

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

Институт Энергетический
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривода и электрооборудования

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Источник бесперебойного питания для ответственных потребителей электрической энергии

УДК 621.311.68.001.6 – 047.37:621.311.004.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Б	Андреев Юрий Альбертович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдинцев Антон Геннадьевич	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	Кандидат технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ЭПЭО	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук, доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
Р1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный</i> и <i>общекультурный</i> уровень, добиваться <i>нравственного</i> и <i>физического</i> совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
Р2	<i>Свободно пользоваться</i> русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
Р3	<i>Использовать</i> на практике <i>навыки</i> и <i>умения</i> в организации научно-исследовательских и производственных работ, в <i>управлении</i> коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
Р4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах <i>научного познания</i> и <i>творчества</i> , роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением <i>современных информационных технологий</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
Р5	<i>Применять</i> углубленные <i>естественнонаучные, математические, социально-экономические</i> и <i>профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
Р6	Ставить и <i>решать</i> <i>инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
Р7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.

P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> 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.
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные</i> , наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое <i>оборудование</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

Институт Энергетический
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Ю.Н. Дементьев
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Б	Андреев Юрий Альбертович

Тема работы:

Источник бесперебойного питания для ответственных потребителей электрической энергии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Источник бесперебойного питания для ответственных потребителей электрической энергии. Номинальная мощность – 11,1 кВА;(10 кВт) Номинальное входное напряжения – 220/380 В; Диапазон входного напряжения – +/- 25% от номинального значения; Частота питающей сети – 50 Гц; Входной коэффициент мощности – 0,9; Номинальное выходное напряжение – 220 В; Отклонение выходного напряжения – +/- 2% в режиме on – line; +/- 3% в режиме от батарей; Частота выходного напряжения – 50 Гц; Время резервирования:– 20 мин;
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(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).</i>	1. Обзор источников бесперебойного питания ответственных потребителей. 2. Разработка функциональной схемы ИБП. 3. Расчет и выбор силовой части ИБП. 4. Разработка и исследование имитационной модели ИБП в среде Matlab.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Электрическая принципиальная схема силовой части ИБП. 2. Имитационная модель ИБП. 3. Результаты исследований.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко Аркадий Альбертович
«Социальная ответственность»	Романцов Игорь Иванович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение, обзор основных типов источников бесперебойного питания, обзор силовых преобразователей энергии, заключение.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	9.09.2014 г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдинцев Антон Геннадьевич	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Б	Андреев Юрий Альбертович		

Форма задания для раздела магистерской диссертации
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Б	Андреев Юрий Альбертович

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	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>	Определить стоимость ресурсов научного исследования НИ: - монтажные работы; - Основная заработная плата; - Дополнительная заработная плата; - Прочие и накладные расходы.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Ставка дисконтирования
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ и оценка научно-технического уровня проекта НТИ
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Не разрабатывается
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	- Разработка календарного плана; - Формирование сметы затрат на НТИ.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	- Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. «Календарный план» 2. Смета затрат	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Б	Андреев Юрий Альбертович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Б	Андреев Юрий Альбертович

Институт	Магистр	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования		Направление/специальность	

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	1. Рабочая зона в помещении с установкой ИБП. Рабочее место заключается в обслуживании ИБП, замене и переоснащении оборудования.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека;
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения);
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению

– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	– План эвакуации – Автоматическая система тушения пожара
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	_____

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Б	Андреев Юрий Альбертович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 168 _____ с., _____ 108 _____ рис., _____ 40 _____ табл.,
_____ 27 _____ источников, _____ 10 _____ прил.

Ключевые слова: Источник бесперебойного питания, аккумуляторная батарея, ответственный потребитель, инвертор, фильтр, выпрямитель.

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

Цель работы – Разработка и исследование ИБП, расчет силовой части, разработка имитационной модели ИБП в среде Matlab Simulink, исследование работы при разных нагрузках, анализ высших гармоник.

В процессе исследования проводились эксперименты с имитационной моделью при разных нагрузках и режимах, анализ Фурье при разных нагрузках.

В результате исследования были установлены, что емкостная нагрузка негативно влияет на работу инвертора

Область применения: используется для питания ответственных потребителей электрической энергии

Экономическая эффективность/значимость работы увеличение срока эксплуатации оборудования, благодаря увеличением качества предоставляемого напряжения.

В будущем планируется увеличить коэффициент полезного действия источника бесперебойного питания

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	15
1. ОБЗОР И АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ	16
1.1 Основные типы ИБП.....	18
1.2 Структурные схемы ИБП с двойным преобразованием.	21
1.3 Описание работы проектируемой ИБП по предложенной структуре	30
2. РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОЙ ЧАСТИ ИБП.....	31
2.1 Выбор аккумуляторных батарей	32
2.2 Выбор типа модуляции.....	35
2.3 Расчет инвертора напряжения	37
2.4 Расчет коэффициента трансформации.....	39
2.5 Расчет фильтра на выходе	39
2.6 Расчет однофазного мостового выпрямителя	43
2.7 Расчёт сглаживающего фильтра.....	44
2.8 Расчет коэффициента трансформации	45
2.9 Расчет инвертора	47
2.10 Расчет неуправляемого выпрямителя	48
2.11 Расчет сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя.....	50
2.12 Выбор ключа для системы Байпас	51
2.13. КПД проектируемого источника бесперебойного питания	52
3. ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....	53
4. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕНИЕ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	55
5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИБП.....	57

5.1 Описание имитационной модели	57
5.2 Моделирование автономного режима ИБП	58
Исследование имитационной модели ИБП в автономном режиме при активной нагрузке	64
Исследование имитационной модели ИБП в автономном режиме при активно - индуктивной нагрузке.....	67
Исследование имитационной модели ИБП в автономном режиме при активно - емкостной нагрузке.....	72
Влияние гармоник в автономных режимах.....	75
Влияние высших гармоник на преобразовательное оборудование	75
Исследование имитационной модели ИБП в сетевом режиме.	77
Исследование имитационной модели ИБП в сетевом режиме при активной нагрузке.	79
Исследование имитационной модели ИБП в сетевом режиме при активно - индуктивной нагрузке.....	82
Имитация ИБП при переходе из сетевого режима в автономный режим.....	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	92
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	95
6.1 Понятие инвестиций	96
6.1.1 Роль инвестиций в экономике предприятия.....	96
6.1.2 Методики оценки инвестиций	99
6.1.3 Экономическая оценка инвестиции на основе затрат	107

6.2 Обоснование инвестиционных и эксплуатационных затрат при использовании различных типов источников бесперебойного питания в СБЭП.....	109
Экономическое обоснование выбора типа ИБП.....	117
Заключение	123
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	124
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	125
Техногенная безопасность	125
Информация по обслуживанию ИБП.....	126
Расчет искусственного освещения помещения для аккумуляторных батарей.....	128
Вентиляция помещений для аккумуляторных батарей	129
Микроклимат аккумуляторных помещений	130
Охрана окружающей среды	131
Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	132
Требования пожарной безопасности к помещениям.....	133
Приложение А	137
INTRODUCTION.....	138
1. Functionality and applications	140
1.2. Types of UPS	141
1.2.1. Off-Line UPS	142
1.2.2. On-Line UPS.....	143
1.2.3. Line-interactive UPS.....	144
1.2.4. True (or delta conversion) UPS	145
2. Power Electronics.....	146

2.1. DC–DC converters	146
2.2.1. Buck Converters	146
2.2.2. Boost converters	147
2.2.3. Buck-Boost converters	148
2.3. AC–DC converters	149
Conclusion	153
References	154
Приложение Б	155
Приложение В	157
Приложение Г	158
Приложение Д	160
Приложение Е	162
Приложение Ж	163
Приложение З	165
Приложение И	167
Приложение К	168

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире имеются проблемы для ответственных потребителей связанные с качеством электроэнергии. Не смотря на то, что при генерации электроэнергии напряжение почти не имеет отклонений, но когда электропитание достигает потребителя, качество электроэнергии заметно искажается. Большинство помех категорически недопустимы для ответственных потребителей, например, значительные провалы напряжения, перенапряжение, пропадание напряжения и колебания частоты. Последствия могут привести к значительным потерям и даже смерти человека, вызванным повреждением оборудования. Финансовые затраты от этого могут быть огромными. Поэтому проблема обеспечения качественной электроэнергией ответственных потребителей в настоящее время является актуальной.

Причин возникновения помех в сетях несколько. Это может быть несоответствие параметров электроэнергии, ошибка аппаратных средств, стихийные последствия, отключение электроэнергии, саботаж и прочее. В 50% случаев ситуацию можно исправить, установив источник бесперебойного питания. При наличии источника бесперебойного питания в случае отклонения напряжения оборудование может работать долго без вреда.

Данная работа посвящена разработке и исследованию источника бесперебойного питания для ответственного потребителя переменного тока. В ходе выполнения работы необходимо выбрать тип схемы разрабатываемого ИБП, и в соответствии с выбранным типом составить функциональную схему. Рассчитать и выбрать основные элементы силовой части ИБП. Провести исследование разработанной модели ИБП.

1. ОБЗОР И АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ

Источник бесперебойного питания – автоматическое устройство, устанавливаемое между источником электроснабжения и потребителем. Основной задачей ИБП является бесперебойное питание подключенной к нему нагрузки за счет энергии аккумуляторных батарей при пропадании сетевого напряжения или выхода его параметров (напряжение, частота) за допустимые пределы, а также корректировка параметров электропитания в допустимых пределах. [2]

Ответственный потребитель – это потребитель, нарушение электропитания которого может привести к следующим проблемам:

- Травмирование людей, вплоть до смертельных случаев;
- Аварийные ситуации, которые могут повлечь за собой экономические убытки, экологические бедствия и техногенные катастрофы;
- Массовые простои производства, нарушение особо важных элементов;

В качестве оборудования могут служить: серверные помещения, банковская система, центры обработки данных, военные объекты, медицинское оборудование, атомные электростанции, торговые и развлекательные центры, а также другие оборудования.

Условия для номинальной работы потребителей, задействованных в различных технологических процессах, являются: высокое качество питающего напряжения и бесперебойность.

В качестве оборудования могут служить: военные объекты серверные помещения, медицинское оборудование, центры обработки данных, торговые и развлекательные центры, банковская система, а также другое оборудования или потребители, нарушение электропитания которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, поломку дорогостоящего оборудования, или нарушить сложный технологический процесс, на наладку которого, может потребоваться много времени.

Проектируемый источник бесперебойного питания должен иметь следующие режимы работы:

Сетевой режим – режим питания нагрузки электроэнергией от сети. При наличии помех напряжения в пределах допустимого отклонения, и нагрузки, не превышающей максимально допустимую, ИБП работает в сетевом режиме. При этом режиме осуществляется:

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

Автономный режим – режим питания нагрузки энергией аккумуляторной батареи. При отклонении параметров сетевого напряжения за допустимые пределы или при полном пропадании сети ИБП мгновенно переходит на автономный режим питания нагрузки за счет энергии аккумуляторной батареи. При восстановлении напряжения сети ИБП автоматически перейдет в сетевой режим.

Режим Байпас – питание нагрузки напрямую от сети. Если в сетевом режиме происходит перегрузка или перегрев ИБП, а также, если один из узлов ИБП выходит из строя, то нагрузка автоматически переключается с выхода инвертора напрямую к сети. При снятии причин перехода в Байпас (перегрузки или перегрева) ИБП автоматически возвращается в нормальный сетевой режим с двойным преобразованием энергии. В данном режиме нагрузка не защищена от некачественного напряжения сети.

1.1 Основные типы ИБП

Резервный ИБП (off-line, Standby, back ups) – это тип источника бесперебойного питания, принцип действия которого заключается в переключении оборудования на резервный аккумулятор (является составной частью ИБП) при возникновении сбоев в питании. Данный тип ИБП является самым простым и экономичным. Предназначен для защиты на короткий период домашних или офисных персональных компьютеров. [3]

Таблица 1.1 – преимущества и недостатки резервного ИБП

Преимущества	Недостатки
Простота, экономичность, компактность.	Отсутствие стабилизации входного напряжения при работе от электросети, длительное время переключения в автономный режим, более высокий износ аккумуляторной батареи (в сравнении с другими типами ИБП).

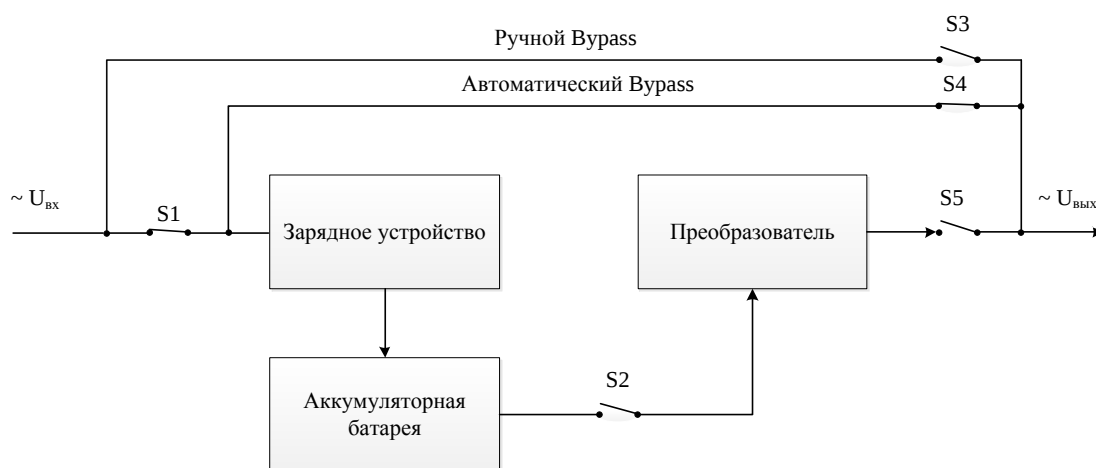


Рисунок 1.1 – Блок – схема резервного ИБП

Линейно – интерактивный ИБП (line interactive) это тип ИБП, который имеет свойства регулировать выходное напряжение при изменении напряжения на входе в широком диапазоне – без переключения работы от аккумуляторов. ИБП данного типа подразделяются на устройства с аппроксимированной синусоидой и чистым синусоидальным выходным напряжением. Применяется для защиты персональных компьютеров, узлов локальных вычислительных сетей и прочего офисного оборудования.

Таблица 1.2 – Преимущества и недостатки линейно – интерактивного ИБП

Преимущества	Недостатки
Компактность, экономичность, стабилизация входного напряжения, невысокая стоимость.	Отсутствие корректировки формы выходного напряжения в режиме работы от электросети, ступенчатое изменение выходного напряжения, наличие времени переключения на питание от аккумуляторов

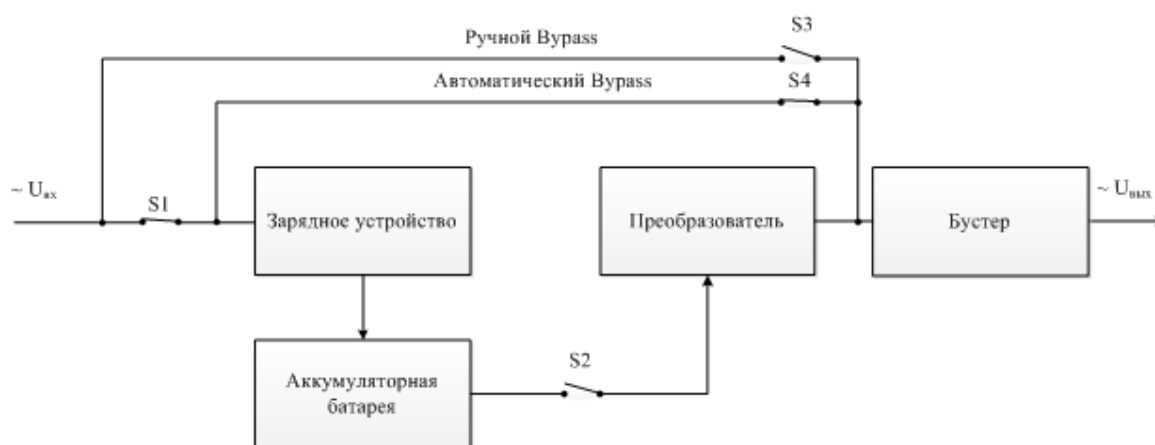


Рисунок 1.2 - Блок - схема интерактивного ИБП

ИБП с двойным преобразованием (Online) - это тип ИБП, в котором электроэнергия преобразуется дважды – входное переменное напряжение низкого качества в постоянное напряжение, и из него формируется выходное переменное синусоидальное напряжение высокого качества. ИБП данного класса обеспечивают надежную защиту подключенного оборудования от неполадок в электросети, что компенсирует затраты на его приобретение и установку. Диапазон мощностей выпускаемых устройств очень широк – от 600 VA (ВА) до нескольких сотен киловольт-ампер. Мгновенное переключения на питание от аккумуляторов. Применяются ответственными потребителя такими как: файловые серверы, центры обработки данных, рабочие станции и прочее ответственное вычислительное и телекоммуникационное оборудование, которое предъявляет повышенные требования качества электроэнергии.

Таблица 1.3 – Преимущества и недостатки ИБП с двойным преобразованием

Преимущества	Недостатки
Постоянная стабилизация напряжения и частоты, полная фильтрация импульсов и высокочастотных помех, отсутствие влияние подключенного оборудования на основную электросеть, мгновенное переключение на аккумуляторы в случае сбоев.	Сложность конструкции, высокая стоимость, дополнительные затраты электроэнергии, низкий КПД.

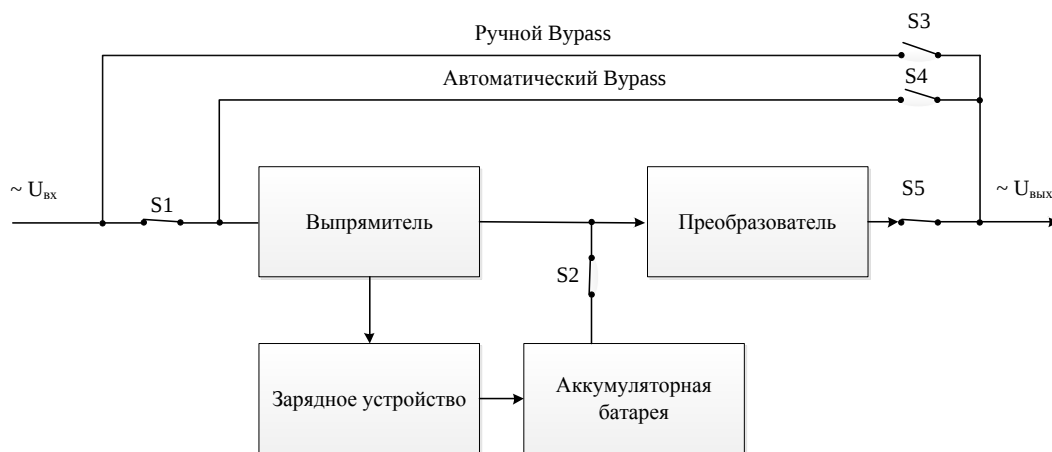


Рисунок 1.3 – Блок – схема ИБП с двойным преобразованием.

Для разработки ИБП ответственного потребителя следует учитывать тот факт, что данные системы не допускают какого – либо перебоя в электропитании, а также требуют высокое качество электрической энергии, поэтому разрабатывается ИБП по типу двойного преобразования.

1.2 Структурные схемы ИБП с двойным преобразованием.

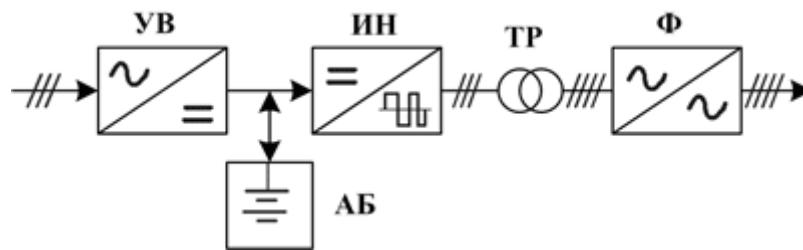
ИБП с двойным преобразованием энергии, обеспечивают переход с сетевого режима на автономный (питание нагрузки энергией аккумуляторной батареи) без прерывания питания. Такие ИБП обеспечивают синусоидальную форму и симметрию трехфазного выходного напряжения, и обычно используются в приложениях, предъявляющих повышенные требования к качеству электропитания. Варианты схемотехнических решения силовых узлов современных трехфазных ИБП средней и большой мощности (10 кВА:400 кВА) можно разделить на четыре группы (рисунок 1.4) [4]:

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

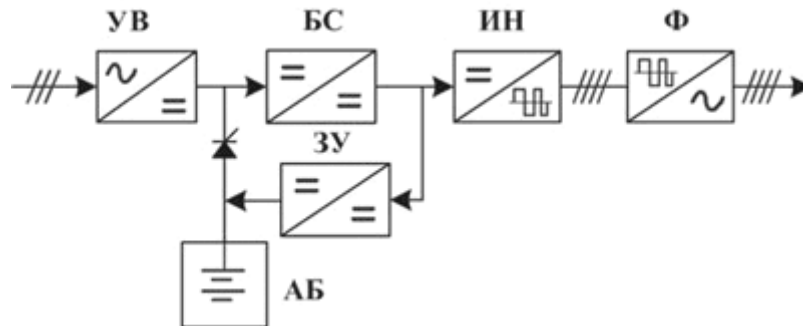
ИБП с бустером (повышающим преобразователем) в цепи питания инвертора;

ИБП с входным ШИМ-преобразователем и уравнивателем (балансировщиком) в цепи питания инвертора;

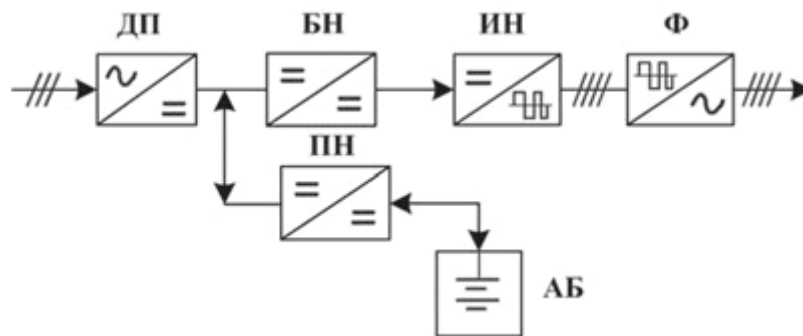
ИБП с гальванической развязкой и с двумя инверторами.



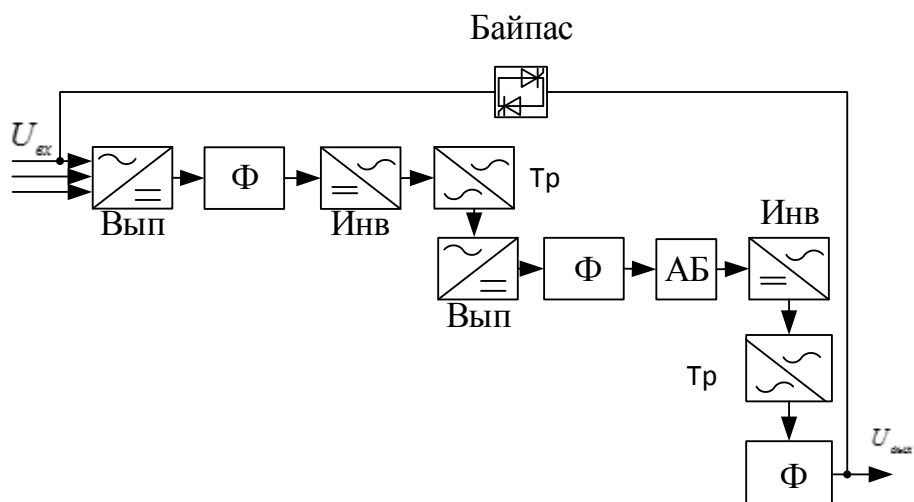
а) ИБП с АБ в цепи питания инвертора



б) ИБП с бустером в цепи питания инвертора



в) ИБП с входным ШИМ-преобразователем



г) ИБП с гальванической развязкой

Рисунок 1.4 - Структурные схемы ИБП с двойным преобразованием

ИБП с АБ в буфере цепи питания инвертора

Классическая структура ИБП с АБ в цепи питания инвертора, представленная на рисунке 4а, содержит мостовой управляемый тиристорный выпрямитель (УВ), аккумуляторную батарею (АБ), трехфазный мостовой инвертор напряжения (ИН) на IGBT-транзисторах, трехфазный выходной трансформатор (ТР) с обмотками, включенными по схеме треугольник-звезда и выходной фильтр (Ф).

Система управления выпрямителем в статическом режиме поддерживает напряжение на его выходе с высокой точностью при допустимом диапазоне изменения входного напряжения $\pm 15\%$ от номинального значения. В случае выхода напряжения за указанные пределы ИБП переходит в автономный режим работы. Выходное напряжение управляемого выпрямителя регулируется изменением угла отпирания тириستоров и является функцией нескольких параметров, в том числе и АБ. Значение емкости сглаживающего конденсатора выбирается так, чтобы величина пульсаций выходного напряжения не превышала 1%.

Выполнения этого требования влечет за собой значительное искажение формы входного тока, коэффициент искажения синусоидальности которого составляет 33%, что в свою очередь приводит к уменьшению коэффициента мощности до 0,8.

Для ИБП, соответствующих классической схеме (см. рисунок 1.4 а), характерны повышенные массогабаритные показатели. Тем не менее, ИБП мощностью более 100 кВА в настоящее время производятся преимущественно по классической схеме, т.к. в этом диапазоне мощностей они обладают наиболее высокими показателями надежности. Последнее обусловлено меньшим числом силовых узлов преобразования энергии по сравнению с бестрансформаторными структурами с бустером или реверсивным ШИМ-преобразователем, а также меньшими перенапряжениями, возникающими при коммутации токов (достигающих сотен ампер) силовыми транзисторными модулями инвертора.

ИБП с бустером в цепи питания инвертора

Международная электротехническая комиссия (МЭК) и европейская организация по стандартизации в электротехнике приняли стандарты IEC 1000-3-2 (EN 61000-3-2) и IEC 1000-3.3 (EN 61000-3-3), устанавливающие ограничения на величину гармонических составляющих входного тока электрооборудования. Уменьшение этих составляющих возможно за счет применения активной коррекции коэффициента мощности. Их отличительной особенностью является отсутствие трансформатора, использование неуправляемого выпрямителя и наличие бустера-корректора коэффициента мощности (БС) в силовой цепи ИБП (см. рисунок 1.4 б).

Функциональная схема подобного ИБП приведена на рисунке 1.5.

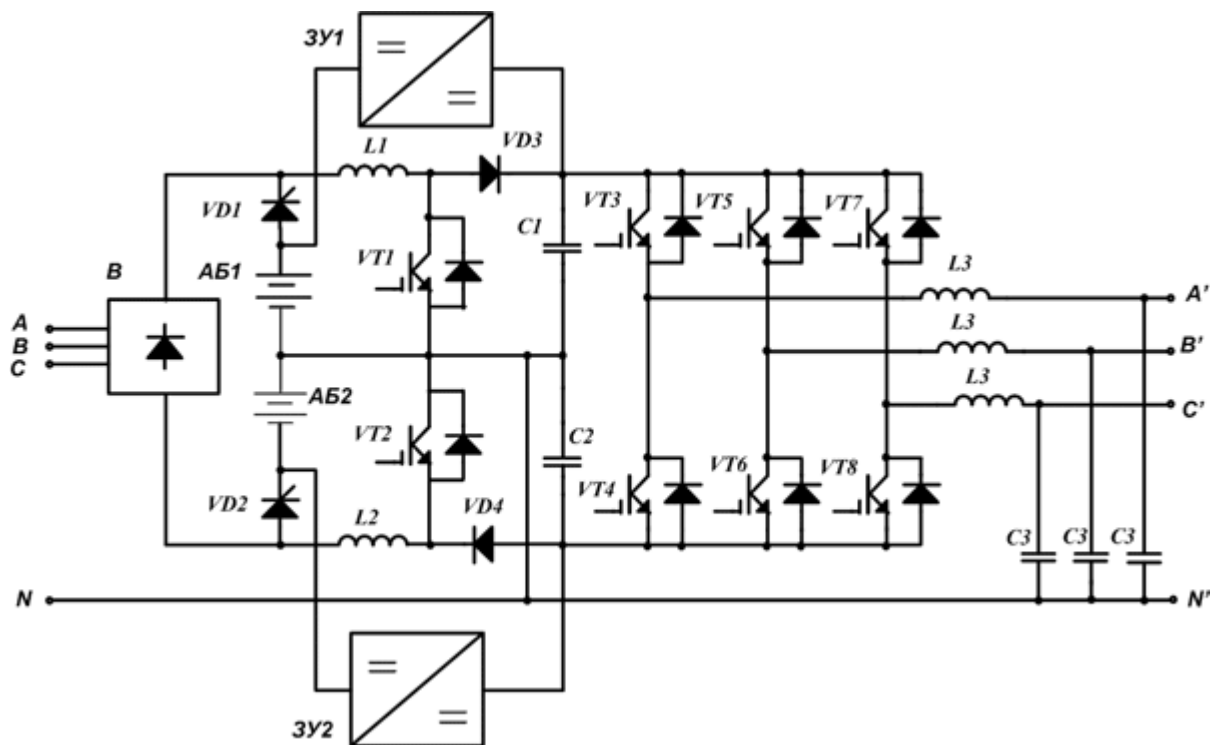


Рисунок 1.5 - Функциональная схема ИБП с бустером в цепи питания инвертора

Аккумуляторная батарея, как правило, состоит из двух секций со средней точкой, соединенной с нейтральным проводом. Каждая секция АБ подключается к соответствующей выходной шине выпрямителя через

тиристоры VD1 и VD2, которые закрыты в сетевом режиме работы, когда осуществляется заряд АБ. Зарядные устройства подключены к шинам стабильного напряжения постоянного тока на выходе бустера, что позволяет получить к.п.д. ЗУ вплоть до 96%...99%.

Двухплечевой бустер - повышающий преобразователь напряжения постоянного тока - состоит из IGBT-транзисторов VT1, VT2, диодов VD3, VD4, дросселей L1, L2 и накопительных конденсаторов C1, C2. Преобразователь осуществляет следующие функции:

- стабилизирует напряжение питания инвертора на уровне, необходимом для формирования номинальной величины выходного напряжения 220/380 В;
- обеспечивает балансировку напряжений положительной и отрицательной шин постоянного тока относительно нейтрали, что исключает появление постоянной составляющей в выходном напряжении;
- осуществляет активную коррекцию входного коэффициента мощности ИБП за счет формирования входного тока, приближенного по форме к синусоиде с начальной фазой, совпадающей с фазой входного напряжения.

Эти функции реализуются с помощью применения определенных алгоритмов ШИМ для управления транзисторами VT1, VT2 реализуемых контроллерами типа UC 3854 . При этом входной коэффициент мощности ИБП повышается до 0,95. Коэффициент передачи напряжения повышающего преобразователя (бустера) в режиме непрерывного тока дросселей L1, L2 достигает 4 . Это обеспечивает более широкий диапазон допустимого входного напряжения, при котором ИБП не переходит в автономный режим, по сравнению с классической структурой ИБП. Кроме того, в автономном режиме работы по мере разряда АБ бустер обеспечивает стабильное напряжение на шинах постоянного тока питания инвертора.

Частота ШИМ, используемая для управления IGBT-транзисторами трехфазного мостового инвертора, составляет 15 кГц:30 кГц и подавляется LC-фильтрами на выходе ИБП, с помощью которых формируется синусоидальное напряжение частотой 50 Гц. Коэффициент искажения синусоидальности выходного напряжения при линейной нагрузке составляет менее 2%, а при нелинейной нагрузке не превышает 5%.

Величина емкости накопительных конденсаторов C1, C2, запасенная энергия которых, используется для питания инвертора при набросе нагрузки, или кратковременных пропадающих сетевого напряжения, выбирается исходя из расчета 360 мкФ:660 мкФ на 1 кВА выходной мощности инвертора. Запасенная в конденсаторах энергия обеспечивает высокие динамические показатели ИБП.

ИБП с входным ШИМ-преобразователем

Стремление увеличить коэффициент мощности в широком диапазоне изменения нагрузки и улучшить динамические характеристики ИБП с одной стороны, и появление доступных для широкого применения высоковольтных быстродействующих силовых IGBT-модулей с другой стороны, привело к появлению структуры ИБП с двунаправленным мостовым ШИМ-преобразователем (рисунок 1.4 в).

Функциональная схема указанного ИБП приведена на рисунке 1.6. Входной трехфазный ШИМ-преобразователь реализован на IGBT-транзисторах VT1:VT6, фазных дросселях La, Lb, Lc и накопительных конденсаторах C1, C2 .

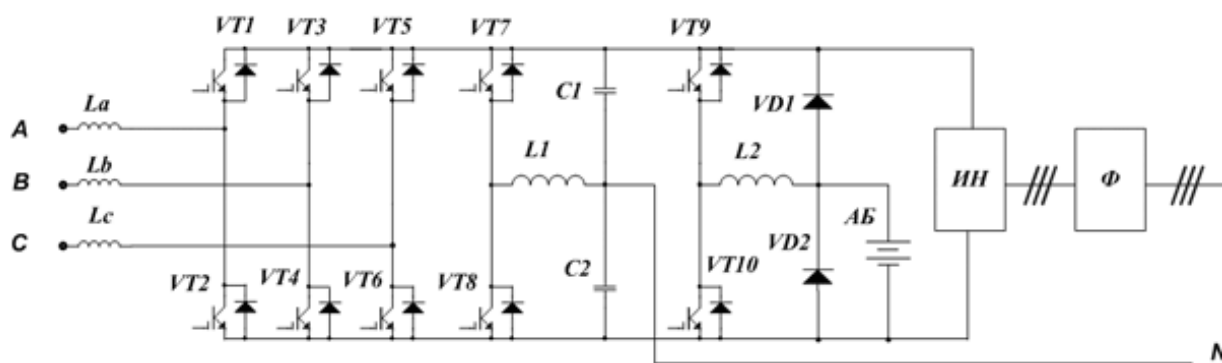


Рисунок 1.6 - Функциональная схема ИБП с входным ШИМ-преобразователем

Такой ШИМ-преобразователь имеет следующие особенности:

высокие значения входного коэффициента мощности (0,99) в широком диапазоне изменения нагрузки;

регулирование напряжения постоянного тока на шинах питания инвертора;

двухнаправленная передача энергии - из сети в нагрузку и в обратном направлении, что улучшает динамические свойства ИБП.

Эти свойства реализуются за счет применения ШИМ-управления транзисторами преобразователя с частотой коммутации 7,5 кГц...15 кГц. Входной ток при этом имеет практически синусоидальную форму и совпадает по фазе с входным напряжением.

Балансировщик напряжений, состоящий из транзисторов VT7, VT8 и индуктивности L1, представляет собой устройство, обеспечивающее балансировку дифференциального напряжения постоянного тока. Симметрирование напряжений на шинах постоянного тока питания инвертора необходимо для исключения постоянной составляющей в выходном напряжении. Кроме того, БН уменьшает пульсации тока в накопительных конденсаторах C1, C2.

Схема преобразователя напряжения для АБ основана на транзисторах VT9, VT10, диодах VD1, VD2 и индуктивности L2. Преобразователь имеет два назначения:

- зарядное устройство в сетевом режиме работы ИБП;

- бустер цепи АБ в автономном режиме работы ИБП.

При работе в режиме зарядного устройства транзистор VT10 закрыт, а транзистор VT9 коммутируется с высокой частотой, что обеспечивает необходимое напряжение заряда АБ. При переходе ИБП в автономный режим DC/DC-конвертор выполняет функцию бустера, обеспечивая стабильное повышенное напряжение шин постоянного тока при разряде АБ. При этом транзистор VT9 закрыт, а транзистор VT10 переключается с частотой в 2:4 раза меньшей, чем транзистор VT9 при работе в режиме зарядного устройства.

Трехфазный инвертор аналогичен мостовому инвертору в структуре ИБП с бустером и имеет на выходе LC-фильтр, выделяющий основную гармонику 50 Гц из высокочастотного выходного ШИМ-напряжения инвертора.

