

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

Рівень вищої освіти – перший "бакалаврський" рівень

на тему: **„ Підвищення енергоефективності автономної система живлення на основі сонячної електростанції 16 МВт ТзОВ «Фаворит-Агро» м. Корець Рівненської області”**

Виконав: студент 2 курсу групи Ен-22 сп
Спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)

Дмитришин Владислав Михайлович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Коробка С. В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: _____
(Прізвище та ініціали)

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

" ____ " _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Дмитришин Владислав Михайлович

1. Тема роботи: "Підвищення енергоефективності автономної система живлення на основі сонячної електростанції 16 МВт ТзОВ «Фаворит-Агро» м. Корець Рівненської області"

Керівник роботи: Коробка Сергій Васильович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 30.12.2022 року № 453/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 31.05.2023 року.

3. Вихідні дані: 1. Навчальна, наукова, методична та довідкова література. Матеріали мережі "Internet".

2. Технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу відповідної установки.

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Загальна характеристика господарства.

4.2. Теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з даного питання.

4.3. Розрахунок системи управління сонячних електростанцій і опис системи автоматизації, щодо розроблення відповідних схем автоматизації і проектування програмного забезпечення.

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

4.5. Економічна частина.

Висновки та пропозиції.

Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Ілюстрації до доповіді виконані у формі презентації.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І. М. к.т.н., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 31.05.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Загальна характеристика господарства.	03.02.2023 – 21.02.2023	
2	Теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з даного питання.	22.02.2023 – 18.03.2023	
3	Розрахунок системи управління сонячних електростанцій і опис системи автоматизації, щодо розроблення відповідних схем автоматизації і проектування програмного забезпечення	21.03.2023 – 31.03.2023	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	01.04.2023 – 08.04.2023	
5	Економічна частина.	11.04.2023 – 22.04.2023	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	25.04.2023 – 12.05.2023	
7	Завершення роботи в цілому	16.05.2023 – 31.05.2023	

Студент _____ Дмитришин В. М.

(підпис)

Керівник роботи _____ Коробка С. В.

(підпис)

УДК 69.09.14:662.925

Кваліфікаційна робота – “ Підвищення енергоефективності автономної система живлення на основі сонячної електростанції 16 МВт ТЗОВ «Фаворит-Агро» м. Корець Рівненської області”. Кафедра енергетики, м. Дубляни, Львівський НУП, 2023, текст доповідної частини, складається із 50 с., 5 розділів, 25 рисунків, 15 табл., використано 15 літер. джерел, до доповіді підготовлена одна презентація із 15 слайдів.

Розроблено автономну систему живлення на основі сонячної електростанції середньої потужності. Написано програмне забезпечення для контролеру, що являє собою складову SCADA системи, яка забезпечує візуалізацію системи управління. В якості середовища розробки програмного забезпечення було обрано наступну програму:

середовище	програмування	FLProg.
------------	---------------	---------

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE AUTONOMOUS POWER SYSTEM BASED ON THE 16 MW SOLAR POWER PLANT OF FAVORIT-AGRO LLC, KORETS, RIVNE REGION

Qualification work - "Increasing the energy efficiency of the autonomous power system based on the 16 MW solar power plant of Favorit-Agro LLC, Korets, Rivne region." Department of Energy, Dublyany, Lviv NUP, 2023, the text of the report, consists of 50 pages, 5 chapters, 25 figures, 15 tables, 15 letters are used. sources, one presentation of 15 slides has been prepared for the report.

An autonomous power system based on a medium power solar power plant has been developed. Software was written for the controller, which is a component of the SCADA system, which provides visualization of the control system. The following program was chosen as the software development environment: FLProg programming environment.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ.....	7
1.1 Актуальність автономних сонячних електростанцій.....	7
1.2 Основні переваги і недоліки встановлення автономних сонячних електростанцій 16 МВт.....	8
1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.....	11
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ 16 МВт.....	13
2.1 Концепція автономної системи електропостачання (APS) з відновлюваними джерелами енергії.....	13
2.2 Проектування автономної сонячної енергетичної системи.....	14
2.3 Профіль даних щоденного навантаження.....	17
2.4 Дані про сонячну радіацію.....	18
РОЗДІЛ 3. АВТОНОМНА СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ З ЛІТІЙ-ІОННИМ НАКОПИЧУВАЧЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНВЕРТОРНОГО ДЖЕРЕЛА НАПРУГИ.....	24
3.1 Обґрунтування вибору апаратної частин.....	24
3.2 Аналіз принципу роботи та типів автономних сонячних електростанцій.....	25
3.3 Розробка оптимального методу та системи керування автономною сонячною електростанцією.....	28
3.4 Фотоелектрична система з акумуляторним накопичувачем за допомогою інвертора та конвертера.....	32
3.5 Режими роботи автономної сонячної електростанції.....	34
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	42
4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля.....	42
4.2 Протипожежна безпека і грозозахист.....	43
РОЗДІЛ 5. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	44
5.1 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень для автономної система живлення на основі сонячної електростанції.....	44
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	47
ПОСИЛАННЯ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

У 2018-2021 роках в Україні розвивалися інтенсивно відновлювальні джерела енергії зокрема автономної система живлення на основі сонячної електростанції 16 МВт. Даному питанні було присвячено багато робіт та за їхніми результатами розроблено експериментальні стенди для дослідження фотоелектричних установок з різною структурою та гібридна енергетична система, запроваджено процес збору даних про роботу сонячних фотоелектричних установок та структурні компоненти гібридної енергетичної системи. Передбачалось спільне використання цих стендів, аналіз накопичених даних та подальше вдосконалення методик моніторингу енергетичних параметрів, керування енергетичними потоками тощо. На попередніх етапах співпраці України та Європейського союзу відбувалися двосторонні візити, що позитивно впливало на перебіг досліджень.

Однак з лютого 2022 року українські науковці відчують негативний вплив військових дій на можливості реалізації наукових проектів. З'явилися обмеження щодо фінансування науково-дослідної роботи університетів та наукових груп за рахунок коштів державного бюджету. Тому, наш колектив зіштовхнувся з проблемою пошкодження енергетичного, контрольно-вимірювального обладнання існуючої експериментальної установки. У результаті блек-ауту було виведено з ладу гібридний контролер, блоки живлення, система акумуляування електроенергії, систему моніторингу природних ресурсів. Окрім цього, коливання на валютному ринку та кон'юнктура ринку обладнання для ВДЕ значно збільшила вартість заміни необхідного для дослідження обладнання та терміни його поставок. Деякі позиції досі відсутні на міжнародних маркет-плейсах.

Тому, кваліфікаційна робота дозволить розв'язати такі важливі питання для України, як відновити обладнання та мати достатньо фінансових ресурсів для вирішення поточних та інших питань, пов'язаних з заявленою темою та програмою досліджень. Українські науковців помалу оговтуються від шоку та потрясінь, пов'язаних із війною і готові продовжувати свою наукову роботу

спільно з партнерами ЄС. Реалізувати заплановані у роботі будуть корисними як в Україні, на шляху забезпечення енергетичної безпеки і стабільності у військовий період та період відновлення. так і науковцям країн Європейського Союзу, які сьогодні вивчають досвід України у різних напрямках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

1.1 Актуальність автономних сонячних електростанцій

Поряд із виробництвом електроенергії за допомогою переробки не відновлюваних ресурсів земних надр існують відновлювальні джерела енергії. Одним із них є сонячна енергія. Однак неможливо говорити про якийсь конкретний вид енергії або галузі енергетики, не згадавши базові принципи та їх особливості, а саме економічну складову автономних сонячних електростанцій. Зокрема висока вартість та термін окупності впровадження сонячних панелей поєднується з можливістю виробництва екологічно чистого виду енергії [1].

Основними показниками актуальності і ефективності використання автономних сонячних електростанцій є:

1. Збільшення номінального ККД за рахунок технологічних матеріалів.
2. Зменшення кута повороту до Сонця на панелях.

На сьогодні користуються двома способами ефективності використання автономних сонячних електростанцій від потужності сонячних електростанцій та номінального ККД фотомодуля і кута відхилення променів від нормалі панелей (рис. 1, а) [1].

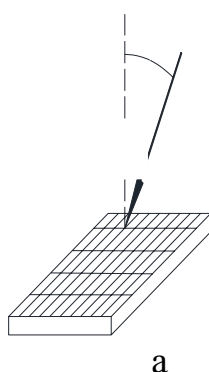


Рисунок 1.1 – Схематичне визначення кута відхилення променів від нормалі фотомодуля

Під час аналізу літературних джерел було виявлено, що на роботу автономної сонячної електростанції впливає ряд проблем [2], а саме:

1. Низька зносостійкість та недовговічність основних вузлів устаткування, що призводило до розриву та порушення контактів у схемі.
2. Зношування паяних з'єднань за рахунок постійного кручення проводів.
3. Якісні та надійні паяні сполуки.
4. Ізоляція, що запобігає зносу проводів.
5. Своєчасне обслуговування.
6. Підвищення вартості установки.

Тому, автономні сонячні електростанції використовується досить рідко. Це зумовлено додатковими витратами як у етапі установки, і на етапі обслуговування, зниженням надійності контактів і провідників. Однак варто враховувати, що на сьогоднішній день активно розробляються матеріали для вузько спрямованих цілей, і на даний момент крім кремнієвих існують більш ефективні та дорожчі плівкові фотопанелі.

1.2 Основні переваги і недоліки встановлення автономних сонячних електростанцій 16 МВт

Проблема з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема автономних фотоелектричних електростанцій (АФЕ), полягає в тому, що вони наразі не є гарантованими джерелами електроенергії для енергетичних систем (ЕЕС). Необхідно компенсувати залежність виробництва електроенергії АФЕ від мінливих погодних умов, щоб узгодити їх можливості з технологічними вимогами ЕЕС [3]. Однак ці проблеми виникають не тільки тоді, коли АФЕ працюють паралельно з іншими ЕЕС, а й коли вони забезпечують енергію в системі автономного електропостачання. У будь-якому випадку для забезпечення ефективної роботи АФЕ в енергосистемі та надійного електропостачання споживачів необхідна наявність резервних джерел енергії, які могли б компенсувати природна нестабільність генерації АФЕ. Сьогодні

можуть бути різноманітні варіанти, що відрізняються за техніко-економічними характеристиками [4].

Якщо розглядати хронологічно, то з початку розвитку АФЕ для забезпечення їх нормальної роботи за «зеленим» тарифом використовувалися маневрені потужності ЕЕС, призначені для балансування потужності та електроенергії в системі регулювання частоти [5]. З часом, коли можливі маневрені потужності на теплових і гідроелектростанціях були вичерпані, виникла необхідність шукати інші способи впливу на графіки генерації ВДЕ, а саме АФЕ. Через недостатню маневрену потужність, наприклад, в об'єднаній енергосистемі України, для забезпечення стабільності роботи ЕЕС необхідно обмежити генерацію АФЕ.

