

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

Институт - Энергетический
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра - Электропривода и электрооборудования
Профиль подготовки – Электроприводы и системы управления электроприводов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование источника электропитания на базе трехфазного инвертора

Индекс УДК: 621.311.6-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Илюхин Илья Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭПЭО	Михальченко Сергей Геннадьевич	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПЭО	Дементьев Юрий Николаевич	к.т.н.		

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

Код ре- зультата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и <i>решать 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.
P7	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, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; 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

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Илюхину Илье Владимировичу

Тема работы:

Исследование источника электропитания на базе трехфазного инвертора	
Утверждена приказом директора Энергетического института (дата, номер)	№3339/с от 17.05.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)	01.06.2017
---	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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></p>	<p>Автономный инвертор напряжения; Выполнить математическое моделирование АИН; Выполнить расчет параметров схемы АИН для параметров: $P_u = 18кВт$ - мощность АИН; $U_G = 380 / 220В$ - напряжение генератора; $U_{АКБ} = 48В$ - напряжение аккумуляторной батареи; $I_n = 40А$ - ток нагрузки; $k_{\Pi} = 5\%$ - коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке; $f = 10 кГц$ - частота переключения транзисторов. Исследование провести с реализацией замкнутой системы управления с обратной связью по напряжению; Использовать для управления силовыми ключами широтно-импульсную модуляцию.</p>
---	--

<p>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; содержательная, концептуальная, математическая структурная модель; разработка алгоритма решения задачи; выбор программного обеспечения; индивидуальные, дополнительные разделы, подлежащие разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Теоретические сведения о трехфазных автономных инверторах напряжения; Математическая модель АИН; Расчет и выбор элементов АИН; Моделирование системы электропитания в среде Matlab/Simulink.</p>
--	--

<p>Перечень графического материала</p>	
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Кузьмина Н.Г., старший преподаватель
«Социальная ответственность»	Дашковский А.Г., к.т.н., доцент
«Английский язык»	Пташкин А.С., к.ф.н., доцент

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭПЭО	Михальченко С.Г.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Илюхин И.В.		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 124 страницы текста, 61 рисунок, 12 таблиц, 40 использованных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: трехфазный автономный инвертор напряжения, математическое моделирование, имитационное моделирование, система управления преобразователя, широтно-импульсная модуляция.

В первой главе приведены теоретические сведения о трехфазном автономном инверторе напряжения, произведен обзор патентной базы.

Во второй главе описана математическая модель источника электропитания, рассчитаны параметры, проведено имитационное моделирование.

В третьей главе приведены результаты моделирования.

Пояснительная записка магистерской диссертации выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2013 с использованием пакетов MathCad 15, Microsoft Visio, Matlab\Simulink.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	11
1.1 Патентная база	11
1.1.1 Устройство бесперебойного электропитания многоканальное стабилизирующее	11
1.1.2 Зарядно-разрядный преобразователь ЗРП-150/50	12
1.1.3 Двухкаскадный преобразователь напряжения с интеллектуальной защитой от режимов перегрузки и токов коротких замыканий	13
1.2 Описание режимов работы.....	14
1.3 Теоретические сведения о трехфазных АИН.....	15
1.3.1 Реализация силового ключа	21
1.3.2 Регулирование выходного напряжения АИН.....	23
2 МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА БАЗЕ ТРЕХФАЗНОГО АИН.....	27
2.1 Расчет параметров схемы.....	27
2.1.1 Этапы расчета.....	27
2.1.2 Определение входных и выходных параметров.....	27
2.1.3 Выбор мощности инвертора.....	28
2.1.4 Расчет силового инвертора.....	29
2.1.5 Расчет выходного фильтра.....	33
2.1.6 Расчет силового трансформатора.....	34
2.1.7 Выбор аккумуляторной батареи.....	37
2.1.8 Расчет емкости аккумуляторных батарей	39
2.2 Имитационное моделирование автономной системы электропитания на базе трехфазного инвертора	41
2.2.1 Описание модели.....	41
2.2.2 Моделирование газового генератора.....	42
2.2.3 Моделирование аккумуляторной батареи	47
2.2.4 Моделирование трехфазного инвертора	48
2.2.5 Моделирование блок управления инвертором.....	49
2.2.7 Преобразования для создания контуров напряжения и тока.....	56
3 РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	58
3.1 Режимы работы.....	58
3.1.1 Заряд АКБ.....	58
3.1.2 Разряд АКБ	60
3.1.3 Поддержание напряжения в режиме ведомого	62
3.1.4 Поддержание напряжения в режиме ведомого с разным потреблением тока на фазах.....	65
3.1.5 Поддержание напряжения в режиме ведущего.....	67
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	74
4.1 Планирование научно-исследовательских работ.....	74
4.2 Смета затрат на проектирование.....	77
4.2.1 Материальные затраты	77

4.2.2 Затраты на амортизацию	77
4.2.3 Затраты на заработную плату	78
4.2.4 Затраты на социальные нужды	79
4.2.5 Прочие затраты	79
4.2.6 Накладные затраты	79
4.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы	80
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	83
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	83
5.2 Воздух рабочей зоны	85
5.3 Освещение	86
5.4 Защита от шума и вибрации	89
5.5 Состояние воздушной среды	89
5.6 Оценка уровней электромагнитных полей	91
5.7 Статическое электричество	92
5.8 Безопасность в ЧС	93
5.9 Охрана окружающей среды	95
5.10 Требования безопасности при работе с персональным компьютером	96
5.11 Социальные гарантии для работника	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	100
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	101
Приложение А	105

ВВЕДЕНИЕ

Основу малой энергетики России составляют газо-дизель-генераторы и электростанции на их основе. Как источники электроэнергии автономных систем электроснабжения они обладают очевидными достоинствами и значительными недостатками, среди которых большой расход топлива и загрязнение окружающей среды. Однако в большинстве случаев данным системам нет полноценной замены.

Одним из наиболее перспективных вариантов повышения энергетической эффективности локальных систем электроснабжения является применение возобновляемых и альтернативных источников энергии. Наиболее перспективным вариантом построения автономных систем представляются ветровые, ветро-дизельные и ветро-фото-дизельные энергетические установки. [1]

Главным недостатком ВЭУ является отсутствие скорости ветра, необходимой для нормальной работы. В таких ситуациях мощность, отдаваемая потребителю, может значительно снижаться. Для компенсации подобных недостатков в систему добавляются дизель-генераторы, благодаря которым отдаваемая мощность поддерживается на уровне, необходимом потребителю.

Возможны ситуации, когда включение дизель-генератора происходит не сразу, т.е. образуется определенный интервал времени, на протяжении которого вся система практически не работоспособна. Чтобы избавиться от этой проблемы в подобные энергетические установки устанавливают блоки аккумуляторных батарей и преобразователи напряжения. В штатном режиме работы, при малой потребляемой мощности, блок аккумуляторных батарей заряжается, чтобы в будущем, при возникновении каких-либо аварийных ситуаций, отдать накопленный заряд и поддержать работу энергетической установки до момента включения дизель-генератора.

Различают три основных класса систем непрерывного электроснабжения (СНЭС) [2]:

1. Системы «on-line». Это система в которой инвертор работает постоянно.

В нормальном режиме – от выпрямленной сети переменного тока, а в аварийном – от аккумуляторной батареи.

2. Источники резервированного питания «off-line». Инвертор включается при отклонениях напряжения сети за допустимые пределы или полном его отсутствии.

3. Гибридные, в которых обычные системы «on-line» дополняются устройствами, ограничивающими импульсные перенапряжения и просадку сети переменного тока.

Целью данной работы является моделирование работы «on-line» системы, состоящей из газо-дизель-генератора (источник сети), аккумуляторной батареи и автономного инвертора напряжения (рисунок 3). Помимо этого, в состав системы может входить ветрогенератор и солнечные батареи.

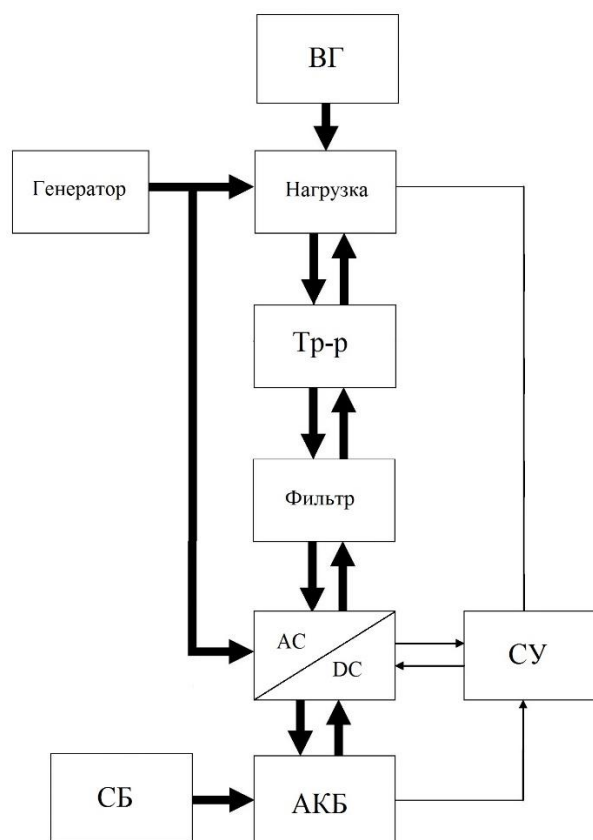


Рисунок 3 – Схема исследуемой энергетической установки

Где:

ВГ – ветрогенератор;

Тр-р – силовой трансформатор;

АС/DC – двунаправленный инвертор;

СУ – система управления;

СБ – солнечная батарея;

АКБ – аккумуляторная батарея.

Газо-генератор создает трехфазное напряжение сети 380В (50Гц). При наличии избыточной мощности на нагрузке, автономный инвертор напряжения (АИН) начинает заряжать АКБ до достижения уровня заряда 90% (после 90% происходит сброс избыточного тока на резистор). При невозможности газо-генератора обеспечить необходимую мощность на нагрузке, АИН начинает отдавать мощность на нагрузку в режиме ведомого, используя заряд АКБ. При выключенном генераторе АИН полностью обеспечивает мощность на нагрузке в режиме ведущего, после включения генератора АИН переходит в режим ведомого.

В предлагаемом преобразователе напряжения реализовано автоматическое реверсирование работы для обеспечения возможности передачи электроэнергии от сети переменного тока к сети постоянного тока и обратно. Это позволяет постоянно поддерживать аккумуляторную батарею в работоспособном состоянии, одновременно обеспечивая возврат энергии в сеть переменного тока. Помимо этого достигается высокая безотказность электропитания ответственных потребителей на объектах различного назначения.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Патентная база

1.1.1 Устройство бесперебойного электропитания многоканальное стабилизирующее

Известно устройство бесперебойного электропитания [3] (Патент РФ №2221320. Устройство бесперебойного электропитания многоканальное стабилизирующее, МПК 8 H02J 7/34, имя патентообладателя: Никитин И.Е., Бушуев В.М.), содержащее сетевой выпрямитель, выводами переменного тока подключенный к промышленной сети электроснабжения переменного тока, а выводами постоянного тока - к входным выводам зарядно-буферного преобразователя (ЗБП), выходные выводы постоянного тока которого подключены к резервной аккумуляторной батарее и входам преобразователей напряжения (ПН) постоянного тока в постоянный. ЗБП и ПН выполнены по схеме высокочастотного преобразования и состоят из инвертора, узла управления с ШИМ-регулятором и трансформаторно-выпрямительного узла (ТВУ), первичная обмотка трансформатора которого подключена к выводам переменного тока инвертора, а выходы постоянного тока ТВУ образуют выходные выводы устройства. Топология устройства представлена на рисунке 1.

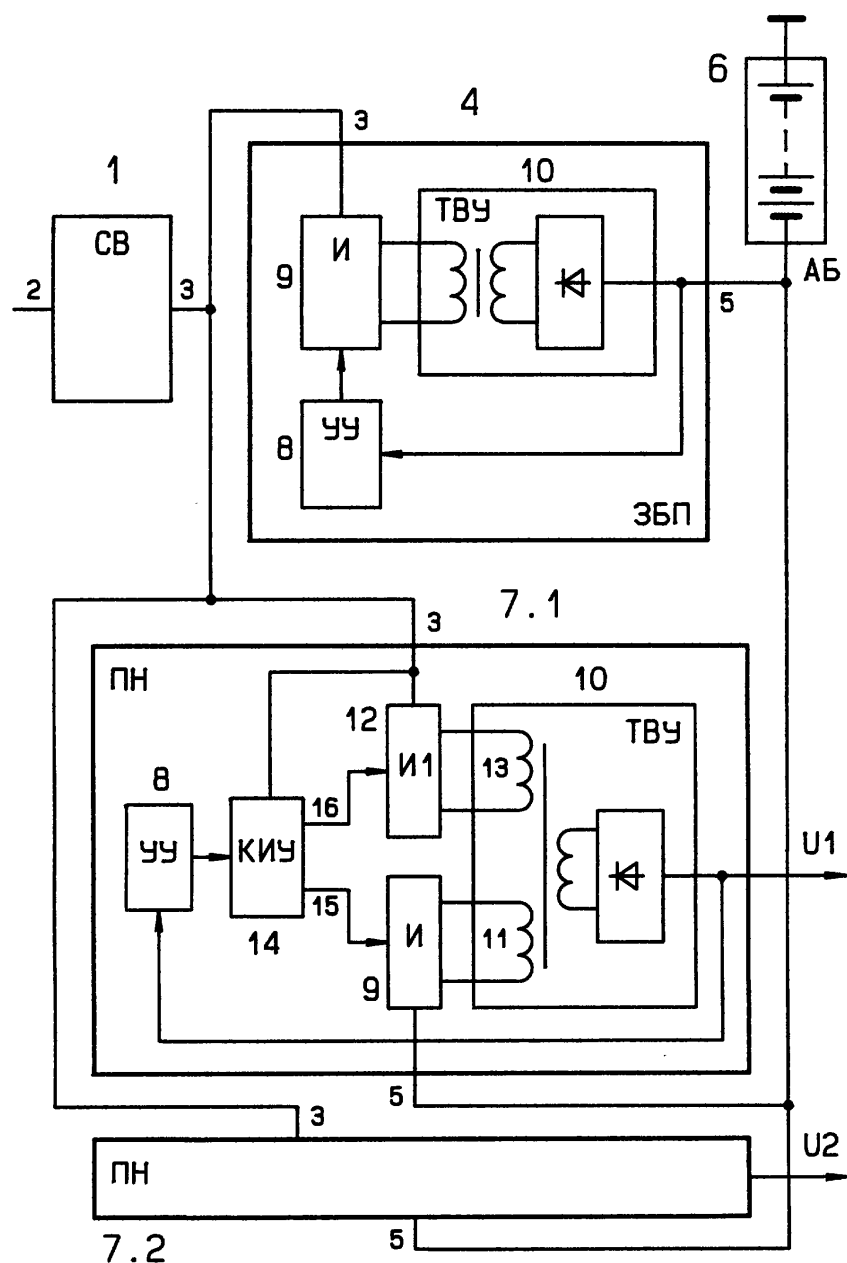


Рисунок 1 – Топология многоканального стабилизирующего устройства бесперебойного электропитания

Недостатком данного устройства бесперебойного электропитания является то, что в нем не обеспечена возможность рекуперации энергии аккумуляторной батареи в питающую промышленную сеть переменного тока.

1.1.2 Зарядно-разрядный преобразователь ЗРП-150/50

Известен зарядно-разрядный преобразователь [4] (Зарядно-разрядный преобразователь ЗРП-150/50), поставляемый обществом с ограниченной ответственностью "Элмашпром" (г.Россия), представляющий собой трехфазный

тиристорный реверсивный преобразователь, предназначенный для заряда, тренировочного заряда, формирования в режиме автоматического оптимального заряд-разряда аккумуляторных батарей. В режиме разряда энергия, вырабатываемая аккумуляторными батареями, инвертируется в трехфазную питающую сеть 50 Гц, 380/220 В. Недостатком данного зарядно-разрядного преобразователя является то, что переключение режимов работы преобразователя (заряд, тренировочный заряд, формирование аккумуляторных батарей в режиме автоматического заряд-разряда) производится вручную, что не позволяет обеспечить бесперебойность электропитания (при аварийном отключении питающей сети).

1.1.3 Двухкаскадный преобразователь напряжения с интеллектуальной защитой от режимов перегрузки и токов коротких замыканий

Известен двухкаскадный преобразователь напряжения [5] (Патент РФ №2314621 на изобретение «Двухкаскадный преобразователь напряжения с интеллектуальной защитой от режимов перегрузки и токов коротких замыканий», МПК К 8 Н02J 9/06).

Двухкаскадный преобразователь напряжения состоит: из первого канала преобразования напряжения основной сети напряжения постоянного тока с аккумуляторной батареей и из второго канала преобразования напряжения резервной сети напряжения постоянного тока с аккумуляторной батареей. А также из многокомпонентной системы управления, собранной на базе двух микроконтроллеров с оперативным запоминающим устройством, часов реального времени, энергонезависимого запоминающего устройства, двух аналого-цифровых преобразователей, четырех датчиков напряжения, трех блоков драйверов силовых ключей, трех компараторов, трех схем блокировки, двух модулей дискретного ввода-вывода, панели индикации и управления, адаптера информационной шины, шины информационного обмена, внешней системы управления и двух блоков питания с гальванической развязкой от

основной и резервной сети напряжения постоянного тока.

Главным недостатком данного устройства двухкаскадного преобразователя напряжения является то, что он не является реверсивным, так как в нем не обеспечена возможность передачи электроэнергии в питающую сеть постоянного тока и соответственно возможность заряда аккумуляторной батареи, подключенной к этой сети.

1.2 Описание режимов работы

Особенностью данной работы является наличие двунаправленного автономного инвертора напряжения. Данное устройство предназначено для преобразования постоянного тока в переменный с протеканием энергии в одном из двух указанных направлений в соответствии с внутренним управляющим сигналом: от звена постоянного тока (АКБ) к звену переменного тока (разряд\генерация) и от звена переменного тока к звену постоянного тока.

АИН на стороне переменного тока предназначен для работы в режиме ведомого инвертора и в режиме ведущего инвертора в зависимости от управляющего сигнала.

Двунаправленный АИН применяется для:

- питания автономной сети в режиме ведущего инвертора (в циклическом режиме заряд\разряд);
- питание автономной сети в режиме ведомого инвертора для стабилизации напряжения автономной сети (при просадке напряжения АИН подкачивает мощность в автономную сеть, при перенапряжении потребляет мощность из автономной сети);
 - стабилизация напряжение при работе в централизованной сети;
 - обеспечение бесперебойным питанием потребителей электрического тока (при наличии сети работает как стабилизатор, а при пропадании сети переходит в режим ведущего инвертора).

АИН работает в следующих режимах: поддержание напряжения на нагрузке в режиме ведомого, поддержание напряжения на нагрузке в режиме

ведущего, подзарядка в режиме ведомого (при наличии возможности).

При работе в режиме ведомого двунаправленный АИН работает как инвертор, ведомый сетью (или другим источником) в циклическом режиме: потребляя или подкачивая (рекуперирова) мощности на стороне переменного тока. Управление током потребления\заряда и рекуперации\разряда осуществляется по соответствующей функции обратной связи. Основной функцией обратной связи является поддержание напряжения переменного тока в заданном диапазоне: при просадке напряжение АИН подкачивает мощность (разряд АКБ), при превышении напряжения сети ДНПТ потребляет мощность (заряд АКБ).

При работе в режиме ведущего АИН работает как как ведущий источник сети (другие источники в сети отсутствуют или являются ведомыми) и генерирует стабилизированной напряжение.

Переход из ведущего режима в ведомый требуется в момент ввода другого ведущего источника в сеть. При этом АИН должен отключиться непосредственно перед подключением другого источника к сети (по сигналу) и вернуться в сеть в ведомом режиме.

Переход из ведомого режима в ведущий может происходить в двух случаях: непредвиденное отключение ведомого источника (пропадание сети), запланированное отключение ведомого источника в автономной сети.

Подзарядка может производиться только при наличии других ведомых источников и при низком потреблении тока на нагрузке.

1.3 Теоретические сведения о трехфазных АИН

Трехфазные транзисторные инверторы применяются на практике для создания трехфазных сетей переменного тока на автономных объектах и для управления электродвигателями переменного тока.

На первый взгляд, самый простой и очевидный вариант построения трехфазного инвертора заключается в использовании трех однофазных инверторов, управляемых со сдвигом в 120° . Для реализации такого инвертора необходимы 6 ключей. Получаемые фазные напряжения представляют

прямоугольные импульсы, смещенные друг относительно друга на треть периода. Но этот вариант не эффективен и не применяется. [7,8]

Из многообразия схемных решений трехфазных инверторов практическое применение находит лишь одна схема — мостовая, представленная на рисунке 4. Здесь нагрузка соединена в звезду и подключена прямо к выходным зажимам А, В и С инвертора без трансформатора. Нагрузка может соединяться и в треугольник, а для согласования уровней напряжений инвертора и нагрузки могут использоваться три однофазных либо один трехфазный трансформатор, как и в обычных трехфазных системах переменного напряжения. [9]

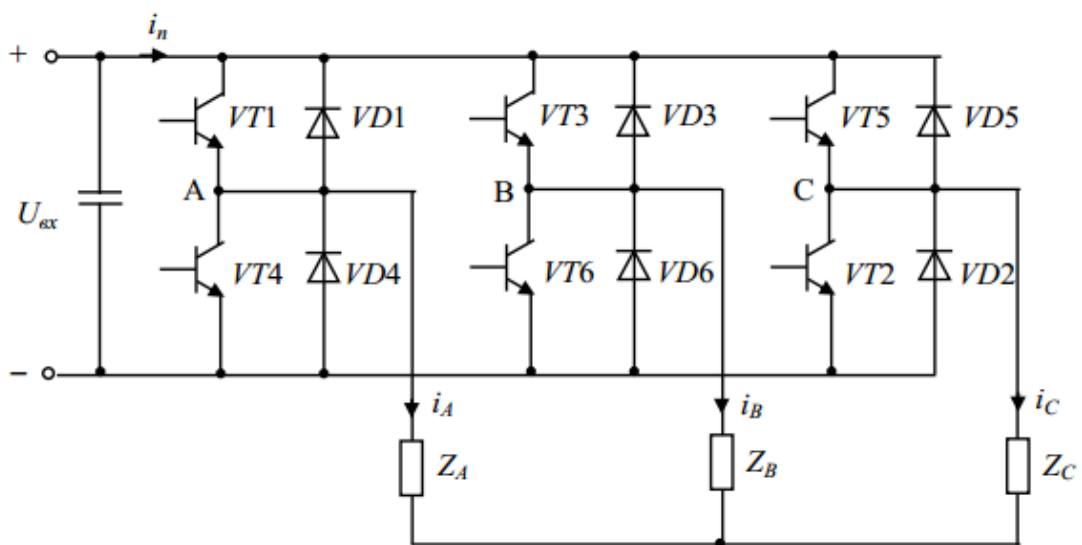


Рисунок 4 – Трехфазный мостовой инвертор напряжения

Электромагнитные процессы и характеристики инвертора определяются следующими факторами:

- 1) схемой соединения нагрузки — в звезду или в треугольник;
- 2) способом управления транзисторами — 180-градусное или 120-градусное управление;
- 3) характером нагрузки, который определяется коэффициентом:

$$K = \frac{R_n}{\omega} \cdot L_n \quad (1.3.1)$$

При 180-градусном управлении каждый из транзисторов находится в открытом состоянии 180° , пары транзисторов, образующих вертикальные стойки, как и в однофазных двухтактных схемах, работают в противофазе, управление

вертикальными стойками транзисторов осуществляется со сдвигом на 120° . Алгоритм управления транзисторами и диаграммы напряжений в схеме показаны на рисунке 5.

Транзисторы на схеме пронумерованы в соответствии с очередностью их включения. Управляющие импульсы на каждый очередной транзистор подаются через 60° . В результате на интервале одного периода выходного напряжения образуется шесть интервалов I-VI неизменного состояния схемы.

Например, на интервале I открыты транзисторы $VT1$, $VT5$ и $VT6$. Если принять потенциал отрицательного зажима источника питания за нулевой, то потенциалы точек А, В и С для рассматриваемого интервала будут равны:

$$\varphi_A = U_{\text{ex}}; \varphi_B = 0; \varphi_C = U_{\text{ex}}. \quad (1.3.2)$$

Линейные напряжения на интервале I:

$$\begin{aligned} u_{AB} &= \varphi_A - \varphi_B = U_{\text{ex}}; \\ u_{BC} &= \varphi_B - \varphi_C = -U_{\text{ex}}; \\ u_{CA} &= \varphi_C - \varphi_A = 0. \end{aligned} \quad (1.3.3)$$

Линейные напряжения на остальных участках формируются аналогично. В итоге на выходе инвертора появляются три линейных напряжения (u_{AB} , u_{BC} , u_{CA}) с амплитудой, равной напряжению U_{ex} , и с паузой на нулевом уровне 60° . Эти напряжения взаимно сдвинуты на 120° . Наличие указанной паузы автоматически обеспечивает достаточно хорошее качество переменного напряжения, так как отсутствуют третья и кратные ей гармоники. [10]

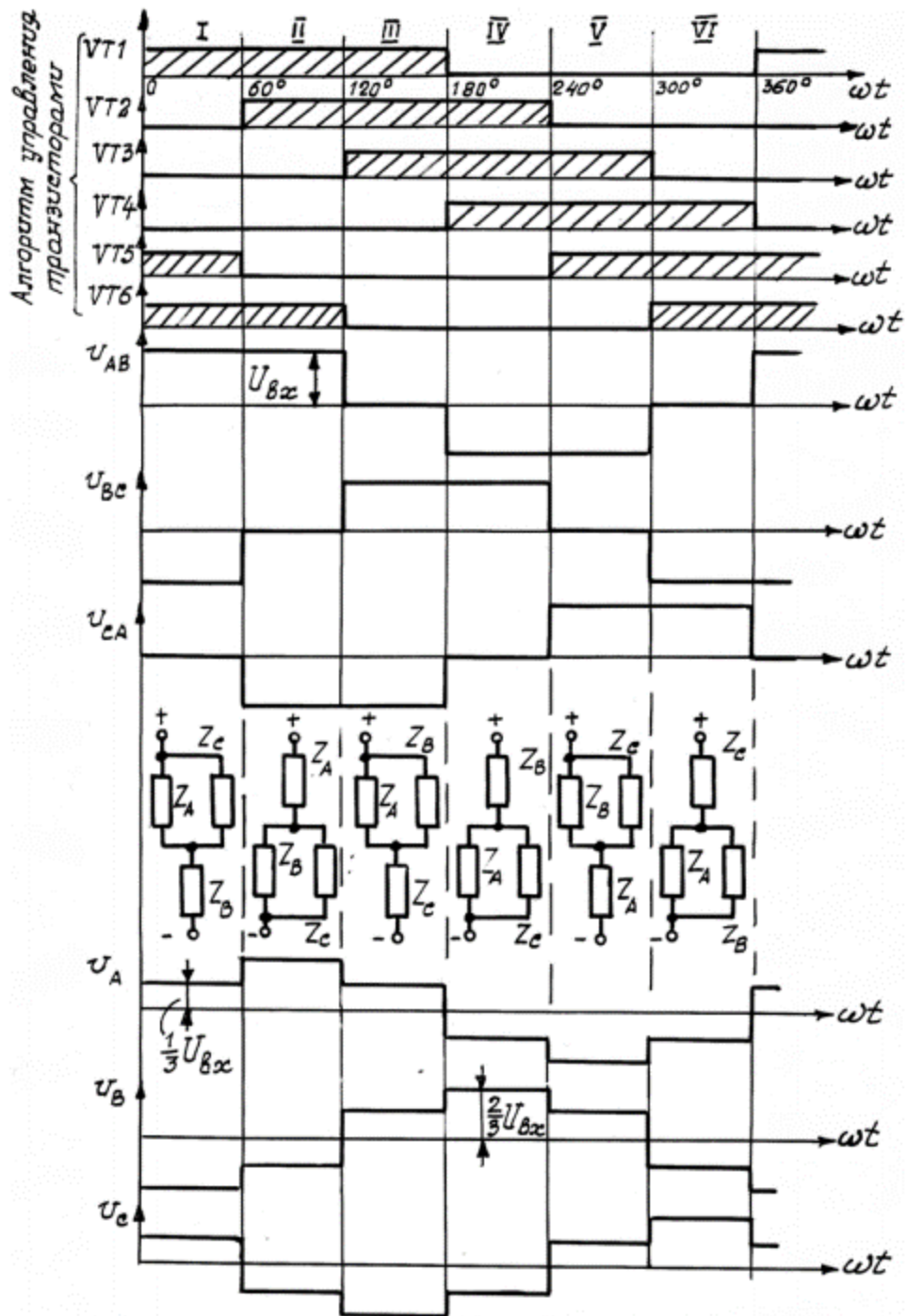


Рисунок 5 – Напряжение в трехфазном мостовом инверторе при 180-градусном управлении

Эффективное значение линейного напряжения:

$$U_{л.эф} = \sqrt{\gamma} \cdot U_{\delta x} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot U_{\delta x} = 0,816 \cdot U_{\delta x}. \quad (1.3.4)$$

Фазные напряжения наглядно и легко определяются для симметричной активной нагрузки, т.е. при $Z_A = Z_B = Z_C = R_H$. Схемы подключения нагрузок для каждого из шести интервалов показаны на рисунке 5. На любом интервале фазные

нагрузки подключаются к источнику питания так, что две из них включаются параллельно между собой и последовательно с третьей. В связи с этим очевидно, что в условиях равенства сопротивлений нагрузки в фазах напряжения фаз, нагрузки которых включены параллельно, равны $\pm U_{ex}/3$, а напряжение фазы, нагрузка которой включена последовательно, равно $\pm 2U_{ex}/3$. В результате фазные напряжения u_A, u_B, u_C имеют двухступенчатую форму с амплитудой первой ступени $U_{ex}/3$ и второй ступени $2U_{ex}/3$. Фазные напряжения также имеют взаимный фазовый сдвиг в 120° .

Эффективное значение фазного напряжения:

$$U_{\phi_{эф}} = \sqrt{2} \cdot \frac{U_{ex}}{3} = 0,471 \cdot U_{ex}. \quad (1.3.5)$$

При активной нагрузке кривые токов i_A, i_B, i_C повторяют форму фазных напряжений.

При 120° -градусном управлении каждый из транзисторов находится в открытом состоянии 120° в соответствии с алгоритмом управления, показанным на рисунке 6. Если при 180° -градусном управлении в любой момент одновременно открыты три ключа, то при 120° -градусном — два.

Из схем подключения нагрузок для каждого интервала неизменного состояния транзисторов видно, что все время к источнику подключены последовательно по две фазные нагрузки, а третья находится в отключенном состоянии. Если принять сопротивления фаз нагрузки одинаковыми и чисто активными, то выходные фазные напряжения будут на соответствующих интервалах равны либо $U_{ex}/2$, либо нулю, как показано на рисунке 6.

Эффективное значение фазного напряжения:

$$U_{\phi_{эф}} = \frac{U_{ex}}{\sqrt{6}} = 0,408 \cdot U_{ex}. \quad (1.3.6)$$

Для линейного напряжения, например u_{AB} , можно записать:

$$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B. \quad (1.3.7)$$

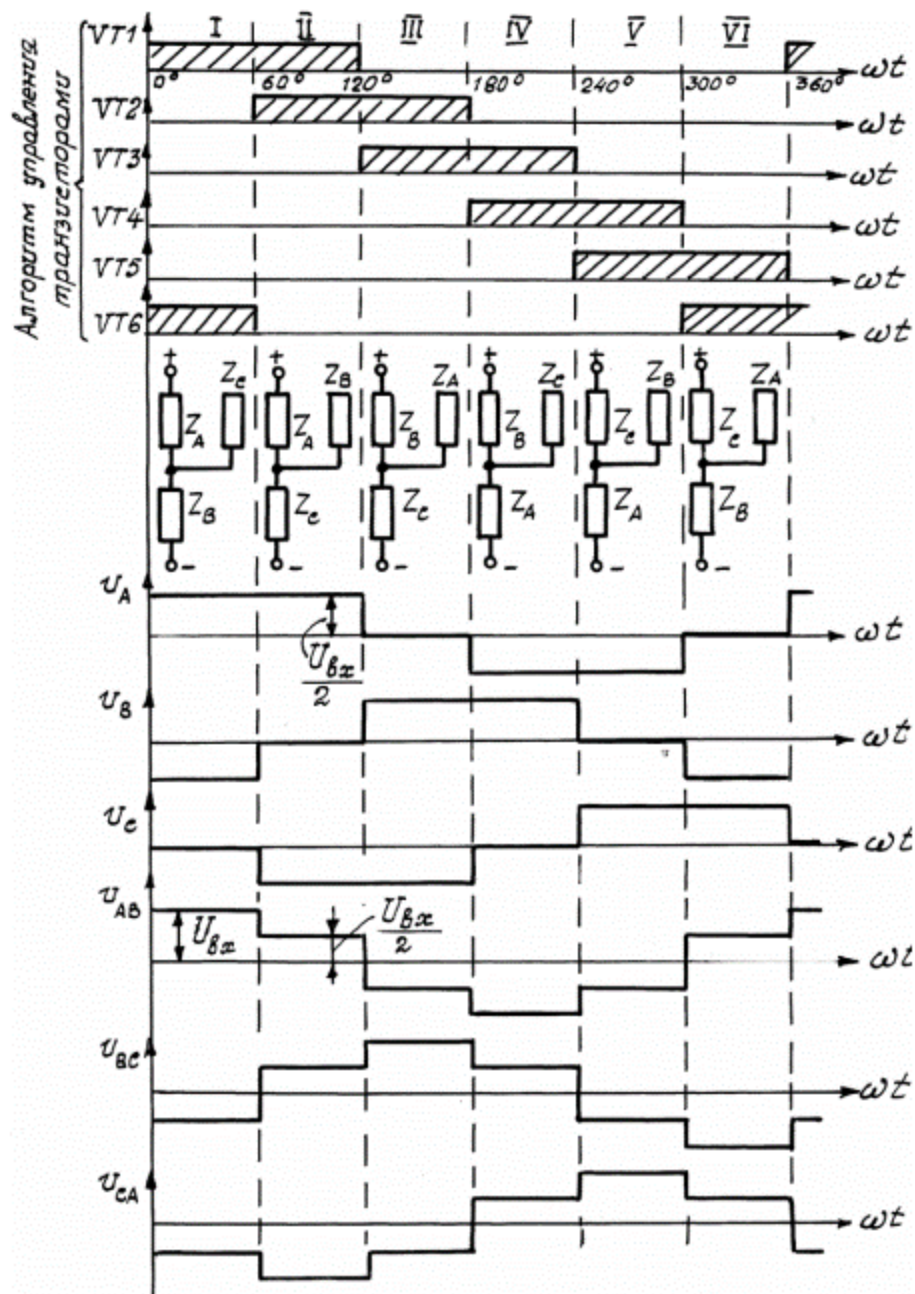


Рисунок 6 – Напряжение в трехфазном мостовом инверторе при 120-градусном управлении

Тогда, приняв потенциал общей точки соединения нагрузок фаз за нулевой, для интервала I получим:

$$u_{AB} = \frac{U_{ex}}{2} - \left(-\frac{U_{ex}}{2} \right) = U_{ex}. \quad (1.3.8)$$

Аналогично для интервала II:

$$u_{AB} = \frac{U_{ex}}{2} - 0 = \frac{U_{ex}}{2}. \quad (1.3.9)$$

Для интервала III:

$$u_{AB} = 0 - \frac{U_{ex}}{2} = -\frac{U_{ex}}{2}. \quad (1.3.10)$$

Линейное напряжение, таким образом, имеет ступенчатую форму с амплитудой первой ступени U_{ex} и второй $U_{ex}/2$.