К особенностям ИБП с ШИМ-преобразователем можно отнести:

- большое количество силовых IGBT-транзисторов в силовой цепи и возникновение на закрытых транзисторах значительных коммутационных напряжений;

- сложную схему управления транзисторами ШИМ-преобразователя, требующую информации не только о величине токов и напряжений, но и об их фазовом сдвиге.

- Следует отметить, что при выборе модели ИБП пользователь должен принимать в расчет как наличие необходимых потребительских свойств, соотношение цена/качество, но и надежность, и удобство, и стоимость сервисного обслуживания ИБП.

ИБП с гальванической развязкой

В данных ИБП инвертор включен в цепь последовательно между источником и нагрузкой. Особенностью этой схемы является гальваническая развязка. Для стабилизации отклоненного напряжения от определенного значения применяется стабилизатор в схеме. В отличие от стабилизаторов с

накопительным дросселем, в этом случае в качестве стабилизатора постоянного тока применяется инвертор, трансформатор и выпрямитель. На вход схемы подается трехфазное напряжение, при преобразовании на однофазную систему происходит повышение напряжения. Фильтры предназначены для сглаживания пульсирующего выпрямленного напряжения на выходе выпрямителей. В нормальном режиме нагрузка постоянно получает питание по цепи выпрямитель – фильтр - инвертор1 - трансформатор1 – выпрямитель – фильтр - инвертор2 - трансформатор2 - фильтр. В режиме, когда параметры питающей сети не соответствуют требованиям, нагрузка переходит на питание от аккумуляторной батареи через инвертор и трансформатор, который поддерживает выходное напряжение в заданных пределах. Режим байпас имеет место в том случае, когда инвертор по каким-либо причинам не может обеспечить нагрузку требуемой мощностью (перегрузка, разряд аккумулятора) или отсутствует питающее напряжение на входе.

Даже при больших отклонениях входного напряжения ИБП продолжает питать нагрузку чистым синусоидальным стабилизированным напряжением (как правило, отклонения амплитуды выходного напряжения не превышают 5% устанавливаемого пользователем номинального значения даже при работе на нелинейную нагрузку). Благодаря используемой схеме такое понятие, как время переключения на резервное питание от батарей, для ИБП данного класса просто не имеет смысла.

На основании проведенного обзора принципиальных схем построения силовой части ИБП с двойным преобразованием энергии, выбираем схему представленную на рисунке 1.4 г.

1.3 Описание работы проектируемой ИБП по предложенной структуре

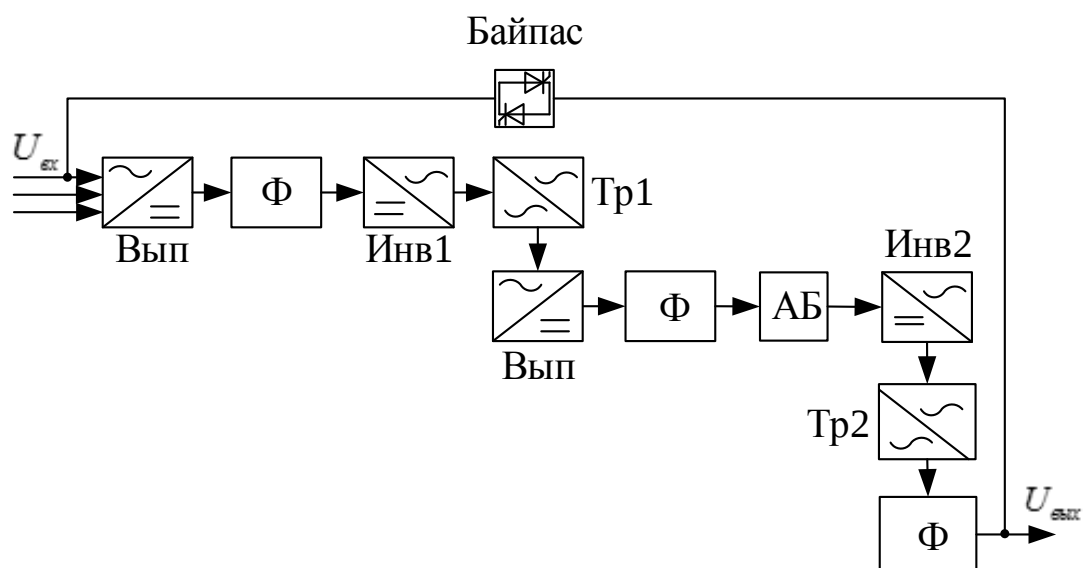


Рисунок 1.7 – Функциональная схема разрабатываемого ИБП.

Схема разрабатываемого ИБП представлена на рисунке 1.7. В данной схеме исключены какие – либо повреждения оборудования, наименьшая вероятность поражения электрическим током персонала, поэтому остановились на выборе этой схемы, так как особенностью этой схемы является гальваническая развязка. Данная схема полностью удовлетворяет нашего потребителя, несмотря на не высокий КПД, так как в приоритете стоит качество электроэнергии, безопасность оборудования и персонала.

Таблица 1.4 – Достоинства и недостатки проектируемого ИБП

Достоинства	Недостатки
Гальваническая развязка входной и выходной цепи, согласование выходного напряжения с входным, надежность, высокое качество выходного напряжения, малое время переключения в автономный режим	Шестикратное преобразование энергии и следовательно – низкий КПД, сложность.

2. РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОЙ ЧАСТИ ИБП

Определение максимального и минимального напряжения питающей сети. Номинальное входное напряжение составляет $U_{\text{с ном}}=220$ В, диапазон отклонения входного напряжения $\pm 10\%$ от номинального (ГОСТ 32144-2013), но для более надежных расчетов учитываются ± 25 от номинального значения напряжения.

Максимальное и минимальное напряжение питающей сети:

$$U_{\text{с max}} = U_{\text{с ном}} + 0,25 \cdot U_{\text{с ном}} = 275 \text{ В}, \quad (2.1)$$

$$U_{\text{с min}} = U_{\text{с ном}} - 0,25 \cdot U_{\text{с ном}} = 165 \text{ В}. \quad (2.2)$$

Максимальное и минимальное напряжение в нагрузке в режиме от батарей:

$$U_{\text{н max}} = U_{\text{н}} + 0,03 \cdot U_{\text{н}} = 226,6 \text{ В}, \quad (2.3)$$

$$U_{\text{н min}} = U_{\text{н}} - 0,03 \cdot U_{\text{н}} = 213,4 \text{ В}, \quad (2.4)$$

где $U_{\text{н}}$ – номинальное выходное напряжение;

0,03 – диапазон отклонение выходного напряжения в режиме от батарей $\pm 3\%$.

Максимальный и минимальный ток нагрузки определяется по формуле:

$$I_{\text{н max}} = \frac{P}{U_{\text{н min}}} = \frac{10000}{213,4} = 46,86 \text{ А}, \quad (2.5)$$

$$I_{\text{н min}} = \frac{P}{U_{\text{н max}}} = \frac{10000}{226,6} = 44,13 \text{ А}, \quad (2.6)$$

,где P – активная мощность.

2.1 Выбор аккумуляторных батарей

Аккумуляторные батареи являются источником постоянного тока. Как правило напряжение заряда моноблочной батареи состоящей из шести секций составляет 14 В, а напряжение разряда 11 В. Зарядный ток не должен превышать 20% от ёмкости, при превышении сокращается срок службы аккумуляторной батареи.

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

В ИБП online 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.

Для выбора аккумуляторной батареи необходимо определить ее ёмкость Q и $I_{\text{раз}}$ ток разряда.

Амплитуду первой гармоники напряжения на нагрузке определяется по формуле:

$$U_{\text{max}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{н max}} = \sqrt{2} \cdot 226.6 = 320,46 \text{ В.} \quad (2.7)$$

Максимальное напряжение на входе инвертора и оно же напряжение разряда батареи:

$$U_{d \text{ max}} = U_{\text{б раз}} = \frac{U_{\text{max}} + 2\Delta U_{\text{ключ}} + \Delta U_L + \Delta U_{\text{tr2}}}{M_{\text{max}}} = \frac{320,46 + 2 \cdot 2,2 + 2,2 + 16}{0,95} = 361,14 \text{ В,} \quad (2.8)$$

,где $M_{\text{max}}=0,95$ максимальный коэффициент модуляции инвертора

($M_{\text{max}}=0,9 \dots 0,95$);

$\Delta U_{\text{ключ}}$ – потери в ключах инвертора ($\Delta U_{\text{ключ}}=1,7 \dots 2,8 \text{ В}$);

$\Delta U_L=0,01U_{\text{с ном}}=2,2 \text{ В}$ падение напряжения на выходном реакторе;

$\Delta U_{\text{tr2}}=0,05U_{\text{max}}=16 \text{ В}$ падение напряжения на трансформаторе.

Уточненное число батарей определяется по формуле:

$$N = \frac{U_{\text{б.разр}}}{U_{\text{раз}}} = \frac{361,14}{11} = 32,83 \text{ шт} \approx 33 \text{ шт.} \quad (2.9)$$

,где $U_{\text{раз}}$ – разрядное напряжение одной секции батареи;

Максимальная мощность на нагрузке $P_{\text{н.мах}}=10000$ Вт;

Принимаем $\eta_{\text{инв}}=0,95$ – КПД инвертора;

$\eta_{\text{тр2}}=0,98$ - КПД трансформатора 2.

Мощность батареи разряда:

$$P_{\text{б.разр.мах}} = \frac{P_{\text{н.мах}}}{\eta_{\text{инв}} \eta_{\text{тр2}}} = \frac{10000}{0,95 \cdot 0,98} = 10741,13 \text{ Вт.} \quad (2.10)$$

Максимальный ток разряда батареи:

$$I_{\text{б.разр.мах}} = \frac{P_{\text{б.разр.мах}}}{NU_{\text{раз}}} = \frac{10741,13}{33 \cdot 11} = 29,58 \text{ А.} \quad (2.11)$$

Ёмкость батареи определяется по формуле:

$$Q_{\text{б}} = I_{\text{б.разр.мах}} \cdot t_{\text{авт.раз.}} = 29,58 \cdot 0,33 = 9,76 \text{ А} \cdot \text{ч}, \quad (2.12)$$

,где $t_{\text{авт.рез.}}$ – необходимое время резервирования по техническому заданию (в нашем случае 20 минут).

Согласно техническому заданию для обеспечения автономной работы ИБП в течении – 20 минут необходимо АБ ёмкостью. $Q_{\text{б}} = 9,76 \text{ А} \cdot \text{ч}$.

Следовательно, необходимо выбрать батарею которая в конце цикла заряда обеспечит расчетный ток разряда – 29,58 А. При заданном времени автономной работы – 20 минут до расчетного напряжения разряда – 361,14 В.

Из полученных расчетов выбираем АБ Sonnenschein A412/32G6.

В таблице 2.1 представлены технические характеристики. Подробная информация о выбранной аккумуляторной батарее представлена в приложении Б [5].

Таблица 2.1 – Технические характеристики Sonnenschein A412/32G6

Технология		AGM						
Напряжение, В		12						
Емкость, Ач		32						
Макс. Нагрузка, А		400						
Размеры (В x Ш x Д), мм		175x175,5x210						
Ток разряда при 20° С								
Тип	Нумерация	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	30 мин	45 мин	1 час
A412/32G6	NGA4120032H SOBA	53	43	36	32	28	21	17

По характеристике видно, что ток разряда в течении 20 минут (время резервирования) 32А и выше, что удовлетворяет требованиям расчетного тока разряда 28,99 А. Напряжение разряда батареи равно 11 В

Обычно для аккумуляторов максимальный ток заряда не должен превышать 0,2Q. Превышение зарядного тока ведет к сокращению срока службы аккумуляторов. Рекомендуется устанавливать максимальный ток заряда не более 0,15-0,2С.

$$I_{\text{б.зар}} = Q_{10} \cdot 0,16 = 32 \cdot 0,16 = 5,12 \text{ А.} \quad (2.13)$$

Мощность зарядного устройства на выходе:

$$P_{\text{з.у}} = I_{\text{б.зар}} U_{\text{б.зар}} N = 5,12 \cdot 14 \cdot 33 = 2365,44, \text{ Вт.} \quad (2.14)$$

2.2 Выбор типа модуляции

Для формирования синусоидальной формы выходного напряжения используются различные виды модуляции инвертируемого сигнала. По модулируемому параметру они подразделяются на амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ), широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), фазоимпульсную модуляцию (ФИМ) и частотно-импульсную модуляцию (ЧИМ).

При использовании ФИМ изменяется сдвиг фазы относительно начала импульсного интервала в зависимости от значения модулирующего напряжения. Этот вид модуляции не нашел широкого применения в преобразовательной технике вследствие сложности фильтрации модулированного напряжения. ФИМ рационально использовать в высокочастотных преобразователях с суммированием напряжений нескольких инверторных ячеек.

При использовании ЧИМ модулируемым параметром сигнала является его частота. ЧИМ целесообразно использовать в резонансных инверторах, принцип работы которых описан в предыдущем разделе.

Модулирование сигнала по амплитуде, то есть применение АИМ, требует неоправданного в данном случае усложнения схемы силовой части устройства для формирования импульсов разной амплитуды.

Наиболее подходящим к нашей системе видом модуляции является ШИМ, при которой модулирование сигнала производится за счет изменения длительности импульсов. Рассмотрим этот вид модуляции более подробно.

По числу импульсов в полупериоде модулируемого сигнала ШИМ подразделяются на однократную и многократную.

Многократный ШИМ сигнал легче отфильтровать, чтобы получить на выходе синусоиду, что обосновывает наш выбор.

По полярности импульсов в полупериоде ШИМ разделяется на однополярную, когда импульсы каждого полупериода имеют одну полярность, и между ними напряжение имеет нулевой уровень, и

двухполярную, когда в пределах полупериода импульсы имеют чередующуюся полярность (нулевые паузы между импульсами отсутствуют). Остановим свой выбор на однополярной ШИМ, так она имеет лучший спектральный состав.

По длительности импульсных интервалов многократная ШИМ разделяется на равномерную, когда полупериод разделен на четное или нечетное число импульсных интервалов равной длительности (каждый интервал содержит смежные импульсы и нулевую паузу), и неравномерную, когда такое разделение отсутствует. Достоинством неравномерной ШИМ является возможность исключить большее количество высших гармоник, чем при равномерной, при одинаковом количестве импульсов на полупериоде. Однако при равномерной ШИМ значительно упрощается схема управления. Поэтому в нашей системе будем использовать равномерную ШИМ.

Формируется ШИМ сигнал следующим образом. В системе управления транзисторами инвертора используется эталонное (модулирующее) напряжение синусоидальной или аппроксимирующей синусоиду формы. Это напряжение сравнивается с опорным, чаще всего пилообразным напряжением тактовой частоты, и в моменты равенства эталонного и опорного напряжения подается сигнал на переключение соответствующих силовых транзисторов. Благодаря этому, длительность импульса выходного напряжения пропорциональна амплитуде эталонного напряжения на этом интервале. По расположению точки, в которой функция построения определяет длительность импульса на данном интервале, ШИМ разделяется на четыре рода. Мы будем использовать ШИМ второго рода, когда фронт импульса совпадает с моментом выборки.

Итак, применим в разрабатываемом устройстве многократную однополярную ШИМ второго рода с синусоидальной функцией построения. Принцип формирования ШИМ сигнала иллюстрирует рисунок 2.1.

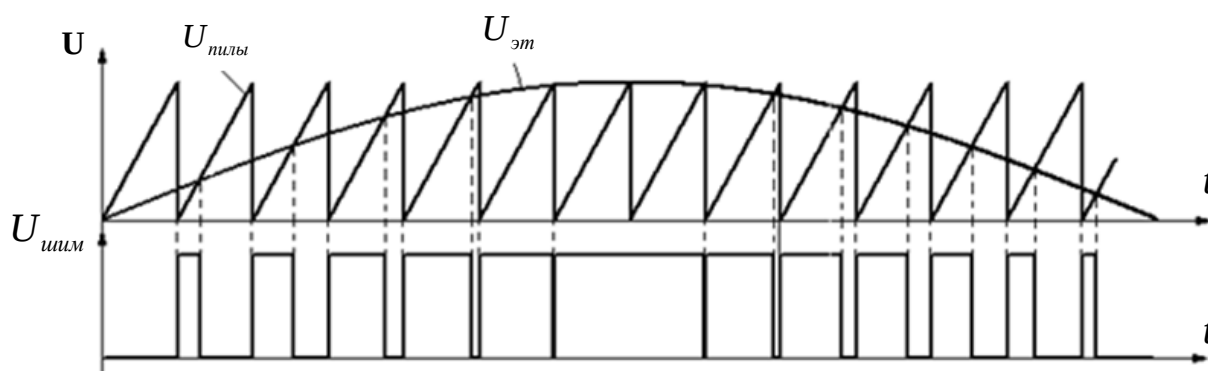


Рисунок 2.1 - ШИМ второго рода

2.3 Расчет инвертора напряжения

Инвертор напряжения строим по однофазной мостовой схеме (рисунок 2.2). Расчет инвертора напряжения сводится к выбору транзисторов и диодов.

В настоящее время в качестве силовых ключей, применяемых в инверторах напряжения, наиболее эффективным являются силовые биполярные транзисторы с изолированным затвором.

Приборы выбирается по максимальному току коллектора с учетом крест-фактора ($K_{фактор}$) нагрузки и напряжения на коллекторе с коэффициентом запаса $K_з = 1,2 \dots 1,5$.

При работе инвертора к закрытому транзистору прикладывается напряжение звена постоянного тока за вычетом напряжения коллектор-эмиттер открытого транзистора. Падение напряжения на открытом IGBT составляет 1,7...2,8 В.

Крест-фактор нагрузки – показатель характеризующий способность ИБП питать нелинейную нагрузку, потребляющую импульсный ток. Определяется как отношение импульсного тока к нелинейной нагрузке и амплитуде тока к гармонической форме при эквивалентной потребляемой мощности.

$$Crest\ Factor = \frac{I_m(\text{нелинейн})}{I_m(\text{линейн})}.$$

Для ответственной техники принимается наибольший коэффициент крест-фактора, который равен 3.

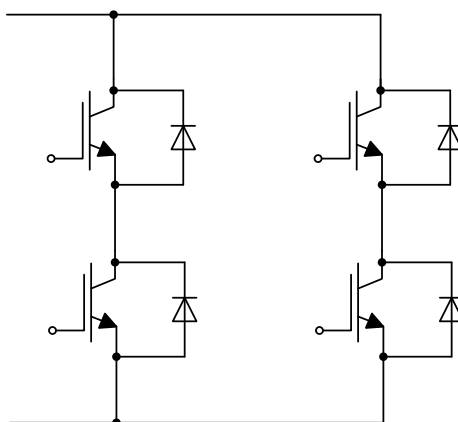


Рисунок 2.2 – Схема инвертора

Обратное напряжение на транзисторе:

$$U_{K-Э\max} = K_3(U_{\text{образр}} - \Delta U_{VT}) = 1,5 \cdot (361,14 - 2,2) = 538,41 \text{ В} \quad (2.15)$$

Максимальный коллекторный ток транзистора с учетом крест-фактора:

$$I_{K\max} = \sqrt{2} \cdot I_{H\max} \cdot [Crest \ Factor] = \sqrt{2} \cdot 46,86 \cdot 3 = 198,81 \text{ А.} \quad (2.16)$$

Выбирается трехфазный силовой модуль Mitsubishi Electric CM300DX-12A [6] $U_{K-Э}=600 \text{ В}$, $I_k=300 \text{ А}$. Технические характеристики транзистора приведены в таблице 2.2. Подробная информация транзистора в приложении В.

Таблица 2.2 - Технические параметры транзистора CM300DX-12A

Максимальное напряжение коллектор- эмиттер, В	600
Максимальный ток коллектор- эмиттер при 25 гр. С, А	300
Напряжение насыщения коллектор- эмиттер ,В	1,6
Частота коммутации, кГц	20

2.4 Расчет коэффициента трансформации

Трансформатор TR2 предназначен для согласования напряжения и гальванической развязки.

Напряжение первичной обмотки равно напряжению разряда аккумуляторной батареи с коэффициентом модуляции и с учетом потерь на выходном фильтре и на трансформаторе:

$$U_1 = (U_{d\max} - \Delta 2U_{mp} - \Delta U_{tr2}) \cdot M_{\max} = (361,14 - 4,4 - 16) \cdot 0,95 = 323,703 \text{ В} \quad (2.17)$$

Напряжение вторичной обмотки равен амплитуде напряжения на нагрузке с учетом потерь на выходном фильтре и на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_2 = \sqrt{2} \cdot U_n + \Delta U_{LC} + \Delta U_{tr2,2} = 311,12 + 2,2 + 8 = 321,32 \text{ В} \quad (2.18)$$

Коэффициент трансформации равен:

$$K_{mp} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{323,7}{321,32} = 1,007 \quad (2.19)$$

,где ΔU_{LC} – падение напряжения на фильтре

U_n – напряжение нагрузки

ΔU_{tr2} – падение напряжение на трансформаторе

$\Delta U_{tr2,2}$ – падение напряжения на вторичной обмотке трансформатора

2.5 Расчет фильтра на выходе

Выходной фильтр используется для выделения первой гармоники выходного напряжения и ослабления высших гармоник. В схеме ИБП используется Г-образный LC-фильтр.

Для расчета применяется метод наложения. На рисунке 2.3 представлена схема замещения фильтра. Для расчета фильтра можно использовать приведенную схему замещения (рисунок 2.4).

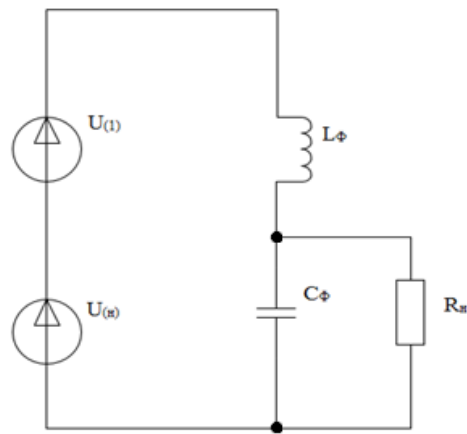


Рисунок 2.3 – Схема замещения выходной цепи инвертора

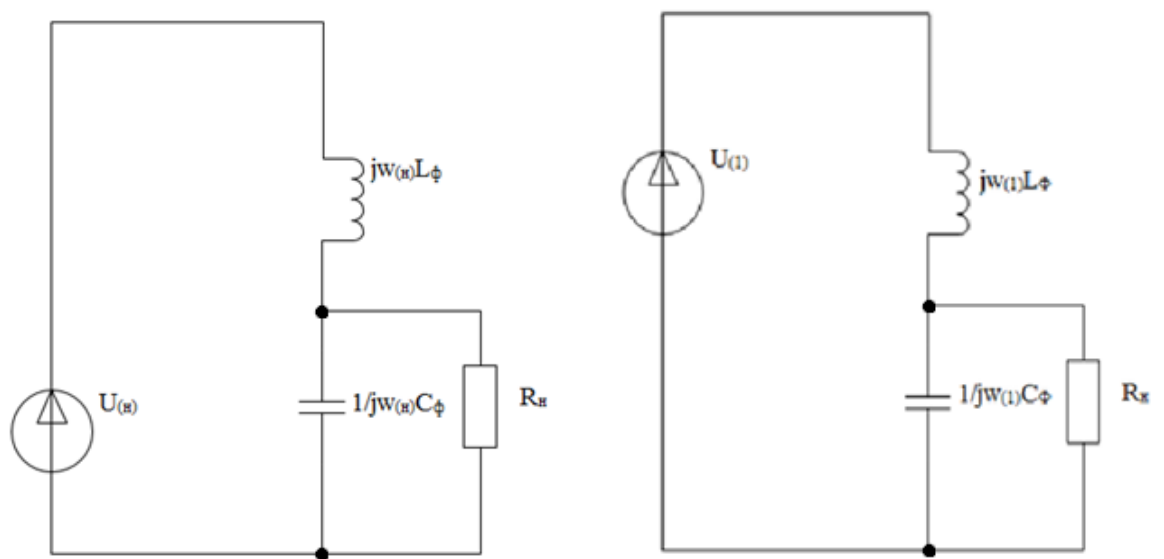


Рисунок 2.4 – Приведенная схема замещения выходной цепи инвертора

Для расчета индуктивности, зададимся падение напряжения на индуктивности 1% от сети

$$U_{L(1)} = X_{L(1)} I_{L(1)}, \text{ где } U_{L(1)} = 2,2 \text{ В,}$$

,где $I_{L(1)}$ – первая гармоника тока нагрузки, т.е. максимальный ток, который греет обмотку.

$$X_{L(1)} = \frac{U_{L(1)}}{I_{L(1)}} = \frac{U_{L(1)}}{I_{н.макс}} = \frac{2,2}{46,86} = 0,046, \text{ Ом} \quad (2.20)$$

$$L_{\phi} = \frac{X_{L(1)}}{\omega} = \frac{X_{L(1)}}{2\pi f_{\text{вых}}} = \frac{0,046}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,14, \text{ мГн.} \quad (2.21)$$

На рисунке 2.5 представлена векторная диаграмма токов и напряжения.

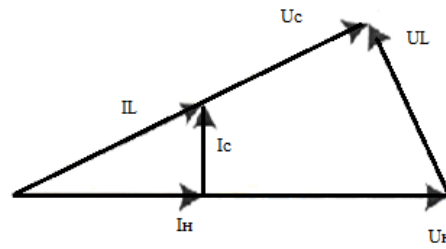


Рисунок 2.5 – Векторная диаграмма токов и напряжения

Через ёмкость протекает ток равный 20% от тока нагрузки:

$$I_{н.ном} = \frac{S_{вых}}{U_{н.ном}} = \frac{11100}{220} = 50,45 \text{ А}, \quad (2.22)$$

$$I_c = 0,2 \cdot I_{н.ном} = 0,20 \cdot 50,45 = 10,09, \text{ А}. \quad (2.23)$$

Ток, протекающий через индуктивность, исходя из векторной диаграммы определяется:

$$I_{L\phi} = \sqrt{I_c^2 + I_{н.ном}^2} = \sqrt{10,09^2 + 50,45^2} = 51,43, \text{ А}, \quad (2.24)$$

$$U_{L(1)} = 0,01 U_{н.ном} = 0,01 \cdot 220 = 2,2, \text{ В}. \quad (2.25)$$

Индуктивное сопротивление фильтра:

$$X_{L\phi} = \frac{U_{L(1)}}{I_{L\phi}} = \frac{2,2}{51,43} = 0,042, \text{ Ом}. \quad (2.26)$$

Индуктивность фильтра определяется по формуле:

$$L_{\phi} = \frac{X_{L\phi}}{2\pi f_{вых}} = \frac{0,042}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,13, \text{ мГн}. \quad (2.27)$$

Потери в реакторе:

$$\Delta P_L = 0,01 \cdot P_{max} = 0,01 \cdot 10000 = 100, \text{ Вт}. \quad (2.28)$$

Сопротивление реактора:

$$R_L = \frac{\Delta P_L}{I_{н.ном}^2} = \frac{100}{46,86^2} = 0,045, \text{ Ом}. \quad (2.29)$$

Уравнение для получившегося контура:

$$I_{C\phi} = \frac{U_{(n)}(j\omega)}{X_{L\phi} + \frac{X_{C\phi} \cdot R_H}{X_{C\phi} + R_H}},$$

$$I_{C\phi} = \frac{U_{(n)}(j\omega) - U_H(j\omega)}{X_{L\phi}} = \frac{U_{(n)}(j\omega) - k_r \cdot U_{(n)}(j\omega)}{X_{L\phi}} = \frac{U_{(n)}(j\omega) \cdot (1 - k_r)}{X_{L\phi}}.$$

$$X_{C\phi} = \frac{X_{L\phi} \cdot k_r \cdot R_H}{(1 - k_r) \cdot R_H - X_{L\phi} \cdot k_r},$$

Номинальное сопротивление нагрузки:

$$R_H = \frac{U_{H.HOM}}{I_{H.HOM}} = \frac{220}{50,45} = 4,36, \text{ Ом.} \quad (2.30)$$

$X_{C\phi}$ при частоте коммутации:

$$X_{L\phi} = \omega_k L_\phi = 2 \cdot 3,14 \cdot 20000 \cdot 0,13 \cdot 10^{-3} = 16,328, \text{ Ом,} \quad (2.31)$$

$$X_{C\phi} = \frac{16,328 \cdot 0,03 \cdot 4,36}{(1 - 0,03) \cdot 4,36 - 16,328 \cdot 0,03} = 0,56, \text{ Ом,} \quad (2.32)$$

$$C_\phi = \frac{1}{\omega_k \cdot X_{C\phi}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 20000 \cdot 0,56} = 14,21, \text{ мкФ.} \quad (2.33)$$

Производится выбор электролитного конденсатора К50 - 35. В таблице 2.3 приведены параметры конденсатора. Дополнительные данные по конденсатору представлены в приложении Г.[7]

Таблица 2.3 – Параметры конденсатора К50-35-450

Напряжение, В	450
Ёмкость, мкФ	22
Максимальная частота, кГц	100

2.6 Расчет однофазного мостового выпрямителя

Данный однофазный мостовой выпрямитель предназначен для преобразования напряжения, направленного на заряд аккумуляторной батареи.

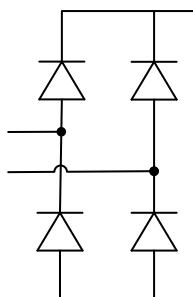


Рисунок 2.6 – Однофазный мостовой выпрямитель

Максимальный средний прямой ток:

$$I_{np\max} = \frac{I_{бзар} + I_{бразр}}{2K_3} = \frac{5,12 + 29,58}{2 \cdot 0,7} = 24,78 \text{ А} \quad (2.34)$$

Напряжение заряда батарей:

$$U_n = U_{зар\text{ АБ}} \cdot N = 14 \cdot 33 = 462 \text{ В}, \quad (2.35)$$

,где $U_{н\text{ АБ}}$ – напряжение одной АБ,

N – количество АБ.

Максимальное обратное напряжение:

$$U_{обр\max} = \frac{U_n}{K_3} \cdot \frac{1}{2\gamma_{\min}} = \frac{462}{0,7 \cdot 2 \cdot 0,27} = 1222,2 \text{ В}. \quad (2.36)$$

Мощность выпрямителя:

$$P_{выпр} = \frac{P_{зу} + P_{браз}}{\eta} = \frac{2365,44 + 10741,13}{0,9} = 14562,8 \text{ Вт} \quad (2.37)$$

По полученным расчетам принимаются к установке диоды, С3D25170Н.

$U_{обр}=1700 \text{ В}$, $I_{обр}=26,3 \text{ А}$. Подробная информация в приложении Д.[8]

2.7 Расчёт сглаживающего фильтра

Фильтр предназначен для сглаживания пульсаций напряжения заряда аккумуляторной батареи. Поскольку инвертор выполнен на IGBT транзисторах, частота преобразования может быть выбрана достаточно высокой. В данном случае принимается $f_{пр} = 20$ кГц. В двухтактной ячейке максимальное значение относительной длительности импульса составляет $\gamma_{max} = 0,5$, с учётом необходимых пауз для предотвращения сквозных токов принимается $\gamma_{max} = 0,45$. Это будет при минимальном напряжении сети. При максимальном напряжении сети относительная длительность импульса будет равна:

$$\gamma_{min} = \gamma_{max} \frac{1 - \Delta U_{cmin}}{1 + \Delta U_{cmax}} = 0,45 \cdot \frac{1 - 0,25}{1 + 0,25} = 0,27 \quad (2.38)$$

,где ΔU_{cmin} – максимальное отклонение сетевого напряжения;

ΔU_{cmax} – минимальное отклонение сетевого напряжения.

Расчет индуктивности дросселя и емкости фильтра. Схема фильтра представлена на рисунке 2.7.

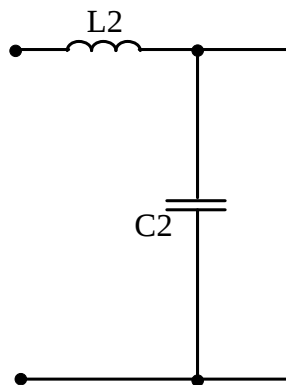


Рисунок 2.7 – Выходной фильтр

Минимальное значение индуктивности выходного фильтра $L2_{кр}$:

$$L2_{кр} = \frac{U_n (1 - \gamma_{min})}{2(I_{бзар} + I_{бразр}) 2 f_{пр}},$$

,где U_n – напряжение заряда АБ;

$I_{\text{зар}}$ – ток заряда АБ;

$I_{\text{разр}}$ – ток разряда батареи.

$$C_{10} = C_{10\text{АБ}} \cdot n = 32 \cdot 33 = 1056 \text{ Ач} \quad (2.39)$$

,где $C_{10\text{АБ}}$ – емкость десятичасового разряда одной АБ.

$$L2_{\text{кр}} = \frac{462 \cdot (1 - 0,27)}{2 \cdot (5,12 + 29,58) \cdot 2 \cdot 20 \cdot 10^3} = 121 \text{ мкГн}, \quad (2.40)$$

Емкость выходного фильтра С2 (из расчёта допустимого выброса напряжения $\Delta U_{\text{выбр}} = 0,01\text{В}$):

$$\begin{aligned} C2 &= \frac{0,5(I_{\text{зар}} + I_{\text{разр}})^2 L2}{\Delta U_{\text{выбр}} U_n} = \frac{0,5(I_{\text{зар}} + I_{\text{разр}})^2 L2}{0,01 U_n^2} = \\ &= \frac{0,5 \cdot (5,12 + 29,58)^2 \cdot 121 \cdot 10^{-6}}{0,01 \cdot 462^2} = 33,73 \text{ мкФ} \end{aligned} \quad (2.41)$$

Значение емкости конденсатора С2 выбирается по большему из полученных значений.

Максимальное рабочее напряжение конденсатора С2:

$$U_{C2} = \frac{U_n}{K_3} = \frac{462}{0,7} = 660 \text{ В} \quad (2.42)$$

Производится выбор конденсатора В32778-G 406-К МКР, 40 мкФ 1100В.

Подробная информация в приложении Е [9].

2.8 Расчет коэффициента трансформации

Данный трансформатор TR1 предназначен для согласования повышенного напряжения на выходе трехфазного мостового выпрямителя и зарядного напряжения.

Расчёт параметров силового трансформатора TR1 выполняется для случая, когда напряжение сети минимально. При максимальном напряжении сети, напряжение снижается до минимального значения на первичной

обмотке трансформатора, за счет коэффициента модуляции инвертора. Коэффициент полезного действия силового трансформатора $\eta_{\text{тр1}}=0,98\%$. Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора равно току на однофазном выпрямителе, умноженному на квадрат относительной длительности импульса:

$$I_2 = I_{\text{пр max}} \cdot (2\gamma_{\text{max}})^2 = 24.78 \cdot (2 \cdot 0,45)^2 = 20,07 \text{ А} \quad (2.43)$$

Напряжение вторичной обмотки равно напряжению на нагрузке с учетом падения напряжения на мостовом выпрямителе и на фильтре:

$$U_2 = \sqrt{2}U_n + 2\Delta U_\delta + \Delta U_{LC} + \Delta U_{\text{тр1.2}} = \sqrt{2} \cdot 462 + 2 \cdot 1 + 4.62 + 16 = 675.98 \text{ В} \quad (2.44)$$

,где U_n – напряжение заряда АБ;

ΔU_δ – падение напряжения на диоде;

ΔU_{LC} – падение напряжения на фильтре $0,01U_n$;

$\Delta U_{\text{тр1.2}}$ – падение напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

$$\begin{aligned} U_{1\text{max}} &= 2,34U_{\text{с max}} - \Delta U_{LC} - 2\Delta U_\delta - 2\Delta U_{\text{тр}} - \Delta U_{\text{транс1.1}} = \\ &= 2,34 \cdot 275 - 5 - 2 \cdot 1 - 2 \cdot 2,2 - 16 = 616,1 \text{ В} \end{aligned} \quad (2.45)$$

Напряжение первичной обмотки:

$$\begin{aligned} U_{1\text{min}} &= (2,34U_{\text{с min}} - \Delta U_{LC} - 2\Delta U_\delta - 2\Delta U_{\text{тр}} - \Delta U_{\text{транс1.1}}) \cdot M_{\text{max}} = \\ &= (2,34 \cdot 165 - 5 - 2 \cdot 1 - 2 \cdot 2,2 - 10) \cdot 0.95 = 346 \text{ В} \end{aligned} \quad (2.46)$$

,где U_c – напряжение сети;

ΔU_δ – падение напряжения на диоде;

$\Delta U_{\text{тр}}$ – падение напряжения на транзисторе;

$\Delta U_{\text{транс1.1}}$ – падение напряжения на первичной обмотке трансформатора;

$M_{\text{max}}=0.9 \dots 0.95$ - Максимальный коэффициент модуляции инвертора.