Очевидно, це знижує їхню енергоефективність, стримуючи інвестиції та розвиток АФЕ в ЕЕС. Оскільки випередити ситуацію з ВДЕ через відсутність вільної маневрової потужності не вдалося, надолужувати ситуацію в ЕЕС необхідно розвитком систем накопичення електроенергії [6].

В першу чергу звернули увагу на електрохімічні акумулятори енергії, які однаково здатні використовуватися під час балансування режиму ЕЕС в умовах надлишку або дефіциту генерації АФЕ (заряду або розряду) [7]. Серед інших способів накопичення енергії, достатньої для потреб балансування режимів ЕЕС, розглядаються АФЕ 16 МВт [8], які накопичивши запаси енергоносія, можуть передавати їх в ЕЕС.

Узгодження графіків генерації та споживання також може бути використано, як резерв зменшення впливу нерівномірності генерації АФЕ на системи електропостачання [9]. Неможливо однозначно віддати перевагу деяким із перерахованих товарів через різну технічну ефективність, можливість забезпечення їх необхідною кількістю енергії та відсутність стабільних і надійних цінових показників. Видається доцільним комплексне використання

можливих методів резервування ВДЕ з графіками вироблення електроенергії, які задовольняли б вимоги ЕЕС щодо підтримання балансу потужності та електроенергії [10].

Якість участі АФЕ у процесі балансування режимів ЕЕС перевіряється за відповідністю прогнозного графіка вироблення електроенергії її фактичному значенню [11]. При експлуатації АФЕ, в електроенергетиці вирішується проблема збалансованості споживання та виробництва електроенергії, в тому числі всіх джерел енергії. Задача сформульована як мінімізація різниці між прогнозними та фактичними значеннями графіків виробництва електроенергії. Помилка визначається як [2, 4]:

$$\delta = \frac{W_p - W_f}{W_p} \cdot 100\% \rightarrow \min \quad (1.1)$$

де W_p – значення прогнозованого (прогнозованого) погодинного виробництва електроенергії АФЕ на наступну добу. W_f – фактичне («факт») виробництво електроенергії АФЕ за той самий час.

У (1.1) похибка δ між прогнозованим і фактичним значеннями повинна бути меншою за допустиму (наприклад, PV 5% і WPP 10%). В іншому випадку контролюючий орган накладає штрафи в тому чи іншому вигляді. Для ефективної інтеграції АФЕ в існуючі електроенергетичні системи, враховуючи особливості обох, необхідно збільшити маневрену потужність за рахунок збільшення резерву, вдосконалити планування виробництва електроенергії

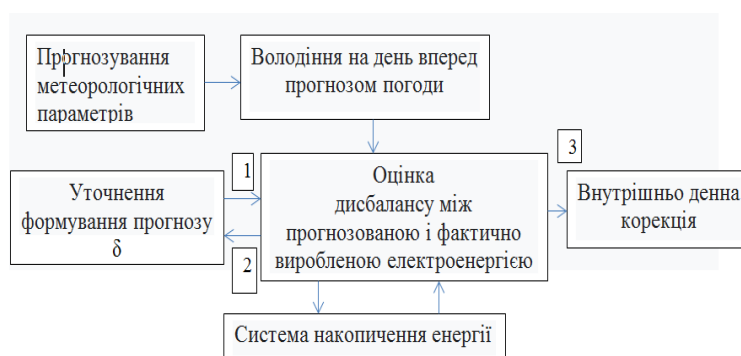


Рисунок 1.2 – Структурна схема зменшення дисбалансу електроенергії в ЕЕС з АФЕ.

Таким чином, під час монтажу і будівництва автономних сонячних електростанцій не вистачає маневреної потужності, щоб компенсувати їх нестабільну генерацію. Тому, виходячи зі специфіки виробництва електроенергії автономними сонячними електростанціями 16 МВт необхідно розробити спеціальні методи та засоби для балансування режимів за участю сонячних електростанцій потужністю 16 МВт.

1.3. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.

У даній кваліфікаційній роботі необхідно розробити метод уточнення прогнозного графіка вироблення електроенергії автономною сонячною електростанцією напрямом внутрішньодобового коригування погодо залежних параметрів щодо резервування АФЕ з нестабільною генерацією в електроенергетичних системах (ЕЕС). Через залежність виробництва електроенергії автономними сонячними електростанціями від природних умов виникають проблеми з їх внеском у процес балансування енергосистеми. Тому ЕЕС зобов'язана зберігати запас потужності для компенсації відхилень автономними сонячними електростанціями 16 МВт від запланованого обсягу вироблення. Спочатку необхідно використовувати загальносистемний резерв (сонячних електростанцій), а потім інші засоби резерву потужності.

Для аналізу техніко-економічної ефективності окремих засобів резервування потрібно буде розробити математичні моделі на основі теорії подібності та критеріального методу. Цей метод дасть можливість порівняти між собою різні методи резервування генерації автономними сонячними електростанціями 16 МВт, оцінювати їх пропорційність та визначати чутливість витрат до потужності методів резервування з мінімальною доступною вихідною інформацією.

Сформулювати критеріальні моделі, які дозволять будувати залежності вартості засобів резервування для нестабільної генерації автономними сонячними електростанціями 16 МВт від потужності засобів резервування.

Проаналізувати результатами різних методів і засобів резервування автономними сонячними електростанціями 16 МВт.

Тому, метою кваліфікаційної роботи є підвищення енергоефективності відновлюваних джерел енергії шляхом більш точного та гнучкого виконання висунутих ними умов надійності та стабільності електроенергетичних систем у процесі балансування потужності та електроенергії.

Розробки даної кваліфікаційної роботи якраз і спрямовані на оцінку технічного стану ефективного використання автономними сонячними електростанціями 16 МВт, аналізу та визначенню втрат і виробленню рекомендацій щодо її реконструкції або повної заміни на основі обґрунтованих розрахунків конструктивних та технічних параметрів і застосування новітніх технологій, матеріалів та обладнання.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ 16 МВт

2.1. Концепція автономної системи електропостачання (APS) з відновлюваними джерелами енергії

Типова система APS складається з кількох основних елементів, концептуально показаних на рис. 2.1. Вони розділені на основні модулі, тобто основне джерело живлення, резервне джерело живлення, джерело безперебійного живлення, система керування та накопичувач енергії.



Рисунок 2.1 – Блок-схема автономної системи живлення (АЕС)

У схему також входять захист системи живлення і приймачі. Витрати на системи APS дуже малі, порівняно з вартістю великих установок, формальності, пов'язані з установкою, зведені до мінімуму, а тому невеликі витрати, окрім прибутку, досягається енергетична незалежність, а також надійність сучасних рішень і, крім того, екологічність. Призначення автономних систем живлення - електропостачання будинків, під'їздів, складів і освітлювальних установок невеликих садиб. АПС поділяються на 2 типи, залежно від потреб, розміщення та можливостей їх використання. Перша — острівна автономна енергетична система (IAPS) (іноді її називають сільською APS – RAPS). Він використовується там, де немає можливості підключитися до

мережі, переважно далеко від населених пунктів, але з можливістю застосування турбіни з горизонтальною осьюовою вітровою турбіною (HAWT). HAWT може бути більшого розміру через наявність більшого простору. Острівні системи важче підключити до мереж через значну відстань між ними. Другий тип АЕС – міська автономна енергосистема (UAPS) (іноді її називають муніципальною АЕС – MAPS). Цей тип системи повинен бути адаптований до використання фотопанелей (VAWT) і повинен мати можливість об'єднання в мережу з іншими автономними системами. VAWT використовується через менший простір і нестійкі погодні умови. Первинне джерело живлення має забезпечувати систему енергією в діапазоні від 60% до 80% потреби. У більшості випадків вони використовуватимуть фотоелектричні панелі для прямого виробництва енергії. Система резервної подачі енергії в діапазоні від 20% до 40% навантаження. Він повинен використовувати інший вид енергії, ніж первинне джерело. Аварійне джерело електроживлення системи працює на момент збою або нестачі первинної або вторинної енергії до відновлення живлення з відновлюваних джерел. Накопичувачем енергії, залежно від потреб і технічних умов, може бути акумулятор або конденсатор. Джерела енергії та накопичувачі енергії, підключені до загальної лінії в буферній системі, забезпечують двох направлену передачу енергії. У той час, коли вироблена в джерелі енергія не використовується для живлення приймачів, вона накопичується в акумуляторі. У разі нестачі енергії від основного джерела або резервного джерела для живлення навантаження, вона береться з павербанку. Диверсифікація джерел постачання є основним питанням і продиктована необхідністю виробництва енергії, що забезпечує безперервне постачання енергії споживачам. Якщо основним джерелом енергії є фотоелемент, який працює вдень, резервне джерело у вигляді акумуляторної батареї може частково замінити основне джерело, якщо це необхідно.

2.2. Проектування автономної сонячної енергетичної системи

Ідеальна сонячна батарея може бути змодельована джерелом струму, паралельно з діодом. Оскільки жоден сонячний елемент на практиці не є

ідеальним, тому до моделі додаються компоненти опору шунта (R_{sh}) і послідовного опору (R_s). Отримана еквівалентна схема автономної сонячної батареї показана на рис. 2.2. Рівняння, яке описує ВАХ комірки, подається як:

$$I = I_L - I_o \left[e^{\frac{q(V_L + I R_s)}{n \sigma T}} - 1 \right] \quad (2.1)$$

де q – заряд електрона; n – добротність діода; T – робоча температура комірки; V_L – напруга навантаження; I_o – струм насичення діода; I – струм через R_s ; I_L – струм навантаження.

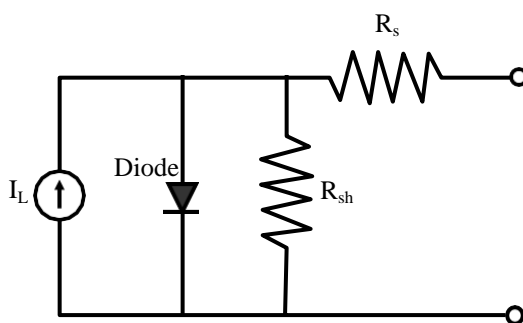


Рисунок 2.2 – Еквівалентна схема сонячної батареї [12].

Ефективність перетворення енергії сонячного елемента (η) — це відсоток потужності, що перетворюється, коли сонячний елемент під'єднується до електричного кола. Цей член розраховується за допомогою відношення максимальної потужності (P_m) до вхідного сонячного опромінення (G , у Вт/м²) та площі поверхні сонячної батареї (A_c , у м²) [11, 12]:

$$\eta = \frac{P_m}{G \cdot A_c} \quad (2.2)$$

Вибір компонентів системи Принципова схема сонячної фотоелектричної енергетичної системи показана на рис. 2.3. Система складається з фотоелектричного генератора (сонячна панель), монтажної рами, накопичувача енергії, інвертора, контролера заряду та системи проводки.