Эффективное значение линейного напряжения:

$$U_{L_{эф}} = \frac{U_{ex}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_{ex}. \quad (1.3.11)$$

При активно-индуктивной нагрузке процессы усложняются, а форма напряжений начинает изменяться. Это является недостатком инвертора при 120-градусном управлении.

Вычисляя отношения линейных и фазных напряжений при любом из рассмотренных законов управления транзисторами, можно убедиться, что в трехфазном инверторе напряжения $U_{L_{эф}} / U_{Ф_{эф}} = \sqrt{3}$, как и в обычных трехфазных системах синусоидальных ЭДС. [11]

Тактность схемы характеризуется взаимосвязью работы транзисторных ключей. В двухтактных схемах всегда можно выделить пары противотактно работающих ключей (один замыкается, другой размыкается). В однотактных ключи работают синхронно.

Наиболее важные характеристики АИН [12,13]:

- коэффициент преобразования по напряжению K_U (отношение максимально возможного действующего значения основной гармоники выходного напряжения АИН к среднему напряжению в цепи постоянного тока);
- качество выходного напряжения, определяемое коэффициентом гармоник (K_G) для низкочастотной, а также коэффициентом компенсационных гармоник ($K_{Г.К.}$) для высокочастотной части частотного спектра.

1.3.1 Реализация силового ключа

При реализации схемы автономного инвертора напряжения ключи К должны иметь свойства двусторонней проводимости [14].

В прямом направлении ключи должны быть управляемыми, т.е. момент

включения ключа должен определяться системой управления. Такой ключ может быть реализован на биполярном или полевом транзисторе, на однооперационном или двухоперационном тиристоре, на IGBT-транзисторе или на любом другом приборе, работающем в ключевом режиме и имеющем свойства управления.

Для придания ключу свойства двусторонней проводимости управляемый вентиль шунтируют неуправляемым диодом, включенным во встречном направлении. Примеры таких ключей приведены на рисунке 7.

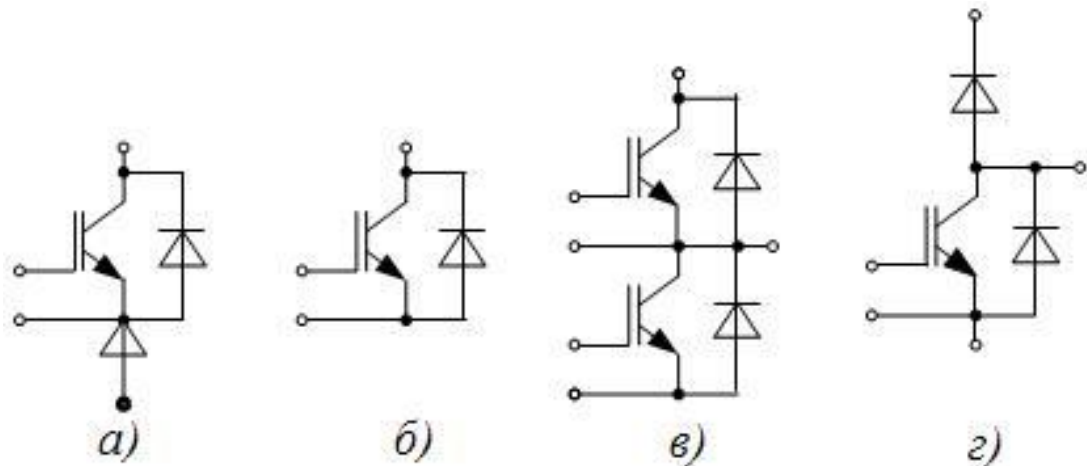


Рисунок 7 – Примеры ключей, шунтированных неуправляемыми диодами

Напряжение на ключе (идеальном) равно нулю, если вентиль (или обратный диод), подключенный к этому вентилю, проводит ток. Когда транзистор (или его обратный диод) не проводит ток, то к нему через проводящий транзистор (или обратный диод) этого же плеча прикладывается положительное напряжение источника питания E_d . Если учитывать, что на транзисторе и обратном диоде на этапе проводимости падает небольшое напряжение, то на транзисторе на этапе проводимости будет некоторое положительное напряжение, отличное от нуля, а к подключенному к нему обратному диоду на этапе проводимости будет отрицательное напряжение, равное падению напряжения на диоде.

То же самое будет происходить на этапе запертого состояния ключа. К напряжению E_d будет прибавляться напряжение открытого другого диода этого же плеча или вычитаться напряжение открытого другого транзистора этого плеча.

От источника питания отбирается ток на этапе проводимости транзисторов

и ток в источнике меняет свое направление на этапе проводимости обратных диодов. Энергия, накопленная в реактивном элементе нагрузки, возвращается в источник питания. Иными словами, происходит энергообмен (рекуперация электрической энергии) между источником и индуктивностью нагрузки. Этот энергообмен и обеспечивают обратные диоды.

На входе инвертора должен стоять элемент, способный принять электрическую энергию. При отсутствии конденсатора диоды выпрямителя не пропустят ток в обратном направлении на этапе рекуперации электрической энергии. [15].

1.3.2 Регулирование выходного напряжения АИН

Регулировать значение выходного напряжения АИН можно несколькими способами [11,14]:

- а) широтно-импульсное регулирование (ШИР);
- б) метод геометрического суммирования;
- в) широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

Наибольшее применение на практике получили три способа широтно-импульсного регулирования напряжения инверторов:

1. Регулирование по прямоугольному закону, когда среднее значение выходного напряжения и ширина импульса изменяются по прямоугольному признаку;
2. Регулирование по трапецеидальному закону - в этом случае среднее значение выходного напряжения имеет вид трапеции;
3. Регулирование по синусоидальному закону, когда ширина импульсов выходного напряжения регулируется по синусоидальному закону.

Регулирование кривой выходного напряжения внутренними средствами осуществляют, управляя силовыми ключами таким образом, чтобы изменялась ширина импульсов, формирующих напряжение на нагрузке. Отсюда и название: широтно-импульсное регулирование.

Если передний фронт составляющих импульсов сдвигать на угол α в

сторону отставания, как показано на рисунке 8 (или задний фронт в сторону опережения, или оба одновременно), то будет уменьшаться длительность составляющих импульсов λ , а значит, будет изменяться действующее значение напряжения на нагрузке:

$$U_n = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} E_d^2} = E_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} = E_d \sqrt{\frac{\lambda}{\pi}}. \quad (1.3.2.1)$$

Из полученного выражения и из временной диаграммы следует, что максимальное напряжение соответствует нулевому значению угла α . Очевидно, что выходное напряжение равно нулю при $\alpha = \pi$. Регулировочная характеристика, построенная по полученной зависимости, имеет вид, показанный на рисунке 9. Этот способ регулирования выходного напряжения предпочтителен, так как регулирование напряжения на выходе силового блока осуществляют с помощью системы управления, исключая механические переключения в схеме силового блока. Кроме того, существенно повышается динамика (скорость) регулирования выходного напряжения инверторов.

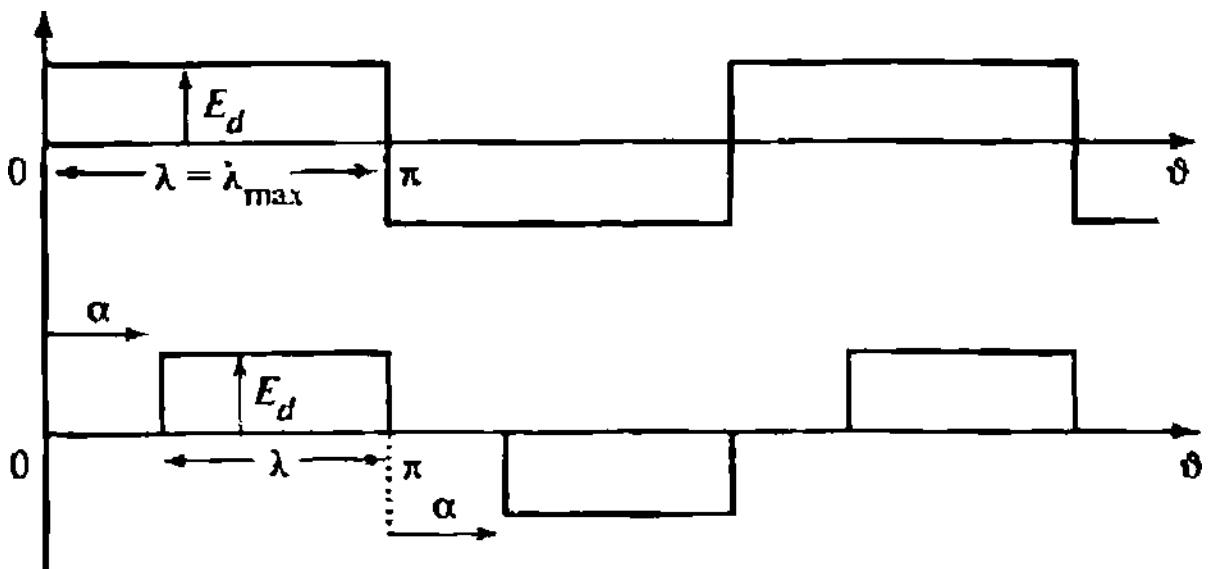


Рисунок 8 – Импульсы ШИМ

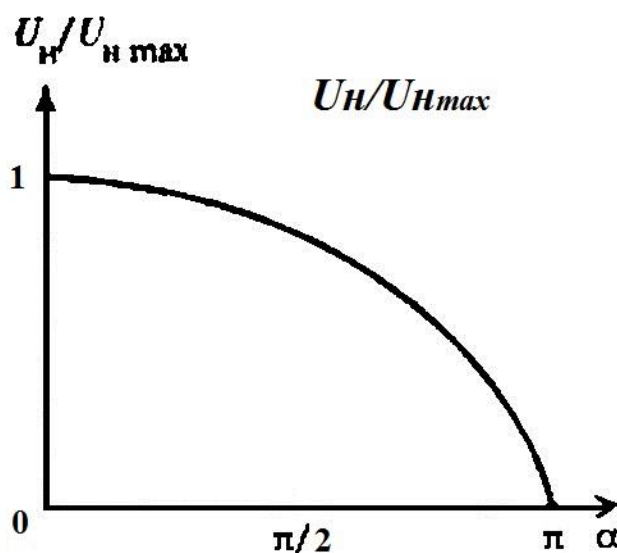


Рисунок 9 – Регулировочная характеристика

Различают два типа широтно-импульсной модуляции:

1. однополярная ШИМ;
2. двухполярная ШИМ.

При однополярной ШИМ выходное напряжение формируется из последовательности однополярных импульсов (рисунок 10, а). Для образования паузы при активно-индуктивной нагрузке схема управления должна обеспечить протекание тока нагрузки через два вентиля, подключающих нагрузку накоротко к одной из шин источника питания (например, открытое состояние VT1 и VD3).

При двухполярной ШИМ паузы однополярной ШИМ заполняются импульсами противоположной полярности (рисунок 10, б).

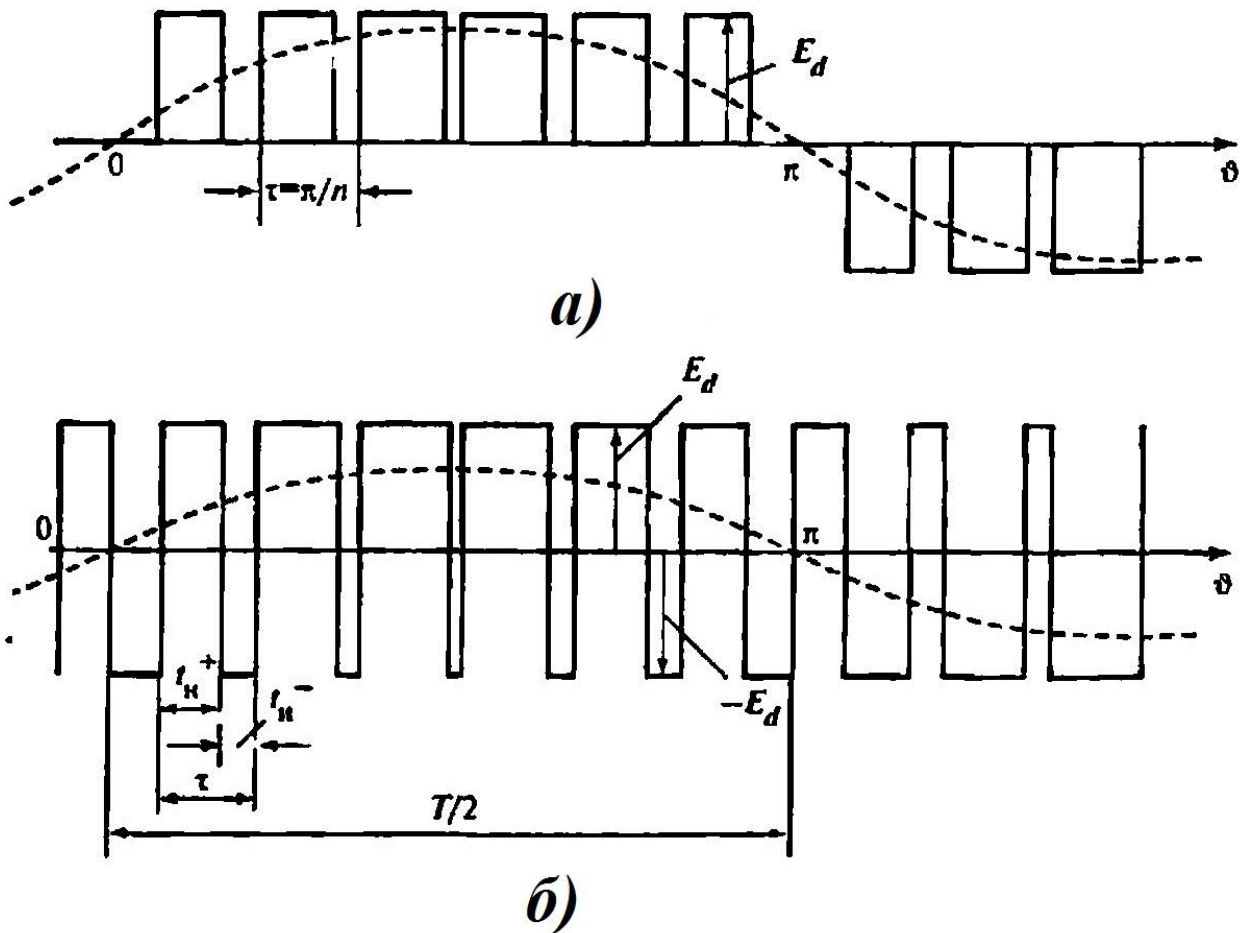


Рисунок 10 – а) однополярная; б) двухполярная ШИМ

При увеличении частоты высокочастотной составляющей (несущей частоты) по сравнению с низкочастотной (частоты основной гармоники), огибающая выходного напряжения приближается к синусоиде, соответственно становится легче отфильтровать высокочастотную составляющую выходного напряжения. [15]

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА БАЗЕ ТРЕХФАЗНОГО АИН

2.1 Расчет параметров схемы

2.1.1 Этапы расчета

Расчет транзисторных преобразователей напряжения в общем случае включает в себя ряд стандартных этапов, характерных для большинства схем.

1. Расчет силового инвертора.
2. Расчет выходного фильтра преобразователя.
3. Расчет силового трансформатора преобразователя.
4. Выбор полупроводниковых приборов преобразователя.
5. Расчет или выбор электромагнитных элементов схемы.
6. Выбор емкостных элементов схемы.
7. Расчет возможных потерь в силовой части преобразователя.
8. Расчет аккумуляторной батареи

Очевидно, что некоторые из предложенных этапов расчета могут оказывать взаимное влияние друг на друга и принятие того или иного решения по конкретному этапу должно производиться на основе комплексного анализа ситуации. [22]

2.1.2 Определение входных и выходных параметров

Рассчитаем преобразователь с двухполярной реверсивной модуляцией, имеющий следующие параметры:

1. Входное постоянное напряжение АКБ $U_{вх}=46-50$ В;
2. Эффективное значение выходного переменного напряжения $U_{вых}=380$ В;
3. Нагрузка активно-индуктивная;
4. Номинальная мощность нагрузки $P_{н}=12000-14000$ Вт;
5. Номинальная мощность нагрузки $P_{макс}=18000$ Вт;
6. Пиковая мощность нагрузки $P_{пик}=22000$ Вт;
7. Частота выходного переменного напряжения $f=50$ Гц;

8. Коэффициент гармоник выходного напряжения: не более 5%.
9. Частота квантования равна 10 кГц.

2.1.3 Выбор мощности инвертора

Для выбора мощности инвертора необходимо знать мощность нагрузки, для этого в таблице 1 приведены значения мощности различных типов нагрузки для автономного инвертора напряжения.

Таблица 1 – Мощность нагрузки

Бытовые приборы		Электроинструмент	
потребитель	мощность, Вт	потребитель	мощность, Вт
фен для волос	450-2000	дрель	400-800
утюг	500-2000	перфоратор	600-1400
электроплита	1100-6000	<u>электроточило</u>	300-1100
тостер	600-1500	дисковая пила	750-1600
кофеварка	800-1500	<u>электрорубанок</u>	400-1000
обогреватель	1000-2400	<u>электролобзик</u>	250-700
гриль	1200-2000	шлифовальная машина	650-2200
пылесос	400-2000	Электроприборы	
радио	50-250	потребитель	Мощность, Вт
телевизор	100-400	компрессор	750-2800
холодильник	150-600	водяной насос	500-900
духовка	1000-2000	циркулярная пила	1800-2100
СВЧ - печь	1500-2000	кондиционер	1000-3000
компьютер	400-750	электромоторы	550-3000
электрочайник	1000-2000	вентиляторы	750-1700
электролампы	20-250	сенокосилка	750-2500
бойлер	1200-1500	насос <u>выс.</u> давления	2000-2900

Избыточная мощность инвертора нужна для обеспечения больших пусковых токов мощных потребителей, которые могут в несколько раз превышать номинальные токи.

Как показывает практика использования автономных энергосистем инвертор мощностью 6кВт полностью покрывает потребности загородного дома

с приусадебным участком и энергосистемой, состоящей из комплекса солнечных батарей и резервного газо-, бензо- или дизельного генератора [27].

В то же время автономная энергосистема малого предприятия или фермерского хозяйства, использующего трехфазные асинхронные двигатели, насосы, компрессоры, мощные электроинструменты может потребовать инвертор мощностью вплоть до 18кВт.

2.1.4 Расчет силового инвертора

Автономный инвертор напряжения является центральным узлом, определяющим выбор схемных решений других блоков силовой цепи.

Мощность, потребляемая инвертором [2]:

$$P_H = \frac{m \cdot U_H \cdot I_H}{\eta_H \cdot \eta_{\phi 2} \cdot \eta_{mp}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 40}{0.96 \cdot 0.98 \cdot 0.96} = 16880 \text{ ВА.} \quad (2.1.4.1)$$

Где U_H – напряжение на нагрузке;

I_H – ток нагрузки;

η_m - КПД трансформатора;

$\eta_{\phi 2}$ - КПД фильтра на выходе инвертора;

η_H - КПД инвертора.

Напряжение, прикладываемое к закрытому транзистору, определяется напряжением источника питания. Источником питания служит разрядное устройство (РУ), выполненное на базе непосредственного преобразователя напряжения повышающего типа с питанием от аккумуляторной батареи с максимальным напряжением $U_{AB} = 48 \text{ В}$.

Наименьшее значение напряжения на выходе разрядного устройства:

$$U_{d\min} = 1.1 \cdot U_d = 0.9 \cdot 220 = 198 \text{ В.} \quad (2.1.4.2)$$

Наибольшее значение напряжения на выходе разрядного устройства:

$$U_{d\max} = 1.1 \cdot U_d = 1.1 \cdot 220 = 242 \text{ В.} \quad (2.1.4.3)$$

Максимальный ток в коллекторной цепи транзистора:

$$I_{K \max} = \frac{\sqrt{3}I_n \cdot \sqrt{3}U_n}{0.95 \cdot U_{d \min}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 40 \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{0.95 \cdot 198} = 140 \text{ A} . \quad (2.1.4.4)$$

С учетом коэффициента загрузки, не превышающего 70% по каждому параметру, выбирается транзистор FGPF120N30TU с параметрами:

$$U_{КЭ} = 300 \text{ В}, I_K = 120 \text{ А}, \Delta U_{КЭ} = 1.4 \text{ В}, t_{\text{вкл}} = 1 \text{ мкс}, t_{\text{выкл}} = 1.5 \text{ мкс}.$$

Обратные диоды обеспечивают возврат реактивной энергии в конденсатор фильтра и формирование нулевых пауз в выходном напряжении инвертора. Максимальное напряжение, прикладываемое к ним, определяется напряжением источника питания $U_{VD} = 242 \text{ В}$, а максимальное значение тока не превышает коллекторный ток транзистора.

Выбирается диод 1N2390R с параметрами:

$$U_{\text{обр}} = 300 \text{ В}, I_H = 100 \text{ А}, f_{\max} = 50 \text{ кГц}, t_{\text{восст}} = 0,05 \text{ мкс}.$$

Мощность динамических потерь в транзисторе достигает значительных величин и при линейной аппроксимации определяется выражением:

$$\begin{aligned} P_{\text{дин}} &= 0.5 \cdot U_{d \min} \cdot I_n \cdot \frac{t_{\text{вкл}}}{T_M} + 0.5 \cdot U_{d \max} \cdot I_n \cdot \frac{t_{\text{выкл}}}{T_M} = \\ &= 0.5 \cdot 198 \cdot 40 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-4}} + 0.5 \cdot 242 \cdot 40 \cdot \frac{1.5 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-4}} = 112 \text{ Вт}, \end{aligned} \quad (2.1.4.5)$$

$$\text{Где } T_M = \frac{1}{f_{\text{кв}}} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ - период частоты преобразования.} \quad (2.1.4.6)$$

Формирование траектории переключения транзистора позволяет значительно уменьшить коммутационные потери мощности и повысить надежность работы силового инвертора.

Минимум потерь при включении достигается при:

$$L_d = \frac{U_{d \max}}{I_n} \cdot t_{\text{вкл}} \cdot \frac{2}{3} = \frac{242}{40} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2}{3} = 4.03 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}. \quad (2.1.4.7)$$

Выбирается дроссель SEP125NP-4R0MC-H с параметрами:

$$L = 4 \text{ мкГн}, I_{\Pi} = 10.3 \text{ А}, R_0 = 0,008 \text{ Ом}.$$

Выбирается диод UN20FCT-E3 с параметрами:

$$U_{\text{обр}} = 300 \text{ В}, I_{\Pi} = 20 \text{ А}, f_{\text{сп}} = 50 \text{ кГц}.$$

Выбирается стабилитрон 2С980А с параметрами: $U_{\text{см}} = 180 \text{ В}, I_{\text{смmax}} = 25 \text{ мА}.$

Для уменьшения динамических потерь в транзисторе при его выключении и защиты его от перенапряжений используется RCD-цепь. Суммарные потери в транзисторе и RCD-цепи зависят от величины емкости конденсатора. При отношении времени заряда конденсатора до напряжения источника питания ко времени выключения транзистора, равном $2/3$, наблюдается минимум динамических потерь, и величина емкости конденсатора определяется из соотношения:

$$C = \frac{2 \cdot I_H \cdot t_{\text{выкл}}}{3 \cdot U_{d\text{max}}} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 1.5 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 242} = 1.653 \cdot 10^{-7} \text{ Ф.} \quad (2.1.4.8)$$

Выбирается конденсатор AQ149A201A с параметрами: $C=200\text{пФ}$ и $U_{\text{ном}}=300\text{В}$.

Диод, включенный последовательно с конденсатором, выбирается из условий максимального импульсного зарядного тока конденсатора, который равен коллекторному току транзистора, и обратного напряжения, прикладываемого к диоду, равного напряжению источника питания.

Выбирается диод 1N2390R с параметрами:

$$U_{\text{обр}} = 300\text{В}, I_H = 100\text{А}, f_{\text{max}} = 50\text{кГц}, t_{\text{восст}} = 0,05\text{мкс.}$$

Сопротивление зарядного резистора выбирается из условия ограничения тока заряда конденсатора RCD-цепи на уровне максимально допустимого импульсного коллекторного тока транзистора при коммутации ключей высокочастотной стойки инвертора в режиме х.х. при максимальном напряжении питающей сети:

$$R_1 = \frac{1.1 \cdot U_{d\text{min}}}{0.75 \cdot I_H} = \frac{1.1 \cdot 242}{0.75 \cdot 40} = 7.26\text{Ом.} \quad (2.1.4.9)$$

Расчетная мощность зарядного резистора:

$$P_1 = \frac{I_H^2 \cdot R_1 \cdot t_{\text{выкл}}}{T_M} = \frac{40 \cdot 7.26 \cdot 1.5 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-4}} = 174.24\text{Вт.} \quad (2.1.4.10)$$

Выбирается резистор NHS 2-T220 с параметрами: $R=33\text{Ом}$, $U=300\text{В}$, $P=50\text{Вт}$. Четыре резистора соединяются параллельно.

Разряд конденсатора RCD-цепи осуществляется при открытом транзисторе,

относительная длительность включенного состояния которого определяется, как:

$$\gamma = \frac{t_{\text{выкл}}}{T_M} = \frac{1.5 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-4}} = 0.015. \quad (2.1.4.11)$$

При многократной модуляции с широтно-импульсным регулированием по синусоидальному закону относительная длительность открытого состояния ключей высокочастотной стойки инвертора изменяется в диапазоне от 0 до 1.

Перенапряжение на коллекторе транзистора:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot I_K \cdot t_{\text{выкл}}}{9C} = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 40 \cdot 1.5 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 1.653 \cdot 10^{-7}} = 40.3B. \quad (2.1.4.12)$$

Сопротивление разрядного резистора:

$$R_p = \frac{t_{\text{разр}}}{(3 \div 5)C} = \frac{0.5 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 1.653 \cdot 10^{-9}} = 60.5Om. \quad (2.1.4.13)$$

Расчетная мощность разрядного резистора:

$$P_p = \frac{C \left(\frac{1.1U_{d\min}}{0.75} \right)^2}{2T_M} = \frac{1.653 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{1.1 \cdot 198}{0.75} \right)^2}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-4}} = 69.69Bm. \quad (2.1.4.14)$$

Выбирается резистор ТВО-60 с параметрами R=30Om, P=60Вт. Два резистора соединяются последовательно.

Для обеспечения нормального теплового режима работы ключей необходимо определить мощность потерь в транзисторах. Суммарные потери складываются из статических и динамических в коллекторно-эмиттерной цепи и потерь в цепи управления.

Статические потери складываются из мощности потерь в открытом и закрытом состоянии транзистора:

$$P_{cm} = \Delta U_{KЭ} I_{Kγ} + U_{KЭ} I_{K0} (1 - \gamma) = 350 \cdot 10 \cdot 10^{-3} + 350 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0.015) = 69.47Bm. \quad (2.1.4.15)$$

Динамические потери в ключах с цепями формирования траектории рабочей точки транзистора:

$$P_{\phi} = \frac{U_{II} \cdot I_K \cdot t_{\text{вкл}}}{T_M} \cdot \left(1 - \frac{4K}{3} + \frac{K^2}{2} \right) = \frac{220 \cdot 40 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-4}} \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot \frac{2}{3}}{3} + \frac{\left(\frac{2}{3} \right)^2}{2} \right) = 29.33Bm, \quad (2.1.4.16)$$

Где $K=2/3$ – отношение времени заряда конденсатора ко времени выключения транзистора (времени нарастания тока в дросселе ко времени включения транзистора).

Мощность потерь по цепи управления транзистора незначительна и ею можно пренебречь.

Суммарные потери:

$$P_{II} = P_{cm} + P_{\delta} = 69.47 + 29.33 = 98.8 \text{ Вт}. \quad (2.1.4.17)$$

Динамические потери в транзисторах низкочастотной стойки инвертора незначительны и близки к нулю.

2.1.5 Расчет выходного фильтра

Определившись с видом модуляции, реализуемой силовым инвертором (двухполярная реверсивная по синусоидальному закону), рассчитываются параметры выходного фильтра. [2]

Частота ближайшей искажающей гармоники:

$$f_{\min} = (2q - 3)f_{\text{вых}} = (2 \cdot 200 - 3) \cdot 50 = 1.985 \cdot 10^4 \text{ Гц}, \quad (2.1.5.1)$$

Где q – кратность квантования при частоте квантования, равной 10кГц:

$$q = \frac{f_{\text{кв}}}{f_{\text{вых}}} = \frac{10 \cdot 10^3}{50} = 200. \quad (2.1.5.2)$$

Коэффициент гармоник выходного напряжения:

$$K_{Г(\%)} = \frac{20}{\omega_o^2 (2q - 3) - 1}, \quad (2.1.5.3)$$

Где $\omega_o^2 = \frac{\omega_{\text{вых}}}{\omega_o}$ – относительная частота; $\omega_{\text{вых}} = 2\pi f$; ω_o – резонансная (собственная) частота фильтра.

$$\omega_o^2 = \frac{\frac{20}{K_{Г(\%)} + 1}}{(2q - 3)^2} = \frac{\frac{20}{5} + 1}{(2 \cdot 200 - 3)^2} = 3.172 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right)^2, \quad (2.1.5.4)$$

$$\omega_o = 5.632 \cdot 10^{-3}. \quad (2.1.5.5)$$

Отсюда резонансная частота фильтра:

$$\omega_0 = \frac{\omega_{\text{вых}}}{\omega_o} = \frac{2\pi \cdot 200}{5.632 \cdot 10^{-3}} = 2.231 \cdot 10^5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}, \quad (2.1.5.6)$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{22310}{2\pi} = 3.551 \cdot 10^4 \text{ Гц}, \quad (2.1.5.7)$$

$$\omega_o = \omega_{\text{вых}} \sqrt{LC} \Rightarrow LC = \left(\frac{\omega_o}{\omega_{\text{вых}}} \right)^2 = \left(\frac{5.632 \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot 200} \right)^2 = 2.009 \cdot 10^{-11} \text{ ГнФ}. \quad (2.1.5.8)$$

Емкостное сопротивление конденсатора фильтра на частоте первой гармоники пульсации $f_{\text{min}} = 19850 \text{ Гц}$ должно быть много меньше, чем $R_{\text{экв}}$:

$$\frac{1}{2\pi \cdot f_{\text{min}} \cdot C} \leq \frac{R_{\text{экв}}}{5}; \quad (2.1.5.9)$$

Отсюда:

$$C_{\phi} = \frac{5}{2\pi \cdot f_{\text{min}} \cdot R_{\text{экв}}} = \frac{5}{2\pi \cdot 19850 \cdot 60.5} = 6.626 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}; \quad (2.1.5.10)$$

$$L_{\phi} = \frac{LC}{C_{\phi}} = \frac{2.009 \cdot 10^{-11}}{1.069 \cdot 10^{-6}} = 3.032 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}. \quad (2.1.5.11)$$

Выбирается конденсатор КСО-5 с параметрами: $C=650 \text{ пФ}$ и $U_{\text{ном}}=500 \text{ В}$.

Выбирается дроссель СЕР125NP-4R0MC-H с параметрами:
 $L = 4 \text{ мкГн}$, $I_{\text{п}} = 10.3 \text{ А}$, $R_0 = 0,008 \text{ Ом}$.

