

## **РЕФЕРАТ**

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы содержит 129 страниц, 34 рисунка, 18 таблиц, 24 источника литературы, 3 приложения.

Объектом исследования является: источник бесперебойного питания для защиты критических инфраструктур и системы безопасности.

Ключевые слова: источник бесперебойного питания (ИБП), сервер, сглаживающий фильтр, выпрямитель, инвертор, повышающий преобразователь напряжения, аккумуляторная батарея.

Цель работы – разработка ИБП для защиты серверов.

В процессе исследования проводился расчет и выбор силового оборудования ИБП, разработка электрической принципиальной схемы силовой части, разработка системы управления и функциональной схемы ИБП, а так же проводилось исследование имитационной модели ИБП при различной нагрузке. Моделирование проводилось в программной среде MATLAB (R2013a).

Пояснительная записка выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 на белой бумаге формата А4.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	13
1 ИБП ДЛЯ ЗАЩИТЫ КРИТИЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУР И СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ .....	14
1.1 Анализ технического задания.....	14
1.2 Требования к системе бесперебойного электропитания для серверных помещений.....	14
1.3 Основные типы источников бесперебойного питания .....	17
1.3.1 Источники бесперебойного питания резервного типа Off-Line UPS.	17
1.3.2 Источники бесперебойного питания типа Line-Interactive .....	19
1.3.3 Источники бесперебойного питания On-Line типа.....	20
1.4 Обоснование функциональной схемы разрабатываемого ИБП.....	22
2 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ИБП.....	26
2.1 Выбор аккумуляторных батарей.....	27
2.2 Расчет инвертора напряжения .....	29
2.3 Расчет трансформатора.....	30
2.4 Расчет фильтра на выходе инвертора .....	31
2.5 Расчет повышающего преобразователя.....	34
2.6 Расчет неуправляемого выпрямителя.....	39
2.7 Расчет сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя .....	40
2.8 Расчет фильтра на входе инвертора.....	41
3 ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ .....	43
4 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОПИСАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ.....	46
5 ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИБП.....	49
5.1 Исследование имитационной модели ИБП при активно-индуктивной нагрузке .....	52
5.2 Исследование имитационной модели при активно-емкостной нагрузке....	56
6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕССУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ.....	64

6.1	Предпроектный анализ .....	64
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	64
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	66
6.1.3	Диаграмма Исикава.....	69
6.1.4	SWOT – анализ .....	71
6.2	Инициация проекта.....	75
6.2.1	Организационная структура проекта.....	75
6.2.2	Разработка графика проведения научного исследования .....	76
6.2.3	Расчет материальных затрат НИИ.....	78
6.2.4	Основная заработная плата исполнителей темы.....	80
6.2.5	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	82
6.2.6	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	83
6.2.7	Накладные расходы .....	83
6.2.8	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	84
6.3	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	85
7	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	89
7.1	Производственная безопасность.....	89
7.2	Экологическая безопасность .....	99
7.3	Безопасность в ЧС .....	101
7.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	102
	Заключение.....	104
	Список литературы.....	105
	Приложение А.....	107
	Приложение Б.....	128
	Приложение В .....	129

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время наблюдаются тенденции на увеличение потребности в защите некоторых потребителей. Не смотря на то, что при генерировании электроэнергии напряжение практически не имеет отклонений, в тот момент, когда электропитание достигает потребителя, качество этого сигнала далеко от идеального. Большинство помех недопустимы для ответственных потребителей, например, значительные провалы напряжения, пропадание напряжения, перенапряжение и колебания частоты. Это может привести к непоправимым потерям и даже смерти человека, вызванным повреждением оборудования. Финансовые последствия от этого также могут быть существенными. Поэтому проблема обеспечения качественным электропитанием ответственных потребителей в настоящее время является актуальной.

Причин возникновения нарушения в сетях несколько. Это может быть несоответствие параметров электроэнергии, стихийные, ошибка аппаратных средств, программного обеспечения, отключение электроэнергии, саботаж и прочее. Практически в 50% случаев ситуацию можно исправить, установив источник бесперебойного питания. При наличии источника бесперебойного питания в случае понижения напряжения компьютер и другие приборы и устройства могут работать сколько угодно долго без вреда для оборудования.

Данная работа посвящена разработке и исследованию источников бесперебойного питания ответственных потребителей переменного тока, в частности банковских систем. 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 СБЭП. Провести исследование разработанной модели СБЭП.

Целью данной работы является проектирование источника бесперебойного питания, который обеспечивал бы питание потребителей в течение 10 минут, выходным напряжением 220 В (+6/- 8%).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИБП

Для исследования режимов работы ИБП была разработана модель однофазного ИБП с двойным преобразованием энергии. Моделирование проводилось в программной среде MATLAB (R2013a). На рисунке 1 представлена модель аварийного режима работы рассчитанного ранее ИБП.