Сонячна панель – це складна система, яка складається з різних елементів. Наразі матеріали для будівництва сонячної батареї недоступні в Україні, тому їх купували на ринку. Сонячний модуль буває різних розмірів і характеристик. Використаний тип виготовлено з монокристалічного кремнію. Він складається з 36 послідовно з'єднаних сонячних елементів (рис. 2.3). Параметри модуля,

вказані виробником: Опромінюваність = 1,0 кВт/м²; спектральний = АМ 1,5; і температура клітини = 25°C. Поверхня кожної комірки становить приблизно 155 мм x 155 мм, а поверхня модуля становить 1400 мм x 625 мм.

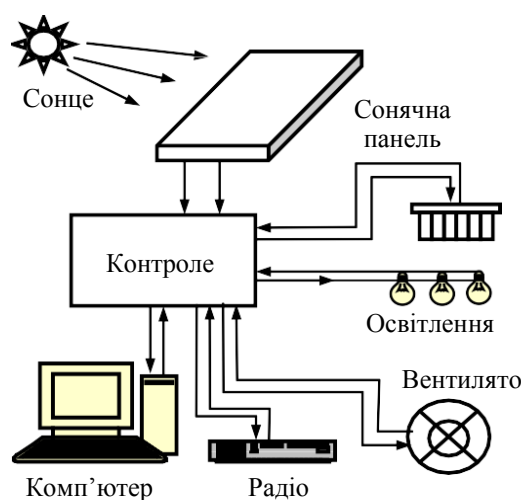


Рисунок 2.3 – Схема автономної фотоелектричної системи для електрифікації офісного приміщення ТзОВ «Фаворит-Агро»

Техніко-економічний аналіз можна загалом визначити як економічний аналіз однієї інженерної інвестиції. Цей аналіз має на меті оцінити технічну здійсненність інвестиційної пропозиції шляхом проведення альтернативного дослідження, яке вважається найбільш прибутковим [13]. Загалом ця інвестиція має тривалий економічний термін служби, а точніше роками. Щоб досягти статусу здійсненності, цей техніко-економічний аналіз повинен отримати більше прибутку, щоб покрити загальні початкові інвестиції до закінчення інвестиційного періоду [14]. Під час аналізу техніко-економічного аналізу для обчислення використовується наступне рівняння.

$$PWB = \sum_{t=0}^n C \cdot b_t \cdot (FBP)_t$$

$$PWC = \sum_{t=0}^n C \cdot b_t \cdot (FBP)_t$$

$$NPV = PWB - PWC$$

У той час як PWB – це поточна вартість, PWC – поточна вартість, а NPV – чиста приведена вартість.

2.3. Профіль даних щоденного навантаження

Щоденні дані про навантаження необхідні для проектування та оцінки системи сонячної електростанції в цьому дослідженні. Відповідно до опитування, проведеного безпосередньо в досліджуваному місці, можна побачити, що щоденний профіль даних про навантаження доступний у таблиці 1

Таблиця 1. Щоденний профіль даних про навантаження на території дослідження

№	Навантаження	Сума	Енергія (Watt)	Всього енергії (Watt)	Використаний час	Всього W · H
1	Гриндер Латина	1	150	150	2	300
2	Обігрівач Air Idealife	1	350	350	2	700
3	Світлодіодний	10	4	40	6	240
4	Біла світлодіодна лампа	1	18	18	3	54
5	Лампа з логотипом	1	5	5	10	50
6	Маршрутизатор	1	10	10	10	100
7	Розетка	10	15	150	2	300
	Всього		552	723		1744

Відповідно до таблиці 1, щоденний профіль даних про навантаження в досліджуваній зоні може бути представлений у вигляді графіка погодинних параметрів, як показано на рисунку 2.4

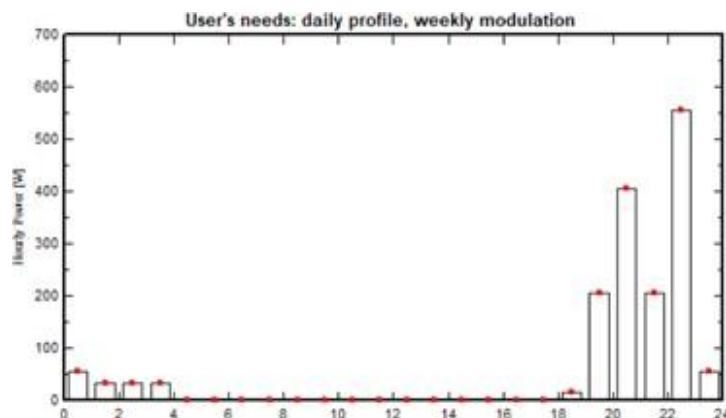


Рисунок 2.4 – Графік добового навантаження на дослідницьку ділянку

2.4. Дані про сонячну радіацію

Відповідно до метеорологічних даних, отриманих від NASA Prediction of Worldwide Energy Resources, середній рівень ізоляції сонячної енергії в 2018–2023 роках у м. Корці, Рівненського району, Рівненської області, становить 5 кВт-год/м²/день. Таблиця 2 описує дані, отримані від NASA, включаючи дані про опромінення, регіональну температуру, швидкість вітру та вологість [5].

Таблиця 2. Інсоляція, температура, дифузна радіація та швидкість вітру в м. Корці, Рівненського району, Рівненської області

Місяць	Інтенсивність випромінювання (кWh/m ²)	Температура (°C)	Інтенсивність випромінювання (кWh/m ² ,день)	Швидкість вітру (m/s)
January	4.60	25.2	2.33	2.59
February	5.29	25.2	2.39	1.42
March	4.55	24.9	2.32	2.06
April	5.08	25.7	2.06	1.76
May	5.41	25.2	1.76	2.65
June	5.14	23.9	1.62	2.82
July	5.37	23.5	1.63	3.04
August	5.94	23.9	1.80	3.11
September	6.49	25.3	2.06	2.99
October	6.54	26.7	2.31	2.75
November	6.02	27.0	2.34	2.37
December	5.30	26.3	2.32	1.42

Акумулятор. Використання батареї в автономній системі сонячної електростанції для SME Coffee shop буде розраховано відповідно до даних про щоденне навантаження SME, які вже наведені в таблиці 1. Загальне навантаження за день у місці дослідження на основі зібраних даних становить 1744 Вт/год.

Таким чином, мінімальний розрахунок батареї відповідає загальній добовій енергії. Однак використання батареї не обов'язково схоже на те, що написано в специфікації. Дослідження проводитимуться за один автономний день і глибиною розряду 50% з урахуванням терміну служби батареї. Для розрахунку вимог до специфікації батареї використовується таке рівняння:

$$\text{Загальна енергія за день} = 1744 \text{ Вт}\cdot\text{год } DoD \text{ батареї} = 50\%$$

$$\text{Avg. Battery Load} = \frac{\text{Avg. Daily Load}}{\text{Inverter Efficiency} \cdot \text{Nominal Battery Voltage}} = \frac{1744}{0,9 \cdot 24} = 80 \text{ A} \cdot \text{h.}$$

$$C_x = \text{Days of Autonomy} \cdot \text{Avg. Battery Load} \cdot \frac{1}{\text{End of Life Rating}} = \frac{1 \cdot 80 \cdot 1}{0,5} = 160 \text{ A} \cdot \text{h.}$$

Таким чином, необхідна специфікація батареї: батарея 24 В / 160 А·год або 4 паралельні конфігурації батарей 12 В / 80 А·год.

Сонячна панель. Щоб забезпечити щоденну зарядку батареї, енергія сонячних панелей потрібна для виконання батареї відповідно до використовуваної специфікації. Щоб розрахувати потребу в енергії сонячних панелей, потрібно наступне рівняння:

$$\begin{aligned} \text{Irradiation effectiveness} &= 3,25 \text{ hours} \\ \text{Total required panel} &= \text{Total daily load} / (\text{Radiation length} \times \text{inverter efficiency}) \\ &= 1744 / (3,25 \cdot 0,9) \\ &= 605 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Таким чином, мінімальна специфікація необхідної панелі в цій конструкції становить 586 Вт.

Контролер сонячного заряду. SCC необхідний як зарядний пристрій для батареї з технологією MPPT (Maximum Power Point Tracking). Таким чином, із специфікацією панелі 600 Вт, оцінка струму, яка використовуватиметься з системою батареї 24 В, така:

$$\begin{aligned} \text{Nominal current SCC} &= \text{Total panel energy} / \text{Battery voltage system} \\ &= 605 / 24 \\ &= 25,3 \text{ A} \end{aligned}$$

Таким чином, мінімальна специфікація струму для SCC у цій конструкції становить 25,3 А.

Інвертор. Інвертор використовується для зміни постійного струму на змінний. Тому необхідну специфікацію інвертора можна розрахувати за таким рівнянням:

$$\begin{aligned} \text{Peak load power} &= 552 \text{ Watt} \\ \text{Battery voltage system} &= 24 \text{ V} \\ \text{Maximum inverter DC} &= \text{Peak Load Power} / \text{Battery voltage} \cdot \text{Efficiency} \\ &= 552 / 24 \cdot 0,85 \\ &= 27,8 \text{ A} \\ \text{Inverter energy after losses} &= 552 \cdot 1,25 \\ &= 690 \text{ W} \end{aligned}$$

Тому, мінімальна специфікація інвертора становить 24 В, 690 Вт.

Симуляція. Під час моделювання дизайну сонячної електростанції в кафе SME за допомогою програмного забезпечення PV Syst необхідні технічні дані, щоб впливати на результати моделювання. Є також кілька факторів, які впливатимуть на вихід/результати моделювання сонячної електростанції, такі як потенціал сонячної енергії, значення опромінення, температура місця розташування, швидкість вітру, положення та орієнтація сонячних панелей, специфікації компонентів та дані про щоденне навантаження об'єкта установки [7]. Процес моделювання виконується, щоб побачити, який потенціал електричної енергії буде згенеровано в результаті моделювання сонячної електростанції. Моделювання також покаже кількість виробленої електричної енергії, кількість електроенергії, що подається на навантаження в зоні дослідження, і мінімальний обсяг батареї, необхідний для цього дослідження (рис. 2.5).