Резонансная частота фильтра:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{2.009 \cdot 10^{-11}}} = 3.551 \cdot 10^4 \text{ Гц}. \quad (2.1.5.12)$$

2.1.6 Расчет силового трансформатора

Силовой трансформатор предназначен для гальванической развязки и синхронизации переменного напряжения на выходе генератора и переменного напряжения на выходе инвертора.

Автономные инверторы делятся по типу трансформатора на низкочастотные и высокочастотные. Обычно высокочастотными инверторами являются маломощные инверторы для мало потребляющих устройств, таких как ноутбук, мелкого электрического инструмента, осветительных приборов. Такие устройства обычно называют автомобильными инверторами. Среди достоинств

высокочастотных инверторов – это малый размер и масса (обычно от 2 до 6 килограммов), а также цена. Преобразование напряжения производится на высокой частоте (обычно 20-30кГц), поэтому требуются трансформатор и конденсаторы меньшего размера. Недостатками высокочастотных инверторов являются высокий уровень электромагнитных помех и низкая надёжность при больших мощностях нагрузки. Мощность составляет до 1,5кВт. Для получения более высоких мощностей несколько инверторов соединяют параллельно, что резко повышает их цену. КПД большинства высокочастотных инверторов около 85%.

Преимущество низкочастотных инверторов заключается в том, что напряжение снимается с обмотки низкочастотного трансформатора, а не с коммутирующих транзисторов, что повышает надёжность устройства при мощностях более 1 кВт. Улучшается перегрузочная способность. Недостатками являются высокая стоимость трансформатора (из-за большого расхода меди), а так же значительный размер и вес. Для улучшения характеристик низкочастотных инверторов в их составе применяют тороидальные трансформаторы, вместо обычных. Применение тороидальных трансформаторов увеличивает цену инвертора, однако такой трансформатор имеет большее КПД, меньшие размеры, тор имеет меньший уровень электромагнитных помех, что обусловлено его формой. Трансформатор в виде тора имеет меньшее потребление энергии на холостом ходу. [26]

В данном проекте использован низкочастотный трансформатор с обычным сердечником, так как условия эксплуатации не критичны к размеру и весу трансформатора.

Для расчета трансформатора должны быть определены напряжения и токи обмоток. Коэффициент трансформации определяется из условия минимального напряжения на первичной обмотке.

Минимальное значение напряжения на первичной обмотке трансформатора:

$$U_1 = 0.95U_{d\min} = 0.95 \cdot 198 = 188В. \quad (2.1.6.1)$$

Коэффициент трансформации:

$$K_{mp} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{188}{380} = 0.495; \quad (2.1.6.2)$$

Где $U_2 = U_H$.

Наибольшее значение тока в первичной обмотке:

$$I_1 = \frac{I_H}{K_{mp}} = \frac{40}{0.495} = 80.8A. \quad (2.1.6.3)$$

Сопротивление нагрузки, приведенное к напряжению первичной обмотки трансформатора, находится из выражения:

$$R_{экс} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{188}{80.8} = 2.328\text{Ом}. \quad (2.1.6.4)$$

По известным токам и напряжениям обмоток и габаритной мощности трансформатора выбирается сердечник и определяются параметры обмоток, при этом число витков первичной обмотки рассчитывается исходя из наибольшего напряжения, прикладываемого к ней, чтобы исключить режим насыщения сердечника трансформатора.

$$S_0 S_c = \frac{10^2 \cdot P_r}{2 \cdot f_{ввх} \cdot K_c \cdot K_\phi \cdot \sigma \cdot B_m \cdot \delta} = \frac{10^2 \cdot 16890}{2 \cdot 50 \cdot 0.9 \cdot 1.11 \cdot 0.3 \cdot 1.7 \cdot 5} = 6630\text{см}^4; \quad (2.1.6.5)$$

Где S_0 – площадь окна сердечника магнитопровода;

S_c – поперечное сечение сердечника;

P_r – габаритная мощность двухобмоточного трансформатора,

$$P_r = \frac{1}{2}(U_{1\max} I_1 + U_2 I_2) = \frac{1}{2}(230 \cdot 80.8 + 380 \cdot 40) = 16890\text{ВА}; \quad (2.1.6.6)$$

K_ϕ – коэффициент формы напряжения;

K_c – коэффициент заполнения сердечника сталью;

δ – плотность тока в обмотках трансформатора;

σ – коэффициент заполнения окна сердечника медью;

B_m – индукция в магнитопроводе.

Число витков на один вольт ЭДС в обмотках трансформатора:

$$W_0 = \frac{10^4}{4 \cdot K_\phi \cdot B_m \cdot f_{ввх} \cdot S_c \cdot K_c} = \frac{10^4}{4 \cdot 1.11 \cdot 1.6 \cdot 50 \cdot 80 \cdot 0.9} = 0.391 \left(\frac{\text{витка}}{\text{вольт}} \right). \quad (2.1.6.7)$$

Принимаем $W_0 = 0.5 \left(\frac{\text{витка}}{\text{вольт}} \right)$.

Число витков в первичной обмотке:

$$W_1 = U_1 \cdot W_0 = 188 \cdot 0.5 = 94 \left(\frac{\text{витка}}{\text{вольт}} \right). \quad (2.1.6.8)$$

Число витков во вторичной обмотке:

$$W_2 = U_n \cdot W_0 = 380 \cdot 0.5 = 190 \left(\frac{\text{витка}}{\text{вольт}} \right). \quad (2.1.6.9)$$

Диаметры проводов обмоток:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4I_1}{\pi\delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 80.8}{\pi \cdot 4}} = 4,572 \text{ мм}. \quad (2.1.6.10)$$

Выбирается провод ПЭВ-2 диаметром провода с изоляцией 4,676 мм.

$$d_2 = \sqrt{\frac{4I_2}{\pi\delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 40}{\pi \cdot 4}} = 3.368 \text{ мм}. \quad (2.1.6.11)$$

Выбирается провод ПЭВ-2 диаметром провода с изоляцией 3,464 мм.

2.1.7 Выбор аккумуляторной батареи

Современные аккумуляторные батареи характеризуются плотностью энергии, сроком службы, требованиями по установке, степенью саморазряда и эксплуатационными расходами. [24]

Широкое применение нашли никель-кадмиевые аккумуляторные батареи (NiCd), однако их недостатком является низкая энергетическая плотность.

Среди преимуществ можно выделить длительный срок службы, высокие значения тока разряда и низкую стоимость. Основная область применения — переносное оборудование, например электроинструмент. В составе никель-кадмиевых батареи есть токсичные вещества, которые представляют опасность для окружающей среды.

Никель-металлгидридные аккумуляторные батареи (NiMH) имеют более высокую энергетическую плотность, однако меньший срок службы. Являются безопасными для окружающей среды. Применялись в начале двухтысячных годов мобильных телефонах и ноутбуках.

Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (SLA, VRLA, SLI) обладают невысокой энергетической плотностью, при этом обеспечивают большую глубину разряда и высокие токи разряда. Применяются в системах аварийного освещения и источниках бесперебойного питания, в автомобильной технике.

Литий-ионные аккумуляторные батареи (Li-Ion) имеют высокую энергетическую плотность, а соответственно высокую емкость и низкую массу. Это позволяет широко применять литий-ионные батареи в мобильной технике.

Перезаряжаемые щелочные батареи заменяют некоторые типы аккумуляторных батарей для бытовых электронных устройств. Недостатком является ограниченный срок службы. Достоинством – низкий саморазряд, что позволяет применять их в портативных устройствах с малой интенсивностью использования. Сравнительный анализ аккумуляторных батарей представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ аккумуляторных батарей

Характеристики	Типы аккумуляторных батарей					
	NiCd	NiMH	Кислотные	Li-Ion	Li-Po	Перезаряж. щелочные
Энергетическая плотность, Вт/кг	45...80	60...120	30...50	110...160	100...130	80
Внутреннее сопротивление, мОм	100...200 (батарея на 6 В)	200...300 (батарея на 6 В)	менее 100 (батарея на 12В)	150...250 (батарея на 7,2 В)	200...300 (батарея на 7,2 В)	200...2000 (батарея на 6 В)
Число циклов заряд/разряд до снижения емкости на 80 %	1500	300...500	200... 300	500...1000	300...500	50(при сниж. емк. на 50%)
Время быстрого заряда, ч	1	2...4	8...16	2...4	2...4	2...3
Допустимый перезаряд	средний	низкий	высокий	очень низкий	низкий	средний
Саморазряд за месяц при комнатной температуре, %	20	30	5	10	10	0,3
Напряжение на элементе, В	1,25	1,25	2	3,6	3,6	1,5
1ок нагрузки относительно емкости (С): - пиковый - наиболее приемлемый	20С1С	5С до 0,5с	5С 0,2с	>2С до 1С	>2С до 1С	0,5С 0,2с
Диапазон рабочих температур, °С	-40...60	-20...60	-20...60	-20...60	0...60	0...65
Обслуживание через	30...60дн.	60...90дн.	3...6 м-	не регл.	не регл.	не регл.

С учетом всех параметров, приведенных в таблице, следует остановить свой выбор на свинцово-кислотных батареях. Подобный тип батарей более подходит для нашей задачи за счет большого числа циклов заряда и разряда, широкого диапазона рабочих температур и относительно редкого обслуживания.

Для заряда свинцово-кислотных АКБ используются четыре метода:

- метод заряда при постоянном напряжении заряда;
- метод заряда при постоянных значениях напряжения и тока заряда;
- метод двухступенчатого заряда при постоянном напряжении заряда;
- метод компенсирующего заряда;
- метод плавающего заряда;
- метод многоступенчатого заряда.

Остановимся на методе компенсирующего заряда. Данный метод обычно применяется на заключительной стадии процесса заряда. Однако применяют его и как самостоятельный метод заряда при заряде свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, работающих в дежурном режиме, т.е. начинающих работать только при отключении основного источника питания, либо для поддержания необходимой мощности.

Зарядное устройство должно иметь схему термокомпенсации, так как зарядные характеристики зависят от температуры окружающей среды, [2].

2.1.8 Расчет емкости аккумуляторных батарей

Расчет количества аккумуляторов для системы бесперебойного питания в зависимости от величины нагрузки (в А*час) и времени необходимой непрерывной работы от аккумуляторов в часах.

Необходимая емкость батареи определяется, как:

$$E_{\text{бат}} = \frac{P_{\text{потр}} \cdot T_{\text{рез}}}{U_{\text{бат}} \cdot K_z \cdot \eta_{\text{инв}}} = \frac{8000 \cdot 5}{48 \cdot 0.7 \cdot 0.95} = 1253 \text{ А} \cdot \text{ч}; \quad (2.1.8.1)$$

где:

$E_{\text{бат}}$ — необходимая емкость батареи, А*ч;

$P_{\text{потр}}$ — суммарная мощность потребления, Вт;

$T_{рез}$ — время необходимой непрерывной работы, ч;

$U_{бат}$ — напряжение батареи, В;

$K_3=0.7$ — коэффициент запаса (20%-ая глубина разряда — гарантирует сохранность работы батарей), рекомендовано — 0,5 (50%-ая глубина разряда аккумуляторной батареи)

$KПД_{инв}=0.95$ — КПД инвертора.

Необходимое количество аккумуляторов:

а) Минимальное по напряжению:

$$N_{акк} = \frac{U_{инв}}{U_{акк.ном}} = \frac{48}{12} = 4; \quad (2.1.8.2)$$

где:

$N_{акк}$ — количество аккумуляторов, шт;

$U_{инв}$ — входное напряжение инвертора по постоянному току, В;

$U_{акк.ном}$ — номинальное напряжение аккумулятора, В.

б) По необходимому времени резервирования и мощности:

$$N_{комп} = \frac{E_{бат}}{E_{акк.ном}} = \frac{1253}{250} = 5; \quad (2.1.8.3)$$

где:

$E_{бат}$ — необходимая емкость батареи, Вт*ч;

$E_{акк.ном}$ — номинальная емкость аккумулятора (по таблице производителя), Вт*ч;

$N_{комп}$ — число аккумуляторов (округляется в большую сторону до ближайшего целого числа).

в) Определяется общее количество аккумуляторов:

$$N_{общ} = N_{акк} \cdot N_{комп} = 4 \cdot 5 = 20. \quad (2.1.8.4)$$

Итого применяем 20 аккумуляторных батарей, соединенных в четыре ряда параллельно по пять штук.

2.2 Имитационное моделирование автономной системы электропитания на базе трехфазного инвертора

2.2.1 Описание модели

В simulink была собрана система (рисунок 11) из генератора, инвертора, системы управления инвертором, нагрузки и аккумуляторной батареи [21].

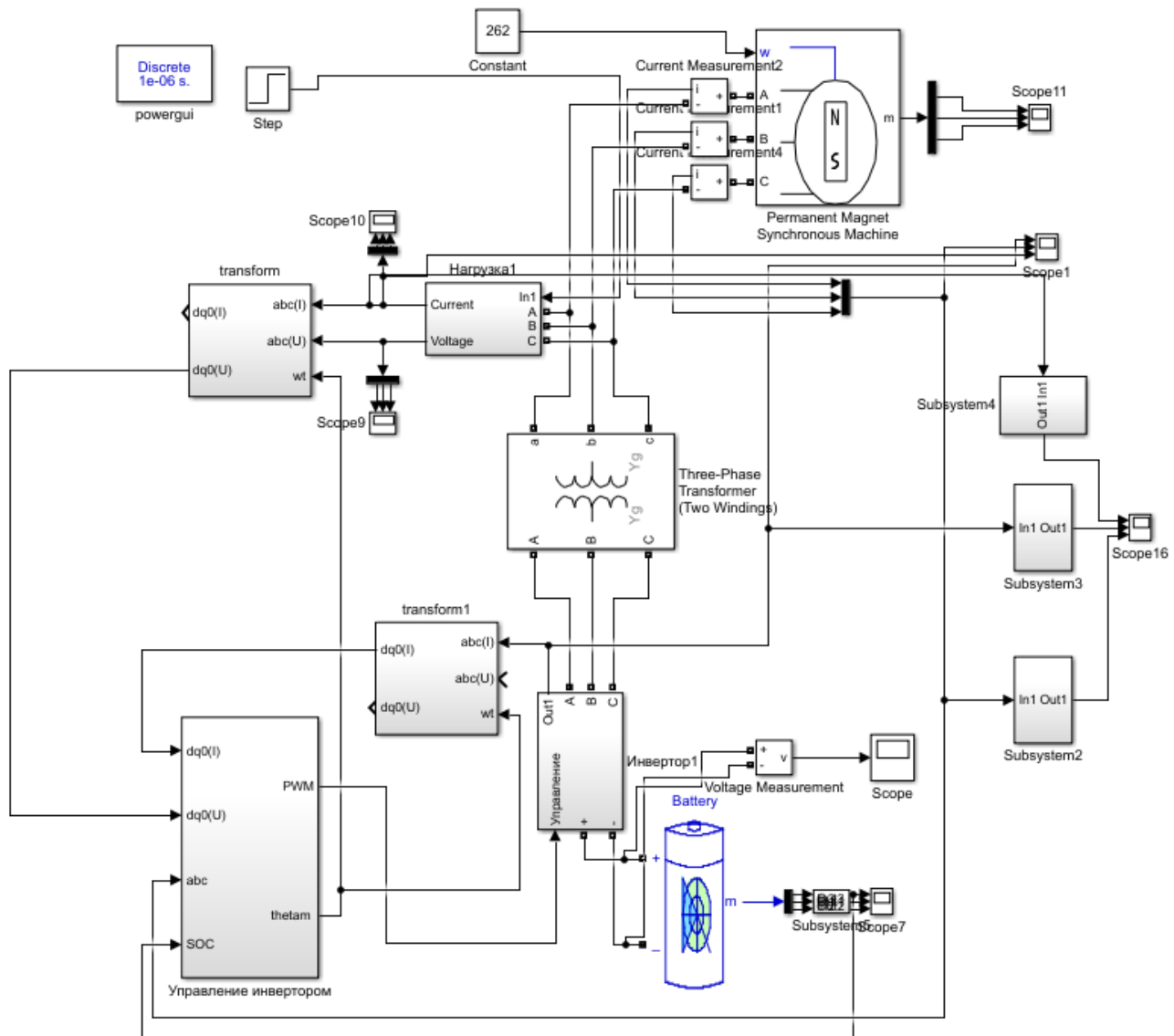


Рисунок 11 – Собранная модель

2.2.2 Моделирование газового генератора

В качестве реальной модели газового генератора был выбран ФАС-18-3/ВР, имеющий следующие характеристики:

Таблица 2 – Характеристики генератора ФАС-18-3/ВР

Количество фаз	3
Номинальная мощность, P_n	18кВт
Число оборотов	2500об\мин
Максимальный крутящий момент	106Нм
Номинальный ток, I_n	35А
Количество полюсов	4
Коэффициент мощности, $\cos \varphi$	0,8
Момент инерции ротора, J	7,2кгм ²
Исполнение	всепогодное

Внешний вид генератора ФАС-18-3/ВР представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 – Внешний вид генератора ФАС-18-3/ВР

Для моделирования в среде Simulink использовалась модель Permanent Magnet Synchronous Machine (рисунок 13).

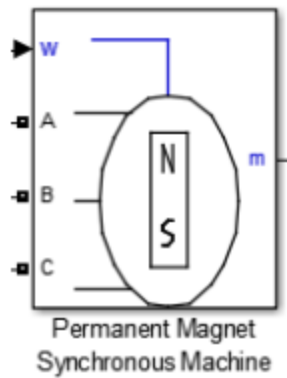


Рисунок 13 – Блок генератора

Параметры модели были приведены в соответствие с ФАС-18-3/ВР (рисунок 14).

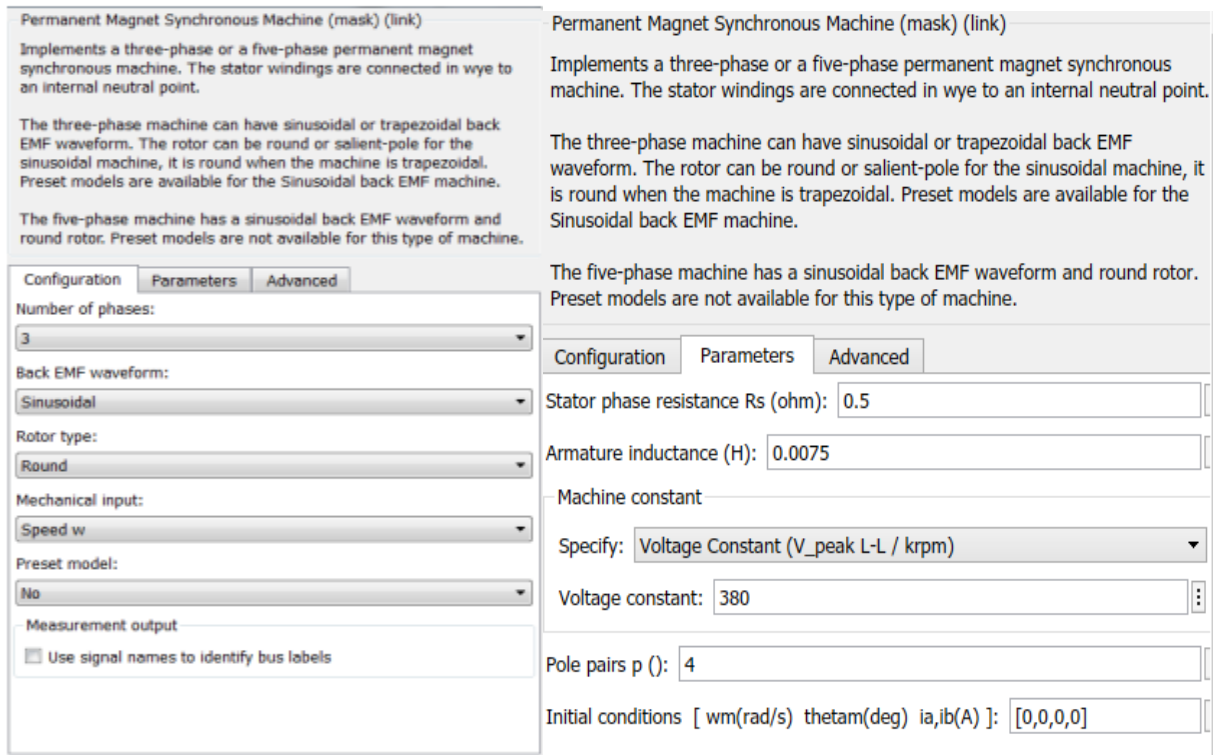


Рисунок 14 – Параметры блока генератора

Для задания номинальной частоты вращения на вход модели «w» подается константа 262, что соответствует 2500 оборотам в минуту.

Модель генератора состоит из электрической части, механической части и блока измерений и представлена на рисунке 15.

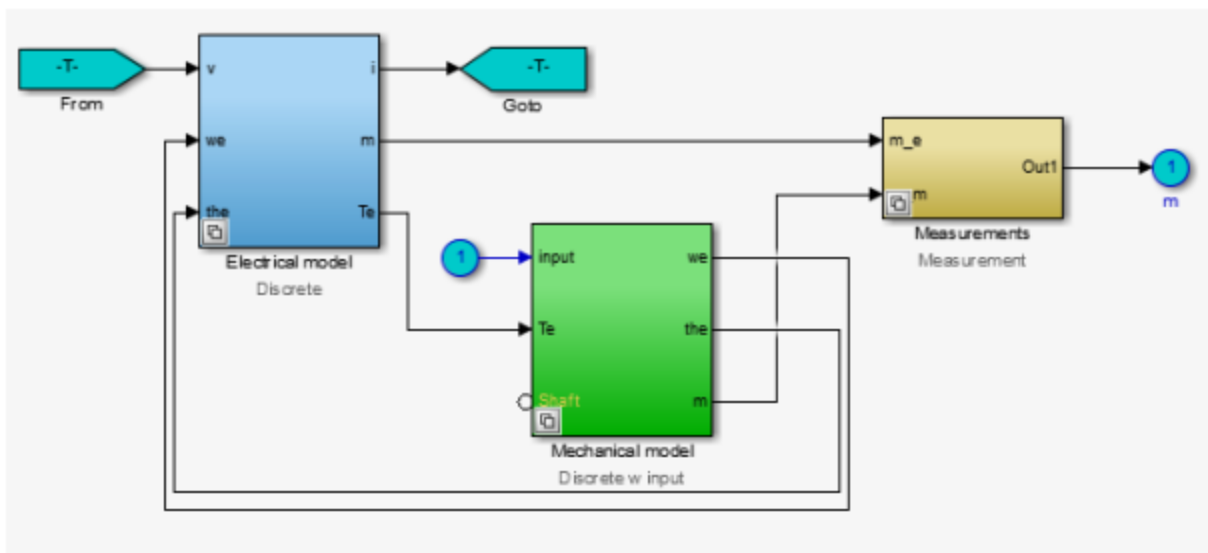


Рисунок 15 – Структура модели генератора

Модель электрической части генератора представлена на рисунке 16.

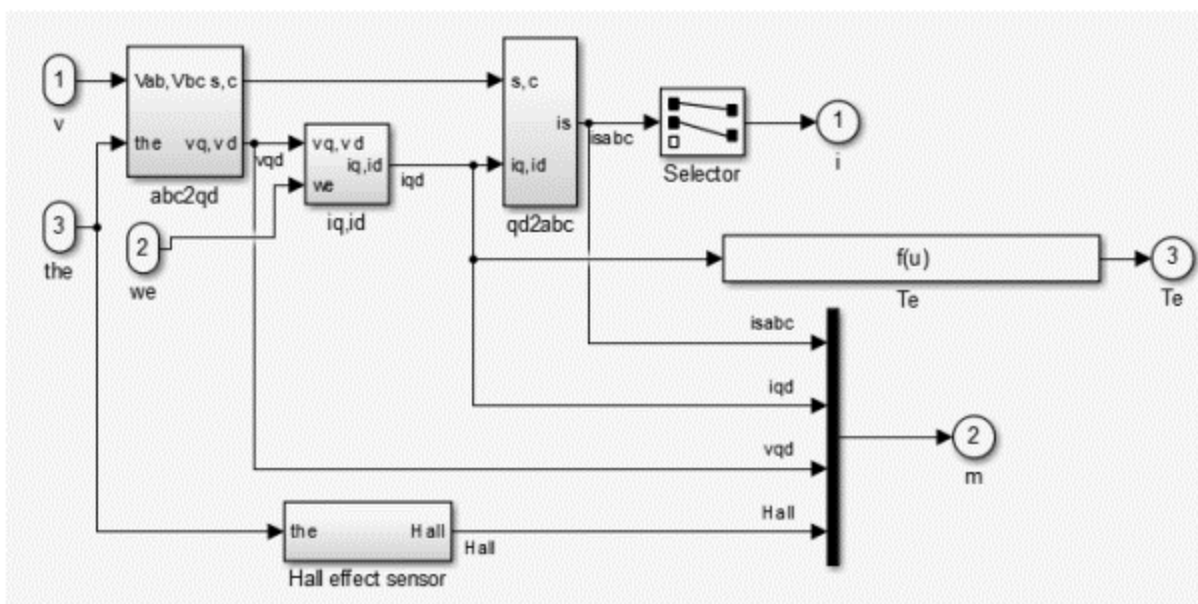


Рисунок 16 – Модель электрической части генератора

Расчёт векторных составляющих напряжения производится с применением прямого преобразования Парка - Кларка. Из напряжений вычисляются векторные составляющие тока, которые и определяют электромагнитный момент.

Преобразование Парка - Кларка выполняется в два этапа: сначала токи приводятся к двух координатной системе (2.2.2.1), это возможно, так как они все лежат в одной плоскости, далее преобразуются во вращающуюся систему координат, со направленную с вектором потокосцепления (2.2.2.2), что позволяет выделить $i_q(t)$ составляющую, определяющую электромагнитный момент [3].

$$\begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_a(t) \\ i_a(t) \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_a(t) \\ i_a(t) \end{bmatrix}, \quad (2.2.2.1)$$

$$\begin{bmatrix} i_d(t) \\ i_q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\Theta_e) & \sin(\Theta_e) \\ -\sin(\Theta_e) & \cos(\Theta_e) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix}. \quad (2.2.2.2)$$

Блок abc2qd (рисунок 16) производит прямое преобразование Парка фазных напряжений генератора в напряжение продольной и поперечной координат:

$$(U_a, U_b, U_c) \rightarrow (U_d, U_q).$$

В аналитическом представлении:

$$U_q = \frac{1}{3} (\cos \Theta_e \cdot (2U_{ab} + U_{bc}) + (\sqrt{3} \cdot U_{bc} \cdot \sin \Theta_e)), \quad (2.2.2.3)$$

$$U_d = \frac{1}{3} (\sin \Theta_e \cdot (2U_{ab} + U_{bc}) + (-\sqrt{3} \cdot U_{bc} \cdot \cos \Theta_e)). \quad (2.2.2.4)$$

Где:

U_d – d составляющая напряжения;

U_q – q составляющая напряжения.

Линейные фазные напряжения U_{ab} и U_{bc} :

$$U_{ab} = U_a - U_b, \quad (2.2.2.5)$$

$$U_{bc} = U_b - U_c. \quad (2.2.2.6)$$

В блоке $i_q i_d$ (рисунок 16) на основе фазных напряжений продольной U_d и поперечной U_q составляющей фазного напряжения рассчитываются соответствующие фазных токов i_d и i_q .

$$i_q = \int \left(\frac{U_q}{L_q} - \omega_E \cdot \frac{Flux}{L_q} - \frac{L_d}{L_q} \cdot \omega_E \cdot i_d - \frac{R}{L_q} \cdot i_q \right) dt, \quad (2.2.2.7)$$

$$i_d = \int \left(\frac{U_d}{L_d} - \omega_E \cdot \frac{L_d}{L_q} \cdot i_d - \frac{R}{L_q} \cdot i_q \right) dt. \quad (2.2.2.8)$$

Где:

i_q – q составляющая тока;

i_d – d составляющая тока;

Flux – магнитный поток ротора;

L_d – q составляющая индуктивности;

L_q – q составляющая индуктивности.

Расчёт L_d и L_q :

$$L_q = L_d = L$$

Блок Te (рисунок 16) вычисляет электромагнитный момент, используя i_q и i_d составляющие тока по следующей формуле:

$$1.5 * p (Flux * iq(1) + (Ld - Lq) * iq * id) . \quad (2.2.2.9)$$

Блок qd2abc (рисунок 16) производит обратное преобразование Парка - Кларка составляющих токов продольной и поперечной координат i_d и i_q в амплитуды фазных токов i_a, i_b, i_c . В аналитическом представлении:

$$i_a = i_q \cdot \cos \Theta_e + i_d \sin \Theta_e, \quad (2.2.2.10)$$

$$i_b = \frac{1}{2} (\cos \Theta_e \cdot (-i_q - \sqrt{3} \cdot i_d) + \sin \Theta_e \cdot (i_d + \sqrt{3} \cdot i_q)), \quad (2.2.2.11)$$

$$i_c = -(i_a + i_b), \quad (2.2.2.12)$$

$$T_s = \frac{1}{2} (PM \cdot p \cdot (Flux \cdot i_q + (PM \cdot L_d - PM \cdot L_q) \cdot i_q \cdot i_d)). \quad (2.2.2.13)$$

На вход механической части поступает внешний (с ВК) и электромагнитный момент, на выходе вычисляются значения электрического и физического угла и частоты вращения ротора:

$$\omega_e = PM \cdot p \cdot \int \left(\frac{1}{J} \cdot (T_s - T_m) \right) dt, \quad (2.2.2.14)$$

$$\Theta_e = \int (\omega_e), \quad (2.2.2.15)$$

$$\omega = \frac{\omega_e}{PM \cdot p}, \quad (2.2.2.16)$$

$$\Theta = \frac{\Theta_e}{PM \cdot p}. \quad (2.2.2.17)$$

2.2.3 Моделирование аккумуляторной батареи

Блок аккумуляторной батареи в среде Matlab\Simulink представлен на рисунке 17.

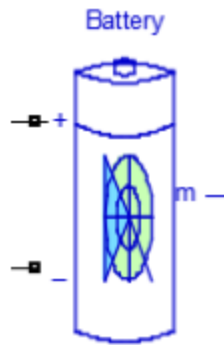


Рисунок 17 – Блок АКБ

В качестве аккумуляторной батареи используются свинцово-кислотный аккумуляторы с номинальным напряжением 48В и суммарной емкостью 1250А*ч.

Параметры блока АКБ представлены на рисунке 18.

Parameters		Discharge	
Type:	Lead-Acid	<input type="checkbox"/> Determined from the nominal parameters of the battery	
Nominal voltage (V)	48	Maximum capacity (Ah)	275
Rated capacity (Ah)	250	Cut-off Voltage (V)	35
Initial state-of-charge (%)	50	Fully charged voltage (V)	55
Battery response time (s)	3	Nominal discharge current (A)	2
		Internal resistance (Ohms)	2
		Capacity (Ah) at nominal voltage	255
		Exponential zone [Voltage (V), Capacity (Ah)]	[49 100]

Рисунок 18 – Параметры блока АКБ

Структура блока АКБ представлена на рисунке 19.

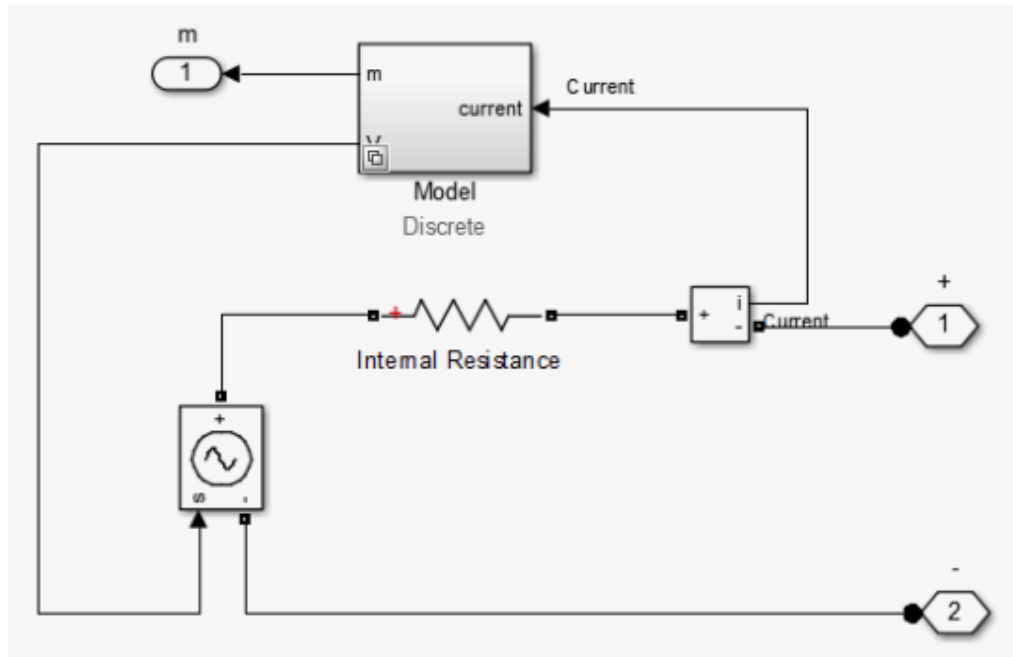


Рисунок 19 – Структура блока АКБ

Выход m блока Model позволяет получить данные об уровне аккумуляторной батареи, напряжении и токе зарядки\разрядки и уровне аккумуляторной батареи.

2.2.4 Моделирование трехфазного инвертора

На рисунке 20 представлен блок инвертора в программе Matlab\Simulink.