Коэффициент модуляции при максимальном напряжении сети:

$$M = \frac{U_{1\text{min}}}{U_{1\text{max}}} = \frac{346}{616,1} = 0,56 \quad (2.47)$$

Коэффициент трансформации:

$$K_{тр} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{346}{675,98} = 0,51 \quad (2.48)$$

Как видно по коэффициенту трансформации, применяется трансформатор повышающий.

Ток первичной обмотки (такой же ток будет протекать через транзисторы инвертора):

$$I_1 = \frac{I_2}{K_{тр} \eta_{тр}} = \frac{20,07}{0,51 \cdot 0,98} = 40,15 \text{ А} \quad (2.49)$$

Мощность трансформатора:

$$P_{транс1} = \frac{P_{выпр}}{\eta} = \frac{14562,8}{0,98} = 14860 \text{ Вт} \quad (2.50)$$

2.9 Расчет инвертора

Данный инвертор предназначен для преобразования постоянного сглаженного напряжения с выхода трехфазного мостового выпрямителя в переменный, для дальнейшего трансформирования напряжения для заряда аккумуляторной батареи.

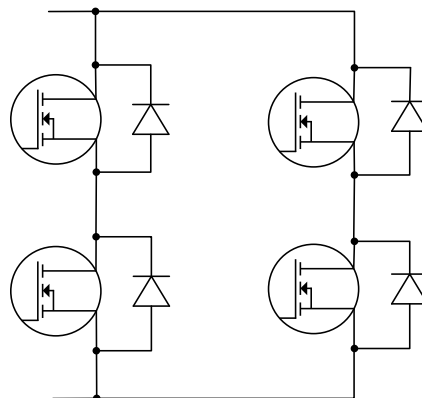


Рисунок 2.8 – однофазный мостовой инвертор

Расчет параметров для выбора транзистора инвертора (с учётом коэффициента запаса).

Максимальный ток коллектора равен току в первичной обмотке трансформатора:

$$I_{D\max} = I_1 = 40,15 \text{ A} \quad (2.51)$$

Максимальное напряжение коллектор-эмиттер:

$$U_{DS\max} = K_3(2,34U_{c\max} - \Delta U_{VT}) = 1,5(2,34 \cdot 275 - 2,2) = 961,95 \text{ В} \quad (2.52)$$

Мощность инвертора:

$$P_{инв1} = \frac{P_{выпр}}{\eta} = \frac{14860}{0,95} = 15642 \text{ Вт} \quad (2.53)$$

По полученным значениям тока производится выбор карбидо - кремневых транзисторов C2M0040120D на 1200 В, 60 А. Подробная информация в приложении Ж.[10]

2.10 Расчет неуправляемого выпрямителя

На рисунке 2.9 представлен трехфазный мостовой неуправляемый выпрямитель, который предназначен для преобразования трехфазной системы переменного тока в однофазную систему постоянного тока.

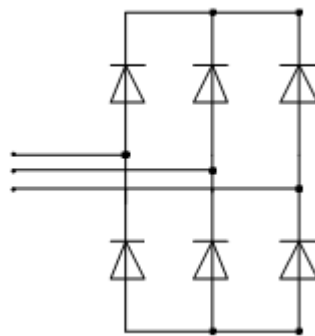


Рисунок 2.9 – Неуправляемый выпрямитель

Определение максимального и минимального напряжения на диоде, с учетом падения напряжения на нём:

$$\begin{aligned} U_{d \max} &= 2,34 \cdot U_{c \max} - \Delta U_{\text{вп}} = 2,34 \cdot 275 - 2 = 641,5 \text{ В} \\ U_{d \min} &= 2,34 \cdot U_{c \min} - \Delta U_{\text{вп}} = 2,34 \cdot 165 - 2 = 384,1 \text{ В} \\ \Delta U_{\text{вп}} &= N_{\text{vd}} \cdot \Delta U_{\text{vd}} = 2 \cdot 1 = 2 \text{ В} \end{aligned} \quad (2.54)$$

,где $\Delta U_{\text{вп}}$ – потери в выпрямителе;

N_{VD} – количество диодов в открытом состоянии;

ΔU_{VD} – падение напряжения на одном диоде (принимается 1 В);

$K_{\text{сх}}=2,34$ - коэффициент трехфазной мостовой схемы.

Требуемая мощность на выходе выпрямителя:

$$P_{\text{Треб}} = \frac{P_{\text{инв}}}{\eta} = \frac{15642}{0,9} = 17380 \text{ Вт}, \quad (2.55)$$

Принимается $\eta = 0,9$ - КПД выпрямителя

Ток в трехфазной мостовой схеме:

$$I_{d \max} = \frac{P_{\text{вх ппн}}}{U_{d \min}} = \frac{17380}{384,1} = 45,24 \text{ А} \quad (2.56)$$

Средний ток диода:

$$I_{d \text{ср}} = \frac{I_{d \max}}{3} = \frac{45,24}{3} = 15,08 \text{ А} \quad (2.57)$$

Максимальное обратное напряжение на диодах:

$$U_{\text{VDmax}} = \sqrt{6} \cdot U_{c \max} = \sqrt{6} \cdot 275 = 673,6 \text{ В} \quad (2.58)$$

По полученным расчетным параметрам выбирается диод С4D05120Е [11]. Технические параметры диода приведены в таблице 2.4. Дополнительная информация в приложении 3.[11]

Таблица 2.4 –Технические параметры диода С4D05120Е

$I_{\text{макс прям}}, \text{А}$	$U_{\text{прям обр}}, \text{В}$	Допустимый перепад Т, °С
19	1200	-55/+175

2.11 Расчет сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя

В большинстве случаев индуктивность на выходе выпрямителя выбирается из заданного числа пульсаций в номинальном режиме. При уменьшении тока нагрузки неизбежно приходим к режиму прерывистого тока, где велики относительные пульсации.

$$K_{\Pi} = \frac{I_{m(1)}}{I_d}.$$

Задается $K_{\Pi}=0,2$, пульсации тока выпрямителя рассчитываются по формуле:

$$I_{m(1)} = K_{\Pi} I_{d \max} = 0,2 \cdot 45,24 = 9,048 \text{ А} \quad (2.59)$$

Напряжение выпрямителя:

$$\begin{aligned} U_{d.m(1)} &= U_{d.\max} \frac{2}{m^2 + 1} \sqrt{1 + m^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} = \left| \begin{array}{l} \cos \alpha = 0,99 \\ \operatorname{tg} \alpha = 0,143 \end{array} \right| = \\ &= 673,6 \cdot \frac{2}{6^2 + 1} \cdot \sqrt{1 + 6^2 \cdot 0,143^2} = 47,97 \text{ В} \end{aligned} \quad (2.60)$$

$$X_d = \frac{U_{d.m(1)}}{I_{m(1)}} = \frac{47,97}{9,048} = 5,3 \text{ Ом} \quad (2.61)$$

Индуктивность дросселя:

$$L_d = \frac{X_d}{2\omega} = \frac{5,3}{2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 8,4 \text{ мГн} \quad (2.62)$$

Мощность потерь в индуктивности принимается 1%:

$$\Delta P_{Ld} = 0,01 P_n = 0,01 \cdot 17380 = 173,8 \text{ Вт} \quad (2.63)$$

Сопротивление дросселя:

$$R_{Ld} = \frac{\Delta P_{Ld}}{I_{d \max}^2} = \frac{173,8}{45,24^2} = 0,084, \text{ Ом} \quad (2.64)$$

Напряжения на конденсаторе определяется по формуле:

$$U_{C(1)} = K_{\Pi} U_{d.\max} = 0,2 \cdot 673,6 = 134,72, \text{ В} \quad (2.65)$$

$$X_C = \frac{U_{C(1)}}{I_{m(1)}} = \frac{134,72}{9,048} = 14,88, \text{ Ом}, \quad (2.66)$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot 2\pi f X_c} = \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 14,88} = 107, \text{ мкФ} \quad (2.67)$$

Выбирается конденсатор силовой В32778-G4117-К.[12]

В таблице 2.5 представлены показатели конденсатора В32778-G4117-К. Подробная информация представлена в приложении И.

Таблица 2.5 – Параметры конденсатора В32778-G4117-К

Номинальное напряжение, В	450
Ёмкость, мкФ	110
Максимальная частота, кГц	100

2.12 Выбор ключа для системы Байпас

При включении обводного ключа, протекает максимальный ток нагрузки:

$$I_{н. \max} = 46,86 \text{ А}$$

В качестве ключа можно использовать симистор обеспечивающий протекание тока в обоих направлениях. Прибор следует выбирать исходя из максимального тока нагрузки и с учетом того, что приложенное к нему напряжение может составлять двойную величину напряжения сети $2U_{\text{сном}}$ за счет не совпадения фаз напряжения на нагрузке и питающей сети.

$$2U_{\text{сном}} = 2 \cdot 220 = 440 \text{ В}$$

С учетом этого выбирается симистор ТС 132.50 на напряжение 800 В и максимальным током 50 А. Подробная информация в приложении К.[13]

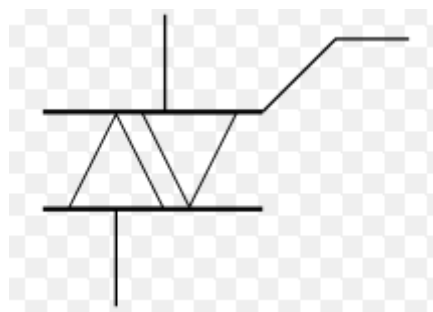


Рисунок 2.10 – Симистор

2.13. КПД проектируемого источника бесперебойного питания

Коэффициент полезного действия (КПД) — характеристика эффективности источника бесперебойного питания, который определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой. Расчет производится с учетом КПД элементов системы ИБП.

Так как в проектируемом ИБП имеются несколько аналогичных элементов (два инвертора, два трансформатора и т.д.), то количество аналогичных элементов принимается в степени КПД данного элемента.

Коэффициент полезного действия ИБП определяется по формуле:

$$\eta_{\text{ибп}} = \eta_{\text{инв}}^2 \times \eta_{\text{трансф}}^2 \times \eta_{\text{выпр}}^2 \times \eta_{\text{ф}}^3 = 0,95^2 \times 0,98^2 \times 0,9^2 \times 0,99^3 = 68\%$$

, где $\eta_{\text{инв}}=0,95$ – КПД инвертора;

$\eta_{\text{трансф}}=0,98$ – КПД трансформатора;

$\eta_{\text{выпр}}=0,9$ – КПД выпрямителя;

$\eta_{\text{ф}}=0,99$ – КПД фильтра.

КПД разрабатываемого ИБП 68%.

3. ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

На рисунке 3.1 представлена принципиальная схема источника бесперебойного питания.

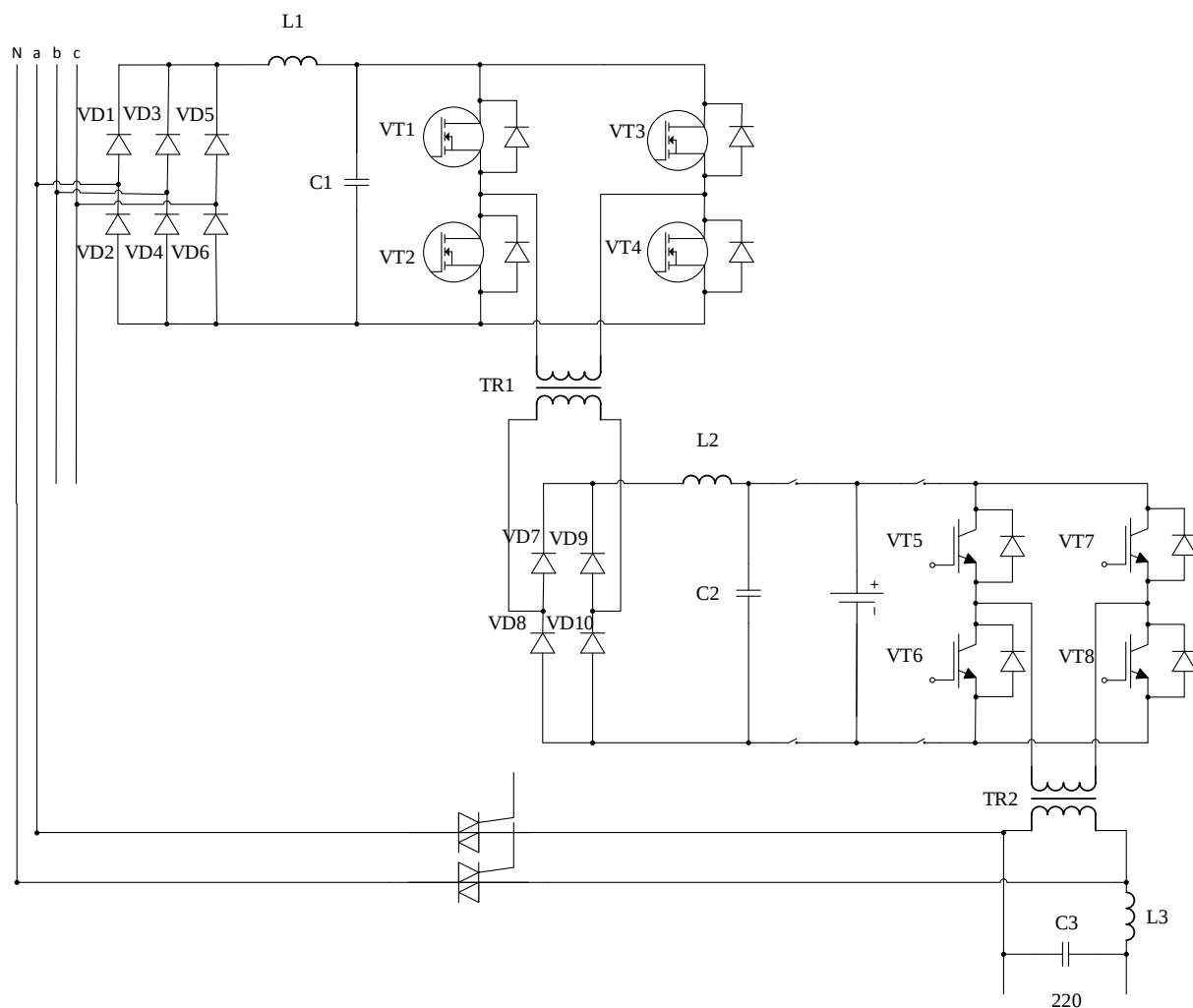


Рисунок 3.1 - Принципиальная схема источника бесперебойного питания

В сетевом режиме работы на вход неуправляемого мостового выпрямителя, который состоит из диодов VD1-VD6, подается переменное трехфазное напряжение. Трехфазный мостовой выпрямитель преобразует переменное напряжение в выпрямленное пульсирующее напряжение, где на выходе сглаживается за счет Г-образного LC-фильтра, состоящий из катушки индуктивности L1 и конденсатора C1. Затем напряжение подается на инвертор, который состоит из высокочастотных MOSFET транзисторов

(VT1-VT4). На выходе инвертора повышающий трансформатор TR1 преобразует переменное напряжения до нужных значений. Далее напряжение выпрямляется на однофазном диодном мосте состоящем из диодов VD7, VD8, VD9, VD10. На выходе диодного моста образуется пульсирующее выпрямленное напряжение, для сглаживания напряжения выбирается сглаживающий фильтр (C2,L2). Затем подается постоянное сглаженное напряжение на заряд аккумуляторной батареи, а также на вход инвертора состоящий из IGBT транзисторов VT5, VT6, VT7, VT8, где преобразуется постоянное напряжение в переменное. После инвертора переменное напряжение за счет трансформатора TR2 трансформируется до номинального, требуемого значения 220 В. На выходе трансформатора напряжение сглаживается на фильтре и подается переменное, сглаженное, синусоидальное напряжение, без каких либо отклонений.

При исчезновении напряжения питающей сети схема моментально переключается в автономный режим работы, без скачка амплитуды и фазы выходного напряжения. В результате чего питание нагрузки осуществляется с помощью энергии АБ и преобразование напряжения до синусоидального значения. Напряжение от аккумулятора преобразуется в переменное, благодаря инвертору, который состоит из IGBT транзисторов VT5, VT6, VT7, VT8. После инвертора переменное напряжение за счет трансформатора TR2 трансформируется до номинального значения 220 В. На выходе трансформатора напряжение сглаживается на фильтре и подается переменное, сглаженное, синусоидальное напряжение на нагрузку.

Нагрузка питается от сети с помощью байпаса в том случае, когда инвертор по каким – либо причинам не может обеспечить нагрузку требуемой мощности (перегрузка, разряд аккумулятора). Байпас состоит из полупроводниковых ключей в цепи байпаса, в качестве которых используются встречно-параллельные тиристоры или симистор. Также при питании от байпаса отсутствует стабилизация напряжения.

4. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕНИЕ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

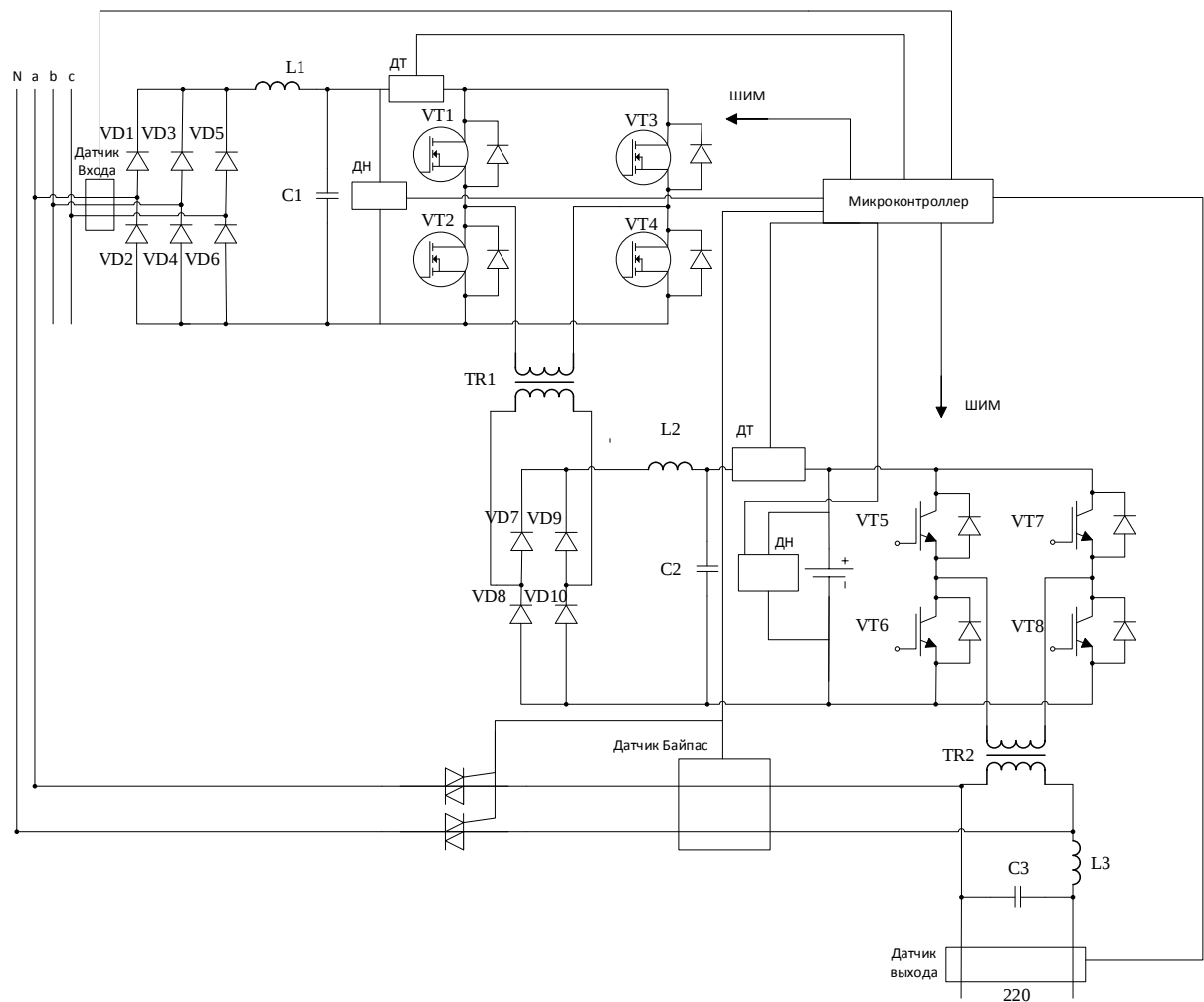


Рисунок 4.1 - Схема управления и диагностики ИБП

Элементы системы управления, представленные на схеме (Рисунок 4.1)

ДН – датчик напряжения;

ДТ – датчик тока;

Система управления построена на базе микроконтроллера. Микроконтроллер, используемый для данной системы, должен иметь аппаратную поддержку ЦАП, АЦП и ШИМ модуляции. Наличие ШИМ модуляции в микроконтроллере необходимо для создания алгоритма управления силовыми ключами инвертора и выпрямителя. Сигналы с аналоговых датчиков напряжения и тока батареи заводятся на АЦП микроконтроллера. АЦП преобразует аналоговый сигнал в цифровой.

Датчики тока и напряжения служат для контролирования действующих значений тока и напряжения в нагрузке, в батарее, на входе инвертора и выпрямителя.

ИБП переходит в режим байпас при выходе из строя инвертора. При этом с датчика напряжения в микроконтроллер поступает сигнал о малом напряжении. Также в режим байпас ИБП может перейти из-за разряда аккумуляторной батареи, в этом случае сигнал о разряде батареи с датчика тока или напряжения поступит на микроконтроллер.

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИБП

Согласно принципиальной схемы источника бесперебойного питания (рисунок 3.1), разработаны имитационные модели в моделирующей среде Matlab Simulink 2013, для двух режимов работы: автономный режим (рисунок 5.1) и сетевой режим (рисунок 5.24).

5.1 Описание имитационной модели

В качестве источника сетевого трехфазного переменного напряжения применяются блоки AC Voltage Source. Для построения неуправляемых выпрямителей, используются блоки Universal bridge. В параметрах блока выбирается однофазная мостовая схема выпрямления.

После выпрямителей, как для сетевого режима, так и для автономного режима, установлены Г-образные LC фильтры, построенные с помощью элемента Load, в параметрах которого выбирается емкость или индуктивность и рассчитанные ранее параметры.

Высокочастотные инверторы реализованы с помощью блоков Subsystem, содержимое которых представлена на рисунке 5.3. Инвертор состоит из транзисторов, в данном случае блоки ideal switch.

Система управления (рисунок 5.2) представляет замкнутую САУ для имитации ШИМ управления и состоит из генератора синусоидального сигнала, ПИ – регулятора и генератора пилообразных сигналов. На вход ПИ – регулятора подаются сигналы синусоиды с заданной амплитудой и сигналы обратной связи с определенным коэффициентом амплитуды сигнала. Затем с сигналами с выхода ПИ – регулятора сравниваются пилообразные сигналы, которые имитируют ШИМ для управления инвертором.

Аккумуляторная батарея реализована с помощью блока Battery, в котором заданы ранее рассчитанные параметры.

5.2 Моделирование автономного режима ИБП

Для исследования автономного режима работы рассчитанного ИБП была разработана модель в программе Matlab (R2013a). На рисунке 5.1 представлена модель источника бесперебойного питания в автономном режиме.

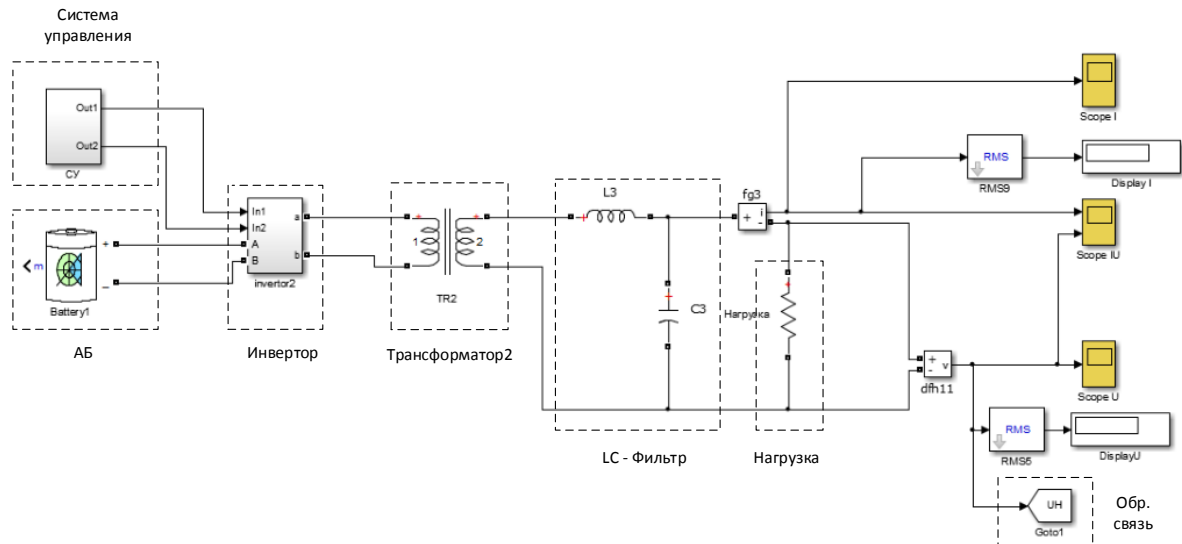


Рисунок 5.1 - Модель источника бесперебойного питания в автономном режиме в программе Matlab R2013a.

Состав имитационной модели: автономный инвертор аккумуляторная батарея «Battery», инвертор состоящий из транзисторов «VT5,VT6,VT7,VT8», система управления с обратной связью, выходной Г-образный LC-фильтр «L3» «C3», нагрузка «R».

Блок системы управления инвертором представлена на рисунке 5.2.

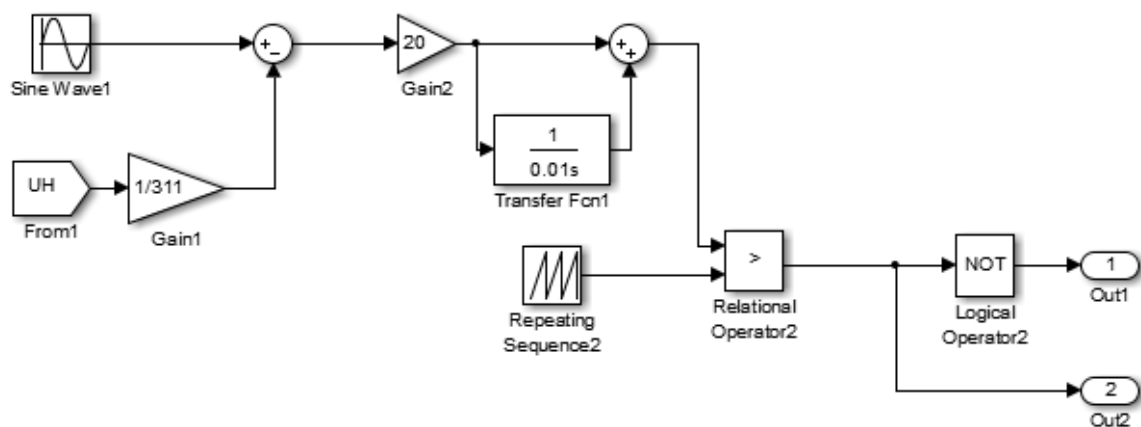


Рисунок 5.2 – Блок системы управления (СУ) инвертором

Блок инвертора представлена на рисунке 5.3.

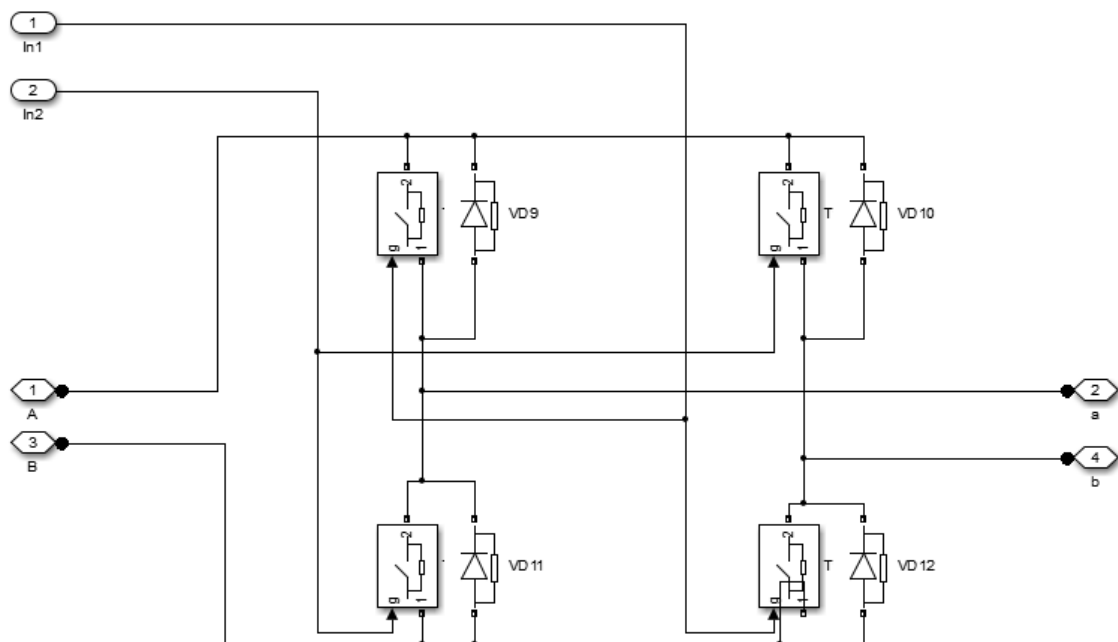


Рисунок 5.3 – блок инвертора

Блок «Battery» представлен как аккумуляторная батарея. На рисунке 5.4 представлены параметры данного блока.

Battery (mask) (link)

Implements a generic battery that model most popular battery types. Uncheck the "Use parameters based on Battery type and nominal values" parameter to edit the discharge characteristics.

Parameters
View Discharge Characteristics
Battery [< >]

Battery type
Nickel-Metal-Hydride

Nominal Voltage (V)
361

Rated Capacity (Ah)
32

Initial State-Of-Charge (%)
100

☐ Use parameters based on Battery type and nominal values

Maximum Capacity (Ah)
32

Fully Charged Voltage (V)
361

Nominal Discharge Current (A)
29.58

Internal Resistance (Ohms)
1

Capacity (Ah) @ Nominal Voltage
361

Exponential zone [Voltage (V), Capacity (Ah)]
[220 32]

Рисунок 5.4 - Параметры аккумуляторной батареи

Блок «ideal switch» представлен как автономный инвертор. Окно с его настройками представлена на рисунке 5.5 .

Ideal Switch (mask) (link)

Switch controlled by a gate signal in parallel with a series RC snubber circuit.
In on-state the Switch model has an internal resistance (R_{on}).
In off-state this internal resistance is infinite.
The internal resistance must be greater than zero.
The switch model is on-state when the gate signal (g) is set to 1.

Parameters

Internal resistance R_{on} (Ohms) :

Initial state (0 for 'open', 1 for 'closed') :

Snubber resistance R_s (Ohms) :

Snubber capacitance C_s (F) :

☐ Show measurement port

Рисунок 5.5 - Параметры инвертора

На выходе автономного инвертора подключен Г-образный LC-фильтр. Входной фильтр представлен в имитационной модели как индуктивность L3 и конденсатор C3, параметры описаны на рисунке 5.6.

The image shows two overlapping windows for configuring a 'Series RLC Branch'. The top window is for an inductor (L) with an inductance of 0.13e-3 H. The bottom window is for a capacitor (C) with a capacitance of 14.21e-6 F. Both windows include options for setting initial conditions and measurements.

Series RLC Branch (mask) (link)
 Implements a series branch of RLC elements. Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type: L

Inductance (H): 0.13e-3

☐ Set the initial inductor current

Measurements: None

Series RLC Branch (mask) (link)
 Implements a series branch of RLC elements. Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type: C

Capacitance (F): 14.21e-6

☐ Set the initial capacitor voltage

Measurements: None

Рисунок 5.6 - Параметры Г – образного фильтра на выходе инвертора

Для снятия выходных характеристик смоделированного ИБП служит элемент Scope (осциллограф). Осциллограф позволяет наблюдать переходные процессы в процессе моделирования. Для измерения тока, с выводом результата на осциллограф, используется блок «Current Measurement» (измерение тока). В модели он представлен как «fg3». Для измерения напряжения, с выводом результата на осциллограф, используется блок «Voltage Measurement» (измерение напряжения). В модели блок представлен как «dfh11».

Высшие гармоники в современных системах электропитания

Системы обеспечения качественного электроснабжения должны быть разработаны таким образом, чтобы они могли справиться с проблемами, с такими как: провалы, колебания, выбросы напряжения, высокочастотные шумы, импульсные помехи и гармонические искажения, которые вызваны гармоническими составляющими тока, потребляемого нелинейной нагрузкой.

Основная часть компьютерного и офисного оборудования представляет собой нелинейную электрическую нагрузку, которая создает искажения в питающей сети. Суммарный эффект этих нагрузок выражается в искажении напряжения, которое воздействует на другое оборудование, получающее электропитание от того же источника. Это может вызывать перегрев и рассинхронизацию в других устройствах, сбои в коммуникациях и сетях передачи данных, повреждении аппаратуры и другие нежелательные эффекты.

Коэффициент гармоник – это показатель, который характеризует степень отличия формы напряжения или тока от идеальной синусоидальной формы. Как и в сети ИБП не может генерировать идеальную синусоиду, поэтому проводится анализ коэффициента гармонических искажений. Для определения коэффициента гармонических искажений обычно нужно специальное оборудование, но можно приблизительно оценить величину полного коэффициента гармонических искажений просто по осциллограмме напряжения, в данном случае при моделировании можно воспользоваться Анализом Фурье.

Анализ Фурье

Для быстрого анализа гармоник используем модуль «FFT Analysis» блока «Powergui» – быстрое преобразование Фурье. Настройка процедуры гармонического анализа выполняется с помощью параметров, задаваемых в окне «Powergui FFT Tools». Указывается частота основной гармоники – 50 Гц, вид сигнала (ток), количество периодов. На верхнем графике окна «Signal

to analyze» будет отображаться входной сигнал только для заданного временного интервала. (Рисунок 5.11). На нижнем – гармонический состав. (Рисунок 5.12).

Критерии оценки коэффициента гармонических искажений:

- 0 % — форма сигнала полностью соответствует синусоиде;
- порядка 3 % — форма, близкая к синусоидальной;
- порядка 5 % — форма сигнала, приближенная к синусоидальной;
- до 21 % — сигнал имеет трапецеидальную или ступенчатую форму (модифицированный синус или меандр);
- 43 % и выше — сигнал прямоугольной формы (меандр).

Исследование имитационной модели ИБП в автономном режиме при активной нагрузке.

Исследуемая имитационная модель ИБП в автономном режиме при активной нагрузке представлена на рисунке 5.7.

