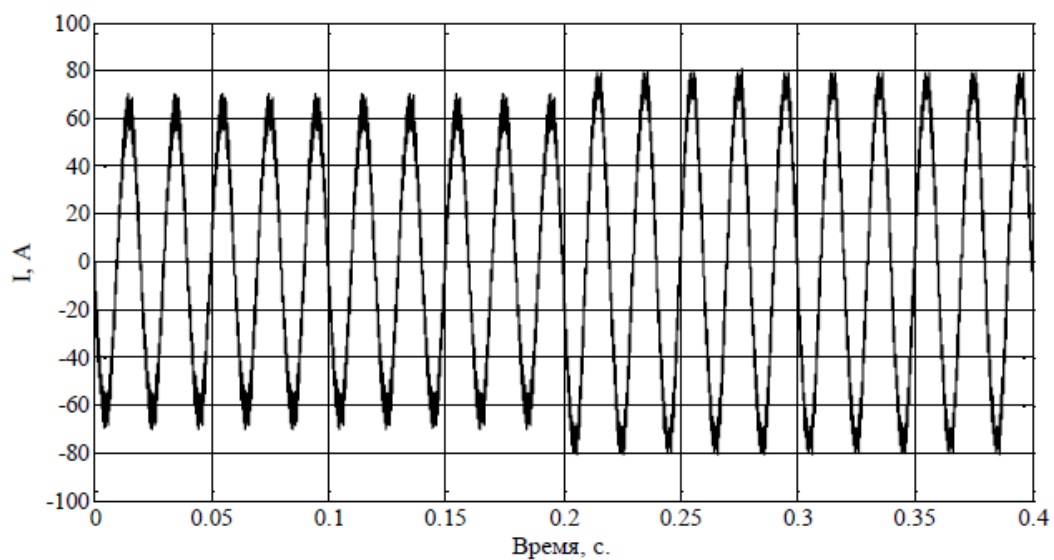


Рисунок 3.8 – Осциллограмма тока при набросе активно-индуктивной нагрузки

## Анализ высших гармоник

На рисунке 3.9 представлена осциллограмма тока, полученная с помощью функции FFT Analysis.

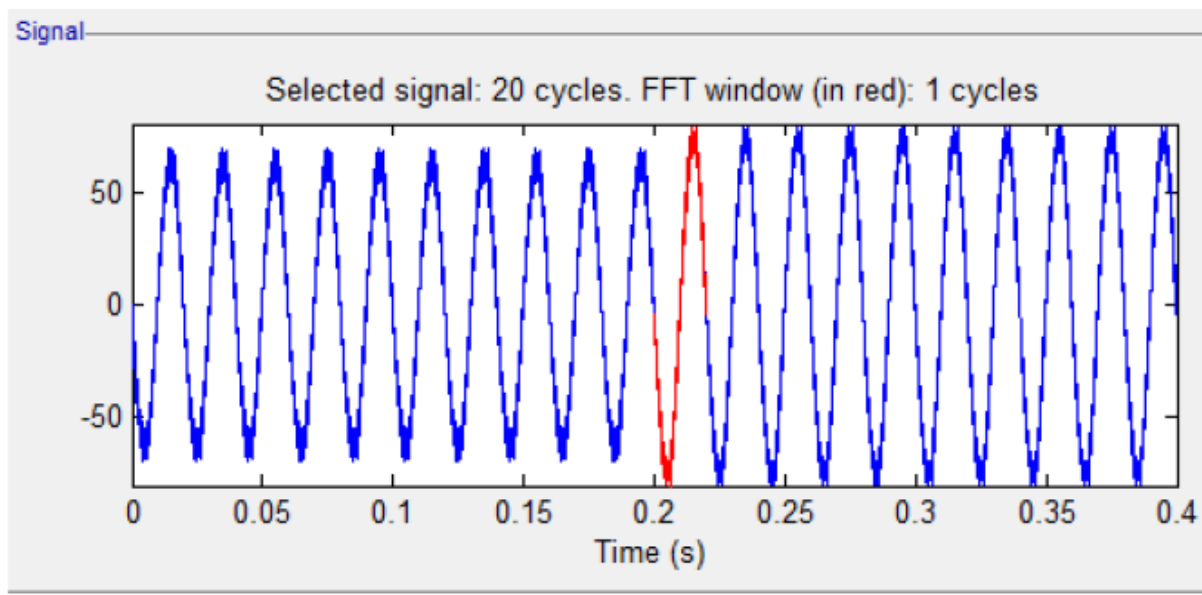


Рисунок 3.9 – Осциллограмма тока на нагрузке

Синусоида тока исследовалась для одного периода колебания - после наброса нагрузки в момент времени 0.2 секунды.

Проанализировав результат разложения тока в ряд Фурье, представленный на рисунке 3.10, делаем вывод, что параметры входных и выходных фильтров подобраны верно, а значения высших гармоник не превышают допустимых значений.

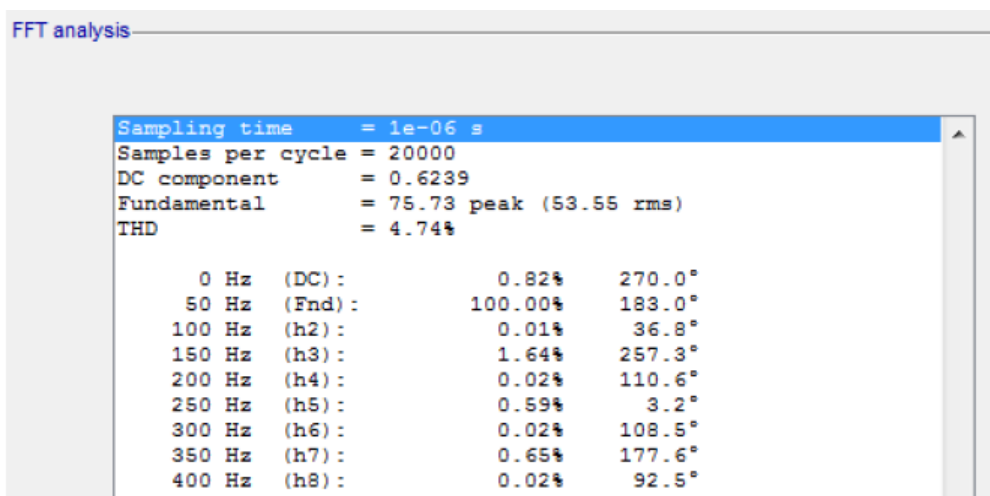


Рисунок 3.10 – Ряд Фурье

## Наброс выпрямительной нагрузки

На рисунках 3.11 и 3.12 представлены осциллограммы напряжения и тока, при набросе выпрямительной нагрузки, соответственно. При коммутации дополнительной нагрузки напряжение остается практически неизменным, а ток возрастает. При работе на данный вид нагрузки, искажении синусоиды тока принимают большие значения, в сравнении с предыдущей нагрузкой.

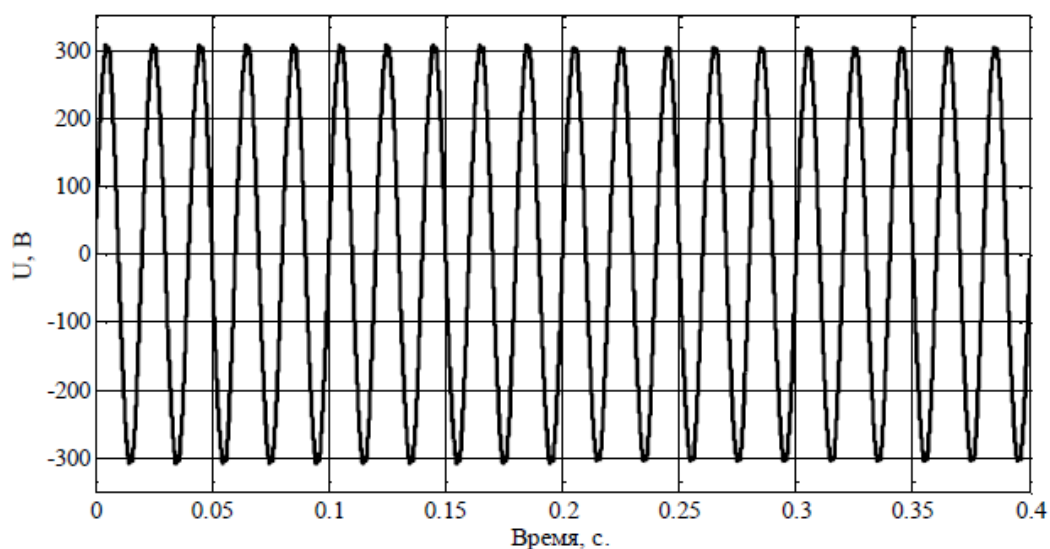


Рисунок 3.11 – Осциллограмма напряжения при набросе выпрямительной нагрузки

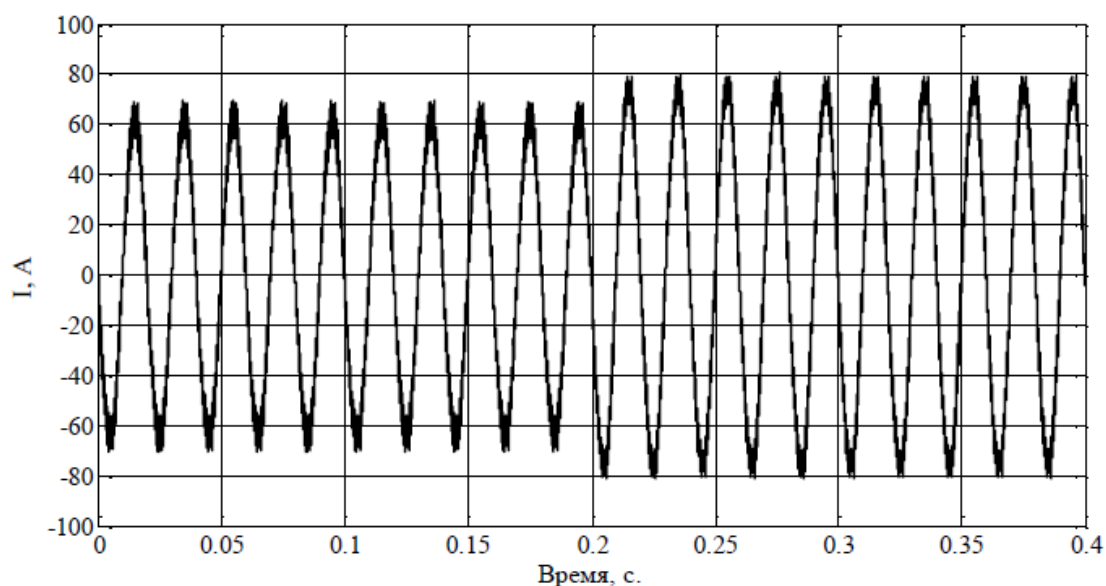


Рисунок 3.12 – Осциллограмма тока при набросе выпрямительной нагрузки

### Анализ высших гармоник

Анализ высших гармоник: на рисунке 3.13, полученном при помощи функции FFT Analysis, представлен гармонический состав выходного тока при выпрямительной нагрузке.

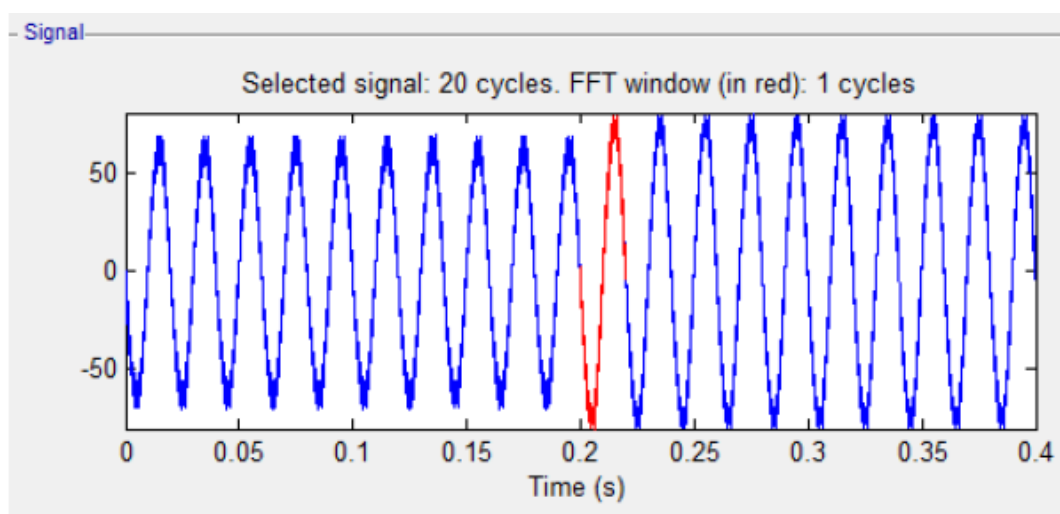


Рисунок 3.13 – Осциллограмма тока на нагрузке.

Исследование синусоиды тока проводилась для одного периода колебания, после наброса нагрузки, в момент времени 0.2 с.

Анализируя результат разложения тока в ряд Фурье, представленный на рисунке 3.14, можно сделать вывод, что параметры входных и выходных фильтров подобраны верно и значения высших гармоник не превышают установленных значений. Значения искажения тока при выпрямительной нагрузке выше, чем при активно-индуктивной.

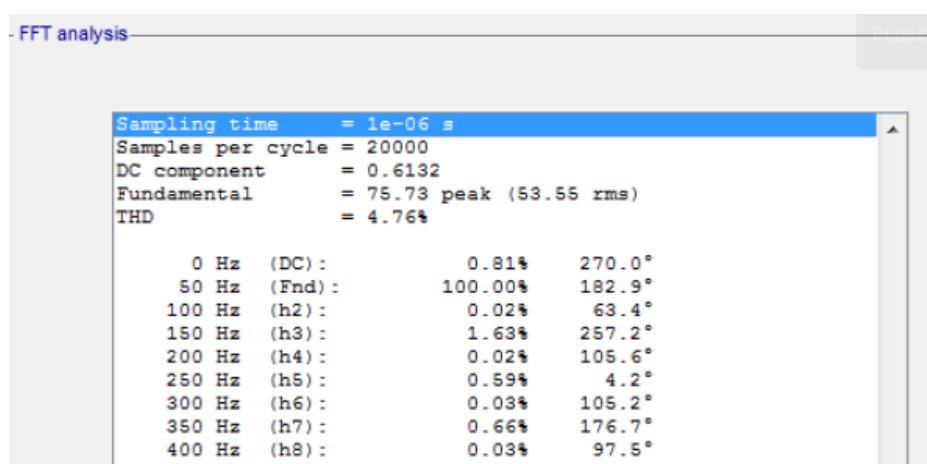


Рисунок 3.14 – Результат анализа Фурье.

### 3.2.2. Работа ИБП в аварийном режиме

Аварийный режим работы ИБП, при моделировании, обеспечивается выставлением значения 0 В, в блоке AC source. Также для обеспечения работы ИБП от батарей, и для ускорения процесса моделирования, можно оборвать цепь от выходного фильтра №2.

Также как и в предыдущем случае нагрузка применяется активно-индуктивная и выпрямительная, построенная с помощью однофазного выпрямителя. Источник бесперебойного питания постоянно нагружен 80% нагрузкой, согласно технического задания  $S = 10 \text{ кВА}$ , через 0.2 секунды набрасываются остальные 20% нагрузки  $S = 2 \text{ кВА}$ .

#### Наброс активно-индуктивной нагрузки

На рисунках 3.15 и 3.16 представлены осциллограммы напряжения и тока соответственно.

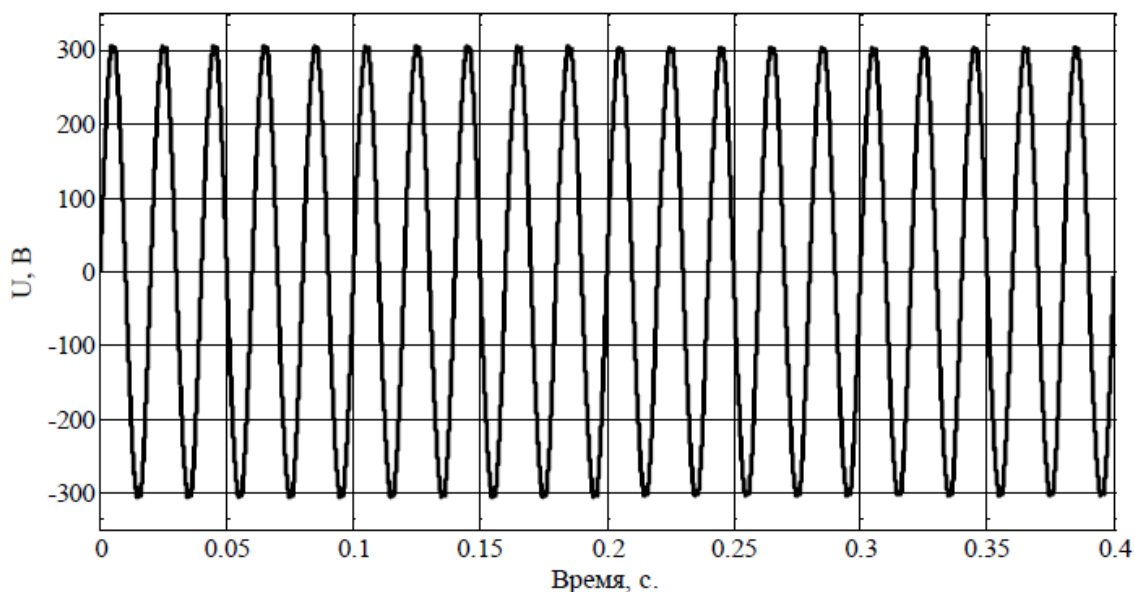


Рисунок 3.15 – Осциллограмма напряжения при набросе активно-индуктивной нагрузки



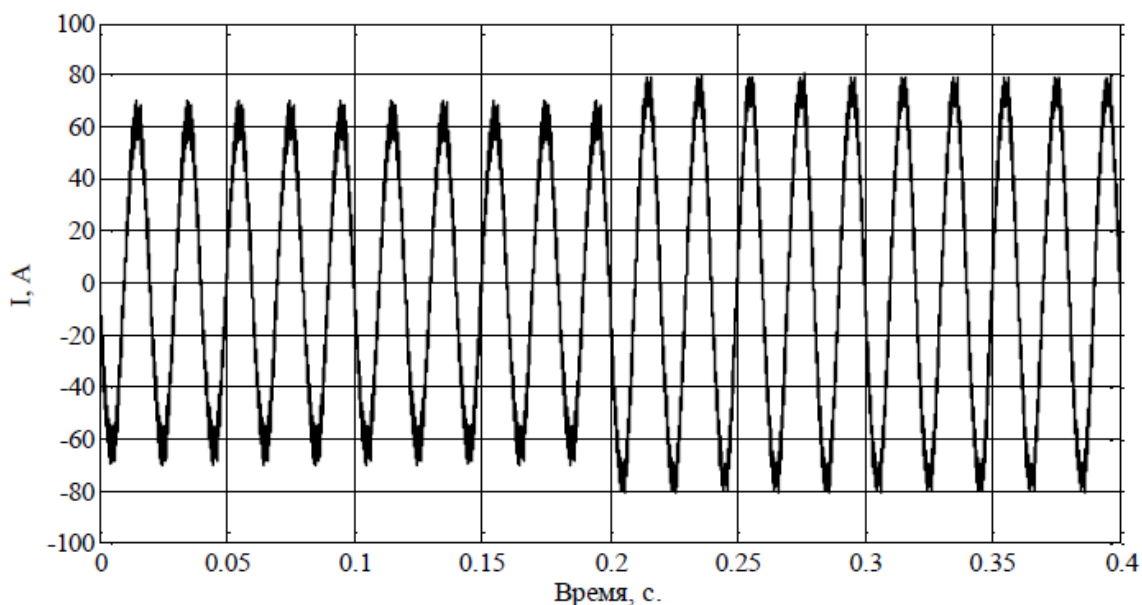


Рисунок 3.16 – Осциллограмма тока при набросе активно-индуктивной нагрузки

Как видно из представленных осциллограмм: напряжения, при коммутации дополнительной нагрузке, остается неизменным, а ток возрастает. Результаты моделирования работы источника бесперебойного питания при аварийном режиме, полностью совпадают с режимом работы от сети.