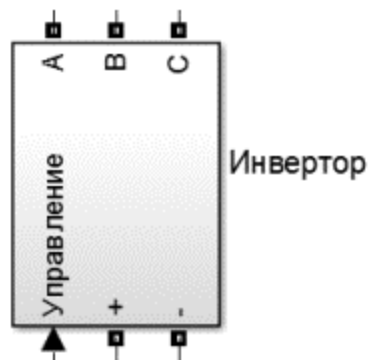


Рисунок 20 – Блок инвертора

В данной работе инвертор является двунаправленным, т.е. служит не только для преобразования переменного тока в постоянный, но и наоборот. Режим работы инвертора определяется в управляющем блоке.

Инвертор построен на 6 IGBT транзисторах, соединенных встречно

параллельно с диодами.

Структура блока инвертора представлена на рисунке 21.

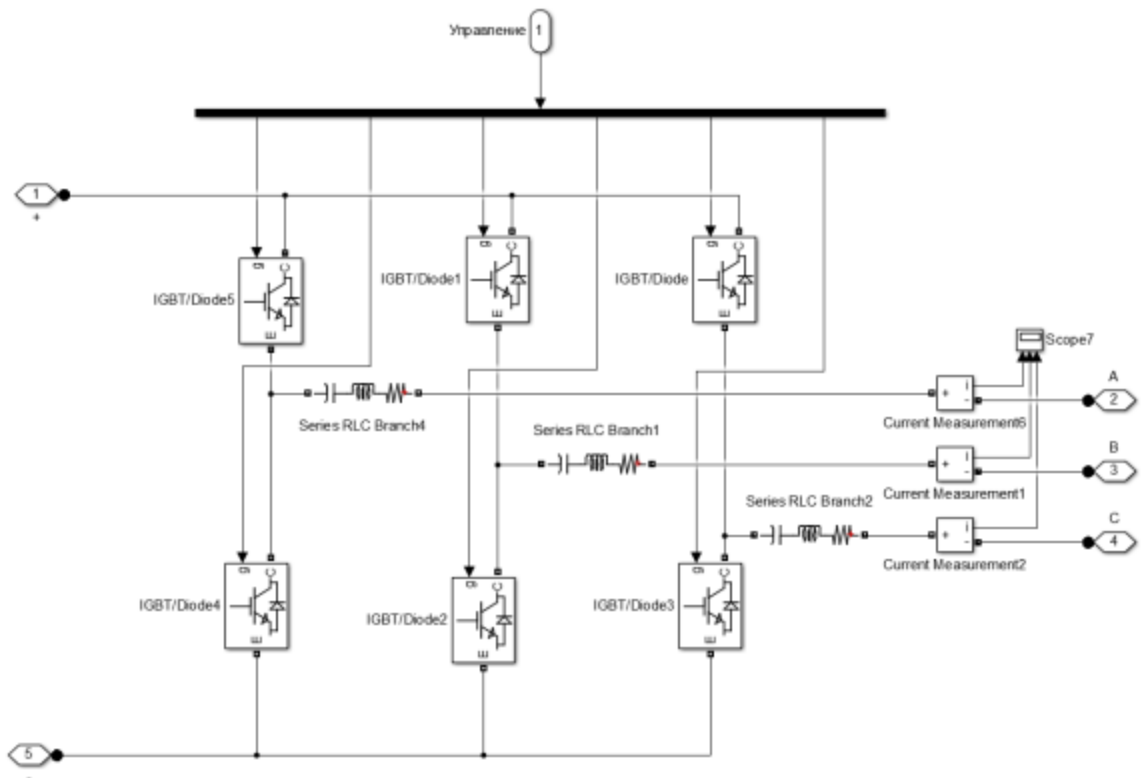


Рисунок 21 – Структура блока инвертора

ШИМ сигнал, управляющий работой инвертора реализуется блоком управления и приходит на каждый из шести транзисторов. Параметры транзисторов представлены на рисунке 22.

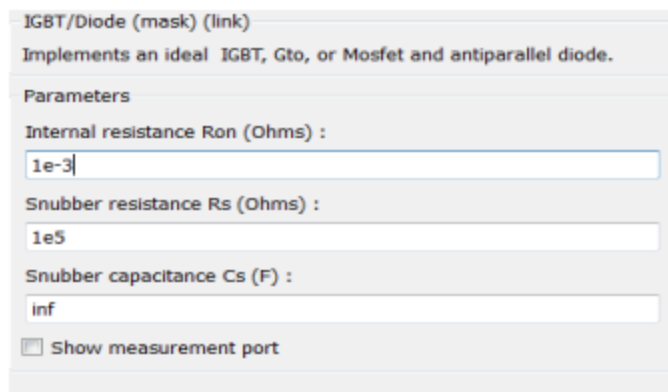


Рисунок 22 – Параметры транзисторов

2.2.5 Моделирование блок управления инвертором

На рисунке 23 представлен блок управления инвертором в программе

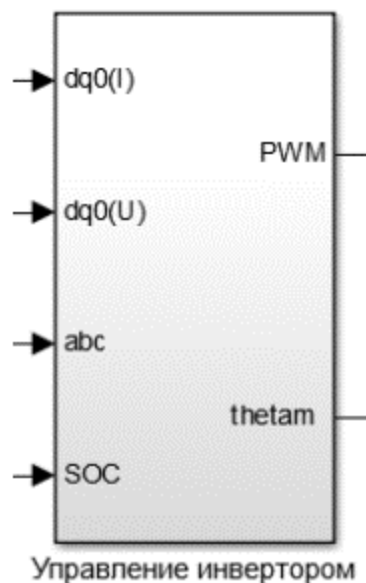


Рисунок 23 – Блок управления инвертором

Блок управления необходим для обеспечения управляющих сигналов. Здесь генерируется ШИМ сигнал, и происходит переключение между режимами ведущего и ведомого.

На рисунке 24 представлена структура блока управления инвертором.

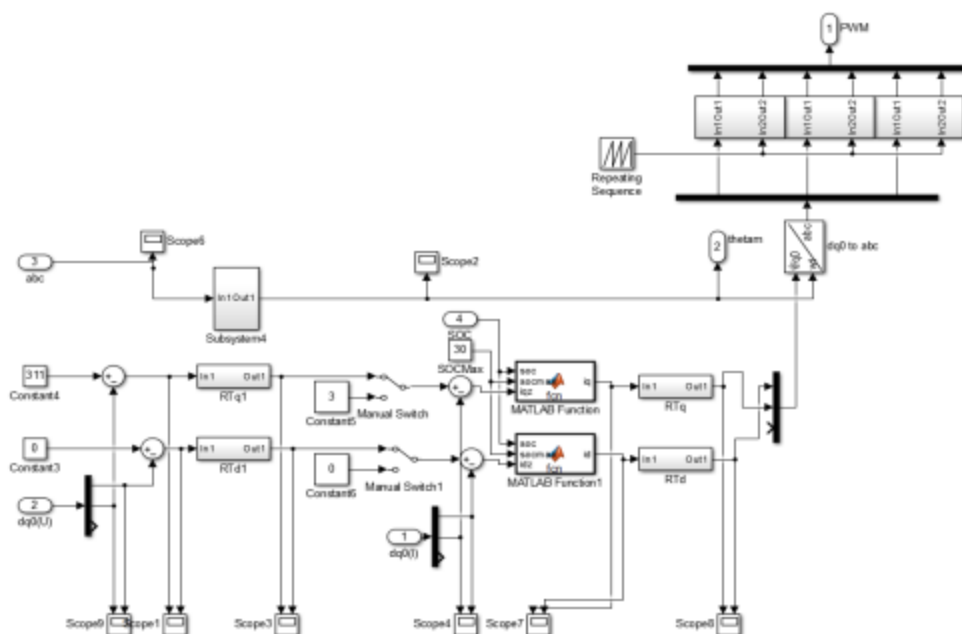


Рисунок 24 – Структура блока управления инвертором

Константы и входные параметры блока:

- abc - трехфазное напряжение на генераторе.
- 311 - задаваемое напряжение на нагрузке, при напряжении ниже заданного АКБ начинает отдавать энергию в сеть.
- $Dq0(U)$, $dq0(I)$ - преобразованные по методу Парка-Кларка напряжения и токи нагрузки. Необходимы нам для создания обратных связей по напряжению (внешний контур) и по току (внутренний контур).
- SOC - уровень заряда АКБ.

Переключение между режимами ведущего и ведомого производится при отсутствии и наличии напряжения на генераторе соответственно.

Данный блок служит для синхронизации с генератором в режиме ведомого, определения наличия напряжения на нем для переключения между режимами, а также для задания угла в режиме ведущего.

Структура блока синхронизации с сетью и задания угла представлена на рисунке 25.

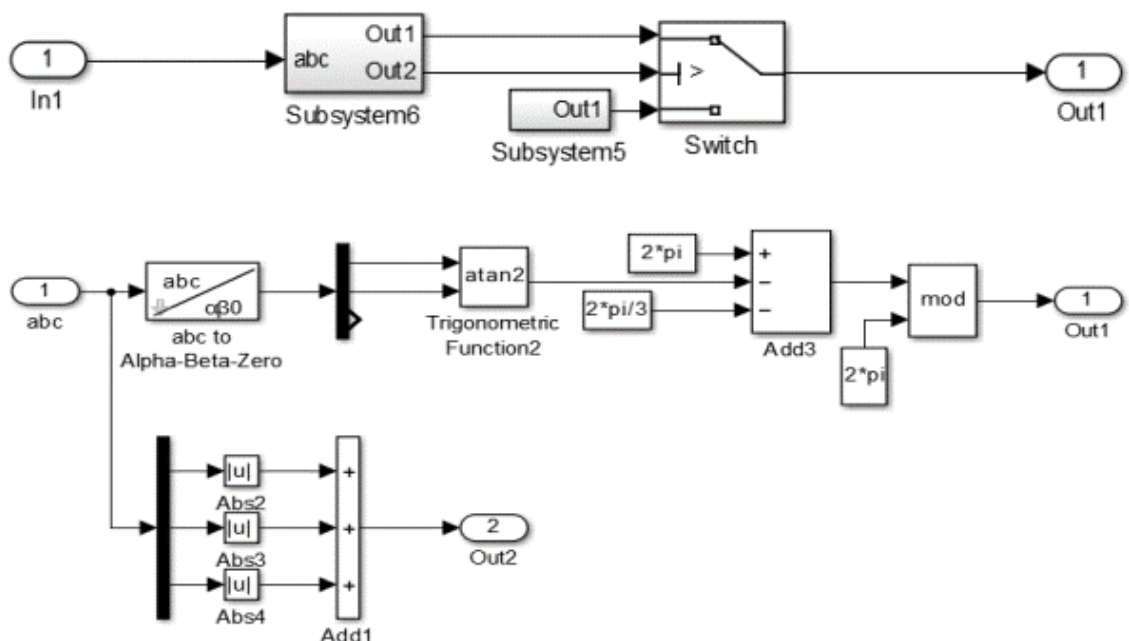


Рисунок 25 – Структура блока синхронизации с сетью и задания угла

На рисунке 26 представлен контур задания напряжения и вычисления ошибки.

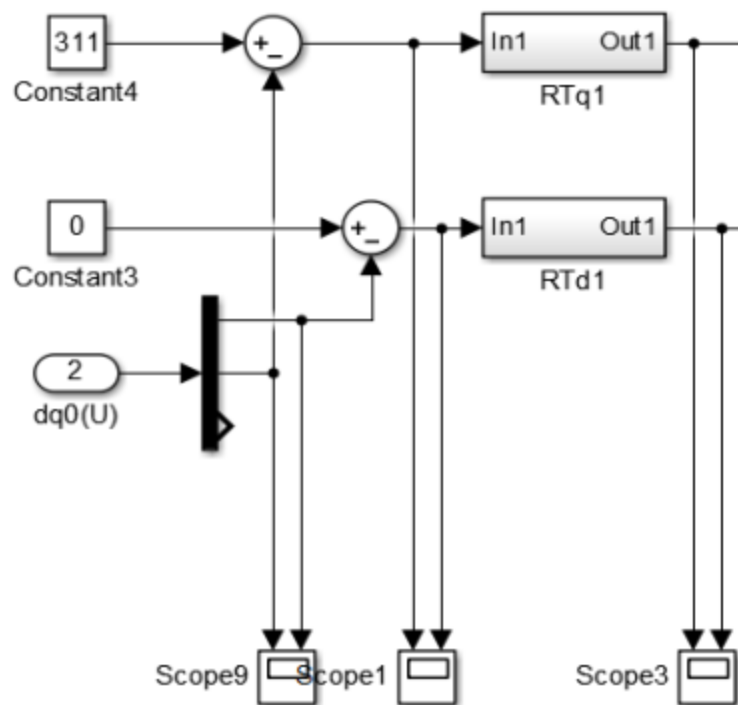


Рисунок 26 – Контур напряжения

Параметры регулятора контура напряжения представлены на рисунке 27.

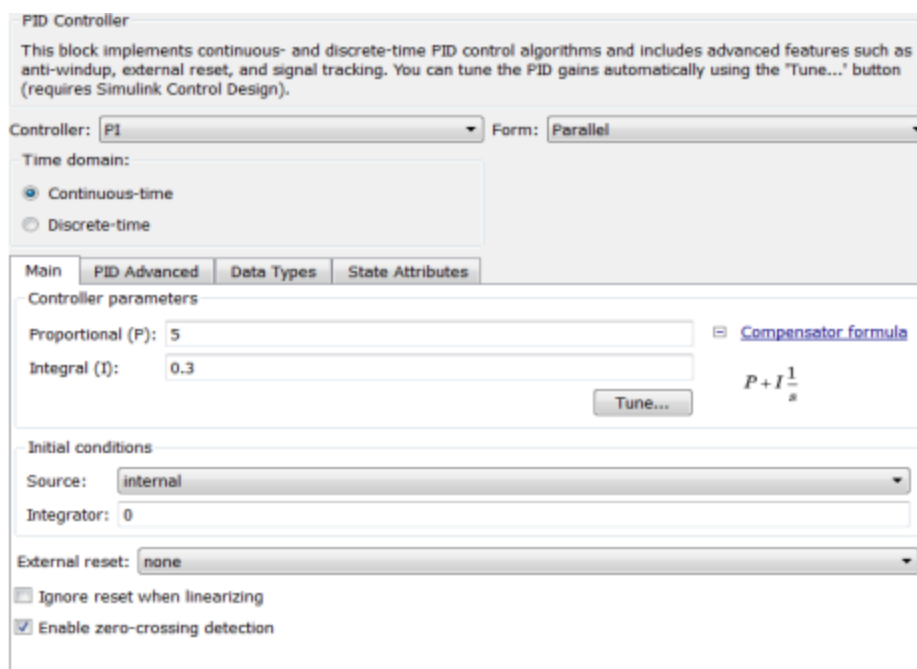


Рисунок 27 – Параметры регуляторов контура напряжения

На рисунке 28 представлен контур задания тока и вычисление ошибки.

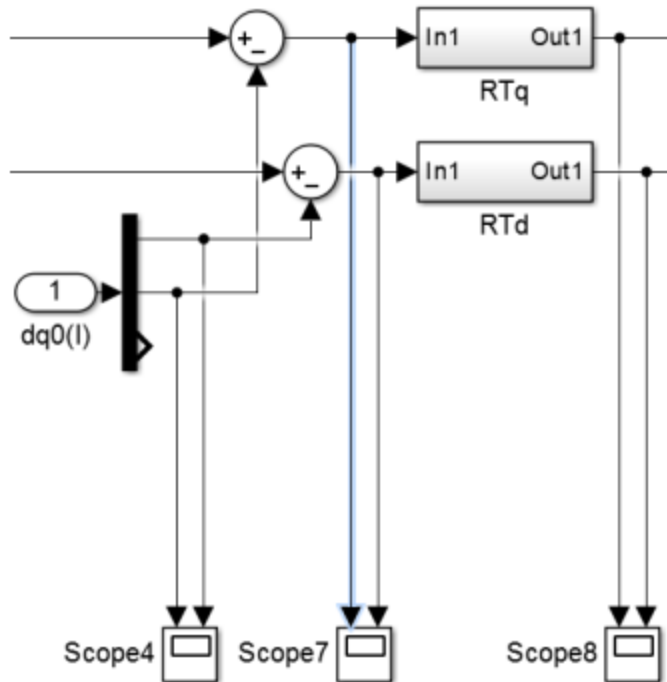


Рисунок 28 – Контур задания тока и вычисление ошибки

Параметры регулятора контура тока представлены на рисунке 29.

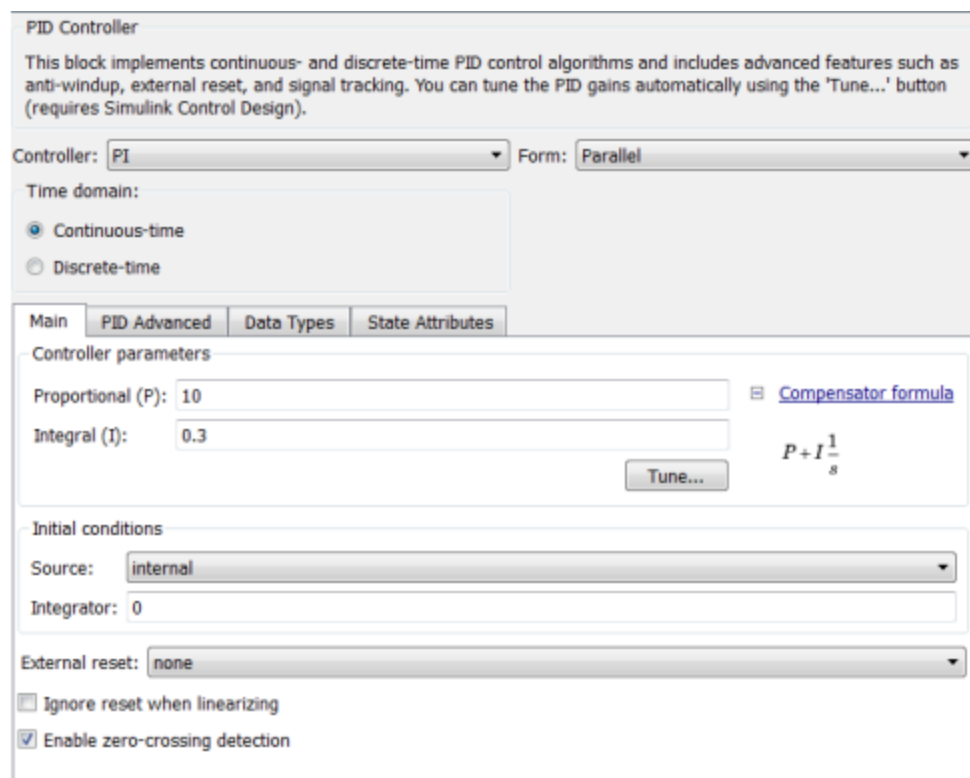


Рисунок 29 – Параметры регуляторов контура тока

Далее заданные значения тока трансформируются посредством обратного преобразования Парка-Кларка в трехфазную систему (рисунок 30).

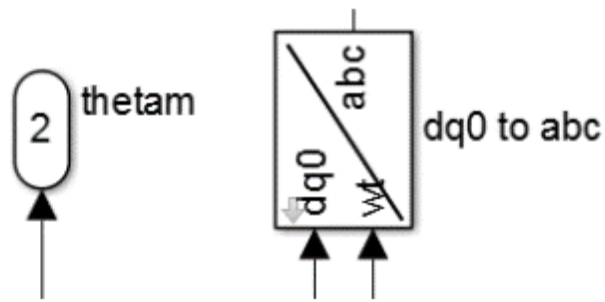


Рисунок 30 – Обратное преобразование Парка-Кларка

И поступают на блоки, генерирующие ШИМ сигнал (рисунок 31).

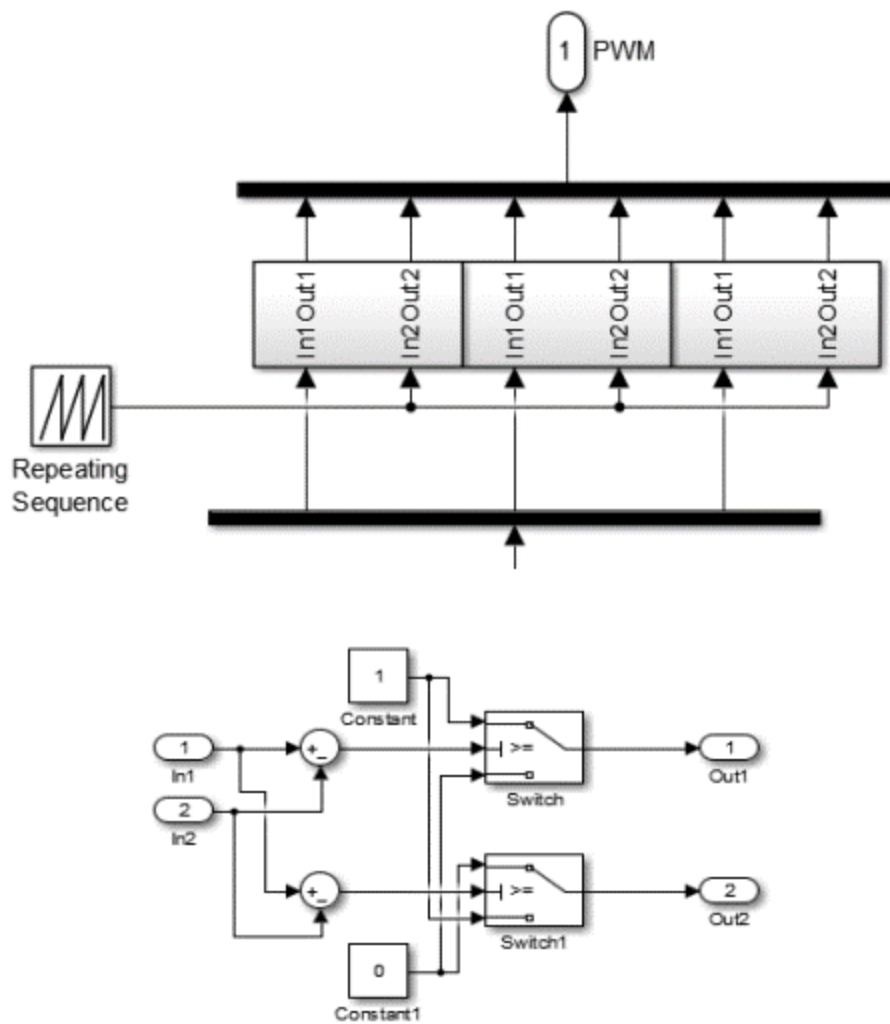


Рисунок 31 – Генерация ШИМ сигнала

2.2.6 Моделирование нагрузки

Блок нагрузки представлен на рисунке 32.

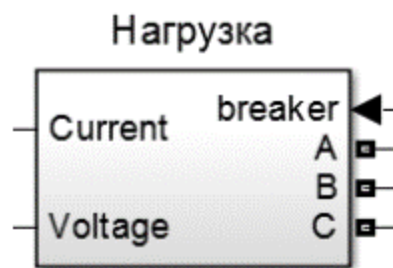


Рисунок 32 – Блок нагрузки

В данной модели для демонстрации разных режимов работы использовались разные типы нагрузки. Чаще всего нагрузка представляла собой набор резисторов с одинаковым сопротивлением (рисунок 33). В другом случае нагрузка представляла собой два последовательно соединенных резистора на каждую фазу. Вторые резисторы включаются и отключаются по внешнему сигналу, поступающему на выключатель (рисунок 34).

Во всех вариантах блока выходы Current и Voltage - информационные каналы тока и напряжения соответственно.

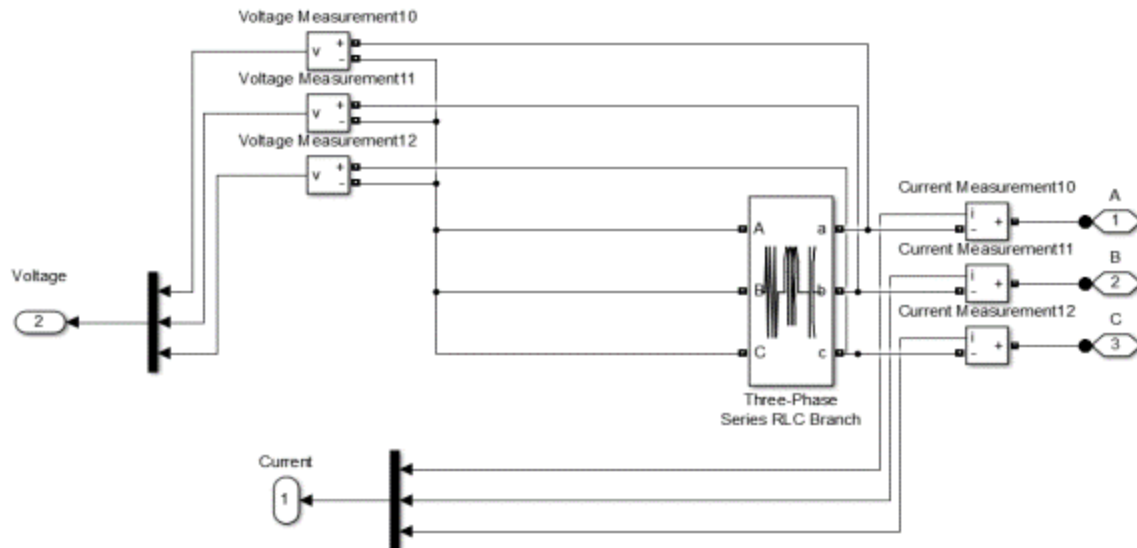


Рисунок 33 – Структура блока нагрузки (резисторы с одинаковым сопротивлением)

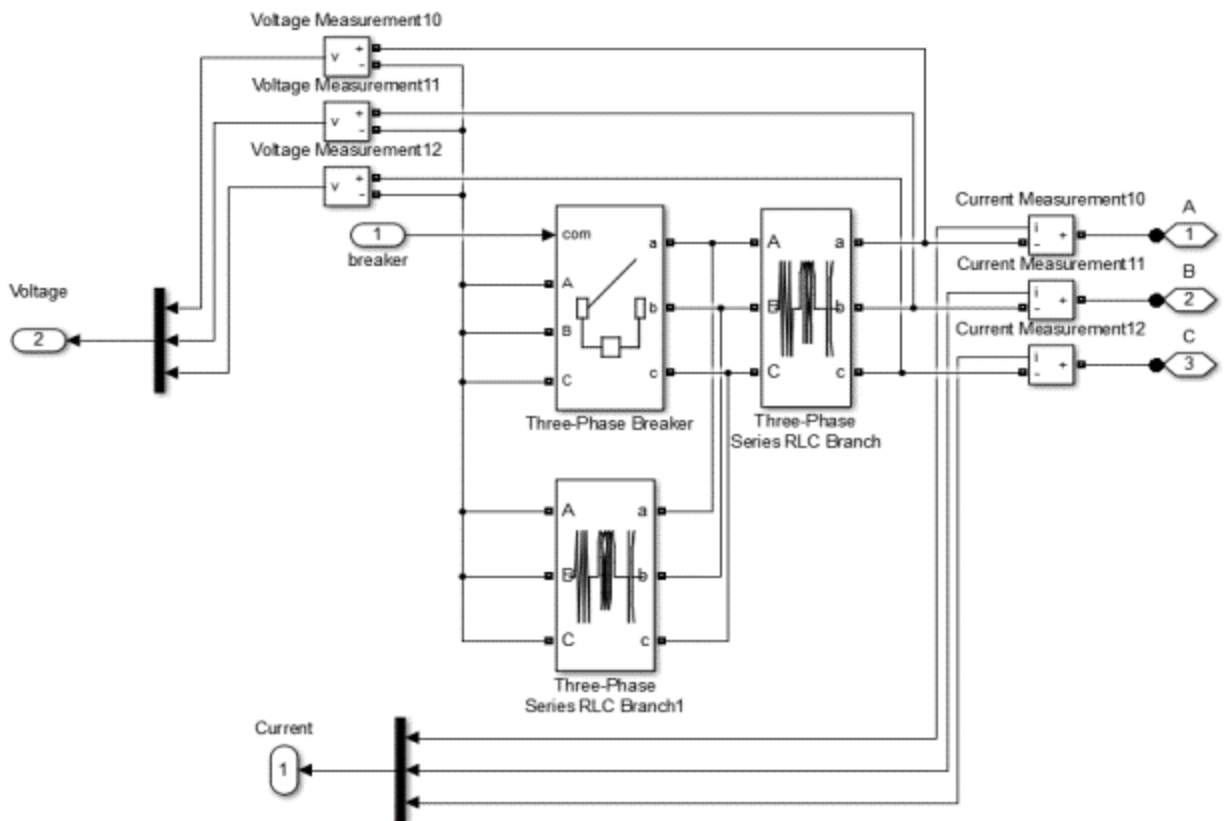


Рисунок 34 – Структура блока нагрузки (резисторы с различным сопротивлением)

2.2.7 Преобразования для создания контуров напряжения и тока

Для создания контуров напряжения и тока, а так же для синхронизации инвертора с сетью, нам понадобятся несколько видов преобразований (рисунок 35).



Рисунок 35 – Блоки преобразований

- abc to dq0 - прямое преобразование Парка-Кларка:

$$\begin{bmatrix} U_d \\ U_q \\ U_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\omega t) & -\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}$$

- dq0 to abc - обратное преобразование Парка-Кларка:

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & -\sin(\omega t) & 1 \\ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{bmatrix}$$

- abc to $\alpha\beta 0$ - преобразование трехфазной системы в двухфазную:

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \\ u_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}$$

Для прямого и обратного преобразования Парка-Кларка потребуется подать на вход блока значение ωt . Также стоит отметить наличие настроек у данных блоков. В Rotating Frame Alignment at $\omega t = 0$ следует указывать Aligned with Phase A axis, в противном случае инвертор будет генерировать ток, не совпадающий по фазе с током генератора, что приведет к неправильному их суммированию на нагрузке, и, как следствие, увеличению выдаваемого инвертором тока.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1 Режимы работы

Были проверены следующие режимы работы:

- заряд АКБ;
- разряд АКБ;
- поддержание напряжения в режиме ведомого;
- поддержание напряжения в режиме ведущего;
- поддержание напряжения с переходом из ведомого в ведущий.

Для некоторых режимов были проведены незначительные изменения модели. Все изменения касались блока «Управление инвертором».

3.1.1 Заряд АКБ

Для демонстрации зарядки АКБ зададим отдаваемый инвертором ток. Поскольку датчики тока установлены знаком + к выходу инвертора, при зарядке АКБ ток должен быть отрицательным. Разомкнутый контур тока представлен на рисунке 36.

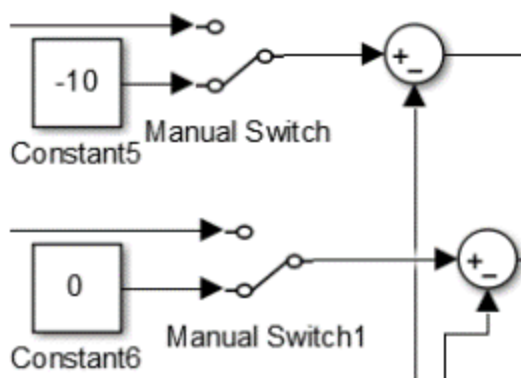


Рисунок 36 – Разомкнутый контур тока

Зададим ток - 10А. Ниже, на рисунке 37, представлены значения токов инвертора, генератора и нагрузки при заряде АКБ.

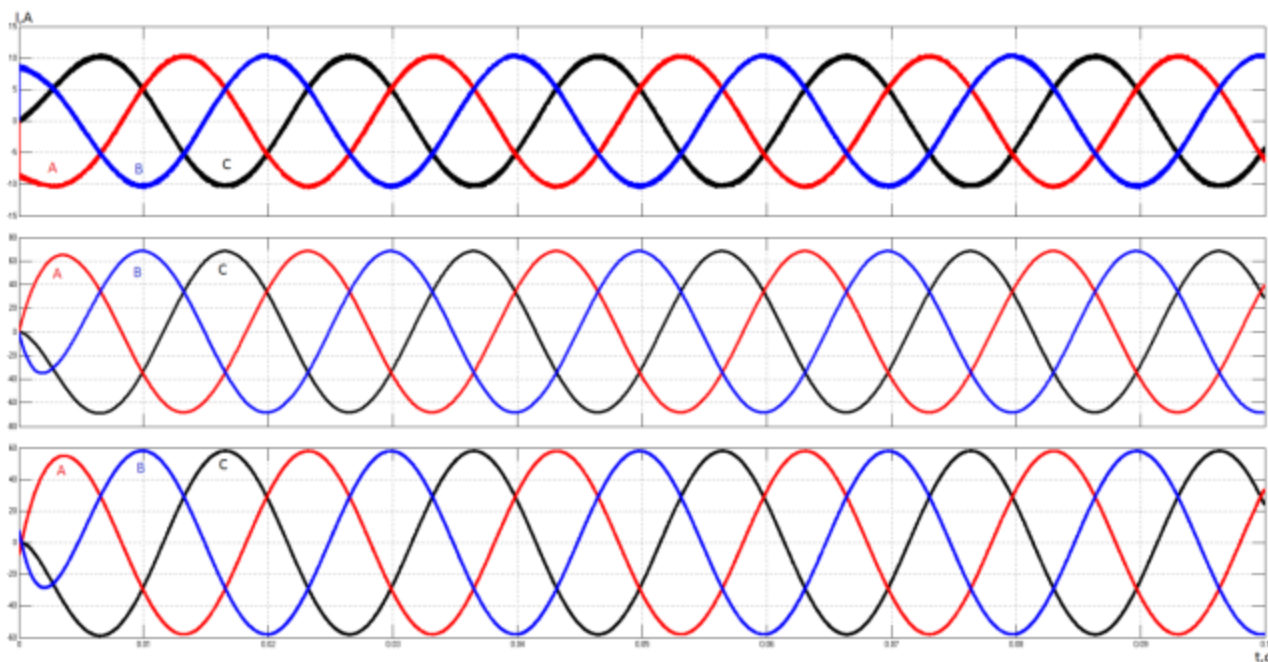


Рисунок 37 – Токи инвертора, генератора и нагрузки

Как видно, ток инвертора в противофазе току генератора. Следовательно, происходит заряд АКБ.