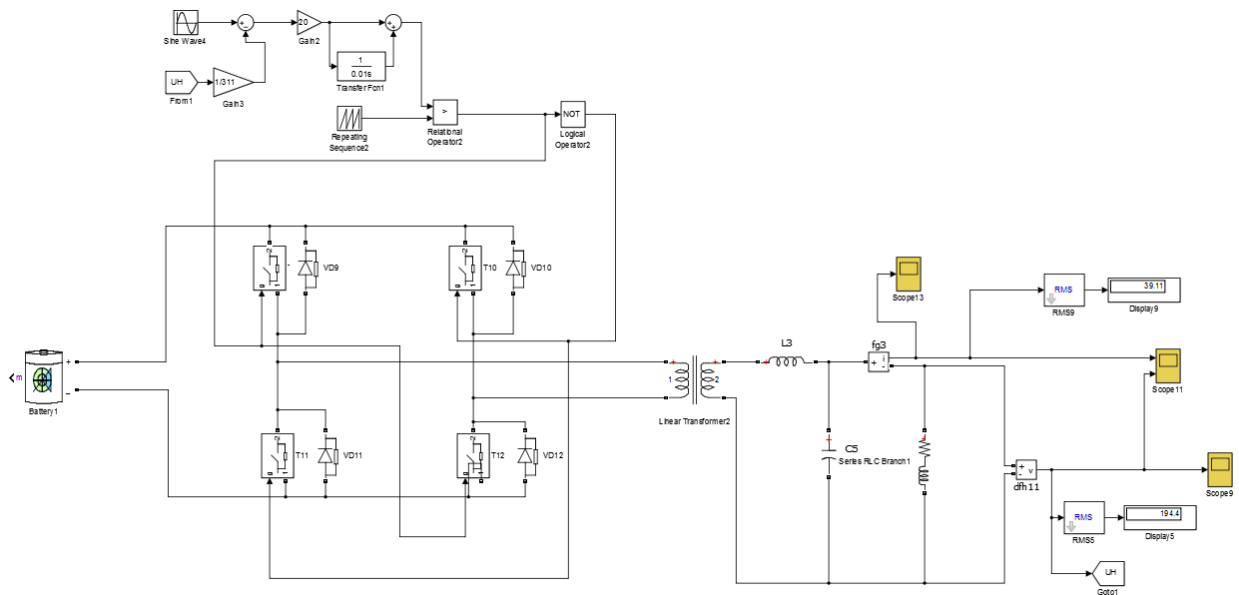


Рисунок 5.7 - Имитационная модель при активной нагрузке

Series RLC Branch (mask) (link)

Implements a series branch of RLC elements.
Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type:

Resistance (Ohms):

Measurements

Рисунок 5.8 - Параметры активной нагрузки

Результат моделирования представлен на рисунке 5.9

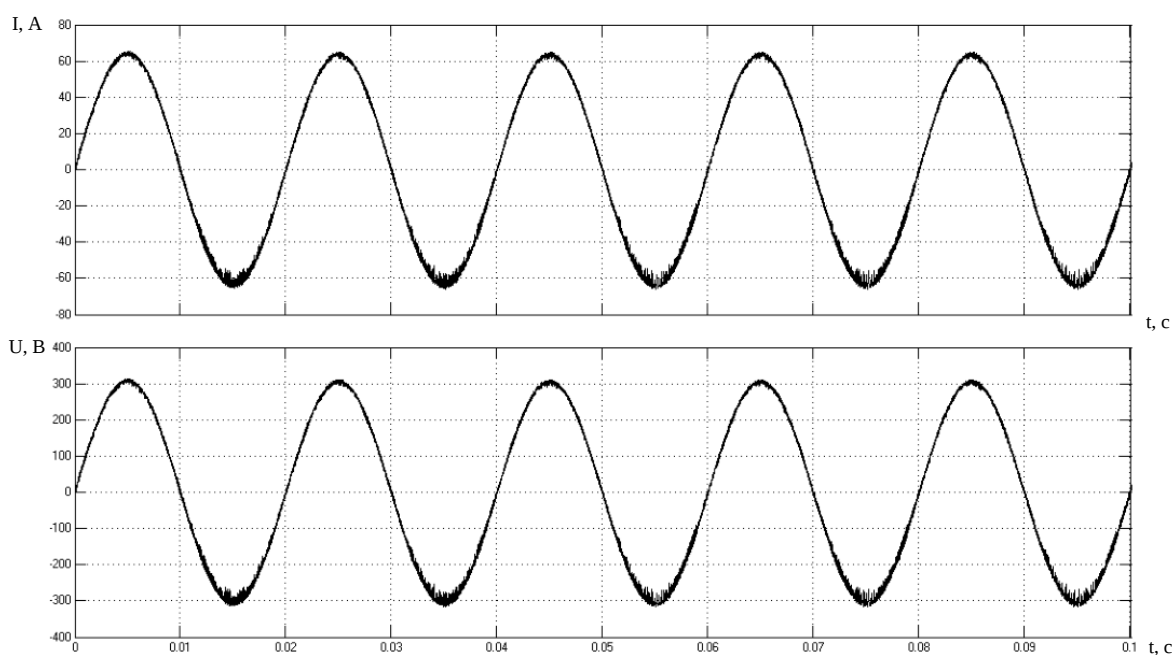


Рисунок 5.9 - Результаты тока и напряжения в автономном режиме при активной нагрузке.

По результатам моделирования видно, что амплитудное напряжение близко к 311 В, что удовлетворяет требуемому амплитудному напряжению нагрузки.

Имитация наброса активной нагрузки.

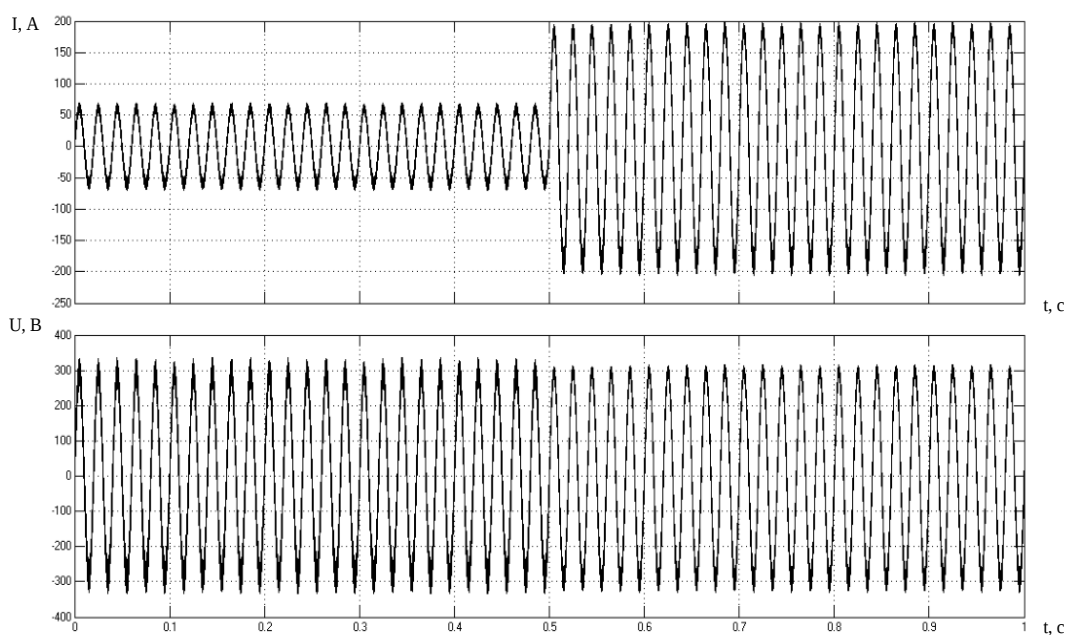


Рисунок 5.10 – Результаты тока и напряжения при набросе активной нагрузки.

На интервале времени от 0 до 0,5 с нагрузка составляла 4,8 Ом. Начиная с 0,5 до 1 с был произведен наброс нагрузки на 2,4 Ом. При набросе нагрузки ток повышается скачком, а в напряжении нет особых изменений, значит моделирование проведено верно.

Анализ высших гармоник при активной нагрузке.

На рисунке 5.11 представлена осциллограмма тока, полученная с помощью функции FFT Analysis.

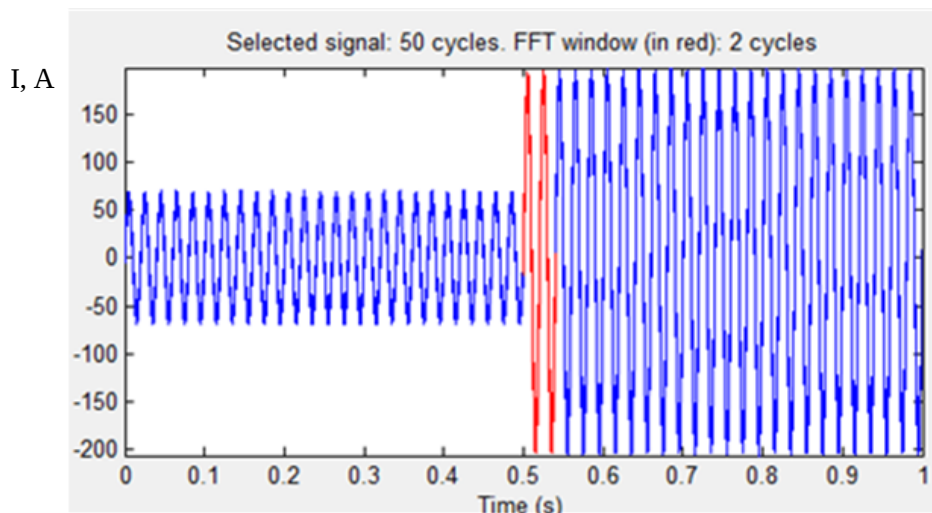


Рисунок 5.11 - Результаты анализа Фурье

Исследование синусоиды тока проводилась для одного периода колебания, после наброса нагрузки, в момент времени 0,5 с. Анализируя результат разложения тока в ряд Фурье, представленный на рисунке 5.12, можно сделать вывод, что параметры входных и выходных фильтров подобраны верно и значения высших гармоник не превышают установленных значений.

Sampling time	= 1e-06 s	
Samples per cycle	= 20000	
DC component	= 0.01576	
Fundamental	= 127.4 peak (90.08 rms)	
THD	= 2.63%	
0 Hz (DC) :	0.01%	270.0°
25 Hz	0.07%	-48.5°
50 Hz (Fnd) :	100.00%	-0.3°
75 Hz	0.06%	74.9°
100 Hz (h2) :	0.34%	-77.4°
125 Hz	0.07%	112.8°
150 Hz (h3) :	0.21%	5.9°
175 Hz	0.04%	260.3°
200 Hz (h4) :	0.15%	96.3°
225 Hz	0.04%	257.1°
250 Hz (h5) :	0.12%	173.8°
275 Hz	0.04%	48.4°
300 Hz (h6) :	0.06%	251.6°

Рисунок 5.12 - Результат анализа Фурье

Исследование имитационной модели ИБП в автономном режиме при активно - индуктивной нагрузке.

Исследуемая имитационная модель ИБП в автономном режиме при активно - индуктивной нагрузке представлена на рисунке 5.13.

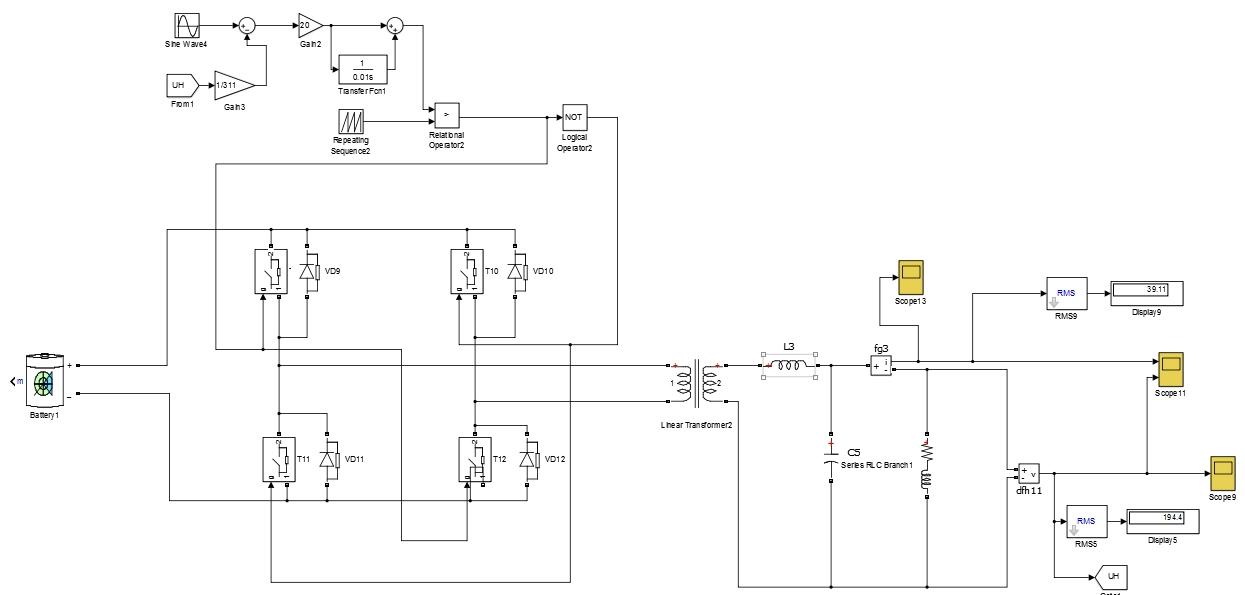


Рисунок 5.13 - Имитационная модель при активно – индуктивной нагрузке

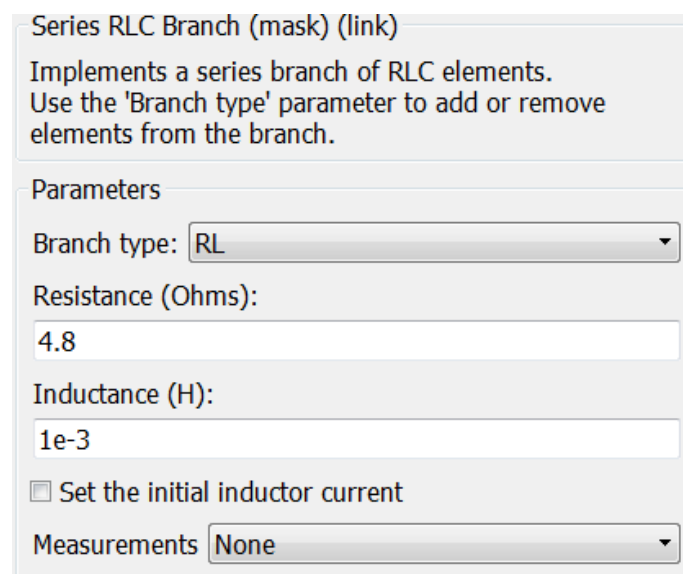


Рисунок 5.14 - Параметры активно – индуктивной нагрузки

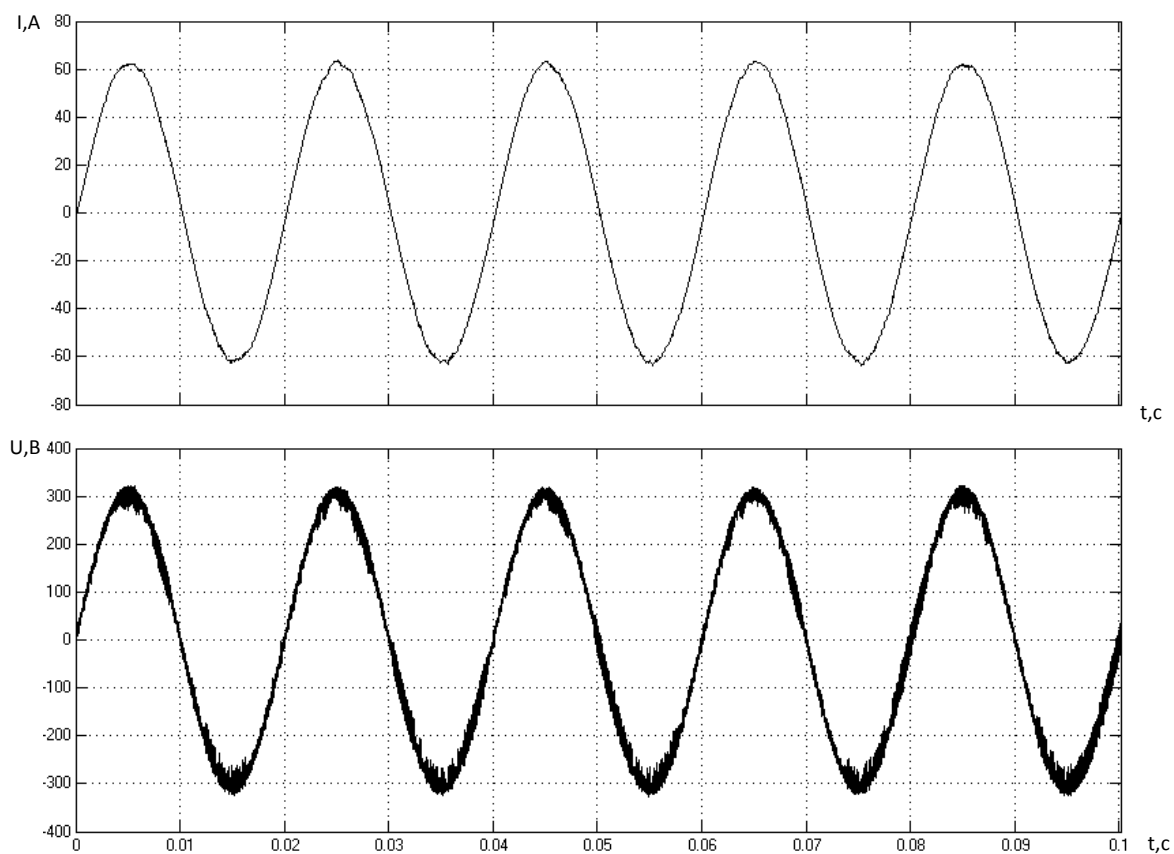


Рисунок 5.15 - Результаты тока и напряжения в автономном режиме при активно - индуктивной нагрузке.

По результатам моделирования видно, что амплитудное напряжение близко к 311 В, что удовлетворяет требуемому амплитудному напряжению нагрузки.

Имитация наброса активно - индуктивной нагрузки.

Результаты моделирования представлены на рисунке 5.16.

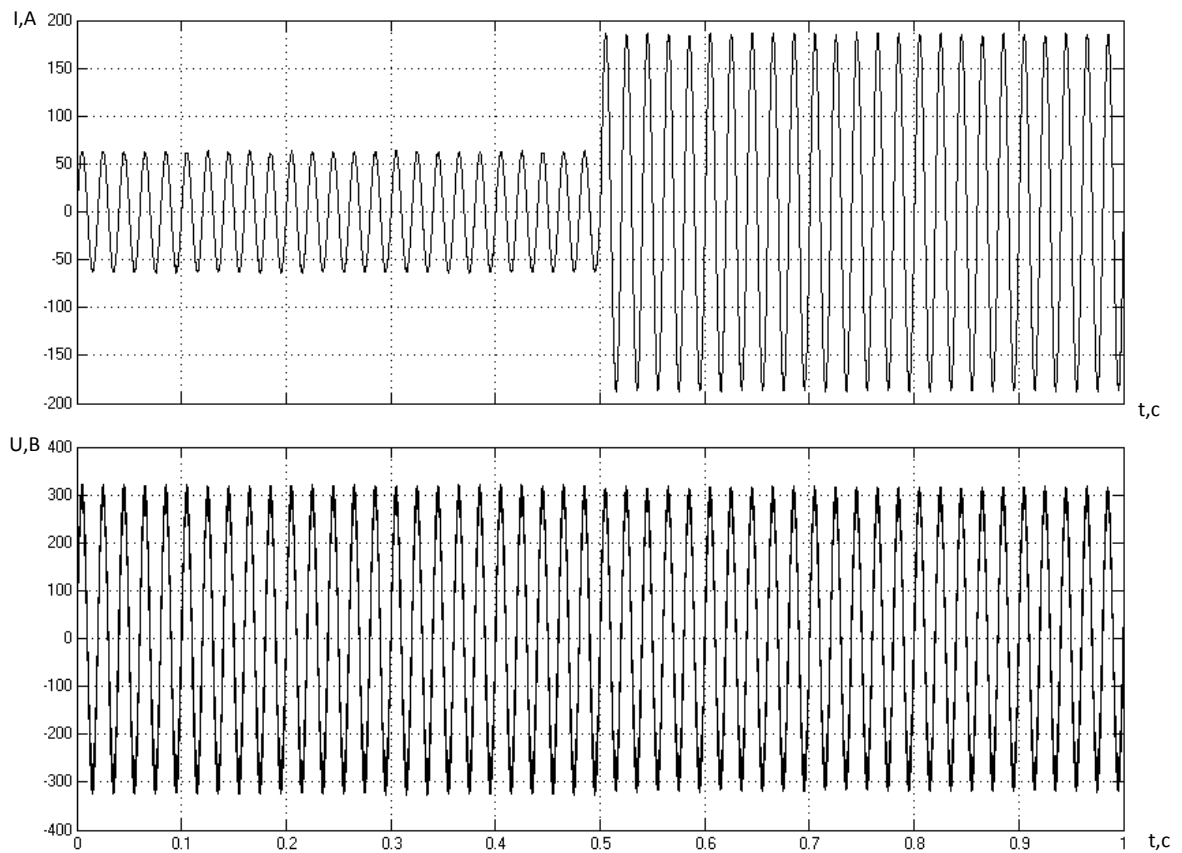


Рисунок 5.16 - Результаты тока и напряжения при набросе активно – индуктивной нагрузки

На интервале времени от 0 до 0,5 с нагрузка составляла 4,8 Ом и 1 мГн. Начиная с 0,5 до 1 с был произведен наброс нагрузки на 2,4 Ом и 1 мГн. При набросе нагрузки ток увеличивается скачком, а в напряжении нет особых изменений, значит моделирование проведено верно.

Анализ высших гармоник при активно – индуктивной нагрузке.

На рисунке 5.17 представлена осциллограмма тока, полученная с помощью функции FFT Analysis.

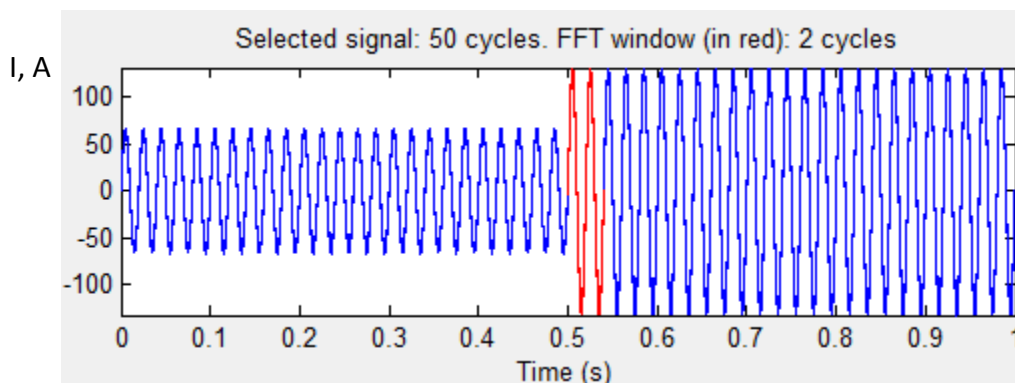


Рисунок 5.17 - Результаты анализа Фурье

Исследование синусоиды тока проводилась для одного периода колебания, после наброса нагрузки, в момент времени 0,5 с. Анализируя результат разложения тока в ряд Фурье, представленный на рисунке 5.18, можно сделать вывод, что значения высших гармоник не превышают установленных значений, так как фильтры подобраны верно.

Sampling time = 1e-06 s			
Samples per cycle = 20000			
DC component = 0.2876			
Fundamental = 184.7 peak (130.6 rms)			
THD = 1.25%			
0 Hz (DC) :	0.16%	90.0°	
25 Hz	0.22%	105.1°	
50 Hz (Fnd) :	100.00%	-6.8°	
75 Hz	0.25%	55.0°	
100 Hz (h2) :	0.07%	67.2°	
125 Hz	0.13%	89.0°	
150 Hz (h3) :	0.30%	47.0°	
175 Hz	0.39%	113.6°	
200 Hz (h4) :	0.27%	227.5°	
225 Hz	0.27%	68.5°	
250 Hz (h5) :	0.23%	-47.7°	
275 Hz	0.12%	20.8°	
300 Hz (h6) :	0.11%	97.5°	

Рисунок 5.18 - Результаты анализа Фурье

Исследование имитационной модели ИБП в автономном режиме при активно
- емкостной нагрузке.

Исследуемая имитационная модель ИБП в автономном режиме при активно
- индуктивной нагрузке представлена на рисунке 5.19.

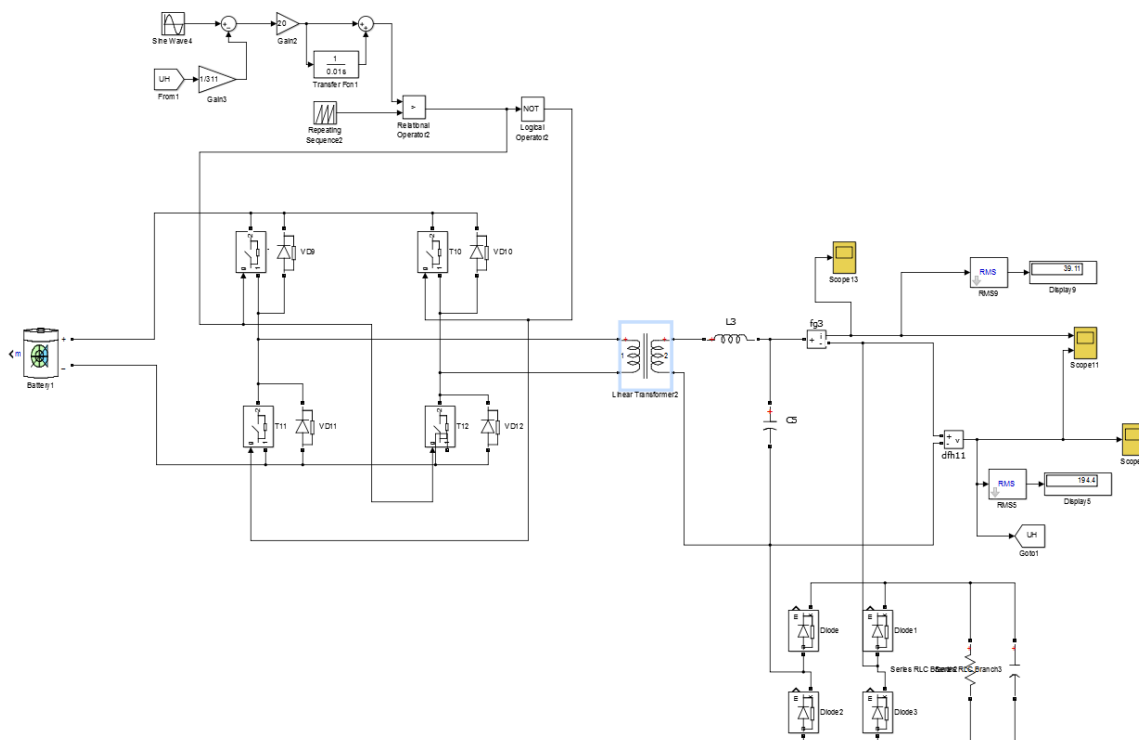


Рисунок 5.19 - Имитационная модель при активно – емкостной нагрузке.

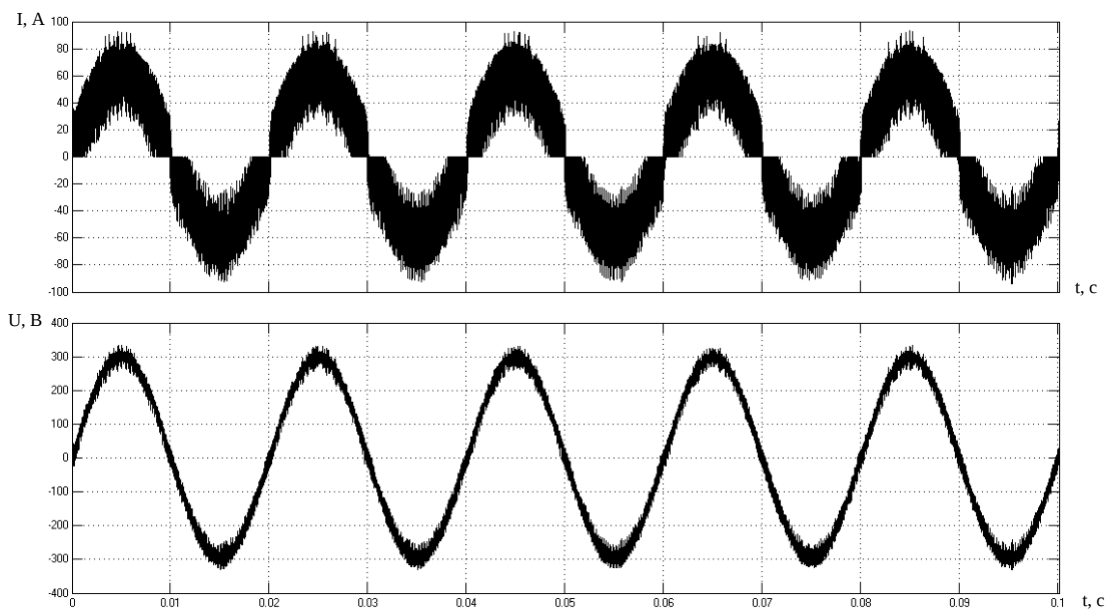


Рисунок 5.20 - Результаты тока и напряжения при активно – емкостной нагрузке

Имитация наброса активно - емкостной нагрузки.

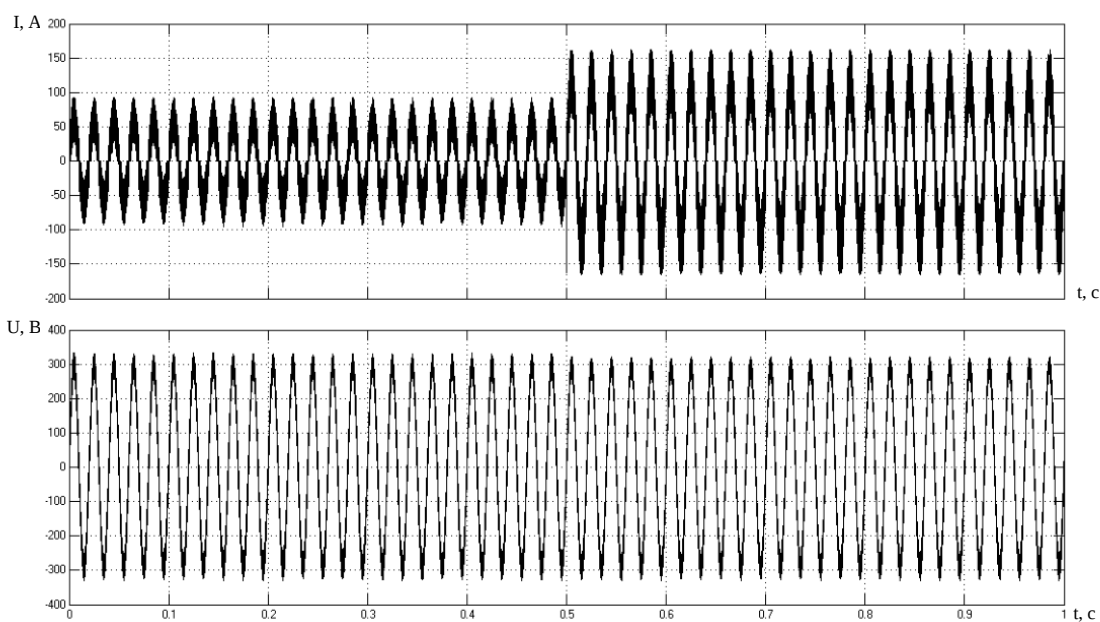


Рисунок 5.21 – Результаты тока и напряжения при набросе активно – емкостной нагрузки

На рисунке 5.21 представлены осциллограммы тока и напряжения при использовании активно-емкостной нагрузки. На интервале времени от 0 до 0,5 с нагрузка составляла 4,8 Ом, емкость 10^{-6} Ф. Начиная с 0,5 до 1 с был произведен наброс нагрузки на 4,8 Ом и емкости 10^{-6} Ф. При набросе нагрузки, нет особых изменений напряжения, значит моделирование проведено верно.

Анализ высших гармоник при активно – емкостной нагрузке.

На рисунке 5.22 представлена осциллограмма тока, полученная с помощью функции FFT Analysis.

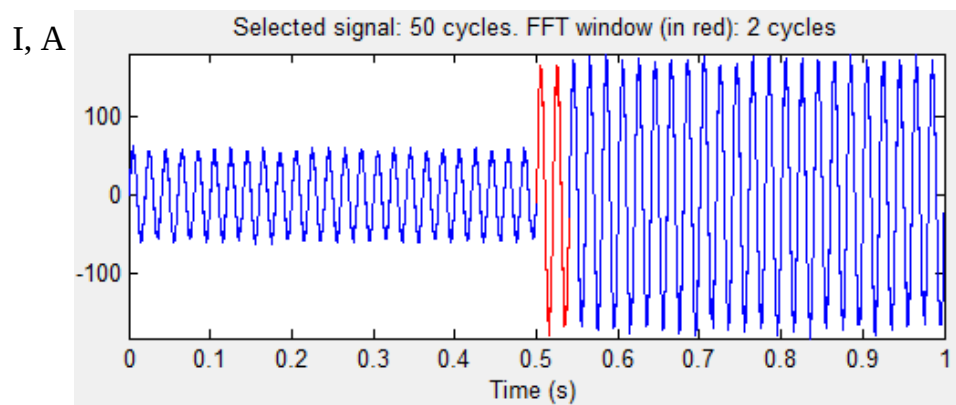


Рисунок 5.22 - Результаты анализа Фурье

Исследование синусоиды тока проводилась для одного периода колебания, после наброса нагрузки, в момент времени 0,5 с. В сравнении с остальными нагрузками, в данном случае коэффициент гармоник значительно больше, т.к. в нагрузке имеются вентили, которые при коммутации негативно влияют на синусоиду.

Sampling time = 1e-06 s			
Samples per cycle = 20000			
DC component = 0.06889			
Fundamental = 120.3 peak (85.07 rms)			
THD = 28.19%			
0 Hz	(DC) :	0.06%	270.0°
25 Hz		0.23%	78.3°
50 Hz	(Fnd) :	100.00%	-0.4°
75 Hz		0.25%	-87.3°
100 Hz	(h2) :	0.12%	17.7°
125 Hz		0.32%	178.2°
150 Hz	(h3) :	0.79%	-24.1°
175 Hz		0.25%	58.3°
200 Hz	(h4) :	0.50%	252.8°
225 Hz		0.21%	-77.1°
250 Hz	(h5) :	0.20%	233.5°
275 Hz		0.14%	213.3°
300 Hz	(h6) :	0.10%	78.0°

Рисунок 5.23 – Результаты анализа Фурье

Присутствие гармоник говорит об искаженной форме тока или напряжения. Источниками гармоник токов являются нелинейные нагрузки, подсоединенные к распределительной сети. Протекание гармоник токов по сети, имеющей некоторое полное сопротивление, приводит к появлению гармоник напряжений и соответственно к искажению формы питающего напряжения. Влияние высших гармоник на батареи конденсаторов. В условиях повышенных напряжении высших гармоник на вводах конденсаторов, которые перегреваются и выходят из строя.

Влияние гармоник в автономных режимах.

Существенным оказывается влияние гармоник на работу защиты, строящейся на измерении сопротивления. Дистанционная защита, в которой производится измерение сопротивлений на основной частоте, может давать значительные ошибки в случае наличия в токе короткого замыкания высших гармоник. Большое содержание гармоник обычно наблюдается в случаях, когда ток короткого замыкания течет через землю (сопротивление земли доминирует в общем сопротивлении контура). Если гармоники не отфильтровываются, вероятность ложной работы весьма высока.

В случае металлического короткого замыкания в токе преобладает основная частота.

Влияние высших гармоник на преобразовательное оборудование

Вырезы на синусоиде напряжения, возникающие во время коммутации вентилей, могут влиять на синхронизацию другого подобного оборудования или устройств, управление которыми осуществляется в момент перехода кривой напряжения нулевого значения.