### Анализ высших гармоник

С помощью функции FFT Analysis получаем осциллограмму тока, представленную на рисунке 3.17

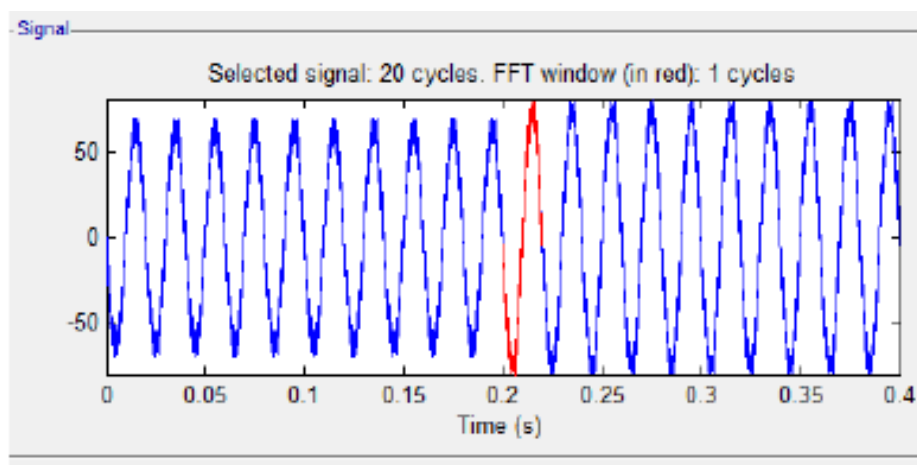


Рисунок 3.17 – Осциллограмма тока на нагрузке

Исследование синусоиды тока проводилась для одного периода колебания, после наброса нагрузки, в момент времени 0.2 с.

Анализируя результат разложения тока в ряд Фурье, представленный на рисунке 3.18, можно сделать вывод, что параметры входных и выходных фильтров подобраны верно и значения высших гармоник не превышают установленных значений.

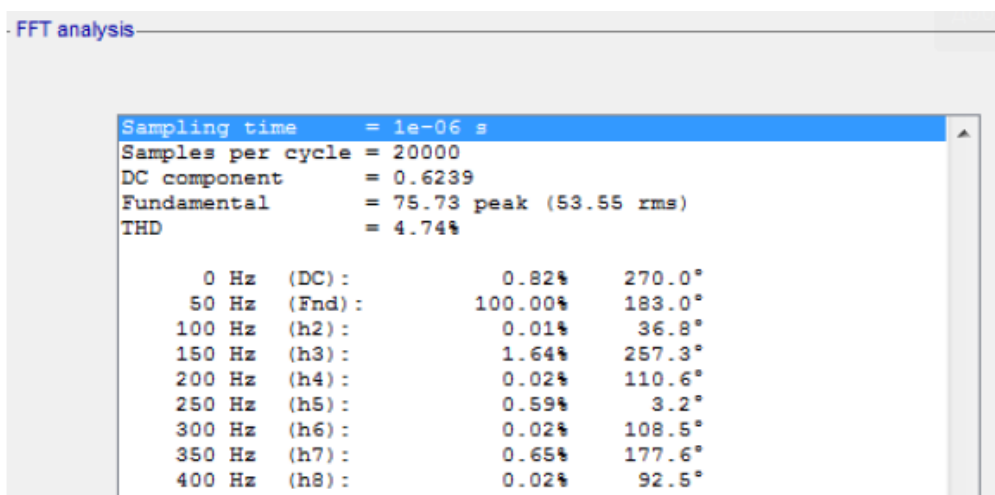


Рисунок 3.18 – Результат анализа Фурье

Значения 3, 5 и 7 гармоник практически не отличаются значений, полученных при сетевом режиме.

### **Наброс выпрямительной нагрузки**

На рисунках 3.19 и 3.20 представлены осциллограммы напряжения и тока, при набросе выпрямительной нагрузки, соответственно. При коммутации дополнительной нагрузки напряжение остается практически неизменным, а ток возрастает. При работе на данный вид нагрузки, искажении синусоиды тока принимают большие значения, в сравнении с предыдущей нагрузкой.

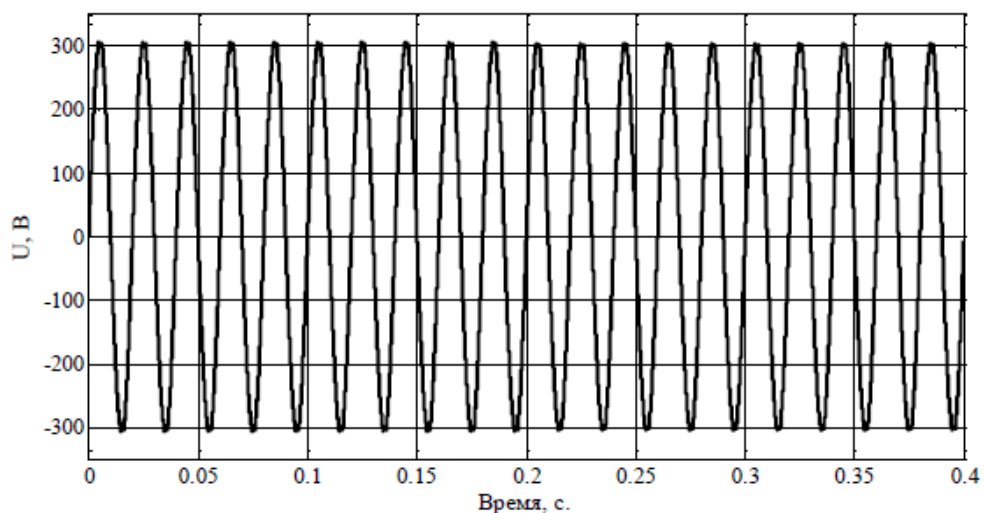


Рисунок 3.19 – Осциллограмма напряжения при набросе выпрямительной нагрузки

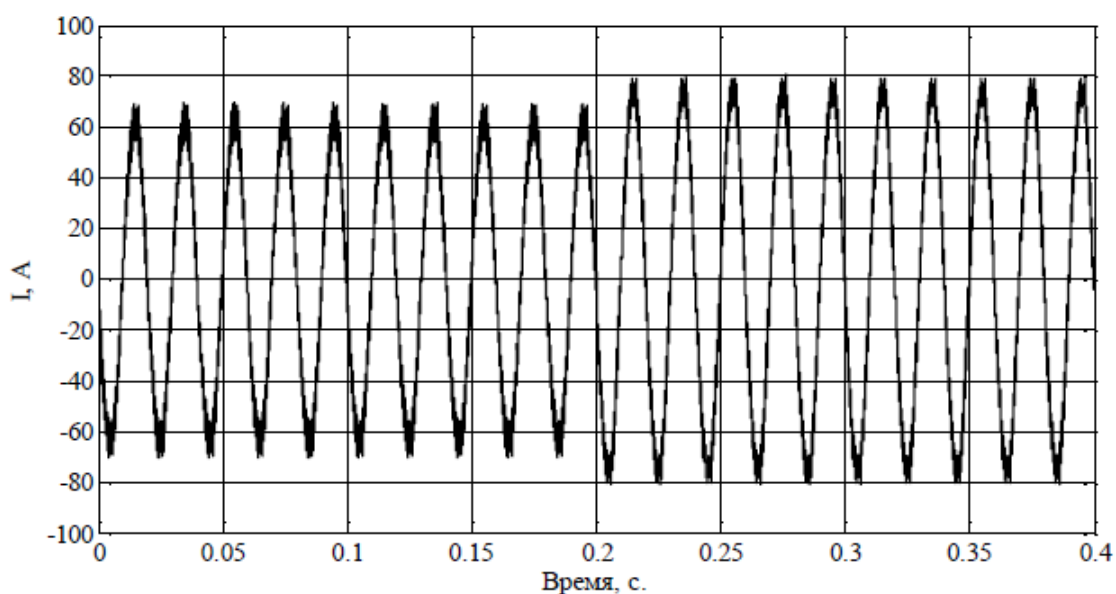


Рисунок 3.20 – Осциллограмма тока при набросе выпрямительной нагрузки.

Результаты моделирования в аварийном режиме полностью совпадают с результатами, полученными при моделировании в режиме питания от сети.

#### **Анализ высших гармоник**

На рисунке 3.21 представлена осциллограмма тока, полученная с помощью функции FFT Analysis.

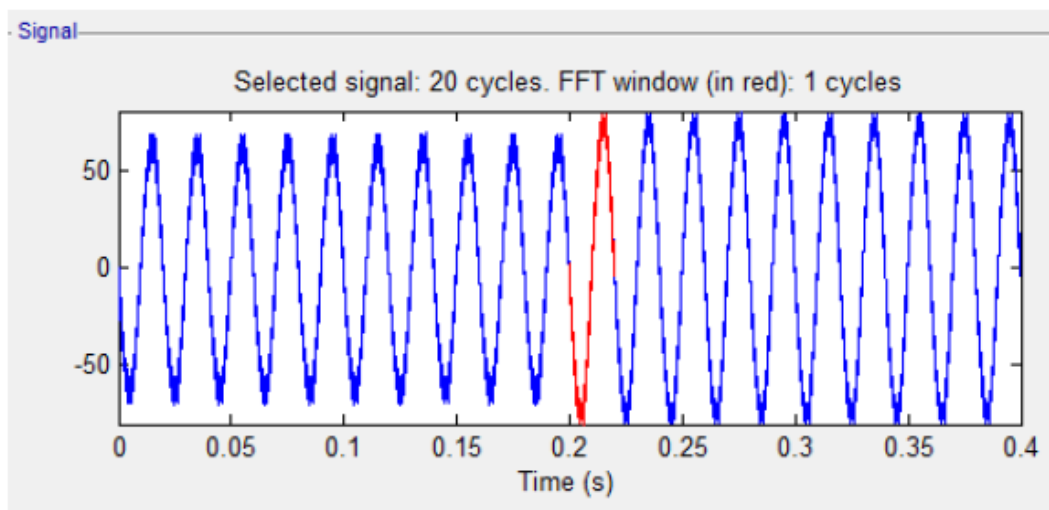


Рисунок 3.21 – Результат анализа Фурье.

Исследование синусоиды тока проводилась для одного периода колебания, после наброса нагрузки, в момент времени 0.2 с.

Анализируя результат разложения тока в ряд Фурье, представленный на рисунке 3.22, можно сделать вывод, что параметры входных и выходных фильтров подобраны верно и значения высших гармоник не превышают установленных значений. Значения искажения тока при выпрямительной нагрузке выше, чем при активно-индуктивной.

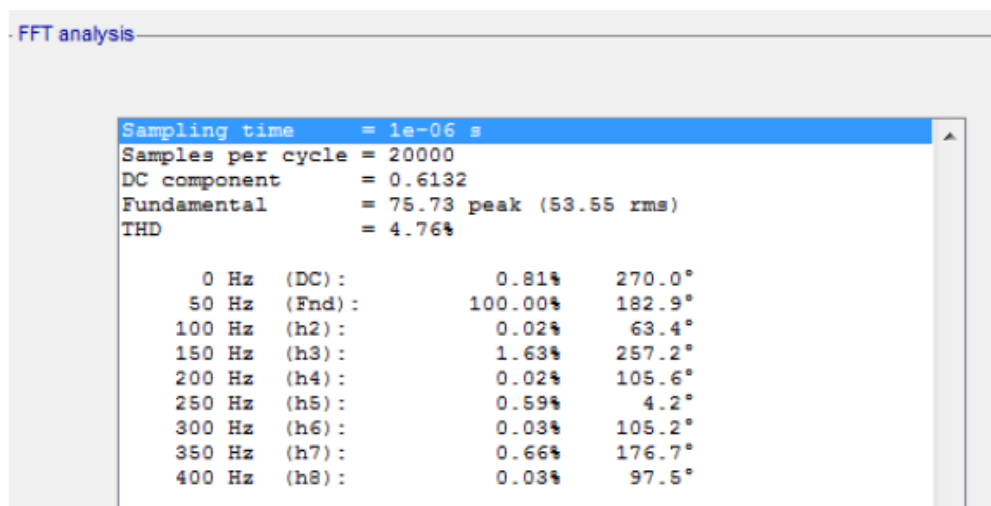


Рисунок 3.22 – Результат анализа Фурье.

Сравнив результаты, которые получены разложением выходного тока в ряд Фурье, при помощи блока FFT Analysis, видно следующее: что как в сетевом, так и в аварийном режиме, высшие гармоники распределяются

практически идентично. Значения 3, 5 и 7 гармоник практически не отличаются в обоих экспериментах. Уровень каждой из 3, 5, 7 гармоники составляет менее 3 %. Такое уменьшение величин высших гармоник стало возможным благодаря использованию трехуровневого инвертора. Чтобы более качественно оценить работу трехуровневого инвертора данного типа, нужен сравнительный анализ с однофазным мостовым инвертором

### 3.2.3. Исследование работы однофазного 3-уровневого инвертора

Для формирования выходного напряжения на 3-уровневом инверторе (рисунок 3.4) используется система управления описанная ранее (рисунок 3.5). Данная система формирует управляющие сигналы, которые поступают на базу транзистора, и происходит поочередное открытие и закрытие транзисторов, тем самым осуществляется формирование синусоиды напряжение. Для широтно-импульсной модуляции, частота коммутации силовых ключей была принята  $f_k = 25000$  (Гц). Осциллограммы управляющих сигналов, которые поступают на базу транзисторов, согласно схеме инвертора (рисунок 2.10), представлены на рисунке 3.23.

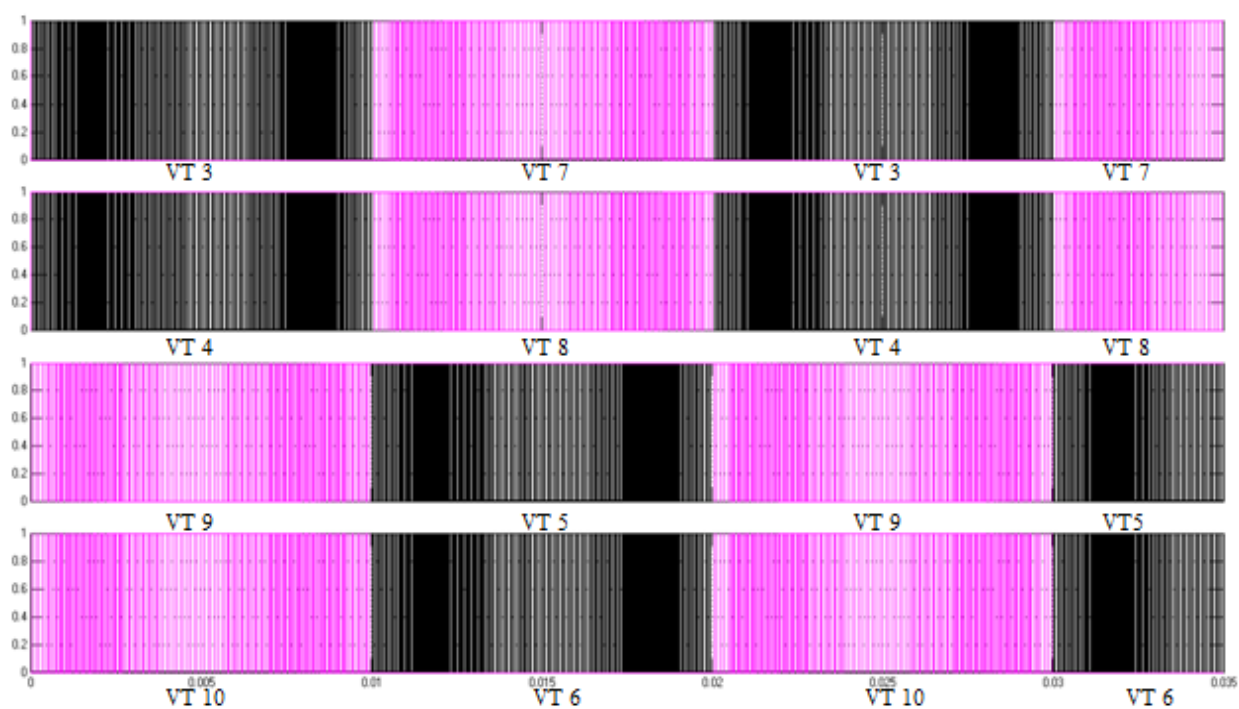


Рисунок 3.23 – управляющие сигналы поступающие на транзисторы

Из-за потерь возникающих в полупроводниковых элементах, сглаживающих фильтрах, выходная синусоида несколько отличается от идеальной. На рисунке 3.24 представлена осциллограмма сравнения выходного напряжения источника бесперебойного питания с идеальной синусоидой напряжения.