Напряжение на нагрузке при заряде АКБ представлено на рисунке 38.

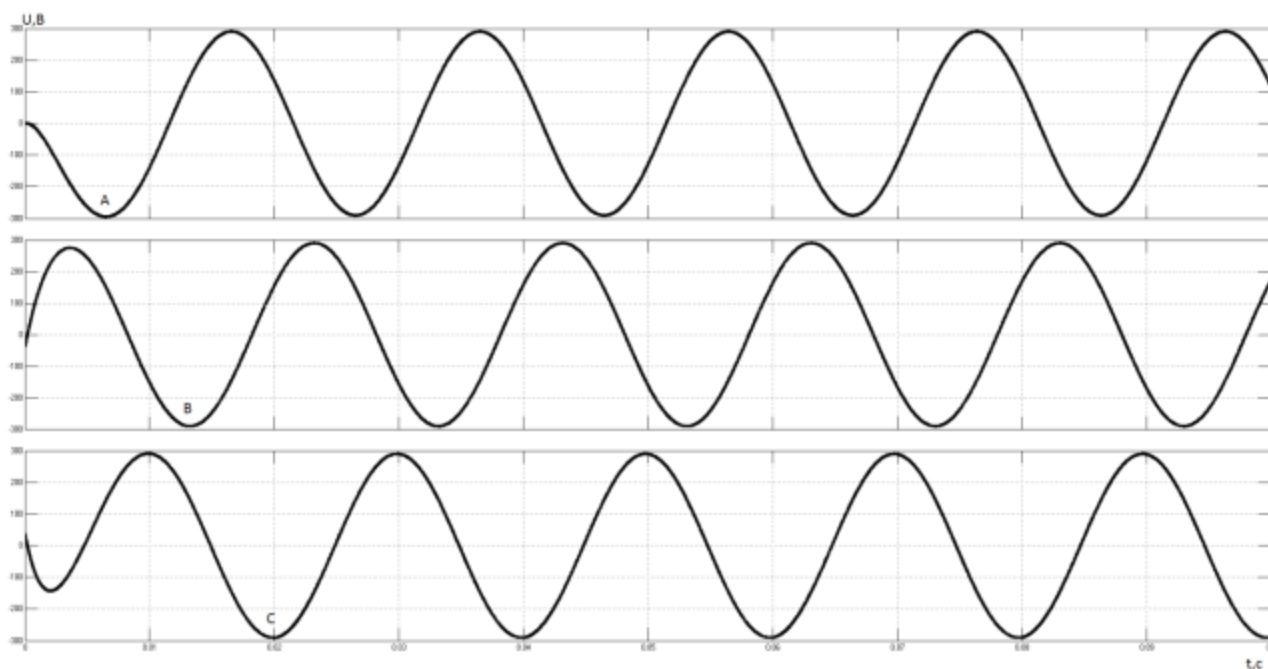


Рисунок 38 – Напряжение на нагрузке

Уровень заряда, ток и напряжение АКБ при заряде представлено на рисунке 39.

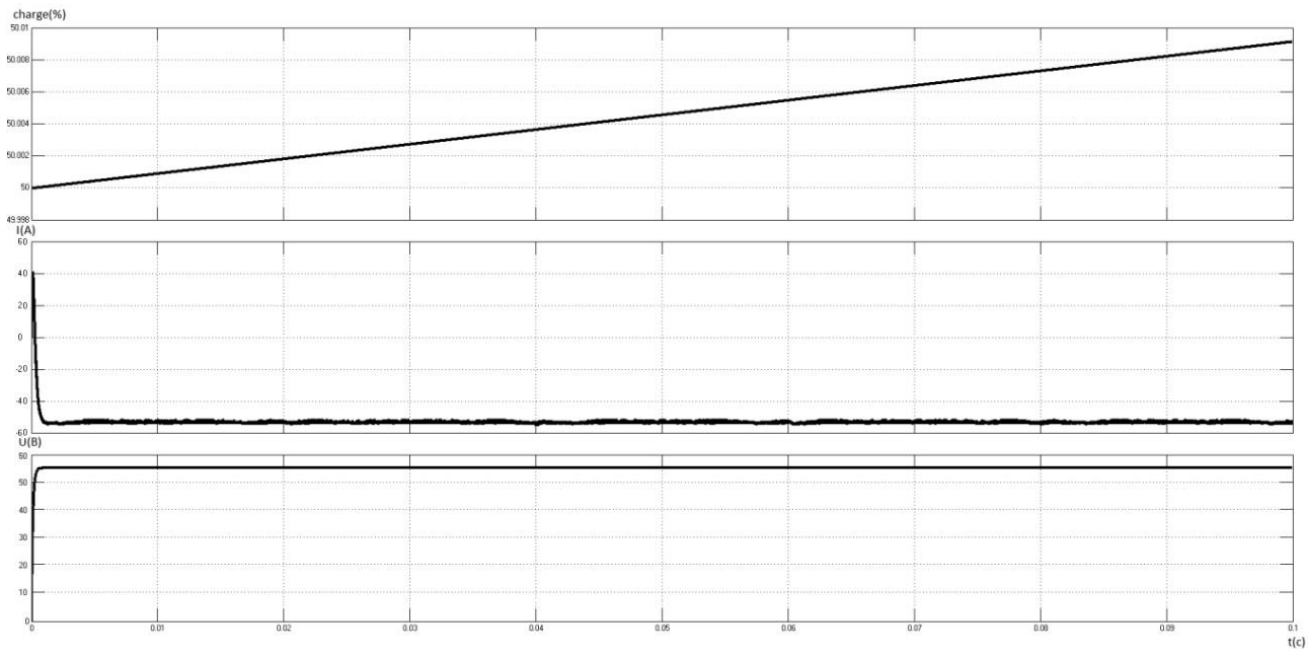


Рисунок 39 – Уровень заряда, ток и напряжение АКБ

3.1.2 Разряд АКБ

Для демонстрации разряда зададим отдаваемый инвертором ток положительным (рисунок 40).

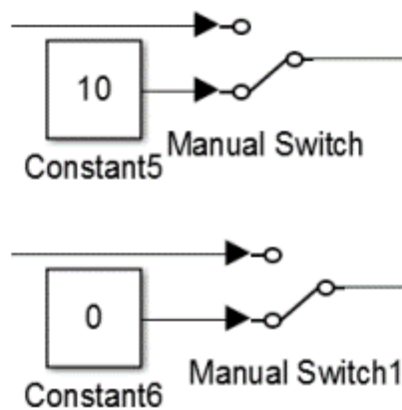


Рисунок 40 – Разомкнутый контур тока при разряде АКБ

Зададим ток 10А. Ниже, на рисунке 41, представлены значения токов инвертора, генератора и нагрузки при разряде АКБ.

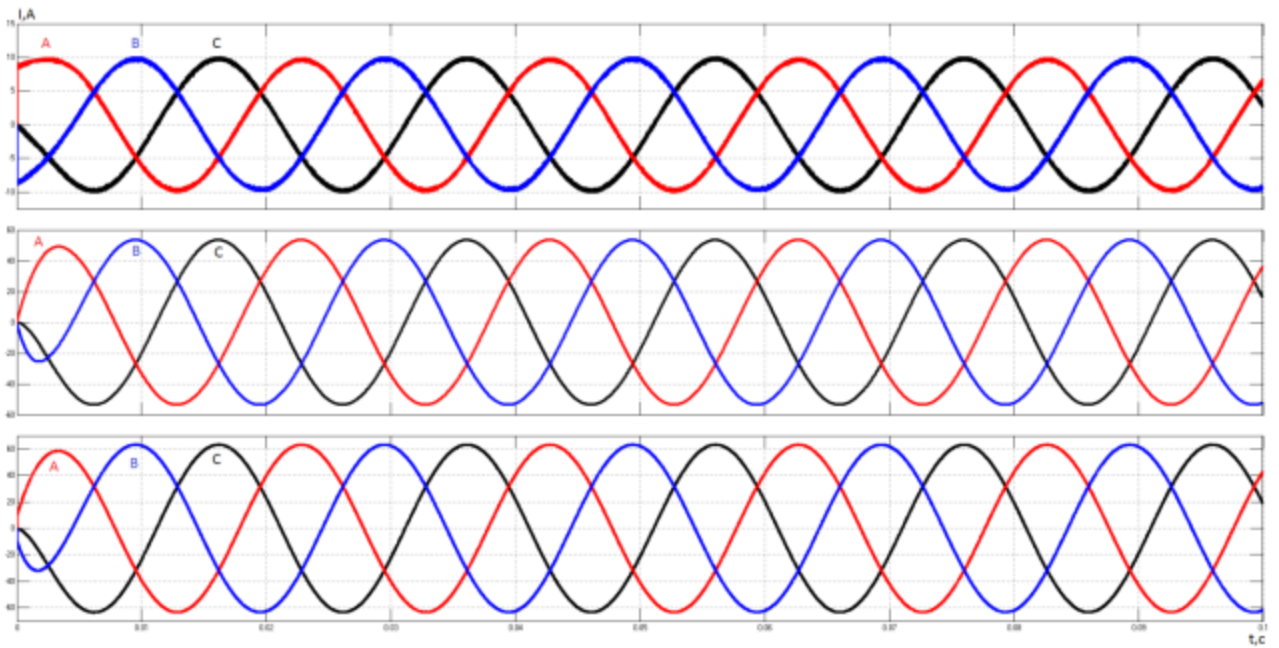


Рисунок 41 – Токи инвертора, генератора и нагрузки при разряде АКБ
 Напряжение на нагрузке при разряде АКБ представлено на рисунке 42.

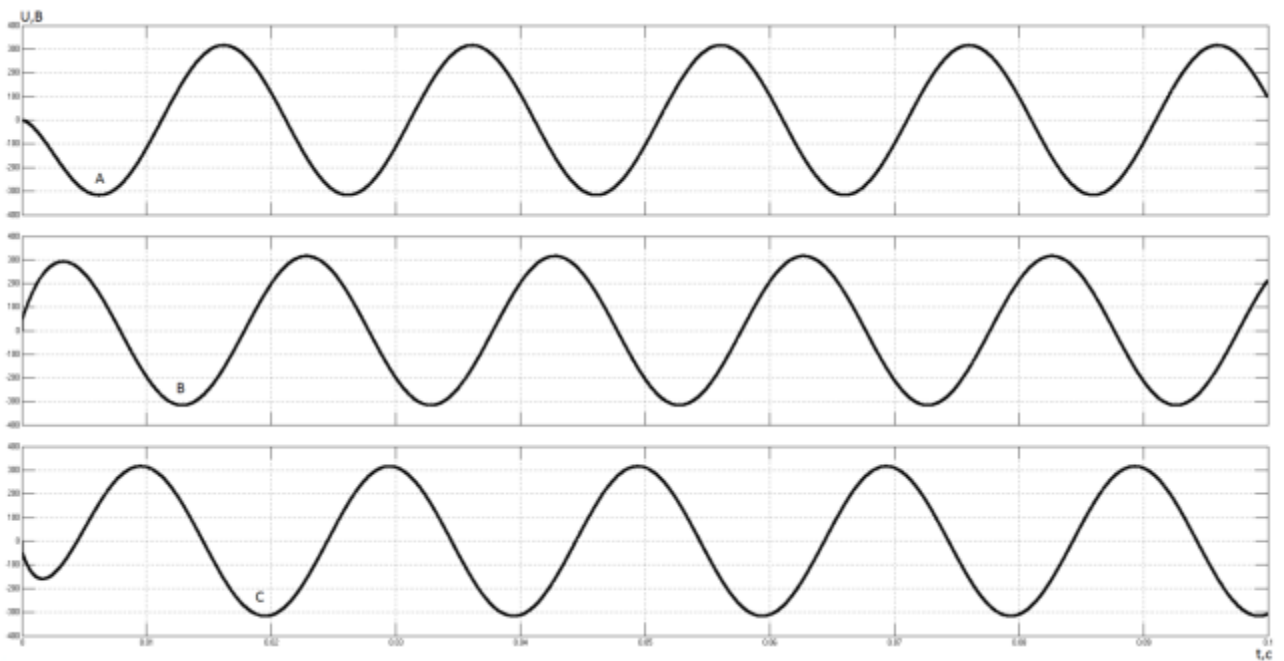


Рисунок 42 – Напряжение на нагрузке при разряде АКБ
 Уровень заряда, ток и напряжение АКБ заряде представлено на рисунке 43.

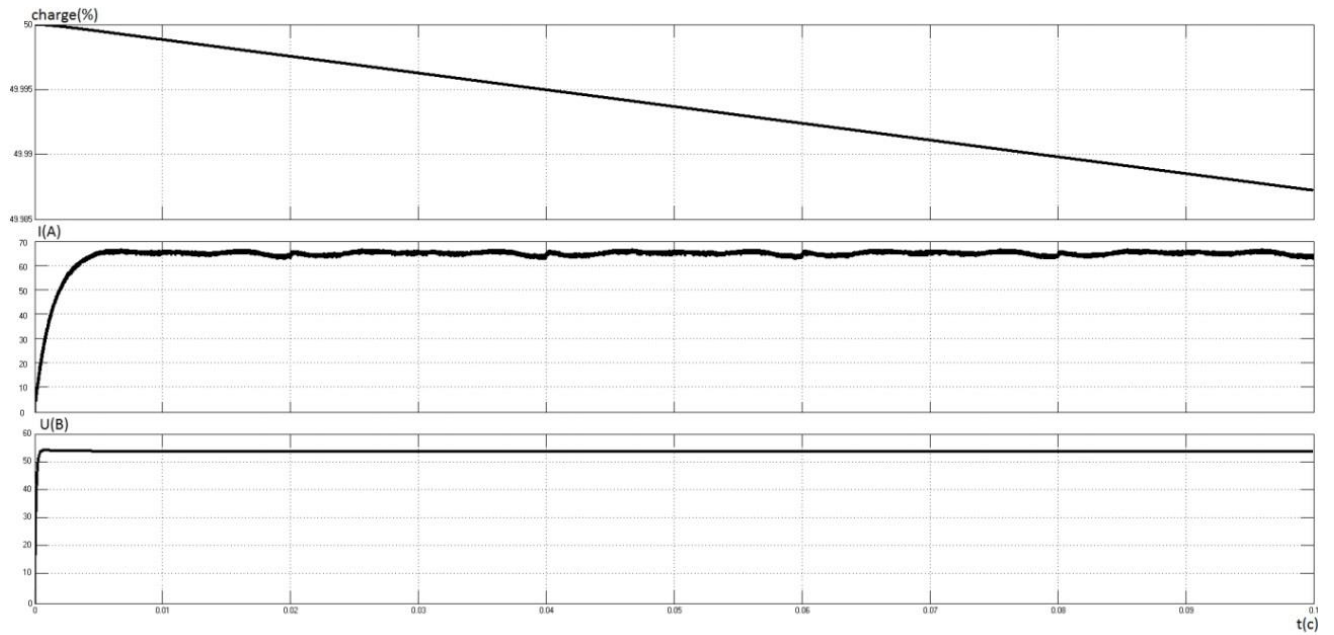


Рисунок 43 – Уровень заряда, ток и напряжение АКБ

3.1.3 Поддержание напряжения в режиме ведомого

Задействуем обратные связи по току и напряжению для поддержания напряжения в режиме ведомого (рисунок 44).

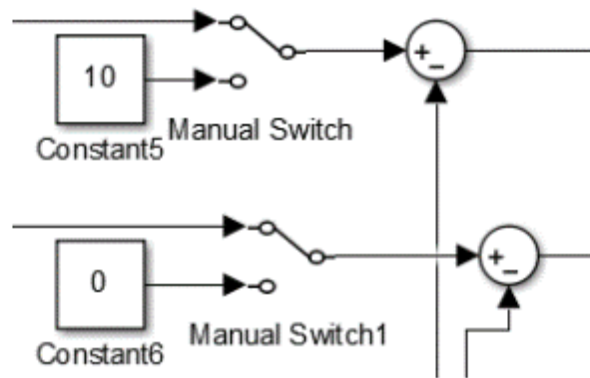


Рисунок 44 – Замкнутый контур тока при поддержании напряжения в режиме ведомого

В момент времени $T=0.05$ изменим сопротивление на нагрузке (рисунок 45).

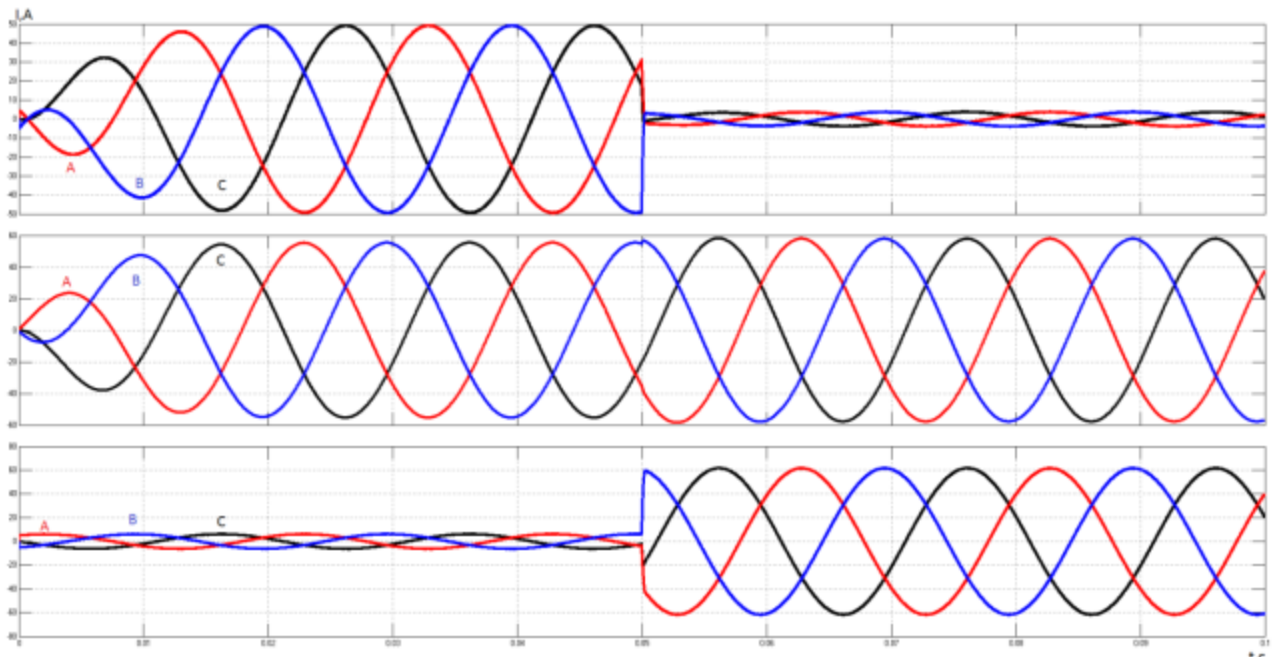


Рисунок 45 – Токи инвертора, генератора и нагрузки при поддержании напряжения в режиме ведомого

При больших сопротивлениях на нагрузке генератор более чем справляется с поддержанием напряжения, поэтому происходит отдача тока для подзарядки АКБ. При изменении сопротивления в меньшую сторону инвертор начинает отдавать ток на нагрузку.

Напряжение на нагрузке при поддержании напряжения в режиме ведомого представлено на рисунке 46.

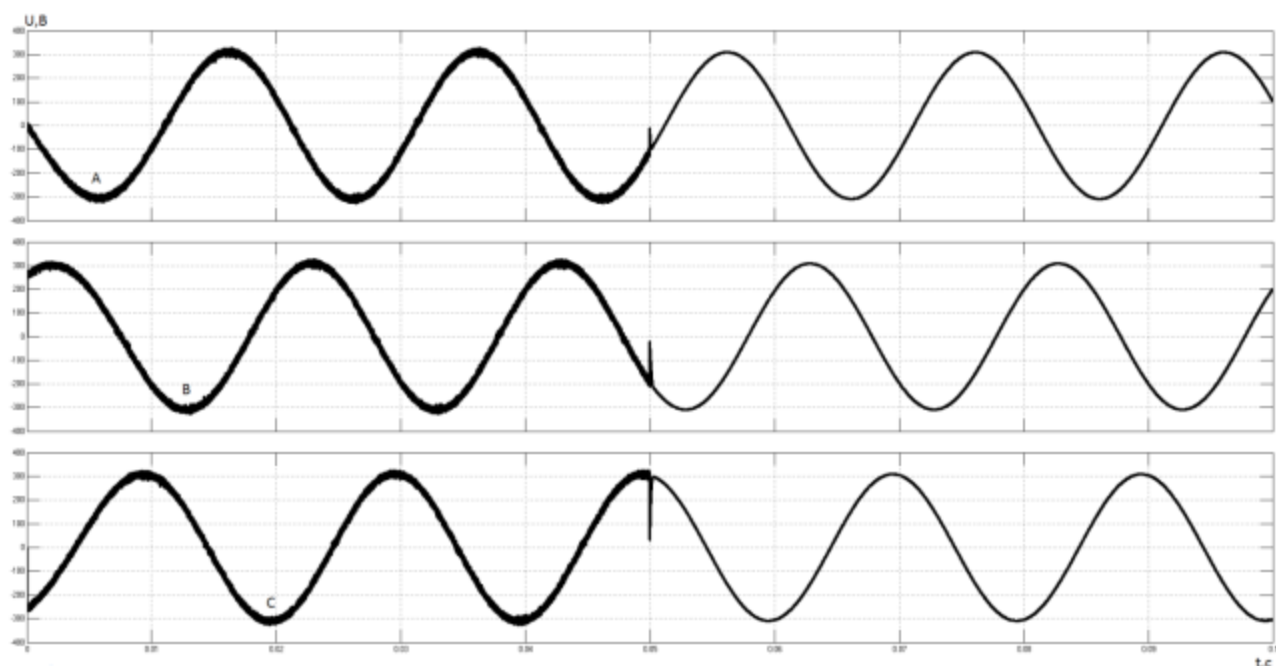


Рисунок 46 – Напряжение на нагрузке при поддержании напряжения в режиме ведомого

Уровень заряда, ток и напряжение АКБ при поддержании напряжения в режиме ведомого представлены на рисунке 47.

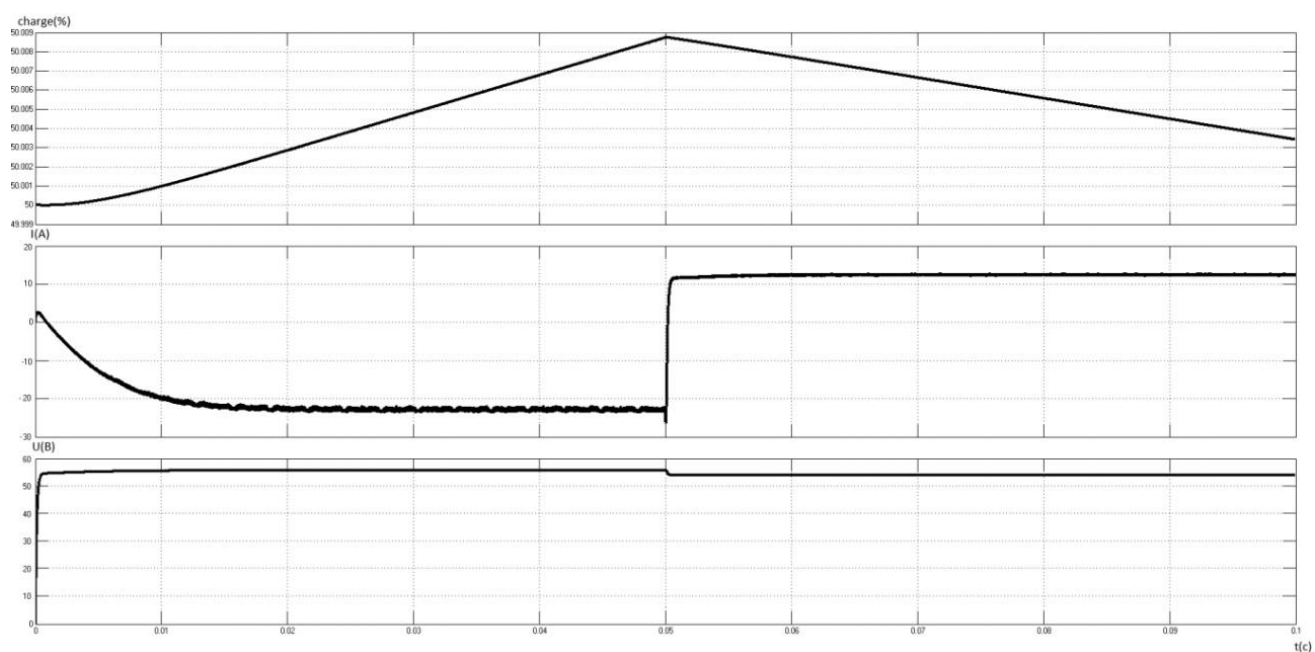


Рисунок 47 – Уровень заряда, ток и напряжение АКБ

3.1.4 Поддержание напряжения в режиме ведомого с разным потреблением тока на фазах

Для проведения эксперимента необходимо провести небольшие изменения блока нагрузки (рисунок 48).

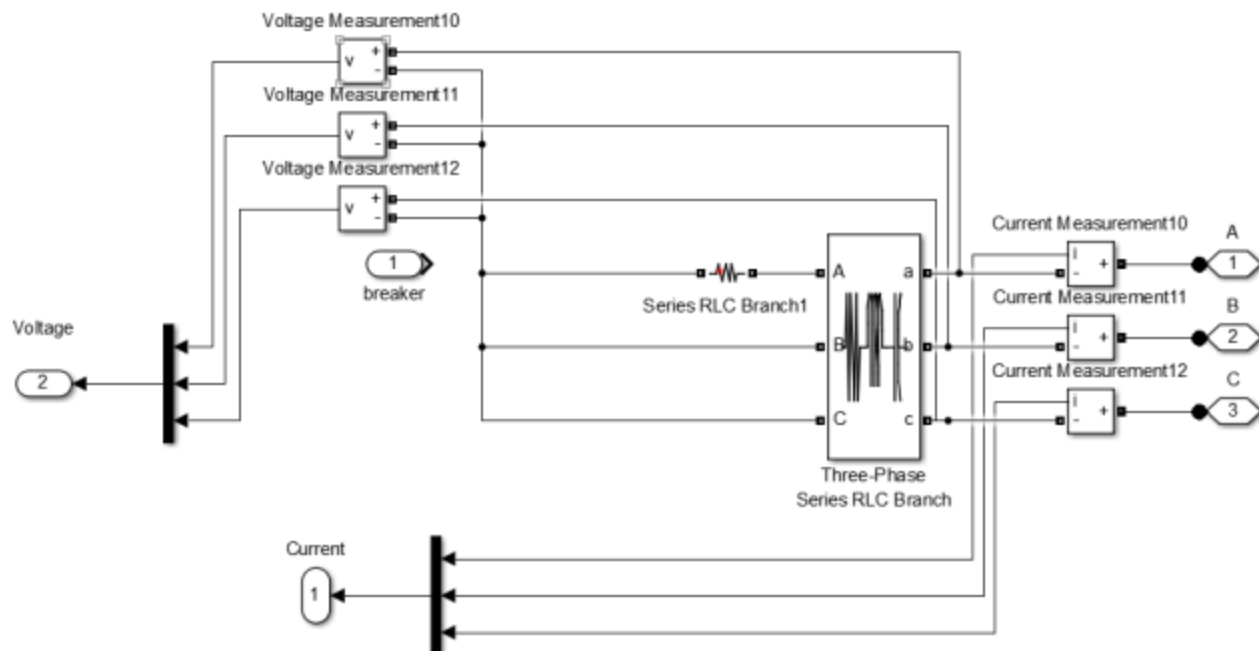


Рисунок 48 – Структура блока нагрузки

Установим дополнительное сопротивление на фазе А. Таким образом имеем следующие фазные сопротивления: фаза А – 10Ом, фаза В – 50м, фаза С – 50м. В результате наблюдаем следующие токи, рисунок 49.

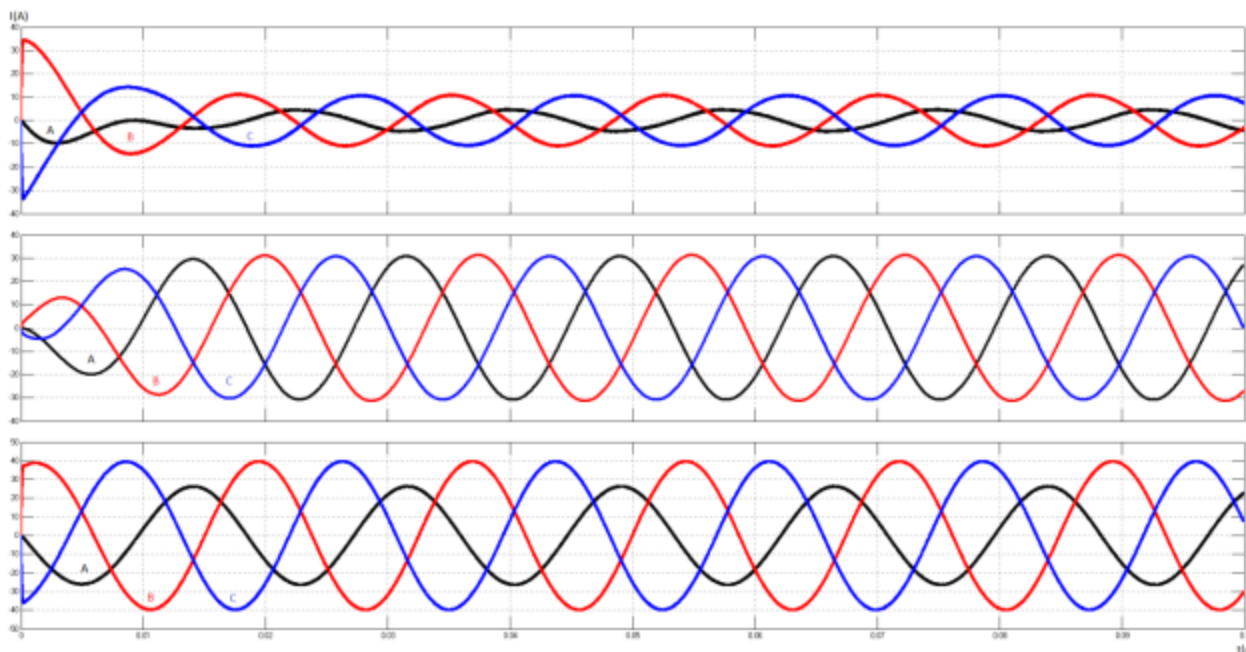


Рисунок 49 – Токи инвертора, генератора и нагрузки при различных сопротивлениях фаз нагрузки

Видно, что ток инвертора находится в противофазе току генератора, т.о. с фазы А осуществляется подзарядка аккумуляторной батареи. Токи фаз В и С у инвертора и генератора совпадают.

Напряжение на нагрузке при различных сопротивлениях фаз представлено на рисунке 50.

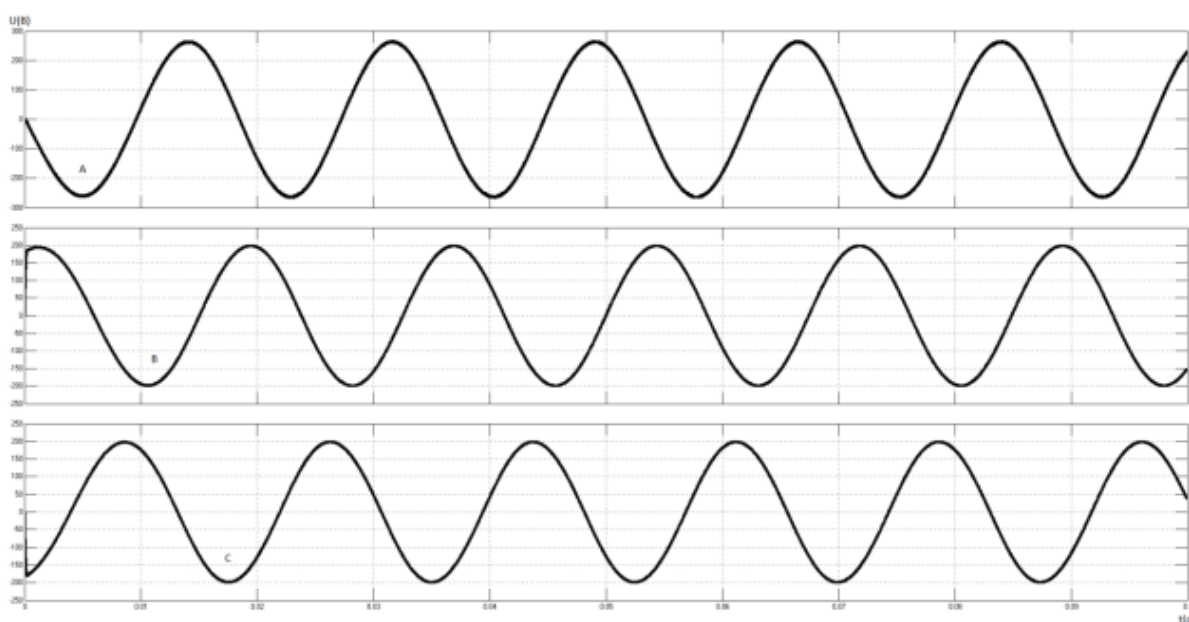


Рисунок 50 – Напряжение на нагрузке при различных сопротивлениях фаз

Уровень заряда, ток и напряжение АКБ при различных сопротивлениях фаз нагрузки представлены на рисунке 51.

