

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Жанысбай Асылхан Сакенұлы

Тема: Разработка многоуровневого инвертора ведомой электросетью
мощностью 4,5 кВт

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 6B07112 – Electronic and Electrical Engineering

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка многоуровневого инвертора ведомой
электросетью мощностью 4,5 кВт»

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering

Выполнил

Жанысбай Асылхан
Сакенұлы



Научный руководитель
Доктор техн. наук
Исембергенов Н.Т.
«30» 05 2024 г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Жанысбай Асылхан Сакенулы

Тема: «Разработка многоуровневого инвертора ведомой электросети
мощностью 4,5 кВт».

Утверждена приказом Ректора Университета от « » декабря 2024 года.

Срок сдачи законченной работы “15” мая 2024 г.

Исходные данные к дипломной работе:

- а) Многоуровневый инвертор;
- б) транзисторы;
- в) солнечная электростанция;
- г) схемы коммутаций;
- д) программа моделирования MATLAB/Simulink;

Краткое содержание к дипломной работе:

- а) *Цель -Разработка и исследование многоуровневого инвертора солнечной электростанции мощностью 4,5 кВт;*
- б) *Анализ перспективных многоуровневых транзисторных инверторов;*
 - 1) Обзор литературы многоуровневых транзисторных инверторов;
 - 2) Расчет и выбор мощности и параметров солнечных панели.
 - 3) Расчет и выбор транзисторов инвертора.
- в) *Разработка компонентов многоуровневых инверторов мощностью 4,5 кВт.*

в) Разработка компонентов многоуровневых инверторов мощностью 4,5 кВт.

1) Разработка схемы соединения солнечных панелей мощностью 4 кВт;

2) Разработка схемы соединения транзисторного ключа с инвертором;

3) Расчет времени коммутации транзисторного ключа, многоуровневого инвертора.

г) выбор компонентов многоуровневого транзисторного инвертора для солнечной электростанции мощностью 4 кВт.

1) Расчет мощности солнечной электростанции многоуровневым инвертором мощностью 4 кВт.

2) Анализ совместной работы инвертора с солнечной электростанции мощностью 4 кВт.

2) Исследование работы многоуровневого инвертора и солнечной электростанции на автономную нагрузку.

д) Моделирования работы многоуровневого инвертора и солнечной электростанции на автономную нагрузку на MATLAB / Simulink.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Практические преимущества многоуровневого инвертора и солнечной электростанции. Особенности перспективных многоуровневых инверторов. Использование многоуровневого инвертора для солнечной электростанции сотни и более кВт. Применения результатов моделирования многоуровневого инвертора на MATLAB / Simulink для преобразователей частоты.

Рекомендуемая основная литература:

1. Taissariyeva K. N., Isembergenov N. The research of the “Solar panels – commutator – inverter – load” system with the pulse-amplitude control. PROCEEDINGS OF SPIE Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2014 Volume 9290

2. J. Basic. «Reduction of Harmonic in Multilevel Inverters using FA and LAFAALGORITHMS». Journal of Basic and Applied Scientific Research. Appl. Sci. Res., 3(1s)130-135, 2013. ISSN 2090-4304

3. N. T. Isembergenov, B. T. Matkarimov, Using Genetic Algorithm for Finding Switching Angles of a Single-phase Multilevel DC/AC Converter on Solar Modules. Proceedings of the Eighth International Conference on Machine Learning and Applications, 13-15 November. 2009, New York.

4. Mohammad Farhadi Kangarlu, Student Member, IEEE, and Ebrahim Babaei, Member, IEEE. A Generalized Cascaded Multilevel Inverter Using Series Connection of Submultilevel Inverters. IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 28, NO. 2, FEBRUARY 2013. Res., 3(1s) 625- 635

5. Isembergenov N., Taissariyeva K.N. The multilevel on IGBT transistors for transformation of solar energy to the electric power. BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN. Volume 2, Number 354 (2015), pp. 183-186.

6. Исембергенов Н. Т. Многоступенчатый транзисторный инвертор для преобразования энергии солнечных батарей – “Электричество”. – 2011.


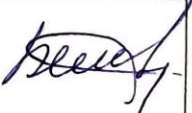
ГРАФИК

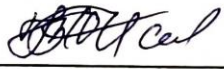
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Цель – Разработка многоуровневого инвертора солнечной электростанции мощностью 4,5 кВт	10.01.2024 - 20.01.2024 г.	выполнено
Разработка компонентов многоуровневого инвертора солнечной электростанции мощностью 4,5 кВт	20.01.2024-10.03.2024 г.	выполнено
Расчет мощности многоуровневого инвертора солнечной электростанции мощностью 4,5 кВт	11.03.2024 - 28.04.2024 г.	выполнено
Моделирование работы многоуровневого инвертора мощностью 4,5 кВт на нагрузку в MATLAB/Simulink	01.04.2024 - 10.05.2024 г.	выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проект)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Исембергенов Н.Т. Профессор каф.ЭТиКТ,	20.05.2024	
Нормоконтролер	Ақылжан П.Б., ассистент каф.ЭТиКТ, М.Т.Н.	30.05.24	

Научный руководитель _____  Исембергенов Н.Т.

Задание принял к исполнению обучающийся _____  Жанысбай А.

Дата «30» 05 2024 г.

АҢДАПТА

Бұл дипломдық жұмыста электр желісі үшін қуаты 4.5 кВт көп деңгейлі инвертор жасалды. Бірінші кезең күн электр станциясының схемасын қажетті компоненттерді таңдаумен құрастыру, күн панельдерін қосу схемасын әзірлеу және жалпы қуатты есептеу болды. Содан кейін көп деңгейлі инвертор схемасы жиналды, оның ішінде тиісті компоненттерді таңдау, қосылу схемасын әзірлеу және берілген Инверторды пайдаланып бүкіл күн электр станциясының қуатын есептеу. Қорытындылай келе, энергияны түрлендіру процесін зерттеу үшін жиналған схемаға талдау жасалды. Барлық әзірлемелер MATLAB/Simulink ортасында модельденген.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе разработан многоуровневый инвертор мощностью 4.5 кВт для электросети. Первым этапом была сборка схемы солнечной электростанции с подбором необходимых компонентов, разработка схемы соединения солнечных панелей и расчет общей мощности. Затем была собрана схема многоуровневого инвертора, включая выбор соответствующих компонентов, разработка схемы соединения и расчет мощности всей солнечной электростанции с использованием данного инвертора. В заключение был проведен анализ собранной схемы для изучения процесса преобразования энергии. Все разработки были смоделированы в среде MATLAB/Simulink.

ANNOTATION

In this thesis, a 4.5 kW multi-level inverter for the power grid has been developed. The first stage was the assembly of a solar power plant circuit with the selection of necessary components, the development of a solar panel connection circuit and the calculation of total power. Then a multi-level inverter circuit was assembled, including the selection of appropriate components, the development of a connection diagram and the calculation of the power of the entire solar power plant using this inverter. In conclusion, an analysis of the assembled circuit was carried out to study the energy conversion process. All developments were modeled in the MATLAB/Simulink environment.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Исследование и разработка многоуровневого инвертора мощностью 4.5 кВт	9
1.1 Классификаций многоуровневых инверторов мощностью 4.5 кВт	9
1.2 Обзор основных функций многоуровневого инвертора мощностью 4.5 кВт	10
2 Анализ устройства многоуровневых инверторов	14
2.1 Обзор многоуровневых инверторов	14
2.2 Применение IGBT и MOSFET транзисторов в системах преобразования энергии	16
2.3 Выбор и расчет мощности солнечных панелей мощностью 4.5 кВт	18
2.4 Выбор и расчет транзисторов многоуровневого инвертора мощностью 4.5 кВт	19
3 Выбор и разработка многоуровневых инверторов мощностью 4.5 кВт	21
3.1 Разработка схемы и выбор марки солнечных панелей мощностью 4.5 кВт	21
3.2 Показания времени коммутации многоуровневого инвертора мощностью 4.5 кВт	21
3.3 Выбор топологий многоуровневого инвертора мощностью 4.5 кВт	22
4 Выбор компонентов многоуровневого инвертора для солнечной электростанции мощностью 4 кВт	25
4.1 Подсчет мощности солнечной электростанций многоуровневым инвертором мощностью 4 кВт	25
4.2 Изучение работы многоуровневого инвертора с солнечной электростанцией мощностью 4.5 кВт	29
4.3 Исследование многоуровневого инвертора и солнечной электростанции на нагрузку	32
5 Моделирование схемы многоуровневого инвертора и солнечной электростанции на нагрузку в среде моделирования Matlab/Simulink	39
Заключение	43
Список используемой литературы	44
Список принятых сокращений	45

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире все больше внимания уделяется поиску альтернативных источников энергии, способных уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить устойчивое развитие. Одним из таких перспективных направлений является солнечная энергетика, которая обладает огромным потенциалом в странах с высокой интенсивностью солнечного излучения, таких как Казахстан. Однако, для эффективного использования солнечной энергии требуются современные технологии, в том числе и многоуровневые инверторы, способные преобразовывать постоянный ток, полученный от солнечных панелей, в переменный ток, применимый в бытовых и промышленных системах.

Многоуровневые инверторы представляют собой важный класс преобразователей переменного тока, который позволяет улучшить качество и эффективность преобразования энергии. В сравнении с традиционными инверторами, многоуровневые инверторы обеспечивают меньшие гармонические искажения, более плавное управление выходным напряжением и высокую надежность работы.

В контексте солнечной энергетике, многоуровневые инверторы становятся ключевым элементом системы преобразования энергии, полученной от солнечных панелей, в переменный ток, пригодный для использования в электросети или подключения к бытовым электроприборам. Они обеспечивают эффективное использование солнечной энергии, минимизируя потери и увеличивая надежность работы системы.

Целью данной дипломной работы является изучение системы получения и преобразования солнечной энергии с использованием многоуровневых инверторов. Основные задачи включают в себя анализ существующих технологий и методов преобразования энергии, проектирование и моделирование многоуровневого инвертора с использованием современных технологий и алгоритмов управления, а также оценку эффективности и экономической целесообразности применения таких систем в солнечной энергетике Казахстана.

1 Исследование и разработка многоуровневого инвертора мощностью 4.5 кВт

1.1 Классификации многоуровневых инверторов

Многоуровневый инвертор - это тип инвертора переменного тока (ПЧ), который создает выходной сигнал с использованием нескольких уровней напряжения или тока, в отличие от традиционного инвертора, который использует только два уровня (напряжение или ток). Многоуровневые инверторы позволяют снизить уровень гармонических искажений, увеличить качество выходного напряжения и улучшить эффективность преобразования.



Рисунок 1.1 – Принцип преобразования солнечной энергии в электрическую

Многоуровневые инверторы можно классифицировать по нескольким критериям:

По количеству уровней:

Двухуровневые инверторы: Используют два уровня напряжения или тока (обычно $+V$ и $-V$).

Трехуровневые инверторы: Используют три уровня напряжения или тока ($+V$, 0 , $-V$).

Многоуровневые инверторы: Используют более трех уровней напряжения или тока, такие как пятиуровневые, семиуровневые, десятиуровневые и т. д.

По типу топологии:

Каскадные (Cascade H-Bridge): Имеют несколько H-мостов, соединенных каскадом для формирования различных уровней напряжения.

С диодным или квази-зажимом (Diode-Clamped или FlyingCapacitor): Используют диоды или конденсаторы для соединения различных уровней напряжения.

С мягким зажимом (Soft Switching): Используют схемы мягкого коммутирования для уменьшения потерь мощности и улучшения эффективности.

По способу модуляции:

Простая модуляция (Simple Modulation): Простые алгоритмы модуляции, такие как синусоидальная или треугольная модуляция.

Продвинутые методы модуляции (Advanced Modulation): Включают в себя более сложные методы, такие как селективная гармоническая модуляция (SHEM) или синфазная модуляция (SPWM).

По применению:

Солнечная и ветряная энергетика: Для преобразования постоянного тока, генерируемого солнечными панелями или ветряными турбинами, в переменный ток для интеграции в электросеть.

Промышленные приводы: Для управления скоростью и напряжением в промышленных электроприводах.

Электрическая тяга: Для преобразования энергии из батарей или сети в энергию, используемую для движения в электрических поездах, трамваях и автобусах.

1.2 Обзор основных функций многоуровневого инвертора мощностью 4,5 кВт

В данной главе рассматриваются основные функции и преимущества использования многоуровневого инвертора в солнечной электростанции мощностью 4,5 кВт.

Основные функции многоуровневого инвертора

Многоуровневый инвертор выполняет несколько ключевых функций, которые делают его незаменимым компонентом солнечной электростанции:

Преобразование энергии:

Основная функция инвертора заключается в преобразовании постоянного тока, вырабатываемого солнечными панелями, в переменный ток, который может использоваться для питания электрических устройств. Это преобразование необходимо, так как большинство бытовых и промышленных потребителей работают на переменном токе.