При работе на выпрямительную нагрузку инвертор в совокупности с нагрузкой представляет собой систему с изменяемыми параметрами. Это обусловлено тем, что цикл его работы состоит из двух этапов. На одном из этапов открыты диоды выпрямителя и производится заряд его выходного конденсатора через силовой фильтр инвертора. На другом этапе диоды

выпрямителя закрыты, и инвертор на этом интервале находится в режиме холостого хода. При этом через фильтр инвертора также протекает импульсный, несинусоидальный ток. Форма тока сильно искажена в отличие от работы на другие виды нагрузки. Коэффициент мощности становится ниже.

Емкостная нагрузка является самой негативной для ИБП, так как от большой емкости, которая подключается к сглаживающему фильтру, происходят значительные искажения тока.

Исследование имитационной модели ИБП в сетевом режиме.

Исследуемая имитационная модель ИБП в сетевом режиме представлена на рисунке 5.24.

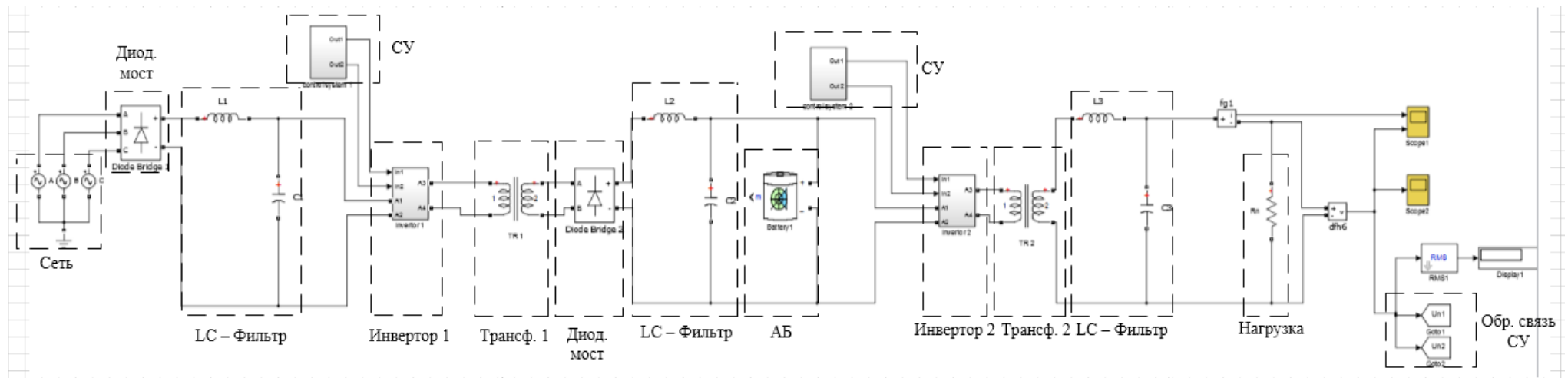


Рисунок 5.24 – Имитационная модель ИБП в сетевом режиме в программе Matlab Simulink 2013.

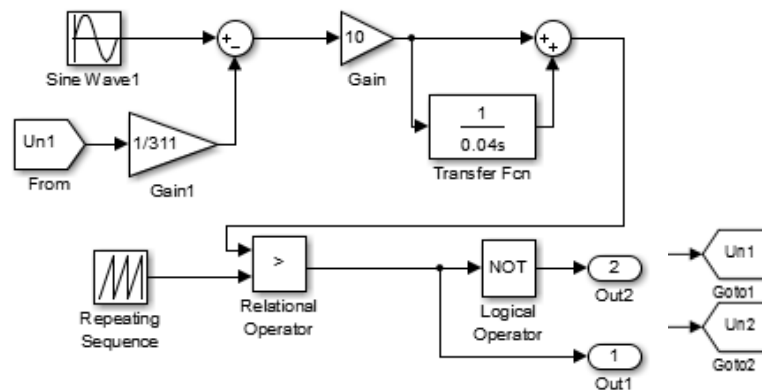


Рисунок 5.25 - блок системы управления (СУ)

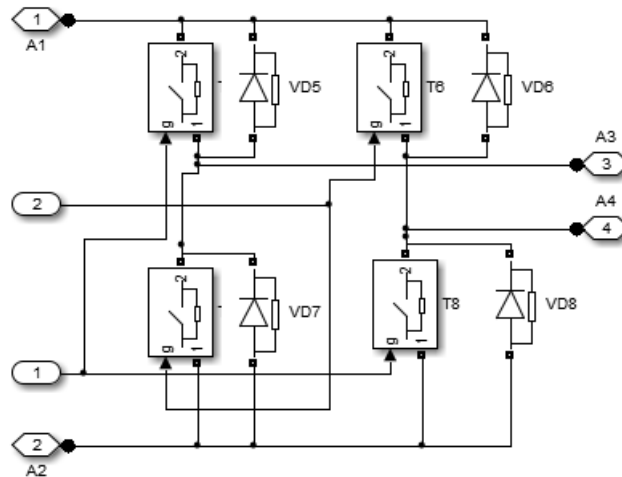


Рисунок 5.26 - блок инвертора

Имитационная модель представляет замкнутую схему с обратной связью для имитации создания системы управления (ШИМ) инверторами. Аккумуляторная батарея реализована с помощью элемента Battery. Диодный мост реализован с помощью элемента «Universal bridge», а инвертор с помощью элементов «ideal switch». В обычном режиме нагрузка питается от сети 3-х фазным напряжением 380 В, аккумулятор представляет с собой нагрузку, а при переходе в аварийный режим, аккумулятор начинает работать в качестве источника питания.

Преобразование постоянного напряжения в переменное на инверторе осуществляется с помощью системы управления, реализованной двумя блоками системы управления (СУ). Стоит отметить, блоки выполнены одинаково. Данные блоки осуществляют имитацию широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для каждого плеча инвертора напряжения.

Исследование имитационной модели ИБП в сетевом режиме при активной нагрузке.

Series RLC Branch (mask) (link)

Implements a series branch of RLC elements.
Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type:

Resistance (Ohms):

Measurements

Рисунок 5.27 - Параметры активной нагрузки

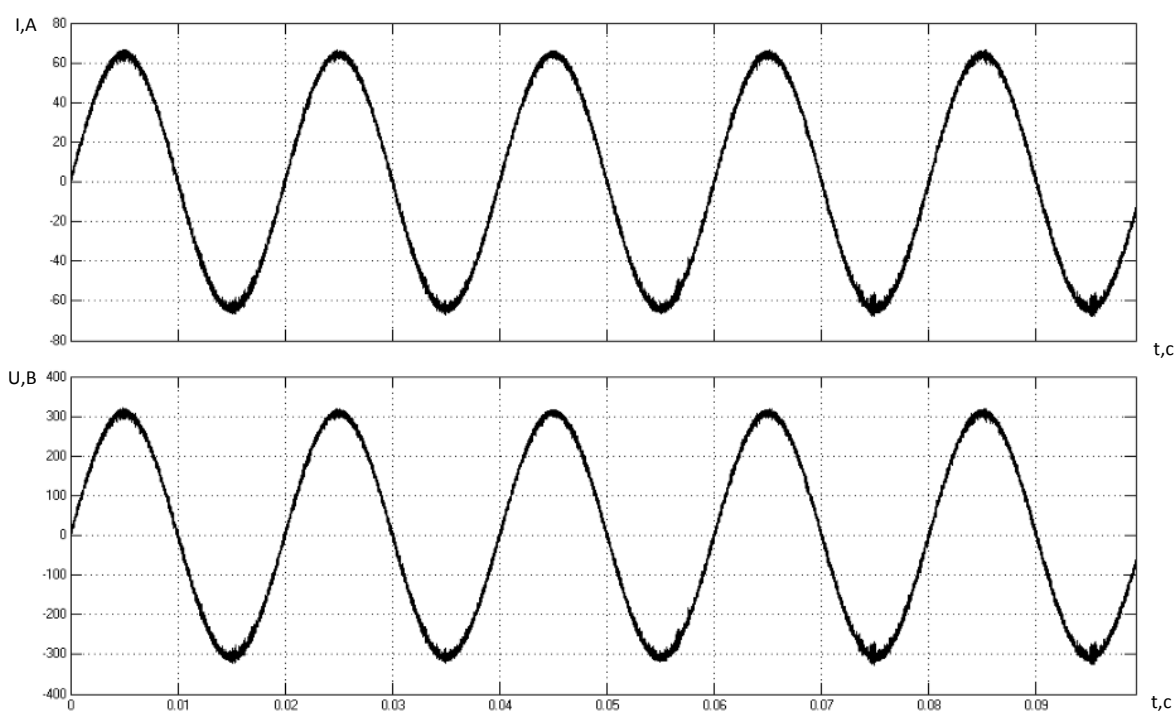


Рисунок 5.28 - Результаты тока и напряжения при активной нагрузке

Имитация наброса активной нагрузки.

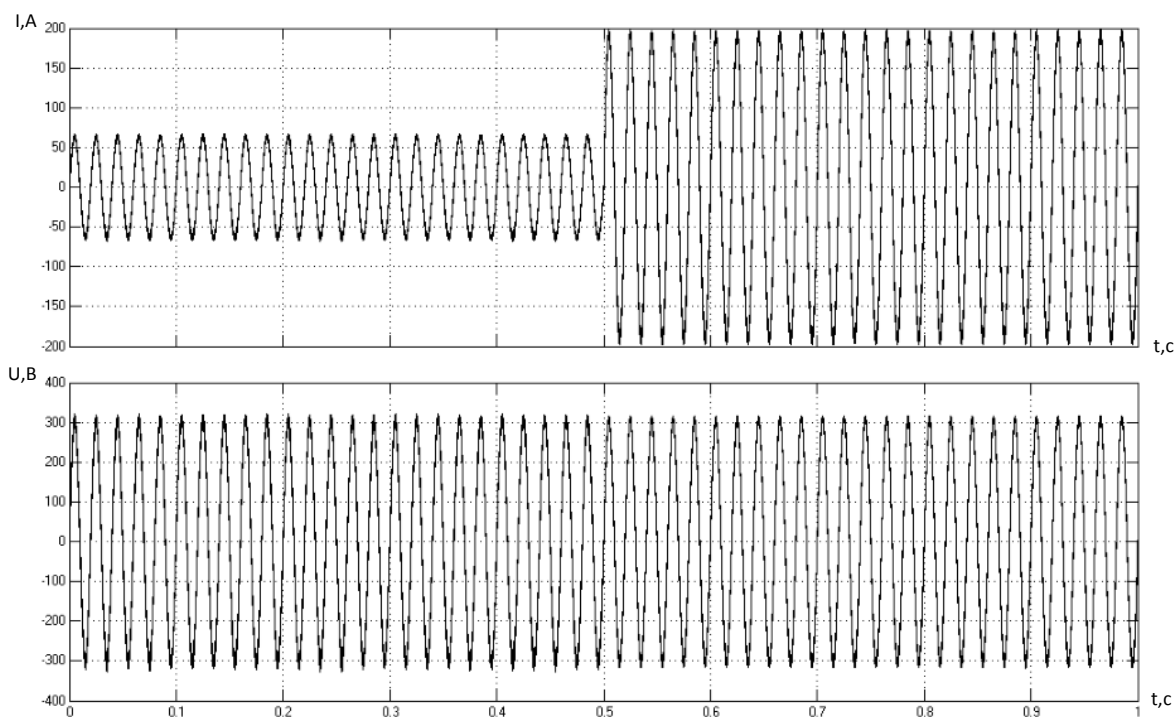


Рисунок 5.29 – Результаты тока и напряжения при набросе активной нагрузки.

На рисунке 5.29 представлены осциллограммы токов и напряжений при использовании активно-емкостной нагрузки. На интервале времени от 0 до 0,5 с нагрузка составляла 4,8 Ом. Начиная с 0,5 до 1 с был произведен наброс нагрузки на 2,4 Ом. При набросе нагрузки, нет значимых изменений напряжения, когда как ток мгновенно превышает свои начальные значения, значит моделирование проведено верно.

Анализ высших гармоник при активной нагрузке.

На рисунке 5.30 представлена осциллограмма тока, полученная с помощью функции FFT Analysis.

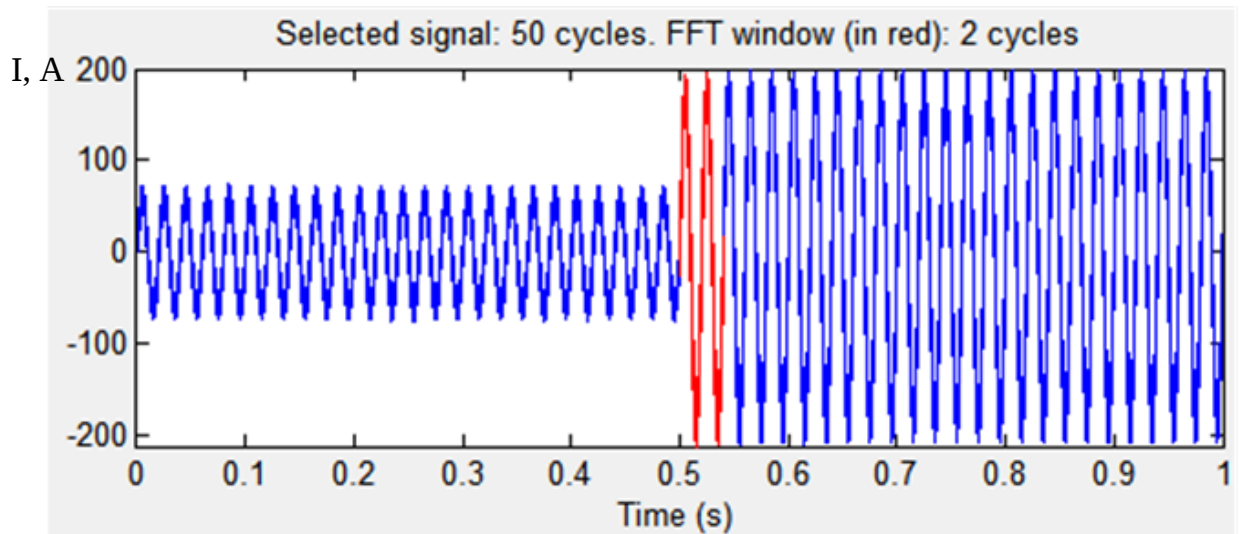


Рисунок 5.30 - Результаты анализа Фурье

Исследование синусоиды тока проводилась для одного периода колебания, после наброса нагрузки, в момент времени 0,5 с.

Sampling time	=	1e-06 s
Samples per cycle	=	20000
DC component	=	0.07893
Fundamental	=	192.4 peak (136 rms)
THD	=	2.11%
0 Hz (DC) :	0.04%	90.0°
25 Hz	0.01%	-64.1°
50 Hz (Fnd) :	100.00%	-0.1°
75 Hz	0.03%	35.9°
100 Hz (h2) :	0.12%	-88.2°
125 Hz	0.01%	173.8°
150 Hz (h3) :	0.03%	-0.2°
175 Hz	0.01%	246.4°
200 Hz (h4) :	0.02%	140.6°
225 Hz	0.02%	31.4°
250 Hz (h5) :	0.00%	216.5°
275 Hz	0.01%	-13.4°
300 Hz (h6) :	0.01%	-23.8°

Рисунок 5.31 - Результаты анализа Фурье

Анализируя результат разложения тока в ряд Фурье, представленный на рисунке 5.31, можно сделать вывод, что значения высших гармоник не превышают установленных значений, так как фильтры подобраны верно.

Исследование имитационной модели ИБП в сетевом режиме при активно - индуктивной нагрузке.

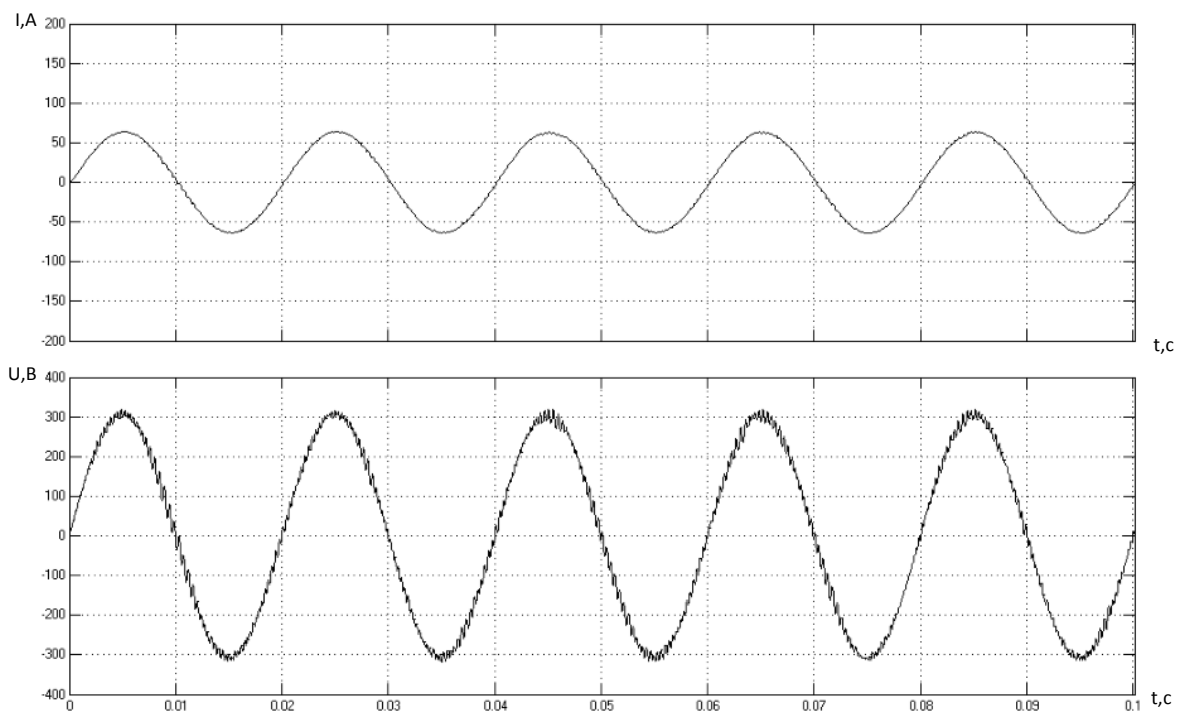


Рисунок 5.32 - Результаты тока и напряжения при активно – индуктивной нагрузке.

Имитация наброса активно - индуктивной нагрузки.

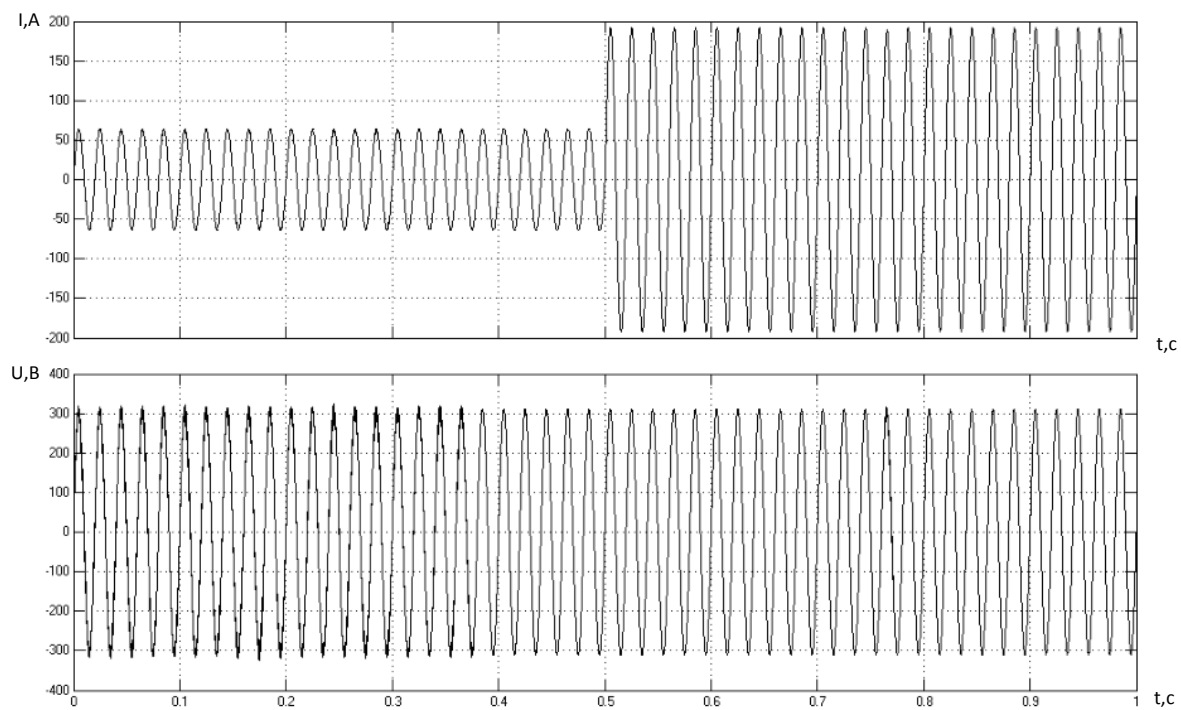


Рисунок 5.33 - Результаты тока и напряжения при набросе активно – индуктивной нагрузки

На интервале времени от 0 до 0,5 с нагрузка составляла 4,8 Ом и 1 мГн. Начиная с 0,5 до 1 с был произведен наброс нагрузки на 2,4 Ом и 1 мГн. При набросе нагрузки, нет особых изменений напряжения, ток изменяется скачком, значит моделирование проведено верно.

Анализ высших гармоник при активно – индуктивной нагрузке.

На рисунке 5.34 представлена осциллограмма тока, полученная с помощью функции FFT Analysis.

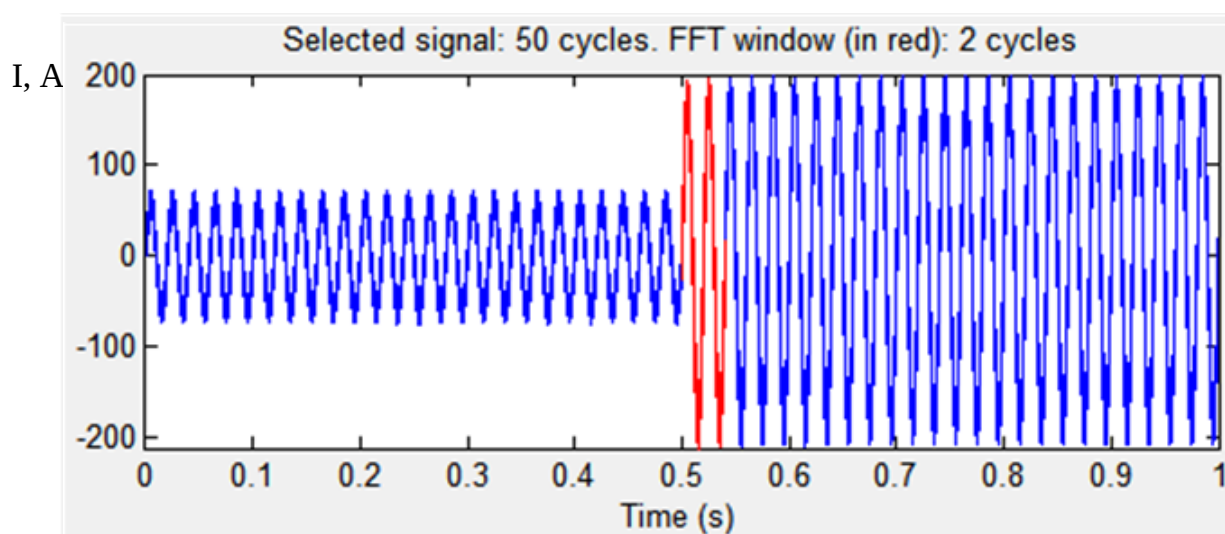


Рисунок 5.34 - Результаты анализа Фурье

На рисунке 5.35 представлена осциллограмма тока, полученная с помощью функции FFT Analysis.

Sampling time = 1e-06 s			
Samples per cycle = 20000			
DC component = 0.2287			
Fundamental = 184.9 peak (130.8 rms)			
THD = 1.48%			
0 Hz (DC) :	0.12%	90.0°	
25 Hz	0.15%	142.1°	
50 Hz (Fnd) :	100.00%	-6.3°	
75 Hz	0.28%	121.3°	
100 Hz (h2) :	0.54%	102.4°	
125 Hz	0.37%	93.0°	
150 Hz (h3) :	0.18%	209.9°	
175 Hz	0.09%	151.3°	
200 Hz (h4) :	0.18%	-18.0°	
225 Hz	0.17%	203.4°	
250 Hz (h5) :	0.31%	15.4°	
275 Hz	0.34%	55.5°	
300 Hz (h6) :	0.18%	60.2°	

Рисунок 5.35 - Результаты анализа Фурье

Исследование синусоиды тока проводилась для одного периода колебания, после наброса нагрузки, в момент времени 0,5 с. Анализируя результат разложения тока в ряд Фурье, представленный на рисунке 5.35, можно сделать вывод, что значения высших гармоник не превышают установленных значений, так как фильтры подобраны верно.

Исследование имитационной модели ИБП в сетевом режиме при активно - емкостной нагрузке.

В данной модели в качестве нагрузки принимается активная нагрузка 4.8 Ом и емкостная нагрузка 10^{-6} Ф. Результат представлен на рисунке 5.36.

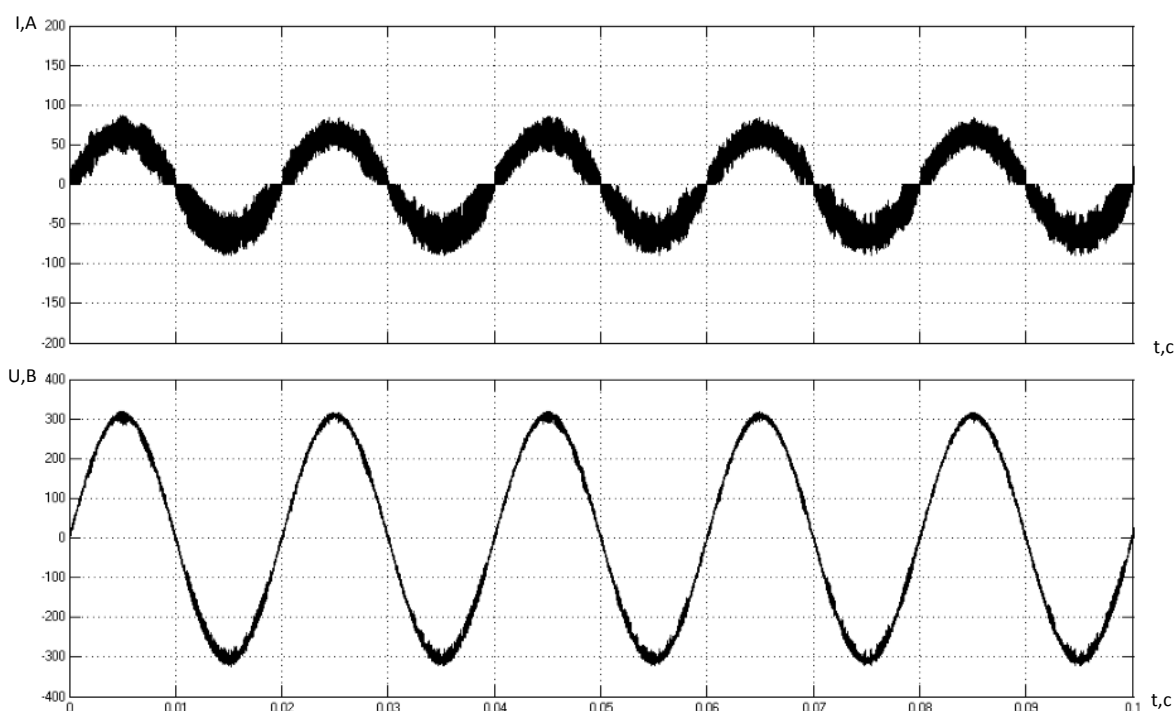


Рисунок 5.36 – Результаты тока и напряжения ИБП при активно – емкостной нагрузке при $t=0.1$ с

Имитация наброса активно – емкостной нагрузки.

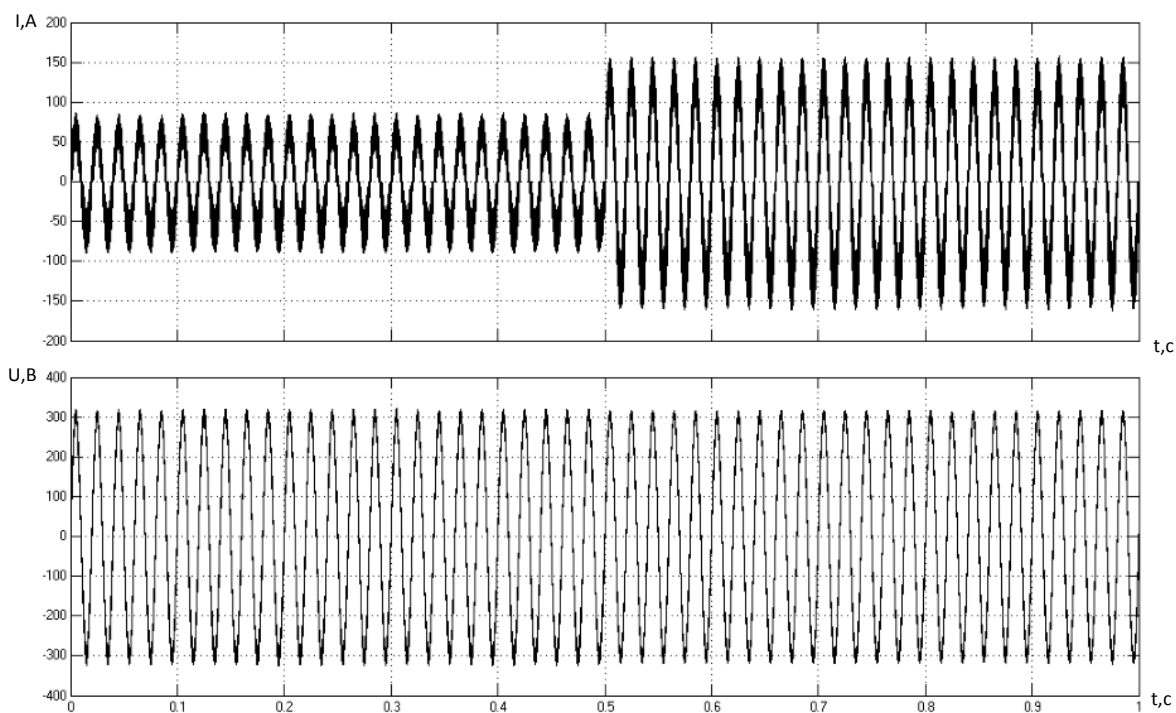


Рисунок 5.37 – Результат тока и напряжения активно – емкостной нагрузки.

На интервале времени от 0 до 0,5 с нагрузка составляла 4,8 Ом и 10^{-6} Ф. Начиная с 0,5 до 1 с был произведен наброс нагрузки на 4,8 Ом и 10^{-6} Ф. Анализ высших гармоник при активно – емкостной нагрузке.

На рисунке 5.38 представлена осциллограмма тока, полученная с помощью функции FFT Analysis.

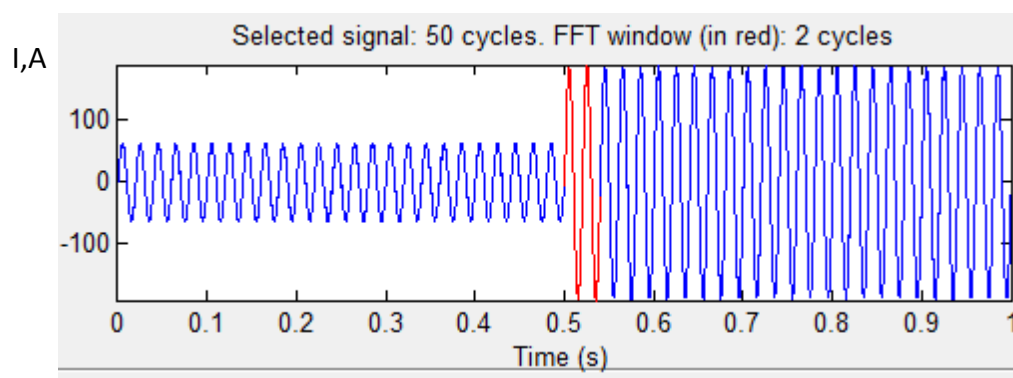


Рисунок 5.38 - Результаты моделирования при набросе активно – емкостной нагрузки

В сравнении с остальными нагрузками, в данном случае коэффициент гармоник значительно больше, т.к. в нагрузке имеются вентили, которые при коммутации негативно влияют на синусоиду.

Sampling time = 1e-06 s			
Samples per cycle = 20000			
DC component = 0.1183			
Fundamental = 126.3 peak (89.31 rms)			
THD = 19.51%			
0 Hz	(DC) :	0.09%	270.0°
25 Hz		0.08%	236.7°
50 Hz	(Fnd) :	100.00%	0.7°
75 Hz		0.06%	247.4°
100 Hz	(h2) :	0.17%	231.4°
125 Hz		0.08%	144.0°
150 Hz	(h3) :	0.22%	200.2°
175 Hz		0.08%	125.5°
200 Hz	(h4) :	0.05%	238.0°
225 Hz		0.10%	43.3°
250 Hz	(h5) :	0.20%	164.8°
275 Hz		0.11%	-63.1°
300 Hz	(h6) :	0.02%	23.8°

Рисунок 5.39 – Результаты анализа Фурье

Имитация ИБП при переходе из сетевого режима в автономный режим.

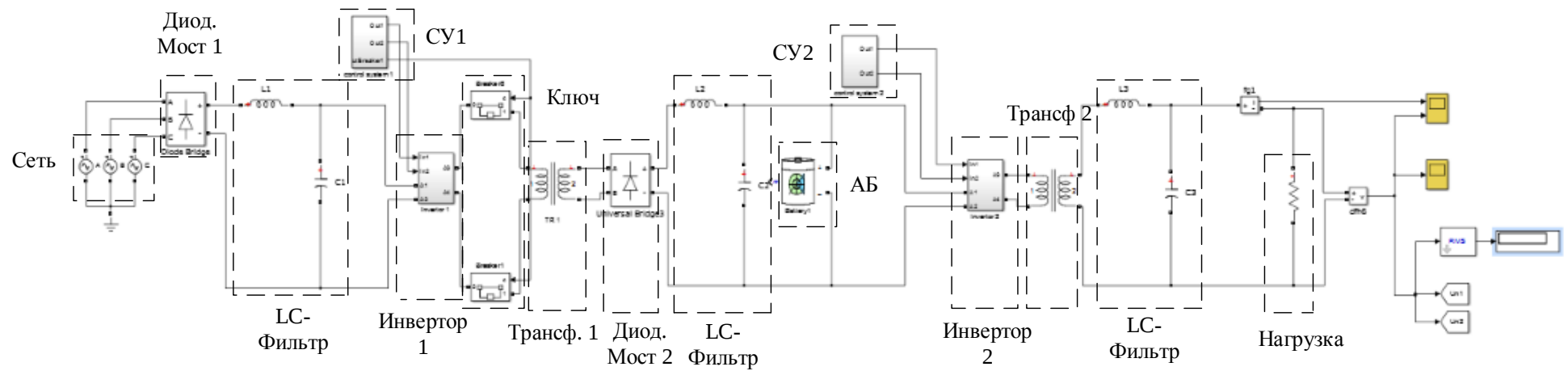


Рисунок 5.40 – Имитационная модель перехода ИБП из сетевого режима в автономный в программе Matlab Simulink 2013.

Для исследования перехода питания от сети на питание от аккумуляторной батареи (АБ), производится имитация разрыва питания от сети, с помощью ключей, которые в программе Matlab Simulink обозначены как «Breaker». Ключи расположены между инвертором 1 и трансформатором 1. Производится система управления для данных ключей. В начальном состоянии ключи замкнуты, для размыкания ключей подается сигнал «0» от системы управления 1 (СУ1).