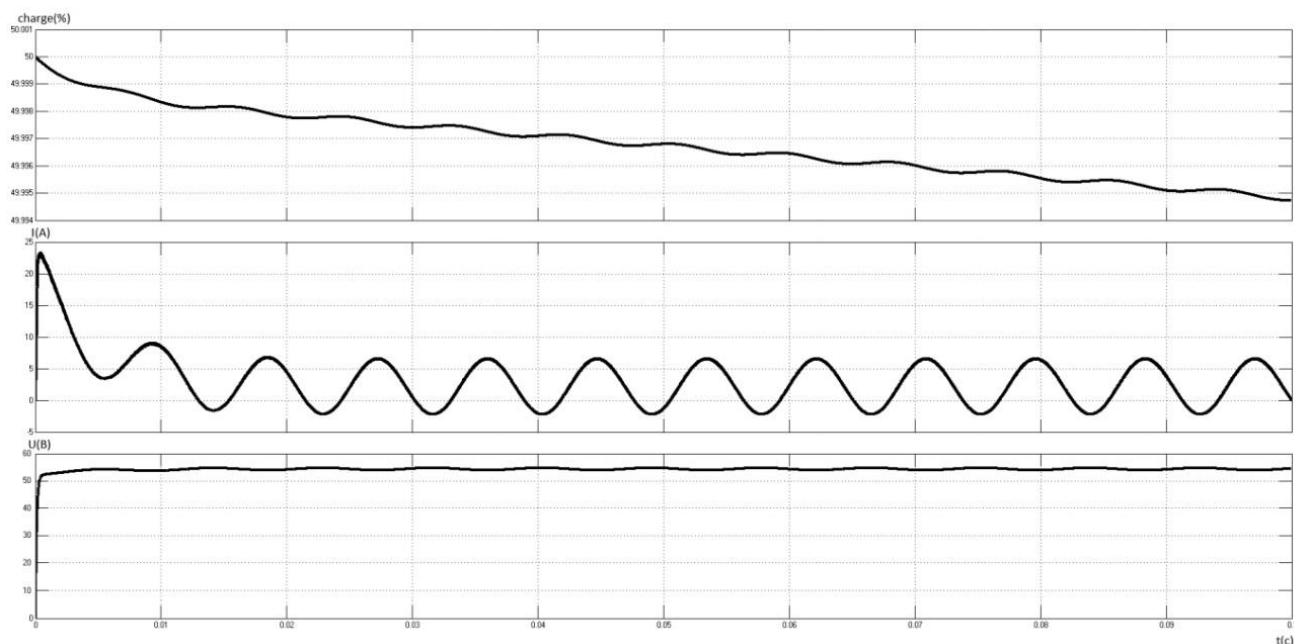


Рисунок 51 – Уровень заряда, ток и напряжение АКБ при различных сопротивлениях фаз нагрузки

3.1.5 Поддержание напряжения в режиме ведущего

Переход из режима ведомого в режим ведущего должен производиться по внешнему сигналу с верхнего уровня управления.

В данной модели имитация сигналов была осуществлена переключением с 0 на 1 для каждого режима (рисунок 52).

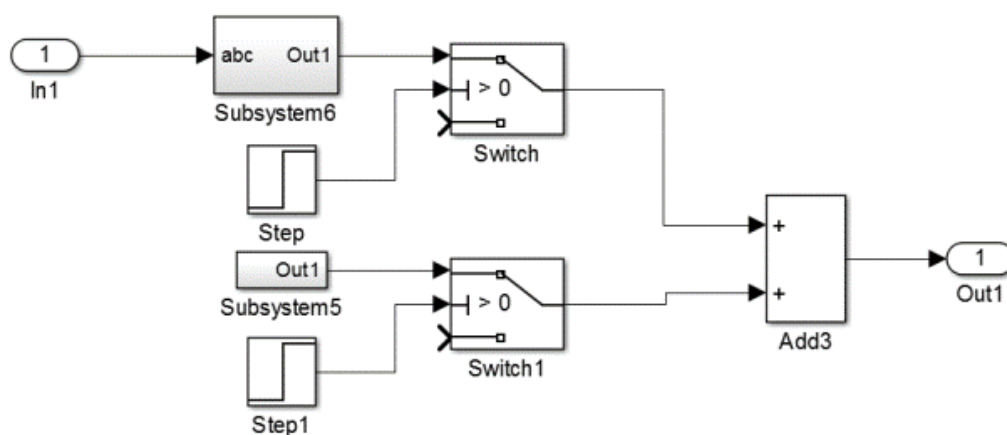


Рисунок 52 – Блок выбора режима работы

Конкретно в данном опыте для осуществления работы инвертора только в режиме ведущего никаких переключений не производилось. Для режима ведомого постоянно подавался 0, а для режима ведущего постоянно подавалась 1.

Ниже, на рисунке 53, представлены значения токов инвертора и нагрузки. Генератор был отсоединен от нагрузки, поэтому никаких токов в сеть не отдавал.

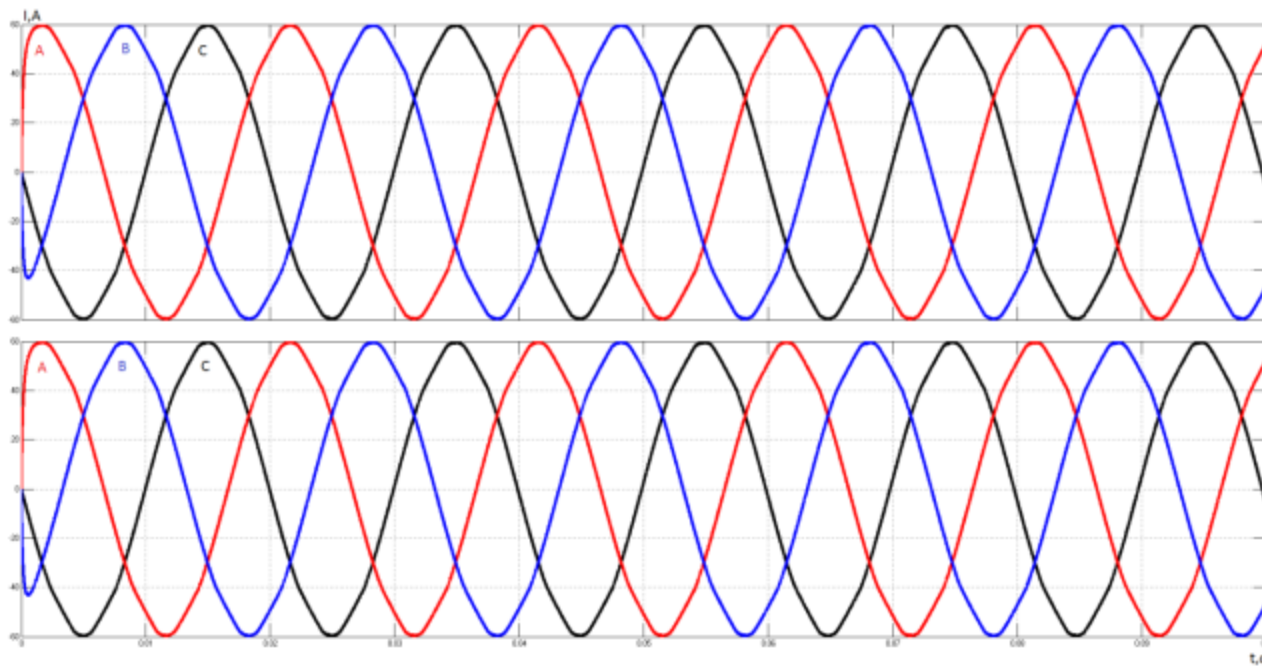


Рисунок 53 – Токи инвертора и нагрузки в режиме ведущего

Напряжение на нагрузке при работе инвертора в режиме ведущего представлено на рисунке 54.

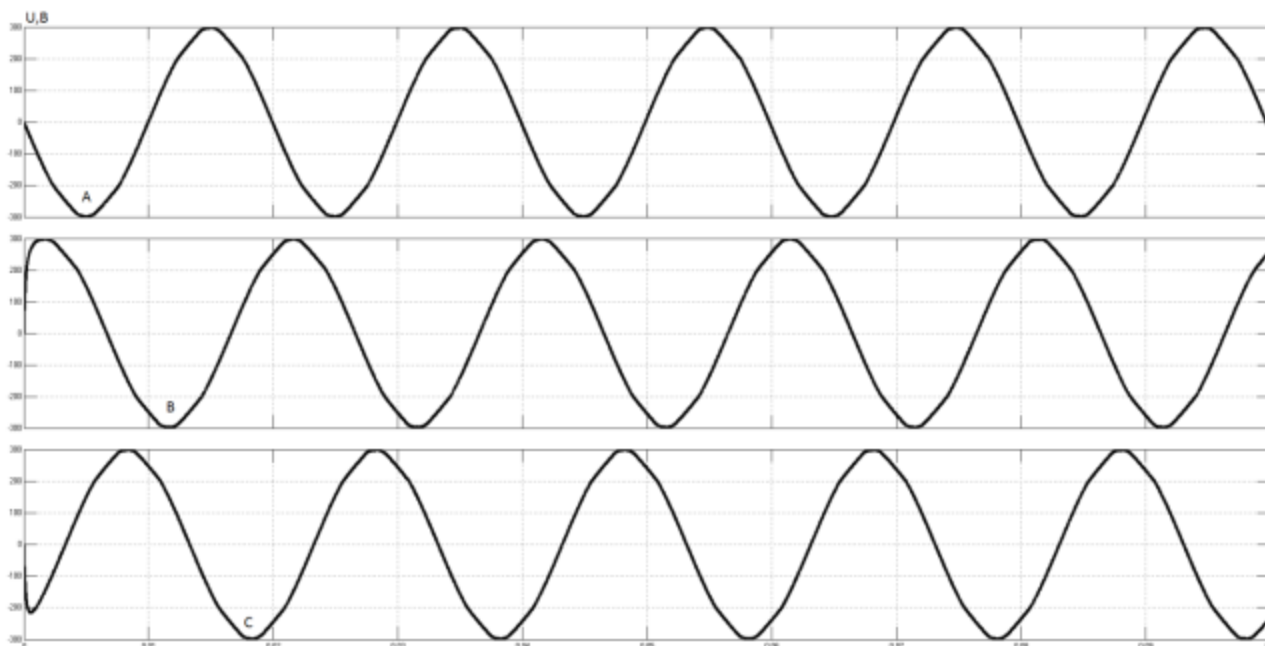


Рисунок 54 – Напряжение на нагрузке в режиме ведущего

3.1.6 Поддержание напряжения с переходом из режима ведущего в режим ведомого

Немного модифицировав блок, осуществляющий синхронизацию с сетью и задание угла для формирования синусов тока, создадим условия для переключения инвертора в режим ведущего в середине моделирования, т.е. в момент времени 0.05 с.

Также установим на выходе генератора Three-Phase Breaker, который бы срабатывал при $t=0.05$ с. Параметры Three-Phase Breaker представлены на рисунке 55.

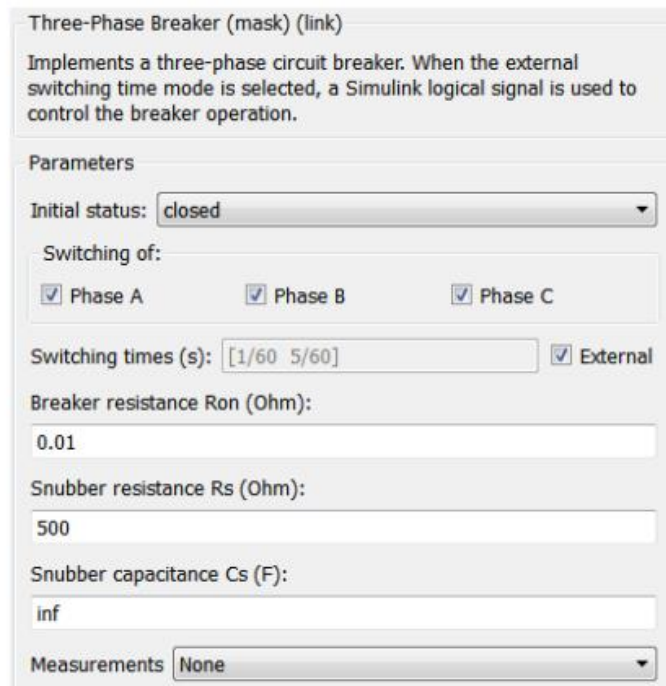


Рисунок 55 – Параметры выключателя

В блоке для синхронизации и задания углов установим осциллограф Scope3 (рисунок 56).

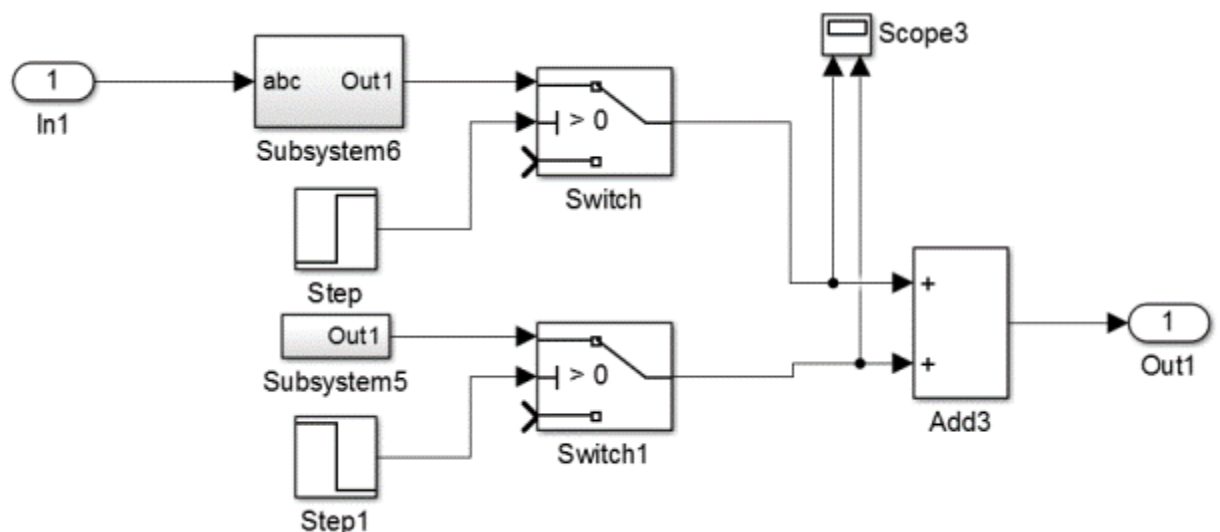


Рисунок 56 – Блок выбора режима работы

Осциллограф позволит наблюдать за режимами работы. В режиме ведомого сетью на втором канале осциллографа мы должны наблюдать 0, а в режиме ведущего значения от 0 до 2π . В режиме ведущего все должно быть наоборот.

На рисунке 57 представлены графики токов инвертора, генератора и нагрузки при переходе из режима ведущего к ведомому.

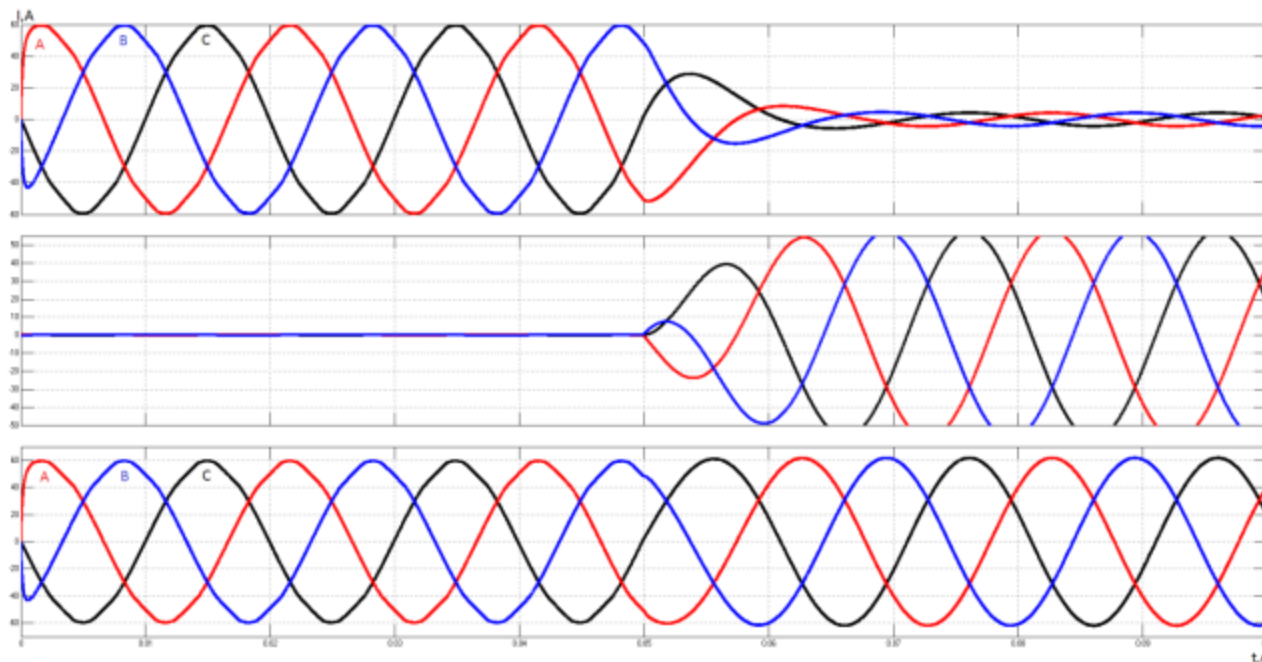


Рисунок 57 – Токи инвертора, генератора и нагрузки при переходе из режима ведущего к ведомому

До 0.05 с генератор не отдавал энергию в сеть, и инвертор работал в режиме ведущего. При включении генератора инвертор уменьшил отдаваемые токи и переключился в режим ведомого, о чем свидетельствуют данные с осциллографа Scope3.

Задание углов режима ведущего и ведомого представлены на рисунке 58.

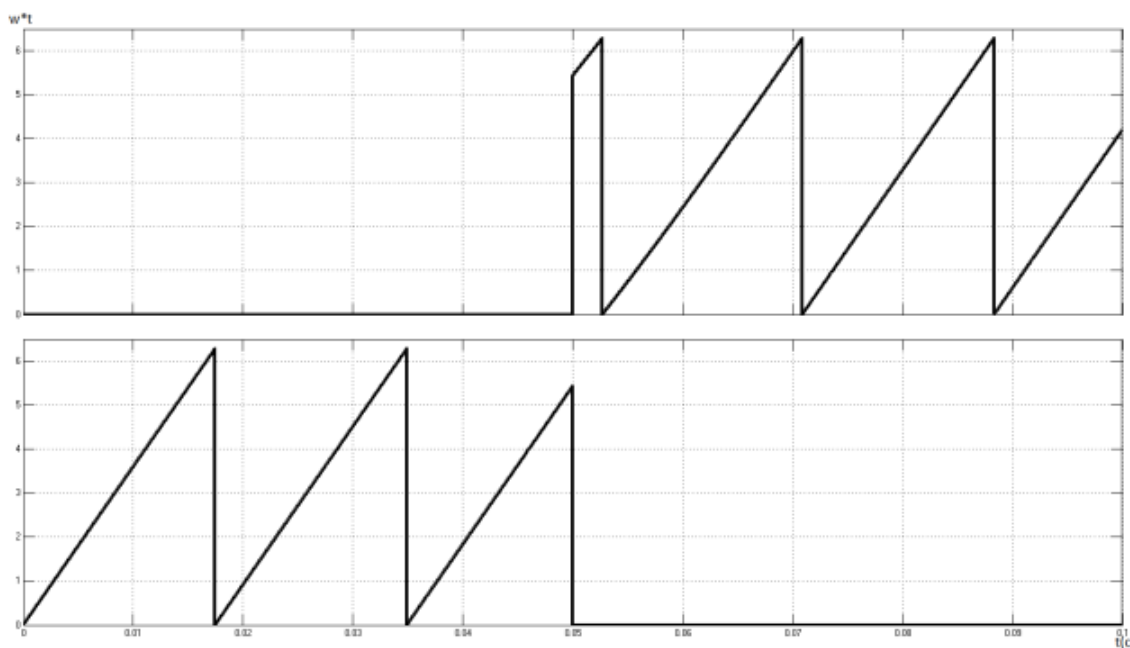


Рисунок 58 – Задание углов режима ведущего и ведомого

Никаких просадок по напряжению на нагрузке в момент переключения не наблюдалось (рисунок 59).

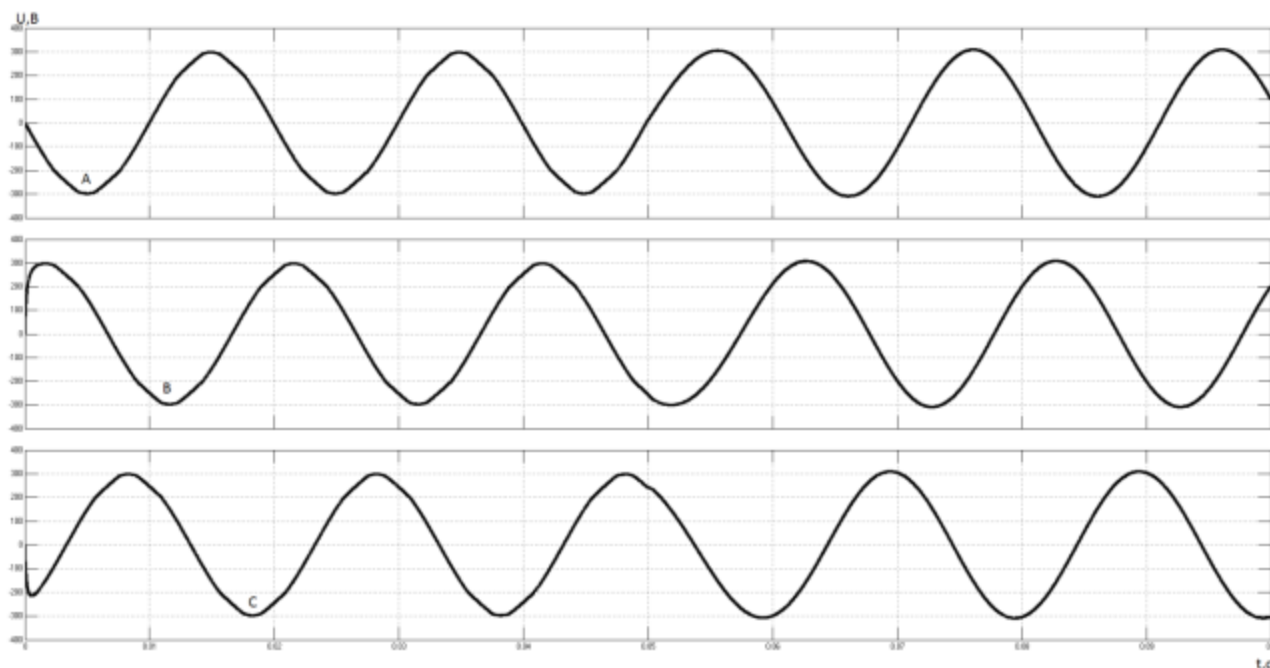


Рисунок 59 – Напряжение на нагрузке при переходе из режима ведущего к ведомому

Данные с АКБ свидетельствуют об уменьшении отдаваемого тока после подключения к нагрузке генератора и, как следствие, о снижении темпа разряда АКБ (рисунок 60).

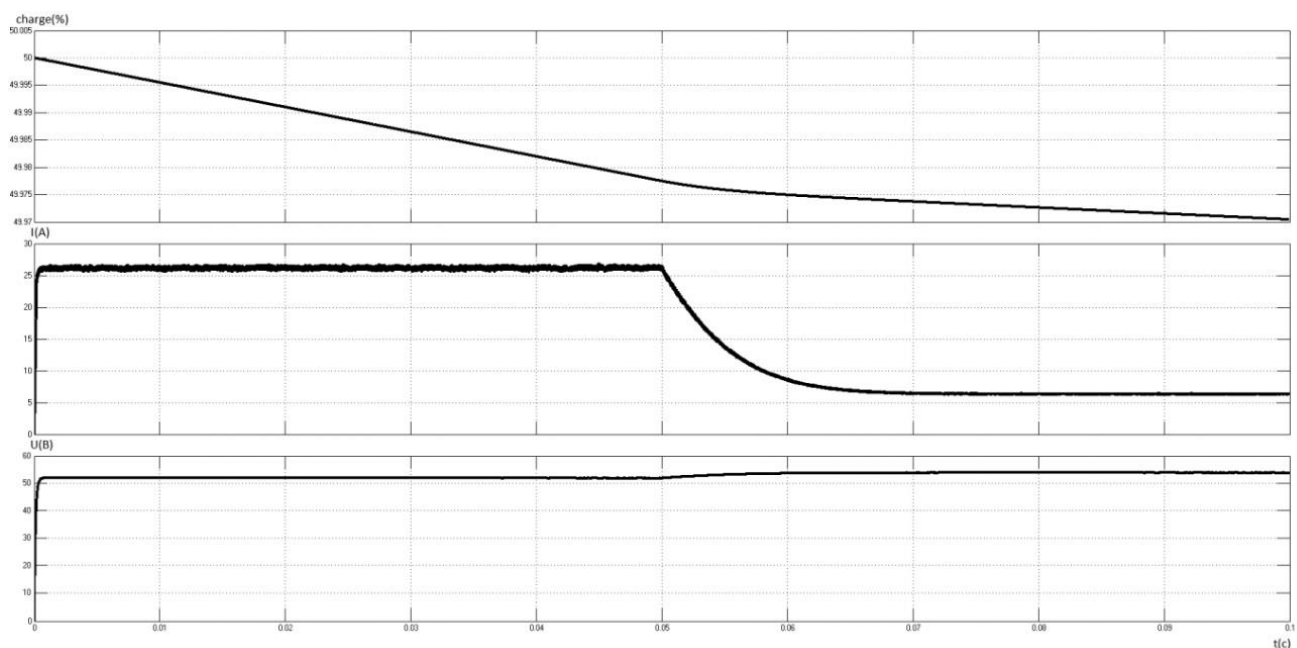


Рисунок 60 – Уровень заряда, ток и напряжение АКБ

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Илюхину Илье Владимировичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/Электроприводы и системы управления электроприводов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость затрат научного исследования (НИ)	Итоговая стоимость затрат на НИ составит 569 006 рублей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов».
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные страховые фонды – 30%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Планирование работ и их временных оценок
2. Разработка устава научно-технического проекта	Смета затрат на проектирование. Смета затрат на оборудование.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Анализ полученных результатов.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Илюхин Илья Владимирович		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Одним из наиболее перспективных направлений повышения энергетической эффективности локальных систем электроснабжения является использование возобновляемых источников энергии и оптимизация режимов работы основного энергетического оборудования. Так как для потребителей электроэнергии децентрализованных зон необходим гарантированный источник питания, наиболее перспективным вариантом построения автономных систем представляются ветровые, ветро-дизельные и ветро-фото-дизельные энергетические установки на базе автономных инверторов напряжения.

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Продукт (результат НИР) – источник электропитания на основе трехфазного инвертора.

Целевой рынок – автономное энергоснабжение малых предприятий и\или домашних хозяйств.

4.1 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду

запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя	Продолжительность, дн
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель 16р. Инженер 10р.	1
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер 10р.	10
Расчеты и проектирование электрической установки	3	Проектирование системы автономного электроснабжения	Инженер 10р.	45
	4	Расчет электрической части	Инженер 10р.	30
	5	Проведение графических построений и обоснований	Инженер 10р., научный руководитель 16р.	3
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер 10р., научный руководитель 16р.	3
Оформление отчета по техническому проектированию	7	Составление пояснительной записки	Инженер 10р.	30
	8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель 16р. Инженер 10р.	3

Всего 125 дней, в том числе НР 10 дней.

НР участвует в проекте 8,0%.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Тк _j , кал.дн	Продолжительность выполнения работ													
				Янв.		Февр.			Март			Апр.			Май		
				1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Инженер, НР	1	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	10	■	■												
3	Проектирование системы автономного электроснабжения	Инженер	45		■	■	■	■									
4	Расчет электрической части	Инженер	30						■	■	■						
5	Проведение графических построений и обоснований	Инженер, НР	3									■	■				
6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, НР	3									■	■				
7	Составление пояснительной записки	Инженер	30										■	■	■		
8	Проверка ВКР	Инженер, НР	3													■	■

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 13 декад, начиная с первой декады января, заканчивая первой декадой мая. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее, по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Календарная продолжительность выполнения технического проекта составит 125 дней. Занятость исполнителей сводится в таблицу 5.

Таблица 5 – Показатели рабочего времени исполнителей проекта

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней работы	10	125

4.2 Смета затрат на проектирование

Смета затрат на проект (K_{III}) включает в себя материальные затраты, амортизацию, затраты на заработную плату, на социальные нужды, прочие и накладные затраты.

$$K_{\text{III}} = K_{\text{mat}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (4.2.1)$$

где K_{mat} – материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$ – затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о.}}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ – накладные затраты.

4.2.1 Материальные затраты

В данной работе материальные затраты принимаем в размере 1000 рублей на канцелярские товары.

4.2.2 Затраты на амортизацию

Так как для работы над магистерской диссертацией используется компьютерная техника, посчитаем ее амортизацию.

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad \text{где} \quad (4.2.2.1)$$

$T_{исп.кт}$ – время использования компьютерной техники (100 дней);

$T_{кал}$ – календарное время (365 дней);

$C_{кт}$ – цена компьютерной техники (25000 руб);

$T_{сл}$ – срок службы компьютерной техники (5 лет).

$$K_{ам} = \frac{100}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1370 \text{ руб.} \quad (4.2.2.2)$$

4.2.3 Затраты на заработную плату

Вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные и стимулирующие выплаты, затраты на заработную плату (для инженера и НР).

$$Kз / пл = ЗП_{инж} + ЗП_{нр} \quad (4.2.3.1)$$

$$ЗП_{мес} = ЗП_о \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ где} \quad (4.2.3.2)$$

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск (1,1 = 10%);

K_2 – районный коэффициент (1,3 = 30%);

$ЗП_о$ – месячный оклад (для профессора 30000 руб, для инженера 17000 руб).

Для научного руководителя:

$$ЗП_{мес} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб.} \quad (4.2.3.3)$$

Для инженера:

$$ЗП_{мес} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.} \quad (4.2.3.4)$$

$$ЗП_{ор} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n, \text{ где} \quad (4.2.3.5)$$

21 – число рабочих дней в месяц;

n – фактическое число дней в проекте.

Для научного руководителя:

$$ЗП_{ор} = \frac{42900}{21} \cdot 10 = 20429 \text{ руб.} \quad (4.2.3.6)$$

Для инженера:

$$ЗПор = \frac{24310}{21} \cdot 125 = 144702 \text{ руб.} \quad (4.2.3.7)$$

$$Кз / нл = 20429 + 144702 = 165131 \text{ руб.} \quad (4.2.3.8)$$

4.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты организации по обязательным и добровольным взносам в органы государственного страхования, пенсионного фонда, фонда медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, занятых в производстве продукции, работ, услуг в непроизводственной сфере в соответствии с порядком, установленным законодательством.

Затраты на социальные нужды берем в размере 30% от $Кз/нл$.

$$Кс.о. = \frac{Кз / нл \cdot 30\%}{100\%} = \frac{165131 \cdot 0,3}{1} = 49539 \text{ руб.} \quad (4.2.4.1)$$

4.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются в размере 10% от $(Кмат + Кам + Кз/нл + Кс.о)$

$$\begin{aligned} Кпр &= \frac{(Кмат + Кам + Кз / нл + Кс.о) \cdot 10\%}{100\%} = \\ &= \frac{(1000 + 1370 + 165131 + 49539) \cdot 0,1}{1} = 21704 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.2.5.1)$$

4.2.6 Накладные затраты

Затраты, не связанные прямо с производством отдельного изделия или вида работы и относимые на весь выпуск продукции. К ним относятся: расходы на содержание, эксплуатацию и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования; отчисления на социальное страхование и другие обязательные платежи; содержание и заработную плату административно-управленческого персонала; расходы, связанные с потерями от брака и простоев и др.

Накладные расходы принимаются в размере 200% от $Кз/нл$.

$$K_{\text{накл}} = \frac{K_{\text{з}} / \text{пл} \cdot 200\%}{100\%} = \frac{165131 \cdot 2}{1} = 330262 \text{ руб.} \quad (4.2.6.1)$$

Сведем полученные результаты в таблицу 6.

Таблица 6 – Смета затрат на проект

№	Элементы затрат	Стоимость, руб.
1	Материальные затраты	1000
2	Амортизация компьютерной техники	1370
3	Затраты на заработную плату	165131
4	Затраты на социальные нужды	49539
5	Прочие затраты	21704
6	Накладные расходы	330262
	Итого:	569006

Смета затрат на проект:

$$K_{\text{III}} = 1000 + 1370 + 165131 + 49539 + 21704 + 330262 = 569006 \text{ руб.} \quad (4.2.6.2)$$

4.3 Смета затрат на оборудование

Все расчеты по приобретению спецоборудования сводятся в таблицу 7.