Снижение гармонических искажений:

Многоуровневый инвертор создает выходное напряжение, близкое к синусоидальной форме, что значительно снижает уровень гармонических искажений. Это важно для обеспечения качественного электроснабжения и предотвращения возможных проблем с электромагнитной совместимостью (EMC).

Управление мощностью:

Инвертор регулирует мощность, поступающую от солнечных панелей к потребителям, обеспечивая оптимальное использование генерируемой энергии.

Это позволяет минимизировать потери и повысить общую эффективность системы.

Поддержка автономной работы:

В условиях автономной работы солнечной электростанции многоуровневый инвертор обеспечивает стабильное электроснабжение даже при изменениях уровня солнечного излучения или состояния аккумуляторов. Это позволяет системе работать эффективно и надежно в любых условиях.

Интеграция с сетью:

В случае подключения к общей электросети, инвертор обеспечивает синхронизацию с сетевыми параметрами, что позволяет интегрировать солнечную электростанцию в общую энергосистему. Это способствует увеличению доли возобновляемых источников энергии в общем энергетическом балансе.

Преимущества многоуровневого инвертора

Использование многоуровневого инвертора в солнечной электростанции мощностью 4,5 кВт имеет ряд значительных преимуществ:

Высокая эффективность преобразования:

Многоуровневые инверторы обладают высоким КПД, что позволяет минимизировать потери энергии при преобразовании и максимально использовать генерируемую солнечную энергию.

Стабильность и надежность:

Благодаря точному управлению и многокаскадной структуре, инверторы обеспечивают стабильную работу системы даже при изменениях внешних условий, таких как колебания уровня солнечного излучения и температуры.

Улучшенное качество выходного сигнала:

Многоуровневые инверторы генерируют выходное напряжение с минимальными гармоническими искажениями, что улучшает качество электроснабжения и снижает риск повреждения подключенных устройств.

Гибкость и масштабируемость:

Инверторы могут легко адаптироваться к изменениям конфигурации системы, что позволяет масштабировать солнечную электростанцию и увеличивать её мощность при необходимости.

Повышенная электромагнитная совместимость:

Снижение уровня гармонических искажений способствует улучшению электромагнитной совместимости системы, что важно для стабильной работы в условиях плотной электромагнитной среды.

Многоуровневые инверторы находят широкое применение в различных областях:

Домашние солнечные электростанции:

В частных домах и малых хозяйствах многоуровневые инверторы обеспечивают стабильное и эффективное электроснабжение, снижая зависимость от общей электросети.

Коммерческие установки:

В коммерческих и промышленных объектах инверторы используются для питания различных электрических устройств и систем, способствуя

уменьшению затрат на электроэнергию и повышению энергоэффективности.

Резервное электроснабжение:

В условиях, где необходимо надежное резервное электроснабжение, например, в медицинских учреждениях или центрах обработки данных, многоуровневые инверторы обеспечивают бесперебойную работу системы.

Назначение многоуровневого инвертора солнечной электростанции мощностью 4,5 кВт заключается в обеспечении эффективного и стабильного преобразования энергии, поддержания высокого качества выходного сигнала и надежной работы системы в различных условиях эксплуатации. Эти инверторы играют ключевую роль в повышении эффективности использования возобновляемых источников энергии, способствуя устойчивому развитию и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Поскольку этот инвертор будет использоваться как альтернатива электросети, его выходные параметры должны соответствовать 220 В и 50 Гц. Входное напряжение выбрано на уровне 138,8 В постоянного тока. В схеме инвертора будет установлен повышающий трансформатор, который увеличит напряжение с 138,8 В до 220 В. Также, учитывая, что мощность солнечной электростанции составляет 4,5 кВт, необходимо понять, какие устройства смогут работать от этой электростанции. В качестве примера можно рассмотреть следующие бытовые приборы:

Таблица 1.1 – Потребление различных бытовых устройств электроэнергии

Устройство	Потребление(Вт/ч)
Микроволновая печь	800
Посудомоечная машина	1200
Кондиционер	1500
Освещение (LED)	10 на лампу
Электрическая плита	2000
Стиральная машина	500
Водонагреватель	1500

Некоторые из этих приборов указаны с их среднечасовым потреблением электроэнергии, так как они работают циклично: по 15–30 минут, затем переходят в режим простоя и потребляют значительно меньше энергии или не потребляют вовсе. Например, микроволновая печь работает циклично, так как она предназначена для нагрева пищи в течение короткого времени. Когда микроволновая печь включена, она потребляет значительное количество энергии, но работает она обычно всего несколько минут за раз. Если микроволновая печь используется часто, например, для разогрева пищи в течение всего дня, это может существенно увеличить общее потребление энергии. Из таблицы 1.1 видно, что солнечная электростанция мощностью 4,5 кВт может питать определенные бытовые приборы, но этой мощности не хватит для всего дома. Также важно учитывать, что нагружать электростанцию на полную мощность 4,5 кВт не рекомендуется, так как она может не выдержать такой нагрузки.

В нашем случае многоуровневый инвертор будет частично питать дом за счет солнечной энергии и аккумуляторов, поскольку этой мощности хватит для питания только части дома.

В роли инструмента для реализации подобной технической задачи используют многоуровневые топологии построения инверторов. Одними из представителей таких преобразователей являются инверторы, построенные на базе H-мостовых ячеек. Данный класс инверторов был предложен еще в 1975 году и по сегодняшний день остается одним из самых приоритетных [1]. Основным преимуществом H-мостовой ячейки является ее универсальность. Для осуществления питания однофазного потребителя достаточно использовать лишь одну H-мостовую ячейку.

2 Анализ устройства многоуровневых инверторов

2.1 Обзор многоуровневых инверторов

В последние десятилетия применение полупроводниковых технологий в системах электроснабжения стало неотъемлемой частью современного энергетического сектора. Однако, несмотря на многочисленные преимущества, эти технологии сопряжены с рядом значительных вызовов. Основные из них связаны с искажением формы выходного сигнала и увеличением гармонических составляющих напряжения и тока. Более того, современные полупроводниковые устройства сталкиваются с трудностями при коммутировании высоких напряжений, превышающих 10 кВт. Разработка и совершенствование схем преобразователей напряжения и тока остаются актуальными задачами на долгие годы. В этом контексте перспективным направлением являются многоуровневые инверторы.

Проблемы и вызовы в использовании полупроводниковых технологий

Основные проблемы, с которыми сталкиваются полупроводниковые преобразователи, включают:

Искажение формы выходного сигнала: При преобразовании постоянного тока (DC) в переменный ток (AC) часто возникают искажения, которые приводят к ухудшению качества энергии.

Гармонические составляющие: Увеличение гармонических составляющих напряжения и тока может вызвать перегрузку электрических систем и оборудование, а также ухудшить электромагнитную совместимость (EMC).

Коммутация высоких напряжений: Современные полупроводниковые устройства часто не способны эффективно коммутировать высокие напряжения, что ограничивает их применение в системах с большими мощностями.

Многоуровневые инверторы представляют собой перспективное решение, которое позволяет преодолеть многие из перечисленных проблем. Они обладают рядом преимуществ, таких как возможность использования низковольтных полупроводниковых компонентов для управления высокими напряжениями и значительное снижение искажений выходного сигнала без применения дополнительных фильтров.

Многоуровневые инверторы можно классифицировать по различным топологиям. Основные из них включают:

Каскадные многоуровневые инверторы (Cascaded H-Bridge, CHB): Эти инверторы состоят из нескольких H-мостовых ячеек, соединенных последовательно. Каждая ячейка генерирует определенный уровень напряжения, и суммарное выходное напряжение представляет собой сумму напряжений всех ячеек.

Фазово-сдвиговые многоуровневые инверторы (Flying Capacitor, FC): В этой топологии используются конденсаторы, подключенные последовательно для создания многоуровневого напряжения. Основное преимущество этой топологии – высокая надежность и гибкость.

Многоуровневые инверторы с диодами (Diode-Clamped Multilevel Inverter, DCMLI): Эти инверторы используют диоды для ограничения напряжения на

каждом уровне, что обеспечивает высокую точность и стабильность выходного сигнала.

Основные преимущества многоуровневых инверторов включают:

Снижение гармонических искажений: Многоуровневые инверторы способны генерировать более гладкую синусоидальную волну, что снижает уровень гармонических искажений.

Высокая эффективность: Использование низковольтных полупроводниковых компонентов позволяет снизить потери на переключение и повысить общую эффективность системы.

Улучшенная электромагнитная совместимость: Благодаря уменьшению гармонических составляющих и плавному выходному сигналу, многоуровневые инверторы способствуют улучшению электромагнитной совместимости системы.

Многоуровневые инверторы находят широкое применение в различных областях:

Солнечная энергетика: В системах солнечных электростанций многоуровневые инверторы используются для преобразования постоянного тока, генерируемого солнечными панелями, в переменный ток, который может быть использован для питания бытовых и промышленных устройств.

Электроприводы: В системах управления электроприводами многоуровневые инверторы обеспечивают плавное регулирование скорости и момента двигателя, что улучшает эксплуатационные характеристики и повышает надежность.

Электрические сети: В распределительных сетях многоуровневые инверторы используются для повышения качества электроэнергии и снижения уровня гармонических искажений.

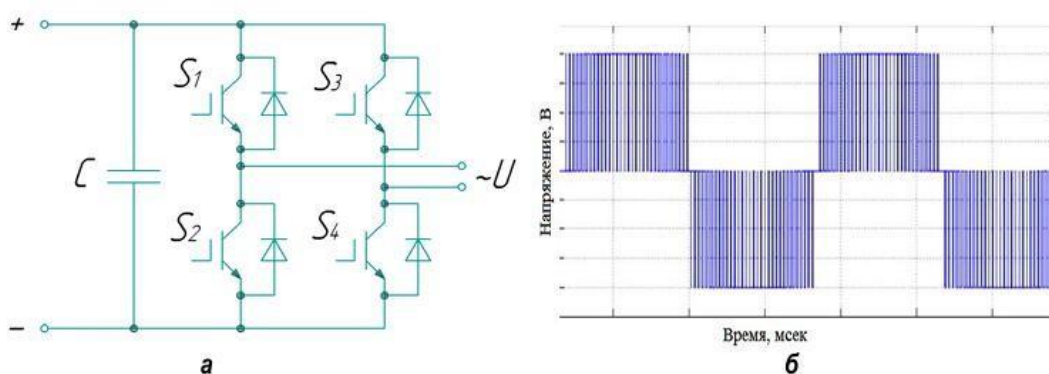


Рисунок 2.1 – H мостовой инвертор: а – схема однофазного H мостового инвертора; б – форма выходного напряжения инвертора

Формирование переменного выходного напряжения происходит за счет различных комбинаций состояния четырех силовых ключей $S_1 - S_4$ [2]. При этом всего на выходе может быть три уровня напряжения: положительное значение напряжения, равное приложенному на вход, отрицательное и 0. В состоянии, когда транзисторы S_1 и S_4 открыты, а S_2 и S_3 закрыты, формируется

положительный уровень напряжения, в противоположном состоянии S2 и S3 открыты, S1 и S4 закрыты – отрицательный уровень напряжения. Напряжение на выходе, равное нулю, формируется двумя комбинациями транзисторов: 1 – S1 и S3 открыты, а S2 и S4 закрыты и 2 – S1 и S3 закрыты, а S2 и S4 открыты. Для данных преобразователей может применяться однополярная или двухполярная широтно-импульсная модуляция (ШИМ) [3, 4, 5]. В результате форма выходного напряжения инвертора имеет вид, представленный на рисунке 1 б. В случае недостаточного значения мощности для обеспечения потребителя электроэнергией, данное схемотехническое решение построения инверторов позволяет увеличить этот параметр путем параллельного подключения аналогичных H-мостовых ячеек.

ШИМ (Широтно-импульсная модуляция) - это метод управления мощностью в электронных устройствах, таких как инверторы переменного тока, преобразователи постоянного тока и переменного тока (DC-AC), а также регуляторы скорости электродвигателей. Он основан на изменении ширины импульсов во времени для управления средним значением напряжения или тока.

Принцип работы ШИМ заключается в генерации серии импульсов с постоянной периодичностью, причем ширина каждого импульса меняется в зависимости от желаемого уровня выходного сигнала. Этот метод позволяет эффективно управлять мощностью и точно регулировать выходные параметры сигнала.

В инверторах переменного тока ШИМ используется для управления ключами (обычно транзисторами) в преобразователе постоянного тока в переменный. Путем изменения ширины импульсов во времени можно управлять средним значением напряжения или тока на выходе инвертора, что позволяет регулировать скорость и направление вращения электродвигателей или поддерживать постоянное выходное напряжение переменного тока.