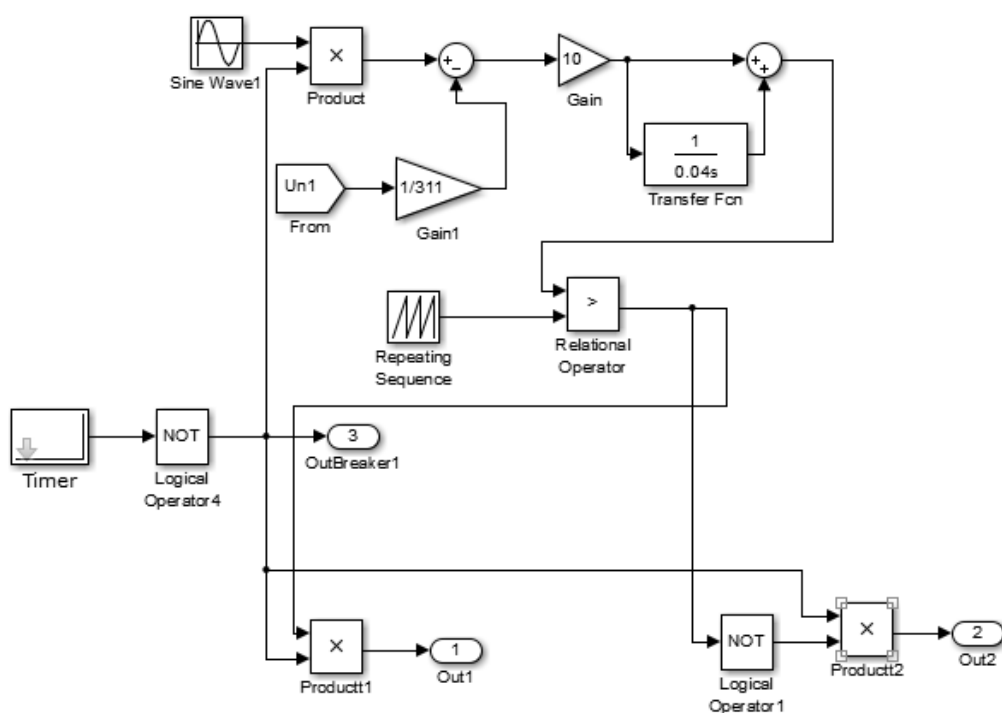


Рисунок 5.41 – блок системы управления 1.

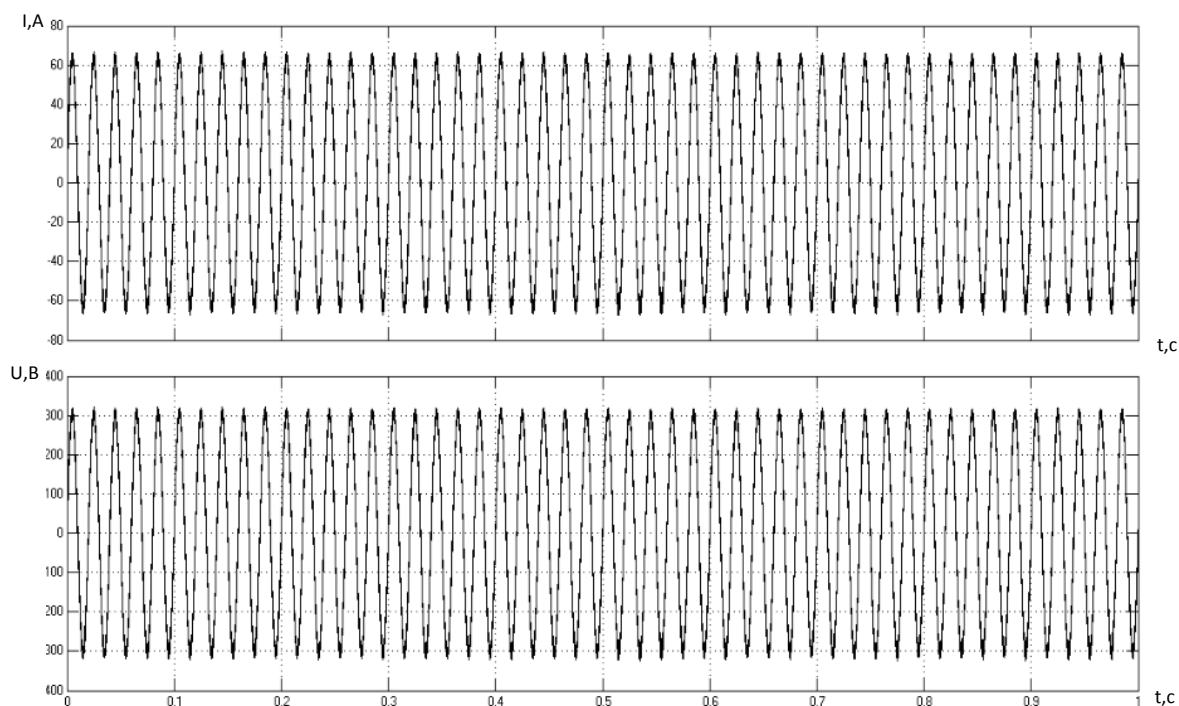


Рисунок 5.42 – Результаты тока и напряжения перехода от сетевого режима к автономному.

На рисунке 5.42 приведены результаты моделирования перехода от сетевого режима к автономному. На интервале от 0 сек. до 0.5 сек. нагрузка питается от сети, на интервале от 0.5 сек. до 1 сек. нагрузка питается от аккумуляторной батареи. По результатам видно, что при переходе с одного режима на другой нет никаких заметных изменений тока и напряжения, аккумуляторная батарея стабильно питает нагрузку необходимым номинальным напряжением и током, что и удовлетворяет требованиям ИБП с двойным преобразованием.

Анализ Фурье

На рисунке 5.43 представлена осциллограмма тока, полученная с помощью функции FFT Analysis.

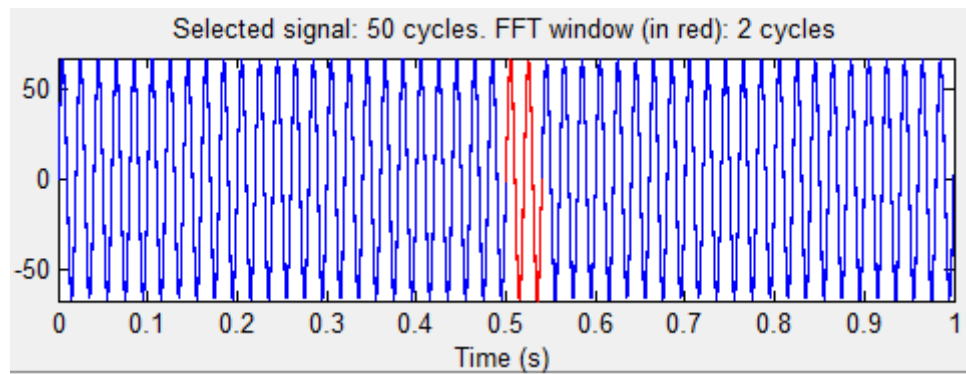


Рисунок 5.43 – Результаты Анализа Фурье

Анализируя результат разложения тока в ряд Фурье, представленный на рисунке 5.44, можно сделать вывод, что значения высших гармоник не превышают установленных значений.

Sampling time = 1e-06 s			
Samples per cycle = 20000			
DC component = 0.1043			
Fundamental = 63.63 peak (44.99 rms)			
THD = 3.23%			
0 Hz (DC) :	0.16%	90.0°	
25 Hz	0.15%	-20.5°	
50 Hz (Fnd) :	100.00%	-0.1°	
75 Hz	0.09%	42.8°	
100 Hz (h2) :	0.49%	-85.1°	
125 Hz	0.09%	140.7°	
150 Hz (h3) :	0.43%	-8.3°	
175 Hz	0.03%	268.2°	
200 Hz (h4) :	0.35%	86.2°	
225 Hz	0.03%	-17.9°	
250 Hz (h5) :	0.28%	161.8°	
275 Hz	0.02%	238.2°	
300 Hz (h6) :	0.25%	253.3°	

Рисунок 5.44 – Результаты анализа Фурье

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был спроектирован и исследован источник бесперебойного электропитания для ответственных потребителей электрической энергии мощностью 10 кВт. Были произведены расчеты и выбор элементов силовой части ИБП. Также, была разработана электрическая принципиальная и функциональная схемы проектируемого источника питания. Кроме того, была разработана и исследована имитационная модель ИБП при различных видах нагрузки и режимах, в котором исследовали гармонический состав выходного тока.

По результатам исследования имитационной модели ИБП можно заключить, что наибольшее негативное влияние на качество электроэнергии питающей сети оказывает емкостная нагрузка. Это связано с тем, что в моменты пуска и наброса нагрузки происходит кратковременный провал напряжения и бросок тока. При работе на активно-индуктивную нагрузку происходит сглаживание колебаний тока и напряжения. Исследование гармонического состава тока показало, что в гармоническом составе выходного тока присутствуют гармоники, которые могут оказывать негативное влияние на работу подключаемого к ИБП электрооборудования.

При исследовании перехода из сетевого режима в автономный режим, проектируемый источник бесперебойного питания стабильно обеспечивает электрической энергией потребителя мощностью 10 кВт без каких – либо искажений, что удовлетворяет исходные требования данной работы.

Исследование режимов работы на различные виды нагрузок и режимов показало, что спроектированный ИБП удовлетворяет требованиям технического задания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности автоматизации банковских технологий [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.banksmethod.ru/bkmets-389-2.html>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 09.11.2015.
2. Данные об ИБП [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.td-m.ru/equipment/section.php?SECTION_ID=364, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 09.11.2015.
3. Данные об источниках бесперебойного питания [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.pcm.ru/support/tech/6813>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 10.11.2015.
4. Типы ИБП с двойным преобразованием [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.tensy.ru/article12.html>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 10.11.2015.
5. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях, компания Sonnenschein. Режим доступа: http://sonnenschein-batterie.ru/catalogue/a400_series/a412-32g6.htm, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 14.11.2015.
6. Паспорт изделия [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях компании Mitsubishi Electronics IGBT транзистор. Режим доступа: <http://www.platan.ru/cgi-bin/query.pl?id=624439223>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 17.11.2015.
7. Паспорт изделия [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях конденсатора K50-35. Режим доступа: <http://www.platan.ru/cgi-bin/query.pl?id=244531130>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 17.11.2015.
8. Паспорт изделия [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях компании Cree диод C3D25170H. Режим доступа: <http://www.digikey.com/product-detail/en/cree->

- inc/C3D25170H/C3D25170H-ND/3043980, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 17.11.2015.
9. Паспорт изделия [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях компании TDK силовой конденсатор В32778. Режим доступа: <http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=246803187>, свободный. Загл. с экрана. Режим доступа: 20.11.2015.
10. Паспорт изделия [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях компании Cree транзистор. Режим доступа: <http://www.digikey.com/product-detail/en/cree-inc/C2M0040120D/C2M0040120D-ND/4900926>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 22.11.2015.
11. Паспорт изделия [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях диод. Режим доступа: <http://www.digikey.com/product-detail/en/cree-inc/C4D05120E-TR/C4D05120E-TR-ND/5053590>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 23.11.2015.
12. Паспорт изделия [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях компании Epcos конденсатор В32778G4117K. Режим доступа: <http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=679097873>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 24.11.2015.
13. Паспорт изделия [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях симистора ТС-132-50. Режим доступа: <http://radio.cybernet.name/diod/tirsim.html>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 25.11.2015.
14. Сведения влияния отклонения на электрооборудование. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://e-audit.ru/quality/deviation.shtml>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 26.11.2015.

15. Теоретическая справка об инверторе [Электронный ресурс] Режим доступа:
<http://eea.mpei.ru/download/metodichki/%D0%9B%D0%A0%20%E2%84%963.pdf>, свободный. Загл. с экрана. Дата обращения: 02.12.2015.
16. Петрович В.П., Воронина Н.А, Глазачев А.В. [учебно – методический комплекс]: Силовые преобразователи электрической энергии, 2009 г.
17. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. [учебно – методический комплекс]: Силовая электроника, 2009 г.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В данном разделе магистерской диссертации производится оценка экономической эффективности внедрения источника бесперебойного питания (ИБП) для ответственных потребителей электрической энергии.

Решения о целесообразности реализации инвестиционного проекта в выборе оптимального варианта инвестирования не могут приниматься интуитивно, поскольку цена возможных ошибок слишком высока. Причем вероятность финансовых потерь или даже банкротства компании может существенно увеличиться не только по причине принятия необоснованных инвестиционных решений, но и вследствие отказа от реализации объективно необходимых и экономически оправданных проектов. Перед реализацией проекта тщательно оцениваются инвестиции для обоснования экономической целесообразности.

В проектируемом источнике бесперебойного питания исследуются инвестиции на основе затрат, так как проект не сопровождается денежными поступлениями. В этом случае, рассматриваются различные аналоги данного проекта и рассчитываются дисконтированные денежные расходы на жизненный цикл.

При определении операционных затрат по сравниваемым проектам приходится иметь дело с понятием релевантных затрат.

Релевантные затраты – это такие затраты, которые влияют на выбор лучшего решения. Во-первых, – это проектируемые затраты. Во-вторых, – различающиеся затраты по сравниваемым вариантам. В-третьих, – это причинно-обусловленные затраты, вытекающие из особенностей анализируемых взаимоисключающих инвестиций.

6.1 Понятие инвестиций

В главе рассмотрено понятие инвестиций и их экономическое значение, описаны методики оценки инвестиционных проектов.

Инвестиции – это совокупность затрат, реализуемых в форме целенаправленного вложения капитала на определённый срок в различные отрасли и сферы экономики, в объекты предпринимательской и других видов деятельности для получения прибыли (дохода) и достижения как индивидуальных целей инвесторов, так и положительного социального эффекта. В качестве инвестиций могут выступать денежные средства, целевые банковские вклады, паи, акции, облигации и другие ценные бумаги, движимое и недвижимое имущество, объекты авторского права, патенты, права пользования землей, природными ресурсами, а также любым другим имуществом или имущественными правами. [2]

6.1.1 Роль инвестиций в экономике предприятия

Роль инвестиций в экономике имеет огромное значение для ее развития. Количественное изменение инвестиций воздействует на объем производств и соответственно занятости, сдвиги в развитии экономики, развитие различных отраслей хозяйства.

Кроме того, что благодаря инвестициям происходит накопление фондов предприятия, инвестиции также оказывают влияние на текущие и будущие результаты хозяйственной деятельности. Для этого необходимо, чтобы инвестирование осуществлялось в более эффективных формах, так как вложение капитала в устаревшее производство не принесет ожидаемого экономического результата. Непродуманное использование инвестиций может повлечь за собой замораживание ресурсов, соответственно, сокращение производства продукции. Таким образом, роль инвестиций в экономике имеет большое значение, благодаря эффективности их использования: увеличение объемов инвестирования без эффективного результата не ведет к экономическому росту.

Характерными чертами рыночного подхода к пониманию сущности инвестиций являются:

- связь инвестиций с получением дохода как мотива инвестиционной деятельности;
- рассмотрение инвестиций в единстве двух сторон: ресурсов (капитальных ценностей) и вложений (затрат);
- анализ инвестиций не в статике, а в динамике, что позволяет объединить в рамках категории «инвестиции» ресурсы, вложения и отдачу вложенных средств как мотива этого объединения;
- включение в состав объектов инвестирования любых вложений, дающих экономический (социальный) эффект.

Инвестиции как экономическая категория выполняют ряд важных функций, без которых невозможно развитие экономики. Они определяют рост экономики, повышают ее производственный потенциал. На макроуровне инвестиции являются основой для осуществления политики расширенного воспроизводства, ускорения научно-технического прогресса, улучшения качества и обеспечения конкурентоспособности отечественной продукции, структурной перестройки экономики и сбалансированного развития всех ее отраслей, создания необходимой сырьевой базы промышленности, развития социальной сферы, решения проблем обороноспособности страны и ее безопасности, проблем безработицы и охраны окружающей среды и т.д.

Важную роль играют инвестиции и на микроуровне. Они необходимы для обеспечения нормального функционирования предприятия, стабильного финансового состояния и максимизации прибыли хозяйствующего субъекта. Без инвестиций невозможны обеспечение конкурентоспособности выпускаемых товаров и оказываемых услуг, преодоление последствий морального и физического износа основных фондов, приобретение ценных бумаг и вложение средств в активы других предприятий.

Для уяснения экономической природы инвестиций важно иметь в виду, что в их состав включается капитал в разнообразных формах. В состав инвестиций

входят денежные средства в форме привлеченных средств (акций), заемных средств, собственных средств, а также в форме конкретных материально-вещественных элементов, вносимых участниками инвестиционного процесса для создания (развития, модернизации) объекта предпринимательской деятельности.

Согласно существующему законодательству под инвестиционной деятельностью понимается вложение инвестиций и осуществление практических действий в целях получения прибыли и (или) достижения иного полезного эффекта.

В целом инвестиционную деятельность можно определить как единство процессов вложения ресурсов и получения доходов в будущем.

Движение инвестиций проходит две основные стадии. На первой стадии «инвестиционные ресурсы — вложение средств» основное внимание уделяется экономической деятельности, связанной с вложением средств. Целесообразность этой стадии определяется отдачей от вложений инвестиционных ресурсов. Вторая стадия «вложение средств — результат инвестирования» предполагает окупаемость осуществленных затрат и получение дохода в результате использования инвестиций. Она характеризует взаимосвязь и взаимообусловленность двух необходимых элементов любого вида экономической деятельности: затрат и их отдачи. Отсюда экономическую сущность инвестиционной деятельности можно определить как единство процессов вложения ресурсов и получения доходов в будущем.

Движение инвестиций, в ходе которого они последовательно проходят все фазы воспроизводства от момента мобилизации инвестиционных ресурсов до получения дохода (эффекта) и возмещения вложенных средств, выступает как кругооборот инвестиций и составляет инвестиционный цикл. Это движение носит постоянно повторяющийся характер, поскольку доход, который образуется в результате вложения инвестиционных ресурсов в объекты предпринимательской деятельности, всякий раз распадается на потребление и накопление, являющееся основой следующего инвестиционного цикла.

Субъекты инвестиционной деятельности могут выступать одновременно и как инвесторы, и как пользователи объектов инвестиционной деятельности, а также совмещать функции других участников этой деятельности.

С точки зрения затрат инвестиции характеризуют направления вложений и выступают как объекты инвестиционной деятельности. Они включают: основной и оборотный капитал, ценные бумаги и целевые денежные вклады, нематериальные активы.

Реализация инвестиций при прочих равных условиях становится возможной при совпадении экономических интересов участников инвестиционного процесса.

6.1.2 Методики оценки инвестиций

Решения о целесообразности реализации того или иного инвестиционного проекта, в выборе оптимального варианта инвестирования не могут приниматься интуитивно, поскольку цена возможных ошибок слишком высока. Причем вероятность финансовых потерь или даже банкротства компании может существенно увеличиться не только по причине принятия необоснованных инвестиционных решений, но и вследствие отказа от реализации объективно необходимых и экономически оправданных проектов.

Для того чтобы свести к минимуму риски неэффективного инвестирования, применяется совокупность ключевых оценочных показателей.

6.1.2.1 Динамический метод оценки инвестиций

Критерии, основывающиеся на технике расчета временной ценности денег, называются дисконтированными критериями.

В качестве основных показателей для расчета эффективности инвестиционного проекта рекомендуется использовать:

- чистую текущую стоимость;
- индекс доходности;
- внутреннюю норму доходности;
- дисконтированный срок окупаемости

Используемые при расчете экономической эффективности инвестиций показатели и критерии рассчитываются на основе расходов и доходов, рассредоточенных во времени. Поэтому приходится приводить их к одному базовому моменту. И причина в этом – неодинаковая ценность денежных средств во времени. Выплаченная (затраченная) сегодня денежная единица будет стоить дороже, чем через месяц, квартал или год (т.е. в будущем) под воздействием таких факторов, как инфляция, процентный доход и риск. Поэтому в практике инвестиционного проектирования используют метод уравнивания текущих расходов и доходов по проекту с изменениями, вызванными указанными причинами.

Приведение разновременных экономических показателей таких как текущая стоимость, рассредоточенные во времени платежи к началу заключения финансовой сделки, разновременные затраты и результаты к текущему моменту времени или началу расчетного года и др., к сопоставимому по времени периоду виду осуществляется с помощью так называемого фактора времени. Сравниваемые варианты приводятся в сопоставимый вид по фактору времени путем умножения (деления) затрат и результатов соответствующего периода на коэффициент приведения, определяемый по формуле простых и сложных процентов. Необходимость сопоставления затрат и доходов, возникающих в разное время, является одним из принципов проектного анализа.

В экономическом и финансовом анализе для измерения текущей и будущей стоимости (денежной суммы) проекта используют специальный прием, называемый дисконтированием. Дисконтирование – это способ определения исходных (начальных) сумм затрат (или конечных результатов) посредством использования коэффициента дисконтирования (дисконта, дисконтирующего множителя), позволяющего приводить будущие денежные поступления к текущей, сегодняшней стоимости.

Дисконтирование является процессом, обратным начислению сложных (простых) процентов. В расчетах сложных процентов и при дисконтировании часто пользуются таблицами, в которых для каждого периода t и каждой ставки процента E вычислены заранее величины $(1+r)^t$ и $(1+r)^{-t}$. Их соответственно

называют фактором сложного процента (множителем наращивания капитала) и фактором дисконтирования (дисконтным множителем).

Далее рассмотрим методы оценки инвестиций, основанные на применении концепции дисконтирования.

6.1.2.2 Оценка инвестиций по чистой текущей стоимости (NPV-метод)

Метод оценки эффективности инвестиционных проектов основан на определении чистой текущей стоимости чистого дисконтированного дохода – ЧДД, чистого приведенного дохода, на которую может увеличиться (стоимость) предприятия (фирмы, объекта) в результате реализации проекта.

Чистая текущая стоимость (NPV) – это стоимость, полученная путем дисконтирования отдельно на каждый временной период разновидности всех оттоков и притоков доходов и расходов, накапливающихся за весь период функционирования объекта инвестирования при фиксированной, заранее определенной процентной ставке (норме процента). Это один из методов оценки инвестиционных проектов, предложенных ЮНИДО. Его суть в том, что для каждого периода величина чистого потока годовой наличности приводится к году начала осуществления проекта, что в сумме и представляет собой чистую текущую стоимость или чистый дисконтированный доход (как разность между дисконтированными потоками доходов и расходов).

Чистая текущая стоимость является непосредственным воплощением концепции дисконтированной стоимости. Её расчет осуществляется примерно в следующей последовательности: сначала выбирается необходимая ставка дисконтирования, затем рассчитывается текущая стоимость денежных доходов, ожидаемых от проекта, и текущая стоимость требуемых для данного проекта инвестиций, далее из текущей стоимости всех доходов вычитают текущую стоимость всех инвестиций. Полученная разности и является чистой текущей стоимостью.

Метод оценки эффективности инвестиционных проектов по чистой текущей стоимости построен на предположении, что представляется возможным определить приемлемую ставку дисконтирования для определения текущей

стоимости эквивалентов будущих доходов. Если чистая текущая стоимость больше или равна нулю (положительная) проект может приниматься к осуществлению, меньше нуля (отрицательная) – его, как правило, отклоняют.

Метод чисто текущей стоимости включает расчет дисконтированной величины положительных (поступления) и отрицательных (расходы) потоков денежных средств от проектов. Проект имеет положительную чистую текущую стоимость, если дисконтированная стоимость его входящих потоков превосходит дисконтированную стоимость исходящих.

Формулу для расчета чистой текущей стоимости NPV можно определить в следующем виде:

$$NPV = \sum P_t / (1+r)^t - K, \quad (6.1)$$

где P – годовой чистый поток реальных денег (поступлений денежных средств, денежный поток) в t -м году; t – периоды реализации инвестиционного проекта, включая этап строительства ($t = 0, 1, 2, \dots, T$); E – ставка дисконтирования (желаемая норма прибыли, рентабельности); K – инвестиционные расходы.

Чистая текущая стоимость показывает, действительно ли данные инвестиции в течении жизненного цикла достигают использованного в расчетах уровня доходности E . Поскольку текущая стоимость зависит от времени и возможного уровня доходности, положительная NPV показывает, что вызываемый инвестициями денежный поток в течение всей экономической жизни (деятельности) проекта (объекта инвестиций) превысит первоначальные капитальные вложения, обеспечит необходимый уровень доходности на вложенные фонды и увеличение рыночной стоимости. Отрицательный результат означает, что проект ниже требуемой ставки дисконтирования.

Формула (6.1) предполагает «разовые затраты – длительная отдача», в действительности же чаще возникает ситуация «длительные затраты – длительная отдача», т.е. более привычная ситуация, когда инвестиции осуществляются не одновременно, а по частям – на протяжении нескольких временных периодов (месяцев, кварталов, лет). Тогда формула (6.1) примет иной вид:

$$NPV = \sum P_t / (1+E)^t - \sum K_t / (1+E)^t , \quad (6.2)$$

где t_n – год начала производства продукции; T_k – год окончания капитального строительства; K_t – инвестиционные расходы в t -м году.

При расчете по данной формуле чистая текущая стоимость имеет положительное значение $NPV \geq 0$, то рентабельность (прибыльность) инвестиций превышает норму дисконта (минимальный коэффициент окупаемости), при $NPV \leq 0$ рентабельность проекта ниже минимальной нормы.

Бесспорно, анализ денежных притоков и оттоков является важным при оценке инвестиционных проектов. И эффективность инвестиционного проекта в данной дипломной работе будет оценена по этому методу.

Достоинства и недостатки метода чистого дисконтированного дохода

Таблица 6.1 - Достоинства и недостатки метода чистого дисконтированного дохода

Достоинства	Недостатки
1. Отражает доходы от инвестиций (превышение поступлений над начальными выплатами)	1. NPV - показатель абсолютный (эффект), т.е. он не учитывает размера альтернативных инвестиционных проектов
2. Учитывает срок жизни инвестиционного проекта и распределение во времени денежных потоков	2. Не показывает прибыльности (эффективности) проекта, так как показатель абсолютный
3. Выражается в стоимостных единицах текущей стоимости, т.е. учитывает фактор времени	3. Зависит от величины нормы дисконта
4. Показатель аддитивен во временном аспекте, т.е. NPV различных проектов можно суммировать	4. Ставка дисконта обычно принимается неизменной для всего горизонта учета. Однако в будущем она может изменяться в связи с изменением экономических условий
5. Отражает прогнозную оценку изменения экономического потенциала предприятия в случае принятия инвестиционного проекта, в т.е, изменение «ценности фирмы»	5. Требуется детальных долгосрочных прогнозов
6. Соответствует главному критерию эффективности инвестиций.	

Несмотря на недостатки метода чистого дисконтированного дохода, показатель NPV признан в зарубежной практике наиболее надежным в системе показателей оценки эффективности инвестиций.

6.1.2.3 Метод расчета внутренней нормы прибыли (IRR) и рентабельности инвестиций (PI)

Внутренняя норма прибыли – это норма доходности, при которой дисконтированная стоимость притоков наличности (реальных денег) равна дисконтированной стоимости оттоков, т.е. коэффициент, при котором дисконтированная стоимость чистых поступлений от инвестиционного проекта равна дисконтированной стоимости от инвестиций, а величина чистой текущей стоимости (чистого дисконтированного дохода) – нулю. Для её расчета используют те же методы (формулы), что и для чистой текущей стоимости, но вместо дисконтированных потоков наличности при заданной минимальной норме процента определяют такую её величину, при которой чистая текущая стоимость равна нулю.

Математически это означает, что в формулах (6.1) и (6.2) для определения чистой текущей стоимости должна быть при определенных значениях R чистая текущая стоимость $NPV = 0$. Эта норма (коэффициент) и есть внутренняя норма прибыли (IRR).

Если представить уравнение, левая часть которого является дисконтированной стоимостью инвестиций на проект, осуществляемых в любое время, начиная от начала проекта, а правая аналогично – дисконтированной стоимостью всех чистых входящих потоков средств от проекта за тот же период, то ставка процента, при которой обе части этого уравнения будут равными, называется внутренней нормой прибыли (доходности) данного проекта. Она представляет собой максимальную ставку процента, под который предприятие могло бы взять кредит для осуществления проекта без ущерба своим интересам.

Расчет внутренней нормы прибыли начинается с сопоставления потоков реальных денег. Затем для приведения чистого потока наличностей к сегодняшней (начальной) стоимости используется установленная процентная

ставка (норма дисконта). Если чистая текущая стоимость имеет положительное значение, применяют более высокую норму процента, если отрицательное при этой более высокой норме процента, внутренняя норма прибыли должна находиться между этими величинами. Если же более высокая норма процента все ещё дает положительное значение чистой текущей стоимости, её следует увеличивать до тех пор, пока она не будет отрицательной.

Таким образом, если ставка дисконтирования по анализируемому проекту больше процентов на капитал, то его чистая текущая стоимость больше нуля и проект признается эффективным. Если же эта ставка меньше процента на капитал, то проект признается невыгодным, эффективность проекта минимальна. Т.е. требуется найти величину ставки дисконта (процента дисконтирования, процента на капитал), при которой бы чистая текущая стоимость была равна нулю.

$$B_{н.п.} = IRR = E_1 + (E_2 - E_1) * (P_3 / (P_3 - O_3)), \quad (6.3)$$

где $B_{н.п.}$ - внутренняя норма прибыли; P_3 - положительное значение чистой текущей стоимости при низкой стоимости процента E_1 ; O_3 - отрицательное значение чистой текущей стоимости при высокой стоимости процента E_2 ; E_1 и E_2 - имеют положительное значение, не должны отличаться друг от друга более чем на один или два пункта.

Если разность между показателем внутренней прибыли и ставкой процента положительна, а внутренняя норма прибыли выше ставки процента, то инвестиционная деятельность признается эффективной (доходной), и, наоборот, если внутренняя норма прибыли меньше, чем процентная ставка, под которую получен кредит, то инвестиции, считаются убыточными. Принимаются к реализации инвестиционные проекты, имеющие значение $B_{н.п.}$ не ниже ставки доходности при предлагаемом альтернативном использовании капитала. Таким образом, путем сравнения показателя внутренней нормы прибыли (доходности) и процентной ставки устанавливают прибыльность или, наоборот, убыточность инвестиционной деятельности.

Отсюда следует, что если инвестор получает кредит под процент, равный $B_{н.п.}$, и вкладывает средства в инвестиционный проект на определенный период,

то по его окончании он выплатит сумму кредита с процентами, т.е. не будет иметь дополнительной выгоды. В случае если он вкладывает собственный и заемный капитал и при этом его средневзвешенная стоимость равна $V_{н.п.}$, то в конце расчетного периода он может получить (после выплаты кредита и процентов по нему) дополнительную сумму в том же размере, что и в банке под проценты. И, наконец, если инвестор вкладывает в инвестиционный проект только собственные средства, то через определенный период времени он получит сумму денежных средств, которую он получил бы, положив деньги в банк, т.е. по ставке процента, равной $V_{н.п.}$. Поэтому, чем выше в инвестиционном проекте показатель внутренней прибыли по сравнению со стоимостью капитала, тем он привлекательнее.

Показатель рентабельности инвестиций (PI), принятый для оценки эффективности инвестиций, представляет собой отношение приведенных доходов к приведенным на ту же дату инвестиционным расходам. Он позволяет определить, в какой мере возрастают средства инвестора в расчете на 1 ед. инвестиций. Его расчет можно выполнить по формуле

$$R = PI = \sum (P_t / (1+E)^t) / K, \quad (6.4)$$

где K – первоначальные инвестиции; P_t – денежные поступления в t -м году, которые ожидается получить благодаря этим инвестициям.

Норма дисконта является внутренней нормой прибыли (доходности). При норме дисконта, меньшей внутренней нормы окупаемости, рентабельности будет больше единицы. Таким образом, превышение над единицей показателя рентабельности проекта означает некоторую его дополнительную доходность при данной ставке процента. Показатель рентабельности меньше единицы означает неэффективность проекта.

Показатель рентабельности инвестиций (индекс прибыльности, доходности) отличается от используемого ранее коэффициента эффективности капитальных вложений тем, что в качестве дохода здесь выступает денежный поток, приведенный в процессе оценки к текущей стоимости. Индекс используют не только для сравнительной оценки, но и в качестве критерия при принятии проекта

к реализации. Сравнительная оценка инвестиционных проектов по показателю рентабельности инвестиций и чисто текущей стоимости показывает, что с ростом абсолютного значения NPV возрастает и рентабельность, и наоборот. Если значение индекса прибыльности меньше или равно единице, проект должен быть отвергнут, т.к. не принесет дополнительной выгоды. При $NPV = 0$ индекс прибыльности всегда будет равен единице. Поэтому при принятии решения о целесообразности принятия проекта может быть использован один из этих показателей, а в случае сравнительной оценки – оба, т.к. они позволяют оценить проект с разных сторон.

Дисконтированный срок окупаемости - это продолжительность наименьшего периода, по истечении которого чистый дисконтированный доход становится неотрицательным и продолжает таковым оставаться.

Данный критерий аналогичен простому сроку окупаемости, но использует дисконтированные значения затрат и выгод.

6.1.3 Экономическая оценка инвестиции на основе затрат

На практике нередко приходится иметь дело с альтернативными инвестициями, которые могут не сопровождаться денежными поступлениями, например, при выборе типа осветительных приборов, способа обогрева и т.д. Возможны и такие ситуации, когда анализируемые альтернативные проекты могут давать абсолютно одинаковые денежные поступления, например: производство электрической энергии разными способами, получение готовой продукции с применением различных вариантов технологических процессов и т.д.

В подобных ситуациях выбор лучшего решения может быть осуществлен на основе затрат (оттоков), рассчитываемых по следующему выражению:

$$ДДР_n = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} + I; \quad (6.5)$$

где $ДДР_n$ – дисконтированный денежный расход;

C_t – операционные затраты, приводящие к оттоку денежных средств (без амортизационных отчислений) в t -м году.

При определении операционных затрат по сравниваемым проектам приходится иметь дело с понятием *релевантных* затрат.

Релевантные затраты – это такие затраты, которые влияют на выбор лучшего решения. Во-первых, – это проектируемые затраты. Во-вторых, – различающиеся затраты по сравниваемым вариантам. В-третьих, – это причинно-обусловленные затраты, вытекающие из особенностей анализируемых взаимоисключающих инвестиций.

Состав релевантных затрат может быть установлен лишь на основе качественного анализа сравниваемых альтернатив, что предполагает хорошее знание сути анализируемых проектов.

Оценивая альтернативные проекты на основе показателя дисконтированных денежных расходов, необходимо обратить внимание на одну особенность. Она заключается в дифференцированном подходе к ставке дисконтирования, учитывающей риск оцениваемых проектов. Если для обычных проектов, основанных на сопоставлении притока и оттока денежных средств, увеличение риска сопровождается увеличением ставки дисконтирования, то при сравнении проектов на основе ДДР отток денежных средств по более рискованному проекту должен дисконтироваться по меньшей ставке.

6.2 Обоснование инвестиционных и эксплуатационных затрат при использовании различных типов источников бесперебойного питания в СБЭП

Необходимо рассчитать инвестиции, вкладываемые в проект внедрения системы бесперебойного электропитания, для этого исследуем их для разных типов ИБП.