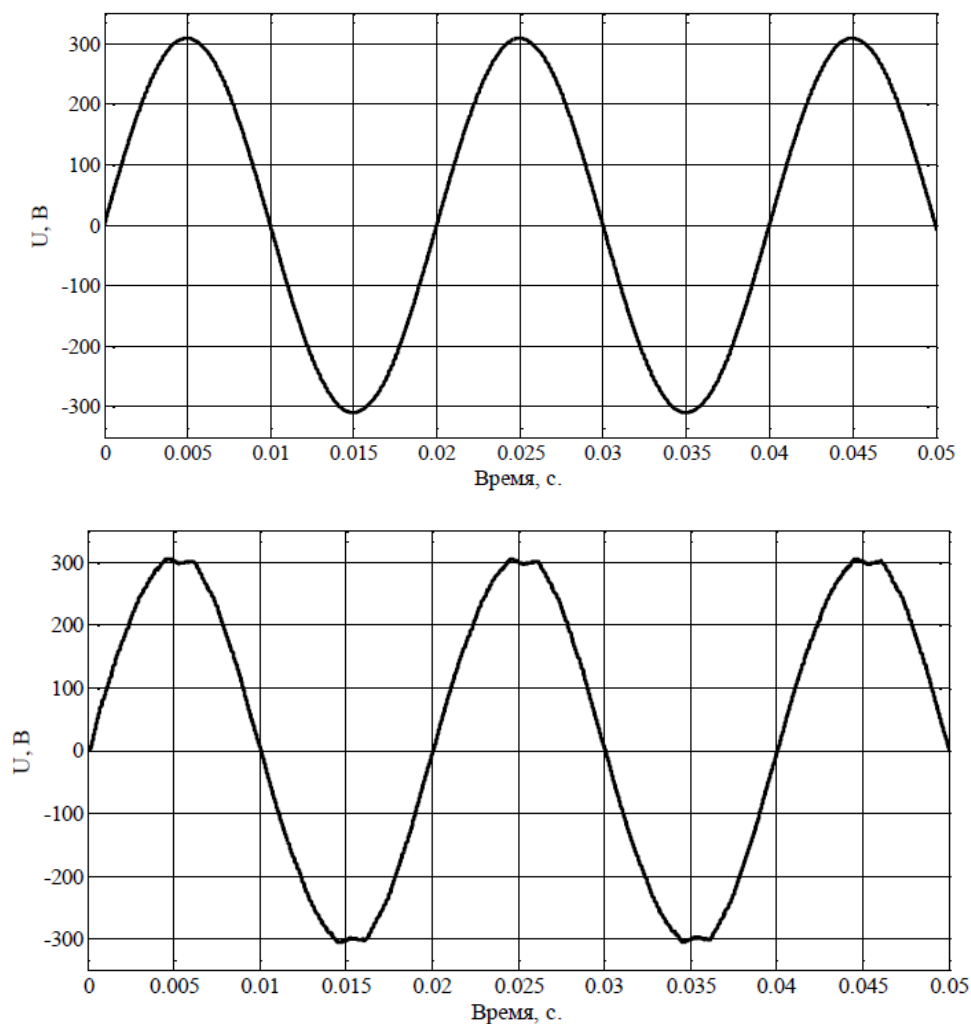


Рисунок 3.24 – осциллограмма динамической разности напряжения

Как видно из данной осциллограммы максимальное отклонение выходного напряжения, при использовании трехуровневого инвертора, составляет примерно  $\pm 5$  (В), что соответствует  $\pm 2\%$ , от номинального значения напряжения. Согласно техническому заданию, максимальное отклонение напряжение на нагрузки составляет  $3\%$ , следовательно применение трехуровневого инвертора напряжения, позволяет обеспечить потребителя питающим напряжением, требуемого качества.

### 3.2.4. Сравнительный анализ 3-уровневого и однофазного мостового инвертора

Для сравнения работы ИБП с 3-уровневым инвертором, произведем моделирование работы источника бесперебойного питания, на ту же нагрузку, с однофазным мостовым инвертором (рисунок 3.25).

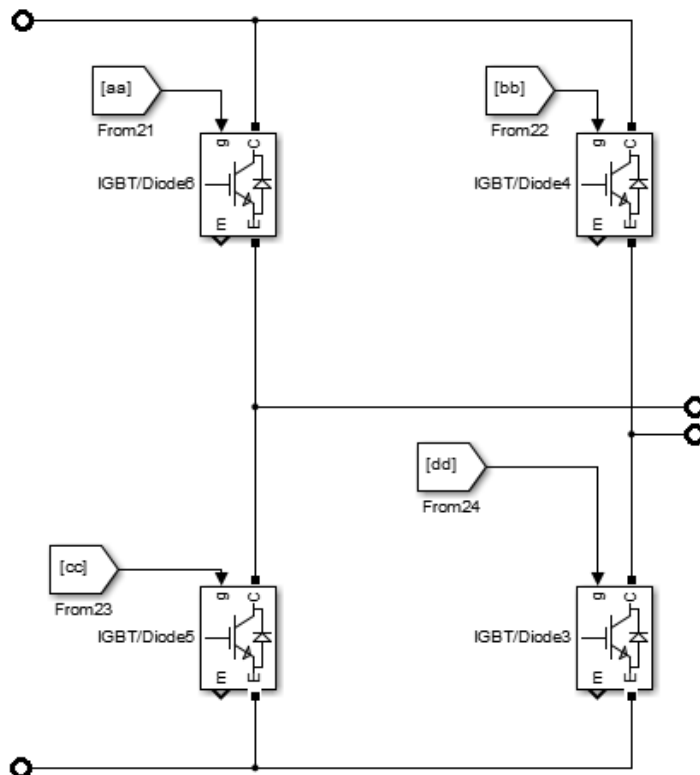
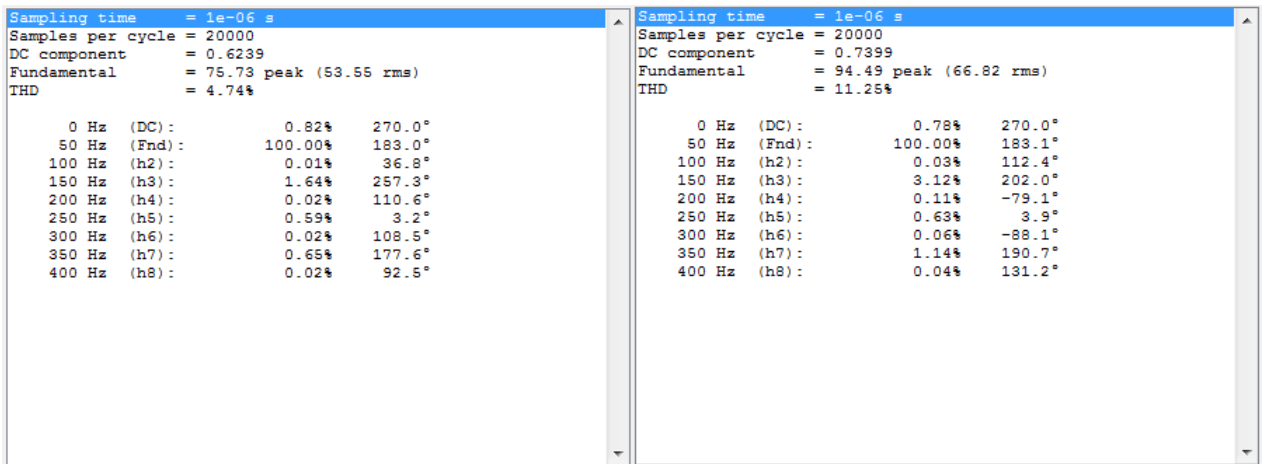


Рисунок 3.25 – модель однофазного мостового инвертора

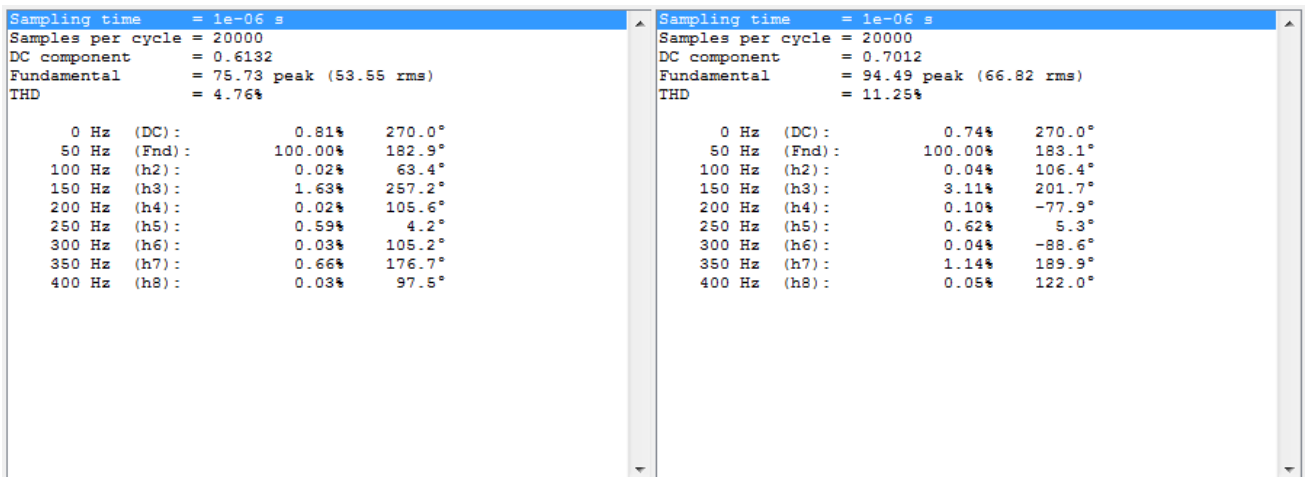
Для качественной нагрузки работы трехуровневого инвертора со средней точкой, на рисунках 3.26 и 3.27 приведены результаты гармонического анализа, в сравнении с однофазным инвертором.

При набросе активно-индуктивной и выпрямительной нагрузки у трехуровневого инвертора величина 3, 5 и 7 гармоник в несколько раз меньше, чем при однофазном мостовом инверторе.



а) данные для трехуровневого инвертора, б) данные для однофазного мостового инвертора

Рисунок 3.26 – Сравнение анализов ряда Фурье при набросе активно-индуктивной нагрузки:



а) данные для трехуровневого инвертора, б) данные для однофазного мостового инвертора.

Рисунок 3.27 – Сравнение анализов ряда Фурье при набросе выпрямительной нагрузки:

Анализируя рисунки 3.26 и 3.27 можно сделать вывод, что при применении трехуровневого рисунка, уровень высших гармоник значительно снижается.

При работе источника бесперебойного питания на выпрямительную нагрузку инвертор в совокупности с нагрузкой представляет собой систему с изменяемыми параметрами [11]. Это объясняется тем, что цикл его работы



состоит из двух этапов. На одном из этапов открыты диоды, входящие в состав выпрямителя, и осуществляется заряд выходного конденсатора через силовой фильтр инвертора. На втором этапе диоды закрываются, и инвертор находится в режиме холостого хода. Следовательно, инвертор в течении цикла своей работы должен обеспечивать импульсное потребление тока нагрузкой, для форсированного заряда выходного конденсатора выпрямителя при заданном качестве выходного напряжения. Также необходимо отметить, что через фильтр инвертора протекает несинусоидальный, импульсный ток. Во время работы инвертора на выпрямитель, на интервалах когда диоды находятся в проводящем состоянии, выходное напряжение представляет собой начальные участки колебательных переходных процессов. В отличии от работы инвертора на другие виды нагрузки, форма тока и напряжения значительно искажена, а коэффициент мощности значительно снижается.

Для наглядного представления работы трехуровневого и однофазного мостового инвертора, по полученным результатам анализа Фурье (рисунки 3.26 и 3.27), строим диаграммы, которые представлены на рисунка 3.28 и 3.29.

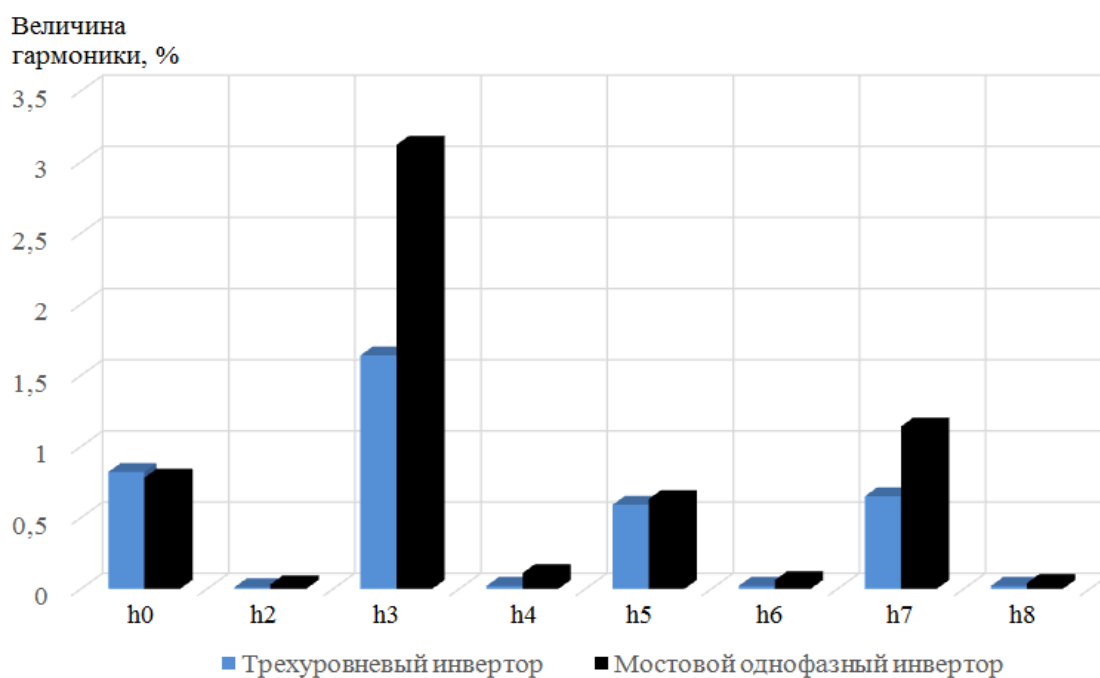


Рисунок 3.28 – Диаграмма величин гармоник при активно-индуктивной нагрузке

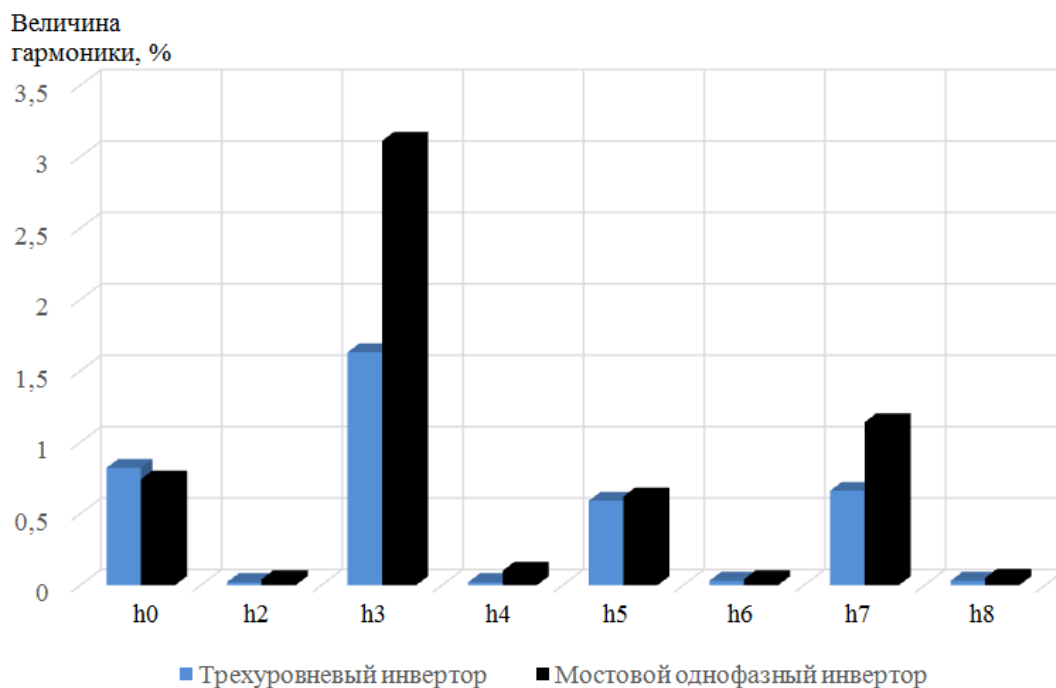


Рисунок 3.29 – Диаграмма величин гармоники при выпрямительной нагрузке

При анализе сравнительных диаграмм, представленных на рисунках 3.28 и 3.29 можно сделать вывод, что применение трехуровневого инвертора, в отличие от однофазного мостового, позволяет существенно снизить высшие гармоники. Наиболее характерно это наблюдается на 3, 5 и 7 гармониках. Снижение величин которых особенно важно, так как они оказывают наиболее сильное негативное влияние на работу, подключаемого к источнику бесперебойного питания, оборудования. Применение трехуровневого инвертора, в отличие от однофазного, позволяет получить синусоиду напряжения на выходе, по форме приближенной к идеальной, даже при реактивной нагрузке, что благоприятным образом сказывается на нагрузке.

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» – определение экономической целесообразности использования источника бесперебойного питания (ИБП) для ответственных потребителей электрической энергии, а также оценка ресурсоэффективности и конкурентоспособности проекта.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- Произвести планирование научно-исследовательских работ;
- Определить ресурсную и финансовую эффективность исследования.

В процессе эксплуатации электрических сетей возникают некоторые проблемы, такие как: кратковременные импульсы при увеличении количества потребителей, снижение и повышение напряжения сети при изменении величины нагрузки питающей подстанции, длительное отключение питания потребителей при авариях. Все указанные перебои в сети отрицательно влияют на потребителей и приводят к следующим последствиям: выходу из строя оборудования, потери данных (сервера, компьютера и т.д.), нарушению технологического процесса на производстве, что приводит к экономическим потерям.

### **4.1. Предпроектный анализ**

#### **4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Чтобы определить потенциальных потребителей данной разработки, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке и

исследованию источника бесперебойного питания для защиты ответственных потребителей электрической энергии. Для обеспечения качественной электроэнергией всевозможных нагрузок необходимо применять источники бесперебойного питания. Технологии и модернизация существующей схемы электроснабжения для уменьшения экономических потерь, являются существенным фактором для успешного продвижения продукта. Современный рынок требует от отечественных производителей коренной реконструкции и модернизации устаревшего производственного оборудования. Улучшение производственных технологий с целью повышения качества энергии потребителя, защиты данных и оборудования компании, экономии затраченных средств, внедрение новых идей способствует появлению новых продуктов с новыми свойствами.

Применение источника бесперебойного питания в системе электроснабжения, главной задачей работы выбор наиболее выгодного типа и варианта исполнения ИБП электроснабжения.

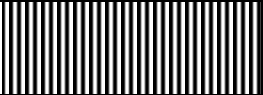




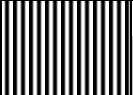

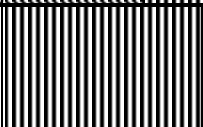

Потенциальными потребителями данного проекта являются офисные компании с сетевыми серверными, центры обработки данных (банки, базы данных социальных организаций), медицинские.

В нашем случае, для коммерческих организаций критерии сегментации могут быть: категория потребителя, требуемая степень защиты, время работы и другие.

Сегментирование рынка ИБП будем проводить по следующим критериям:

- 1) Категория потребителей, в качестве примера рассмотрим: реанимационное отделение больницы; Банк; офисная компания с сетевой серверной.
- 2) Тип источника бесперебойного питания (ИБП).