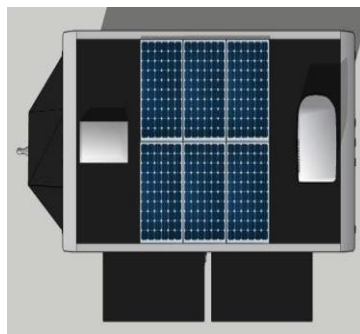


Рисунок 2.5 – Візуалізація макета об'єкту дослідження

Ця конструкція сонячної електростанції складається з 4 (чотирьох) основних компонентів, які будуть розглянуті при проектуванні автономної системи сонячної електростанції, включаючи сонячну панель, батарею, інвертор і контролери сонячного заряду. Відповідно до результатів розрахунку, альтернативні компоненти, які будуть використовуватися в цій конструкції сонячної електростанції, можна побачити в таблиці 3. Детальний опис роботи з

проекту сонячної електростанції по компоненту специфікації в таблиці 3 можна побачити на рисунку 2.6

Таблиця 3. – Конфігурація компонентів сонячної електростанції

Компонент	Сума	Специфікація	Марка	Конфігунація
Батерея	4 штуки	12 V 80 Ah	SMT Power	2 серійних батереї
Сонячна панель	2 модулі	Monocrystalline 350 Wp	Ja Solar	2 серійні модульні панелі
SCC	1 piece	12V/24V/36V 30 A	Make Sky Blue	-
Інвентор	1 piece	Pure Sine Wave 1000 Watt	STEC Power	-

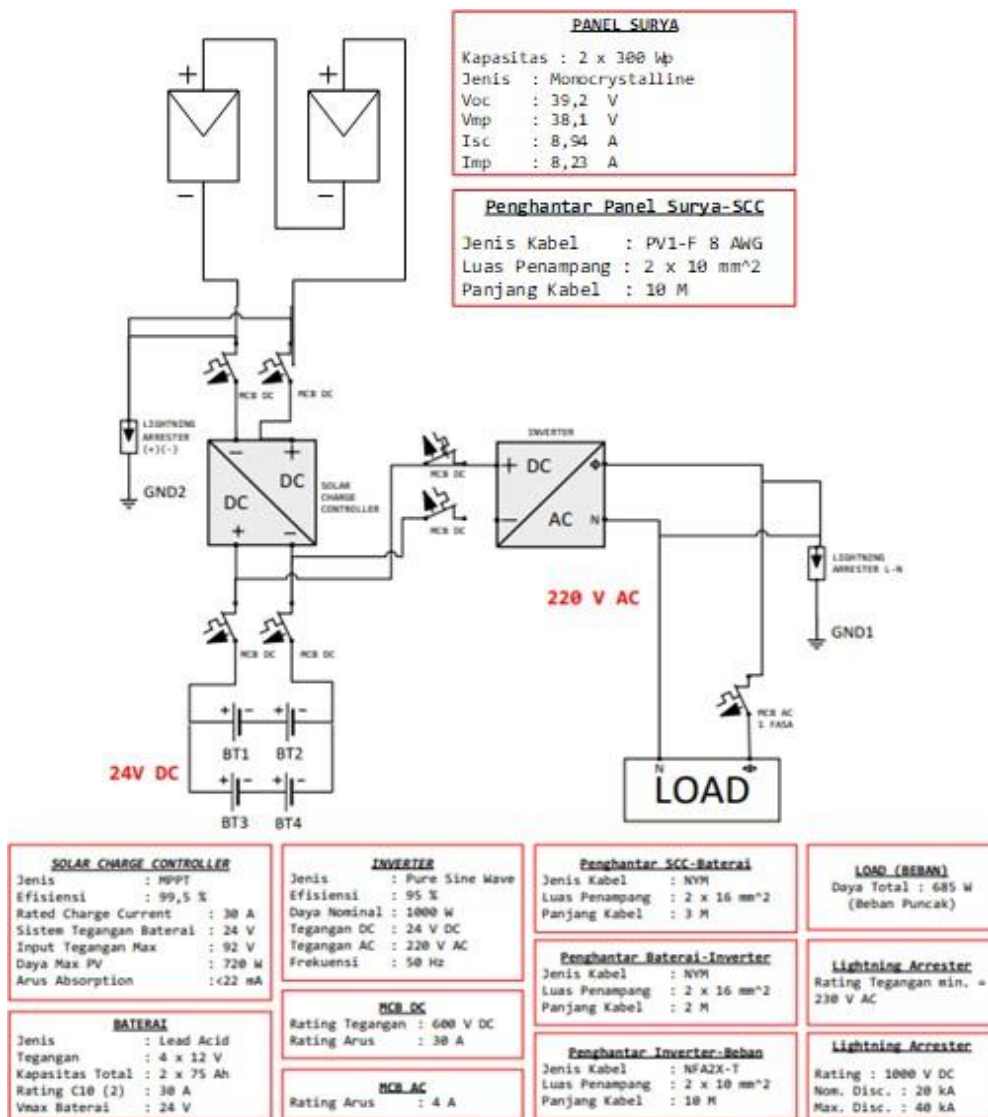


Рисунок 2.6. – Детальне проектування сонячної системи на електростанції

Після введення всіх даних і виконання обчислень наступним кроком є стимулювання систем конфігурації компонентів, які були визначені раніше за допомогою програмного забезпечення PVSyst 7.1. На рисунку 2.7 показано результати моделювання.

Після проведення моделювання за допомогою програмного забезпечення PVSyst 7.0 результати наведені в таблиці 4.

Таблиця 4. Результати моделювання PVSyst сонячної електростанції

Енергія	Всього енергії	Одиниця виміру
Ізоляція сонячних панелей	1747	(kWh/m ²)
Масив STC Electrical Energy	1228	(kWh)
Вихідна електрична енергія масиву	650	(kWh)
Збережена енергія в батареях	629	(kWh)
Поставлена енергія до навантаження	570	(kWh)

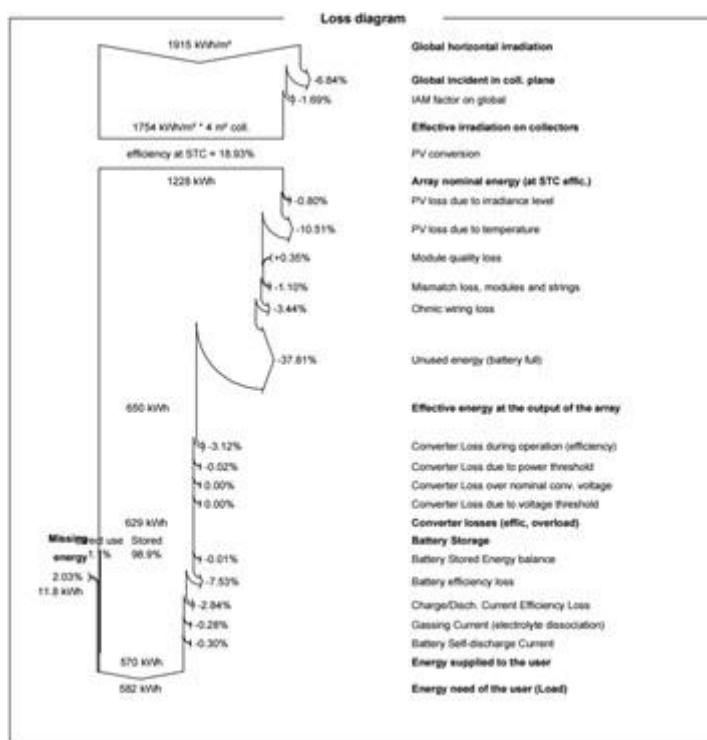


Рисунок 2.7. – Результати моделювання

Відповідно до даних, отриманих у таблиці 4, кількість електроенергії, виробленої в проектній системі сонячної електростанції, становить 1228 кВт/год. На ефективність сонячного модуля впливає тип сонячної панелі, яка використовується в дослідженні. У цьому дослідженні використовується

монокристалічний тип сонячної панелі, який має більшу ефективність, ніж полікристалічний тип. Це відбувається через те, що основним матеріалом для виготовлення монокристалічних сонячних панелей є кремній, який має більшу концентрацію. Однак монокристалічний тип має меншу площу поверхні, ніж полікристалічний тип.

Виробництво електроенергії масиву за один рік в системі зазнає втрат 186 кВт·год або 17,7% та невикористаної енергії 403 кВт·год або 32,8% в режимі STC. Таким чином, накопичена та віддана на навантаження енергія становить 567-570 кВт/год. Використовувані панелі мають втрати в межах 18-20%.

Таким, чином електрична енергія, яку можна віддати споживачу, становить 570 кВт·год. Порівняно з потребою користувача в 582 кВт·год, загальна поставлена енергія має рівень потреби 98%. Відсутню енергію можна замінити збереженою енергією в акумуляторі завдяки DoD акумулятора, який має 50% ємності.

РОЗДІЛ 3. АВТОНОМНА СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ З ЛІТІЙ-ІОННИМ НАКОПИЧУВАЧЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНВЕРТОРНОГО ДЖЕРЕЛА НАПРУГИ

3.1 Обґрунтування вибору апаратної частини

Зростання відновлюваної енергетики було постійним протягом останніх двох століть, не тільки зростає занепокоєння щодо зміни клімату та зростання цін на нафту, але також є сильна підтримка законодавства про відновлювану енергетику. Одним із найпоширеніших видів відновлюваної енергії є фотоелектричні (PV) системи. На відміну від традиційних видів викопного палива, таких як вугілля, нафта і газ, це привабливе джерело енергії, оскільки воно є відновлюваним, необмеженим і екологічно чистим. Фотоелектричне виробництво електроенергії стало одним із найпопулярніших відновлюваних джерел енергії завдяки цим унікальним властивостям [1].

Для перетворення сонячного світла в електричну енергію фотоелектричні пристрої використовують фотоелектричний ефект. Фотоелектричні системи миттєво перетворюють сонячні промені в корисну енергію. Сонячне випромінювання та температура мають такий великий вплив. Однак, якщо цей низький вихідний рівень можна збільшити на із застосуванням підвищувального перетворювача, підвищення напруги та використання інвертора джерела напруги (VSI), перед конфігурованого на стороні навантаження залежно від потреби. Демонструється, як сонячна енергія використовується як половина нашої системи для живлення навантаження. Цей регулятор налаштовується за допомогою ШНМ, а симетричні компоненти використовуються для розділення гармонік [8–12]. Контролер ANN забезпечує альтернативний фільтр низьких частот для ізоляції постійних і коливальних компонентів спотворених сигналів.

Лінійне відображення входу та виходу ШНМ дає коливальні компоненти вилученої миттєвої активної потужності. Коли сонце не забезпечує достатнього випромінювання фотоелектричної панелі для отримання максимальної

потужності навантаження, накопичена енергія батареї використовується для живлення секції генерації [13–15]. Оскільки потужність, що виробляється батареєю, залежить від часу, а також від рівня заряду батареї. У результаті електроенергія від батареї використовується для живлення без щіткового двигуна постійного струму (BLDC), з'єднаного з генератором [6–8]. Потім генератор генерує напругу, яка контролюється та використовується для живлення навантаження. Коли сонячне випромінювання є нормальним для виробництва споживаної електроенергії, енергію зазвичай виробляють за допомогою фотоелектричних модулів [9–12].