ШИМ является одним из наиболее распространенных методов управления мощностью в современной электронике и широко применяется в различных областях, включая промышленные приводы, альтернативные источники энергии, аудио усилители, источники питания и многие

2.2 Применение IGBT и MOSFET транзисторов в системах преобразования энергии

Полупроводниковые приборы играют ключевую роль в современных системах преобразования энергии, таких как инверторы, преобразователи и другие устройства. Среди них особенно выделяются два типа транзисторов: IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) и MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor). Эти компоненты широко используются благодаря своим уникальным характеристикам и возможностям. В данной главе рассматриваются особенности и преимущества обоих типов транзисторов, а также обоснование выбора MOSFET транзисторов для разработки многоуровневого инвертора.

IGBT (Insulated-Gate-Bipolar-Transistor) представляет собой

полупроводниковый прибор, сочетающий в себе преимущества биполярного транзистора (BJT) и полевого транзистора с изолированным затвором (MOSFET). IGBT транзисторы обладают высокой входной инпедансией и низким насыщенным напряжением, что делает их идеальными для приложений, требующих высокой мощности и напряжения.

Преимущества IGBT транзисторов:

Высокая проводимость при включении: Низкое насыщенное напряжение позволяет эффективно коммутировать большие токи.

Высокое напряжение пробоя: IGBT транзисторы могут выдерживать высокие напряжения, что делает их подходящими для использования в высоковольтных приложениях.

Управление высоким напряжением: Возможность управления высокими напряжениями делает их идеальными для мощных инверторов и преобразователей.

Низкие потери на переключение: Обладая меньшими потерями на переключение по сравнению с MOSFET, IGBT транзисторы повышают общую эффективность системы.

Недостатки IGBT транзисторов:

Медленное переключение: Время переключения IGBT транзисторов длиннее по сравнению с MOSFET, что может ограничивать их применение в высокочастотных приложениях.

Термическая стабильность: IGBT транзисторы могут нагреваться при работе с высокими токами, что требует дополнительного охлаждения.

MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) – это полевой транзистор с структурой металл-оксид-полупроводник, который управляется электрическим полем. MOSFET транзисторы широко применяются в электронной технике благодаря своей высокой скорости переключения, низким потерям на переключение и способности работать как в аналоговом, так и в цифровом режиме.

Преимущества MOSFET транзисторов:

Высокая скорость переключения: MOSFET транзисторы могут быстро переключаться между состояниями, что делает их идеальными для высокочастотных приложений.

Низкие потери на переключение: Обладая низкими потерями на переключение, MOSFET транзисторы повышают эффективность системы.

Высокая входная инпедансия: Высокая входная инпедансия позволяет управлять MOSFET транзисторами с минимальными затратами энергии.

Термическая стабильность: MOSFET транзисторы имеют лучшую термическую стабильность, что снижает требования к охлаждению.

Недостатки MOSFET транзисторов:

Высокое сопротивление в открытом состоянии: Сопротивление канала в открытом состоянии выше, чем у IGBT транзисторов, что может приводить к большим потерям при высоких токах.

Ограниченное напряжение пробоя: MOSFET транзисторы не могут

выдерживать такие высокие напряжения, как IGBT транзисторы, что ограничивает их применение в высоковольтных приложениях.

Обоснование выбора MOSFET транзисторов

Для разработки многоуровневого инвертора были выбраны MOSFET транзисторы по ряду причин:

Высокая скорость переключения: В многоуровневом инверторе важна высокая частота переключения транзисторов для достижения плавного и качественного выходного сигнала. MOSFET транзисторы, обладая высокой скоростью переключения, идеально подходят для таких приложений.

Низкие потери на переключение: MOSFET транзисторы обеспечивают низкие потери на переключение, что повышает общую эффективность инвертора. Это особенно важно в системах, где энергоэффективность играет ключевую роль.

Термическая стабильность: MOSFET транзисторы обладают лучшей термической стабильностью, что снижает требования к системе охлаждения и увеличивает надежность работы инвертора.

Высокая входная инпедансия: Высокая входная инпедансия MOSFET транзисторов позволяет легко управлять ими с помощью импульсных генераторов, что упрощает схему управления инвертором.

Применение в низковольтных приложениях: В данном проекте многоуровневый инвертор не требует управления очень высокими напряжениями (превышающими 10 кВ), что делает MOSFET транзисторы более подходящими для использования.

Широкая доступность и стоимость: MOSFET транзисторы широко доступны на рынке и имеют конкурентоспособную стоимость, что делает их экономически выгодным выбором для реализации проекта.

Выбор MOSFET транзисторов для разработки многоуровневого инвертора обоснован их высокой скоростью переключения, низкими потерями на переключение, термической стабильностью и высокой входной инпедансией. Эти преимущества делают MOSFET транзисторы идеальными для создания эффективных и надежных систем преобразования энергии, способных работать в условиях высоких частот и требующих минимальных затрат на охлаждение.

2.3 Выбор и расчет мощности солнечных панелей мощностью 4 кВт

Для преобразования 138,8 В постоянного тока в 220 В переменного тока в данной дипломной работе было принято решение использовать цепь из четырех солнечных панелей, каждая мощностью 250 Вт и номинальным напряжением 34,7 В (модель МКП-250). Технические характеристики солнечной панели МКП-250 приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Технические характеристики солнечной панели МКП –250

Параметр	Значение
Рабочий температурный диапазон	от -30 до +60
Номинальное напряжение (U_n)	34.8
Мощность (W_p)	251 Вт
Рабочий ток (I_p)	7.3 А
Напряжение холостого хода (U_{xx})	54 В
Ток короткого замыкания ($I_{кз}$)	11 А
Количество ячеек	38

2.4 Выбор и расчет транзисторов многоуровневого инвертора мощность 4.5 кВт

Выбор транзисторов зависит от параметров, которые будут использоваться в схеме. Общие напряжение и ток в цепи рассчитываются следующим образом:

$$U=U_{n1}+U_{n2}+\dots = 34.8В + 34.8В + 34.8В + 34.8В = 138.8В \quad (2.1)$$

$$I=I_{p1}+I_{p2}+\dots = 7,3А + 7,3А + 7,3А + 7,3А = 28,8А \quad (2.2)$$

Для этой схемы был выбран N-канальный MOSFET транзистор марки IRF630NSPBC. Параметры транзисторов были взяты с запасом, чтобы избежать перегрева и выхода из строя. Технические характеристики MOSFET транзистора IRF630NSPBC указаны в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Технические характеристики MOSFET транзистора IRF630NSPBF

Параметр	Значение
Наименование производителя	IRF630NSPBC
Канальность	N – канальный
Максимальная рассеиваемая мощность ($P_{си}$)	83 W
Максимально допустимое напряжение сток-исток ($U_{си}$)	210 V
Максимально допустимое напряжение затвор-исток ($U_{зи}$)	19 V
Максимальный постоянный ток затвор исток ($I_{зи}$)	9.5 А
Кругизна характеристики (S)	5
Сопротивление канала в открытом состоянии ($R_{си}$)	0.2 Ом/5.2А, 11В

Для трансформации напряжения был выбран трансформатор ОСР-4,5, который имеет одну первичную обмотку и две вторичные обмотки. Преобразование напряжения осуществляется следующим образом: сначала транзисторы преобразуют 138,8 В постоянного тока в 96 В переменного тока, затем это переменное напряжение повышается до 220 В.

Первичная обмотка на 220 В будет служить выходом инвертора, к которому подключается нагрузка. Две вторичные обмотки будут служить для трансформации положительной и отрицательной составляющих напряжения. Технические характеристики трансформатора ОСР-4,5 указаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Подробная характеристики трансформатора ОСР-4,4

Параметр	Значение
Габариты Длина, Ширина, Высота (мм)	380, 180, 450
Модель	ОСР
Фазность	однофазный
Максимальная мощность	4400Вт
Напряжение первичной обмотки в номинале	220В
Количество вторичных обмоток	2
Напряжение вторичных обмоток в номинале	96В

3 Выбор и разработка многоуровневых инверторов мощностью 4,5 кВт

3.1 Разработка схемы и выбор марки солнечных панелей мощностью 4,5 кВт.

Как согласно плану, для реализации инвертора мы должны соединить в цепь 4 солнечные панели МКП-250. Однако такая схема дает нам мощность 1000 Вт при номинальном напряжении 138,8 В, в то время как требуется 4 кВт.

Чтобы достичь необходимой мощности, мы добавляем еще 4 такие же ветви. В результате получаем суммарную мощность 4000 Вт и действующее напряжение 96 В от схемы солнечных панелей.

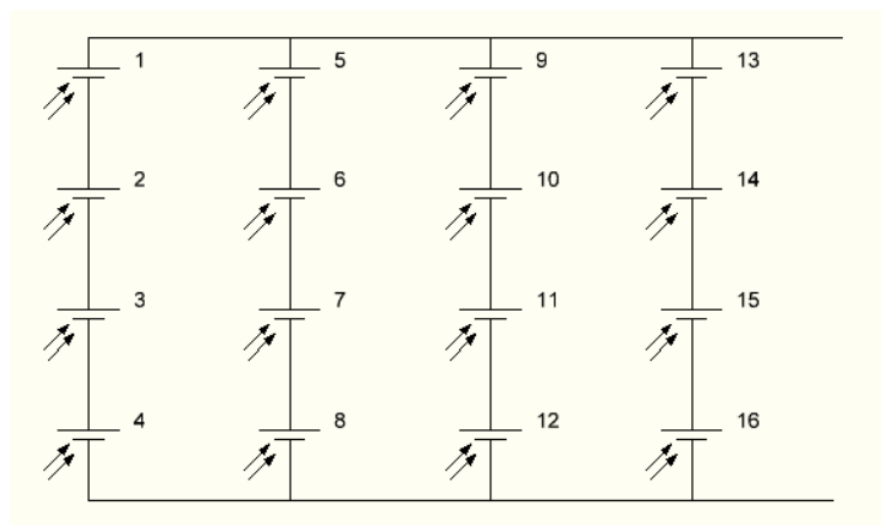


Рисунок 3.1 – Схема соединения солнечных панелей

При последовательном соединении солнечных панелей ток остается неизменным, а напряжение складывается:

Определяем напряжение при последовательном соединении солнечных панелей по формуле (2.1);

Определяем ток при параллельном соединении цепей по формуле (2.2);

Рассчитываем ток и напряжение схемы соединения, после чего вычисляем мощность по формуле (3.1):

$$P = 138.8\text{В} * 28,8\text{А} \approx 4000\text{Вт} \quad (3.1)$$

3.2 Показания времени коммутации многоуровневого инвертора мощность 4.5 кВт.

Транзисторы могут находиться в двух состояниях: открытом и закрытом. Для начала рассчитываем время одного периода и полупериода переменного тока по формулам (3.2) и (3.4):

$$t_{\Pi} = \frac{1}{50} = 0.02c \text{ (20мс)} \quad (3.3)$$

$$t_{\Pi\Pi} = \frac{t_{\Pi}}{2} = 0.01c \text{ (10мс)} \quad (3.4)$$

Таким образом, один полупериод длится 10 мс. Первый транзистор открывается в момент времени $t = 1$ мс и остается открытым на протяжении всего полупериода (3.5):

$$t_{1\text{тр к}} = t_{\Pi\Pi} = 10\text{мс} \quad (3.5)$$

$$t_{2\text{тр к}} = t_{1\text{тр к}} - 20\% = 8\text{мс} \quad (3.6)$$

$$t_{3\text{тр к}} = t_{1\text{тр к}} - 40\% = 6\text{мс} \quad (3.7)$$

$$t_{4\text{тр к}} = t_{1\text{тр к}} - 60\% = 4\text{мс} \quad (3.8)$$

$$t_{5\text{тр к}} = t_{1\text{тр к}} - 80\% = 2\text{мс} \quad (3.9)$$

3.3 Выбор топологий многоуровневого инвертора мощность 4.5 кВт.

Н-мостовой 4-каскадный инвертор обладает рядом преимуществ, которые делают его отличным выбором для различных приложений, особенно в области преобразования энергии, таких как солнечные энергетические системы и промышленные инверторы. Вот несколько ключевых причин, почему этот тип инвертора является лучшим решением:

Высокое качество выходного сигнала:

4-каскадный инвертор способен генерировать более качественный выходной сигнал, который ближе к идеальной синусоиде. Это достигается благодаря увеличению числа уровней выходного напряжения, что снижает гармонические искажения (THD).

Снижение гармонических искажений (THD):

Большое количество уровней напряжения позволяет более точно воспроизводить форму синусоидального сигнала, что приводит к снижению

гармонических искажений. Это особенно важно для приложений, где качество энергии критично, таких как медицинское оборудование или чувствительная электроника.