Таблица 4.1.1 – Карта сегментирования рынка

		Тип ИБП		
		Резервные	Линейно интерактивные	Активные (с двойным преобразованием)
Размер компании	Реанимационное отделение больницы			
	Банк			
	Офисная компания с сетевой серверной			
Фирма А		Фирма Б		Фирма В 

Для составления данной карты было взято три фирмы, которые занимаются производством электроприводов (Фирма А- «Компания ДНС», Фирма Б - ООО «Лармана», Фирма В - ООО "РусЭлт-инжиниринг"). В этом примере сегментации карта показывает, какие ниши на рынке оборудования, не занятые конкурентами или где уровень конкуренции находится на минимальном уровне.

В результате сегментации:

- основные сегменты этого рынка включают в себя применение источников бесперебойного питания для банков и офисных компаний;
- наиболее перспективным сегментом предложения является активные ИБП с двойным преобразованием для банков;
- сегмент рынка, которые являются привлекательными для компаний в будущем, является обеспечение защиты электроснабжения ИБП с двойным преобразованием для банков и других центров обработки данных.

Преимуществами применения ИБП с двойным преобразованием на рынке нефтяной промышленности по сравнению с другими видами ИБП являются:

- возможность корректировки характеристик;
- небольшие затраты на обслуживание;
- обеспечение требуемой степени защиты;

По данным на 2018 год, применение ИБП с двойным преобразованием в разных отраслях промышленности составляет около 35% на рынке электроэнергетики электротехники, что объясняется стоимостью данного типа ИБП.

#### 4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

С помощью данного анализа в научный проект вносятся коррективы, которые помогают успешно противостоять конкурентам. В ходе проведения анализа необходимо оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Для этой цели используется вся имеющаяся информация о конкурентных разработках.

Анализ проводится с помощью оценочной карты. Оценочная карта приведена в таблице 4.1.2.

Так как объектом исследования является ИБП активного типа с двойным преобразованием, то сравнение будем делать на основе данных о двух типов ИБП: линейно-интегрированные ИБП и ИБП активного типа с двойным преобразованием, который является объектом исследования. Данный анализ позволяет выбрать тот вариант, который будет наиболее конкурентоспособным, а также определить, в каком направлении необходимо действовать для его дальнейшего улучшения.

Таблица 4.1.2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Пункты оценки	Значение критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>р.э.</sub>	Б <sub>н.э.</sub>	К <sub>р.э.</sub>	К <sub>н.э.</sub>
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. КПД	0,09	4	5	0,36	0,45
2. Плавность регулирования	0,12	5	1	0,60	0,12

3. Помехоустойчивость	0,17	5	4	0,85	0,68
-----------------------	------	---	---	------	------

Продолжение таблицы 4.1.2

4. Энергоэкономичность	0,15	3	2	0,45	0,30
5. Надежность	0,09	4	4	0,36	0,36
6. Уровень шума	0,08	5	5	0,40	0,40
7. Безопасность	0,12	4	4	0,48	0,48
<b>Экономические показатели оценки эффективности</b>					
1. Сервис	0,05	4	3	0,20	0,15
2. Цена	0,09	2	4	0,18	0,36
3. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	2	0,16	0,08
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>39</b>	<b>29</b>	<b>4,04</b>	<b>3,38</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется следующим образом:

$$K = \sum B_i \cdot B_j \quad (4.1.2)$$

Где:  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_j$  – балл  $i$ -го показателя.

Пример расчета:

$$K_{\phi} = \sum B_i \cdot B_{\phi} = 0,09 \cdot 4 + 0,12 \cdot 5 + \dots + 0,04 \cdot 4 = 4,04$$

Результаты показывают, что конкурентоспособность проекта составила 4,04, в то время как у линейно-интегрированного ИБП 3,38 соответственно. Отсюда следует, что исследуемая научная разработка, в основе которой лежит ИБП активного типа с двойным преобразованием, является конкурентоспособной и имеет ряд преимуществ по техническим и экономическим показателям ресурсоэффективности, а значит заметно отличающимся высоким уровнем качества, в котором заинтересованы покупатели.

### 4.1.3. SWOT- анализ

SWOT – анализ проводят для того, чтобы исследовать внешнюю и внутреннюю среды проекта.

Проведение анализа осуществляется в несколько этапов:

- Описание сильных (**Strengths**) и слабых (**Weaknesses**) сторон проекта, выявление возможностей (**Opportunities**) и угроз (**Threats**), которые могут появиться во внешней среде проекта;
- Выявление соответствия внешним условиям среды сильных и слабых сторон исследовательского проекта;
- Составление итоговой матрицы SWOT-анализа.

SWOT-анализ проводим для исследования ИБП активного типа с двойным преобразованием.

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 4.1.3.

Таблица 4.1.3 – Матрица SWOT

/	<p><b>Сильные стороны (S)</b>          С1. Простота и удобство в эксплуатации;          С2. Безопасность;          С3. Высокое качество;          С4. Время исследования</p>	<p><b>Слабые стороны (W)</b>          Сл1. Результаты требуют экспериментального подтверждения;          Сл2. Высокая стоимость производства;          Сл3. Не достаточная точность результатов на данном этапе исследования</p>
<p><b>Возможности (O)</b>          В1. Исследование образцов из разных материалов без затрат;          В2. Отсутствие разрушения образца;          В3. Государственная поддержка исследования;          В4. Проведение исследований на любом компьютере</p>	<p>В1С4. Благодаря низким временным затратам, можно исследовать большой теоретический пласт информации для подбора наиболее подходящих характеристик и условий эксперимента;</p>	<p>В1Сл1. Благодаря возможности проводить исследования для различных материалов, расширяется круг имеющихся экспериментальных данных, с которыми можно произвести сравнение;</p>



	<p>V3C1C2C3. Удобство в эксплуатации, безопасность, высокое качество способствуют получению государственной поддержки;</p> <p>V4C1. За счет простоты и удобства в эксплуатации, исследования можно проводить на любом компьютере, без специального оборудования.</p>	<p>V1B4Cл2. За счет того, что исследования можно проводить для большого количества материалов и на любом компьютере, а информации о методе не достаточно, есть возможность публикации актуальных статей в научных журналах.</p>
--	--	---

Продолжение таблицы 4.1.3

<p><b>Угрозы (Т)</b></p> <p>У1. Возникновение конкурентов;</p> <p>У2. Технические сбои, которые могут повлечь за собой потерю наработанной информации</p>	<p>У1С3С4. За счет сокращения материальных и временных затрат на исследование, обеспечивается преимущество перед возможными конкурентными разработками;</p> <p>У2С1. Простая технология позволит достаточно быстро воссоздать утерянные результаты.</p>	<p>У1Сл1Сл3. Недостаточная точность результатов, достигнутая на данном этапе исследования, может привести к опережающим активным исследованиям со стороны возможных конкурентов, но простота и доступность данного метода, помогут уменьшить риски.</p>
---	---	---

Применение ИБП активного типа с двойным преобразованием целесообразно. Достоинства превосходят недостатки, к тому же имеются возможности по улучшению проекта.

## 4.2. Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1. Контрольные события проекта

При организации проекта необходимо оптимально планировать сроки проведения работ. В таблице 4.2.1 определены ключевые события проекта, их даты и результаты.

Таблица 4.2.1 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Выбор направления исследований	15.11.2019	Отчет
2	Разработка технического задания	04.02.2020	Бланк задания
3	Разработка календарного плана	06.02.2020	Календарный план-график
4	Теоретические исследования	21.02.2020	Литературный обзор

5	Практические исследования и разработки	27.03.2020	Графики, расчеты
6	Обобщение и оценка результатов	24.04.2020	Отчёт о результатах исследований
7	Оформление расчетно-пояснительной записки	30.05.2020	Расчётно-пояснительная записка

#### 4.2.2. Планирование НИР

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является календарный план, представленный в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Исполнители
1	Составление и утверждение технического задания	2	03.02.2020	04.02.2020	НР
2	Разработка календарного плана	2	05.02.2020	06.02.2020	НР, И
3	Подбор и изучение литературных и патентных источников	15	07.02.2020	21.02.2020	И
4	Постановка задач исследования	5	22.02.2020	26.02.2020	И,НР
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	30	27.02.2020	27.03.2020	И
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	25	28.03.2020	24.04.2020	И
7	Разработка технической документации	15	25.04.2020	09.05.2020	И
8	Рассмотрение вопросов социальной ответственности	6	10.05.2020	15.05.2020	И
9	Оценка экономической эффективности исследуемой технологии	10	16.05.20	25.05.2020	И
10	Оформление пояснительной записки	5	26.05.2020	30.05.2020	И

Для иллюстрации календарного плана построим диаграмму Ганта, таблица 4.2.3– календарный план-график проведения работ с разбивкой по месяцам и декадам, где ■ – научный руководитель, ▨ – исполнитель работ по проекту.

Таблица 4.2.3 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Кол-во дней	Продолжительность выполнения работ											
		Февраль			Март			Апрель			Май		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	■											
2	2		▨										
3	15		▨										
4	5			▨									
5	30				▨								
6	25							▨					
7	15										▨		
8	6											▨	
9	10												▨
10	5												▨

### 4.3. Бюджет научного исследования

Так как данная научно-исследовательская работа была выполнена без специального оборудования и использования определенных материалов, в расчет бюджета НИР необходимо учитывать:

- затраты на амортизацию;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- страховые взносы;
- накладные расходы.

#### **Основная заработная плата (компенсация трудовых затрат).**

В этом разделе необходимо рассчитать основную заработную плату руководителя и проектировщика. Стоимость расходов на заработную плату определяется в зависимости от:

1. сложности работы;
2. существующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает в себя: дополнительную заработную плату и основную заработную плату работников, включая премии, доплаты и т.д., непосредственно выполняющих НИР:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12÷20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя и исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} ;$$

$$Z_{осн} = 930,5 \cdot 115 = 107008 \text{ руб.},$$

где  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (из таблицы 1.2.2);  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{22100 \cdot 10,4}{247} = 930,5 \text{ руб.},$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot k_{\text{р}} = 17000 \cdot 1,3 = 22100 \text{ руб.},$$

где  $Z_{\text{мс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней –  $M = 10,4$  месяца, 6- дневная неделя;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно- технического персонала, раб. дн. (табл. 4.3.1).

Таблица 4.3.1 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: • выходные дни и праздничные дни	66	66
Потери рабочего времени: • отпуск и невыходы по болезни	60	52
Действительный годовой фонд рабочего времени	239	247

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.3.2.

Таблица 4.3.2 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{мс}}$ , руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	35 000	1,3	45 500	1 979,9	9	17 819
Исполнитель	17 000	1,3	22 100	930,5	115	107 108
<b>Итого:</b>						124 827

### Дополнительная заработная плата.

Данная статья включает сумму выплат, предусмотренных законодательством о труде, таких как: оплата отпусков, выплата вознаграждения за выслугу лет, отклонение от нормальных условий труда и т.п.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} = 17819 \cdot 0,15 = 2\,673 \text{ руб.},$$

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} = 107\,008 \cdot 0,1 = 10\,701 \text{ руб.},$$

где  $k_{доп}$  коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным  $0,10 \div 0,15$ ).

В таблице 4.3.3 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.3.3 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата, руб.	17 819	107 008
Дополнительная зарплата, руб.	2 673	10 701
Зарплата, руб.	20 492	117 709
<b>Итого по статье <math>C_{зн}</math></b>	138 201	

#### Отчисления на социальные нужды.

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования, фонд социального страхования.)

-Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.3.4.

Таблица 4.3.4 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	17 819	2 673
Исполнитель	107 008	10 701
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Отчисления во внебюджетные фонды		
Руководитель	5 553	
Исполнитель	31 899	

<b>Итого по статье <math>C_{внеб}</math></b>	37 452
--	--------

### **Прочие расходы.**

Расчет стоимости материальных затрат на прочие расходы производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В их стоимость включают транспортно-заготовительные расходы, которые составляют 3÷5% от цены. В эту же статью включаются затраты на оформление документации. Результаты по данной статье представлены в таблице 4.3.5.

Таблица 4.3.5 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные материалы

<b>Наименование</b>	<b>Марка</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Цена за единицу, руб.</b>	<b>Сумма, руб.</b>
Бумага для принтера формата А4	Сутuehjxf, 500 листов	1	268	268
Тетрадь	ВІС	2	50	100
Ручка шариковая	Paper Mate	2	100	200
Скоросшиватели	-	1	30	30
Степлер	ErichKrause	1	300	300
<b>Всего за материалы</b>				898
<b>Транспортно-заготовительные расходы (3÷5%)</b>				44
<b>Итого по статье <math>C_{пр}</math></b>				942

### **Накладные расходы.**

Затраты организации: печать и копии материалов исследований, оплата электроэнергии, оплата услуг связи и интернета и тд., - не попавшие в предыдущие статьи расходов, являются накладными расходами. Их размер определяет с помощью следующей формулы ( $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы, принят 15%):

$$C_{накл} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot k_{накл} = 138\ 201 \cdot 0,15 = 20\ 730 \text{ руб.},$$

### Амортизация

В данном пункте будет рассчитана амортизация ноутбука, необходимого в работе над проектом.

Пусть срок эксплуатации ноутбука 3 года. Отсюда следует, что норма амортизации за месяц равна:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\%$$

$$K = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33\%$$

где:  $n$  – срок полезного использования в годах.

Амортизация будет равна:

$$A = \frac{K \cdot I}{12 \cdot 30} \cdot m_p$$

$$A = \frac{0,33 \cdot 40}{12 \cdot 30} \cdot 95 = 3\,483 \text{ руб.}$$

где:  $I$  – итоговая сумма в тыс. руб.;

$m$  – время использования в днях.

### Полная смета затрат

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ. Полная смета затрат приведена в таблице 4.3.6.

Таблица 4.3.6 – Полная смета затрат

Наименование статьи	Затраты, руб.
1. Заработная плата	138 201
2. Отчисления во внебюджетные фонды	37 452
3. Прочие расходы	942
4. Накладные расходы	20 730
5. Амортизация	3 483
<b>Бюджет проекта</b>	<b>200 808</b>

Таким образом, в этом разделе работы проведено технико-



экономическое исследование:

- составлена структура работы и на ее основе проведены расчеты сложности НИР, а также ее бюджет;

- рассчитан бюджет затрат НИР, который составил 200 800 рублей.

#### **4.4. Определение ресурсной и экономической эффективности исследования**

Ресурсоэффективность – это интегральный критерий ресурсоэффективности и определяется по формуле:

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

где:  $I_{pi}$  - интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  - весовой коэффициент проекта;

$b_i$  - бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 4.4.1 - Ресурсоэффективность

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,2	4
2. Надежность	0,2	4
3. Удобство в эксплуатации	0,25	5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4
5. Энергоэкономичность	0,15	3
Итого:	1	20

Тогда интегральный показатель ресурсоэффективности для нашего проекта равен:

$$I_{pi} = 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,1$$

В данном пункте мы провели оценку ресурсоэффективности исследуемого проекта, в результате получили оценку (4,1 из 5), что говорит об эффективности его реализации.

Таким образом, ИБП активного типа с двойным преобразованием

сейчас остается эффективным, и продолжается развиваться в таких направлениях как, улучшение энергетических, и эксплуатационных характеристик, уменьшение стоимости. Благодаря ускоренному развитию силовой полупроводниковой преобразовательной техники, открылись новые возможности применения ИБП активного типа с двойным преобразованием в реструктуризации производства, или в тех производственных процессах, где ранее использование других типы ИБП было нецелесообразно.

В данной работе была поставлена цель, которая предполагала решение определенных задач. В итоге можно сделать следующие выводы:

1) С помощью карты сегментирования была проанализирована перспективность применения ИБП активного типа с двойным преобразованием;

2) С помощью анализа конкурентных технических решений был выбран ИБП активного типа с двойным преобразованием, при сравнении его с ИБП линейно-интегрированного типа, так как он оказался наиболее предпочтительным вариантом по итогам расчетов.

3) Оценив факторы, влияющие на проект, с помощью SWOT-анализа был сделан вывод о целесообразности осуществления проекта применения двойного преобразования;

4) Был составлен календарный план – график выполнения работы каждого из участников: научного руководителя и инженера-дипломника.

5) Рассчитан бюджет НИР, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 200 808 рублей. руб.;

6) Интегральный показатель ресурсоэффективности, равен 4,1 по 5 – бальной шкале. Такой результат говорит о том, что данный проект будет эффективным.

По итогам раздела было установлено, что проект отвечает необходимым требованиям в области ресурсоэффективности. Является конкурентоспособным и привлекательным с экономической точки зрения.

## **5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

В данном разделе ВКР рассмотрены вопросы организации труда при использовании ИБП для электроснабжения. Целью данного раздела является выявление и анализ вопросов, связанных с организацией рабочего места, производственной санитарией, техникой производственной безопасности и охраной окружающей среды. Основной задачей является создание допустимых норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются с позиции исполнителя, непосредственно связанного с технологическим процессом.

Для обеспечения питания ответственных потребителей электрической энергии, устанавливаются жесткие требования для источников бесперебойного питания. При использовании источников бесперебойного питания необходимо взять во внимание, что повышенное, пониженное или нестабильное напряжение электросети и другие помехи могут привести к поломке или аварийному режиму работы ответственного оборудования, что в дальнейшем может привести к серьезным проблемам, финансовым издержкам, а также к техногенным катастрофам.

При конструировании источника бесперебойного питания необходимо учитывать, что: серверное оборудование полностью автономно, не допускается какие-либо изменения в конструкции. Аккумуляторные батареи – необслуживаемые. Все манипуляции с электрической схемой, такие как: ремонт, обслуживание и замена элементов осуществляется квалифицированным персоналом, сервисных предприятий.

## **5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения**

### **безопасности.**

За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль. Целями трудового законодательства являются установление государственных гарантий трудовых прав и свобод граждан, создание благоприятных условий труда, защита прав и интересов работников и работодателей.

Согласно ТК РФ, N 197-ФЗ каждый работник имеет право на [15]:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

– личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;

– внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

– гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

– повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя. Порядок обеспечения работников спецодеждой, спецобувью и средствами индивидуальной защиты, стирки и дезинфекции устанавливается локальными нормативными актами работодателя.

Рабочее место – основной объект в производственных условиях, который представлен в общем случае как пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и

взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям [16].

Кроме того, стоит сократить время работы за компьютером, делать перерывы при 8-ми часовой смене. Письменный стол и офисное кресло являются главными составляющими на рабочем месте. Основным рабочим положением является положение сидя. Поэтому для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью работника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз.[17]

## 5.2.Производственная безопасность

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме, острому отравлению или другому внезапному резкому ухудшению здоровья, или смерти. Вредный производственный фактор - производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях может привести к заболеванию, снижению работоспособности и (или) отрицательному влиянию на здоровье потомства. В зависимости от количественной характеристики (уровня, концентрации и др.) и продолжительности воздействия вредный производственный фактор может стать опасным. При выполнении своих профессиональных обязанностей обслуживающий персонал может столкнуться со следующими опасными и вредными производственными факторами представленными в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготовле ние	Эксплу атация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96 [27]
2.Превышение уровня шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [28] ГОСТ 12.1.003-83 “Шум. Общие требования безопасности.[23]
3.Отсутствие или недостаток	+	+	+	СНиП 23-05-95[29]

естественного света				
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03[30]
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [31]

Комплектующие источника бесперебойного питания, находящиеся внутри корпуса, имеют высокую температуру и находятся под высоким напряжением. Во время обслуживания и выполнения любых операций с источником бесперебойного питания, необходимо соблюдать меры безопасности, которые позволят избежать не только телесных повреждений, но и спасти оборудование от повреждения.