3.2 Аналіз принципу роботи та типів автономних сонячних електростанцій

Володимир БУРЛАКА дослідив, як перетворення виконується за один крок шляхом прийняття окремої топології, розробленої на основі подвійних активних мостових перетворювачів LLC. Контроль коефіцієнта перетворювача та еквівалентного вихідного опору здійснюється за допомогою інтеграції ШІМ та керування частотою. Передбачений перетворювач можна використовувати як безперебійне джерело живлення, яке працює без номіналу, має чистий синусоїдальний вихід, що дозволяє як перетворення постійного струму в змінний струм у режимі резервного живлення від батареї, так і перетворення змінного струму в постійний струм для підзарядки, коли підключений до електромережі. Він також може функціонувати як двох напрямлений мережевий інвертор, виробляючи електроенергію між мережею та джерелом постійного струму.

Омар Абдель-Рахім пояснює, що для фотоелектричних операцій необхідно підвищити вихідну напругу до положення підвищеної напруги. Особливо, якщо порівнювати з іншими топологіями трансформаторів, будь-яке використання сполучених індукторів у деяких топологіях давало менші переваги, подібні до зменшення напруги комутаційного пристрою та покращеного підсилення напруги перетворювача, нинішня архітектура досягає

значного приросту напруги. Вимоги до напруги на активних МОП-транзисторах нижчі за половину вихідної напруги.

Судха БАНСАЛ пояснює, що, таким чином, у фотоелектричних блоках кондиціонування електроенергії високочастотні перетворювачі мінімізують розмір системи. Перетворювачі постійного струму використовуються для накопичення енергії та повторного підключення пристроїв, що знаходяться нижче. Цю енергію можна добувати із Сонячної системи. Для відповідного регулювання цих перетворювачів постійного струму пропонуються окремі контролери. Як наслідок, уся структура стає взаємопов'язаною, дозволяючи широкий спектр динамічних взаємодій. Напруга фотоелектричної панелі може регулюватися ланцюгом перетворювача DC-DC. У цьому дослідженні досліджується фотоелектрична (PV) система з відокремленим повним мостом перетворення постійного струму в постійний струм, який можна використовувати як автономне джерело живлення в далеких місцях.

Тунку Мухаммад Нізар Тунку Мансур пояснює, що низьку вихідну напругу постійного струму сонячної фотоелектричної системи можна використовувати регіонально перед подачею надлишку електроенергії в мережу передачі через косе з'єднання. Ці фотоелектричні модулі або масиви можуть заряджати акумуляторні батареї за допомогою зарядного пристрою фотоелектричної батареї для цілого ряду різних застосувань, таких як сонячні фотоелектричні позамережні конструкції, супутники, сонячні автомобілі, вуличні ліхтарі, базові приймальні станції та створення інтегрованих фотоелектричних систем, де сонячна енергію можна накопичувати на зимовий або дощовий сезон, на ніч тощо.

Маянк Кумар інтерполює, що зовнішня мікромережа постійного струму використовується для підвищення безпеки кінцевого користувача та якості електроенергії. Заряджаючи та розряджаючи батарею, двонаправлений перетворювач контролює незалежну напругу шини постійного струму та підтримує баланс потужності між вихідною потужністю PV та потребою в потужності навантаження для сценаріїв дефіцитного споживання енергії.

Розглянуто численні режими роботи та численні особливості конструкції контролера, щоб збалансувати споживання енергії навантаженням, що стосується доступності джерела живлення та стану заряду батареї (SOC). Втрати перетворювача потужності також враховуються для відповідних досліджень балансу потужності.

Шрадха Дешмукх пояснює коливання PV, яких вимагає система керування сонячними PV. Таким чином, моделювання та аналіз фотоелектричних пристроїв передбачені для низької напруги в системах навантаження постійного струму. Щоб підвищити напругу PV та забезпечити інтерфейс резервного живлення від батареї, використовується мультимодальний контролер, що містить перетворювачі DC-DC. Технологія призначена для усунення перевантаження та розрядження шляхом підтримки стану заряду пристрою та зменшення споживання навантаження при скиданні. Залежно від навантаження, PV діє або за алгоритмом точки максимальної потужності з експериментальною провідністю, або за передбаченою фазою регулювання напруги.

Елуганті Шрі Харша інтерполює, що ESS включені в шину постійного струму і забезпечують безперервний живлення навантаження.

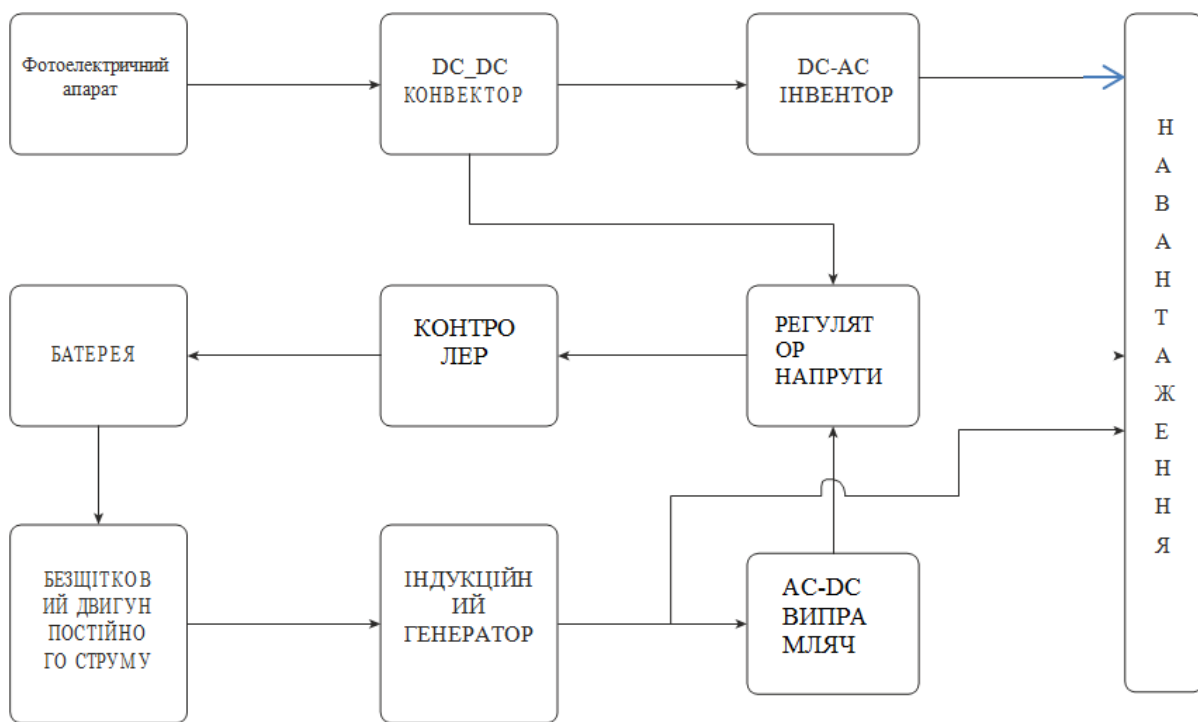


Рисунок 3.1 – Блок-схема запропонованої системи

В інших додатках, які потребують кількох батарейних блоків, акумуляторні батареї підключаються безпосередньо до шини постійного струму, і така конструкція не є економічно ефективною. Використання невеликої кількості батарейних блоків є більш зручним для споживачів ємності та вартості, із запровадженням двостороннього перетворювача DC-DC між ESS і шиною постійного струму, можна використовувати короткі рядкові акумуляторні батареї. Інвертори в системах безперебійного живлення та мережах постійного струму, системах живлення літаків, системах зарядки електромобілів і центрах обробки даних вимагають високої напруги постійного струму, які можуть постачатися цими перетворювачами.

3.3 Розробка оптимального методу та системи керування автономною сонячною електростанцією

Рисунок 3.1 ілюструє запропоновану блок-схему. Джерело постійного струму підключено до підвищувального перетворювача, який підвищує напругу PV. Батарея підключена до двонаправленого перетворювача, який зберігає з'єднання постійного струму та заряджає та розвантажує батарею залежно від доступної потужності та потужності навантаження. Алгоритм системи управління розроблений таким чином, щоб рівень заряду батарей SOC підтримувався в допустимих межах. Опорна напруга подається в контролер через MPP Talgorithm.

Потужність, що передається від PV до навантаження, містить інтегрований перетворювач, систему циклу, що контролюється MPP Ttechnique, і комбінацію контролера ANN. MPPT відстежує максимальну потужність від PV-модуля, яке виміряне значення, визначене контролером ANN, у розрахованому контролером різниці між максимальним значенням і допустимим входом для перетворювача.

У разі будь-яких змін у вхідному сигналі перетворювача петля надсилає сигнал про помилку до контролера ШНМ, а контролер компенсує різницю за допомогою системи накопичення енергії. Сонячні сигнали V_{pv} та I_{pv} зворотного зв'язку використовуються для прийняття рішень на

фотоелектричних терміналах. Контрольні змінні надаються до опорного сигналу для активної потужності, який можна регулювати та отримувати з контролер. Якщо потужність при вказаному випромінюванні та температурі досягає максимальної досяжної потужності PV, фактична потужність, вироблена P_{pv} , буде максимальною потужністю.

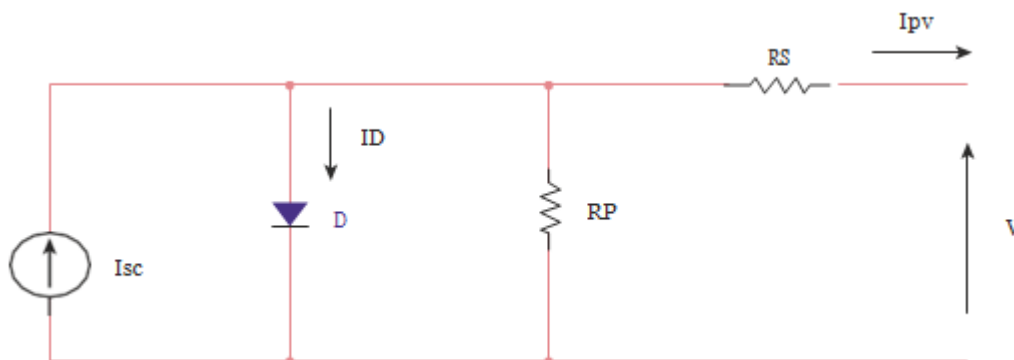


Рисунок 3.2 – Модель сонячної батареї

Якщо сонячна енергія падає нижче певного порогу, фотоелектричним модулям буде важко забезпечити номінальну напругу. У першій частині процесу ми використовуємо потужність батареї, техніку інжектора стрибків напруги з широтно-імпульсною модуляцією, PI-керований перетворювач із мінімальною пульсацією напруги, метод постійного струму та постійної напруги, а також методи змінної напруги та постійного струму. покращити контролер заряду батареї, а в другій половині ми використовуємо батарею для запуску без щіткового двигуна постійного струму, який приводить в дію асинхронний генератор для генерування номінальної напруги змінного струму. Обертовий компонент асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором відомий як короткозамкнений ротор.