Использование нескольких каскадов позволяет распределить нагрузку и уменьшить потери энергии в каждом каскаде. Это повышает общую эффективность инвертора и снижает тепловыделение.

Модульность и масштабируемость:

Н-мостовой 4-каскадный инвертор легко масштабируется. Можно добавить или удалить каскады для изменения характеристик инвертора в зависимости от требований приложения. Это делает его универсальным решением для различных мощностей и нагрузок.

Повышенная надежность:

Разделение на несколько каскадов позволяет снизить нагрузку на каждый отдельный компонент, что повышает общую надежность системы. В случае отказа одного каскада остальные каскады могут продолжать работать, что улучшает отказоустойчивость инвертора.

Гибкость в управлении:

Н-мостовой 4-каскадный инвертор позволяет использовать различные методы управления, такие как широтно-импульсная модуляция (ШИМ), векторная модуляция, и адаптивные алгоритмы управления. Это обеспечивает высокую точность и быстроту отклика на изменения нагрузки и условий работы.

Далее была собрана схема Н – мостового инвертора с MOSFET транзисторами. В ней присутствуют 4 MOSFET транзистора в котором Транзистор 1 и Транзистор 4 соединены одним генератором ШИМ. Транзистор 2 и Транзистор 3 также соединены одним генератором ШИМ. Тем самым подключение MOSFET транзисторов идет крест на крест.

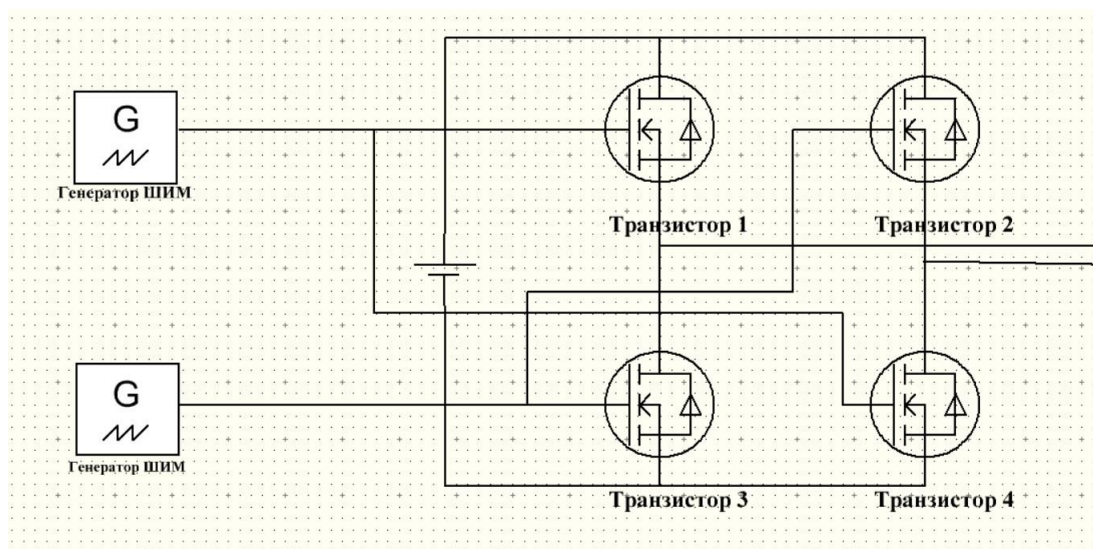


Рисунок 3.2 – Схема одного каскада Н – мостового многоуровневого инвертора

Для увеличения синусоидальности сигнала было решено использовать 4 каскада

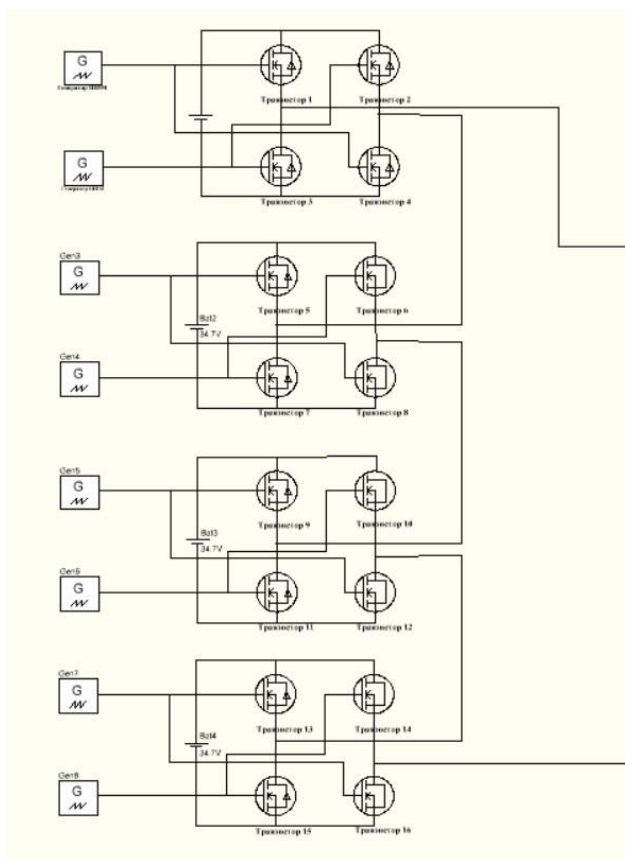


Рисунок 3.3 – Схема 4 каскадного H – мостового многоуровневого инвертора

4 Выбор компонентов многоуровневого инвертора для солнечной электростанции мощностью 4 кВт.

4.1 Подсчет мощности солнечной электростанции многоуровневым инвертором мощностью 4 кВт.

Для того чтобы измерить мощность электростанции с помощью многоуровневого Расчет мощности солнечной электростанции с использованием многоуровневого инвертора мощностью 4 кВт представляет собой важный этап в проектировании и реализации эффективных систем возобновляемой энергетики. В данной главе рассматриваются ключевые аспекты расчета мощности солнечной электростанции, включая выбор компонентов, расчет параметров системы и оценку эффективности преобразования энергии. Особое внимание уделяется интеграции солнечных панелей с многоуровневым инвертором для обеспечения стабильной и надежной работы всей установки.

Компоненты солнечной электростанции

Основными компонентами солнечной электростанции являются:

Солнечные панели: Фотоэлектрические модули, которые преобразуют солнечную энергию в электрическую.

Многоуровневый инвертор: Устройство, преобразующее постоянный ток (DC), вырабатываемый солнечными панелями, в переменный ток (AC) для использования в бытовых и промышленных сетях.

Аккумуляторы: Устройства для хранения избыточной энергии, вырабатываемой солнечными панелями, для использования в периоды низкой солнечной активности.

Контроллер заряда: Устройство, которое управляет процессом зарядки аккумуляторов и защищает их от перегрузок.

Трансформатор: Компонент, используемый для повышения или понижения напряжения для совместимости с сетевыми стандартами.

Выбор и подключение солнечных панелей

Для расчета мощности солнечной электростанции необходимо правильно выбрать и подключить солнечные панели. В данной установке используются солнечные панели МКП-250 мощностью 250 Вт каждая и номинальным напряжением 34,7 В. Для достижения мощности 4 кВт необходимо соединить несколько панелей как последовательно, так и параллельно.

Последовательное соединение:

При последовательном соединении напряжение солнечных панелей суммируется, а ток остается неизменным.

Например, при соединении 4 панелей номинальное напряжение составит 138,8 В, а ток останется равным 7,2 А.

Параллельное соединение:

При параллельном соединении ток суммируется, а напряжение остается неизменным.

Для достижения необходимой мощности, например, 4 кВт, при

напряжении 138,8 В, потребуется 4 параллельные ветви по 4 панели в каждой (4 * 250 Вт = 1000 Вт в одной ветви, 4 ветви = 4000 Вт).

После выбора и подключения солнечных панелей, необходимо рассчитать параметры системы для обеспечения ее эффективной работы.

Расчет тока в цепи:

Общий ток системы можно рассчитать по формуле:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{4000 \text{ Вт}}{138.8 \text{ В}} = 28,8 \text{ А}$$

Расчет сопротивления нагрузки:

Для расчета нагрузки системы используется формула:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ В}}{28.8 \text{ А}} = 7.64 \text{ Ом}$$

Многоуровневый инвертор преобразует постоянный ток, вырабатываемый солнечными панелями, в переменный ток с минимальными искажениями и высоким коэффициентом полезного действия (КПД). Инвертор состоит из нескольких каскадов MOSFET транзисторов, которые управляются с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для создания многоуровневого выходного напряжения.

Основные этапы работы инвертора:

Преобразование DC в AC: Постоянный ток от солнечных панелей преобразуется в переменный ток.

Формирование многоуровневого сигнала: Инвертор создает многоуровневое выходное напряжение, что позволяет уменьшить гармонические искажения и улучшить качество выходного сигнала.

Управление транзисторами: ШИМ используется для точного управления транзисторами, обеспечивая высокую точность и стабильность выходного сигнала.

Оценка эффективности системы

Эффективность системы солнечной электростанции с многоуровневым инвертором оценивается по нескольким критериям:

КПД инвертора: Оценка эффективности преобразования постоянного тока в переменный. Современные инверторы могут достигать КПД до 98%.

Гармонические искажения: Оценка уровня гармонических искажений выходного сигнала. Многоуровневые инверторы позволяют значительно снизить этот показатель.

Эффективность использования солнечных панелей: Оценка общей выработки энергии в зависимости от условий освещения и угла наклона панелей.

Расчет мощности солнечной электростанции с использованием многоуровневого инвертора мощностью 4 кВт требует тщательного выбора и подключения компонентов, точного расчета параметров системы и оценки ее эффективности.

Многоуровневые инверторы обеспечивают высокое качество выходного сигнала и минимальные гармонические искажения, что делает их идеальными для использования в современных системах возобновляемой энергетики. В результате, такая система способна обеспечить стабильное и надежное электроснабжение, минимизируя воздействие на окружающую среду и способствуя устойчивому развитию.

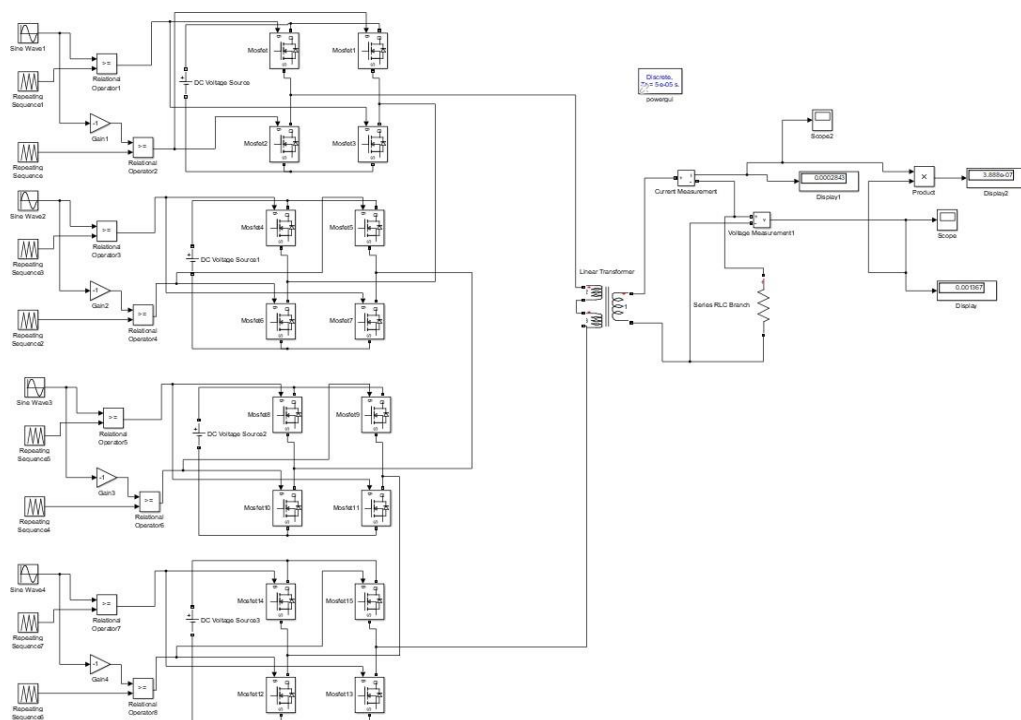


Рисунок 4.1 – Общая схема солнечной электростанции, многоуровневого инвертора и среды потребления

После выполнения всех указанных шагов я запустил моделирование электрической схемы в среде MATLAB/Simulink для измерения мгновенной мощности солнечной электростанции с использованием многоуровневого инвертора мощностью 4 кВт.