Аккумуляторные батареи, используемые в источниках бесперебойного питания, имеют различные напряжения и ток заряда, поэтому необходимо проверять, чтобы напряжения заряда источника бесперебойного питания соответствовало напряжению заряда конкретных аккумуляторных батарей.

Любые конструктивные изменения или изменения в системе управления, источника бесперебойного питания, могут привести к некорректной работе.

### **5.2.1. Инструкция по обслуживанию ИБП**

1. Монтаж и установка источника бесперебойного питания (ИБП) должны осуществляться квалифицированным персоналом, имеющим допуск к работе с соответствующим напряжением. Ремонт ИБП должен осуществляться квалифицированным техническим персоналом авторизованных сервисных организаций.

2. Только авторизованным квалифицированным инженерам разрешен доступ к внутренним частям ИБП, находящимся под большим напряжением. Прикосновение к токоведущим частям ИБП опасно для жизни.

3. Запрещено проведение ремонтных работ и работ по обслуживанию ИБП при наличии токопроводящих предметов, таких как часы, кольца, браслеты и т.п.

4. ИБП должен быть заземлен до монтажа силовых проводов. Клемма заземления ИБП должна быть к шине заземления.

5. Запрещено сверление отверстий в корпусе ИБП. Металлическая стружка от сверления может попасть внутрь корпуса ИБП и стать причиной короткого замыкания.

6. Опасно работать во время дождя и шторма. Запрещена эксплуатация ИБП вне закрытых помещений во время дождя, грозы и шторма. В помещении, где эксплуатируется ИБП, должна быть организована молниезащита и обеспечено качественное заземление.

7. Запрещено объединение заземляющего провода и нейтрального провода на ИБП. Это может вызвать короткое замыкание. Заземление должно быть выполнено отдельным проводом. Напряжение между заземляющим проводом и проводом нейтрали не должно превышать 5V.

8. Демонтаж и замена вентиляторов должны проводиться только после отключения вентилятора от его питания.

9. Необходимо отключать ИБП от входного напряжения и от аккумуляторной батареи (АБ) до проведения обслуживания.

Обязательно необходимо проверять прибором отсутствие напряжения на выходных клеммах ИБП и на клеммах (разъёме) подключения АБ до обслуживания ИБП что бы гарантировать отсутствие напряжения на ИБП и безопасные условия работы.

10. Даже если отключены все внешние силовые соединения, на внутренних конденсаторах ИБП присутствует высокое напряжение, и, соответственно, на выходных клеммах ИБП может присутствовать опасное для жизни напряжение.

11. Батарейный кабель не связан с входным напряжением, но опасное напряжение может присутствовать между клеммами АБ и клеммой



заземления. Непосредственно на АБ также присутствует высокое напряжение. Необходимо убедиться, что АБ полностью отключены от ИБП и отключены и изолированы во время проведения работ по обслуживанию или ремонту ИБП.

12. Запрещено соединять положительный и отрицательный выводы АБ. Соединительные меж батарейные перемычки и батарейные провода должны быть соответствующего сечения и длины. Недопустимо провисание батарейных проводов. Запрещено одновременное касание двух батарейных проводов или батарейных клемм.

13. Запрещена эксплуатация АБ с вытекающим электролитом. Вытекающий электролит может разрушить металлические части батарейных шкафов (стеллажей), соединительные провода и внутренние блоки ИБП, что может привести к короткому замыканию и повреждению оборудования.

14. Запрещена эксплуатация АБ вблизи открытого огня, в условиях агрессивной среды, вблизи горючих и легковоспламеняющихся материалов [18].

15. Необходимо использовать в составе системы бесперебойного питания промышленные, герметичные, не обслуживаемые АБ. Использование АБ других типов может привести к повреждению ИБП

16. Необходимо обеспечить правильную вентиляцию оборудования. Запрещено закрывать вентиляционные отверстия и воздуховоды.

17. Для предотвращения травмы, при установке АБ в ручную, необходимо соблюдать меры предосторожности.

### **5.2.2. Отсутствие или недостаток естественного света**

Помещения для АБ ИБП разрешается выполнять без естественного освещения. Габариты помещения и коэффициенты отражения приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – 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

Для расчета освещения используем метод коэффициента заполнения [19].

Освещение помещения выполняем люминесцентными лампами.

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

$$\Phi = \frac{(E \cdot K_z \cdot S \cdot Z) \cdot 100}{(N \cdot \eta)} = \frac{(300 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,1) \cdot 100}{14 \cdot 5} = 4041 \text{ лм}, \quad (5.1)$$

где E – заданная минимальная освещенность, E=300 лк, [19];

$K_z$  – коэффициент запаса, (1,5)[20];

S – освещаемая площадь,  $S=5 \cdot 4=20 \text{ м}^2$ ;

Z – коэффициент неравномерности освещения (1,1),[19];

N – число светильников;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока, %.

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

Для определения коэффициента использования  $\eta$  рассчитываем индекс помещения:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p \cdot (a+b)} = \frac{5 \cdot 4}{2,13 \cdot (5+4)} = 1,04, \quad (5.2)$$

где a – длина помещения, м;

b – ширина помещения, м;

h – высота помещения;

$h_1$  – высота подвеса светильника;

$h_2$  – расстояние от пола до рабочей поверхности;

$h_p$  – расчетная высота.

$$h_p = (h - (h_1 - h_2)) = (3 - (0,07 + 0,8)) = 2,13 \text{ (м)}. \quad (5.3)$$

Определяем коэффициент использования, исходя из значений коэффициентов отражения и индекса помещения[16], для ЛПО 2x36  $\eta = 49$ .

Для данного помещения требуется 5 светильников, равномерно распределенных по поверхности потолка.

Выбираем светильник ЛПО ЛПО 2x36 – КПД - 80% и люминесцентные лампы ЛБ 30 Вт  $\Phi_{л} = 2180, лм$  (в одном светильнике 2 лампы) [20].

### **5.2.3. Химический фактор.**

Аккумуляторные помещения нуждаются в качественной вентиляции, из-за специфической работы батарей. При протекании химических реакций, в корпусе аккумуляторных батарей, происходит выделение различных газообразных смесей. Необходимо отметить, что газ выделяется не только при заряде аккумуляторной батареи, но так же 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 устанавливается только приточно-вытяжная вентиляция 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.

В соответствии с существующими нормами удаление загрязненного воздуха осуществляется через шахту, которая должна возвышаться над зданием на высоте как минимум 1.5 метра. Вход и выход в шахту

необходимо оборудовать защитой, препятствующей попаданию атмосферных осадков. Вся вентиляционная система, должна быть выполнена с использованием специального оборудования, выполненного во взрывобезопасном исполнении, и находящегося в изолированном помещении. Также необходимо изолировать дымоходы из аккумуляторного помещения от общей вытяжной системы [21].

Забор чистого воздуха, как из верхней, так и из нижней частей помещения, должен осуществляться с противоположной стороны, где происходит выброс грязного воздуха. Если потолок разделен перегородками на отдельные секции, то необходимо обеспечить вытяжку воздуха для каждого отсека.

В аккумуляторных помещениях, в независимости от того, работает вентиляция или нет, категорически запрещается использовать открытый огонь, и выполнять действия, способные привести к образованию искры.

При использовании герметичных аккумуляторов (с рекомбинацией газа), аккумуляторное помещение можно оборудовать только естественной вентиляцией, способной два раза в час, полностью сменить воздух в помещении.

#### **5.2.4. Микроклимат аккумуляторных помещений**

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.

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

температуре на 10°C, происходит сокращение срока службы аккумуляторной батареи в 2 раза [22].

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.

При запылении помещения, происходит образование токопроводящих связей на печатных платах, что может привести к замыканию и выхода их из строя. Запыление радиаторов, кулеров приводит к ухудшению отвода тепла с силовых элементов, что может привести к перегреву, поломке и возгоранию.

#### **5.2.5. Шум**

Шум – один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Источниками звуков и шумов являются вибрирующие тела. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом, – это работа технологического оборудования в машинных залах насосных, воздуходувных станций и в других помещениях. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что, в конечном счете, приводит к понижению работоспособности [23].

Источником производственного шума являются насосы, вентиляторы, фильтры.

Согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБА.

В случае превышения уровня шума на рабочем месте выше 80 дБА, работодатель должен провести оценку риска здоровью работающих и подтвердить приемлемый риск здоровью работающих.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4.3359-16 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011-89;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- ограничение продолжительности и интенсивности воздействия.

### **5.2.6. Анализ выявленных опасных факторов**

#### **5.2.6.1. Электробезопасность**

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 электробезопасность относится к опасным производственным факторам. Электрический ток способен привести к острому поражению или мгновенному воздействию относительно высокоинтенсивного воздействия, приводящий к летальному исходу.

Главными причинами поражения электрическим током в данной системе могут быть:

- Случайное прикосновение к токоведущим частям установки;
- Повреждение изоляции как причина появления напряжения на оборудовании;
- Ошибочное действие персонала;
- Воздействие электрической дуги, возникающей между токоведущей частью и человеком в сетях напряжением выше 1000В, если человек окажется в непосредственной близости от токоведущих частей.

### **5.3. Экологическая безопасность.**

Одной из важной проблемой при эксплуатации источников бесперебойного питания является безвредная утилизация аккумуляторных батарей. В данной работе выбраны свинцово-кислотные аккумуляторные батареи выполненные по технологии dryfit (желеобразный электролит).

При истечении срока службы эксплуатации данные АБ выбрасывают сами потребители, что в корень не правильно, так как после окончания эксплуатации аккумуляторной батареи, её необходимо отправить в специализированные пункты приёма и переработки.

Переработка отработанных АБ это очень важный процесс, который 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 нейтрализовать 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" [24].

Ситуация со сбором и утилизацией аккумуляторов в России находится на стадии постепенной легализации. Это связано с отсутствием в действующем законодательстве необходимой нормативной базы. 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.

## 5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Системы пожарной безопасности должны выполнять одну из следующих задач:

- исключать возникновение пожара;
- обеспечивать пожарную безопасность людей;
- обеспечивать пожарную безопасность материальных ценностей;
- обеспечивать пожарную безопасность людей и материальных ценностей одновременно.

### Требования пожарной безопасности к помещениям

1. На дверях всех производственных и складских помещений, расположенных в производственном цехе (аккумуляторные, электрощитовые, вентиляционные камеры и т.д.), надлежит обозначить категории пожарной и взрывопожарной опасности, а также класс зоны по правилам устройства электроустановок. Определение категории осуществляется расчетом.

2. Противопожарные системы и установки (средства пожарной автоматики, системы противопожарного водоснабжения, противопожарные двери, другие защитные устройства в противопожарных стенах, перекрытиях и т.п.) помещений должны постоянно содержаться в исправном рабочем состоянии. Использование данных систем не по прямому назначению **запрещено**.

3. При пересечении противопожарных преград различными коммуникациями зазоры между ними и конструкциями преград (на всю их толщину) должны быть герметично заделаны негорючим материалом.



4. Наружные пожарные лестницы и ограждения на крышах здания должны содержаться в исправном состоянии и не менее двух раз в год испытываться на прочность с оформлением актов.

5. Во всех помещениях, на видных местах, должны быть вывешены таблички с указанием номера вызова пожарной охраны 01.

7. Ежедневно, по окончании работы, помещения необходимо тщательно осматривать, рабочие места - убирать, электрооборудование и электросети – обесточивать (за исключением оборудования, которое должно работать круглосуточно по функциональному назначению и (или) предусмотрено требованиями инструкции по эксплуатации).

8. В здании производственного цеха должны быть разработаны и на видных местах вывешены поэтажные планы эвакуации людей в случае пожара, а также предусмотрена система оповещения людей о пожаре. К плану эвакуации людей при пожаре в дополнение разрабатывается инструкция, определяющая действия персонала по обеспечению быстрой и безопасной эвакуации людей [25].

### **Требования пожарной безопасности к путям эвакуации**

1. Все двери эвакуационных выходов должны свободно открываться в сторону выхода из помещений. При пребывании в помещении людей, двери могут запираются только на внутренние, легко открываемые запоры.

2. На путях эвакуации

#### **ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

2.1. Загромождать эвакуационные пути и выходы (в том числе проходы, коридоры, тамбуры, лестничные площадки, марши лестниц, двери, эвакуационные люки) различными материалами, изделиями, оборудованием и другими предметами.

2.2. Устраивать в тамбурах выходов сушилки одежды любой конструкции, вешалки для одежды и гардеробы, хранение (в том числе временное) любого инвентаря и материалов.

2.3. Устраивать на путях эвакуации пороги, турникеты, раздвижные, подъёмные и вращающиеся двери и другие устройства, препятствующие свободной эвакуации людей.

2.4. Фиксировать самозакрывающиеся двери лестничных клеток, коридоров, холлов и тамбуров в открытом положении (если для этих целей не используются автоматические устройства, срабатывающие при пожаре), а также снимать их.

2.5. Применять горючие материалы для отделки, облицовки и окраски стен и потолков, а также ступеней и лестничных площадок на путях эвакуации [25].

Для предупреждения нежелательных последствий, вызванных неправомерными действиями обслуживающего персонала, и идентификации батарей в местах размещения аккумуляторных батарей должны быть вывешены соответствующие знаки и памятки:

- На входной двери выделенного аккумуляторного помещения должна быть нанесена надпись «АККУМУЛЯТОРНАЯ» и вывешены запрещающие знаки безопасности 1.1, 1.2 и 1.3 по ГОСТ 12.4.026-76 («ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫМ ОГНЕМ»), «ЗАПРЕЩАЕТСЯ КУРИТЬ», «ВХОД ЗАПРЕЩЕН»); и вывешены запрещающие знаки безопасности 1.1, 1.2 и 1.3 по ГОСТ 12.4.026-76;

- На видном месте аккумуляторного помещения, шкафа или отсека должна быть вывешена памятка с указанием следующих данных:

1. номинальное напряжение батареи;
2. тип батареи и наименование изготовителя;
3. номинальная ёмкость (мощность) батареи;
4. число элементов в батарее;
5. дата ввода батареи в эксплуатацию.

- На входной двери помещения, в котором выделен участок для размещения аккумуляторной батареи, а также установлены шкафы или отсеки с аккумуляторными батареями, должны быть вывешены

запрещающие знаки безопасности 1.1 и 1.2 по ГОСТ 12.4.026-76 («ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫМ ОГНЕМ», «ЗАПРЕЩАЕТСЯ КУРИТЬ»). Эти же знаки должны быть продублированы на передних панелях шкафов (отсеков), где установлены аккумуляторные батареи. Эти же знаки должны быть продублированы на передних панелях шкафов (отсеков), где установлены аккумуляторные батареи [26].

### **Заключение**

В данном разделе были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, с которыми можно столкнуться при разработке и эксплуатации технологического процесса.

Применение приведенной инструкции по обслуживанию ИБП приведет к снижению вероятности отказа оборудования и получения производственных травм персоналу. Кроме того, применение и соблюдение основных норм, мер и способов устранения вредных и опасных производственных факторов позволят повысить производительность рабочих и сохранить их здоровье, а именно:

- дополнительные средства защиты персонала;
- дополнительные датчики, которые способны регистрировать концентрацию вредных веществ в воздухе;
- правильно обустроенное рабочее место
- рекомендательные действия персонала;

Также, были приведены требования к экологической безопасности, к пожарной безопасности. Утилизации аккумуляторным батареям уделяют особое внимание. Утилизировать АБ необходимо в специальные пункты приема для дальнейшей переработки. В случае пожара предусмотрены в помещении огнетушители. Для устранения выделяемых вредных газов в аккумуляторной установлена отдельная для помещения вентиляция. Чтобы своевременно узнать о возникновении пожара – устанавливаются датчики пожарной сигнализации. Таким образом, применяя вышеперечисленные

меры устранения вредных и опасных производственных факторов, автоматизированная система безопасности и соблюдая технику безопасности, создается безопасный технологический процесс.

## **Заключение**

В данной магистерской диссертации был разработан, рассчитан и спроектирован источник бесперебойного питания для ответственного сервера мощностью 10 кВА. Осуществлен обзор существующих типов и структурных типов ИБП, произведен расчет и выбор элементов силовой части и отдельного зарядного устройства, также разработана принципиальная электрическая схема ИБП.

В моделирующей среде Matlab была разработана и исследована имитационная модель работы ИБП на различные нагрузки. При работе ИБП на активно-индуктивную нагрузку происходит сглаживание колебаний тока и напряжений, и выходное напряжение практически не искажается, в отличие от выпрямительной нагрузки. При работе ИБП на данную нагрузку, происходит негативное влияние на качество питающей сети. Это объясняется емкостным характером выпрямительной нагрузки, так как при набросе нагрузки происходит бросок тока и провал напряжения. Кроме того моделирование показало, что применение трёхуровневого инвертора в разработанном ИБП, в сравнении с однофазным мостовым, позволяет существенно снизить выходные высшие гармоники. Наиболее характерно это наблюдается на 3, 5 и 7 гармониках. Снижение величин которых особенно важно, так как они оказывают наиболее сильное негативное влияние на работу оборудования.

В четвертой части работы были рассчитаны затраты на покупку программного обеспечения, зарплату инженерному персоналу, проведение моделирования. Кроме того произведено планирование на создание имитационной модели ИБП.

В заключительной главе рассмотрены вопросы касаемые социальной ответственности, а именно: инструкции по эксплуатации ИБП, а также вопросы связанные с утилизацией кислотно-свинцовых АБ.

В итоге, после завершения разработки, проектирования и моделирования, был получен ИБП, который обеспечивает решение всех

поставленных задач, и соответствует всем требованиям, представленным в техническом задании.

## Список использованных источников

1 ГОСТ 33073-2014 ««Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»».

2 ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

3 Савищева А.П. [Статья]: Разработка системы автоматического регулирования выходного напряжения автономного инвертора в системе бесперебойного Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции «Научная сессия ТУСУР–2008».

4 Slavuta-club.info [Электронный ресурс] режим доступа: [http://www.upsinfo.ru/for\\_partners/library/ibpups\\_s\\_dvoynem\\_preobrazovaniem\\_maloy\\_i\\_sredney/](http://www.upsinfo.ru/for_partners/library/ibpups_s_dvoynem_preobrazovaniem_maloy_i_sredney/), свободный, дата обращения 25.05.2019.

5 ИБП с двойным преобразованием энергии малой и средней мощности: схемотехника и технические характеристики [Электронный ресурс], режим доступа: <http://www.tensy.ru/article09.html>, свободный, дата обращения 25.05.019.