Він складається зі сталевого ламінованого циліндра з алюмінієвими або мідними провідниками, імплантованими на його поверхню. Коли обмотка статора, що не обертається, підключена до джерела живлення змінного струму, змінний струм у статорі створює обертове магнітне поле, і ця напруга контролюється та використовується для роботи навантажень.

На рис. 3.2 ілюструє, що світло та температура впливають на їхні характеристики. Фотоелектричні елементи створюють електрику, поглинаючи сонячне світло. Фотоелектричні масиви складаються з фотоелектричних модулів, з'єднаних паралельно та послідовно. Клітини групуються для формування панелей або модулів. Фотоелектричні модулі виробляють електроенергію, яка є послідовною напругою та струмом. Тут струм від модулів близький до постійного значення, а напруга від модулів змінюється в залежності від сонячного випромінювання та температури. Якщо рівень сонячного випромінювання знижується, то напруга від модулів також знижується, а відтак зменшується відбір електроенергії. Навпаки, стрибок напруги сонячного випромінювання також збільшився, що може призвести до пошкодження системи, щоб запобігти пошкодженню ланцюга. Контролер напруги використовується для контролю падіння напруги або стрибка та виведення постійної напруги в систему. Напруга та струм, що виробляються на клеммах фотоелектричної системи, можуть використовуватися для живлення не лише навантаження постійного струму, але також можуть бути підключені до інвертора для отримання змінного струму. На рисунках 3.3 і 3.4 зображено I-V та P-V параметри фотоелектричного елемента.

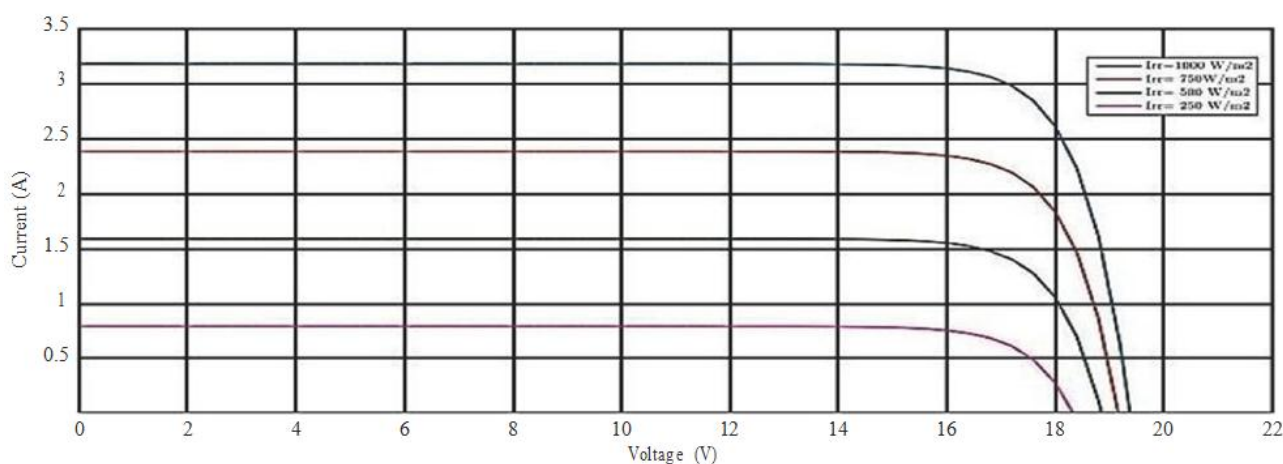


Рисунок 3.3 – I-V параметри фотоелектричного елемента.

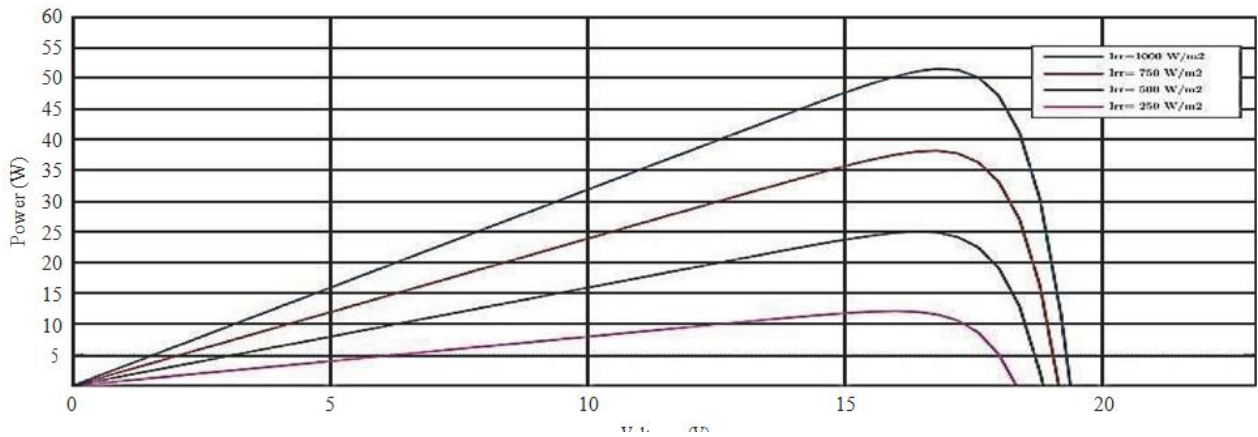


Рисунок 3.4 – P–V параметри фотоелектричного елемента.

$$I_{PV} = N_p ISC - N_s ID \left[\exp \left\{ \frac{V_{PV} + i_{PV} \cdot R_s}{N_s A \cdot K \cdot T} \right\} - 1 \right] - V_{PV} + \frac{(i_{PV} \cdot R_s)}{R_p}, \quad (3.1)$$

де k = стала Больцмана (JK^{-1}); q = електричний заряд; T = температура комірки (К); ID – струм діода (А); A = коефіцієнт діода; RS = послідовний опір (Ω); RP = опір в паралельний (Ω); NS кількість клітин, з'єднаних послідовно; NP кількість клітин, з'єднаних паралельно; ISC струм ланцюга (А); IPV = фотоелектричний (PV) струм (А); VPV фотоелектрична (PV) напруга (В); T = температура модуля (К).

Тенденція до номінальної потужності — це повна здатність до миттєвого розряду (у кіловат-годинах (кВт)) або найбільша швидкість розряду, яку ESS може здійснити, починаючи з повністю зарядженого стану. Найбільша кількість накопиченої енергії називається енергетичною ємністю. Накопичувач заряду може розряджатися на свою ємність до вичерпання своєї енергетичної ємності, що називається тривалістю зберігання.

$$D = \frac{0,5 \cdot (R \cdot T)^2}{(A \cdot n \cdot F \cdot c \cdot \sigma)^2}, \quad (3.2)$$

де A – площа катода; c = щільність літій-іонного електрода; F – постійна Фарадея; n – коефіцієнт окисно-відновного процесу; R – газ; T – абсолютна температура.

Проміжок часу або циклів, протягом яких система зберігання акумулятора може запропонувати регулярне заряджання та розряджання до виходу з ладу або значного погіршення якості, називається терміном

служби/тривалістю життя. Загальний опір дорівнює сумі внутрішнього опору та зовнішнього опору. Якщо внутрішній опір

Розгляд розмірів також відіграє важливу роль у прогнозуванні ефективності, оскільки якщо площа батареї збільшується, вага також збільшується; завдяки такому збільшенню розміру, великі анодні та катодні стрижні розміщуються та заповнюються більшою кількістю електроліту, а простір для розділення також вбудований із розширенням розміру.

Коли накопичений заряд (або енергія) батареї виснажується внутрішніми хімічними процесами, а не розряджається для роботи в мережі або клієнта, це називається саморозрядом. Саморозряд виражається як відсоток заряду, втраченого за певний період, знижує кількість енергії, доступної для розряду, і є важливою характеристикою, яку слід враховувати в батареях, призначених для тривалого використання. Ступінь заряду батареї у відсотках показує її поточний рівень заряду та змінюється від повністю розрядженого до повністю зарядженого. Стан заряду акумулятора в будь-який момент часу впливає на його здатність постачати електроенергію або допоміжні послуги в мережу.

Ефективність кочення розраховується шляхом поєднання енергії, що заряджається до батареї, з енергією, що виділяється з батареї. Це може представляти повну ефективність перетворювача акумуляторної системи, включаючи саморозряд, а також інші електричні втрати. Таблиця 1 показує специфікацію зберігання

3.4. Фотоелектрична система з акумуляторним накопичувачем за допомогою інвертора та конвертера.

У запропонованій системі сонячна енергія збирається з сонячних елементів за допомогою фотоелектричних модулів. У результаті цього процесу світлова енергія перетворюється на електричну. Після завершення цієї процедури напруга постійного струму, що генерується фотоелектричним модулем, підключається до підвищувального перетворювача DC-DC, який змінює напругу та використовує інвертор джерела напруги, щоб інвертувати та

конфігурувати його на стороні навантаження залежно від потреби. Таблиця 2 показує техніку комутації для двигуна BLDC.