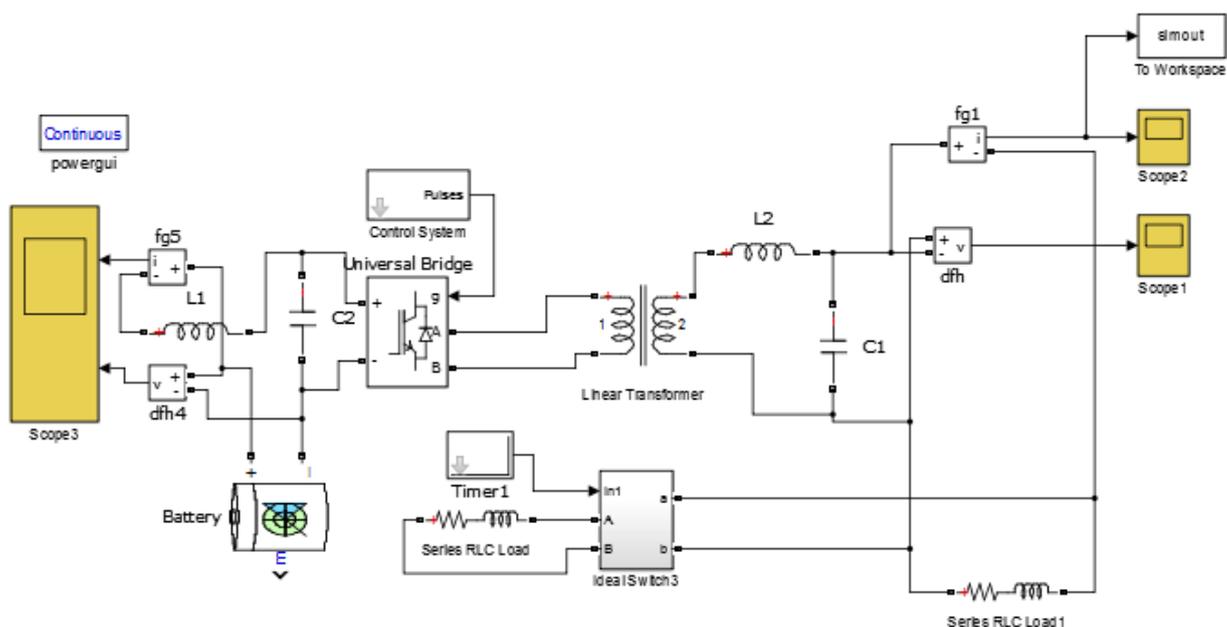


Рисунок 1 – Модель ИБП с двойным преобразованием энергии

В имитационную модель входит: автономный инвертор «Inverter», аккумуляторная батарея «Battery», система управления «Control System», блок коммутации «Ideal Switch», входной и выходной Г-образные LC-фильтры, нагрузка «Series RLC Load» и «Series RLC Load1».

Окно с настройками инвертора представлено на рисунке 2.

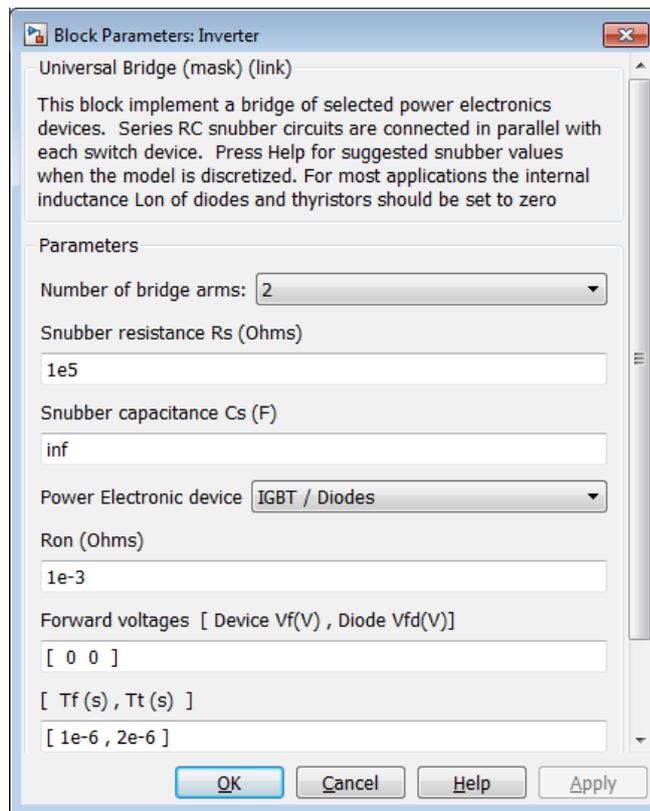


Рисунок 2 – Параметры автономного инвертора «Inverter»

На рисунке 3 представлены настройки блока «Battery».

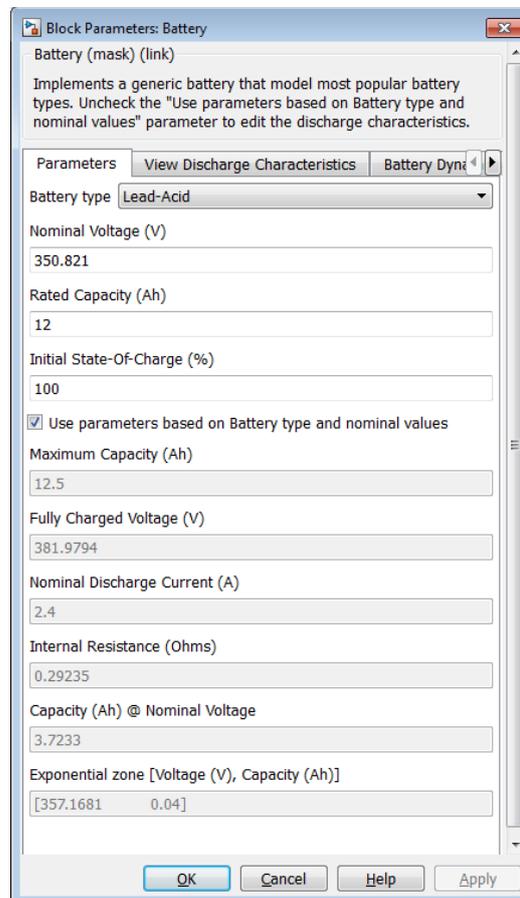


Рисунок 3 – Настройки блока Battery

На входе и на выходе автономного инвертора подключены Г-образные LC-фильтры. Входной фильтр в имитационной модели - индуктивность L1 и конденсатор C1. Выходной фильтр представлен как индуктивность L2 и конденсатор C2. На рисунках 4, 5 представлены настройки фильтров.