6 Аналоги аккумуляторов для ИБП фирмы. [Электронный ресурс] режим доступа: <https://www.h-energy.ru/actual/?id=17>, свободный, дата обращения 25.05.2019.

7 Промышленные аккумуляторы Sonnenschein A400 [Электронный ресурс] режим доступа: <http://www.dryfit.ru/stationar/a400.php>, свободный , дата обращения 25.05.2 19.

8 Что такое крест-фактор (пик-коэффициент, коэффициент амплитуды, пик-фактор, crest factor, cross ratio, peak-to-average ratio (par), cf, c.f.) [Электронный ресурс], режим доступа: [http://peremena.com/blog/blog\\_peremena/что-такое-crestfaktorpikoeffitsient-koeffitsient-amplitudy-pikfaktor/](http://peremena.com/blog/blog_peremena/что-такое-crestfaktorpikoeffitsient-koeffitsient-amplitudy-pikfaktor/), свободный, дата обращения 25.05.2020.

9 Каталог / Электронные компоненты, радиодетали / Активные

компоненты / Полупроводниковые модули / IGBT модули [Электронный ресурс], режим доступа: <http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=855848513>, свободный, дата обращения 25.05.2019.

10 Чип и Дип: электронные компоненты и приборы [Электронный ресурс], режим доступа <https://www.chipdip.ru/>, свободный, дата обращения 20.05.2017.

11 Лопухин А.А.: Источники бесперебойного питания без секретов. [Электронный ресурс], режим доступа: [do.gendocs.ru](http://do.gendocs.ru), свободный. – Загл. с экрана.

12 Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие. Издательство ГПУ, 2014. – 57 с.

13 Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

14 Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под реда. М.Г. Карпунина, Б.И. Майданчика. – М.: Энергия, 1980. – 1775 с.

15 Орловский Ю. П., Чиканова Л. А., Нуртдинова А. Ф., Белицкая И. Я. Комментарий к Трудовому кодексу Российской Федерации (краткий постатейный) / Отв. ред.: Ю. П. Орловский. М. : Юридическая фирма «КОНТРАКТ», 2017

16 ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

17 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

18 Требования к размещению аккумуляторных батарей [Электронный ресурс]: Режим доступа: [www.hawker.ru](http://www.hawker.ru), свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: 24.04.2019.

19 Метод коэффициента использования [Электронный ресурс]:



Режим доступа: <http://www.websor.ru>, свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: 24.04.2019.

20 Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2005.

21 Вентиляция аккумуляторных помещений [Электронный ресурс]: Режим доступа: [www.ngpedia.ru](http://www.ngpedia.ru), свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: 24.04.2019.

22 Микроклимат аккумуляторных помещений [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://leg.co.ua>, свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: 25.04.2019.

23 ГОСТ 12.1.003-83 “Шум. Общие требования безопасности.

24 Группа компаний МАГЛЮК [Электронный ресурс]: Утилизация аккумуляторных батарей. Режим доступа: <http://oskab.ru>, свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: 25.04.2019.

25 ГОСТ 12.1.004.-91 ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования (с изменением n 1)»

26 Гост 12.4.026-76 Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные и знаки безопасности.

27 СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

28 СН 2.2.4/2.1.8.562–96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.

29 СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

30 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

31 ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура

ВИДОВ ЗАЩИТЫ.

# Приложения

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Технические характеристики и габаритные параметры аккумуляторной батареи Sonnenshein A412/20

Герметичный стационарный свинцово-кислотный аккумулятор A412/20 G5, изготовлен по технологии «dryfit» (желеобразный электролит) и имеет намазные пластины со свинцово-кальциевым легированием.

Области применения:

- источники бесперебойного питания;
- системы охранно-пожарных сигнализаций;
- медицинская техника;
- телекоммуникация и связь;
- другие отрасли, где требуется гарантированное

электропитание.

Основные характеристики A412/20:

- низкое газовыделение, благодаря высокой степени рекомбинации газов (99%);
- низкое внутреннее сопротивление;
- отличные характеристики при разряде высокими токами;
- отсутствие ограничений при транспортировке железнодорожным, автомобильным, морским и авиатранспортом (согласно правилам IATA).

Габариты:

- вес (кг): 9
- габариты (Д<sub>x</sub>Ш<sub>x</sub>В): 167x176x126 Прочее:
- емкость (Ah): 20
- напряжение (V): 12
- срок службы (лет): 12

- Технология: Gel
- тип: свинцово-кислотный
- тип клемм: под винт М-5

Таблица А.1 – Технические характеристики аккумуляторной батареи А412/20

Ном. U, В	Номинальная ёмкость, А ч	Ток разряда, А	Время резервирования, мин	Ток резервирования, А
12	20	2	10	25

Таблица А.2 – Разряд выбранной батареи постоянным током при 20°C

$V_{pc}$	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	30 мин	1 ч	3 ч	5 ч	8 ч	10 ч
1.85	33	25	22	20	17	11	4,7	3,2	2,1	1,9
1.80	36	27	23	21	18	12	4,9	3,3	2,2	2
1.75	45	34	27	23	18	12	5	3,3	2,2	2
1.70	51	38	29	24	19	12	5	3,3	2,2	2
1.65	56	40	31	25	19	12	5			
1.60	60	42	31	26	19	12	5			

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Технические характеристики IGBT модуль CM200DY-12H

Выбранный IGBT модуль CM200DY-12H позиционируется фирмой производителем Mitsubishi Electric для работы в высокочастотном ключевом режиме. Каждый модуль состоит из двух IGBT транзисторов, каждый, из которых, имеет обратный быстро восстанавливающийся диод.

Таблица Б.1 – Технические характеристики IGBT модуля CM100DU-12H

$U_{к-э.макс}, В$	$f_{ком}, кГц,$	$I_{к.макс}, А, А$
600	25	200



Рисунок Б.1 – Внешний вид IGBT модуля CM200DY-12H

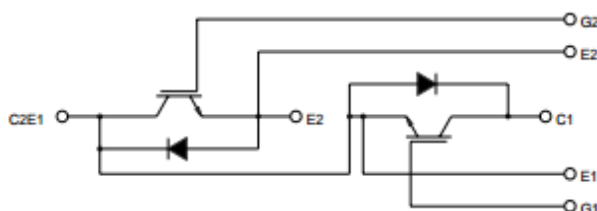


Рисунок Б.2 - Схема электрических соединений IGBT модуля CM200DY-12H

	Symbol	Ratings	Units
Junction Temperature	$T_j$	-40 to 150	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 to 125	°C
Collector-Emitter Voltage (G-E SHORT)	$V_{CES}$	600	Volts
Gate-Emitter Voltage (C-E SHORT)	$V_{GES}$	±20	Volts
Collector Current ( $T_C = 25^\circ C$ )	$I_C$	200	Ampere s
Peak Collector Current	$I_{CM}$	400*	Ampere s
Emitter Current** ( $T_C = 25^\circ C$ )	$I_E$	200	Ampere s
Peak Emitter Current**	$I_{EM}$	400*	Ampere s
Maximum Collector Dissipation ( $T_C = 25^\circ C, T_j \leq 150^\circ C$ )	$P_C$	780	Watts
Mounting Torque, M5 Main Terminal	-	1.47 ~ 1.96	N · m
Mounting Torque, M6 Mounting	-	1.96 ~ 2.94	N · m
Weight	-	270	Grams
Isolation Voltage (Main Terminal to Baseplate, AC 1 min.)	$V_{iso}$	2500	Vrms

Рисунок Б.3 – Дополнительные технические характеристики

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Технические характеристики высокочастотного конденсатора К78-36

Конденсаторы К78-36 предназначены для работы в цепях переменного, пульсирующего токов. Фирмой производителем обеспечивается высокая стабильность параметров и долговечность.

Таблица В.1 – Технические характеристики конденсатора К78-36

Наименование показателя	Значения
Серия/Диэлектрик	К78-36/ полипропиленовые металлизированные
Номинальная емкость, мкФ	$7 \pm 5\%$
Номинальное напряжение, В	450
Тангенс угла потерь	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Сопротивление изоляции, Ом	$3 \cdot 10^9$

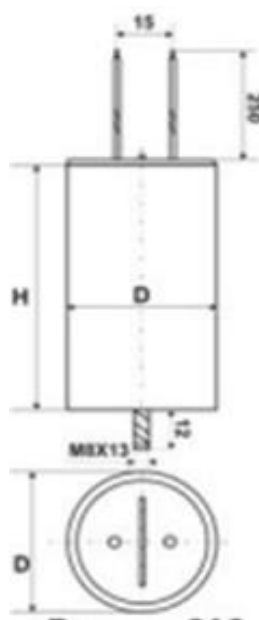


Рисунок В.1 – Внешний вид с указанием габаритных параметров конденсатора К78-36

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Технические характеристики транзистора IGBT HGTG20N60A4

Выбранный IGBT HGTG20N60A4 позиционируется фирмой производителем, как высокочастотный транзистор с ультравысокой скоростью переключений и с минимальной индуктивностью. При температуре нагрева 110 градусов, необходимо применять внешнее охлаждение, так как наблюдается снижение максимального допустимого тока до 40А.

Таблица Г.1 – Технические параметры IGBT HGTG20N60A4

$U_{к-э.макс}$ , В	$I_{к.макс}$ , А	$f_{ком}$ , кГц	Допустимый перепад Т
600	70	30	-55/+150



Рисунок Г.1 – Внешний вид и схема электрических соединений транзистора IGBT HGTG20N60A4

**Absolute Maximum Ratings**  $T_C = 25^{\circ}C$ , Unless Otherwise Specified

	HGTG20N60A4, HGTP20N60A4	UNITS
Collector to Emitter Voltage .....	600	V
Collector Current Continuous		
At $T_C = 25^{\circ}C$ .....	70	A
At $T_C = 110^{\circ}C$ .....	40	A
Collector Current Pulsed (Note 1) .....	280	A
Gate to Emitter Voltage Continuous .....	±20	V
Gate to Emitter Voltage Pulsed .....	±30	V
Switching Safe Operating Area at $T_J = 150^{\circ}C$ (Figure 2) .....	100A at 600V	
Power Dissipation Total at $T_C = 25^{\circ}C$ .....	290	W
Power Dissipation Derating $T_C > 25^{\circ}C$ .....	2.32	W/ $^{\circ}C$
Operating and Storage Junction Temperature Range .....	-55 to 150	$^{\circ}C$
Maximum Lead Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s .....	300	$^{\circ}C$
Package Body for 10s, See Tech Brief 334 .....	260	$^{\circ}C$

Рисунок Г.2 – Дополнительные технические характеристики

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Технические характеристики диода VS-40EPF04PBF компании «Vishay»

Выбранный диод VS-40EPF04PBF относится к быстродействующему классу диодов и изготавливается специально для работы в источниках питания и сварочных аппаратах, что подразумевает большие значения максимального прямого тока.

Таблица Д.1 – Технические характеристики диода VS-40EPF04PBF

$I_{np}$ , А	40
$U_{обр}$ , В	600
Прямое напряжение, В	1,25
Обратный ток утечки, мкА	100
Время восстановления, мкс	0,18

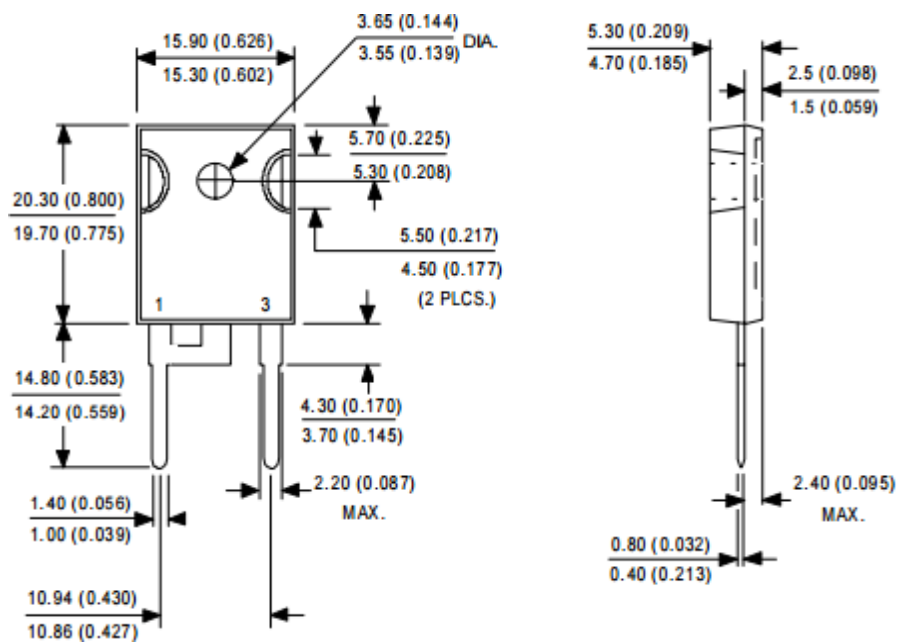


Рисунок Д.1 – Чертеж выбранного диода



## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Технические параметры конденсатора К78-36

Выбранный конденсатор ЕСАР (К78-36) благодаря электрохимическому принципу работы, обладает следующими преимуществами:

- высокая удельная емкость;
- высокий максимально допустимый ток пульсации;
- высокая надежность.

Таблица Е.1 – Технические параметры конденсатора К78-36

Номинальное напряжение, В	450
Номинальная емкость, мкФ	100
Интервал рабочих температур, °С	-40/+55
Допуск номинальной емкости, %	20
Тангенс угла потерь, %	0,2

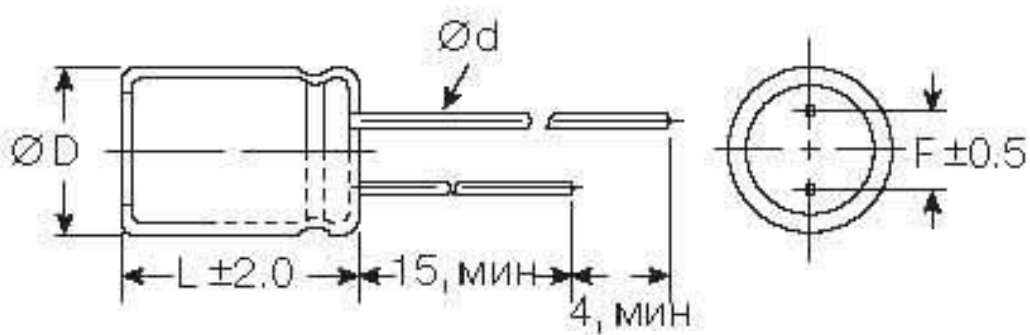


Рисунок Е.1 – Чертеж выбранного конденсатора

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Технические параметры транзистора IGBT IRGB4607DPBF

Выбранный IGBT IRGB4607DPBF позиционируется фирмой производителем, как высокочастотный транзистор.

Таблица Ж.1 - Технические параметры транзистора IGBT IRGB4607DPBF

$U_{к-э макс}, В$	$I_{к макс}, А$	$f_{ком}, кГц$	Допустимый перепад Т
600	7	30	-55/+175

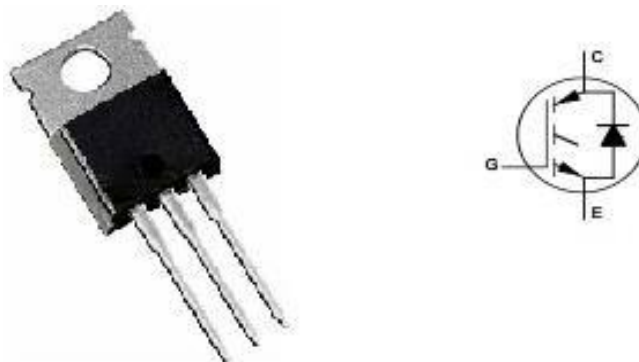


Рисунок Ж.1 – Внешний вид и схема электрических соединений транзистора IGBT IRGB4607DPBF

#### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$V_{CE}$	Collector-to-Emitter Voltage	600	V
$I_C @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Collector Current	11	A
$I_C @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Collector Current	7.0	
$I_{CM}$	Pulse Collector Current, $V_{GE}=20V$	12	
$I_{LM}$	Clamped Inductive Load Current, $V_{GE}=20V \text{ } \text{\textcircled{D}}$	16	
$I_F @ T_C = 25^\circ C$	Diode Continuous Forward Current	8.0	
$I_F @ T_C = 100^\circ C$	Diode Continuous Forward Current	5.0	V
$I_{FM}$	Diode Maximum Forward Current	16	
$V_{GE}$	Continuous Gate-to-Emitter Voltage	$\pm 20$	V
	Transient Gate-to-Emitter Voltage	$\pm 30$	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	58	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$	Maximum Power Dissipation	29	
$T_J$	Operating Junction and	-40 to +175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 sec. (1.6mm) from case)		
	Mounting Torque, 6-32 or M3 Screw	10 lbf-in (1.1 N-m)	

Рисунок Ж.2 – Дополнительные технические характеристики

## ПРИЛОЖЕНИЕ К

### Технические характеристики диода HFA04TB60

Выбранный диод HFA04TB60 относится к ультрабыстрому классу диодов и изготавливается специально для работы в источниках питания и сварочных аппаратах.

Таблица К.1 – Технические характеристики диода HFA04TB60

$I_{np}$ , А	4
$U_{обр}$ , В	600
Прямое напряжение, В	1,8
Обратный ток утечки, мкА	3
Время восстановления, мкс	0,017

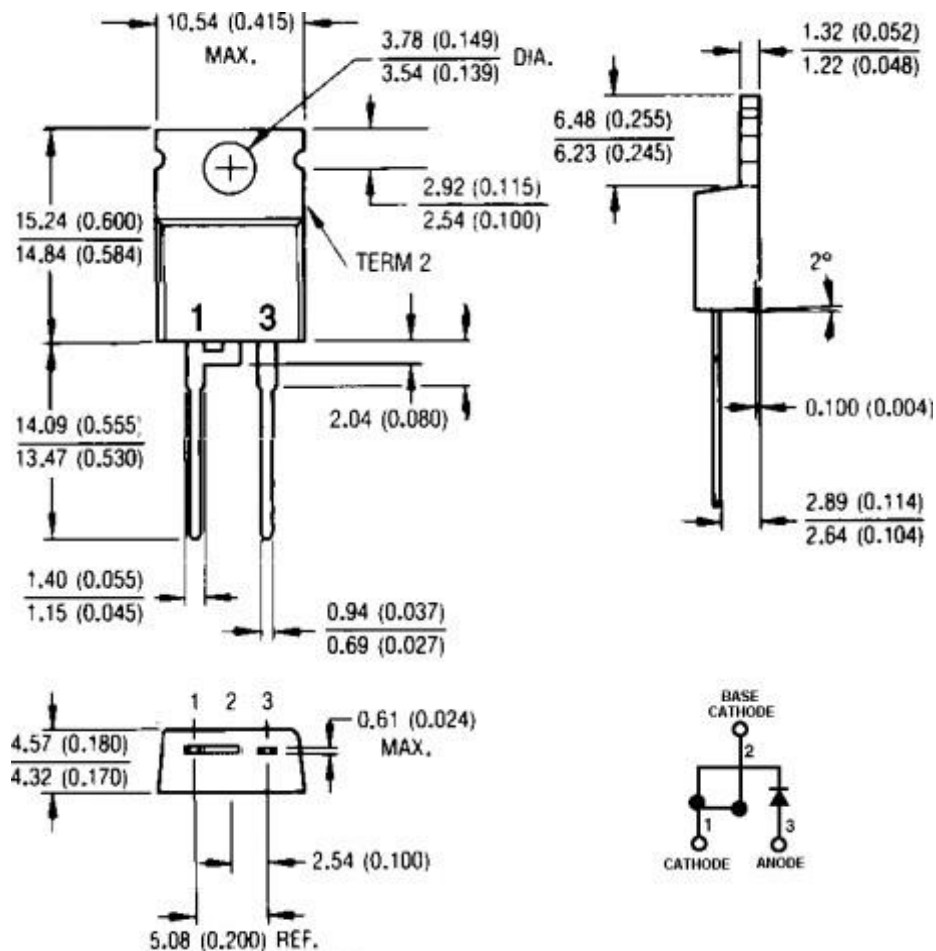


Рисунок К.1 – Чертеж диода HFA04TB60

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

### Технические параметры конденсатора ЕСАР (К50-35) ТКR100M2WJ20

Выбранный конденсатор ЕСАР (К50-35) ТКR100M2WJ20 позиционируется фирмой-изготовителем Jamicon как конденсатор, разработанный для профессиональной и полупрофессиональной электроники.