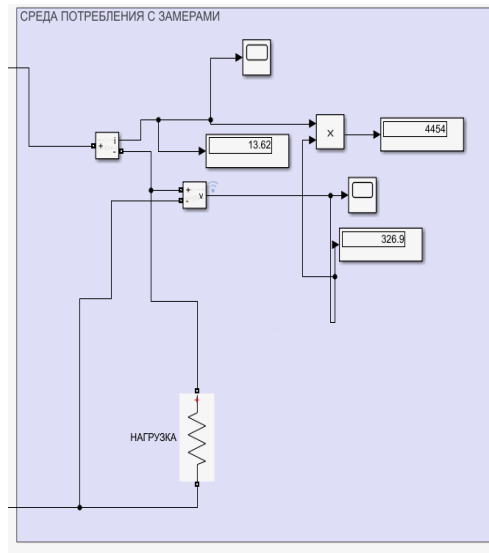


Рисунок 4.2 - Показания мгновенной мощности солнечной электростанции многоуровневым инвертором мощностью 4 кВт в среде MATLAB/Simulink

Однако, поскольку нам необходимы действующие значения получаемой электроэнергии, а также информация о гармоническом искажении графика относительно синусоиды, я подключаю два блока. Один из них преобразует амплитудные значения электроэнергии в действующие значения (рисунок 4.3), а другой показывает гармоническое отклонение графика от синусоиды (рисунок 4.4).

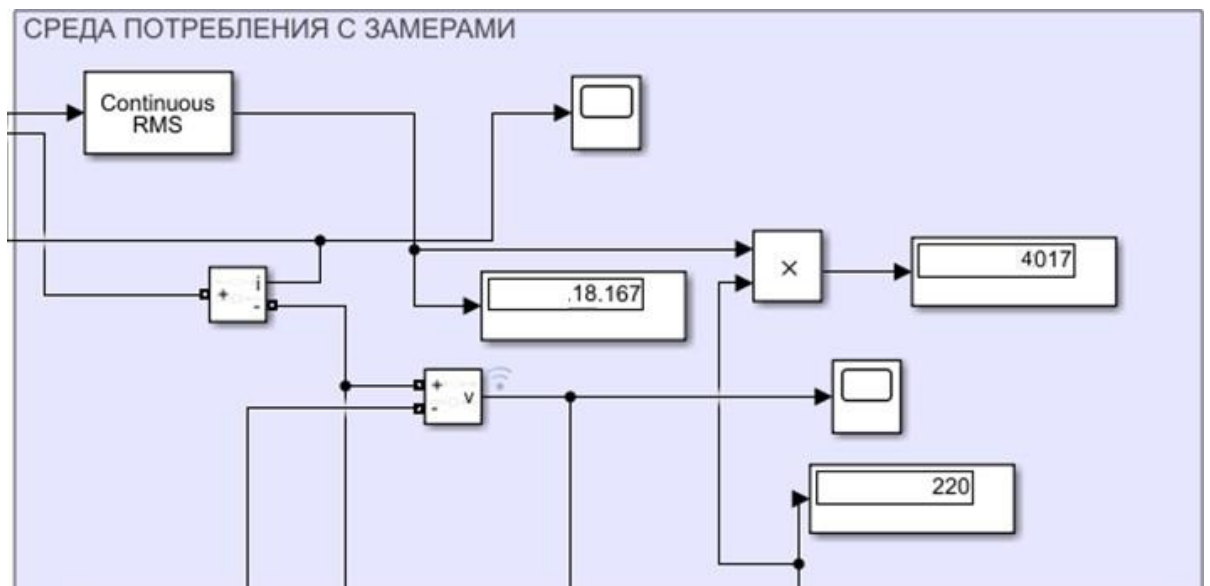


Рисунок 4.3 – Результаты измерения электроэнергии в среде моделирования Matlab/Simulink

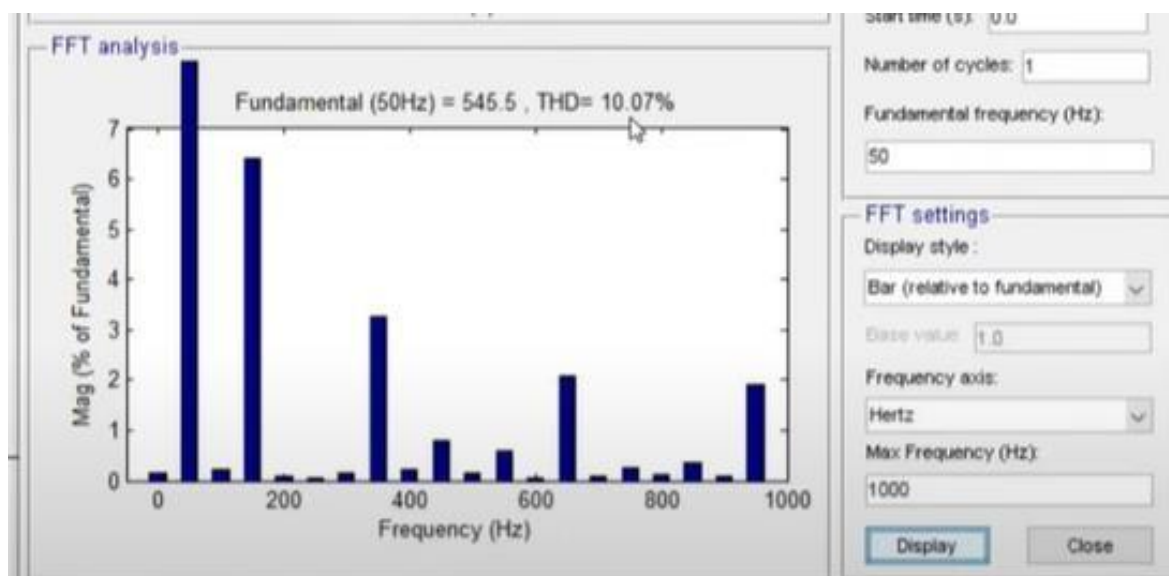


Рисунок 4.4-Показание отклонения полученного графика от синусоиды THD

4.2 Изучение работы многоуровневого инвертора с солнечной электростанцией мощностью 4 кВт

Эффективное использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечные электростанции, требует внедрения передовых технологий преобразования и управления энергией. Многоуровневые инверторы являются ключевыми компонентами в таких системах, так как они обеспечивают преобразование постоянного тока (DC), вырабатываемого солнечными панелями, в переменный ток (AC), необходимый для питания бытовых и промышленных устройств. В данной главе проводится подробный анализ совместной работы многоуровневого инвертора и солнечной электростанции мощностью 4 кВт.

Принцип работы солнечной электростанции

Солнечная электростанция состоит из следующих основных компонентов:

Солнечные панели: Основные элементы, которые преобразуют солнечную энергию в электрическую.

Контроллер заряда: Устройство, регулирующее процесс зарядки аккумуляторов и защищающее их от перегрузок.

Аккумуляторы: Устройства для хранения избыточной энергии, которая может быть использована в периоды низкой солнечной активности.

Инвертор: Преобразует постоянный ток, генерируемый солнечными панелями, в переменный ток, который можно использовать для питания электрических устройств.

Принцип работы многоуровневого инвертора

Многоуровневый инвертор представляет собой устройство, которое преобразует постоянный ток в переменный с минимальными гармоническими искажениями. Основными компонентами многоуровневого инвертора являются

MOSFET транзисторы, которые управляются с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Инвертор создает многоуровневое выходное напряжение, что позволяет улучшить качество выходного сигнала и повысить общую эффективность системы.

Основные этапы работы многоуровневого инвертора:

Преобразование DC в AC: Постоянный ток от солнечных панелей преобразуется в переменный ток.

Формирование многоуровневого сигнала: Инвертор создает многоуровневое выходное напряжение, что позволяет уменьшить гармонические искажения и улучшить качество выходного сигнала.

Управление транзисторами: ШИМ используется для точного управления транзисторами, обеспечивая высокую точность и стабильность выходного сигнала.

Совместная работа инвертора и солнечной электростанции

Совместная работа многоуровневого инвертора и солнечной электростанции мощностью 4 кВт требует учета множества факторов для обеспечения стабильного и эффективного преобразования энергии.

Эффективность преобразования:

Многоуровневый инвертор обеспечивает высокую эффективность преобразования постоянного тока в переменный. Современные инверторы могут достигать КПД до 98%, что минимизирует потери энергии при преобразовании.

Качество выходного сигнала:

Многоуровневые инверторы создают выходное напряжение, близкое к синусоидальной форме, что значительно снижает уровень гармонических искажений. Это важно для обеспечения качественного электроснабжения бытовых и промышленных устройств.

Стабильность работы:

Инвертор обеспечивает стабильную работу всей системы, автоматически регулируя процесс преобразования в зависимости от уровня солнечного излучения и состояния аккумуляторов. Это позволяет поддерживать постоянное напряжение на выходе даже при изменениях условий освещения.

Защита системы:

Многоуровневые инверторы оснащены различными системами защиты, такими как защита от перегрузок, коротких замыканий и перегрева. Это повышает надежность и долговечность всей установки.

Анализ выходных характеристик

Для анализа работы инвертора и солнечной электростанции необходимо рассмотреть выходные характеристики системы, такие как напряжение, ток и мощность на различных этапах работы. Измерения проводятся в реальном времени с использованием соответствующих приборов.

Измерение напряжения и тока:

Напряжение и ток измеряются на выходе инвертора и на входе нагрузок. Это позволяет оценить эффективность работы инвертора и выявить возможные отклонения от заданных параметров.

Анализ мощности:

Измерение мощности позволяет оценить, насколько эффективно инвертор преобразует энергию, генерируемую солнечными панелями.

Гармонические искажения:

Уровень гармонических искажений определяется с помощью спектрального анализа выходного сигнала. Это позволяет оценить качество выходного напряжения и выявить возможные проблемы в работе инвертора.

Практическое применение

Совместная работа многоуровневого инвертора и солнечной электростанции на практике обеспечивает стабильное и надежное электроснабжение для различных применений. Например, такая система может использоваться для питания бытовых приборов, освещения, зарядки аккумуляторов и других целей в условиях автономного электроснабжения.

Энергоэффективность:

Использование многоуровневого инвертора позволяет существенно повысить энергоэффективность системы за счет снижения потерь на преобразование и улучшения качества выходного сигнала.

Устойчивость к внешним воздействиям:

Система обеспечивает устойчивую работу при изменениях уровня солнечного излучения, температуры и других внешних факторов, что делает её надёжной в различных условиях эксплуатации.

Анализ совместной работы многоуровневого инвертора и солнечной электростанции мощностью 4 кВт показал, что такая система способна обеспечивать эффективное и стабильное преобразование энергии с минимальными потерями и гармоническими искажениями. Многоуровневый инвертор играет ключевую роль в обеспечении высокого качества выходного сигнала и надёжности всей установки. Совместное использование солнечных панелей и инвертора позволяет максимально эффективно использовать возобновляемую энергию, что способствует устойчивому развитию и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

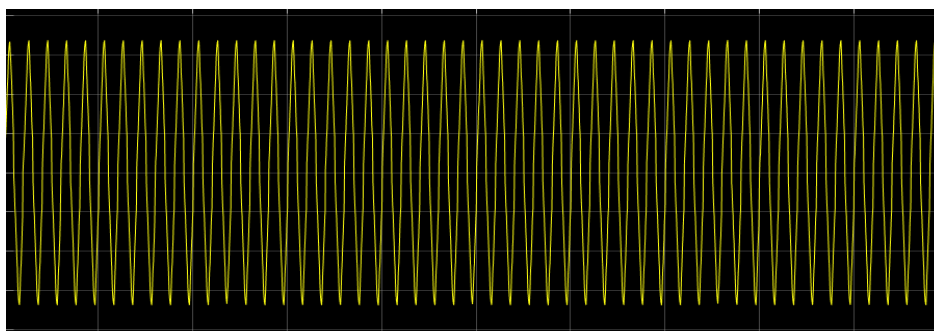


Рисунок 4.5 – Показания вольтметра спустя некоторое время

4.3 Исследование многоуровневого инвертора и солнечной электростанции на нагрузку

В данной главе рассматриваются принципы и результаты исследования, направленного на анализ работы этих систем. Особое внимание уделяется эффективности преобразования энергии, стабильности работы инвертора и его взаимодействию с автономной нагрузкой.

Принцип работы автономной системы

Автономная солнечная электростанция состоит из нескольких ключевых компонентов:

Солнечные панели: Преобразуют солнечное излучение в электрическую энергию.

Многоуровневый инвертор: Преобразует постоянный ток, генерируемый солнечными панелями, в переменный ток, который может быть использован для питания автономной нагрузки.

Аккумуляторные батареи: Хранят избыточную энергию, которая может быть использована в периоды низкой солнечной активности.