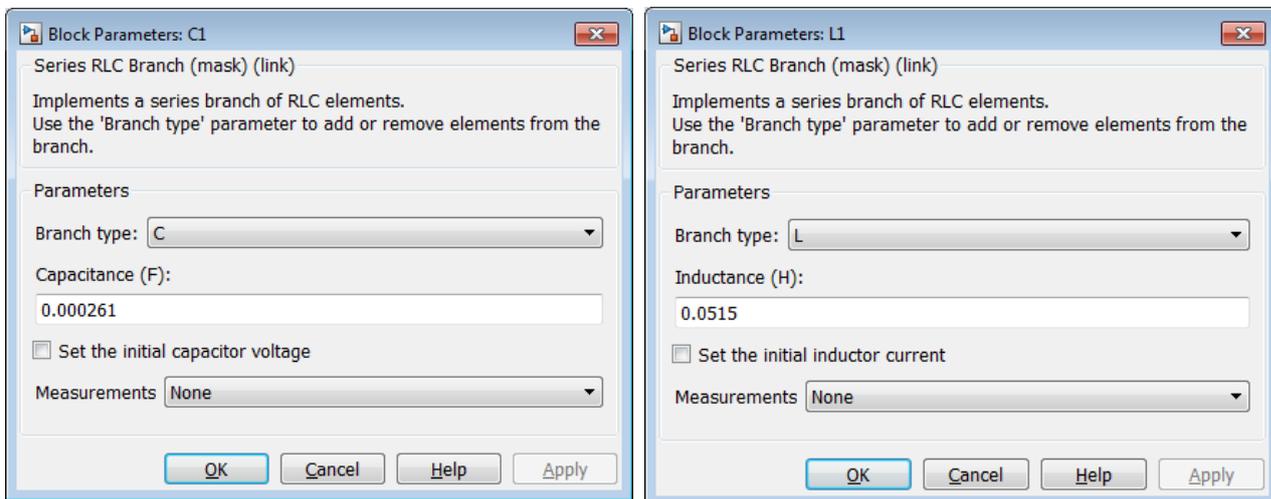


Рисунок 4 – Настройки Г-образного LC- фильтра на входе инвертора

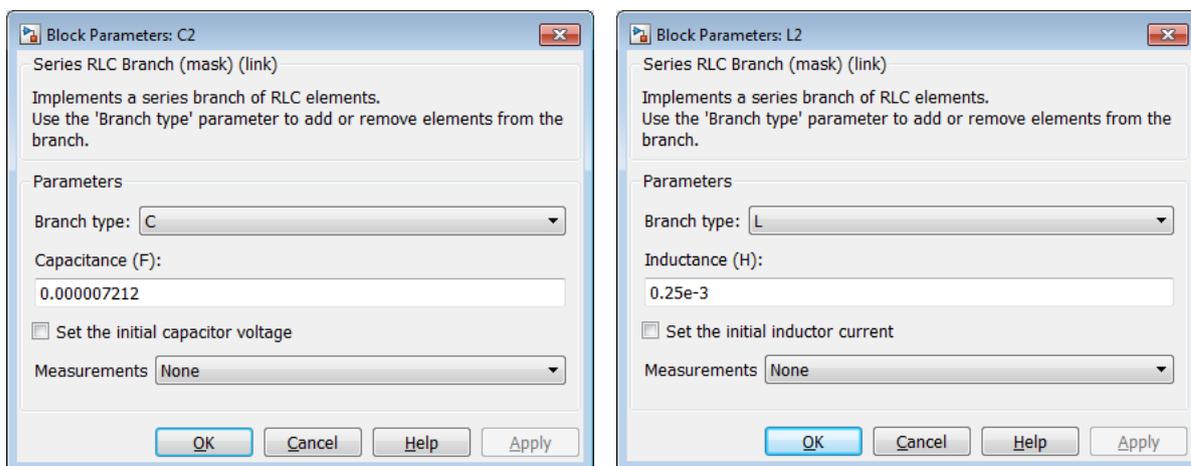


Рисунок 5 – Настройки Г-образного LC- фильтра на выходе инвертора

Блок «Control System» (система управления) отвечает за реализацию ШИМ. На рисунке 6 представлены настройки данного блока.

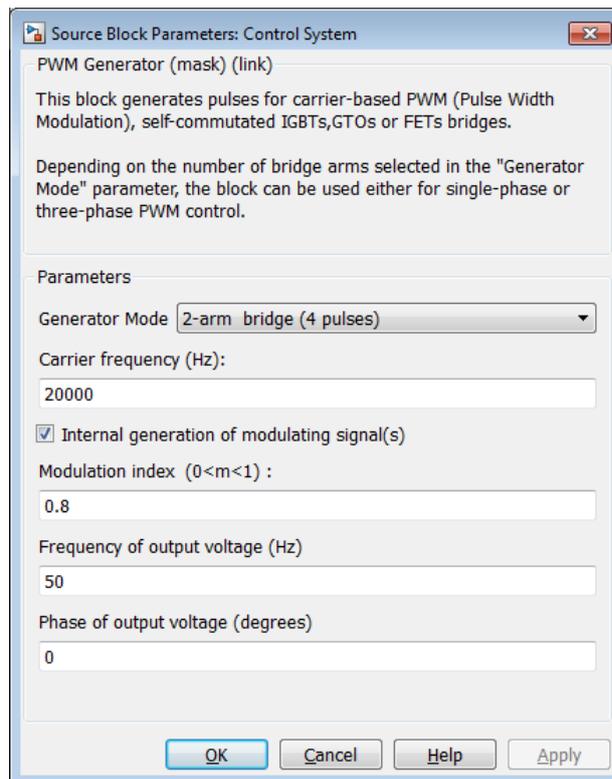


Рисунок 6 – Настройки блока «Control System»

Для снятия выходных характеристик смоделированного ИБП служит элемент Scope (осциллограф). Позволяет наблюдать за изменениями сигналов в процессе моделирования. Для измерения тока, с выводом результата на осциллограф, используется блок «Current Measurement» (измерение тока). В модели он представлен как «fg». Для измерения напряжения, с выводом результата на осциллограф, используется блок «Voltage Measurement» (измерение напряжения). В модели представлен как «dfh».

### **1.1 Исследование имитационной модели ИБП при активно-индуктивной нагрузке**

На рисунке 7 представлена модель ИБП при работе на активно-индуктивную нагрузку.