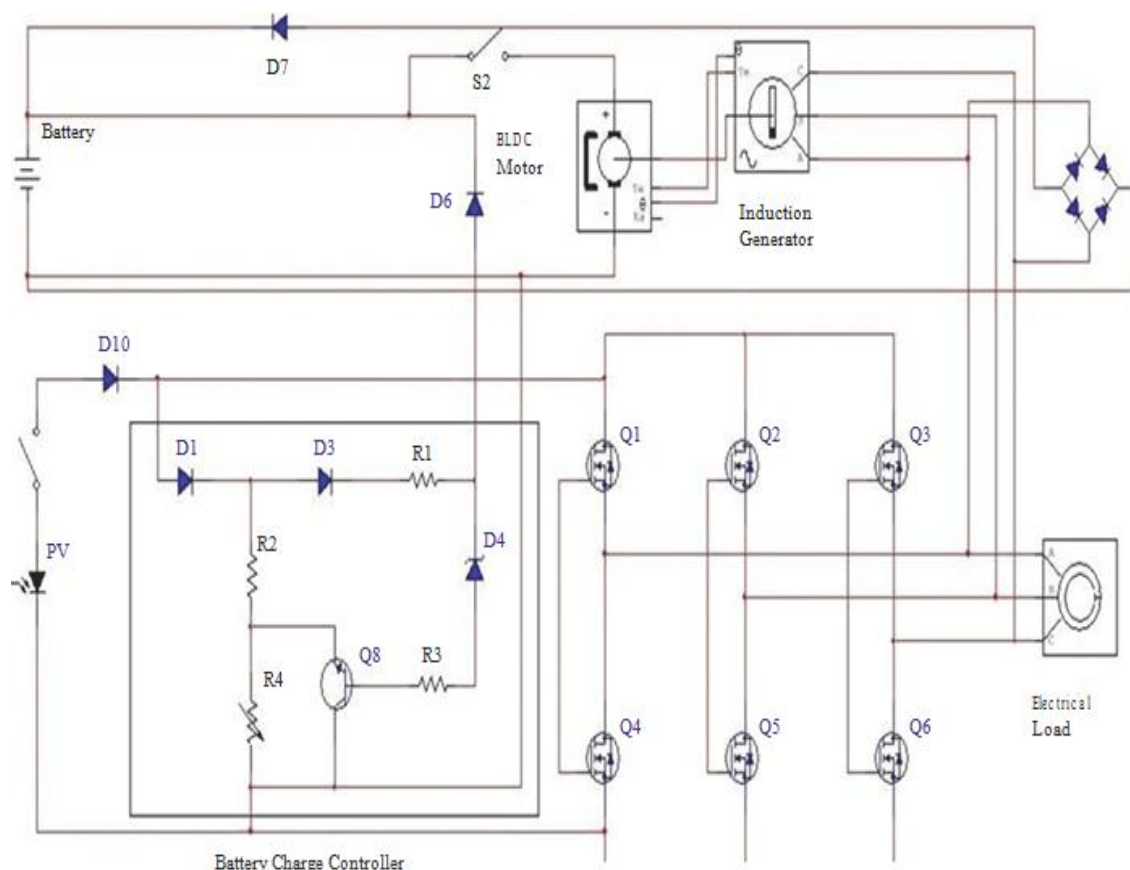


Рисунок 3.5 – Еквівалентна схема запропонованої моделі.

На рис. 3.5 показано, як сонячна енергія використовується як половина нашої системи для живлення навантаження. Якщо сонячна енергія падає нижче певного рівня, фотоелектричним модулям буде важко виробляти номінальну напругу. Ми зберігаємо деяку енергію в батареї в першій частині процесу, а в другій половині ми використовуємо енергію батареї для живлення безщіткового двигуна постійного струму, який приводить в рух асинхронний генератор для створення номінальної напруги змінного струму, яка контролюється та використовується для живлення навантажень. Оскільки це циклова система, вона продовжуватиме подавати електроенергію протягом тривалого часу.

Кількість перемикачів оцінюється наступним чином:

$$S_{switch} = 10K + 2 \quad (3.3)$$

де K – номер базової одиниці;

$$N_{switch} = 10 \cdot 1 + 2 = 12, (K = 1)$$

Джерел оцінюється наступним чином:

$$N_{source} = 2k = 2 \cdot 1 = 2, (k = 2).$$

Таблиця 5 – Специфікація зберігання.

Specification	Value
Nominal voltage	12.76 V
Nominal current	32 Ah
Charging voltage	14.7 V
Charging current	7 A
Efficiency of charging	100% @ 0.5°C
Efficiency of discharging	96% @ 1°C
Cut-off voltage	8 V
Charge warmth	0°C–45°C
Discharge warmth	-20°C–60°C
Storage warmth	0°C–40°C

Таблиця 6 – Техніка комутації для двигуна BL-DC.

Rotor position	Hall senses	AH	BH	CH	AL	BL	CL
0–60	101	1	0	0	0	1	0
60–120	100	1	0	0	0	0	1
120–180	110	0	1	0	0	0	1
180–240	010	0	1	0	1	0	0
240–300	011	0	0	1	1	0	0
300–360	001	0	0	1	0	1	0

Ні. рівнів отримують наступним чином:

$$N_{level} = 2(33k) - 1 = 2(33^1) - 1 = 1, (k = 1)$$

Вихідна напруга визначається наступним чином:

$$U_0 = [(33K) - 1] \cdot U_{dc} = [(33^1) - 1] \cdot 10 = 320V, (K = 1, U = U_{dc} = 10V).$$

3.5. Режими роботи автономної сонячної електростанції

Режим А. На рис. 3.6 показано, як схема керування зарядом зарядного пристрою сонячної батареї забезпечує стабільність напруги. Зарядний струм проходить через стабілізатор напруги через діоди D1 і D3. Регулятор напруги контролює вихідну напругу та струм. Основною нормальною функцією інвертора є перетворення вхідного постійного струму на вихід трифазного змінного струму. Базовий трифазний інвертор складається з трьох однофазних

інверторних перемикачів, кожен з яких може бути підключений до однієї з трьох клем навантаження. ШІМ можна використовувати в трифазних інверторах так само, як і в однофазних інверторах джерела напруги. Три синусоїди, зміщені по фазі на 120° з частотою бажаної вихідної напруги, порівнюються з трикутником несучої дуже високої частоти, і два сигнали змішуються в компараторі, вихід якого є високим, коли синусоїда більша за трикутник, і низький, коли синусоїда, або модуляції сигналу, менше. Перемикачі (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5 і Q6), що використовуються в інверторі, мають коефіцієнт, і перемикач може відбуватися після кожного кута 60 градусів.

$$I_{ph} = \frac{k \cdot W}{\left(\frac{PF}{V}\right)} \quad (3.4)$$

де I_{ph} = фазний струм. PF = коефіцієнт потужності. V_{rms} = середньоквадратична напруга.

Контролер ШІМ є блоком керування системою, який вимірює всі вихідні значення з усіх розділів системи. Він вимірює інвертовану напругу та узгоджує алгоритмічну умову, якщо значення не відповідає ініціалізованому стан, тоді контролер встановлює вирівняну напругу відповідно до напруги мережі.

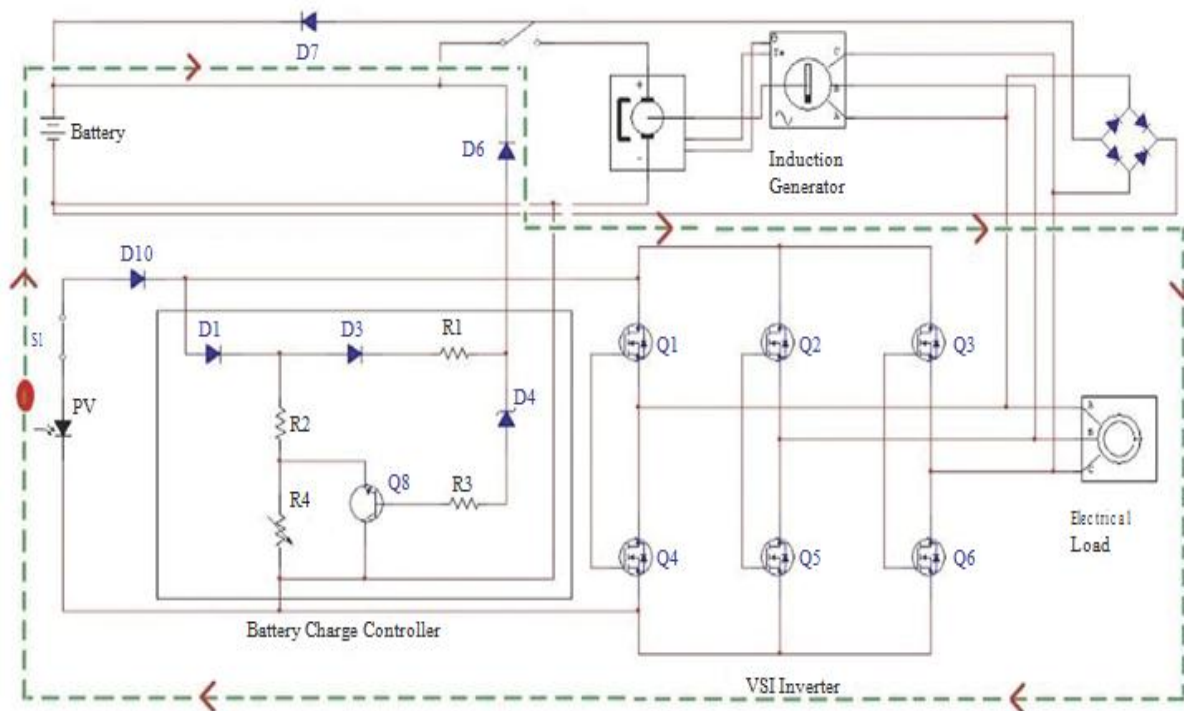


Рисунок 3.6 – Навантаження від сонячної енергії до електричної.

Режим В. На рис. 3.7 показано, як двигун BLDC приводиться в рух джерелом постійного струму, а основні приводи двигунів BLDC були досліджені, щоб традиційно забезпечити корисну довідку для первинних досліджень. Оскільки еволюція ротора та електромагнітної сили двигуна, з іншого боку, не відрізняється від еволюції генератора, отже, двигун як отримує, так і генерує власну напругу. Це явище було описано як протилежна електрорушійна сила, або зворотна ЕРС, і воно пропорційне швидкості ротора двигуна. Зворотна ЕРС може бути використана для розрахунку швидкості ротора в двигуні, але датчики положення необхідні.

Контроль зворотної ЕРС двигуна є складною операцією; більшість двигунів BLDC без датчиків керуються мікроконтролером. Комутація відбувається на щітках, через які проходить зворотний струм у щіткових двигунах постійного струму, тоді як у двигунах BLDC комутація відбувається за допомогою послідовності перемикання трифазного інвертора, і отже, це називається електронною комутацією. У результаті датчики Холла встановлюються на двигун кожні 60 градусів, створений сигнал Холла оцінюється, і інвертор працює в правильній послідовності для живлення двигуна BLDC. GVTC – автомобільна коробка передач; це дуже ефективний метод створення змінного крутного моменту. Геометричний перетворювач крутного моменту (GVCT) подається на вхід двигуна BLDC, а гідротрансформатор розміщений між двигуном і ланцюгом генератора. Практичні втрати включені в методику перетворення крутного моменту. Втрати від тертя та втрати від напруги об'єднуються в механічні втрати. Механічна потужність двигуна постійного струму передається в асинхронний генератор, який генерує змінний струм для живлення відповідного електричного навантаження.

$$F_1 = M_1 \cdot G_1 \cdot f_2 \quad (3.5)$$

де F_1 – сила, M_1 – маса об'єкта, G_1 – постійна сили тяжіння, f_2 – тертя

Розраховується кількість сили, необхідної для запуску генератора; щоб досягти номінальної робочої швидкості, крутний момент, створюваний BLDC,

вимірюється та вводиться в установку змінного перетворювача крутного моменту, який вводиться двигуном BLDC, і крутний момент множиться відносно передавального числа на передаточне число швидкості генератора.