Таблица 7 – Расчет бюджета на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.
1.	Инвертор	1	20000
2.	Газогенератор	1	400000
3.	Аккумуляторы	20	7000
Итого:			740000

Монтажные работы составляют 20% от стоимости оборудования.

$$M_{\text{раб}} = \frac{C_o \cdot 20\%}{100\%} = \frac{740000 \cdot 20}{100} = 144000 \text{ руб.}, \quad (4.3.1)$$

где,

C_o – общая стоимость оборудования.

4.4 Анализ полученных результатов

В ходе выполненных экспериментов было установлено, что созданная модель полностью справляется с задачами, изложенными в техническом задании.

Были реализованы режимы работы: поддержание напряжения на нагрузке в режиме ведомого, поддержание напряжения на нагрузке в режиме ведущего, подзарядка в режиме ведомого.

При всех режимах работы инвертора на нагрузке наблюдалось стабильное напряжение. При смене инвертором режима работы никаких перепадов не наблюдалось.

Поскольку данная работа по большей части посвящена разработке управляющих алгоритмов для работы двунаправленного инвертора, в ней не рассматривались реализации различных методов заряда аккумуляторных батарей. Однако возможность реализации возможна при создании дополнительных блоков, которые бы работали при отрицательном значении задаваемого тока и управляли бы им в соответствии с методами зарядки аккумуляторов. В том числе вводили бы ограничения на забираемый с нагрузки ток и т.д.

Так же стоит рекомендовать установку резервных аккумуляторов на случай выхода из строя основного аккумулятора, либо для увеличения ёмкости и, как следствие, увеличения возможного времени работы.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Илюхину Илье Владимировичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/ Электроприводы и системы управления электроприводов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Характеристика объекта исследования</i>	<i>Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. Помещение имеет как искусственный, так и естественный источник освещения. Основное рабочее оборудование – ПЭВМ.</i>
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	1) ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Технический регламент по социальной; 2) N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда".

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды</i>	<i>Вредные факторы, возникающие из-за ПЭВМ. - Негативные влияния: электромагнитное и ионизирующее излучения, шум, вибрация.</i>
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды</i>	<i>Установлены удлинители в розетках (эл. сеть перегружена). Физические опасные факторы: электрический ток.</i>
<i>3. Охрана окружающей среды</i>	<i>Бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ.</i>
<i>4. Безопасность в ЧС</i>	<i>Наиболее вероятная ЧС в здании - пожар.</i>
<i>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</i>	<i>Социальные гарантии по компенсации для работника.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Илюхин И.В.		

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Безопасность труда – это система законодательных актов, социально – экономических, организационных, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

К числу вредных производственных факторов относятся: неблагоприятные метеорологические условия, высокие уровни шума и вибрации, электромагнитные и ионизирующие излучения, производственная пыль, механические факторы, которые могут привести к травмированию персонала. К опасным в данном помещении относятся следующие факторы [27]:

5.1.1 Нервно-психические перегрузки. При работе с ПЭВМ опасность представляет излучение монитора, которое может весьма отрицательно сказаться на здоровье человека. Спектр этого излучения - это рентгеновское, инфракрасное, радиоизлучение, а также электростатические поля. Самое опасное из излучений монитора – переменное электрическое поле. От воздействия излучения больше всего страдают глаза, кожа лица, происходит ослабление памяти, психические расстройства, торможение функций кровеносных органов, повышается риск раковых заболеваний;

5.1.2 Недостаточная освещённость рабочей зоны. Недостаточная освещённость рабочей зоны приводит к усталости глаз и снижению мозговой активности. При постоянном воздействии этого фактора развиваются различные болезни глаз. Освещение может быть естественным или искусственным. Естественное освещение осуществляется боковым освещением, поступающим

через окна в наружной стене. Искусственное освещение применяется при недостаточном естественном;

5.1.3 Опасное напряжение в сети. Системный блок и монитор ПЭВМ запитаны напряжением 220 В частотой 50 Гц; и возникает опасность поражения электрическим током. Проходя через организм, электрический ток оказывает термическое, биологическое и электролитическое действия. Это приводит к различным электротравмам;

5.1.4 Повышенный уровень шума. Его источник – компьютер, электродвигатели дымососа и охлаждающие вентиляторы шкафа СУ. Это значительно ослабляет внимание работающего, замедляет скорость психологических реакций, снижает производительность труда, ухудшает качество работы. Шум так же отрицательно влияет на нервную систему, вызывая ухудшение обмена веществ, что может привести к профессиональным заболеваниям;

5.1.5 Повышенная или пониженная температура и влажность воздуха (поверхности оборудования). Такие факторы могут привести к перегреву или переохлаждению организма, что в свою очередь вызовет снижение работоспособности человека.

5.1.6 Нервно-психические перегрузки.

Помещение, его размеры (площадь, объем) должны в первую очередь соответствовать количеству рабочих и размещенному в нем оборудованию. Согласно [28] площадь на одно рабочее место пользователей должна составлять не менее 6 м². Также для обеспечения нормальных условий труда санитарные нормы устанавливают, что на одного рабочего должно приходиться 20 м³ объема воздуха.

Помещение имеет следующие параметры:

- длина помещения 6 м;
- ширина 4 м;
- высота 2,5 м.

Исходя из этих параметров, площадь данного помещения составляет:

$$S = 6 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} = 24 \text{ м}^2; \quad (5.1.6.1)$$

Объем:

$$V = 6 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} \cdot 2,5 \text{ м} = 60 \text{ м}^3. \quad (5.1.6.2)$$

Учитывая, что в офисном помещении работает 2 человека, то на каждого из них приходится по 12 м² площади помещения и по 30 м³ объема воздуха, что соответствует нормам.

В соответствии с [28] в помещениях, оборудованных ПК, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после работы на ПК.

Высота рабочего стола с клавиатурой составлять 0,7 м над полом, а высота экрана над полом – 1 м. Монитор находится от оператора на расстоянии 60 – 70 см на 20° ниже уровня глаз. Пространство для ног 0,7 м высотой и шириной 1,3 м, глубиной не менее 0,5 м. В офисных столах предусмотрена подставка для ног сотрудника шириной 0,3 м с регулировкой угла наклона. Ноги при этом должны быть согнуты под прямым углом.

5.2 Воздух рабочей зоны

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях.

Согласно [29] нормируются следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздушного потока, ПДК вредных веществ.

Эти данные приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Нормируемое качество воздуха

Сезон года	Категория работы	Температура, С°	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	I	20-30	60-40	0,2
	IIa	18-20		0,2
	II б	17-19		0,3
	III	16-18		0,3
Теплый	I	22-25	60-40	0,2
	II a	21-23		0,3
	II б	20-22		0,4
	III	18-21		0,5

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, выполняемая сотрудниками офиса, относится к категории легких работ I.

Параметры микроклимата в зимнее время поддерживаются системой отопления, летом – общеобменной вентиляцией.

5.3 Освещение

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с [30].

Правильно спроектированное и выполненное освещение, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное. Поэтому в соответствии с [30] помещение имеет естественное освещение. Но дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня, а так же зависит от погодных условий.

В данном помещении используют искусственное и естественное освещение, поскольку работа в основном зрительная.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

Помещение имеет размеры: длина $A = 6$ м, ширина $B = 4$ м, высота $H = 2,5$ м. Площадь помещения:

$$S = A \times B = 6 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} = 24 \text{ м}^2. \quad (5.3.1)$$

Рекомендуемая освещенность помещения, при работе с монитором, составляет $E_0=400$ Лк, учитывая коэффициент запаса (загрязнение светильника) $K=1,3$ получаем освещенность в помещении:

$$E = E_0 \cdot K = 400 \cdot 1,3 = 520 \text{ Лк}. \quad (5.3.2)$$

Коэффициент отражения светового потока от потолка, стен и пола соответственно равны: $q_{\text{п}} = 70\%$, $q_{\text{с}} = 50\%$, $q_{\text{з}} = 30\%$. Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$h = H - h_p = 2,5 - 0,8 = 1,7 \text{ м}, \quad (5.3.3)$$

где h_p – высота рабочей поверхности.

Для освещения используются светильники типа ЛБ - 40, для которых оптимальное отношение световых потоков составляет $g = 1,3$. Расчетная длина между двумя рядами светильников:

$$L = g \cdot h = 1,3 \cdot 1,7 = 2,21 \text{ м}. \quad (5.3.4)$$

Число рядов светильников:

$$n = \frac{B}{L} = \frac{4}{2,21} = 1,8 \quad (5.3.5)$$

где B – ширина помещения.

Выбираем $n = 2$ рядов светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{(A+B) \cdot n} = \frac{24}{(6+4) \cdot 2} = 1,2. \quad (5.3.6)$$

Зная коэффициенты отражения световых потоков от потолка, стен, пола в лаборатории, можно определить коэффициент использования светового потока:

$$\eta = \frac{q_i + q_c + q_3}{3} = \frac{70\% + 50\% + 30\%}{3} = 50\% \quad (5.3.7)$$

Световой поток лампы ЛБ - 40 составляет $F_0 = 2500$ Лм. Тогда световой поток светильника, состоящего из двух ламп:

$$F = 2 \cdot F_0 = 2 \cdot 2500 = 5000 \text{ Лм.} \quad (5.3.8)$$

Определим необходимое число светильников в ряду:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Z}{n \cdot F \cdot \eta \cdot \gamma} = \frac{520 \cdot 24 \cdot 1,15}{2 \cdot 5000 \cdot 0,5 \cdot 1} = 2,17, \quad (5.3.9)$$

где $Z = 1,15$ – коэффициент непрерывности;

$\gamma = 1$ – коэффициент затемнения.

Таким образом, примем, что необходимо всего 5 светильников, со схемой их размещения на рисунке 61. При длине светильника $l_{св} = 1,27$ м [31].

Их общая длина составляет:

$$l_{общ} = N \cdot l_{св} = 5 \cdot 1,27 = 6,35 \text{ м.} \quad (5.3.10)$$

Расстояние между светильниками:

$$l = \frac{A - l_{общ}}{N + 1} = \frac{6 - 6,35}{5 + 1} = 0,55 \text{ м.} \quad (5.3.11)$$

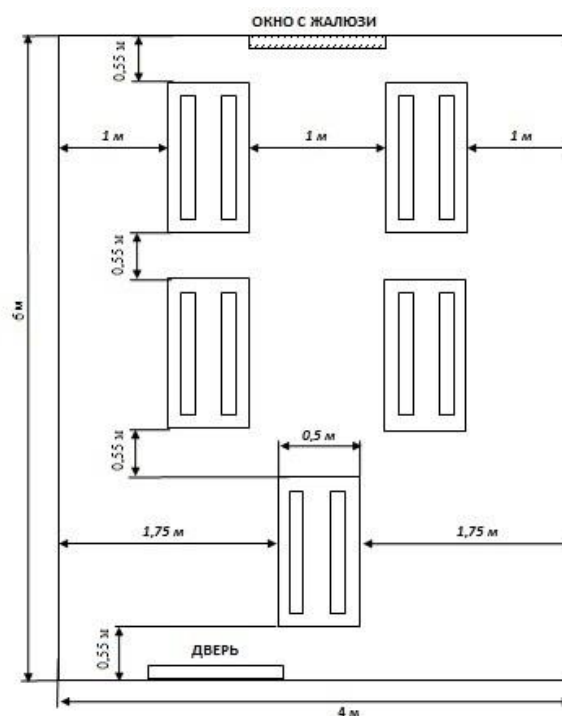


Рисунок 61 – Схема размещения светильников в помещении

5.4 Защита от шума и вибрации

Так же к вредным факторам относится шум. Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха. Для измерения громкости (в децибелах Дб) может быть использован двушкальный шумомер. Громкость выше 140 Дб может вызвать болевой эффект.

Допустимые уровни шума согласно [32] для некоторых рабочих мест приведены в таблице 9, а допустимые уровни виброскорости согласно [33] – в таблице 10.

Таблица 9 – Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	1,5	3	25	50	100	200	500	1000	2000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	6	1	1	4	9	5	2	0	8	50

Таблица 10 – Гигиенические нормы уровней виброскорости

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
В служебных помещениях, конструкторских бюро, лабораториях	–	91	82	76	75	75	75	–	–	–	–

5.5 Состояние воздушной среды

Определяется запыленностью или загазованностью воздуха рабочей зоны. В офисном помещении делается ежедневная влажная уборка, а также отсутствуют источники загрязнения воздушной среды. Концентрации вредных веществ, выделяемых ПК в воздух помещений, не должны превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных для атмосферного воздуха.

Содержание вредных химических веществ в воздухе помещений, предназначенных для использования ПК во всех типах образовательных учреждений, не должно превышать предельно допустимых среднесуточных концентраций для атмосферного воздуха в соответствии с действующими санитарно - эпидемиологическими нормативами. Нормирование содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны согласно [29] представлено в таблице 11.

Таблица 11 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Агрегатное состояние	Класс опасности	Особенности действия на организм
Азота диоксид	2	п	3	0
Акролеин	0,2	п	II	
Алюминий и его сплавы	2	а	III	Ф
Аминопласты (пресс-порошки)	6	а	3	Ф, А
Аммиак	20	п	IV	
Ангидрид серный +	1	а	2	
Ангидрид сернистый +	10	п	3	
Ацетон	200	п	IV	
Бензол +	15/5	п	2	К
Бенз(а)пирен	0,00015	а	1	К
Бензин(растворитель топливный)	100	п	IV	
Водород фтористый (фтор- оводород) (в пересчете на F)	0,5/0,1	п	1	О
Кислота азотная+	2	а	III	
Кислота серная+	1	а	II	
Ксилол	50	п	III	
Марганец в сварочных аэрозолях при его содержании:				
до 20%	0,2	а	II	
от 20 до 30%	0,1	а	II	
Углерода оксид	20	п	4	0

Если в графе «ПДК» приведены две величины, то это означает, что в числителе дана максимальная, а в знаменателе – среднесменная ПДК.

Условные обозначения: п – пары и (или) газы; а – аэрозоль; п + а – смесь паров и аэрозоля; О – вещество с остронаправленным механизмом действия, требующее автоматического контроля за его содержанием в воздухе; + – требуется специальная защита кожи и глаз; А – вещества, способные вызывать аллергические заболевания; К – канцерогены; Ф – аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК): максимально разовых рабочей зоны (ПДКМР.РЗ) и среднесменных рабочей зоны (ПДКСС.РЗ).

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ разнонаправленного действия ПДК остаются такими же, как и при изолированном воздействии.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (по заключению органов государственного санитарного надзора) сумма отношений фактических концентраций каждого из них ($K_1, K_2 \dots K_n$) в воздухе к их ПДК ($ПДК_1, ПДК_2 \dots ПДК_n$) не должна превышать единицы:

$$\frac{K_1}{ПДК_1} + \frac{K_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{K_n}{ПДК_n} \leq 1. \quad (5.5.1)$$

5.6 Оценка уровней электромагнитных полей

Проводится при выполнении ряда работ с компьютерами и прочим электрическим оборудованием.

При работе с компьютером допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) указаны в таблице 12. Они нормируются согласно [28].

Таблица 12 – Допустимые уровни ЭМП

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

5.7 Статическое электричество

Суть электризации заключается в том, что нейтральные тела, не проявляющие в нормальном состоянии электрических свойств, в условиях отрицательного контакта или взаимодействия становятся электростатически заряженными. Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на организм человека, причем не только при непосредственном контакте с зарядом, но и за счет действия электрического поля, возникающем при заряженном поле.

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

Виды воздействий электрического тока на организм человека:

- термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока до критической температуры;
- электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
- механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
- биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает реакцию организма – возбуждение, что и обуславливает непроизвольное сокращение мышц.

При наиболее неблагоприятном исходе воздействие электрического тока может привести к смерти человека.

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является [34].

Для защиты от статического электричества компьютерная и орг. техника в помещении заземлена, а также ежедневно в помещении проводится влажная уборка.

5.8 Безопасность в ЧС

Наиболее вероятная ЧС в здании – пожар. Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно [35] понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Офисное помещение по степени пожароопасности относится к классу П-2а [36], так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для предупреждения возникновения пожара в лаборатории проводятся следующие мероприятия:

1. Курение разрешено только в специально оборудованных местах, где имеются урны;
2. Проходы, и выходы постоянно содержатся в хорошем состоянии, не загромождаются и имеют свободный проход для людей и эвакуации оборудования лаборатории;
3. Спецодежда обслуживающего персонала хранится в специально предназначенном для нее месте;
4. Все лаборатории и другие помещения обеспечены первичными средствами пожаротушения;
5. Работа в лаборатории с легковоспламеняющимися и горючими веществами без наличия приточно-вытяжной вентиляции строго воспрещается;
6. Запрещается в лаборатории оставлять без присмотра включенными приборы и оборудование.

Основные меры защиты от пожара это:

1. Ограничение количества горючих веществ в производственном помещении, изоляция (герметизация) горючей среды.
2. Устранение возможных источников зажигания: электрических искр, нагрева оболочек оборудования, искр от удара инструмента, статического электричества и т. п.
3. Применение конструкций зданий, в том числе стен, колонн, перекрытий и т. п., определенной огнестойкости (например, в течение 0,25—2,5 ч) и горючести (несгораемые, трудносгораемые, сгораемые). Применение огнестойких покрытий конструкций в помещениях (окраска, облицовка, специальная пропитка).
4. Устройство противопожарных преград, противодымной защиты.
5. Устройство путей эвакуации людей в случае пожара.
6. Пожарная охрана и сигнализация.

5.9 Охрана окружающей среды

Компьютерные комплектующие содержат компоненты, которые представляют угрозу для окружающей среды (свинец, цинк, никель, щелочи).

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке [37].

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.
- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

В-третьих, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик,

пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом, утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1. Мониторы с электронно-лучевыми трубками необходимо сдать для переработки в ближайший специализированный центр переработки или передать его изготовителю для дальнейшего рециклинга.

2. Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.

3. Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники [38].

5.10 Требования безопасности при работе с персональным компьютером

При работе с ПЭВМ следует соблюдать следующие меры безопасности, которые соответствуют [28]:

- к работе допускаются лица прошедшие специальное обучение;
- корпус компьютера должен быть обязательно заземлен;
- недопустимо оставлять компьютер включенным без присмотра (за исключением специально оговоренных случаев);
- оснащать мониторы персональных компьютеров прозрачными защитными экранами, которые поглощают большую часть вредных излучений. Это такие поля как: электромагнитное, ионизирующее.

Важным защитным мероприятием также является установление режима труда и отдыха. Утомляемость, воздействие электромагнитных и ионизирующих излучений можно существенно снизить, если соблюдать некоторые рекомендации

при работе с компьютером. Во-первых, не рекомендуется работать за компьютером более шести часов в день. Во-вторых, каждый час необходимо делать перерывы на 5-10 минут, а после четырех часов работы за компьютером, необходимо сделать перерыв на обед длительностью не менее часа.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Снижению психофизических и нервно-эмоциональных нагрузок способствует правильная организация рабочего места [40].

5.11 Социальные гарантии для работника

Социальные гарантии - это социально-экономические нормативы, гарантирующие населению признанный обществом уровень потребления, то есть обеспечивающие минимальный стандарт уровня жизни в соответствии с возможностями экономики.

Система социальных гарантий должна удовлетворять следующим требованиям:

- необходимый и достаточный объем;
- обеспеченность финансовыми и материальными ресурсами;
- адресность;
- учет территориальных особенностей;
- механизм доведения до получателя.

Социальные гарантии могут быть общенациональными, региональными, отраслевыми, а источниками их финансирования — федеральный бюджет, бюджетная система субъекта Российской Федерации и внебюджетные фонды. Социальные гарантии обеспечиваются гражданам страны в соответствии с Конституцией.

В отношении трудоспособного населения социальные гарантии должны обеспечивать условия трудовой и деловой активности, защиту прав и свобод наемного работника, нанимателя.

Для основной части населения наемный труд является главным источником средств существования, поэтому система социальной защиты трудоспособного населения должна обеспечивать гарантии в сфере занятости и оплаты труда. Для этого государством устанавливается минимальная оплата труда. В большинстве стран устанавливается минимальная часовая зарплата.

Социальные гарантии в отношении нетрудоспособного населения должны создавать условия для его потребления, учитывая особенности каждой группы.

Поступления из системы социальной защиты делят на три группы:

- денежные выплаты (пенсии, пособия);
- льготы, проявляющиеся в праве на снижение налогов, получение трансфертов в натуральной форме;
- социальные услуги, потребляемые бесплатно или по ценам, не имеющим экономического значения.

Социальные гарантии выполняют различные функции:

- алиментарно-компенсационную, которая обеспечивает поддержание потребления на определенном уровне;
- защитную, которая обеспечивает сохранение условий труда и проживания;
- стимулирующую, которая стимулирует получателя на рост трудовой и деловой активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненных экспериментов было установлено, что созданная модель полностью справляется с задачами, изложенными в техническом задании.

В первой главе осуществлен поиск патентов на полезные модели автономных трехфазных инверторов напряжения. На основе рассмотренных вариантов, выбрана структура преобразователя для дальнейшей работы. Также рассмотрен принцип работы трехфазного автономного инвертора напряжения.

Во второй главе магистерской диссертации проведено математическое моделирование работы преобразователя и расчёт его параметров. Проведено имитационное моделирование.

В третьей главе были реализованы режимы работы: поддержание напряжения на нагрузке в режиме ведомого, поддержание напряжения на нагрузке в режиме ведущего, подзарядка в режиме ведомого.

При всех режимах работы инвертора на нагрузке наблюдалось стабильное напряжение. При смене инвертором режима работы никаких перепадов не наблюдалось.

Поскольку данная работа по большей части посвящена разработке управляющих алгоритмов для работы двунаправленного инвертора, в ней не рассматривались реализации различных методов заряда аккумуляторных батарей. Однако возможность реализации возможна при создании дополнительных блоков, которые бы работали при отрицательном значении задаваемого тока и управляли бы им в соответствии с методами зарядки аккумуляторов. В том числе вводили бы ограничения на забираемый с нагрузки ток и т.д.

Так же стоит рекомендовать установку резервных аккумуляторов на случай выхода из строя основного аккумулятора, либо для увеличения ёмкости и, как следствие, увеличения возможного времени работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обухов С.Г., Плотников И. А. Сравнительный анализ схем построения автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики. – Томск: из-во ТПУ, 2013. – 10с.
2. Богданов Е.П. Электрические аппараты преобразователей энергии: методические указания. – Томск: из-во ТПУ, 2007. – 90с.
3. Устройство бесперебойного электропитания многоканальное стабилизирующее [Электронный ресурс]: АО «РИПС» [Офиц. сайт]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://bd.patent.su/2221000-2221999/pat/servlet/servlet785e.html>, свободный. – Загл. с экрана
4. Зарядно-разрядный преобразователь ЗРП-150/50 [Электронный ресурс]: ОАО «Блеск-НВФ» [Офиц. сайт]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.blesknvf.chat.ru/productions.htm#Зарядно-разрядный преобразователь ЗРП-150/50>, свободный. – Загл. с экрана
5. Двухкаскадный преобразователь напряжения с интеллектуальной защитой от режимов перегрузки и токов коротких замыканий [Электронный ресурс]: АО «ННТП» [Офиц. сайт]. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.ntpo.com/patents_electricity/electricity_7/electricity_1333.shtml, свободный. – Загл. с экрана
6. Реверсивный преобразователь напряжения для передачи электроэнергии между сетями переменного и постоянного тока [Электронный ресурс]: АО «РИПС» [Офиц. сайт]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://bd.patent.su/2343000-2343999/pat/servlet/servletdcca.html>, свободный. – Загл. с экрана
7. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: учеб. Пособие для вузов / О.З.Попков. 2-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 200с.
8. Розанов Ю.К. Основы силовой электроники / Ю.К.Розанов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296с.

9. Кулик В.Д. Силовая электроника. Автономные инверторы, активные преобразователи: учебное пособие / В.Д.Кулик. – ГОУВПО СПбГТУРП. – СПб., 2010. – 90с
10. Андриянов А.И. Транзисторные преобразователи напряжения: анализ и расчет: учеб. пособие / А.И.Андриянов. – Брянск: БГТУ, 2010. – 262с.
11. Кобзев А.В., Коновалов Б.И., Семенов В.Д. Энергетическая электроника: учеб. пособие. / А.В. Кобзев, Б.И. Коновалов, В.Д. Семенов. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2010. – 164с.
12. Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Музыченко Н.М. Модуляционные источники питания РЭА / А.В.Кобзев, Г.Я.Михальченко, Н.М.Музыченко. – Томск: Радио и связь, Томский отдел, 1990. – 336с.
13. Михальченко Г.Я., Михальченко С.Г. Математические модели импульсных систем преобразования энергии / Г.Я.Михальченко, С.Г.Михальченко. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. И радиоэлектроники, 2013. – 160с.
14. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника / В.И.Мелешин. – М.: Техносфера, 2005. – 632с.
15. Берёзин О.К. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры / О.К.Берёзин. – М.: «Три Л», 2000. – 400с
16. Семенов Б.Ю. Силовая электроника от простого к сложному / Б.Ю.Семенов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.
17. Браун М. Источники питания. Расчёт и конструирование / М.Браун. Пер. с англ. – К.: МК – Пресс, 2007. – 288с.
18. Розанов Ю.К. Силовая электроника в системах с нетрадиционными источниками электроэнергии, 2002. – № 3.
19. Амерханов Р.А. Проектирование систем энергообеспечения: Учебник для студентов вузов, М.: Энергоатомиздат, 2010. – 548 с.
20. Виссарионов В.И. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, М.: 2004. – 448 с.

21. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С.Г.Герман-Галкин – СПб.: Корона-Век, 2008. – 368с.
22. Бернас С. Математическое моделирование элементов электроэнергетических систем, М.: Энергоатомиздат, 1982. – 312 с.
23. Креймер А.С. Материалы научной конференции «Энергосберегающие технологии и процессы в АПК» / Использование аккумулирующих систем на ветроэлектростанциях, Краснодар, 2000. – с.47-48.
24. Хрусталева Д. А. Аккумуляторы. — М.: Изумруд, 2003 – 224 с.
25. Волков Э.П., Баринов В.А., Маневич А.С. Проблемы и перспективы развития электроэнергетики России / Э.П. Волков, В.А. Баринов, А.С. Маневич. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 432 с.
26. Автономное энергоснабжение загородного дома [Электронный ресурс]: Компания «МикроАрт» [Официальный сайт]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.invertor.ru/solbat.html>, свободный. – Загл. с экрана.
27. Крепша Н.В., Свиридов Ю.В. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. – метод. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 145 с.
28. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
29. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
31. Федосова В.Д. Расчет искусственного освещения: Методич. указания. – Томск: Изд – во ТПУ, 1991. – 23 с.
32. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
33. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность.
34. ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.
35. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.
36. Правила электроустановок ПУЭ.

37. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. / М.: Высшая школа, 1991. – 128с.
38. Как утилизировать бытовую технику и электронику – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.ecorb.ru/70>
39. ГОСТ 12.1.010 – 76. Основы противопожарной защиты предприятий.
40. Эргономика рабочего места пользователя ПЭВМ – [Электронный ресурс] – режим доступа: http://bgd.alpud.ru/private/glava4/V_4_A_gigienan.htm

Приложение А

A power supply system based on a three-phase inverter

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Илюхин Илья Владимирович		

Консультант кафедры ЭПЭО

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Краснов Иван Юрьевич	к.т.н.		

Консультант кафедры ИЯ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пташкин Александр Сергеевич	к.ф.н.		

Introduction

The main part of low power plants in Russia amount gas or diesel generators and power plants based on them. As sources of electric power of autonomous power supply systems, they have obvious advantages and significant disadvantages, the main ones of which include a large consumption of organic fuel and pollution of the environment. At the same time, they do not have a full replacement by other power systems.

One of the most promising things for improving the energy efficiency of local power supply systems is the use of renewable energy sources and optimization of the operating modes. Wind, wind-diesel and wind-solar-diesel power plants are the most promising option for building autonomous systems.

The main disadvantage of wind turbines is the lack of wind speed necessary for normal operation. In such situations, the power given to the consumer significantly decreases. Diesel generators allows to compensate power level.

There are some situations when the launching of the diesel generator does not occur immediately and a during this time interval the whole system is practically not workable. To get rid of this problem, power system including battery packs and voltage converters. In normal operation mode, at low power consumption, the battery pack is charged, and in the event of any emergencies, it gives the accumulated charge until the diesel generator is turned on.

The purpose of this research is to simulate the operation of a power system which includes a gas or diesel generator (a power source), a battery and an autonomous voltage inverter.

The power source generates a three-phase voltage of 380V (50Hz). If system has a lot of power, autonomous voltage inverter starts to charge the battery until the charge level get 90% (after that an overcurrent occurs on the discharge resistor). If the diesel generator can not provide the required power on the load, inverter starts to provides power to the load in the slave mode, using the battery. When the generator is off, inverter provides the power on the load in the master mode, when the generator is turned on,

inverter start working in slave mode.

This voltage converter automatically reverses to enable the transmission of electricity from the AC network to the DC network and vice versa. This increases the life of the battery and providing power back to the AC network.

Three Phase Voltage Source Inverters

Power electronic devices are playing a significant role in different aspects of electrical systems and their applications, and they have gone through several improvement phases in the last decades in terms of their features and applications. One of the important power circuits, which can be found in many applications, is the power inverter, which converts the DC waveform to an AC waveform.

DC-AC inverters are widely used in industry, for example, as uninterruptible power supplies, static frequency changes and AC motor drives. Nowadays, inverters are playing important roles in renewable energy systems, because they are used to link a solar or wind system to a power grid. The DC-AC inverters a nonlinear, specifically piecewise smooth system, which usually operate by a pulse width modulated way.

Inverters, referring to the type of the supply source and topology relationship of the power circuit, are divided into two types: voltage source inverters (VSIs) and current source inverters (CSIs).

Furthermore, the power inverter can produce different types of output wave form such as square wave, modified sine wave, and pure sine wave signal. These signal outputs represent different qualities of power output. Square wave inverters result in uneven power delivery that is not efficient for running most devices. Square wave inverters were the first types of inverters made and are obsolete. Modified sine wave inverters deliver power that is consistent and efficient enough to run most devices fine. Some sensitive equipment requires a sine wave signal, like certain medical equipment and variable speed or rechargeable tools. Modified sine wave signal or quasi-sine wave inverters were the second generation of power inverter. These popular types of inverters represent a compromise between the low harmonics (a measure of waveform quality) of a true sine wave inverter and the higher cost and lower efficiency of a true sine wave inverter. Modified sine wave inverters approximate a sine wave and have low enough harmonics that they do not cause problems with household equipment. They run stereos, induction motors (including capacitor start), universal motors, computers, microwave,

TVs and more quite well. The main disadvantage of a modified sine wave inverter is that the peak voltage varies with the battery voltage. Inexpensive electronic devices with no regulation of their power supply may behave erratically when the direct current voltage fluctuates. True sine wave inverters represent the latest inverter technology. The waveform produced by these inverters is the same as or better than the power delivered by the utility. Harmonics are virtually eliminated and all appliances operate properly with this type of inverter. They are, however, significantly more expensive than their modified sine wave.

Voltage Source Inverters especially three phase, are widely utilized to drive AC motors with high motion control quality and energy efficiency, to provide clean current waveform and regenerative operation in AC-DC power converter applications, and to supply high quality AC power in uninterruptible power supply systems as AC-DC-AC power converter units. [5]

Pulse Width Modulation (PWM) is the standard approach to operate the inverter switches in order to generate the required high quality output voltages. However, there is a large variety of PWM methods that exhibit unique performance characteristics and the choice and utilization of a specific PWM method among many is not a simple task. The tremendous amount of the literature published on PWM mostly involves the standard Continuous PWM (CPWM) methods such as the Sine PWM (SPWM) and Space Vector PWM (SVPWM).

The AC output voltage produced by the voltage source inverter shown in Figure A.1.