Таблица Л1 – Технические параметры конденсатора ЕСАР (К50-35) ТКR100M2WJ20

Номинальное напряжение, В	450
Номинальная емкость, мкФ	10
Интервал рабочих температур,	-25/+105
Допуск номинальной емкости, %	20
Тангенс угла потерь, %	0,2

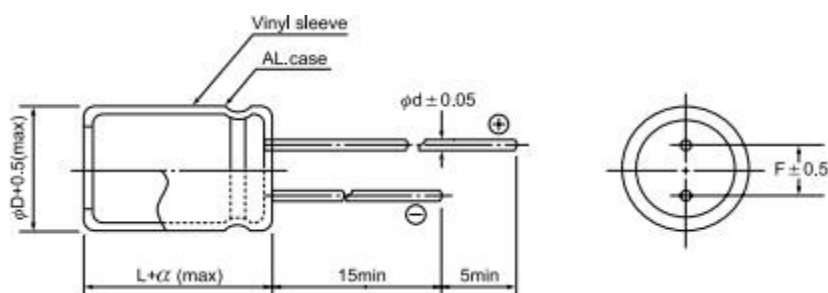


Рисунок Л.1 – Чертеж конденсатора ЕСАР (К50-35) ТКR100M2WJ20

## ПРИЛОЖЕНИЕ М

### Технические характеристики диода VS-40EPF04PBF

Выбранный диод VS-40EPF04PBF относится к быстродействующему классу диодов и изготавливается специально для работы в источниках питания и сварочных аппаратах, что подразумевает большие значения максимального прямого тока.

Таблица М.1 – Технические характеристики диода VS-40EPF04PBF

$I_{пр}, A$	60
$U_{обр}, B$	400
Прямое напряжение, В	1,3
Обратный ток утечки, мкА	500
Время восстановления, мкс	0,18

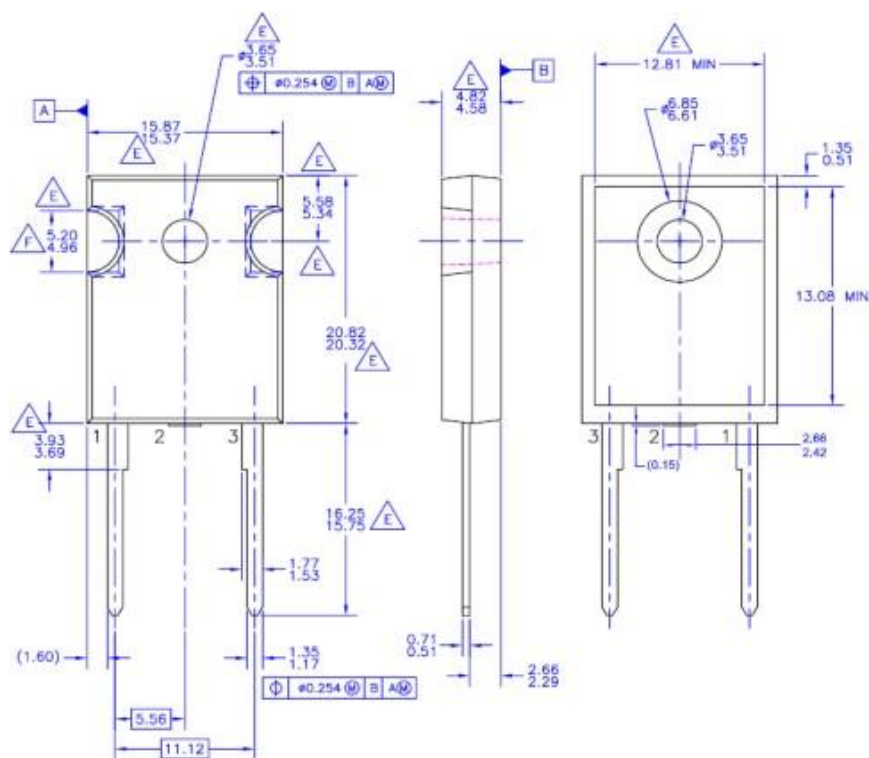


Рисунок М.1 – Чертеж диода VS-40EPF04PBF

## ПРИЛОЖЕНИЕ Н

### Технические характеристики диода VS-10ETF06PBF

Выбранный диод VS-10ETF06PBF относится к быстродействующему классу диодов и изготавливается специально для работы в источниках питания и сварочных аппаратах, что подразумевает большие значения максимального прямого тока.

Таблица Н.1 – Технические характеристики диода VS-10ETF06PBF

$I_{np}$ , А	10
$U_{обр}$ , В	600
Прямое напряжение, В	1,2
Обратный ток утечки, мкА	100
Время восстановления, мкс	0,145

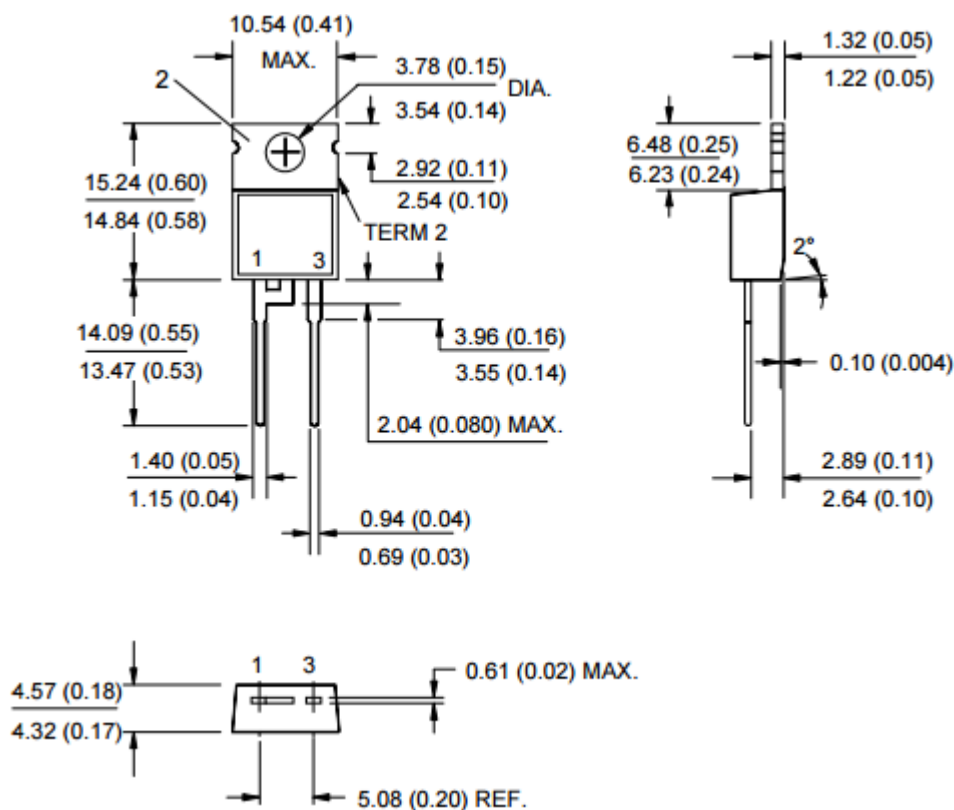


Рисунок Н.1 – Чертеж диода VS-10ETF06PBF

## ПРИЛОЖЕНИЕ П

### Техническая характеристика конденсатора серии ЕСАР (К50-35) В43456А9478М000

Выбранный конденсатор ЕСАР (К50-35) В43456А9478М000 позиционируется фирмой-изготовителем Ерсос как конденсатор, разработанный для профессиональных источников питания, ИБП, преобразователей частоты.

Номинальное напряжение $V_R$	350 ... 450 В (DC)	
Импульсное напряжение $V_S$	$1.10 \cdot V_R$	
Номинальная емкость $C_R$	1000...18000 мкФ	
Допуск емкости	$\pm 20\% \pm M$	
Ток утечки $I_{leak}$ (20 °C, 5 мин)	$I_{leak} \leq 0.3 \text{ мкА} \cdot \left( \frac{C_R}{\text{мкФ}} \cdot \frac{V_R}{\text{В}} \right)^{0.7} + 4 \text{ мкА}$	
Собственная индуктивность ESL	$d = 51.6 \text{ мм} : \approx 15 \text{ нГн}$ $d > 64.3 \text{ мм} : \approx 20 \text{ нГн}$ Версия с низкой индуктивностью: $d \geq 64.3 \text{ мм} : \approx 13 \text{ нГн}$	
Срок службы 85 °C; $V_R; I_{AC,R}$ 40 °C; $V_R; 1.5 \cdot I_{AC,R}$	$> 12000 \text{ ч}$ $> 250000 \text{ ч}$	Требования: $\Delta C/C \leq \pm 30\%$ от начального значения $ESR \leq 3 \times \text{нач. заданный предел}$ $I_{leak} \leq \text{нач. заданный предел}$
Испытание на долговечность по напряжению 85 °C; $V_R$	2000 ч	Требования к параметрам после испытаний: $\Delta C/C \leq \pm 10\%$ от начального значения $ESR \leq 1.3 \times \text{нач. заданный предел}$ $I_{leak} \leq \text{нач. заданный предел}$
Испытание на виброустойчивость	МЭК 60068-2-6, тест Fc: Амплитуда смещения 0.75 мм, диапазон частот 10...55 Гц, максимальное ускорение 10 g, продолжительность $3 \times 2 \text{ ч}$ . Корпус конденсатора жестко зафиксирован на поверхности.	
Низкотемпературные характеристики	Отношение импедансов: $Z_{-40^\circ\text{C}}/Z_{+20^\circ\text{C}} (100\text{Hz})$ $\leq 7$ (при $V_R \leq 400 \text{ В (DC)}$ ) $\leq 9$ (при $V_R = 450 \text{ В (DC)}$ )	
Климатическая группа МЭК	МЭК 60068-1: – $V_R \leq 400 \text{ В (DC)}$ : 40/085/56 (–40 °C/+85 °C/56-дневное испытание на влажный нагрев) – $V_R = 450 \text{ В (DC)}$ : 25/085/56 (–25 °C/+85 °C/56-дневное испытание на влажный нагрев) Хотя конденсаторы рассчитаны на работу при температурах –40...+85 °C, необходимо учитывать увеличение импеданса при охлаждении	
Подробные спецификации	Аналогичны СЕСС 30301-803, СЕСС 30301-807	
Групповые спецификации	МЭК 60384-4	

Рисунок П.1 – Технические характеристика конденсатора серии ЕСАР(К50-35) В43456А9478М000

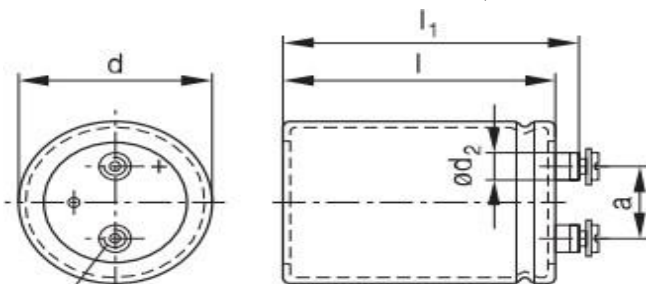


Рисунок П.2 – Чертеж конденсатора серии ЕСАР(К50-35) В43456А9478М000

## ПРИЛОЖЕНИЕ Р

### Технические параметры конденсатора ЕСАР (К50-35) ТКР100М2WJ20

Выбранный конденсатор ЕСАР (К50-35) ТКР100М2WJ20 позиционируется фирмой-изготовителем Jamicon как конденсатор, разработанный для профессиональной и полупрофессиональной электроники.

Таблица Р.1 – Технические параметры конденсатора ЕСАР (К50-35) КR100M2WJ20

Номинальное напряжение, В	450
Номинальная емкость, мкФ	470
Интервал рабочих температур,	-40/+105
Допуск номинальной емкости, %	20
Тангенс угла потерь, %	0,2

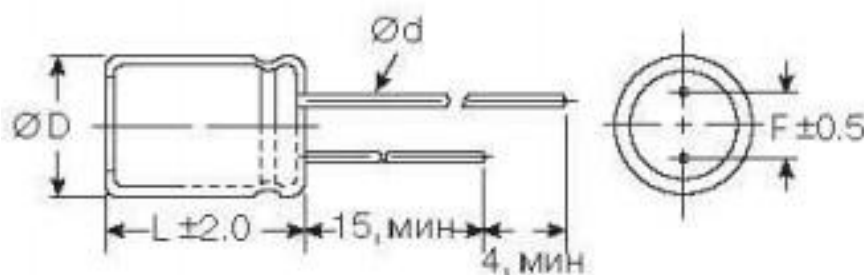


Рисунок Р.1 – Чертеж конденсатора ЕСАР (К50-35) ТКР100М2WJ20



## ПРИЛОЖЕНИЕ С

### Технические параметры конденсатора ЕСАР В43458-А9158-М

Выбранный конденсатор ЕСАР (К50-35) В43458-А9158-М позиционируется фирмой-изготовителем Ерсос как конденсатор, разработанный для профессиональной и полупрофессиональной электроники, фильтрации, импульсных схем.

Таблица С.1 – Технические параметры конденсатора ЕСАР В43458-А9158-М

Номинальное напряжение, В	400
Номинальная емкость, мкФ	1500
Интервал рабочих температур,	-40/+85
Допуск номинальной емкости, %	20
Тангенс угла потерь, %	0,15

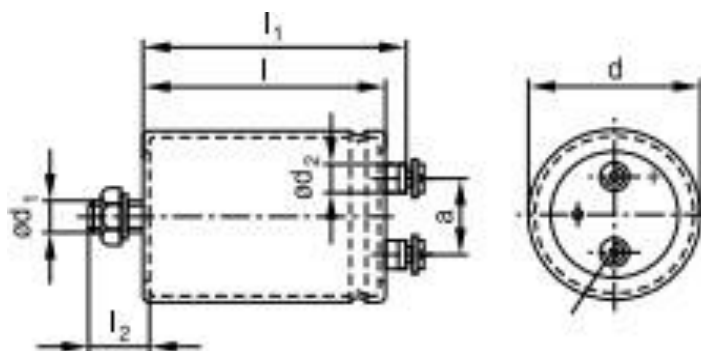


Рисунок С.1 – Чертеж конденсатора ЕСАР В43458-А9158-М

## ПРИЛОЖЕНИЕ Т

### The uninterruptible power supply for essential service

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Пугач Евгений Николаевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Данил Юрьевич	Кандидат технических наук		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пташкин Александр Сергеевич	Кандидат филологических наук		

## INTRODUCTION

Currently, there is a trend of increasing the protection needs of some electric consumers. Although the voltage generated has almost no deviation when the power is delivered to the consumer, the quality of the voltage waveform is far from ideal. The interference is not allowed for responsible consumers, e.g., significant voltage surges, voltage drops, can cost hundreds times greater than the hardware on which is used for data storage and processing.

The aberrations in the electric power supply can cause emergency situations such as equipment damages, injures of personnel. The information erased during the emergency can cost much more than the hardware, which is used for data storage and processing. It is necessary to point out that it is economically profitable to provide proper quality of electric power. Therefore, the topic and task are relevant within the scope of this thesis.

Statistics shows that many causes of disturbances exist in networks. Firstly, those are mismatched parameters of electric Power. Secondly, natural disasters contribute greatly to the overall situation with the disturbances. Finally, blackouts, sabotages, and other things also have an effect on the system disturbance. The situation can be tackled by installing an uninterruptible power supply (UPS). Peculiarities of telecommunications equipment require a special approach to the UPS selection. First, the battery lifetime should be long enough to provide a stable power supply. Secondly, the voltage drop should be small in the UPS. It is used with telecommunication systems; it happens when switching from one energy source to another.

We follow the goal to develop a UPS, which can be suitable for the rectifier load. Moreover, we met the following obstacles: a. identification of the key features of the responsible AC consumer; b. choice of an electric circuit of a three-phase uninterruptible power supplies, outlining their advantages and features; c. calculation of the parameters of the required components of the circuit chosen; d. creation of a model of UPS; analysis of the results; e. evaluation of the results.

P. Smith, the respected author of the book “Consumer Power Solutions”, shares the statistics of power supply failures.

Power supply problems are the largest cause of the data loss [1]:

- Short-term mains supply malfunction	45.3%
- Hurricane	10.4%
- Fire	7.2%
- Hardware/Software error	8.2%
- Flood & Water Damage	6.7%
- Human Error/Sabotage	5.2%
- Network Outage	4.5%
- Earthquake	3.5%
- Other	6.7%

Also he describes how UPS operates.

When an emergency power supply loss occurs, UPS instantly switches the computer to the battery backup power supply, allowing to save the data during the situation. The low response time of the system under development allows to protect the computer from thunderbolts to the mains supply, voltage oscillations, and power surges. These essential time lag ensures that the necessary data and mission-critical business applications will be saved.

Therefore, electric converter circuits that can provide the decent power quality and continuity of electric power supply are discussed below.

### **Interruptions of power supply of industrial enterprises**

Electric power production and distribution systems operate in different modes. In real time, the level of electricity consumption in the enterprise is constantly changing. Short-term disturbances occur in the power supply under normal operation conditions; it leads to jumps in currents exceeding the nominal values of the currents of the system elements. These modes are given special attention in the design and operation of the power supply system [1].

The main cause of short-term disturbances are short circuits that can be caused by lightning strikes, insulation pollution, mechanical damages of insulators

and power line supports, touching wires with certain objects and other causes. The emergency operation mode lasts until the moment when the protection of the power systems is triggered; it disconnects the emergency area.