Таблица 6.2 - Рассматриваемые варианты

Вариант	Наименование ИБП	Мощность кВа/кВт	Срок службы, Лет	Цена
А	Eaton 9sx11ki	11/10	5	719992,00
В	Eaton 9155-12-N-20-64x9Ah	12/10.8	5	544860,00
С	Проектируемый ИБП	11.1/10	12	500489,00

Таблица 6.3 – Инвестиции варианта А

№ поз.	Наименование сырья, материалов		Срок службы, лет	ед. изм.	Кол -во, шт.	цена за ед., руб.	Сумма, руб.
1	Кабель	КГ-ХЛ 3х2,5	30	м.	15	40,00	600,00
2	ИБП	Eaton 9sx11ki	5	шт.	1	324828,00	324828,00
3	АБ	Внешний батарейный модуль	5	шт.	4	98791,00	395164,00
Итого материалов							720595,00
В том числе НДС							109920,81
Итого материалов, без НДС							610673,73

Таблица 6.4 - Технические характеристики ИБП Eaton 9sx11ki:

Производитель:	Eaton
Модель	9sx11ki
Мощность, (ВА/Вт)	11000/10000
Номинальное выходное напряжение (В)	220
Частота (Гц)	50
Срок службы АБ, (лет)	5
Емкость аккумулятора, (Ач)	7
Время автономной работы (мин.)	24
Количество аккумуляторов (штук)	100
Входной коэффициент мощности, (%)	0.9
Вес (Кг)	550
Габариты (ВхШхГ) (мм):	441 x 260 x 700
КПД, (%)	95

Таблица 6.5 – Инвестиции варианта В

№ поз.	Наименование сырья, материалов		Срок службы, лет	ед. изм.	кол-во, шт.	цена за ед., руб.	Сумма, руб.
1	Кабель	КГ-ХЛ 3х2,5	30	м.	15	40,00	600,00
2	ИБП	Eaton 9155-12-N-20-64x9Ah	5	шт.	1	544860,00	544860,00
3	АБ	9155-12-SL	5	шт.	64	-	-
Итого материалов							542570,00
В том числе НДС							82764,92
Итого материалов, без НДС							459805,08

Таблица 6.6 - Технические характеристики ИБП Eaton 9155-12-N-20-64x9Ah:

Производитель:	Eaton
Модель	9155-12-N-20-64x9Ah
Мощность, (ВА/Вт)	12000/10800
Номинальное выходное напряжение (В)	220
Частота (Гц)	50
Срок службы АБ, (лет)	5
Емкость аккумулятора, (Ач)	9
Время автономной работы (мин.)	20
Количество аккумуляторов (штук)	64
Входной коэффициент мощности, (%)	0.99
Вес (Кг)	275
Габариты (ВхШхГ) (мм):	1214×305×702
КПД, (%)	92

Таблица 6.7 – Инвестиции варианта С

№ поз.	Тип	Наименование материалов	Срок службы, лет	ед. изм.	кол-во, шт.	цена за ед., руб.	Сумма, руб.
1	Кабель	КГ-ХЛ 3х2,5	30	м.	15	40,00	600,00
2	ИБП	Проектируемый ИБП	10	шт.	1	59939,00	59939,00
3	АБ	Sonnenschein A412/32G6	12	шт.	33	13350,00	440550,00
Итого материалов							501089,00
В том числе НДС							76437,31
Итого материалов, без НДС							424651,69

Таблица 6.8 - Технические характеристики проектируемого ИБП

Тип ИБП	online
Способ монтажа	Напольный в стойку
Мощность, (ВА/Вт)	11000/10000
Номинальное выходное напряжение (В)	220
Частота (Гц)	50
Срок службы АБ, (лет)	12
Емкость аккумулятора, (Ач)	32
Время автономной работы (мин.)	20
Количество аккумуляторов (штук)	33
Входной коэффициент мощности, (%)	0.99
Вх. напряжение, (В)	165-275
Вес (Кг)	500
КПД, (%)	85

Необходимо также, кроме устройств входящих в СБЭП, учесть в инвестициях проектные и электромонтажные работы, а так же подготовку персонала.

Таблица 6.9 - Инвестиционные затраты для варианта А.

№	Наименование инвестиционных затрат	Итого, руб	В том числе НДС, руб	Итого, руб. Без НДС
I.	Проектные работы	7000,00	1067,90	5932,20
1.1.	Выезд инженера для оценки объекта	2000,00		
1.2.	Разработка проекта и ПО	5000,00		
II.	Монтажные и пусконаладочные работы	5000,00	762,10	4237,29
2.1	Прокладка эл. сетей	1000,00		
2.2	Монтаж шкафа электрического для АБ	2000,00		
2.3	Установка ИБП	2000,00		
III.	Подготовка персонала	1000,00	152,50	847,46
3.1.	Обучение	1000,00		
	Всего	13000,00	1982,50	11016,95

Таблица 6.10 - Инвестиционные затраты для варианта В.

№	Наименование инвестиционных затрат	Итого, руб	В том числе НДС, руб	Итого, руб. Без НДС
I.	Проектные работы	7000,00	1067,90	5932,20
1.1.	Выезд инженера для оценки объекта	2000,00		
1.2.	Разработка проекта и ПО	5000,00		
II.	Монтажные и пусконаладочные работы	5000,00	762,10	4237,29
2.1	Прокладка эл. сетей	1000,00		
2.2	Монтаж шкафа электрического для АБ	2000,00		
2.3	Установка ИБП	2000,00		
III.	Подготовка персонала	1000,00	152,50	847,46
3.1.	Обучение	1000,00		
	Всего	13000,00	1982,50	11016,95

Анализ инвестиционных затрат, таким образом, позволяет сделать вывод о том, что стоимость электромонтажных и проектировочных работ инвестиционного проекта составит 13000,00 руб. с учетом НДС.

Таблица 6.11 - Инвестиционные затраты для варианта С.

№	Наименование инвестиционных затрат	Итого, руб.	В том числе НДС, руб.	Итого, руб. Без НДС
I.	Проектные работы	17000,00	2593,22	14406,78
1.1.	Выезд инженера для оценки объекта	2000,00		
1.2.	Разработка проекта и ПО	150000,00		
II.	Монтажные и пусконаладочные работы	15500,00	2364,41	13135,59
2.1	Прокладка эл. сетей	1000,00		
2.2	Монтаж шкафа электрического для АБ	2000,00		
2.3	Установка ИБП	2000,00		
2.4	Сборка ИБП	10000,00		
2.5	Испытание	500,00		
III.	Подготовка персонала	1000,00	152,50	847,46
3.1.	Обучение	1000,00		
	Всего	33500,00	5110,17	28389,83

В данном случае, монтаж и разработка проекта стоит дороже , чем в других проектах, так как работа создается с нуля. К примеру: разработка нового проекта с индивидуальным учетом нагрузки, создание программного обеспечения, монтаж силовых элементов, испытания при разных режимах.

Направления вложения инвестиционных средств при реализации инвестиционного проекта «Внедрение Системы бесперебойного электропитания» отражены в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Структуры инвестиционных затрат при реализации инвестиционной программы

№	Направления расходования средств	Вариант А		Вариант В		Вариант С	
		Сумма, руб.	Доля , %	Сумма, руб.	Доля, %	Сумма, руб.	Доля, %
1	Проектные работы	5932,20	0,95	5932,20	1,25	14406,78	3,18
2	Приобретение основных средств	610673,73	98,22	459805,08	97,66	424651,69	93,73
3	Монтажные и пусконаладочные работы	4237,29	0,68	4237,29	0,89	13135,59	2,89
4	Подготовка персонала	847,46	0,13	847,46	0,17	847,46	0,18
	<i>Всего</i>	621690,68	100	470822,03	100	453041,52	100

Проанализировав результаты, можно сделать вывод, что наиболее дешевым вариантом установки системы бесперебойного электропитания является вариант С, однако не следует забывать о расчете эксплуатационных затрат.

Рассчитаем потребляемую электроэнергию (ЭЭ) СБЭП в год. Тариф электроэнергии составляет 2,93 руб./кВт*ч.

Для примера рассчитаем затраты на постоянное потребление ЭЭ ИБП при мощности нагрузки 10 кВт.

Затраты на потребление ЭЭ в час составляет:

$$10 \text{ кВт} \cdot 2,93 \text{ руб. / кВт} \cdot \text{ч} = 29,3 \text{ руб.}$$

Затраты на потребление ЭЭ в сутки составляет:

$$29,3 \text{ руб.} \cdot 24 = 703,2 \text{ руб.}$$

Затраты на потребление ЭЭ в год составляет:

$$703,2 \text{ руб.} \cdot 365 = 256668 \text{ руб.}$$

Затраты на потребление ЭЭ ИБП в год можно отследить по таблице 6.13.

Таблица 6.13 – Затраты на потребление ЭЭ

Затраты на потребление ЭЭ в час, руб.	Затраты на потребление ЭЭ в сутки, руб.	Затраты на потребление ЭЭ в год, руб.
29,30	703,20	256668,00

Заработная плата инженера отвечающего за ИБП (поддержка функционирования ИБП, отладка) в месяц составляет 30000руб., (360000 в год).

Таблица 6.14 – Затраты на эксплуатацию в год.

Затраты	Источник бесперебойного питания, в год, руб.
Потребление ЭЭ.	256668,00
ЗП	360000,00
Прочее	30000,00
Итого	646668,00

Экономическое обоснование выбора типа ИБП

Для выбора лучшего решения из предложенных проектов, необходимо осуществить расчеты на основе затрат (дисконтированные денежные расходы), рассчитываемых по следующему выражению:

$$ДДР_n = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} + I; \quad (6.6)$$

C_t – операционные затраты, приводящие к оттоку денежных средств (без амортизационных отчислений) в t -м году;

I – инвестиции;

r – ставка дисконтирования;

Ставка дисконтирования — это процентная ставка, используемая для пересчёта будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости.

Наряду с платой за риск инвесторы хотели бы получить компенсацию за уменьшение покупательной способности будущих денежных потоков из-за инфляции и поэтому желают соответствующего увеличения процентных ставок.

Ставка дисконтирования, включающая в себя инфляцию, называется *номинальной ставкой*.

Экономическая оценка инвестиций может осуществляться с использованием как реальной, так и номинальной ставки.

Номинальная ставка применяется в тех случаях, когда оценка денежных потоков осуществляется в *текущих ценах*.

Номинальная ставка (r_H), включающая в себя инфляцию, определяется по следующему выражению:

$$r_H = r_p + r_{инф} + r_p \cdot r_{инф} \quad (6.7)$$

где r_p – реальная ставка дисконтирования;

$r_{инф}$ – темп инфляции

Данная формула выведена известным экономистом Ирвингом Фишером.

Реальная ставка дисконтирования (r_p) определяется по формуле:

$$r_p = r_{\min} + r_{риск} \quad (6.8)$$

Под минимальной нормой прибыли ($r_{\min}$), на которую может согласиться инвестор, понимается наименьший гарантированный уровень доходности, сложившейся на рынке капиталов, т.е. нижняя граница стоимости капитала. Так, в качестве эталона без рискованной нормы прибыли (ставки дисконтирования) часто принимают облигации 20-летнего государственного займа США, приносящие стабильный доход в пределах 4–6 % реальных процентов в год. Помимо минимальной прибыли, учитываемой в ставке дисконтирования, инвесторы хотели бы иметь компенсацию за тот риск, которому они подвергаются, вкладывая денежные средства в тот или иной проект. Такая компенсация осуществляется путем учета платы за риск в ставке дисконтирования.

Ниже приводятся рекомендации американских специалистов по учету рисковей премии в ставке дисконтирования при экономической оценке планируемых капитальных вложений для некоторых видов инвестиций таблица 6.15.

Таблица 6.15 – Рисковая премия

Группа инвестиций			Премия за риск ($r_{\text{риск}}$)
Замещающие инвестиции	Категория 1.1.	Новые машины и оборудование, которые будут выполнять те же функции, что и старые, которые заменяются	0
	Категория 1.2.	Новые мощности, которые замещают старые мощности, новые производства	0,03
	Категория 1.3.	Новые мощности, которые замещают старые мощности, новые производства	0,06
Новые инвестиции	Категория 2.1.	Новые мощности для производства изделий, которые уже производились	0,05
	Категория 2.2.	Новые мощности для организации производств, которые тесно связаны с существующими производствами	0,08
	Категория 2.3.	Новые мощности для организации производств, которые не связаны с первоначальной деятельностью компании	0,15
Инвестиции в НИР	Категория 3.1.	Прикладные исследования, направленные на достижение определенных целей	0,1
	Категория 3.2.	Фундаментальные исследования, результат которых точно неизвестен	0,2

Приведенные в таблице данные могут не вполне соответствовать российским условиям, но тем не менее они могут служить некоторым ориентиром при учете фактора риска при определении ставки дисконтирования. В нашем случае ставка дисконтирования рассчитывается без учета инфляции. Принимаем $r_{\text{мин}}=6\%$, $r_{\text{риск}}=6\%$ (таблица 6.15, категория 1.3.)

Расчет реальной ставки дисконтирования:

$$r_r = r_{\text{мин}} + r_{\text{риск}} = 0.06 + 0.06 = 0.12 \quad (6.9)$$

Срок службы у вариантов А и В 5 лет, а у варианта С 12 лет.

Таблица 6.16 - Затраты по альтернативным проектам

Годы		Альтернативные проекты		
		вариант А	вариант В	вариант С
I	0	621690,68	470822,03	453041,52
C _t , руб.	1	646668,00	646668,00	646668,00
	2	646668,00	646668,00	646668,00
	3	646668,00	646668,00	646668,00
	4	646668,00	646668,00	646668,00
	5	646668,00	646668,00	646668,00
	6	-	-	646668,00
	7	-	-	646668,00
	8	-	-	646668,00
	9	-	-	646668,00
	10	-	-	646668,00
	11	-	-	646668,00
	12	-	-	646668,00
ДДР, руб.		2952784,00	2801915,00	4458745,00

Рассчитаем дисконтированные денежные расходы за жизненный цикл проектов.

$$\text{ДДР}_A = \frac{646668}{(1+0.12)^1} + \frac{646668}{(1+0.12)^2} + \frac{646668}{(1+0.12)^3} + \dots + \frac{646668}{(1+0.12)^5} + 621690,68 = 2952784 \text{ руб.}$$

$$\text{ДДР}_B = \frac{646668}{(1+0.12)^1} + \frac{646668}{(1+0.12)^2} + \frac{646668}{(1+0.12)^3} + \dots + \frac{646668}{(1+0.12)^5} + 470822 = 2801915 \text{ руб.}$$

$$\text{ДДР}_C = \frac{646668}{(1+0.12)^1} + \frac{646668}{(1+0.12)^2} + \frac{646668}{(1+0.12)^3} + \dots + \frac{646668}{(1+0.12)^{10}} + 453041,52 = 4458745 \text{ руб.}$$

Так как годовые эксплуатационные затраты являются аннуитетными платежами, можно использовать формулу:

$$\text{ДДР} = C_t \times \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^{n \times r}} + I \quad (6.10)$$

$$\text{Вариант А: ДДР} = 646668,00 \times \frac{(1+0,12)^5 - 1}{(1+0,12)^{5 \times 0,12}} + 621690,68 = 2952784 \text{ руб.}$$

$$\text{Вариант В: ДДР} = 646668,00 \times \frac{(1+0,12)^5 - 1}{(1+0,12)^{5 \times 0,12}} + 470822,03 = 2801915 \text{ руб.}$$

$$\text{Вариант С: ДДР} = 646668,00 \times \frac{(1+0,12)^{12} - 1}{(1+0,12)^{12 \times 0,12}} + 453041,52 = 4458745 \text{ руб.}$$

Метод эквивалентного аннуитета (ЕА)

Данный метод расчета называют также определением NPV в годовом исчислении, хотя он не альтернативен методу определения NPV. Он просто облегчает выбор инвестиционных проектов, которые обеспечивают максимизацию NPV.

Метод применяется для оценки проектов с неравным сроком действия, так как некорректно применять в данном случае методы как: дисконтированные период окупаемости, внутренняя норма доходности, чистая приведенная стоимость и т.п. Денежные потоки от проекта с меньшим сроком реализации могут быть повторно реинвестированы, пока будет реализовываться более длительный проект. Одним из возможных вариантов решения этой проблемы является применение метода эквивалентного аннуитета.

Формула для расчета эквивалентного аннуитета получается путем модификации формулы $PVA_n = PMT \times PVA1_{n;r}$, в которой величина PMT обозначается как ЕА, а PVA_n – как NPV. Тогда

$$EA = \frac{NPV_n}{PVA1_{n;r}} \quad (6.11)$$

где $PVA1_{n;r}$ – текущая стоимость аннуитета одной денежной единицы.

Величина $PVA1_{n;r}$ устанавливается либо по формуле:

$$PVA1_{n;r} = \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n \times r} \quad (6.12)$$

Поскольку текущие затраты по сравниваемым вариантам представляют аннуитет, дисконтированные денежные расходы рассчитываются по формуле:

Расчет текущей стоимости аннуитета одной денежной единицы:

$$\text{Вариант А: } PVA1_{5;12} = \frac{(1+0,12)^5 - 1}{(1+0,12)^5 \times 0,12} = 3,604$$

$$\text{Вариант В: } PVA1_{5;12} = \frac{(1+0,12)^5 - 1}{(1+0,12)^5 \times 0,12} = 3,604$$

$$\text{Вариант С: } PVA1_{12;12} = \frac{(1+0,12)^{12} - 1}{(1+0,12)^{12} \times 0,12} = 6,194$$

Таблица 6.17 – Анализ альтернативных проектов

Варианты	Срок службы, лет	ДДР _n Руб./период	PVA1 _{n;12%}	Эквивалентный аннуитет (ЕА), $EA = \frac{ДДР_n}{PVA1_{n;12\%}}$
А	5	2952784,00	3,6	819131,00
В	5	2801915,00	3,6	777278,60
С	12	4458745,00	6,2	719805,60

Для сравнения альтернативных разновременных инвестиционных проектов, был использован метод эквивалентного аннуитета. Данный метод позволил рассчитать дисконтированный денежный расход в годовом исчислении. При одинаковой ставке дисконтирования 12%, экономически целесообразным вариантом является вариант С (Проектируемый ИБП).

Заключение

В данной работе проведен анализ инвестиционных затрат на проектируемый ИБП, а также анализ целесообразности внедрения нового источника бесперебойного питания. Благодаря учетам рисков, рассчитали ставку дисконтирования для дальнейших расчетов дисконтированных денежных расходов. Так как срок службы рассматриваемых проектов разный, воспользовались методом эквивалентного аннуитета, расчеты показали экономическую целесообразность использования варианта С. Также, начальные инвестиционные затраты описали выгодную стоимость данного варианта. Исходя из данных расчетов, доказали целесообразность внедрения нового ИБП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный ресурс. Качество электрической энергии РФ:
http://www.ask-r.ru/info/library/concept_elec.htm
2. Электронный ресурс. Ставка дисконтирования:
http://www.cfin.ru/finanalysis/math/discount_rate.shtml
3. Ю.С. Прокофьев, Е. Ю. Калмыкова «Экономическая оценка инвестиций»

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Для обеспечения питания ответственных потребителей электрической энергии, устанавливаются высокие требования для источников бесперебойного питания. Для ответственных потребителей электрической энергии повышенное, пониженное или нестабильное напряжение электросети и другие помехи могут привести к выходу из строя 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: оборудование полностью автономно, не допускается какие-либо изменения в конструкции. Аккумуляторные батареи – необслуживаемые. Любое обслуживание с электрической схемой, такие как: ремонт, обслуживание и замена элементов осуществляется квалифицированным персоналом, сервисных предприятий.

Техногенная безопасность

Внутри источника бесперебойного питания, на блоках и платах, имеют высокую температуру и находятся под высоким напряжением. При обслуживании и выполнения любых операций с источником бесперебойного питания, необходимо соблюдать меры безопасности, которые позволят избежать не только телесные повреждения, но и спасти оборудование от повреждения.

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

Любые конструктивные изменения или изменения в конфигурации могут привести к изменениям функционирования работы ИБП.

Информация по обслуживанию ИБП

1. Установка и монтаж источника бесперебойного питания (ИБП) строго осуществляются квалифицированным персоналом, имеющим допуск к работе с соответствующим напряжением. Прикосновение к токоведущим частям ИБП опасно для жизни.

2. 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.

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. 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. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. Запрещена эксплуатация АБ вблизи открытого огня, в условиях агрессивной среды, вблизи горючих и легковоспламеняющихся материалов.

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

15. Необходимо обеспечить правильную вентиляцию оборудования. Запрещено закрывать вентиляционные отверстия и воздухопроводы.

Расчет искусственного освещения помещения для аккумуляторных батарей

Помещения для АБ ИБП разрешается выполнять без естественного освещения. Габариты помещения и коэффициенты отражения приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – 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.

Освещение помещения выполняем люминесцентными лампами.

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

$$\Phi = \frac{(E \cdot K_z \cdot S \cdot Z) \cdot 100}{(N \cdot \eta)} = \frac{(300 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,1) \cdot 100}{14 \cdot 5} = 4041 \text{ лм}, \quad (7.1)$$

где E – заданная минимальная освещенность, E=300 лк,;

K_z – коэффициент запаса, (1,5)[3];

S – освещаемая площадь, S=5·4=20 м²;

Z – коэффициент неравномерности освещения (1,1),;

N – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока, %.

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

Для определения коэффициента использования η рассчитываем индекс помещения:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p \cdot (a + b)} = \frac{5 \cdot 4}{2,13 \cdot (5 + 4)} = 1,04, \quad (7.2)$$

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.

$$h_p = (h - (h_1 - h_2)) = (3 - (0,07 + 0,8)) = 2,13 \text{ (м)}. \quad (7.3)$$

Определяем коэффициент использования, исходя из значений коэффициентов отражения и индекса помещения, для ЛПО 2х36 $\eta = 49$.

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

Выбираем светильник ЛПО ЛПО 2х36 – КПД - 80% и люминесцентные лампы ЛБ 30 Вт $\Phi_{\text{л}} = 2180, \text{ лм}$ (в одном светильнике 2 лампы).

Вентиляция помещений для аккумуляторных батарей

Аккумуляторные помещения нуждаются в качественной вентиляции, из-за вредоносных газовых выделений батарей. При протекании химических реакций, в аккумуляторных батареях, происходит выделение различных газообразных смесей, при том что газ выделяется не только при заряде аккумуляторной батареи, но 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 должны устанавливаться только приточно-вытяжные вентиляции с механической тягой. Также, механическую систему

вентиляции необходимо резервировать, создав естественную вентиляцию. При механической вентиляции, воздухообмен за один час, должен быть как минимум двукратным, в то время как при естественной не менее чем однократный.

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

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

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.

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.

Охрана окружающей среды

Наиболее важной проблемой при эксплуатации источников бесперебойного питания является безвредная утилизация аккумуляторных батарей. В работе выбраны свинцово-кислотные необслуживаемые аккумуляторные батареи.

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

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

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

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 классу 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.

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.

9. 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.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

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

3. 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.

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

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.

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

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Uninterruptible power supply for critical consumers of electricity

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Б	Андреев Юрий Альбертович		

Консультант кафедры ЭПЭО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдинцев Антон Геннадьевич	Кандидат технических наук, доцент		

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ:

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

INTRODUCTION

Modern world requires a tendency to increase the protection needs of some consumers. Despite the fact that the power generation voltage has almost no deviation in the time when the power supply reaches the consumer, the quality of the signal is far from ideal. Most of the interferences are not allowed for significant consumers, for example, significant voltage depressions, voltage dips, over voltage and frequency variations. This can lead to irreparable casualties and even death of a person caused by damage of the equipment. The value of data that can be lost, can be several tens or even hundreds the cost of the hardware on which it is stored and processed. The financial implications of this can be significant. Therefore, the problem of providing conditioned power to significant consumers is now an urgent task.

Statistics shows that there are many causes of disturbances in networks. First, these are mismatched parameters of electricity. Secondly, these are natural disasters. Then there are blackout, sabotage, and other things. The situation can be remedied by installing an uninterruptible power supply (UPS). Specificity of telecommunications equipment requires a special approach to the selection of the UPS. First, the battery life must be large enough. Secondly, the voltage should not be lost in the UPS which it is used in conjunction with telecommunication systems, when switching from the primary to the backup power supply.

The purpose of this paper is to develop a UPS that is suitable in all respects for the load of the "rectifier".

To achieve this goal it is necessary to solve the following problems:

- 1) to identify the main features of the significant consumer AC;
- 2) to investigate the schematic of three-phase uninterruptible power supplies, their advantages and features;
- 3) to calculate the required elements of the schematic;
- 4) to make a simulation model of UPS and test the results;
- 5) to carry out pilot studies and evaluate the results.

When a power event occurs, UPS unit instantly switches the computer to battery backup power, allowing person to work through brief power outages without data loss or downtime. In the event of an extended power failure, UPS units provide time to save files and shut down computer safely. High-performance surge suppression protects computer from electrical noise, damaging power surges and lightning strikes. These precious minutes of availability ensure that necessary data and mission-critical business applications remain intact.

Electrical circuits that can provide the required power quality and continuity of supply are discussed below.

1. Functionality and applications

The UPS system can serve several functions related to power quality and power reliability. The main functionality of UPS systems is to provide back-up electric power for a specified time (the autonomy time) if the main power supply is cut off or in any other way is unable to deliver satisfying power for a specific application. The typical time range can be anything between a few seconds up to several hours depending on application. For large-scale applications such as computer halls, UPS systems typically only serve as an intermediate power source before reserve generators can be started. In less critical systems, for example household applications, a UPS commonly constitutes the sole reserve power system.

For more advanced types of UPS systems the sensitive load protected by the UPS is also isolated from the power grid, and thus protected from sags and surges in the grid. In these applications the power quality of the electricity provided from the UPS to the load is much higher than the power grid. At the same time the UPS also protects other devices from the harmonics caused by the sensitive equipment powered by the UPS. When the UPS is converting the incoming power from the grid during normal operation it is also possible for the UPS to adjust the voltage and frequency to user-defined levels. This can be used when the load uses another voltage or frequency compared to the power grid.

Typical large-scale systems that need to be protected by UPS systems are data centers, airport lighting, medical systems and industrial processing plants. These applications typically use more advanced UPS systems that not only serve as back-up power but also use the power quality protection that certain UPS systems provide. Applications of smaller scale are typically distributed telecommunication stations, automatic weather monitoring stations and personal computers where the back-up power in case of power grid failures is the main functionality provided by the UPS.

1.2. Types of UPS

Since UPS systems are used in a wide variety of applications, ranging from safe shutdown of individual computers to back-up systems for entire server halls with a total power of several MW, the types, sizes and functionalities of UPS systems differ significantly.

One general categorization used is to classify the UPS based on the energy storage system used. With this classification method the UPS systems are either stationary—utilizing a battery for energy storage—or rotary, relying on flywheels to store energy as mechanical energy. The majority of UPS systems are stationary, and flywheel technology is mainly used in applications with high power where back-up power is only needed for a few seconds. By the use of batteries the back-up time for the UPS is determined by the dimensioning of the battery bank, which can be adjusted to the demands of the load. Hybrids of the two technologies are also possible, but due to the increased costs they are only used in large scale systems powering critical loads. Only stationary UPS systems are of interest for this thesis.

Stationary UPS systems are divided into four main categories based on their functionality and basic working principle. Sorted by increasing complexity the categories are: off-line, line-interactive, on-line and true (delta conversion) UPS.

1.2.1. Off-Line UPS

An off-line UPS is mainly used in smaller applications, for example in back-up systems for individual computers or other similar household applications. The off-line UPS only serves as a second source of power in case of loss of the normal power supply. The working principle of an off-line UPS is shown in Figure A.1.

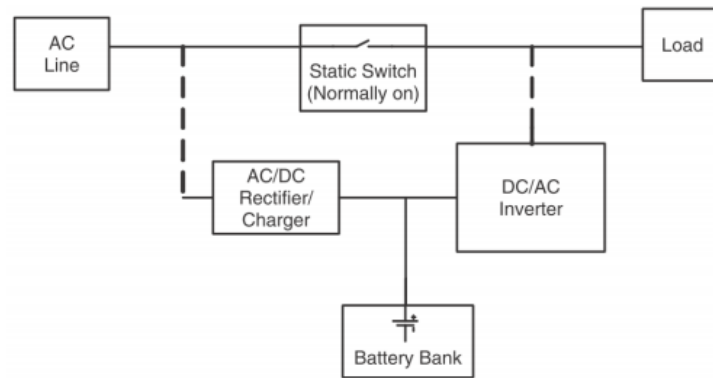


Figure A.1. – Off-line UPS

The figure shows that the load is powered directly from the normal power grid during normal operation, and the UPS is disconnected from the load. During normal operation a small (trickle) current is used to charge the battery and then keep it fully charged. Since an off-line UPS does not isolate the load from the power grid the load is not protected from sags and surges in the grid.

In case of a power failure, or when the quality of the incoming power is decreased below a pre-set threshold, the switch switches off the power grid and instead connects the battery to the load. Since the switch has to detect a power failure and then make a switching before the battery back-up can be used to power the load there is a delay between the two power sources. This delay is in the order of a quarter of a cycle and less sensitive equipment like personal computers are unaffected by this transition time. An off-line UPS cannot be used to power highly sensitive loads however, as the transition time could damage such equipment.

1.2.2. On-Line UPS

For applications where the power quality of the normal power grid could be a problem, on-line UPS systems are typically used. In an on-line UPS system the load is completely isolated from the power grid and all electricity flow through the UPS. The UPS uses double conversion where the incoming electricity during normal operation is rectified into DC and a minor current is used to charge the battery. The remaining power is converted back to AC through an inverter and used to power the critical load (Figure A.2).

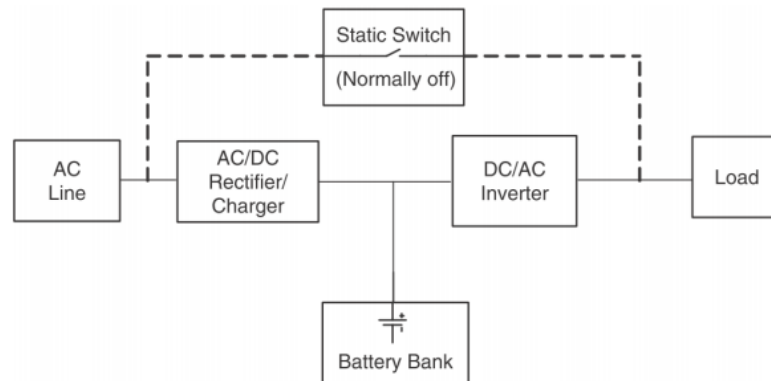


Figure A.2. – On-line UPS.

This design has the advantages that the load is protected from all types of power contamination present in the power grid, that the voltage and frequency of the AC can be adjusted in the UPS and that in the case of power failure there is no transition time before the battery start to power the load. The multi-functionality provided by on-line UPS is the reason why this type of UPS is most common for digital offices and data centers.

However the double conversion also results in a lower efficiency due to conversion losses in the power electronic components. Since the power is continuously fed through both a rectifier and an inverter the power losses makes the operation of an on-line UPS more expensive than an off-line UPS. Efficient components is thus of critical importance in an on-line UPS.

Apart from the two main types of stationary UPS—off-line and on-line—there are also two other models which have been developed to solve specific problems related to on-line and off-line UPS.

1.2.3. Line-interactive UPS

The line-interactive UPS is shown in Figure A.3 and can function as both an off-line and on-line UPS. The bi-directional AC–DC converter can both rectify power to charge the battery and invert the power from the battery in order to power the load. During normal operations the line-interactive UPS can go into on-line mode in order to either adjust the voltage (but not frequency) or improve the power factor of the load. If this is not required the UPS works as an off-line UPS with the electricity from the power grid going directly into the load. In the case of a power failure the static switch disconnects the grid and the system enters islanding mode with the battery powering the load.

The advantage of the line-interactive UPS is that it can provide some power factor correction and voltage adjustment without the increased complexity and losses of double conversion in on-line UPS. However the load is not isolated from the power grid and is thus still subjected to some power contaminations from the power grid. The line-interactive UPS can thus be seen as an intermediate between off-line and on-line UPS.

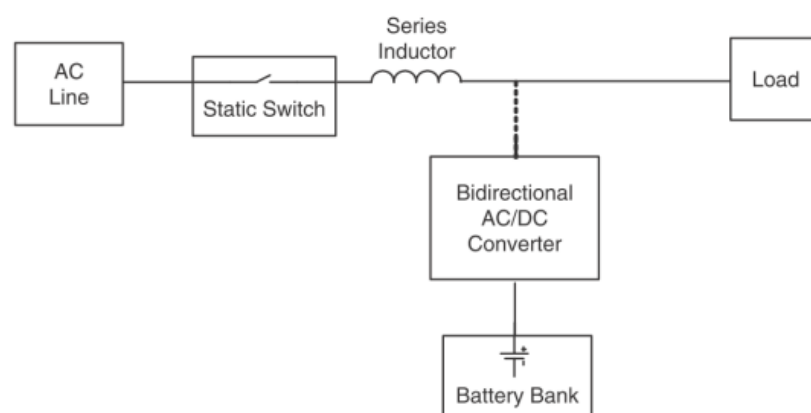


Figure A.3. – Line-interactive UPS.

1.2.4. True (or delta conversion) UPS

Large data centers use large amounts of energy, and in such applications the high losses connected to the double conversion of the on-line UPS can result in high costs. For such applications an advanced version of UPS called true (or delta conversion) UPS can be utilized.

The principle outline of a true UPS (consists of two bi-directional converters – one in series and one in parallel with the main power line. Both of the converters can be used to charge the battery but only the parallel converter can be used to supply the load in islanding mode.

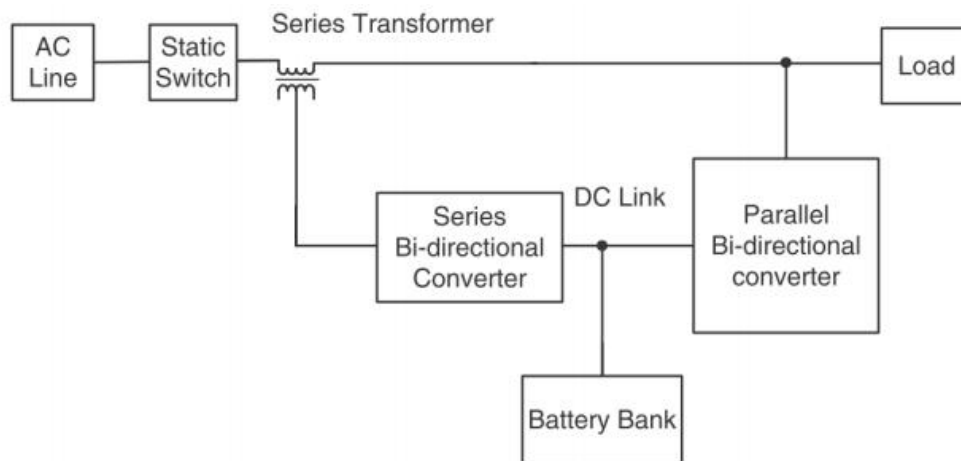


Figure A.4. – True (or delta conversion) UPS.

During normal operation the parallel converter is used to absorb power irregularities related to harmonic distortion and current distortions. At the same time the series converter mitigates surges and sags in the voltage, while charging the battery. The main advantage of this system is that most of the power goes directly from the grid into the load, with the battery and converters only providing power to even out all irregularities. By avoiding the double conversion of all power – as in the on-line UPS – the efficiency is increased from approximately 90% to 95%. This type of UPS has still not reached maturity and thus still have a relative low market share.

Since the scope of this thesis is to evaluate the UPS in larger applications (such as data centers and industry) off-line and line-interactive UPS are not applicable. Because most industry-scale UPS systems are on-line, this study will be limited to on-line UPS. The system design with a DC-link in between the two converters in the on-line UPS design is also the only UPS system where all power is converted to DC and back to AC, which increases the potential for large combined systems. [2]

2. Power Electronics

The field of power electronics is concerned with electronic circuits designed to control the flow of electrical energy in a system. Power electronic devices use semiconductor switches (thyristors, MOSFETs, IGBTs etc.) to accomplish this.

2.1. DC–DC converters

A DC–DC converter converts direct current from one voltage/current level to another. There are three types of DC–DC converters considering voltage characteristics: the buck converter can only convert the voltage down, the boost converter can only convert the voltage to a higher level while the buck-boost converter is a combination of the two and can thus convert an input voltage to both a higher or lower output voltage.

2.2.1. Buck Converters

The principal diagram of a non-isolating buck converter is presented in Figure A. 5. When the switch S is on, the current flows directly from the source to the load through the inductor L. When the switch is off that is not possible, but the inductor strives to maintain the current which will continue through the load as the inductor discharges and return through the diode D until the inductor is discharged. The two capacitors are used to smooth the input and output voltages respectively. If the inductor

is always conducting current the buck converter is said to be operating in continuous conduction mode.

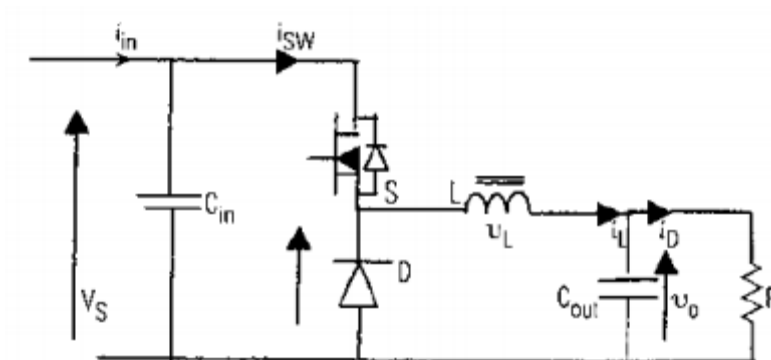


Figure A.5. – Principle electrical diagram of a buck converter.