Контроллер заряда: Регулирует процесс зарядки аккумуляторов и защищает их от перегрузок.

Схема подключения и исследование

Для исследования работы многоуровневого инвертора и солнечной электростанции на автономную нагрузку необходимо собрать и подключить все компоненты системы.

Этапы подключения:

Сборка солнечной электростанции: Соединение солнечных панелей в соответствии с проектными требованиями для достижения необходимой мощности.

Подключение инвертора: Соединение многоуровневого инвертора с солнечными панелями и аккумуляторами.

Подключение автономной нагрузки: Соединение автономной нагрузки с выходом инвертора.

Установка измерительных приборов: Подключение вольтметров, амперметров и других измерительных приборов для мониторинга работы системы.

Исследование параметров системы

После подключения системы проводится исследование её параметров в реальных условиях эксплуатации.

Измерение напряжения и тока:

Измерения проводятся на выходе инвертора и на входе автономной нагрузки. Это позволяет оценить эффективность преобразования энергии и стабильность работы инвертора.

Гармонические искажения:

Уровень гармонических искажений определяется с помощью спектрального анализа выходного сигнала. Это позволяет оценить качество выходного напряжения и выявить возможные проблемы в работе инвертора.

Результаты исследования

Результаты исследования показали, что многоуровневый инвертор обеспечивает высокую эффективность преобразования энергии и стабильную работу системы в условиях автономной нагрузки.

Эффективность преобразования:

Многоуровневый инвертор достиг высокого КПД, что минимизировало потери энергии при преобразовании.

Качество выходного сигнала:

Выходное напряжение инвертора близко к синусоидальной форме, что значительно снижает уровень гармонических искажений и обеспечивает высокое качество электроснабжения автономной нагрузки.

Стабильность работы:

Система показала высокую стабильность работы при различных уровнях солнечного излучения и состоянии аккумуляторов. Это подтверждает возможность использования такой системы в реальных условиях эксплуатации.

Исследование работы многоуровневого инвертора и солнечной электростанции на автономную нагрузку подтвердило их высокую эффективность и надежность. Многоуровневый инвертор обеспечивает качественное преобразование энергии, снижая гармонические искажения и повышая общую стабильность системы. Эти результаты демонстрируют, что такие системы могут быть успешно использованы для автономного электроснабжения, обеспечивая устойчивое развитие и минимизируя воздействие на окружающую среду.

Для работы многоуровневого инвертора и солнечной электростанции на нагрузку нужно сделать следующие шаги для корректной работы:

1. Собрать схему для солнечной электростанции в среде Matlab/Simulink мощностью 4 кВт для питания дома.
2. Собрать схему в среде Matlab/Simulink многоуровневого инвертора из 16 транзисторов MOSFET.
3. Подключить между собой многоуровневый инвертор состоящий из 16 MOSFET транзисторов и солнечную электростанцию мощностью 4 кВт.
4. Подключить нагрузку к собранной солнечной электростанции вольтметры, амперметры и соответствующие модули измерения к собранной схеме.

Для начала собираем солнечную электростанцию мощностью 4 кВт. Исходя из рисунка 3.1, уже известно, как соединить 16 солнечных панелей между собой для корректной работы. Большим плюсом будет то что в среде MATLAB/Simulink это можно сделать намного проще, указав в конфигурации солнечных панелей количество солнечных панелей в одной ветви и количество таких ветвей. Подключаем к панели две константы, которые будут задавать параметры солнечного излучения для корректной работы (в нашем случае 1000 Вт/м^2) и температуру окружающей среды (в нашем случае $30 \text{ }^\circ\text{C}$) [8].

Parameters		Advanced	
Array data			
Parallel strings	4		
Series-connected modules per string	4		
Module data			
Module:	User-defined		
Maximum Power (W)	249.84	Cells per module (Ncell)	36
Open circuit voltage Voc (V)	44	Short-circuit current Isc (A)	10
Voltage at maximum power point Vmp (V)	34.7	Current at maximum power point Imp (A)	7.2
Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)	-0.3028	Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)	0.035271

Рисунок 4.6 – Настройка солнечных панелей в среде MATLAB/Simulink

Дальше будет собрана схема многоуровневого инвертора. Собирать и настраивать схему будет так же в среде MATLAB/Simulink.

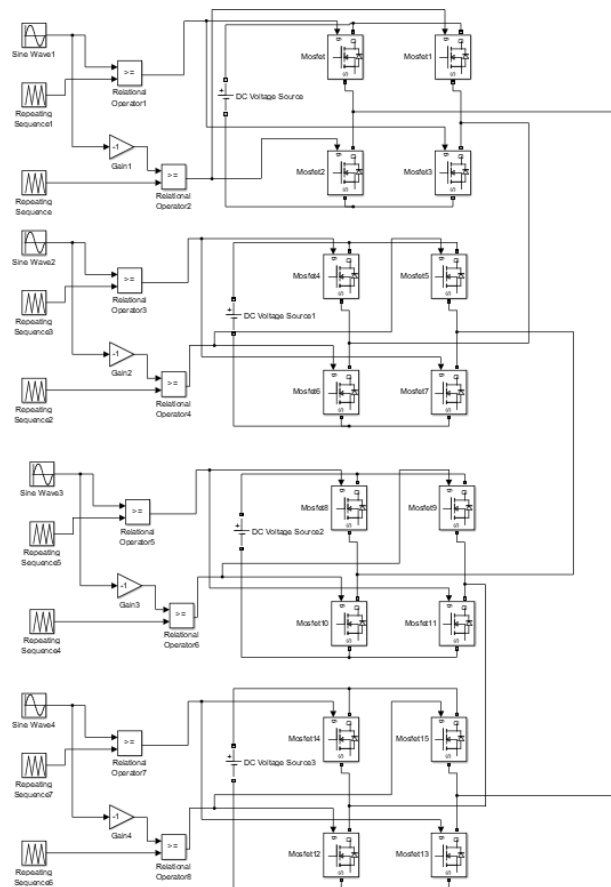


Рисунок 4.7 – Конфигурация многоуровневого инвертора в среде Matlab/Simulink

На основании рисунка 3.1, мы уже имеем представление о том, как должны быть подключены транзисторные ключи к инвертору. Открытие этих транзисторных ключей осуществляется благодаря импульсным генераторам, которые настроены таким образом, чтобы транзисторы открывались в точно заданный момент и на необходимую продолжительность времени. Полный период колебаний напряжения в данной конфигурации составляет 20 мс, после чего цикл повторяется. Это означает, что каждое изменение состояния транзисторов происходит в пределах этого временного интервала, что обеспечивает стабильную работу всей системы.

После сборки всей схемы, которая включает в себя солнечную электростанцию, многоуровневый инвертор и систему нагрузки с установленными в ней измерительными приборами, можно приступить к исследованию работы всей установки. Общая электронная схема представлена на рисунке 4.1.

В схеме потребления и измерения установлены дисплеи, которые отображают результаты измерений в реальном времени. Это позволяет мониторить работу системы и своевременно выявлять любые отклонения или неисправности. Для более наглядного примера, приведены рисунки с измерениями тока, напряжения и мощности в различные моменты времени: $t = 1$ мс, $t = 5$ мс, $t = 10$ мс, $t = 15$ мс и $t = 20$ мс.

Эти измерения показывают, как изменяются параметры системы в течение каждого периода колебаний напряжения. Благодаря этим данным можно проанализировать эффективность работы инвертора, выявить возможные потери энергии и определить, насколько точно система соответствует заданным техническим характеристикам.

Дополнительно, данные измерения позволяют оценить гармонические искажения, которые могут возникнуть при преобразовании напряжения. Использование импульсных генераторов с точно настроенными параметрами открытия и закрытия транзисторов помогает минимизировать такие искажения, обеспечивая высокое качество выходного сигнала. Таким образом, собранная схема и проведенные измерения предоставляют исчерпывающую информацию о работе многоуровневого инвертора и позволяют сделать выводы о его эффективности и надежности в составе солнечной электростанции.