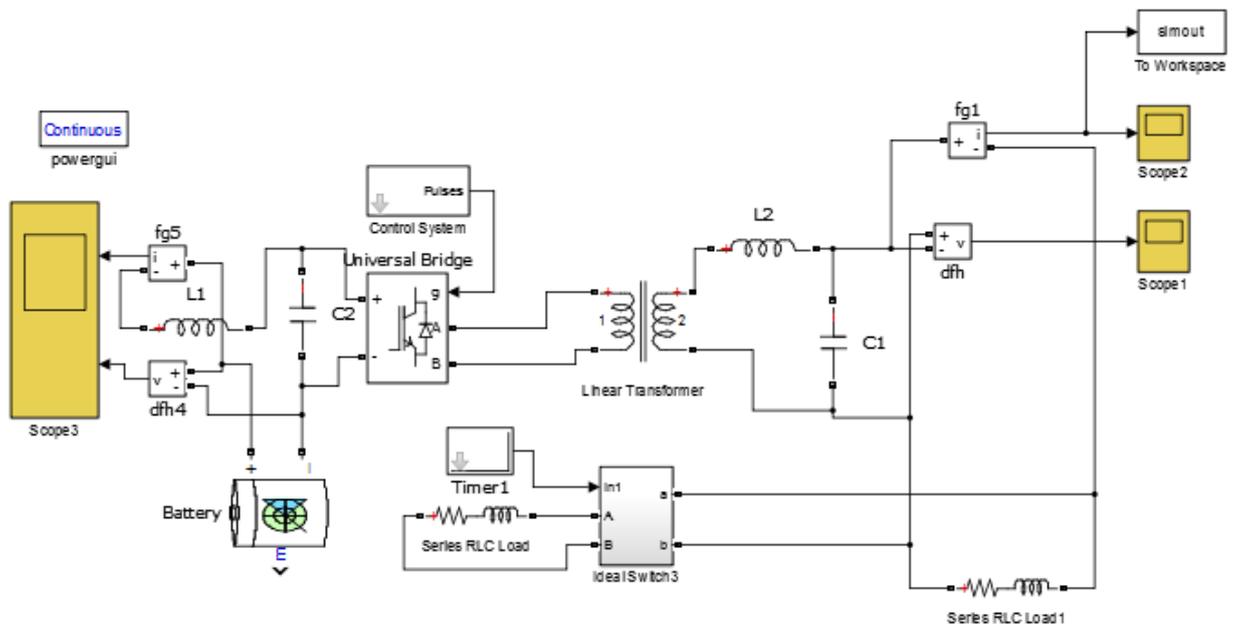


Рисунок 7 – Модель ИБП при работе на активно-индуктивную нагрузку

На интервале времени от 0 до 0,5с активная нагрузка составляет 2400 Вт, индуктивная 100 Вар. В момент времени 0,5с был произведен такой же по величине наброс нагрузки.  $P_1=2000$  Вт, наброс нагрузки  $P_2=2400$  Вт,  $Q_1=100$  ВАр,  $Q_2=100$  ВАр.

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{2400^2 + 100^2} = 2402, BA;$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{2400^2 + 100^2} = 2402, BA;$$

$$S_{\Sigma} = S_1 + S_2 = 2402 + 2402 = 4804, BA.$$

Таким образом, ИБП нагружен примерно на 80%.

На рисунках 8, 9 представлены осциллограммы токов и напряжений при активно-индуктивной нагрузке.