2.2.2. Boost converters

Non-isolating DC–DC boost converters (Figure A.6) are similar in design to buck converters. When the switch S is on, the only component between the source terminals (except for the input capacitor) is the inductor L and the switch, which have a constant voltage drop. This means that current will start to build up in the inductor, and since there are no resistance in series in the ideal case, the current will continue to rise until the switch S is turned off. When the switch is turned off, the inductor will strive to maintain the current through it but now the current instead goes to the load through the output filter.

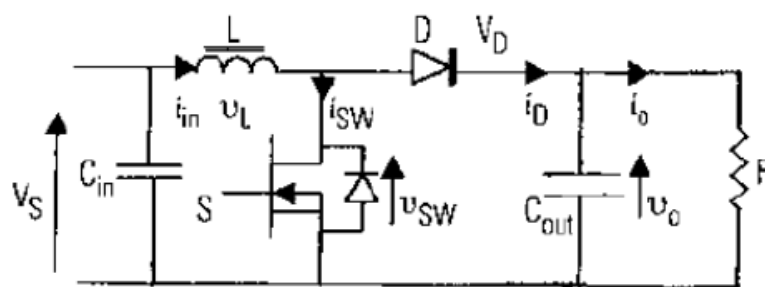


Figure A.6. – Principle electrical diagram of a boost converter.

2.2.3. Buck-Boost converters

DC–DC converters that are capable of converting an input voltage to both a lower and higher output voltage are called buck-boost converters. A typical non-isolated buck-boost converter is shown in Figure A.7. When the switch S is on, current is drawn from the source through the inductor L . When the switch is turned off, the inductor maintains the current but it must now go through the load and the diode D . Since the output voltage is negative with respect to the ground, this converter is called an inverting buck-boost converter. One way of constructing a non-inverting buck-boost converter is to provide galvanic isolation through a transformer.

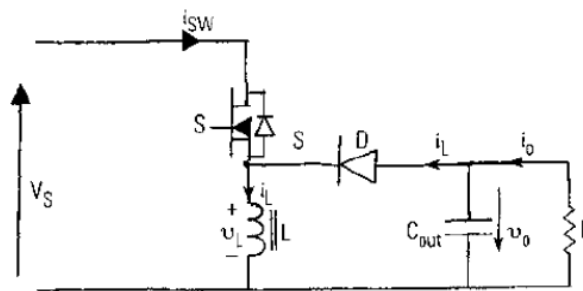


Figure A.7. – Principle electrical diagram of a buck-boost converter.

An especially important topology in non-inverting buck-boost converters is the flyback converter as illustrated in Figure A.8. The transformer provides galvanic isolation as well as a mean of constructing a 36 non-inverting buck-boost converter. Moreover, the number of windings can be adjusted so that the transformer can participate in the voltage conversion.

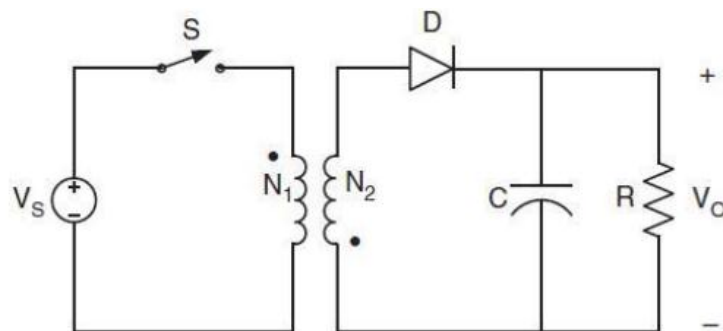


Figure A.8. – Principal electrical diagram of flyback converter.

2.3. AC–DC converters

To convert power from alternating current to direct current, an AC–DC converter, also called rectifier, can be used. The simplest form of rectification for a single-phase circuit is achieved by one diode in series with the load, as shown in Figure A.9. However the waveform produced is far from an ideal DC voltage which is why this arrangement is seldom used in practice. The circuit simply removes the negative part of the AC current which means that there will be no current flowing in the circuit 50% of the time, considering a pure resistive load.

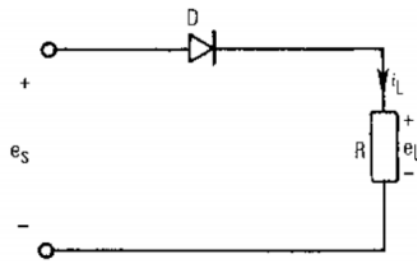


Figure A.9. – Electrical diagram of a half-wave rectifier.

An improvement of the single-diode rectifier is the full-wave rectifier seen in Figure A.10, consisting of four diodes instead of one. The load is shown as a resistance R in the diagram. A full-wave diode rectifier is designed to convert both the positive and negative parts of the AC current into positive current. The resulting waveform (Figure A.11) is still far from ideal DC current, but it is possible to smooth the current with the use of filters. Particularly, a high inductance in series with the load will try to preserve the current through the load which results in a waveform that is closer to ideal DC.

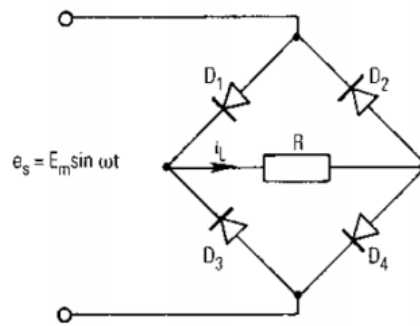


Figure A.10. – Electrical diagram of a full-wave bridge rectifier.

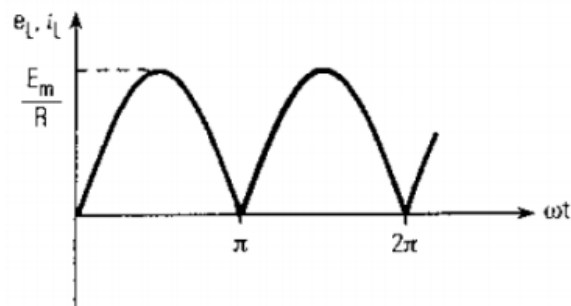


Figure A.11. – Voltage and current waveform over the load (R) in the full-wave bridge rectifier shown in Figure A.10.

In order to establish control over the RMS output voltage in a full-wave rectifier, a controllable switching device can be connected in series with the load. Alternatively, some or all of the diodes in the bridge can be replaced by controlled switching devices, such as thyristors. The first option is the cheapest, but if all diodes are replaced by thyristors the device can work as both a rectifier and an inverter. To control the device, it is necessary to control the firing angle of the thyristors, which can be seen as α in Figure A.12. Although increasing values of α will reduce the RMS value of the resulting current, it will unfortunately increase the ripple factor of the output which can be defined as the ratio of the root mean square value of the AC component divided by the value of the DC component.

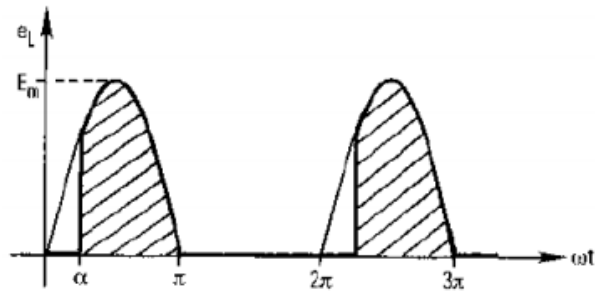


Figure A.12. – Waveform of a controlled half-wave rectifier, where α is the firing angle of the thyristors.

To reduce the ripple factor and make the output closer to ideal DC, filters can be used. There are two major typologies commonly employed in rectifier applications: inductor-input and capacitor-input filters. The typology is determined by which component is present directly after the rectifying bridge, and a capacitor-input filter can thus have both capacitors and inductors such as the so-called n-filter showed in Figure A.13. What makes this filter a capacitor-input filter is the fact that the capacitor C1 is placed upstream of the inductor L.

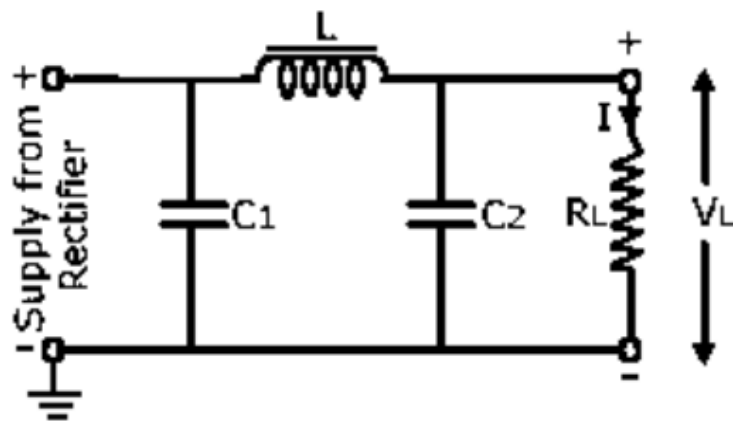


Figure A.13. – One type of capacitor-input filter: the n-filter.

Inductor-input filters are preferred in high power circuits, while capacitor-input filters are typically cheaper but entail problems with excessive turn-on and surge currents. In inductor-input filters, the inductance needs to be sufficiently large to maintain current to the load. The borderline between continuous and discontinuous operation is called critical inductance and is dependent on the load; a higher load

decreases the load impedance and thus increases the ratio between the inductor impedance and load impedance, creating a smoother waveform.

Capacitor-input filters strive to maintain the rectifier output voltage rather than the current. This leads to voltage and current waveforms as seen in Figure A.14. From this figure the major drawback of capacitor filters can be seen, namely that the supply current is very distorted and large compared to inductor filters. Another problem with capacitor filtering is that the inrush current can be very large. When powering up the circuit, the capacitor acts as a short circuit in practice if the initial capacitor voltage is zero. Therefore a resistor placed on the AC side is typically applied to limit the inrush current, unfortunately leading to losses in the circuit.

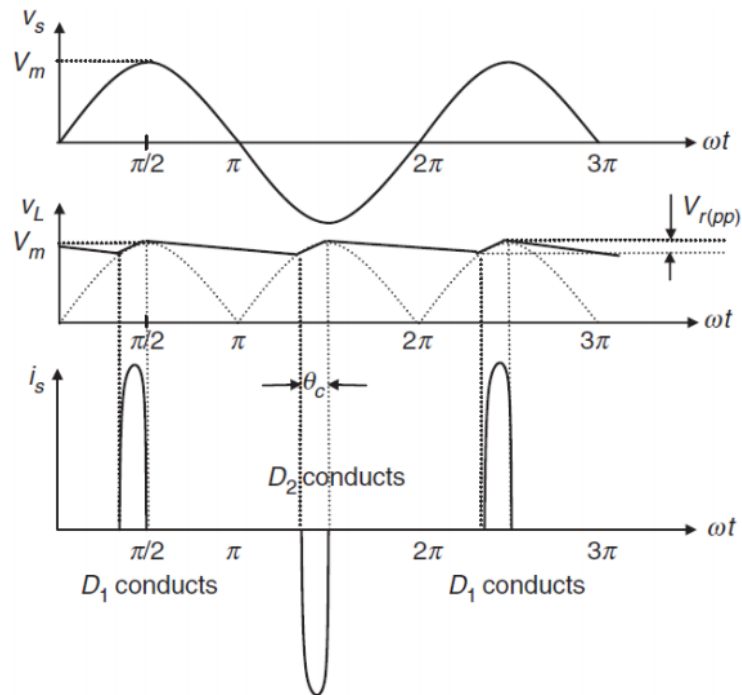


Figure A.14. – Effects on voltage and source current of a rectifier capacitor filter.

The efficiency of an AC–DC converter is on average lower than that of DC–DC and DC–AC converters. For example Nguyen and Yoon (2014) uses a practical efficiency of 91% for AC–DC converters while DC–DC are assumed to be 94% efficient and DC–AC converters 97% efficient.

Conclusion

In conclusion it is necessary to note that installing the uninterruptible power supply is needed to prevent damage to the equipment or malfunctioning systems. The primary objective of the UPS is to ensure the normal shutdown of an unexpected power outage, as well as providing high quality power at the output of the UPS.

The online UPS is used to power the file servers and workstations, local area networks, as well as any other equipment that imposes high demands on the quality of the mains supply. It is considered that the scheme of on-line is the most advanced to date solution to fully protect the load from all the existing power problems. Standby UPS offering cost-effective solution for the "non-critical" computer systems. They have a small capacity. The advantages of the UPS backup type are its simplicity and low cost, and a disadvantages are a non-zero switching time (~ 4 ms) to the battery and the more intensive use of batteries.

In the case of long duration connection it is required intensive battery or the introduction of additional generators. The scale of production of lead - acid power sources greatly predominate over other secondary sources of current systems. The most significant drawback which inherent in lead-acid cells is gassing. But due to the low self-discharge, no memory effect and minimal maintenance requirements such batteries in some areas are still very cost-effective solution.

Thus, modern technology does not stand. Development and improvement of UPS technology are inevitable, because there is an uninterruptible power supply, having common characteristics and it eliminates the disadvantages which are inherent in this class of devices completely.

References

- [1] Docplayer. Power protection for home and office desktop computer systems [electronic resource] - <http://docplayer.net/3021858-Desktop-power-solutions-power-protection-for-home-and-office-desktop-computer-systems.html> (date of access: 10.05.2016)
- [2] Wikipedia. Uninterruptible power supply [electronic resource] - https://en.wikipedia.org/wiki/Uninterruptible_power_supply (date of access: 02.03.2009)
- [3] Wikipedia. Uninterruptible power supply [electronic resource] - https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC_converter (date of access: 10.01.2012)
- [4] Wikipedia. Capacitor input filter [electronic resource] - https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor-input_filter (date of access: 06.04.2010)
- [5] Wikipedia. Buck – boost converter [electronic resource] – https://en.wikipedia.org/wiki/Buck%E2%80%93boost_converter (date of access: 07.04.2012)
- [6] Wikipedia. Power semiconductor device [electronic resource] - https://en.wikipedia.org/wiki/Power_semiconductor_device (date of access: 06.05.2009)
- [7] Wikipedia. Electric power conversion [electronic resource] - https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power_conversion (date of access: 08.05.2013)

Приложение Б

Аккумуляторные батареи Sonnenschein серии А400 - это универсальные аккумуляторы Sonnenschein, которые имеют небольшие габариты и стабильно вырабатывают высокую мощность. Обладают длительным сроком службы до 12 лет при температуре окружающей среды 25°C (остаточная емкость 80%). Возможность длительного хранения без подзаряда за счет низкого уровня саморазряда. Короткое время восстановления емкости после разряда.

Гелевые аккумуляторные батареи Sonnenschein серии А400 применяются, в основном, в отрасли телекоммуникации, где являются неотъемлемой частью для осуществления надежного соединения абонентов, а также широко используются в производстве и распределении электроэнергии, аварийном освещении, сигнальном оборудовании на железных дорогах, оборудовании аварийного оповещения и многих других отраслях, где требуется гарантированное питание.

Таблица Б.1 - Технические параметры аккумуляторной батареи А412/32

Страна – производитель				Германия				
Напряжение блока, В				12				
Ёмкость, Ач				32				
Вес, кг				13,6				
Макс. Нагрузка, А				400				
Внутренне сопротивление, мОм				784				
Ток короткого замыкания, А				93				
Тип вывода				G M6				
Размеры (В x Ш x Д), мм				175x175,5x210				
Срок службы, год				12				
Цена руб./шт.				13350				
Ток разряда при 20° С								
Тип	Нумерация	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	30 мин	45 мин	1 час
A412/32G6	NGA4120032H SOBA	94	65	52	43	33	25	20

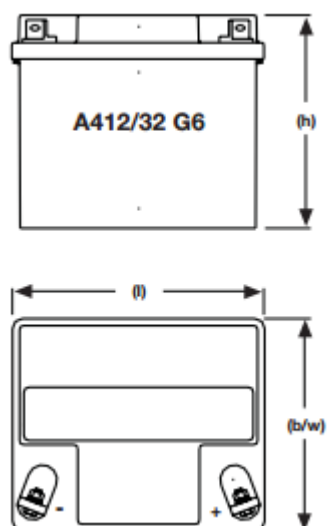


Рисунок Б.1 - Габаритные параметры аккумуляторной батареи A412/32 G6

Приложение В

Выбранный IGBT модуль CM300DX-12A представляет фирму Mitsubishi Electric для работы в высокочастотном ключевом режиме. Каждый модуль состоит из двух IGBT транзисторов, каждый, из которых, имеет обратный быстро восстанавливающийся диод.

Таблица В.1 – Технические характеристики IGBT модуля CM300DX-12A

$U_{\text{к-э, макс}}$, В	$f_{\text{ком}}$, кГц	$I_{\text{к макс}}$, А	Цена руб./шт.
600	20	300	6190



Рисунок В.1 - внешний вид IGBT модуль CM300DX-12A

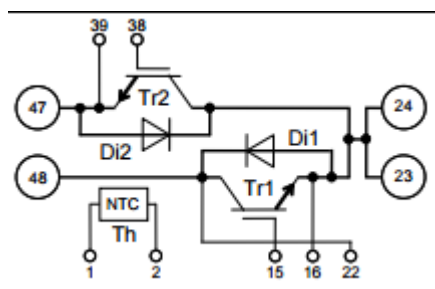


Рисунок В.2 – Электрическая схема соединений IGBT модуля CM300DX-12A

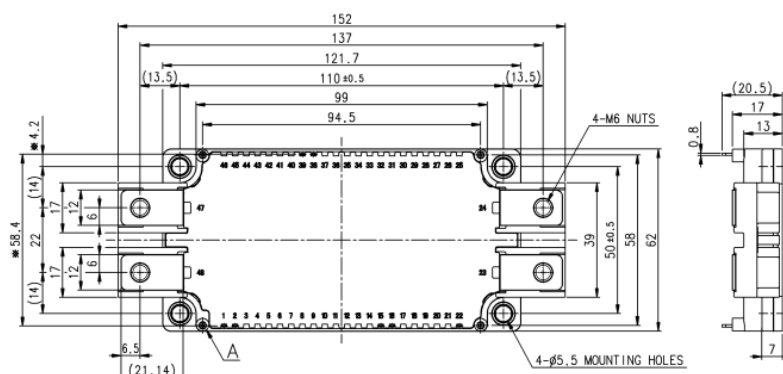


Рисунок В.3 - Габаритные параметры IGBT модуля CM300DX-12A
(размеры в мм.)

Приложение Г

Конденсатор электролитический алюминиевый K50-35 из серии CD110 - предназначен для использования в бытовой технике.

Диэлектриком электролитических конденсаторов является тонкий слой оксида металла, нанесенный электролитическим способом на тонкую ленту из фольги - является одной обкладкой конденсатора. Другая обкладка конденсатора образуется из пропитанной электролитом бумажной ленты и соприкасающейся с ней другой, не окисленной ленты из фольги. Электролитические конденсаторы требуют определенной полярности включения их в схему. Обычно корпус конденсатора подключается к отрицательному полюсу источника. Основным преимуществом электролитических конденсаторов является их большая емкость при небольших габаритных размерах.

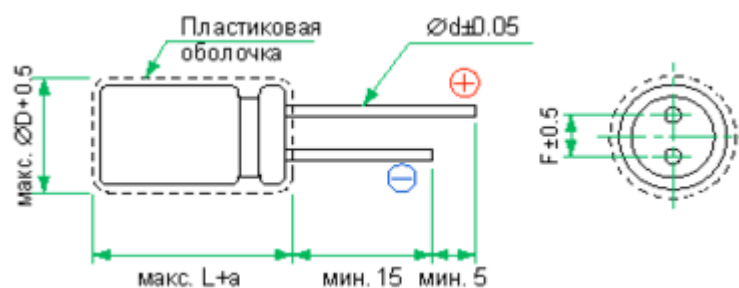
Конденсаторы электролитические алюминиевые с радиальными выводами и для поверхностного монтажа. Алюминиевые электролитические конденсаторы обладают большой емкостью, в пересчете на единицу, низкой ценой и вседоступностью. Эти конденсаторы широко применяются в импульсных блоках питания в качестве выходных фильтров с частотами до 150КГц. Рабочая частота в DC-DC преобразователях процессоров делает эти конденсаторы неподходящими. Паразитный ESR (ЭПС) очень высок в диапазоне частот от 150КГц и сильно зависит от температуры, по сравнению с конденсаторами других типов. Время жизни зависит от температуры, а потеки могут повредить контакты в РСВ расположенные под конденсатором.



Рисунок Г.1 – Внешний вид конденсатора K50 -35

Таблица Г.1 - Технические Характеристики К50-35

Диапазон рабочих температур, °С	- 40 ... +85
Номинальное напряжение, В	450
Номинальная емкость, мкФ	22
Допустимые отклонения емкости от номинала, %	± 20
Ток утечки, мкА (после 2-х минут работы при 25°С)	
при V в диапазоне 6,3 - 100В	0,01 CV или 3 (что больше)
при V в диапазоне 160 - 450В	0,06 CV
где C и V - номинальные емкость и напряжение, соответственно	
Цена руб./шт.	7
Максимальная частота, кГц	100



ØD	5	6.3	8	10	12.5	16	18
F	2.0	2.5	3.5	5.0		7.5	
Ød	0.5		0.6			0.8	
a	1.0		L < 16:1.0 L ≥ 16:2.0				

Рисунок Г.2 - Габаритные параметры конденсатора К50 – 35 (размеры в мм.)

Приложение Д

Карбидо - кремневые диоды C3D25170H компании Cree применяются в импульсной силовой электронике: в схемах коррективки коэффициента мощности, в приводах электродвигателей и т.д.. Применение этих приборов оправдывает себя при работе на повышенных частотах и напряжениях и делает экономически выгодными их использование. Благодаря уникальным свойствам SiC-диодов, они могут работать на частотах вплоть до 500 кГц, обеспечивая высокую эффективность устройств порядка 92%. Главным преимуществом высоковольтных SiC - диодов Шоттки (ДШ) считается в их исключительных динамических характеристиках. Заряд обратного восстановления (Q_{rr}) этих диодов чрезвычайно низок (менее 20 нКл) и, как результат, - минимальны потери на переключение в типичных применениях импульсной силовой электроники. Кроме того, в отличие от кремниевых PiN диодов, скорость нарастания тока (di/dt) не зависит от величины прямого тока и температуры. Диоды нормально работают при максимальной температуре перехода 175°C.

Таблица Д.1 – Параметры диода C3D25170H

Максимальное Постоянное обратное напряжение, В	Максимальный прямой ток, А	Максимально импульсное обратное напряжение, В	Максимально допустимый прямой импульсный ток, А	Цена, руб./шт.
1700	26,3	1700	99	4841,62



Рисунок Д.1 – Внешний вид диода C3D25170H

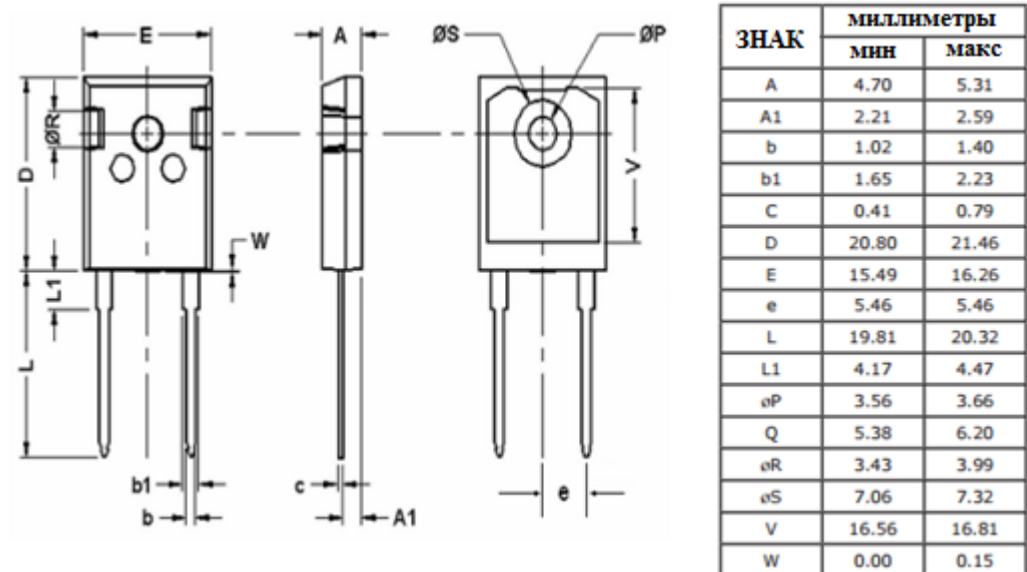


Рисунок Д.2 – габаритные параметры диода

Приложение Е

Пленочный конденсатор В32778-G 406-К, МКР

Силовые конденсаторы состоят из плоскопрессованных секций, набираемых в пакет. Диэлектрик секций может быть пропитан синтетическим или минеральным маслом. Применяются в силовых сетях высокого и низкого напряжения, в силовых устройствах повышенных частот.



Рисунок Е.1 - В32778-G 406-К, МКР

Таблица Е.1 – Характеристики конденсатора В32778-G 406-К, МКР

Ёмкость, мкФ	Номинальное напряжение, В	Цена, Руб./шт.	Максимальная частота, кГц
40	1100	1860	100

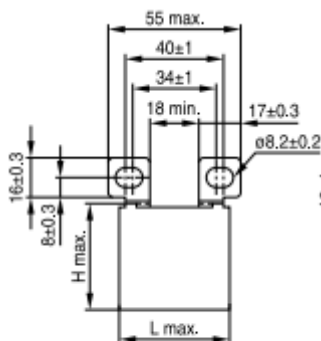


Рисунок Е.2 - габаритные параметры конденсатора В32778-G 406-К, МКР
(размеры в мм.)

Приложение Ж

Карбид – кремниевые транзисторы MOSFET имеют существенно меньшие потери на коммутацию. Одна из отличительных особенностей карбид-кремниевых MOSFET (и MOSFET вообще) от IGBT заключается в том, что они не генерируют хвостовой ток. Вследствие этого карбид-кремниевые MOSFET имеют меньшие потери при переключении, чем IGBT. Это позволяет достичь максимального быстродействия, уменьшить число дополнительных пассивных компонентов, сделать систему охлаждения более компактной и не дорогостоящей.



Рисунок Ж.1 - внешний вид карбид – кремниевого транзистора
C2M0040120D

Таблица Ж.1 – Технические характеристики модуля C2M0040120D

$U_{к-э}, В$ макс	$f_{коммакс}, кГц$	$I_{к макс}, А$	Цена руб./шт.
1200	100	60	2251

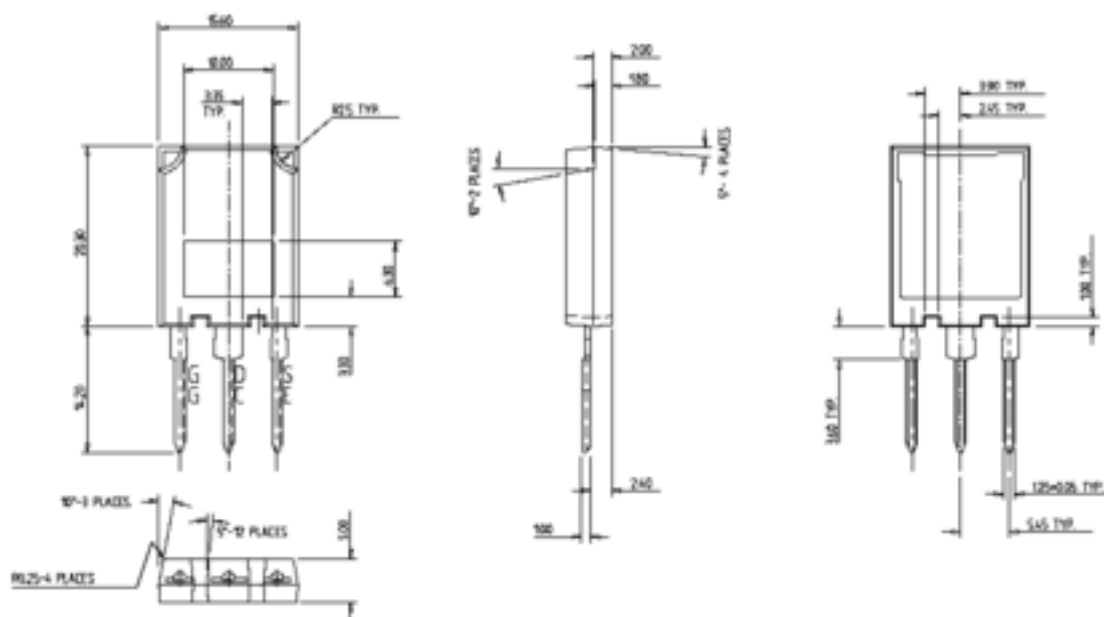


Рисунок Ж.2 - Чертеж корпуса IRGPS60B120KDP (размеры в мм.)

Приложение 3

Диод C4D05120E

Таблица 3.1 - Параметры диода

Максимальное постоянное обратное напряжение, В	Максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток, А	Максимальное допустимый прямой импульсный ток, А	Рабочая температура, С	Цена, руб./шт.
1200	19	320	-55...175	238

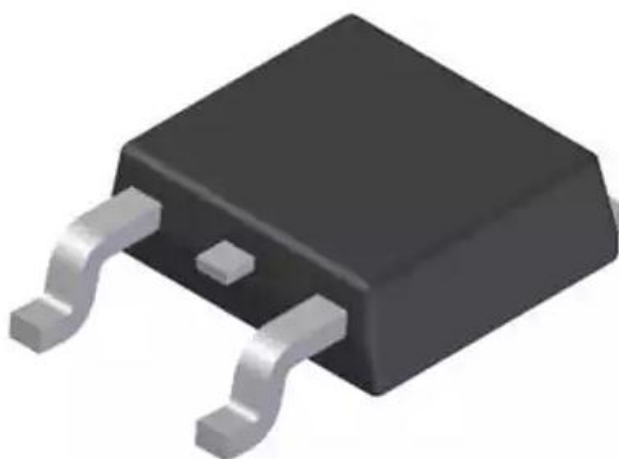


Рисунок 3.1 - Внешний вид диода C4D05120E

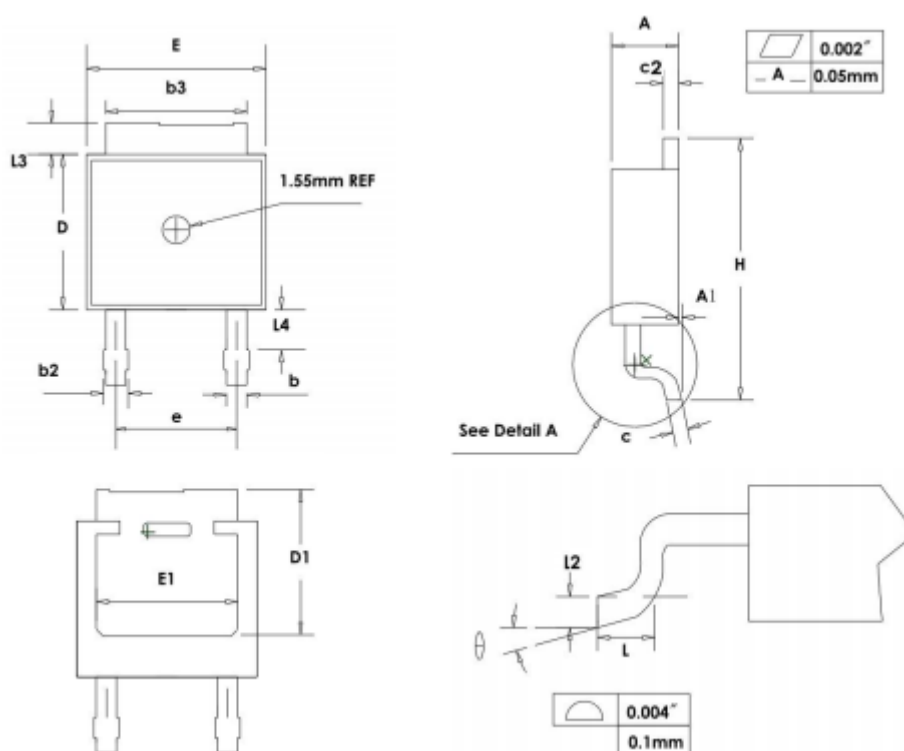


Рисунок 3.2 - Чертеж корпуса C4D05120E (размеры в мм.)

Таблица 3.2 – Размер корпуса (размеры в мм.)

Знак	Миллиметры	
	Мин.	Макс.
A	2,159	2,413
A1	0	0,13
b	0,64	0,89
b2	0,653	1,143
b3	5,004	5,6
c	0,457	0,61
c2	0,457	0,864
D	5,867	6,248
D1	5,21	-
E	6,35	7,341
E1	4,32	-
e	4,58 BSC	
H	9,65	10,414
L	1,106	1,78
L2	0,51 BSC	
L3	0,889	1,27
L4	0,64	1,01
c	0	8°

Приложение И

Силовой конденсатор В32778-G4117-К, МКР предназначен для использования в фильтрах. Силовые конденсаторы состоят из плоско – прессованных секций, набираемых в пакет. Диэлектрик секций может быть пропитан синтетическим или минеральным маслом. Применяются в силовых сетях высокого и низкого напряжения, в силовых устройствах повышенных частот.

Таблица И.1 - Параметры конденсатора В32778-G4117-К

Номинальное напряжение, В	450
Ёмкость, мкФ	110
Максимальная частота, кГц	100



Рисунок И.1 - Внешний вид конденсатора В32778-G4117-К

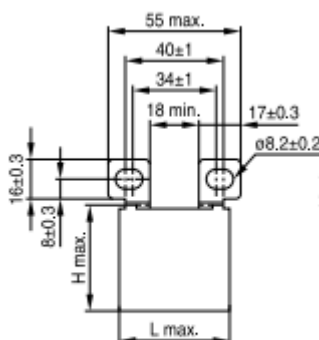


Рисунок И.2 - Чертеж конденсатора В32778-G4117-К (размеры в мм.)

Приложение К

Симистор ТС132-50-8.

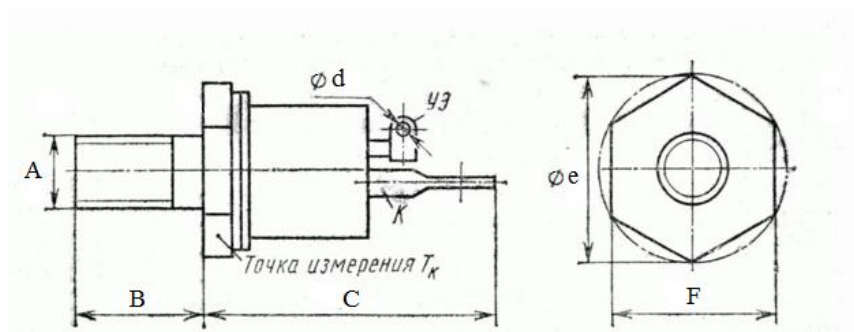
Тиристор симметричный низкочастотный штыревого исполнения. Предназначен для работы в преобразовательных устройствах, в цепях постоянного и переменного тока различных силовых установок. Выпускаются в металlostеклянном корпусе с жестким выводом.

Структура условного обозначения:

- ТС132-50-8
- ТС - тиристор симметричный
- 1 - порядковый номер модификации конструкции
- 3 - обозначение диаметра корпуса по ГОСТ 20859.1-89
- 2 - обозначение конструктивного исполнения корпуса по ГОСТ 20859.1-89
- 50 - максимально допустимый действующий ток, А
- 8 - класс по повторяющемуся напряжению.

Таблица К.1 – Параметры симистора ТС132-50-8

Максимально допустимый ток, А	Повторяющееся импульсное обратное напряжение, В	Цена, руб./шт.
50	800	510



знак	миллиметры
A	10
B	18
C	40
d	1,5
e	25
F	22

Рисунок К.2 – Габаритные параметры симистора (размеры в мм.)