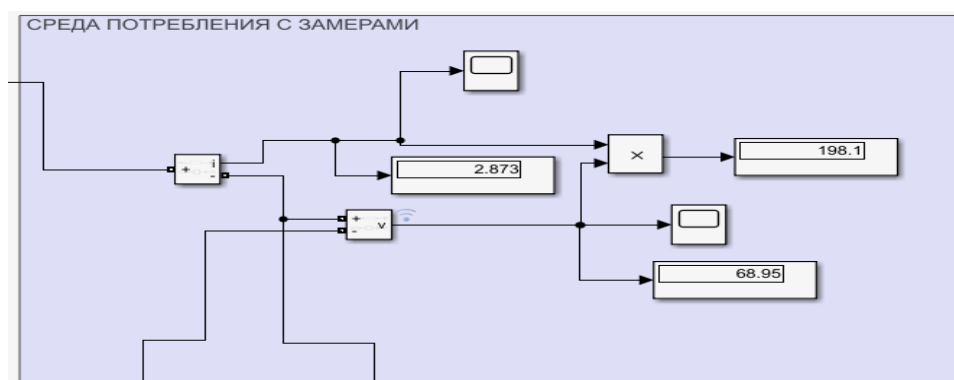


Рисунок 4.8 – Показания на дисплеях в момент времени $t = 1$ мс

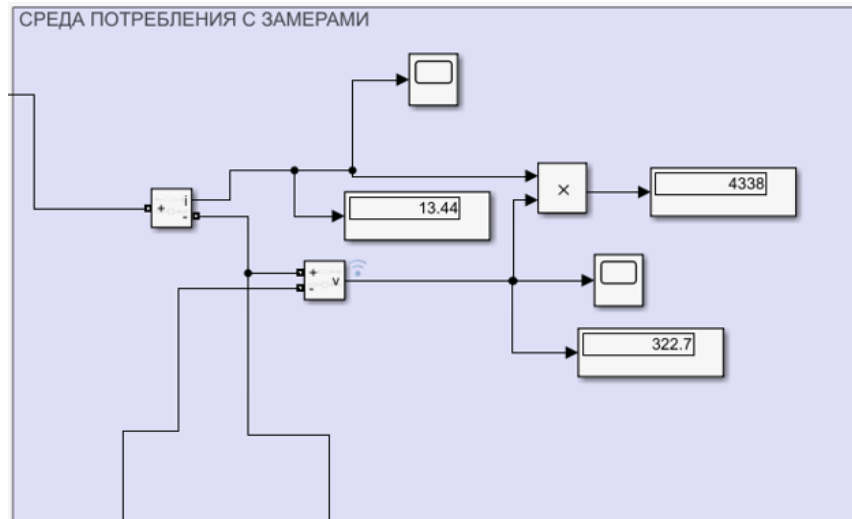


Рисунок 4.9 – Показания на дисплеях в момент времени $t= 5$ мс

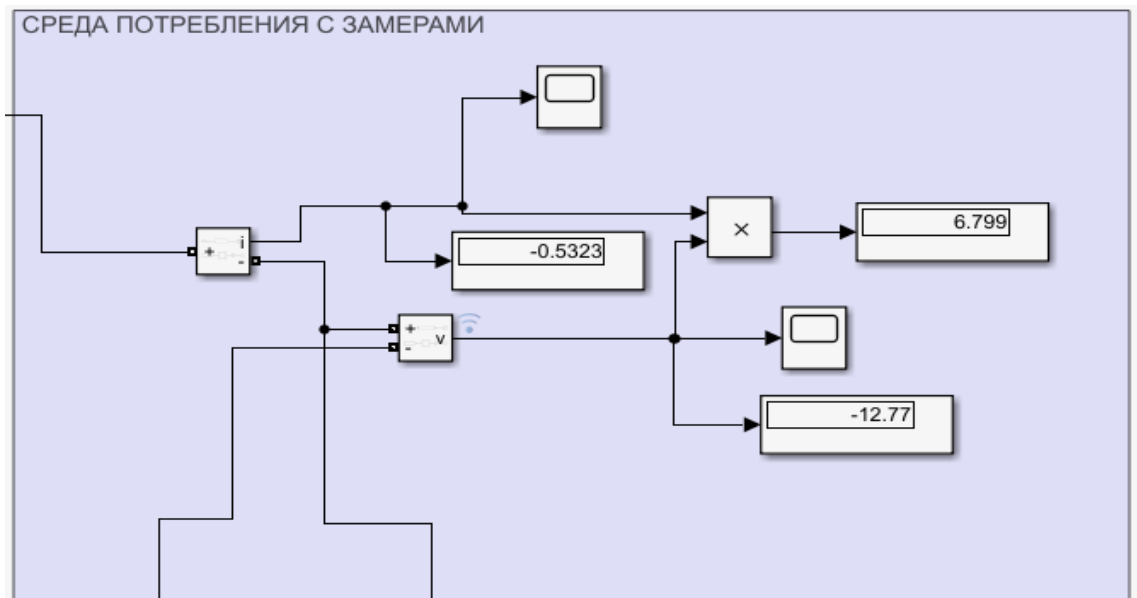


Рисунок 4.10 – Показания на дисплеях в момент времени $t= 10$ мс

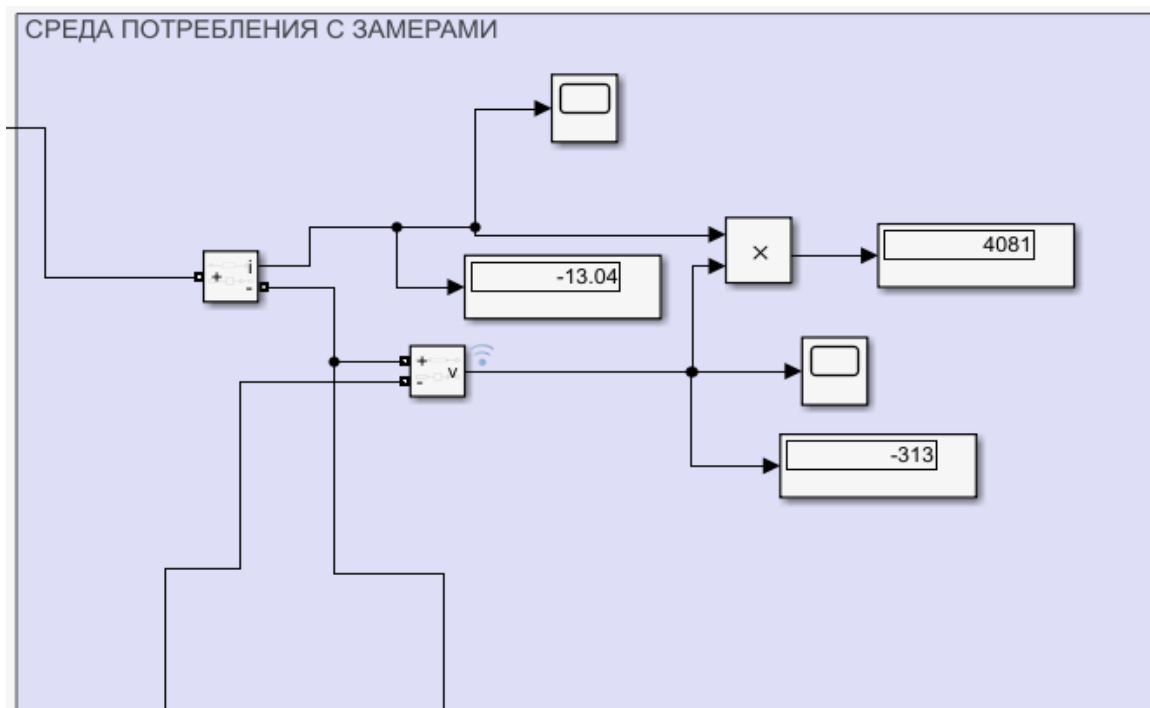


Рисунок 4.11 – Показания на дисплеях в момент времени $t= 15$ мс

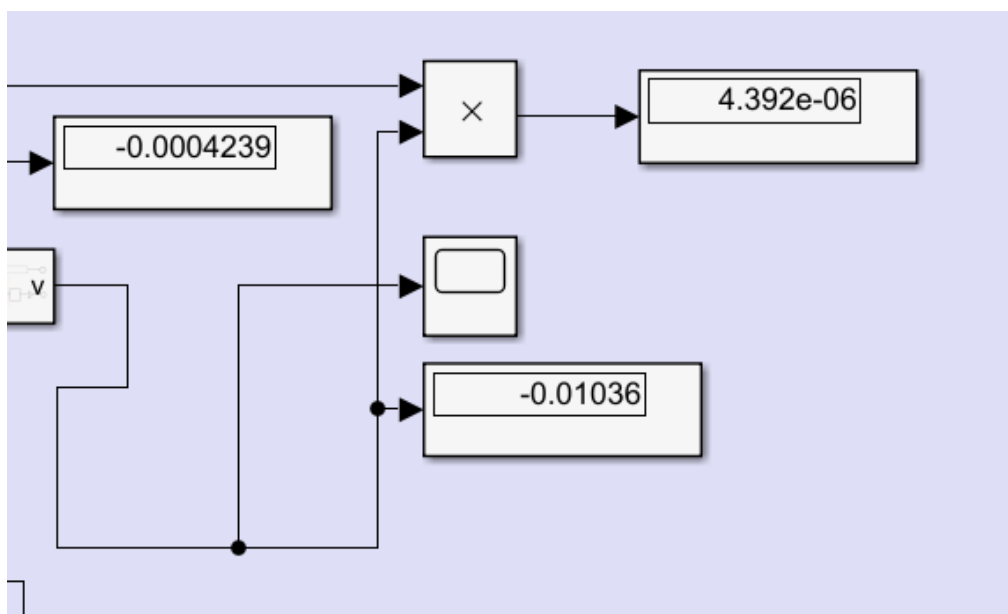


Рисунок 4.12 – Показания на дисплеях в момент времени $t= 20$ мс

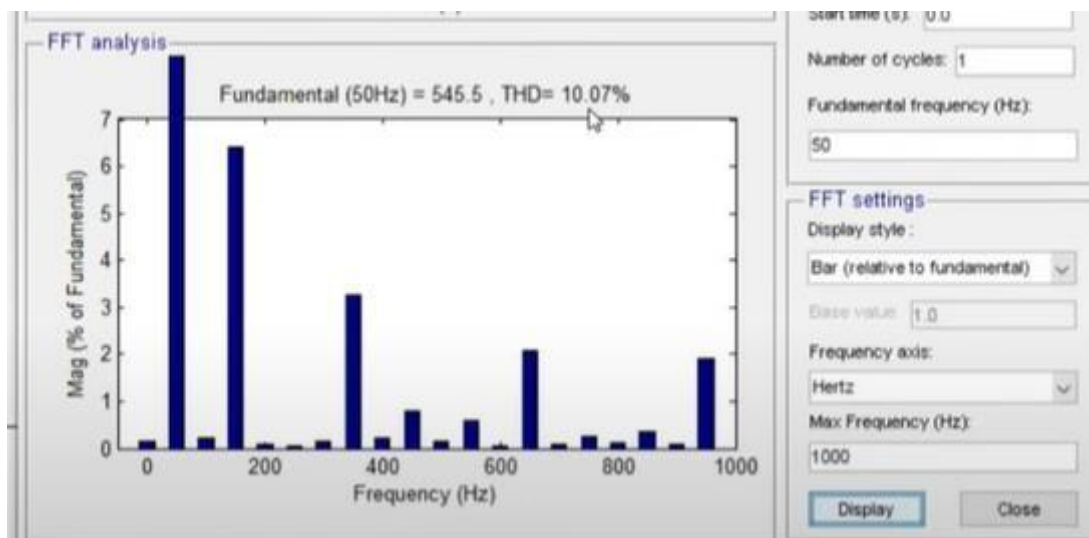


Рисунок 4.2 –Уровень искажений синусоиды THD (Total Harmonic Distortion)

5 Моделирование схемы многоуровневого инвертора и солнечной электростанции на нагрузку в среде моделирования Matlab/Simulink

На предыдущем рисунке 4.7 была представлена схема многоуровневого инвертора, предназначенного для использования в солнечной электростанции. Этот транзисторный инвертор включает в себя 16 транзисторов, управление которыми осуществляется с помощью импульсных генераторов. Эти генераторы точно синхронизированы, чтобы открывать и закрывать транзисторы в строго определенные моменты времени, обеспечивая тем самым стабильную и эффективную работу инвертора.

Импульсные генераторы играют ключевую роль в управлении транзисторами, так как они задают временные интервалы для переключения транзисторов между открытым и закрытым состояниями. Это необходимо для обеспечения правильной работы многоуровневого инвертора, позволяя ему эффективно преобразовывать постоянный ток от солнечных панелей в переменный ток для использования в электросети. На рисунке 5.1 представлены графики открытых и закрытых состояний транзисторов, подключенных к положительной вторичной обмотке трансформатора.

Эти графики демонстрируют временные интервалы, в течение которых каждый транзистор находится в открытом или закрытом состоянии. Анализ этих графиков позволяет понять, как изменяется состояние каждого транзистора во времени и как это влияет на работу всей системы. Эти графики также позволяют оценить, насколько синхронизировано работают транзисторы и как это влияет на выходные характеристики инвертора. Правильная синхронизация транзисторов является критически важной для минимизации гармонических искажений и обеспечения высококачественного выходного сигнала. Дополнительно, такие графики помогают выявить возможные проблемы или недостатки в работе инвертора, такие как несоответствие временных интервалов или неправильная работа отдельных транзисторов. Это дает возможность своевременно внести коррективы в работу системы и улучшить её эффективность и надежность.

Таким образом, представленные графики и анализ работы транзисторов являются важным этапом в исследовании и оптимизации работы многоуровневого инвертора для солнечной электростанции.

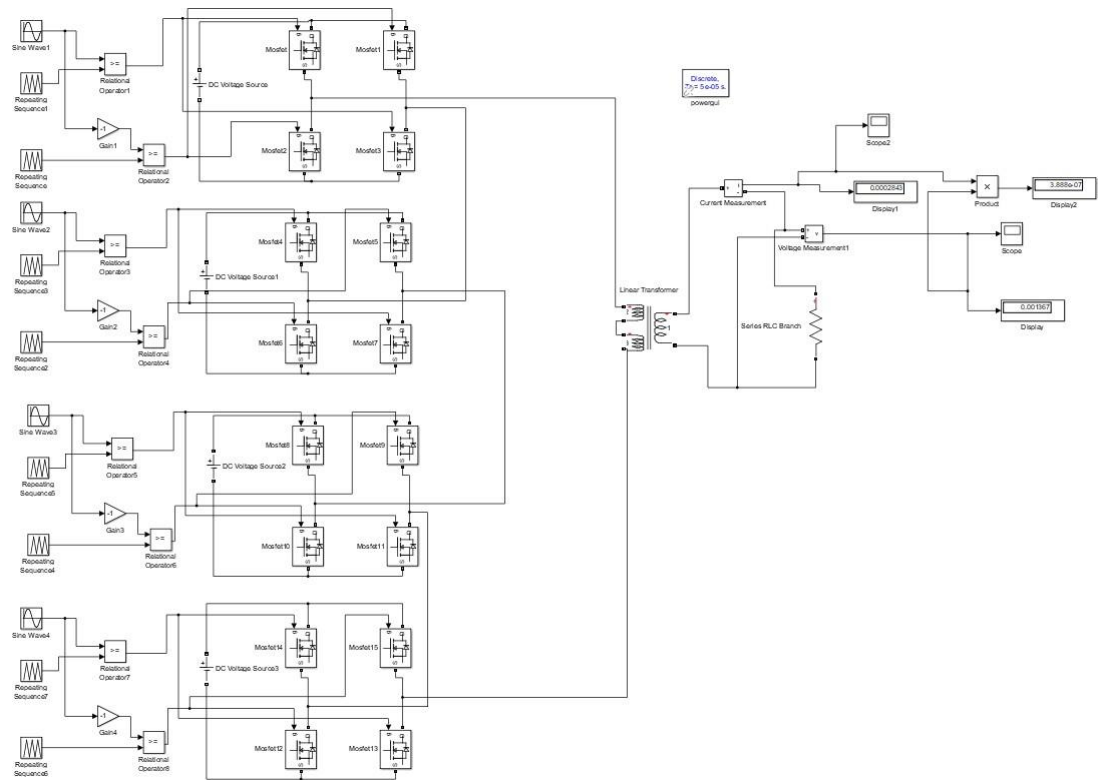


Рисунок 5.1 – Схема многоуровневого инвертора с 16 MOSFET транзисторами в среде моделирования Matlab/Simulink