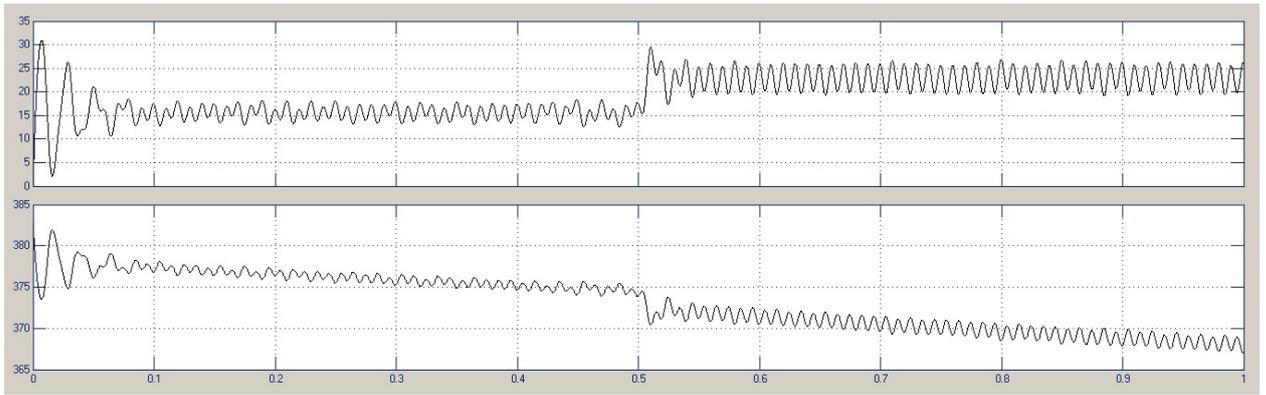


Рисунок 8 – Осциллограммы напряжения и тока на батарее

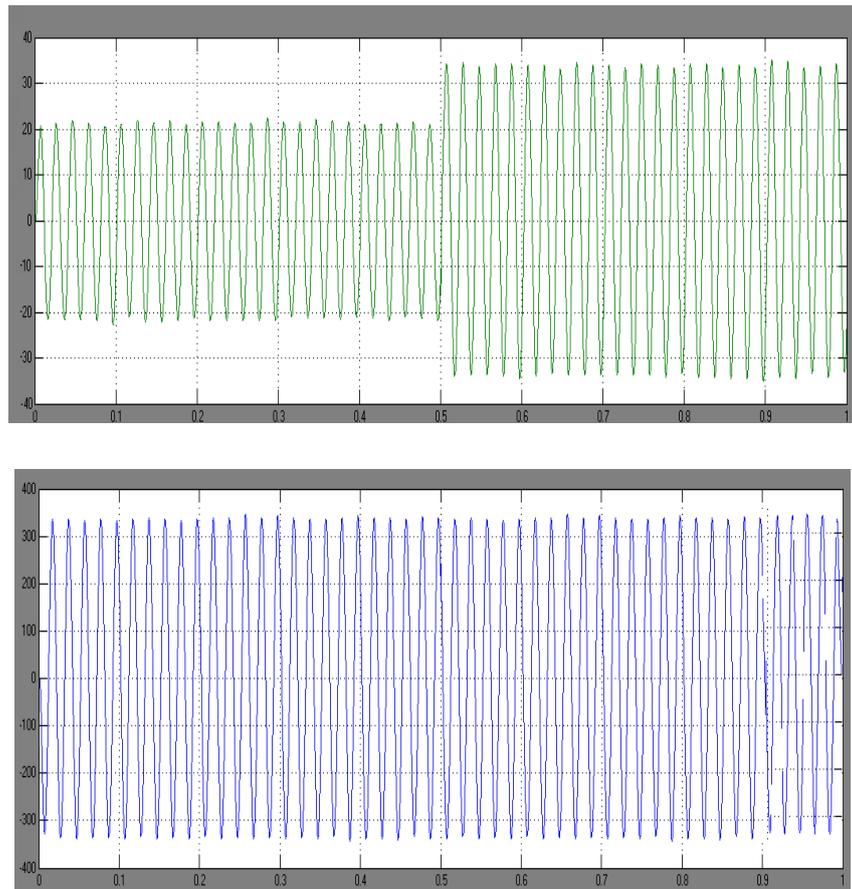


Рисунок 9 – Осциллограммы напряжения и тока на нагрузке

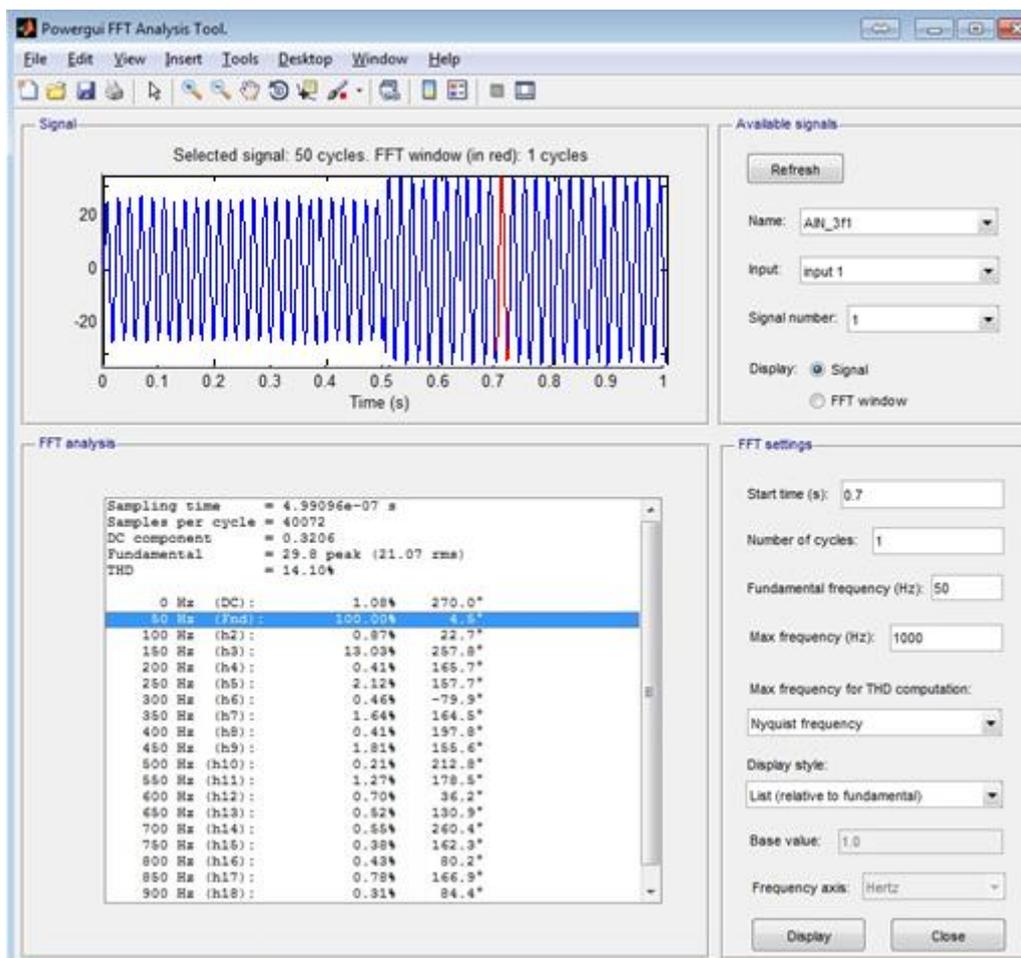


Рисунок 10 - Гармонический состав выходного тока при активно-индуктивной нагрузке

По полученным в результате моделирования осциллограммам можно сделать вывод, что при набросе нагрузки в момент времени 0,5 с происходит незначительное падение напряжения и значительное увеличение тока. Выходное напряжение инвертора имеет форму искаженной (неидеальной) синусоиды, как и ток. Это говорит, о влиянии высших нечетных гармоник. Из рисунка 10 видно, что именно нечетные гармоники имеют наибольшую величину.

## 1.2 Исследование имитационной модели при активно-емкостной нагрузке

На рисунке 11 представлена модель с работой на активно-емкостную нагрузку.