It is necessary to take into account possible faults for the correct choice of electrical equipment designing power system. Special computer programs allow you to simulate the power supply system and improve the quality of the selection of system elements.

Power supply simulation model allows predicting emergency situations, investigating the load variations and switch on UPS timely. Moreover the model helps to estimate the quality of the mains supply protection measures when malfunction and overall system failure occur.

### **Essentials of UPS**

The UPS system can perform several actions related to power quality and reliability. The system provides additional power supply in case of major power supply failure. The typical time range may take several seconds or even several hours depending on the application. In computer halls the UPS supports power supply until switching on back-up generators. A UPS within household applications usually represents the reserve power system.

Typical large-scale systems that need protection by UPS systems are airport lighting, data centers, industrial processing plants and medical systems. Uninterruptible operation of such systems for airport lighting systems, data processing centers, medical utilities and industrial enterprises extensively depends on the UPS systems. They use more than 30 UPS systems that work to back-up power supply and maintain decent quality of the UPS output voltage and current.

### **Types of uninterruptible power supply**

A customer can find the compromise between the sizes and functionalities because UPSs are implemented in a wide range of applications. They can be safe shutdown of personal computers and back-up systems for entire server installations.

The UPS systems can be attributed to either stationary, utilizing a battery for electric power storage or rotary, based on the rotating mass to store energy in the form of mechanical energy. The majority of UPS types are stationary, and rotating mass technology is generally used in high power applications where back-up power is only supposed to operate for a few seconds. Hybrids of the two technologies are also viable, but they are only employed in large scale systems to supply critical loads because of the increased costs. Only stationary UPS systems are the subject of this thesis.

Stationary UPSs fall into four main categories based on their performance and basic operating principle. The categories are: on-line, off-line, line-interactive, and delta conversion UPSs.

### Off-Line UPS

Off-line UPSs are generally used in small power applications, for example, they are used for household purposes, for personal computers in backup systems. The off-line UPS plays a role of a secondary power source in the case of the normal power supply failure. The principle operation of an off-line UPS is demonstrated in Figure A1.

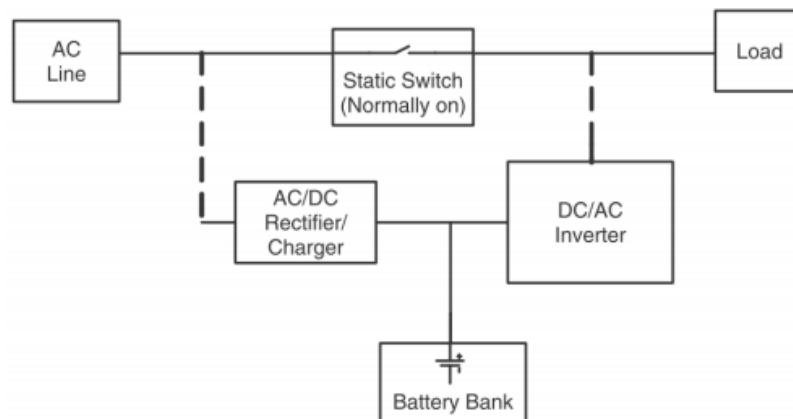


Figure A1 – Block diagram of off-line UPS

An off-line UPS passes the surge voltage to the protected system until it hits a predetermined level, around 115% of the input voltage in the case of power surges. At the surge limit value, the unit then goes to battery. With high-voltage spikes and switching transients, they give reasonably good coverage. For power

sags, electrical line noise and brownouts, off-line UPSs protect only when the battery is delivering power to the protected system.

A similar limitation exists in the case of frequency variation. An off-line UPS protects only if the inverter is operating on battery. If the input frequency varies outside the device's range, the unit is forced to go to the battery to regulate the output to the computer. It may drain the battery in very unstable conditions, making it unavailable during a blackout.

Since off-line UPSs provide only partial protection against many common power problems, they are most often used to shield single-user PCs and other less-critical applications.

### On-Line UPS

If high quality of the electric power supply is required, the on-line UPS systems are used. This type of UPS suggests that the load is electrically isolated from the supply. The electric power is converted by a rectifier from AC to DC and then back to AC by a voltage source inverter (Figure A2).

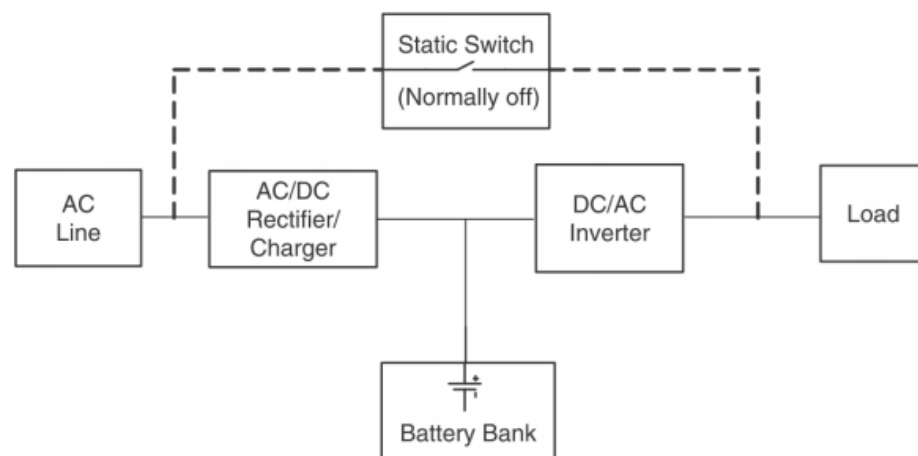


Figure A.2 – Block diagram of on-line UPS

The advantage of this UPS design is that the power consumer is supplied directly from UPS. Moreover, the protection from possible interference is provided. The voltage and frequency can be adjusted according to the consumer's requirements. The versatility of this type of UPS ensured wide application in the field-related companies.

This UPS type also has some drawbacks. Converting losses lead to lower efficiency in comparison with other UPS types.

On-line UPSs are also the most cost-effective way to ensure comprehensive power protection. On-line systems provide the same benefits of a standby UPS in conjunction with a line conditioner, at a price lower than the cost of both components.

### **Line-interactive UPS**

The UPS of line-interactive type contains integrated autotransformer. This element allows the UPS to provide wide-range voltage stabilization, without implementing the batteries. Automated voltage control techniques allows to handle with considerable voltage variations. Signal step-wise correction can be performed either to the lower level or to the higher one.

A line-interactive UPS with power sags may use a tapped transformer to provide the voltage levels needed to maintain output voltage. The unit switches to the battery to adjust the tap location down at certain intervals in order to maintain the output voltage as the input voltage falls, eventually going to battery full-time, the input voltage reaches a pre-selected level. This system offers adequate protection as long as the power sage doesn't change; it may reduce the battery time. In this case, it is used frequently and may not recharge itself in time for use in a power outage.

These devices for electrical line noise and frequency variation work when the inverter is operated and the battery is the power source, which may drain the battery during prolonged unstable conditions that typically occur during generator operations. Some line-interactive UPSs in the case of brown-outs have tapped transformers that protect against this problem. It may reduce battery hold-up time if a power outage occurs before the recharge is complete.

Ferroresonant UPSs, which is another hybrid technology, keep the inverter in standby mode similar to line-interactive and standby UPSs. The protected system, however, is powered from the utility through the ferroresonant transformer. The transformer provides voltage regulation and power conditioning



for disturbances such as electrical line noise. The ferroresonant transformer also maintains a reserve of energy that is usually sufficient to power most computers, i.e. PCs, when a total outage occurs. It keeps the computer supplied with power within most input requirements until the inverter is switched on [2; 3].

If the input frequency is unstable, the ferroresonant topology will subject the load to some voltage excursions in addition to frequency fluctuations. When the frequency variations exceed a pre-set limit, the unit will supply stable voltage and frequency to the load through the back-up battery and inverter.

Ferroresonant technology is also sensitive to sudden current surges in the load input currents. It may cause a significant change in the output voltage of the UPS. In general, ferroresonant UPSs work properly with non-computer technology or linear loads such as motor, beaters and lights.

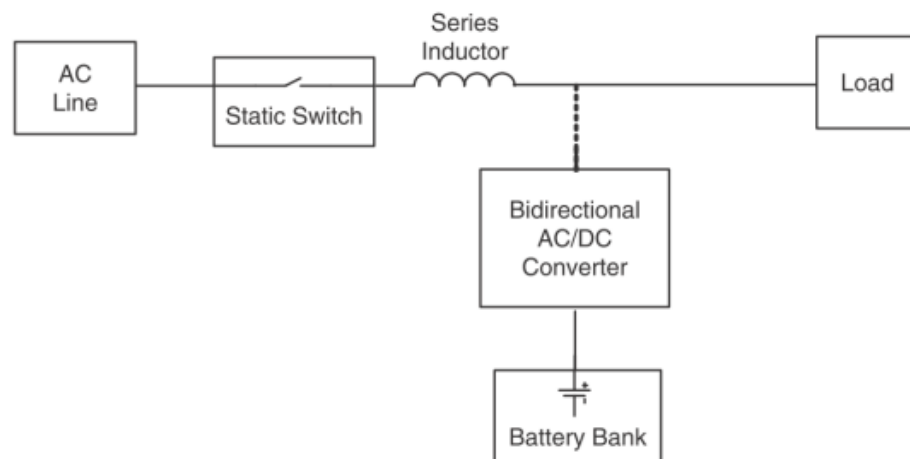


Figure A3 – Block diagram of the line-interactive UPS.

### **Delta conversion UPS**

Big data centers use high power, and the high losses associated with the double energy conversion of the on-line UPS can lead to high costs in such applications. For such applications an up-to-date version of UPS called delta conversion UPS can be employed.

The battery in this type of UPS is charged from two converters.

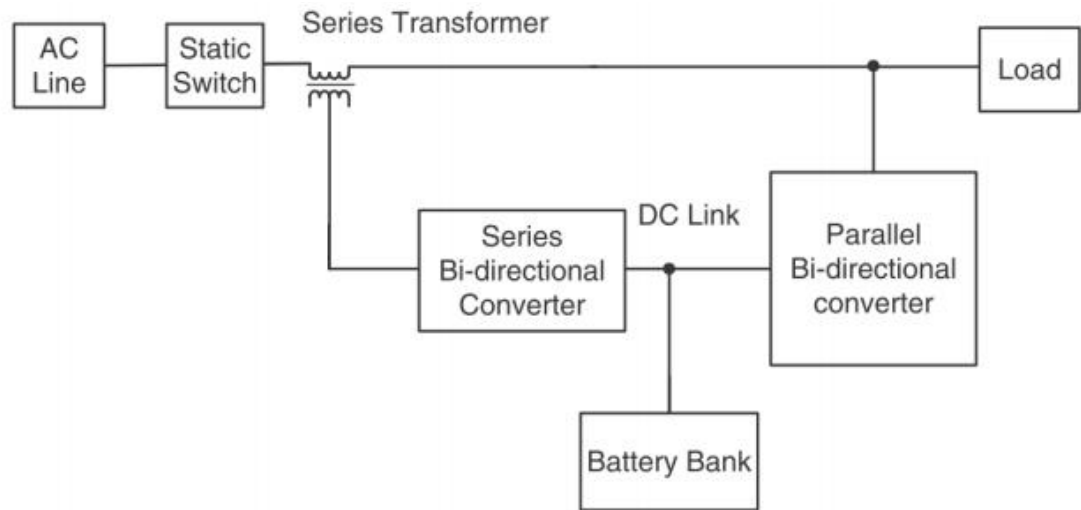


Figure A4 – Block diagram of the true (or delta conversion) UPS.

The consumer receives the main power from the network. The battery and transducers are used to smooth out network disturbances. Parallel-connected converter eliminates harmonic distortions. The series-connected converter aligns the mains voltage.

### **Power Electronics**

It is necessary to mention the field of using power electronics: it is connected with power electronic circuits used to control the electric power flow in a system [4]. So, power semiconductor switches (MOSFETs, IGBTs, SCRs, etc.) are implemented to accomplish this.

### **DC-DC converters**

These devices use the power of one voltage/current level to another. The three types of DC-DC converters widely used are as follows: the buck converter (steps down the voltage), the boost converter (steps up the voltage), while the buck-boost converter [4].

### **Step-down Converters**

Such devices are based on the inductor  $L$  and diode  $D$ . When the switch  $S$  is on, the current flows through the load across the inductor  $L$ . During this time the inductor  $L$  is being charged. If the switch  $S$  is off the diode will be open and the inductor  $L$  discharges.

The capacitors smooth out the input and output voltage ripples. If the inductor conducts current continuously, the buck converter operates in continuous conduction mode.

### Step-up converter

When the switch  $S$  is on, the inductor  $L$  stores magnetic energy. The current flows across the inductor  $L$  and input filter. Thus, such kind of current flows through the inductor, and because the resistance is absent, the current continues to go up until the switch  $S$  is switched off. When the switch is turned off, the inductor maintains the current across.

### AC-DC converters

A rectifier is used to convert power from AC to DC. The diode is introduced in this circuit in series to the load. However, the waveform received is not ideal. The circuit eliminated a certain negative part of the AC current. Thus, we will observe no current flowing in the circuit 50% of the time, under pure resistive load [5].

A full-wave rectifier contains 4 diodes. The rectifier converts negative half-waves into positive ones. Figure A5 displays the rectifier current waveform. By implementing an inductor to the load, we observe that the current is being smoothed out.

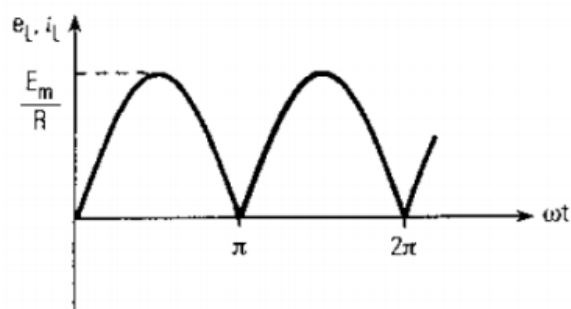


Figure A5 –Load voltage and current of a full-wave rectifier.

A controllable switch can be connected to the load to control the average output voltage in a full-wave rectifier. In particular, thyristors can be used instead of all diodes. By installing thyristors instead of diodes, we define that the device is able to operate both as a rectifier and as an inverter.

To make the ripple factor lower and approximate the output voltage closer to an ideal DC voltage, filters can be implemented. There are two major filter designs commonly used in rectifiers: inductor and capacitor filters.

Inductor filters are preferable in high power applications, whereas capacitor filters are cheaper but cause problems with excessive turn-on currents and currents surges. The inductance values need to be sufficiently large to support current across the load. The boundary inductance value that distinguishes the continuous and discontinuous operations is called critical inductance.

Capacitor filters are used to control the rectifier output voltage rather than the current. It leads to certain data in turns of waveforms and voltage. See Figure A6. As we can see, the major lack of these filters is observed. Thus, the supply current is distorted and large in comparison with inductor filters. Moreover, capacitor filtering presupposes that the current is very large. When we start the circuit, we observe that the capacitor acts as a short circuit; the initial capacitor voltage is zero. A resistor placed on the AC side is conventionally implemented to limit the current through the capacitor, leading to higher loss in the circuit.

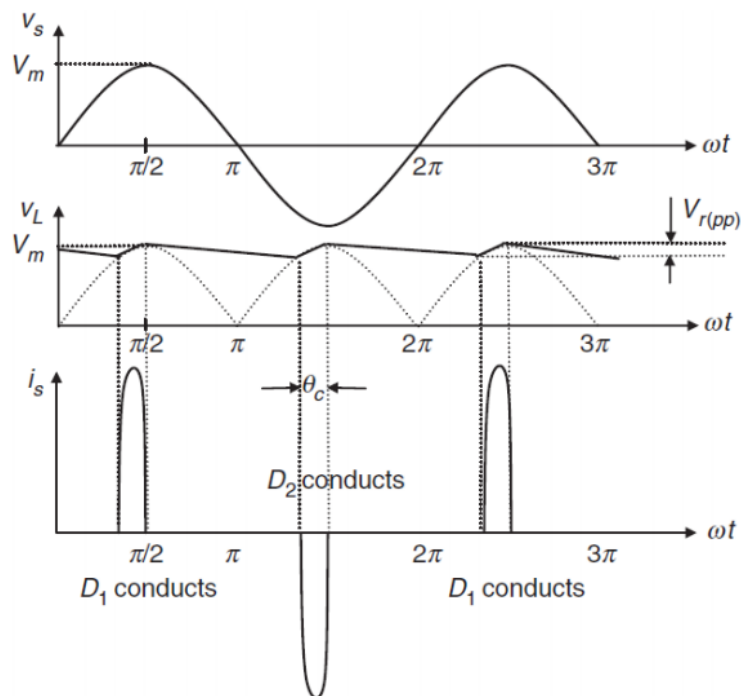


Figure A6 – Voltage and source current waveforms of a rectifier capacitor filter

DC-DC and DC-AC converters are more efficient in comparison with AC-DC converters. The efficiency of DC-DC converters equals to 94% whereas that of AC-DC converters equals to approximately 91% [6].

## **Conclusion**

UPS provides protection from equipment damage, technological processes malfunction and data loss.

The online UPS is used to supply the workstations and file servers. Local networks as well as critical equipment that demands the high quality of the supply power are also in the focus of such UPS. The circuit of on-line is considered as the advanced one to protect the load against any problems that are connected with power. Standby UPS are known to offer "non-critical" computer systems that are effective from the point of view of the cost. The small power capacity is their advantage. Moreover, the specialists point out simplicity and low cost, considering the UPS of the backup type. As for disadvantages, it is as follows: a sufficient switching time ( $\sim 4$  ms) to the battery.

The additional generators are required in the case of long connection. The lead-acid power batteries greatly predominate over other secondary sources of the systems under development. The most significant disadvantage inherent to lead-acid batteries is its intensive gassing. Such batteries in some areas are still extremely cost-effective due to the low self-discharge, no memory effect and minimal maintenance requirements.

Thus, modern technology is consistently developing. Enhancement and improvement of UPS technology go systematically. There is a wide variety of UPS which can be adjusted to any power rating.

## References

- [1] Luenberger D.G. Introduction to dynamic systems. – New York: Wiley, 1979. – 446 p.
- [2] Benzaouia A., Hmamed A., Tadeo F. Two-Dimensional Systems: From Introduction to the State of the Art. – New York: Springer, 2016. – 295 p.
- [3] Lopez C.P. MATLAB Control Systems Engineering. – New York: Springer, 2014. – 163 p.
- [4] Letov A.M. Stability in Nonlinear Control Systems. – New Jersey: Princeton University Press, 2015. – 333 p.
- [5] Hesagawa Y. Control Problems of Discrete-Time Dynamical Systems. – Berlin: Springer, 2015. – 233 p.
- [6] Casals J. et al. State-space methods for time series analysis. – New York: Springer, 2016. – 290 p