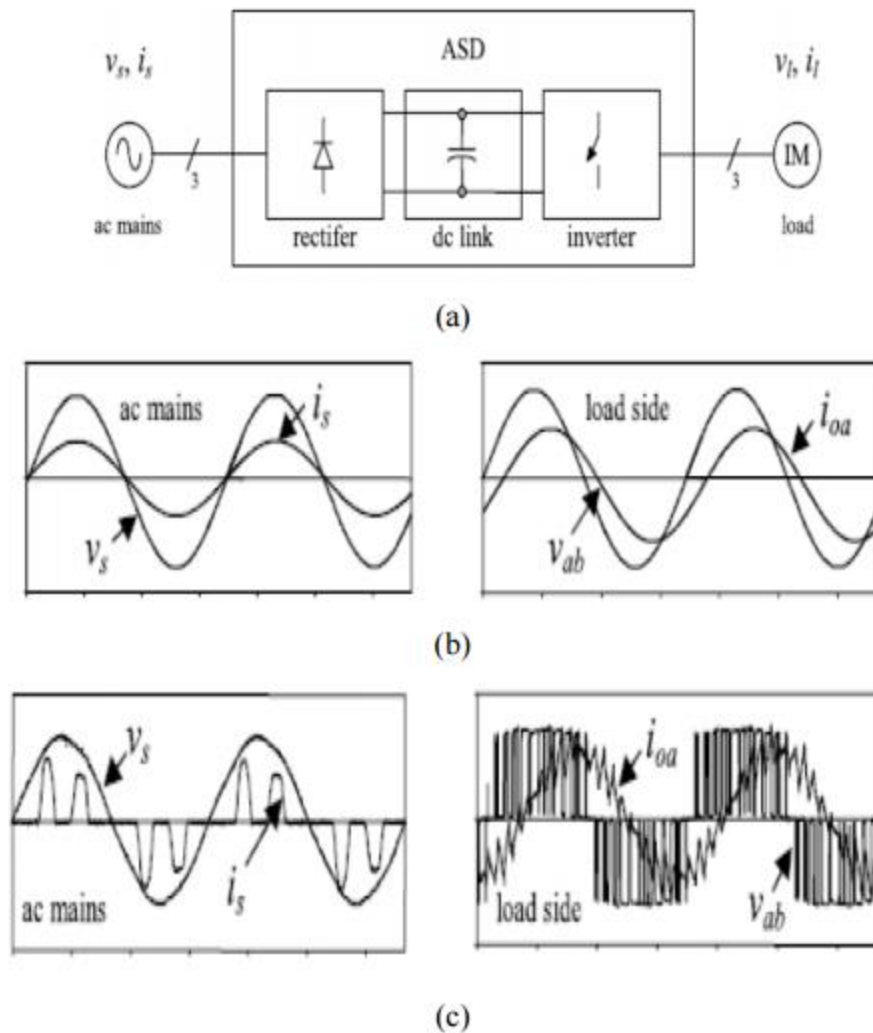


Figure A.1 – (a) the electrical power conversion topology; (b) the ideal input and output waveforms; (c) the actual input and output waveforms

The system operates by modulation, which controls the amount of time and sequence of switching the power valves on and off. Single-phase VSI is used in systems with low power consumption, and three-phase VSI in medium and high power systems. The main purpose of these topologies is to create a three-phase voltage source in which the amplitude, phase and frequency of the voltages should always be monitored [1].

The standard three-phase topology of VSI is shown in Figure A.2.

As with single-phase VSI, the switches of any branch of the inverter can not be turned on at the same time, as this can lead to a short circuit to the DC voltage. Similarly, to avoid undefined conditions in the VSI and thus undefined output voltages on the AC

line, the switches of any branch of the inverter can not be turned off at the same time, as this will result in voltages that will depend on the corresponding polarity of the line current [2].

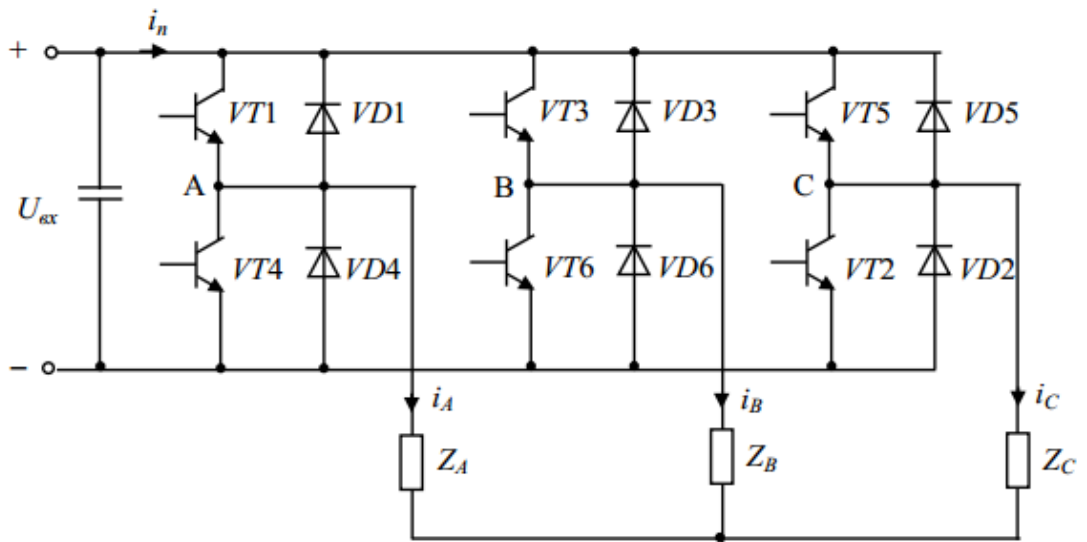


Figure A.2 – Three-phase VSI topology

Pulse Width Modulation

Nowadays, pulse-width modulation is widely used in modern electric drives. These PWM-based drives are used to control both the frequency and the magnitude of the voltages applied to the motors.

Many PWM strategies, control schemes, and realization techniques have been developed nowadays. PWM strategy plays an important role in the minimization of harmonics and switching losses in converters, especially in three-phase applications. The research in PWM schemes has intensified in the last few decades. The purpose of using PWM is to obtain a variable output signal with a maximum fundamental component and minimum harmonics.

Figure A.3 illustrates principle of pulse width modulation.

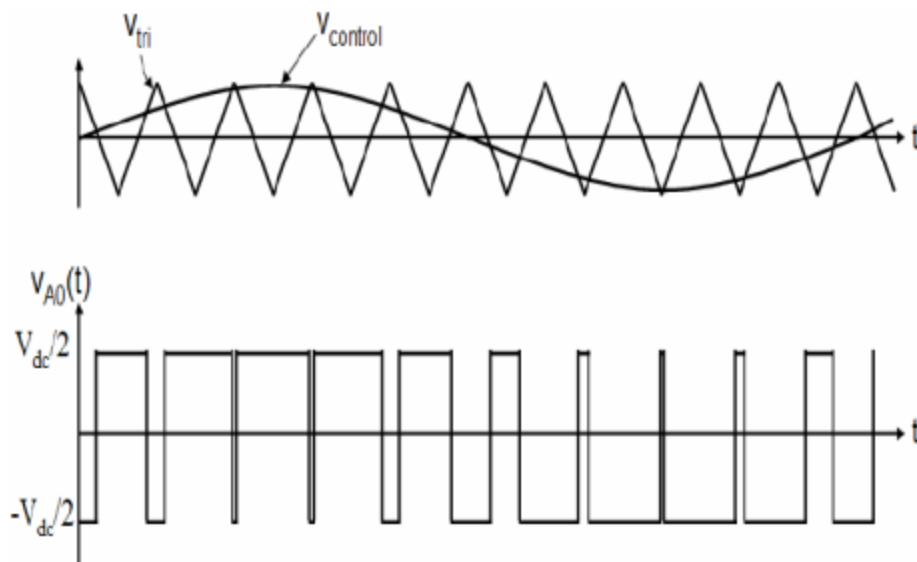
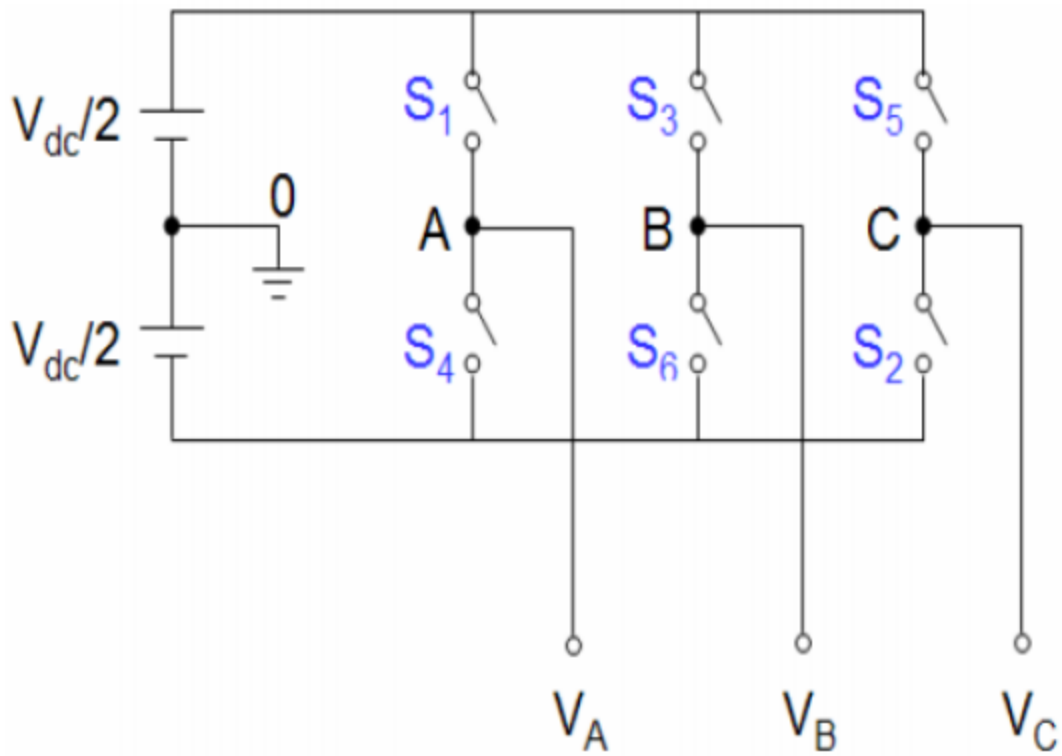


Figure A.3 – Pulse width modulation signal (PWM)

Basic Operation of Three Phases PWM Figure A.4 shows circuit model of three-phase PWM inverter and Figure A.5 shows waveforms of carrier wave signal (V_{tri}) and control signal ($V_{control}$), inverter output line to neutral voltage (V_{A0}, V_{B0}, V_{C0}), inverter output line to line voltages (V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}), respectively [3].



Figure

A.4 – Three-phase PWM inverter

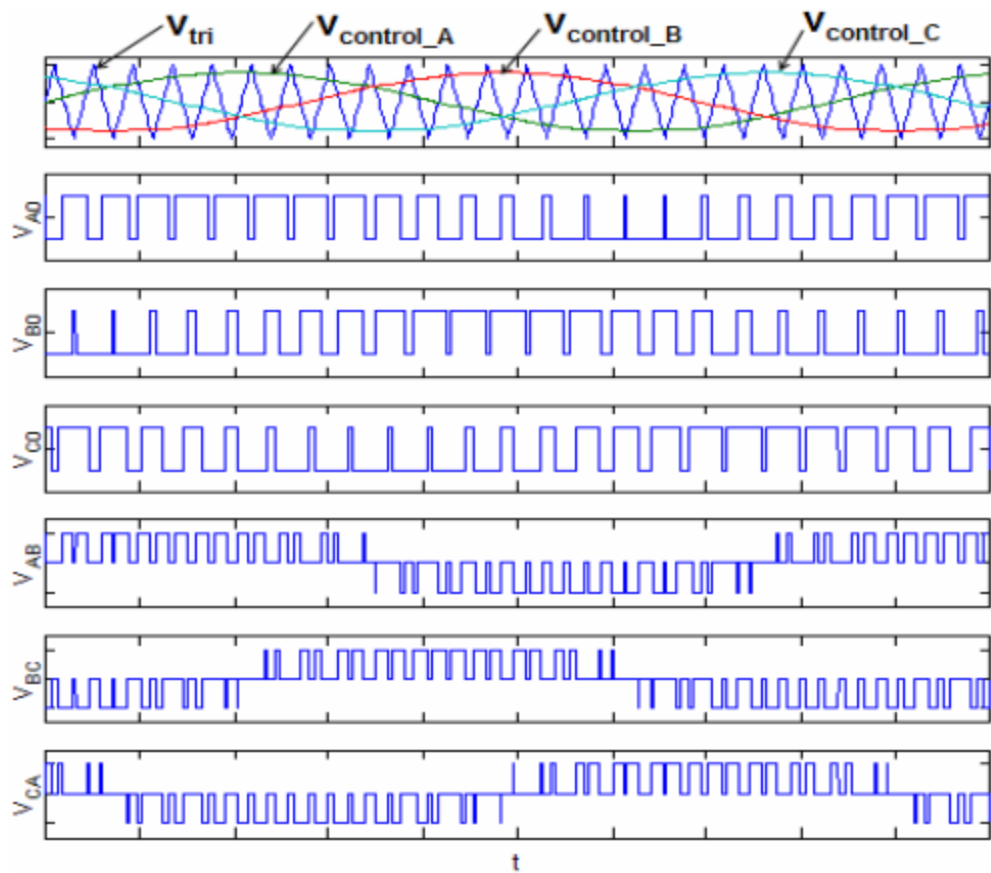


Figure A.5 – Three-phase Single layer PWM inverter

Unipolar and bipolar modulation

There are two types of pulse width modulation:

1. Unipolar PWM;
2. Bipolar PWM.

With unipolar PWM, the output voltage is formed from a sequence of unipolar pulses at the half-period of the low-frequency component of the output voltage. In this case, during the formation of the pulse, the control system must provide an open state of two key elements disposed in relation to the load.

To form a pause with active-inductive load, the control circuit must ensure that the load current flows through two valves that connect the load to one of the power supply buses.

A unipolar PWM is filled with pulses of opposite polarity with a bipolar PWM pause. With this method of forming the output voltage, two diagonally disposed valves are always open. In this case, the supply voltage is always applied to the supply voltage of a constant-voltage source E_d with one or another polarity.

Harmonic analysis shows that the voltage spectrum for a unipolar PWM is better than the voltage spectrum for a bipolar PWM [4].

Unipolar and bipolar modulations are shown in Figure A.6.

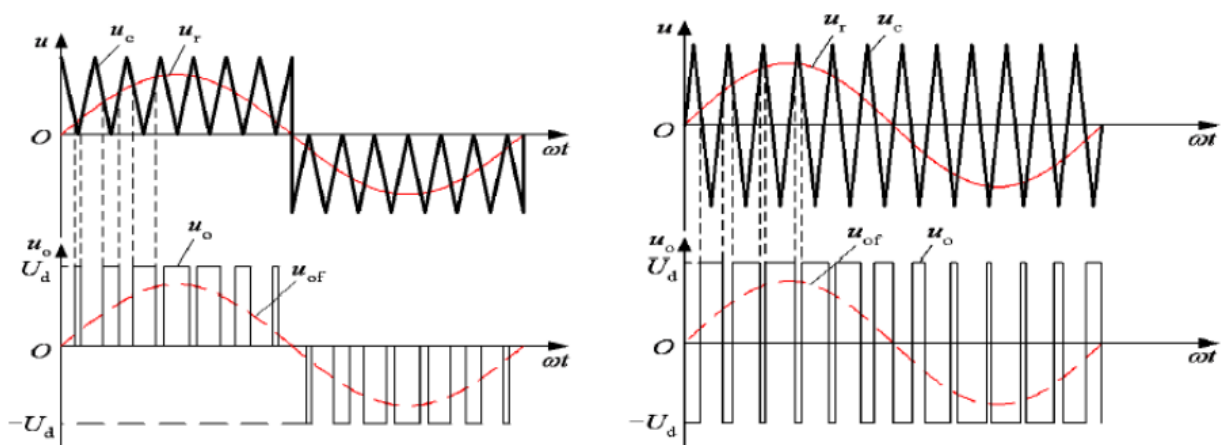


Figure A.6 – Unipolar and bipolar modulation

Common Mode Voltage in Multilevel Inverter

With the widespread use of the high-voltage and high power AC variable frequency driving system and the fast development of flexible ac transmission systems (FACTS), such as HVDC transmission, reactive power compensation, active power filter, the multi-level inverters have caused wide concern for the researchers.

However, highvoltage high-power multi-level inverters also have accursed the severe common-mode voltage problem. Common-mode voltage has some disadvantages, for example, damaging the motor winding insulation systems, causing electromagnetic interference (EMI), causing the bearing current to fasten the bearing damage and accelerate transmission cables ageing. To resolve the issue of the EMI, many domestic and alien scholars have reported some effective method to suppress or cancel the common-mode voltage for the multilevel inverter. They are mainly classified as: isolation transformer blocking method, common-mode voltage passive filter, common-mode voltage active filter and improved PWM control strategies.

The isolation transformer blocking method is not an economically feasible way because the isolation transformer has the disadvantage of high cost, low efficiency, large size and large weight. For the passive common-mode voltage filter, it will be difficult to meet the requirements when frequency characteristics of the differential mode filter and common mode filter are different because their equivalent circuits are the same. And the common-mode voltage active filter, which is usually emitter follower structure, limits its application in the high voltage field.

Multilevel inverters have been found wide spread acceptability in medium and high voltage applications. Multilevel inverters have the advantage of producing high voltage high power with improved power quality of the supply. It also eliminates the use of the problematic series-parallel connections of switching devices. However, multilevel PWM inverters generate common mode voltages as in the case of conventional 2-level inverters. The problem of common mode voltage generation in multilevel inverters has been studied extensively during last decade.

Common mode voltages are generated due to the shaft voltages, circulating

leakage currents through parasitic capacitance between motor windings, rotor and frame. So the number of current spikes and magnitude of common mode voltage is determined by dv/dt and number of commutations. Several methods have been suggested to solve this problem. Some methods are based on additional circuit like filters or use advanced modulation strategies avoiding the generation of common mode voltages. But, these methods work at higher switching frequency, thus increasing the losses. Various multilevel inverter control techniques, using sine-triangle comparison, for harmonic reduction have been reviewed in. But the issue of common mode voltage control was not covered. Opportunities of harmonic reduction in cascaded multilevel inverters were investigated in using carrier based PWM techniques.

Conventional multilevel SPWM techniques generate a significant amount of common mode voltage which may be around the DC voltage level. Another problem which NPC inverter faces was the neutral point potential (NPP) variation due to voltage unbalancing between two capacitors. Due to the variation in NPP, excessive high voltages may be applied across switching devices. Several methods have been investigated to control the NPP variation and neutral point current. A neutral point voltage regulator has been modelled and designed in [3].

Figure A.7 is the circuit for three-phase three-level diode-clamped inverter.

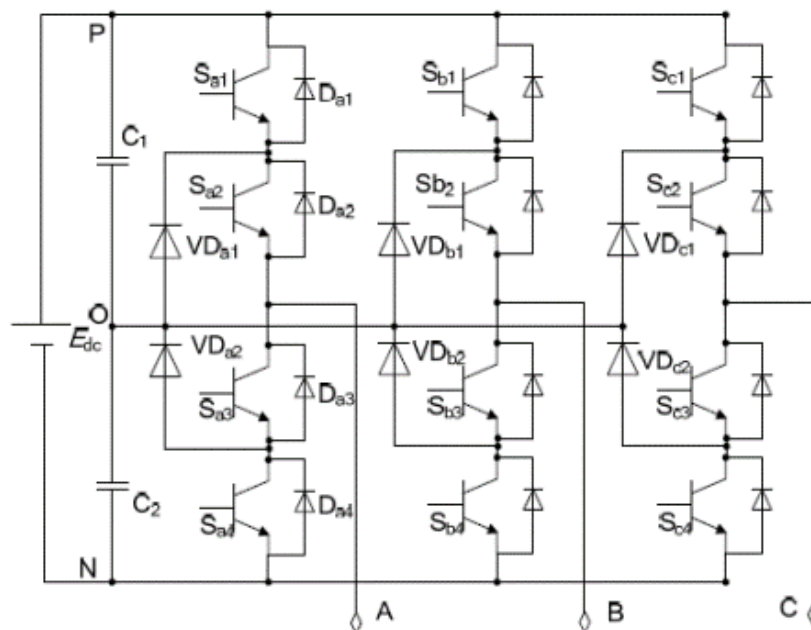


Figure A.7 – Three-level diode-clamped inverter

Where P is the positive point of DC bus, N is the negative point and O is the neutral point. Each phase of the three-level inverter (taking phase-A as an example) consists of two DC voltage dividing capacitor $C1 = C2$, four main switches (Sa1-Sa4), four antiparallel diodes (Da1-Da4) and two clamped diodes (VDa1-VDa2). Each power switching devices bears 1/2 times of DC voltage ($E_{dc}/2$). Comparing with the traditional two-level inverter, diode-clamped three-level inverter has the advantage of low electromagnetic interference, low du/dt , low switching losses, and high system reliability so on.

Battery

Modern batteries are characterized by the energy capacity, time of service life, installation requirements, the degree of self-discharge and operating costs. Nickel-cadmium batteries are the classic ones. Therefore, we will take them as a standard, regarding which we will consider the pros and cons of other types of batteries.

Nickel-cadmium batteries (NiCd) have been used for a long time, but have a relatively low energy density.

They provide a long service life, high discharge current values and, importantly, reasonable prices. The main area of their application is radio stations, biological and medical equipment, professional video cameras and power tools. Nickel-cadmium batteries contain toxic substances and represent a danger to the environment.

Nickel-metal hydride rechargeable batteries (NiMH) have an energy capacity higher than nickel-cadmium batteries, but also a shorter service life. They do not contain toxic substances. Applied in mobile phones and laptops.

Lead-acid batteries (SLA, VRLA, SLI) are most advantageous when used in power-intensive applications, where the issue of their weight does not matter. They are best suited for use in hospital equipment, wheelchairs, emergency lighting systems and uninterruptible power supplies, in automotive engineering.

Lithium-ion rechargeable batteries (Li-Ion) are best suited for applications that require high battery capacity and at the same time impose strict requirements on their weight. They have a very high energy capacity and low weight - the most important advantages of any rechargeable batteries. However, this requires strict adherence to the rules of operation and safety. Used in laptops and mobile phones.

Lithium polymer batteries represent a cheaper version of lithium-ion batteries: the principle of their operation is based on the same processes. They can have a slim body and are most often used in mobile phones.

Rechargeable alkaline batteries replace some types of rechargeable batteries for consumer electronic devices. Their limited service life is compensated for by reduced self-discharge, which makes it ideal to use them in portable devices, cameras, flashes.

Lead-acid batteries are mostly suitable for task due to the large number of charge and discharge cycles, a wide range of operating temperatures and relatively rare maintenance.

To charge lead-acid batteries, four methods are used:

- charge method with constant charge voltage;
- method of charge at constant values of voltage and current of a charge;
- Two-stage charge method with constant charge voltage;
- method of compensating charge;
- Floating charge method;
- multi-stage charge method.

Let's choose the method of compensating charge. This method, also called the jet charging method, is usually used in the final stage of the charge process. However, it is also used as an independent charging method for charging lead-acid storage batteries operating in standby mode, i.e. Beginning to work only when the main power source is disconnected, or to maintain the required power.

If its discharge was short, and the capacity decreased slightly, then the charge will be sufficient to compensate for the battery, which will ensure a gradual recovery of its working capacity. However, a deep discharge will require the use of another charger capable of providing a sufficiently high charging current. In the case of a deep discharge followed by a jet charge, sulfide plates of the battery may occur with all the ensuing consequences.

With this method of charging, it should also be taken into account that a prolonged charge with insignificant fluctuations in the charge voltage substantially reduces the battery life. Therefore, its stabilization should be provided. The deviation of the charge voltage from the norm should not exceed $\pm 1\%$. In addition, since the charging characteristics are dependent on the ambient temperature, the charger must have a thermal compensation circuit.

Gas Generator

As a real model of the gas generator, FAS-18-3 / BP was chosen. The generator FAS-18-3 / BP is shown in Figure A.8.



Figure A.8 – The generator FAS-18-3 / BP

Three-phase gas generator FAS-18-3 / BP based on the VAZ 21083 engine with liquid cooling. The rated power is 18 kW. Can work as a primary or backup source of electricity, without any restrictions on the duration of work under any weather conditions and the duration of each session. A 10% overload is possible from the rated power for 1 hour every 12 hours of operation.

It is mounted in a closed noise-absorbing housing, with the possibility of automatic start-up in the event of a main power outage. The fuel system allows using liquefied gas (propane-butane) or natural (methane) as fuel.

Simulation of an autonomous power supply system based on a three-phase inverter

The simulink system contain a generator, an inverter, an inverter control system, a load and a battery. System is shown in figure A.9.

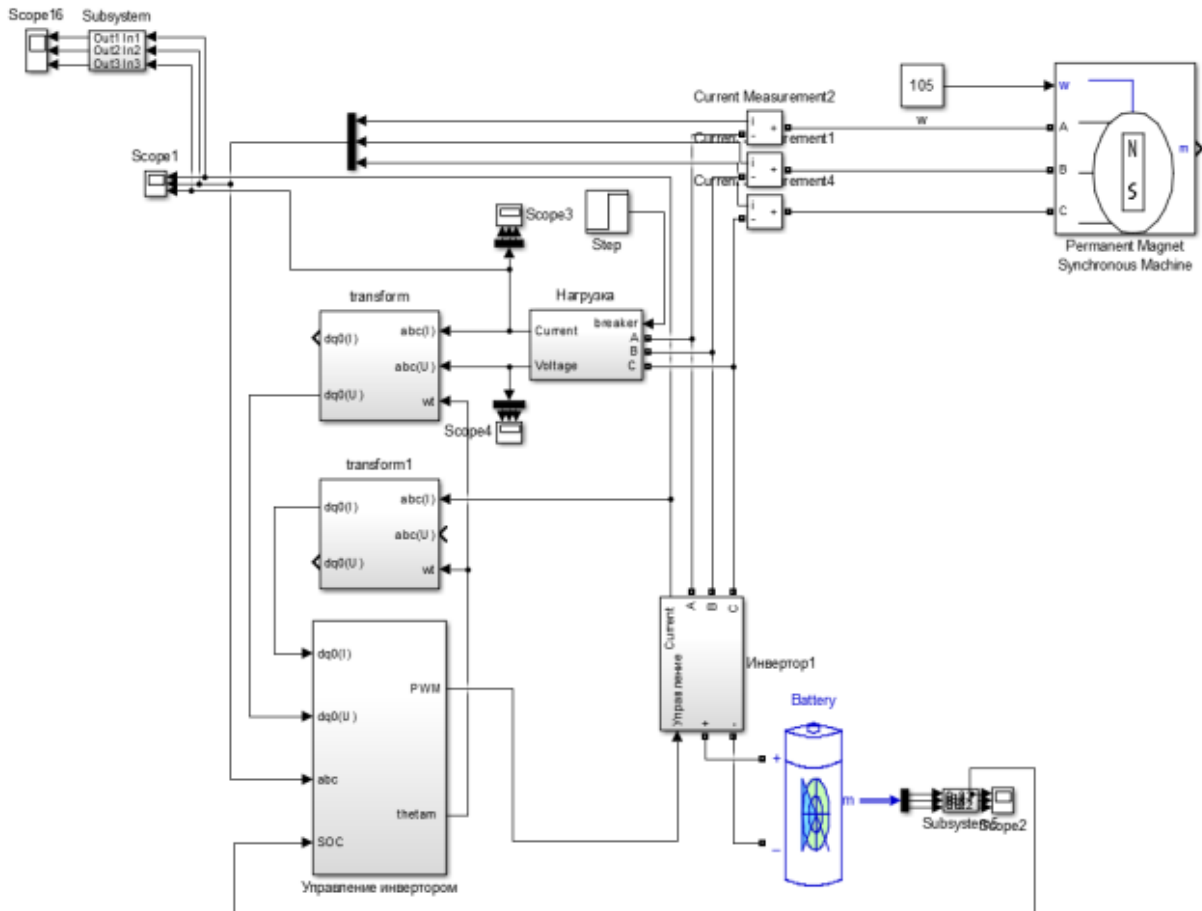


Figure A.9 – Power supply system based on a three-phase inverter

Structure of the inverter block is shown on figure A.10.

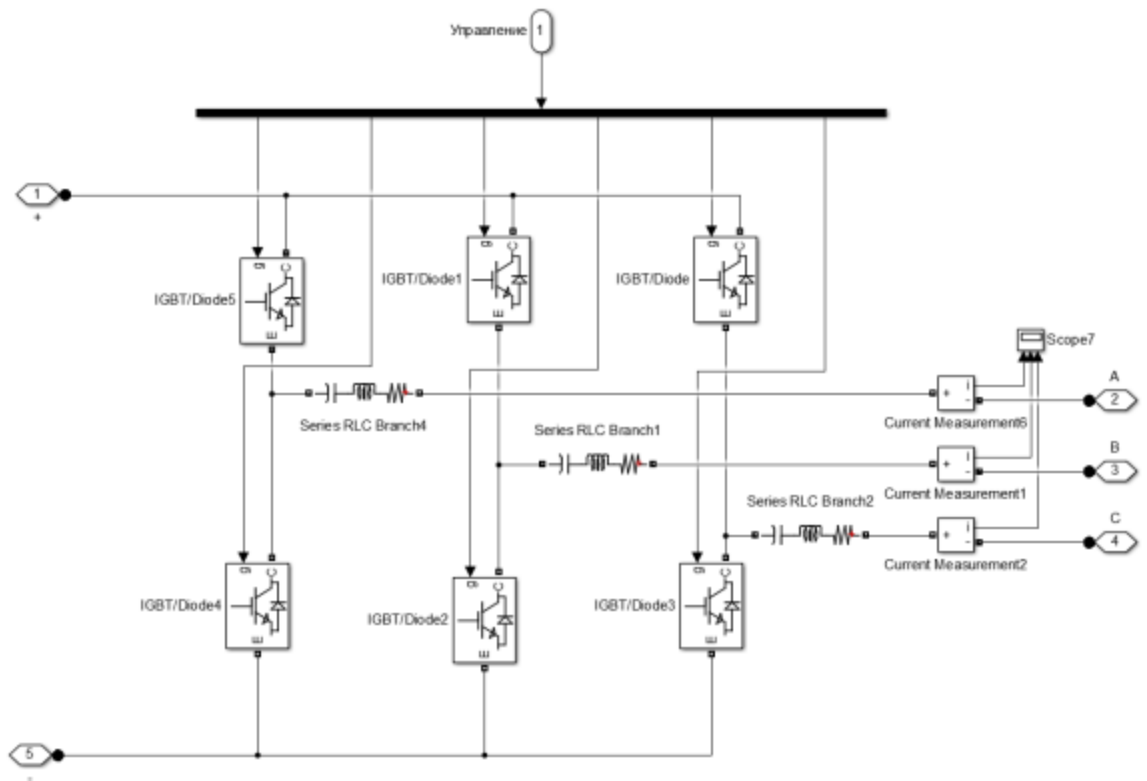


Figure A.10 – Structure of the inverter block

Structure of the inverter control unit is shown in figure A.11.

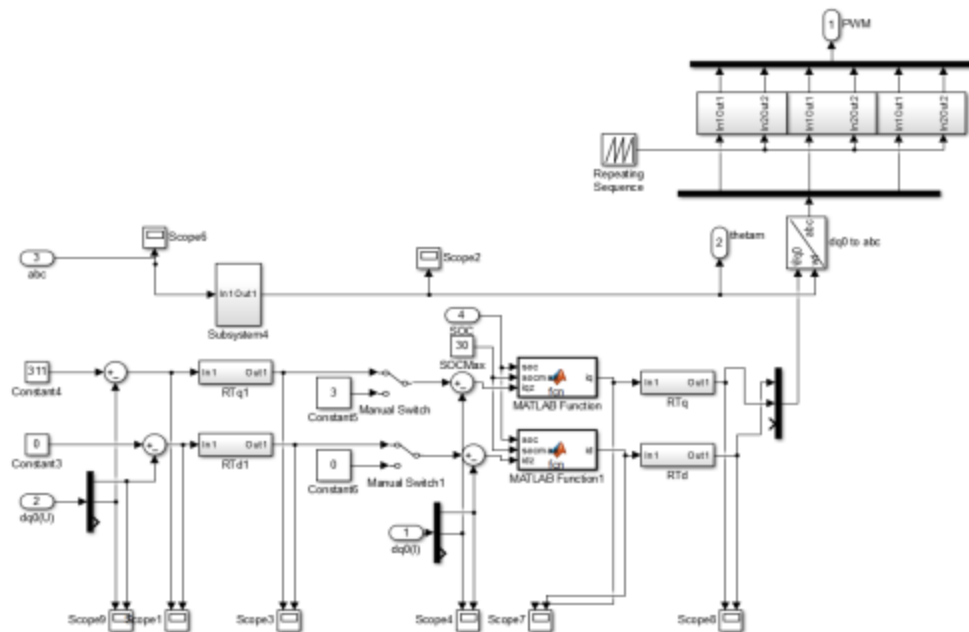


Figure A.11 – Structure of the inverter control unit

CONCLUSION

In the course of the performed experiments we defined that the model responds the requirements set out in the technical assignment. The modes of operation were implemented: maintaining the voltage on the load in the slave mode, maintaining the voltage on the load in the master mode, recharging in the slave mode.

In all modes of operation of the inverter, a stable voltage was observed on the load.

The work did not consider the implementation of various methods of charging batteries. However, the probability of realization is possible with the creation of additional units that would operate with a negative value of the preset current and control it in accordance with the methods of charging the batteries.

It is also worth recommending installing backup batteries in case of failure of the main battery, or to increase the capacity and, as a result, increase the possible operating time.

Models are created in Matlab Simulink software.

REFERENCES

1. Kumar K., Michael P., John J., Kumar S. Simulation and Comparison of SPWM and SVPWM control for Three Phase Inverter // Asian Research Publishing Network. - 2010. - Vol. 5, No. 7. - pp. 61-74.
2. Lee J.Y., Sun Y.Y. A New SPWM Inverter with Minimum Filter Requirement // International Journal of Electronics. - 1988. - Vol. 64, No. 5. - pp. 815-826.
3. Quan H., Gang Z., Jie C., Wu Z., Liu Z. Study of A Novel Over-modulation Technique Based on Space-Vector PWM // IEEE Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM). - 2011. - Vol. 15, no. 3. - pp.295-298.
4. Alexander L., Giovanna O., Thomas A. Elimination of Common-Mode Voltage in Three-Phase Sinusoidal Power Converters // IEEE Transactions on Power Electronics. - 1999. - Vol. 14, no. 5. - pp.34-42.
5. Chibani R., Berkouk E., Boucherit M. Study of new DC voltage equalizing circuit for Five-Level Neutral Point Clamped-Voltage Source Inverter // Electrical Systems. - 2011. - Vol. 7, no. 2. - pp.131-148.