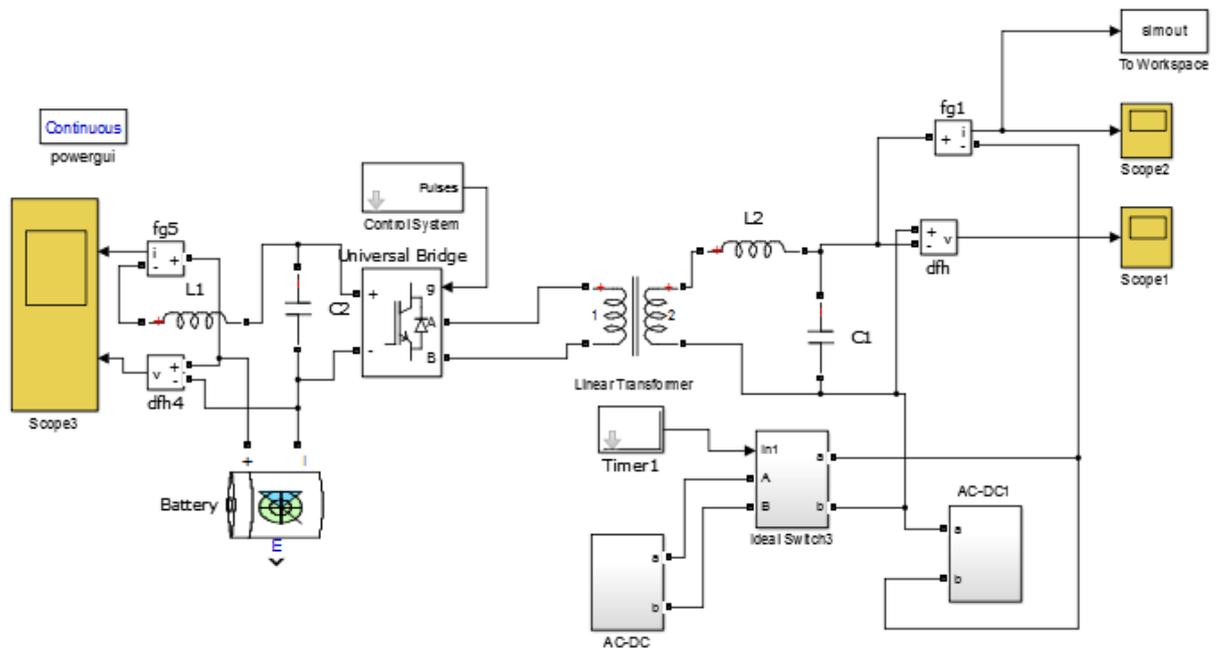


Рисунок 11 – Модель ИБП при работе на активно-емкостную нагрузку

На интервале времени от 0 до 0,5с активная нагрузка составляет 3000 Ом, емкостная 0,01 Ф. В момент времени 0,5с был произведен такой же по величине наброс нагрузки.

На рисунках 12, 13 представлены осциллограммы токов и напряжений при активно-емкостной нагрузке.