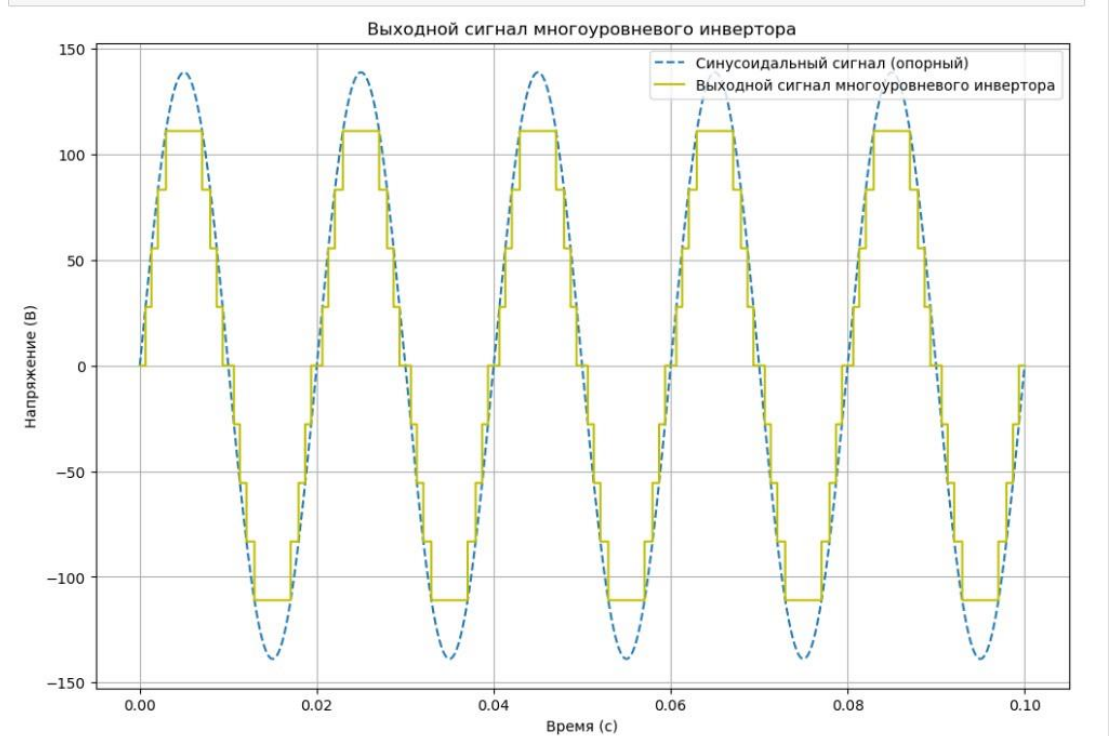


Рисунок 5.2 – Многоуровневый график напряжения на выходе инвертора (8 – уровней)

Принцип работы H-каскадного 9-уровневого инвертора, состоящего из 16 MOSFET транзисторов, управляемых с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ), заключается в последовательном переключении транзисторов для создания многоуровневого выходного напряжения. Этот метод обеспечивает более плавное преобразование постоянного тока в переменный, уменьшая гармонические искажения и улучшая качество выходного сигнала.

Основные компоненты и структура инвертора:

MOSFET транзисторы: 16 транзисторов, разделенных на 4 каскада по 4 транзистора в каждом каскаде.

Импульсные генераторы ШИМ: генерируют управляющие сигналы для открытия и закрытия транзисторов в нужные моменты времени.

Повышающий трансформатор: преобразует выходное напряжение до необходимого уровня.

Принцип работы:

Начальный этап (положительное напряжение):

В момент времени $t = 0$ мс открывается транзистор T1 первого каскада, замыкая первую ступень повышения напряжения.

В момент времени $t = 1$ мс открывается транзистор T2 второго каскада, добавляя вторую ступень повышения напряжения.

В момент времени $t = 2$ мс открывается транзистор T3 третьего каскада, формируя третью ступень повышения напряжения.

В момент времени $t = 3$ мс открывается транзистор T4 четвертого каскада, создавая четвертую ступень.

В момент времени $t = 4$ мс открываются соответствующие транзисторы следующего каскада, увеличивая напряжение до следующего уровня, и так далее до достижения максимального уровня в 9 ступеней.

Обратный процесс (понижение напряжения):

В момент времени $t = 5$ мс закрывается транзистор T1, уменьшая напряжение на одну ступень.

В момент времени $t = 6$ мс закрывается транзистор T2, уменьшая напряжение еще на одну ступень.

В момент времени $t = 7$ мс закрывается транзистор T3, продолжая процесс понижения напряжения.

В момент времени $t = 8$ мс закрывается транзистор T4, завершая процесс до минимального уровня напряжения.

Управление ШИМ:

Импульсные генераторы ШИМ генерируют управляющие сигналы, которые открывают и закрывают транзисторы с высокой частотой. Эти сигналы модулируются так, чтобы транзисторы открывались и закрывались в строго определенные моменты времени, обеспечивая требуемое напряжение на выходе.

Защита системы:

Для предотвращения короткого замыкания и повреждений, к каждому транзистору подключены защитные диоды. Эти диоды предотвращают прохождение обратного тока через транзисторы, защищая их от перегрузок и возможных

поломок. Дополнительно, диод установлен в цепи солнечной электростанции для защиты всей системы от обратного тока.

Выходное напряжение:

Выходное напряжение инвертора представляет собой многоуровневую ступенчатую форму, близкую к синусоидальной. Это достигается за счет правильного управления транзисторами и их синхронного переключения. Благодаря ШИМ, форма сигнала становится более гладкой и менее подверженной гармоническим искажениям.

Таким образом, H-каскадный 9-уровневый инвертор с 16 MOSFET транзисторами, управляемый ШИМ, обеспечивает эффективное и надежное преобразование энергии, поддерживая высокое качество выходного сигнала и защищая систему от возможных повреждений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многоуровневый инвертор совместно с солнечной электростанцией предоставляют ряд практических преимуществ. Прежде всего, они могут быть важным источником энергии в удаленных районах, где отсутствует доступ к промышленной электросети, обеспечивая жителей электричеством для различных потребностей.

Кроме того, использование солнечной энергии и инверторов может снизить зависимость от традиционных источников энергии, что в свою очередь приводит к экономии денежных средств и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Многоуровневые инверторы имеют ряд особенностей, которые делают их более привлекательными по сравнению с альтернативными вариантами. Для инверторов, требующих высоких частот, но небольших значений напряжения и тока, идеальными могут оказаться транзисторы MOSFET. Их высокая скорость переключения, большие токи и мощность, а также линейные характеристики и высокие рабочие температуры делают их предпочтительным выбором в таких ситуациях.

Для инверторов, где требуется большая мощность, но не столь высокие частоты, лучшим выбором могут стать транзисторы IGBT. Эти транзисторы широко используются в современных преобразователях частоты и приводах переменного тока мощностью до нескольких мегаватт и отлично подходят для многоуровневых солнечных электростанций мощностью от сотен киловатт и выше.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инверторы для солнечных батарей. Виды и особенности Работа (electrosam.ru)
- 2 Об обратной блокирующей способности типовых структура IGBT | Силовая электроника (power-e.ru)
- 3 Потребление электроэнергии бытовыми приборами: таблица, расчеты (remo.ru)
- 4 Конструктивно-технологические особенности MOSFET полевых транзисторов | Силовая электроника (power-e.ru)
- 5 IGBT транзисторы. Устройство и работа. Параметры и применение (electrosam.ru)
- 6 Исембергенов Н.Т. Многоступенчатый транзисторный инвертор для преобразования энергии солнечных батарей – “Электричество”. – 2011. – № 7 – С. 12–17.
- 7 (630) How to Design 200 Watt Solar (PV) Module in MATLAB
- 8 Многоуровневые и каскадные инверторы (cyberleninka.ru)
- 9 Анализ работы H-мостового каскадного инвертора (cyberleninka.ru)
- 10 Мостовой преобразователь с ШИМ (fresh-web-studio.github.io)

Перечень принятых сокращений, терминов

MATLAB/Simulink – это мощная графическая среда виртуального моделирования, которая позволяет строить и анализировать динамические модели различных систем с помощью блок-диаграмм.

IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor) – это биполярный транзистор с изолированным затвором, который сочетает в себе высокое входное сопротивление полевого транзистора (MOSFET) и низкое насыщенное напряжение биполярного транзистора (BJT).

MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) – это полевой транзистор с структурой металл-оксид-полупроводник, который управляется электрическим полем.

AC (Alternating Current) – это переменный ток, при котором направление и величина электрического тока периодически меняются.

DC (Direct Current) – это постоянный ток, при котором электрический ток течет в одном направлении.

PWM (Pulse Width Modulation) – это широтно-импульсная модуляция, метод регулирования мощности в электрических цепях путем изменения ширины импульсов при постоянной частоте.

Инвертор – это электронное устройство, которое преобразует постоянный ток (DC) в переменный ток (AC).

Трансформатор – это электрическое устройство, которое преобразует напряжение одного уровня в напряжение другого уровня путем электромагнитной индукции.

РЕЦЕНЗИЯ

На дипломную работу

Жанысбай Асылхан Сакенулы

Специальность: 6B07104 – Electronic and Electrical
Engineering

На тему: «Разработка многоуровневого инвертора ведомой электросети мощностью 4,5 кВт»

ЗАМЕЧАНИЕ К РАБОТЕ

В дипломной работе Жанысбай Асылхана Сакенулы проводится разработка многоуровневого инвертора мощностью 4.5 кВт для использования в солнечной энергетике.

В первой главе дипломной работы проведен анализ существующих многоуровневых инверторов, их классификация и выбор подходящей структуры. Подробно рассмотрены преимущества многоуровневых инверторов.

Вторая глава посвящена проектированию конструкции многоуровневого инвертора, подбору необходимых компонентов и разработке схемы соединения солнечных панелей. Проведен расчет мощности солнечной электростанции с использованием выбранных компонентов.

В третьей главе описан процесс сборки многоуровневого инвертора и его интеграции с солнечной электростанцией. Также проведено моделирование работы системы в среде MATLAB/Simulink, что позволило оценить эффективность и надежность разработанного инвертора.

Оценка работы

Студент отлично ориентируется в теоретическом материале, работа выполнена согласно техническому заданию к дипломной работе, соблюдены все стандарты университета по написанию дипломных работ.

Считаю, что дипломная работа выполнена на отлично (А, 90%), а дипломант, Жанысбай Асылхан Сакенулы, заслуживает присвоения академической степени бакалавра специальности 6B07104 – Electronic and Electrical Engineering.

Рецензент
PhD, ассоц.проф.,
Алматинского университета
энергетики и связи им. Г.Даукеева

«30» 05 2024 г.



Сагындыкова А.Ж.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Жанысбай Асылхан Сакенулы

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Тема: «Разработка многоуровневого инвертора ведомой электросетью
мощностью 4.5 кВт»

Дипломная работа построена следующим образом: введение, обзор существующих многоуровневых инверторов и выбор элементной базы, принципы работы многоуровневых инверторов, разработка структуры многоуровневого инвертора, проектирование многоуровневого инвертора, сборка многоуровневого инвертора, выводы, список литературы.

Многоуровневый инвертор представляет собой сложное устройство, состоящее из нескольких каскадов MOSFET транзисторов, работающих совместно для преобразования постоянного тока в переменный с минимальными гармоническими искажениями. Использование такой системы позволяет значительно повысить качество выходного сигнала и снизить уровень электромагнитных помех.

В рамках проекта был проведен обзор и анализ существующих многоуровневых инверторов, анализ принципов их функционирования, а также анализ основных элементов системы. Проведены все необходимые расчеты и разработаны схемы соединения компонентов.

Образец был промоделирован и протестирован в среде MATLAB/Simulink. Результаты моделирования подтвердили высокую эффективность разработанного инвертора и его пригодность для использования в солнечной энергетике.

Основные выводы содержатся в заключении работы.

Дипломная работа Жанысбай Асылхан Сакенулы может быть рекомендована к защите с присвоением ей академической степени бакалавра по образовательной программе 6B07104 «Electronic and Electrical Engineering» и оценивается на оценку 85 (хорошо).

Научный руководитель:
профессор д.т.н



Исембергенов Н.Т.

« 30 » 05 2024 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жанысбай Асылхан Сакенұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка многоуровневого инвертора ведомой электросетью мощностью 4,5 кВт

Научный руководитель: Налик Исембергенов

Коэффициент Подобия 1: 14.6

Коэффициент Подобия 2: 4.8

Микропробелы: 5

Знаки из здругих алфавитов: 14

Интервалы: 4

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-06-01

Дата



Сұңғат Марксұлы

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жанысбай Асылхан Сакенұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка многоуровневого инвертора ведомой электросетью мощностью 4,5 кВт

Научный руководитель: Налик Исембергенов

Коэффициент Подобия 1: 14.6

Коэффициент Подобия 2: 4.8

Микропробелы: 5

Знаки из здругих алфавитов: 14

Интервалы: 4

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-06-01

Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Жанысбай Асылхан Сакеңұлы

Тақырыбы: Разработка многоуровневого инвертора ведомой электросетью мощностью 4,5 кВт

Жетекшісі: Налик Исембергенов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 14.6

2-ұқсастық коэффициенті (5): 4.8

Дәйексөз (35): 1.1

Әріптерді ауыстыру: 14

Аралықтар: 4

Шағын кеңістіктер: 5

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2024-06-01

Күні

Кафедра меңгерушісі