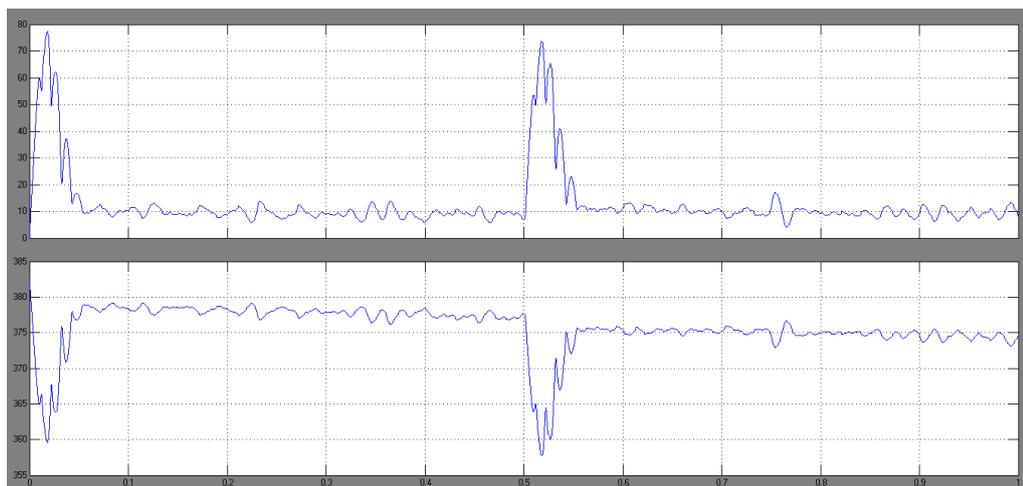


Рисунок 12 - Осциллограммы напряжения и тока на батарее

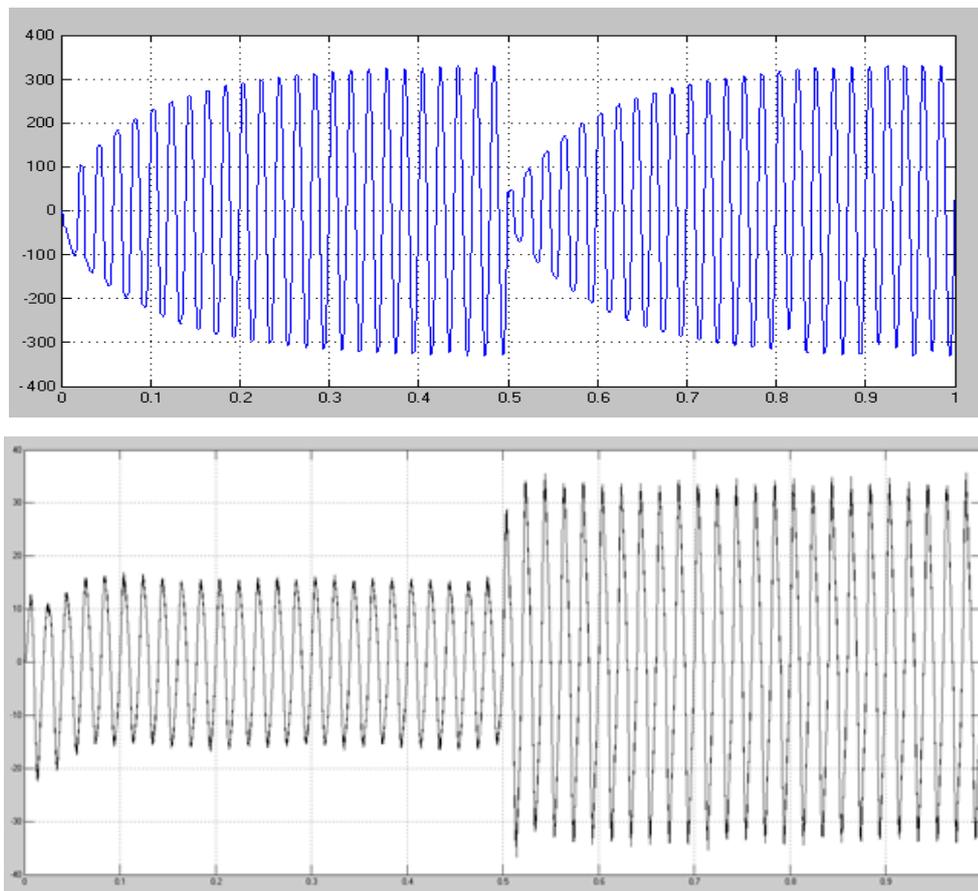


Рисунок 13 - Осциллограммы напряжения и тока на нагрузке

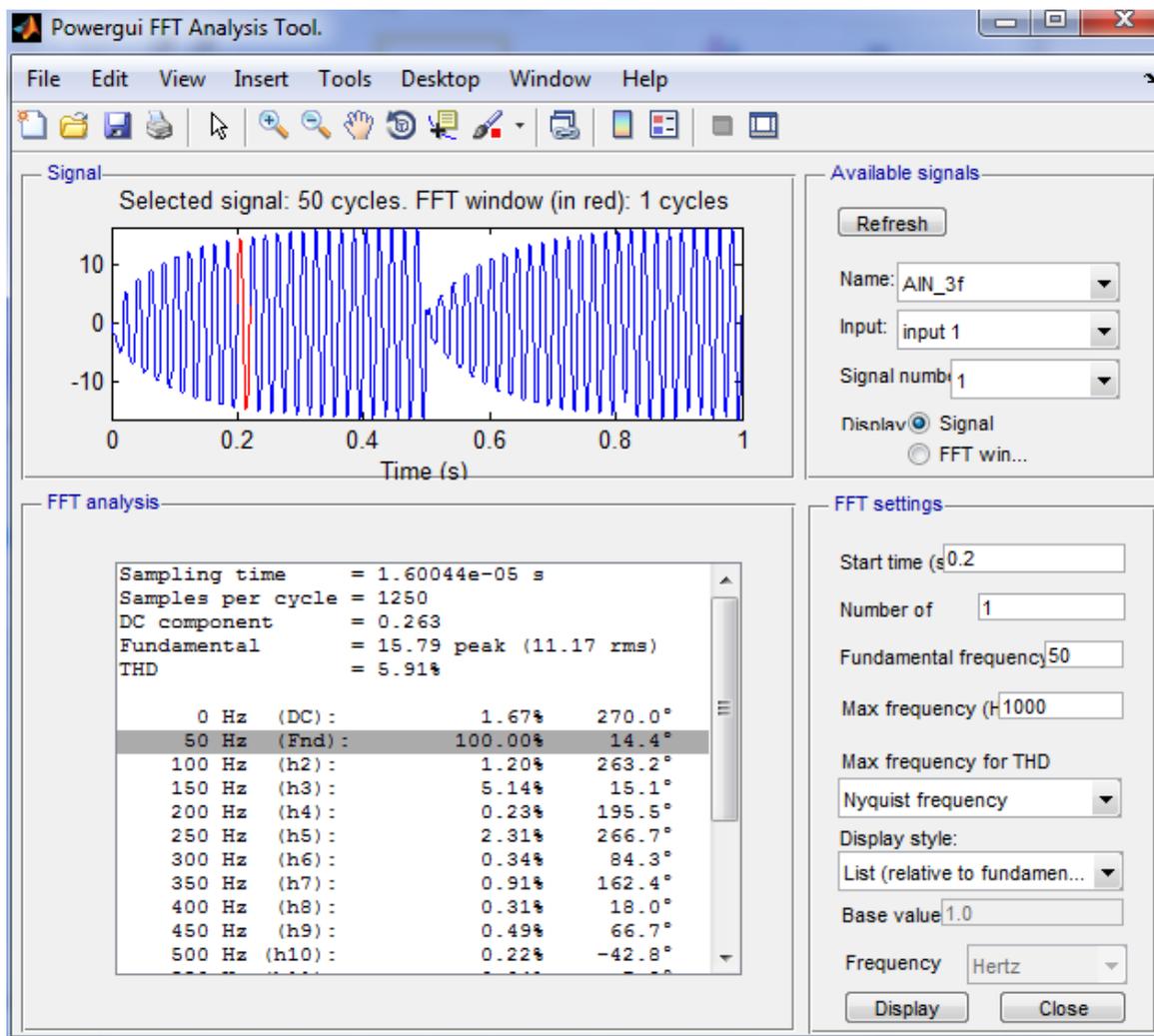


Рисунок 14 - Гармонический состав выходного тока при активно-ёмкостной нагрузке

По полученным в результате моделирования осциллограммам можно сделать вывод, что при набросе нагрузки в момент времени 0,5 с происходит небольшое падение напряжения. Выходной ток инвертора имеет пульсирующий характер, так как выпрямитель сильно искажает напряжение питающей сети, а напряжение – искаженную синусоидальную форму. Это обусловлено тем, что цикл его работы состоит из двух этапов. На первом этапе открыты диоды выпрямителя и производится заряд его выходного конденсатора через силовой фильтр инвертора. На втором этапе диоды выпрямителя закрыты, и инвертор на этом интервале находится в режиме холостого хода. В течение цикла своей работы, инвертор должен обеспечивать импульсное потребление тока нагрузкой для форсированного заряда

выходного конденсатора выпрямителя при заданном качестве выходного напряжения. При этом через фильтр инвертора также протекает импульсный, существенно несинусоидальный ток. При набросе нагрузки ток на АБ имеет переходный процесс, а напряжение падает.

Из рисунка 13 также видно присутствие высоких нечетных гармоник.

Как известно, большая часть компьютерного и офисного оборудования представляет собой нелинейную электрическую нагрузку, что 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, повреждению аппаратуры и другие нежелательные эффекты.

Эффекты, вызываемые высшими гармониками напряжения и тока:

Проблемы мгновенного возникновения включают:

- 1)искажение формы питающего напряжения;
- 2)падение напряжения в распределительной сети;
- 3)резонансные явления на частотах высших гармоник;
- 4)наводки в телекоммуникационных и управляющих сетях;
- 5)повышенный акустический шум в электромагнитном оборудовании;
- 6)вибрация в электромашинных системах.

Проблемы длительного возникновения включают:

- 1)нагрев и дополнительные потери в трансформаторах и электрических машинах;
- 2)нагрев конденсаторов;
- 3)нагрев кабелей распределительной сети.

Высшие гармонические составляющие негативно влияют на работу батарей конденсаторов. Конденсаторы, работающие при несинусоидальном напряжении, в ряде случаев быстро выходят из строя в результате вспучиваний и взрывов. Причиной разрушения конденсаторов является

перегрузка токами высших гармоник, которая проявляется, как правило, при возникновении в сети резонансного режима на частоте одной из гармоник.

При несинусоидальном режиме сети происходит ускорение старения изоляции силовых кабелей. При этом возрастают токи утечки: через 2,5 года эксплуатации токи утечки оказались больше в среднем на 36%, через 3,5 года – на 43% (при уровне высших гармоник в кривой напряжения в пределах 6 – 8,5%) по сравнению с режимами эксплуатации при синусоидальном напряжении.

Высшие гармоники тока и напряжения влияют на погрешности электроизмерительных приборов.

Присутствие высших гармоник затрудняется и в ряде случаев делает невозможным использование силовых цепей в качестве каналов для передачи информации. Высшие гармоники ухудшают работу телемеханических устройств и даже вызывают сбой в их работе.

Несинусоидальность формы кривой напряжения отрицательно сказывается на работе вентильных преобразователей, ухудшая качество выпрямления тока.

При прохождении токов высших гармоник по элементам системы электроснабжения возникают дополнительные потери активной мощности.

*Контроль гармоник в ИБП и фильтрация гармоник [18].*

ИБП генерируют гармоники тока в энергосистему. Происходит это потому, что они пропускают входящий ток через выпрямитель. Эти гармонические токи искажают синусоиду тока и напряжения, увеличивают среднеквадратичное значение тока и уменьшают коэффициент мощности.

Следовательно, гармоники тока следует контролировать, для того, чтобы избежать вышеперечисленных негативных последствий.

Потребителям также следует следить за состоянием гармоник в ИБП, чтобы получать на оборудование чистую электроэнергию.

Для этого существует два решения:

1) низкочастотное, основанное на использовании пассивных фильтров;

2) высокоэффективное решение, основанное на использовании активных фильтров.

ИБП с двойным преобразованием в основном используется для средних и высоковольтных систем. ИБП отводится роль интерфейса между системой и чувствительными нагрузками и поэтому ИБП может рассматриваться как:

1) нелинейная нагрузка т.е. как источник возникновения и передачи гармоник для самой подающей системы, поскольку он соединен с системой через мост зарядного выпрямителя;

2) источник некачественной электроэнергии для питания нагрузок по фидеру.

Использование пассивного фильтра направлено на устранение конкретной гармоники, с использованием параллельного сопротивления, которое равно нулю. Ток гармоники проходит через параллельную цепь и больше не влияет на другие нагрузки.

Преимущества пассивных фильтров:

- 1) простое решение и надежность;
- 2) получение удовлетворительных характеристик;
- 3) увеличение коэффициента мощности на входе.

Недостатки пассивных фильтров:

- 1) ограниченный спектр фильтрации;
- 2) плохо подходит для частичных нагрузок. Эффективность падает вдвое, когда ИБП работает на 50% (гармоники увеличиваются с 5% до 10%);
- 3) плохо пригоден для параллельного подсоединения к ИБП, т.к. для каждого выпрямителя требуется фильтр.

Активные фильтры реагируют на гармоники в реальном режиме времени, обнаруживая и устраняя их мгновенно. Они состоят из:

1) трансформаторов тока, которые измеряют гармоники тока на входе в выпрямитель;

2) электронной схемы фильтра, которая следит за состоянием гармонического спектра до 25 гармоники.

Достоинства фильтра:

1) наиболее эффективный фильтр, может устранять все гармоники;

2) постоянные характеристики при всех уровнях нагрузки;

3) может устанавливаться на все виды ИБП, даже на старые;

4) адаптируется ко всем нагрузкам;

5) значительно увеличивается коэффициент мощности;

6) высокоэффективен при параллельном подключении к ИБП;

7) простота выбора фильтра по нагрузке.

Недостаток: Стоимость выше, чем у пассивных фильтров.

## **Заключение**

В результате проделанной работы на тему «Источник бесперебойного питания для защиты критичных инфраструктур и систем безопасности» был произведен анализ технического задания, обзор существующих топологий ИБП, а также несколько возможных вариантов реализации схем ИБП с двойным преобразованием. После обоснования выбранной схемы для проектирования был произведен расчет и выбор элементов силовой части ИБП. Далее была составлена электрическая принципиальная схема ИБП и разработана система управления ИБП на основе микроконтроллера. Также была исследована имитационная модель ИБП с рассчитанными параметрами элементов, введенными в соответствующие блоки модели. Моделировался аварийный режим работы (от батареи) для двух типов нагрузки: активно-индуктивной и активно-емкостной.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что активно-емкостная нагрузка наносит негативное влияние на качество электроэнергии. При таком характере нагрузки величина токов имеет пульсирующие значения, так как выпрямитель сильно искажает напряжение питающей сети. При моделировании на активно-индуктивную нагрузку происходит сглаживание колебаний тока и напряжения. Значения напряжений незначительно уменьшаются, а токов увеличиваются.

Также был произведен гармонический анализ выходного тока при различных нагрузках.

Разработанная система бесперебойного электропитания полностью соответствует требованиям, представленным в задании выпускной квалификационной работе.

## Список литературы

1. Гарганеев А.Г. Системы аварийного электроснабжения ответственных потребителей переменного тока: учебное пособие / А.Г. Гарганеев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2010. – 190 с.
2. Требования и рекомендации к системам безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dcnt.ru>
3. Топологии ИБП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://тэнси.рф>
4. Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно- вычислительных машин СН 512-78 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sysadmins.ru>
5. Источники бесперебойного питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.powerinfo.ru>
6. Источники бесперебойного питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://staby.ru>
7. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sonnenschein-batterie.ru>
8. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.1000va.ru>
9. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pwrx.com>
10. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.platan.ru>
11. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chipdip.ru>
12. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kontest.ru>
13. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.gaw.ru>

14. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elecond.ru>
15. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gaw.ru>
16. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.compel.ru>
17. Электронный каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.avangard.io>
18. Контроль гармоник в ИБП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.powertessa.com>
19. Анализ структурных изменений в сегменте массовых ИБП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itbestsellers.ru/reviews/detail.php?ID=32063>
20. SWOT анализ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://allrefs.net/c46/34rcq/>
21. Карпунина М.Г., Б.И. Майданчик Основы функционально – стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. – М.: Энергия, 1980. – 175с.
22. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Креницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
23. Расчет категории для серверных помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studopedia.org/14-106805.html>
24. Инструкция по обращению с отходами 2 класса опасности «Аккумуляторы свинцовые отработанные неповрежденные, с не слитым электролитом» – ООО «Синтез Лтд», 2009.