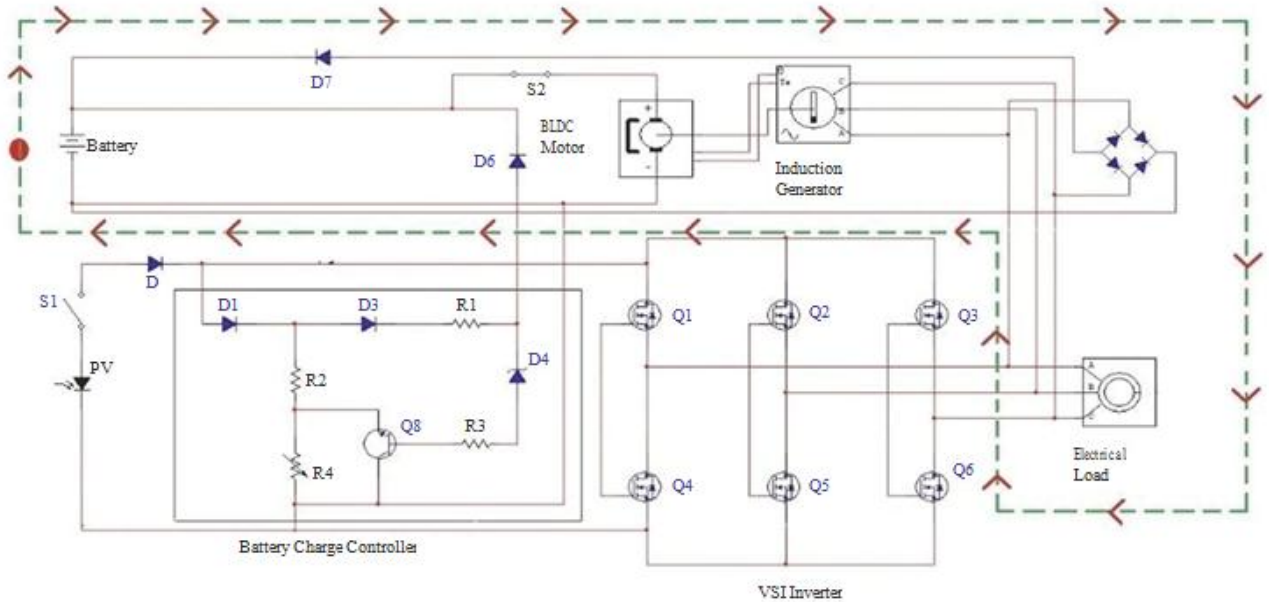


Рисунок 3.7 – Батарея до електричного навантаження

$$T_D = F_1 \cdot D_r \quad (3.6)$$

де T_D – крутний момент, F_1 – сила, D_r – радіус колеса.

$$V_T = T_D + T_C + M_L \quad (3.7)$$

де V_T – вихід змінного моменту, T_D – момент, що розвивається, T_C – коефіцієнт перетворення моменту, M_L – механічні втрати.

MATLAB використовувався як інструмент для моделювання та симуляції для покращення представлення та аналізу даних дослідника. У цій частині літій-іонний акумулятор моделюється та моделюється за допомогою програмного забезпечення MATLAB.

Форми вихідного сигналу струму та напруги акумулятора показані на рис. 3.8 і 3.9. Пульсації струму акумулятора становлять 8 А, а напруга акумулятора становить 14 В.

Джерела напруги використовуються для заряджання батареї на малюнку 10, а також виконується моделювання змін струму заряду та напруги для літій-іонних батарей.

Стан заряду (SOC) батареї визначає, яку потужність вона може забезпечити в ампер-годинах (Ah), як показано на рисунку 3.11. Коли батарея втрачає енергію, напруга падає, а сила струму зростає. У цій ситуації двонаправлений порт використовується для підзарядки акумулятора. На рис. 3.12 показано графіки залежності крутного моменту від часу, в результаті індукована е.р.с. в роторі викликає надходження струму протилежний напрям обертового магнітного поля в статорі, що призводить до обертового руху або крутного моменту в роторі. На рис. 3.13 і 3.14 показано результати моделювання, що описують реакцію швидкості ротора, керування моделлю SCIG працює надзвичайно і має дуже хороші динамічні та стаціонарні характеристики.

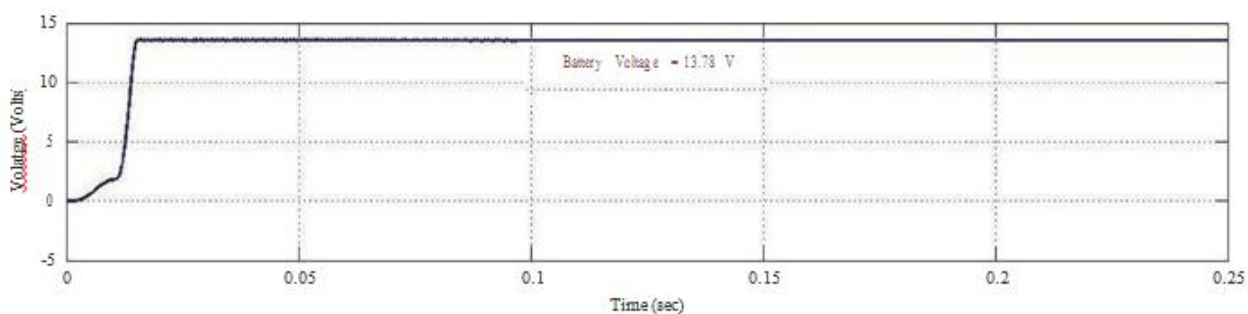


Рисунок 3.8 – Реакція напруги батареї.

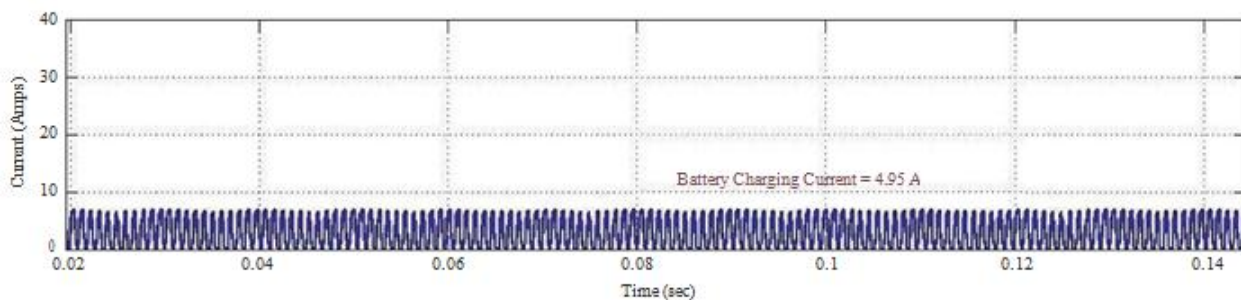


Рисунок 3.9 – Реакція на струм батареї.

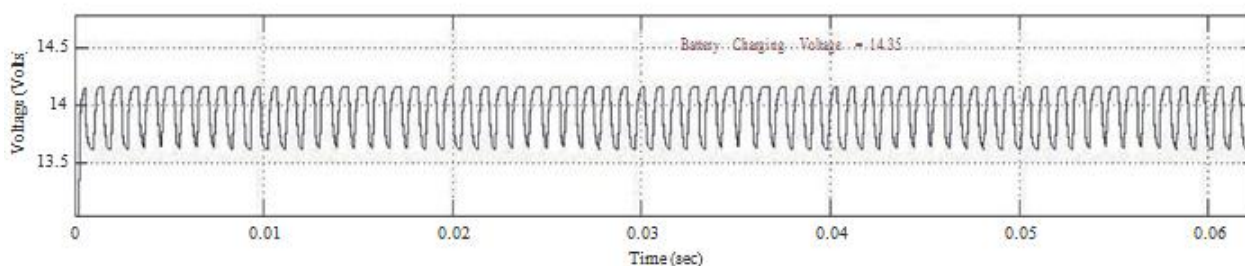


Рисунок 3.10 – Реакція напруги зарядки акумулятора.

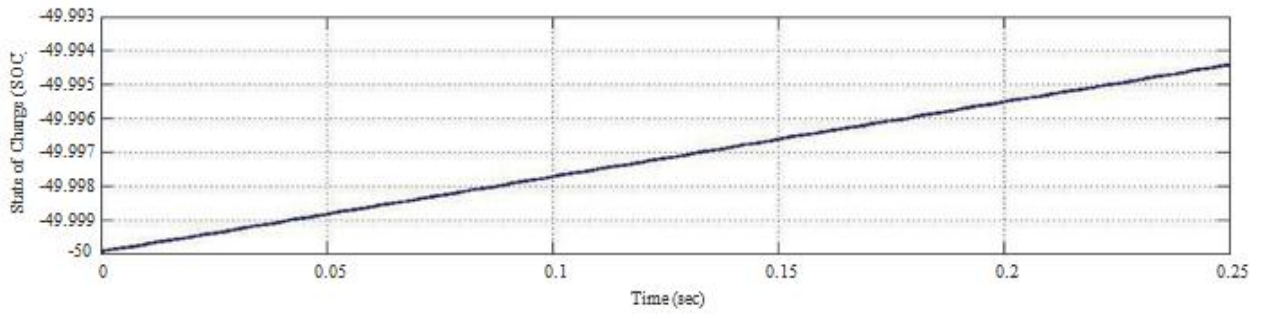


Рисунок 3.11 – Реакція на стан заряду.

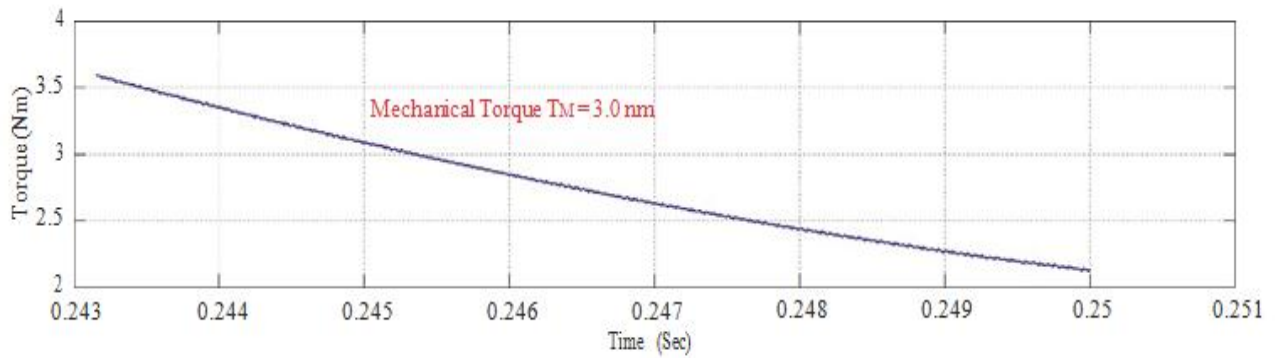


Рисунок 3.12 – Реакція на механічний крутний момент.

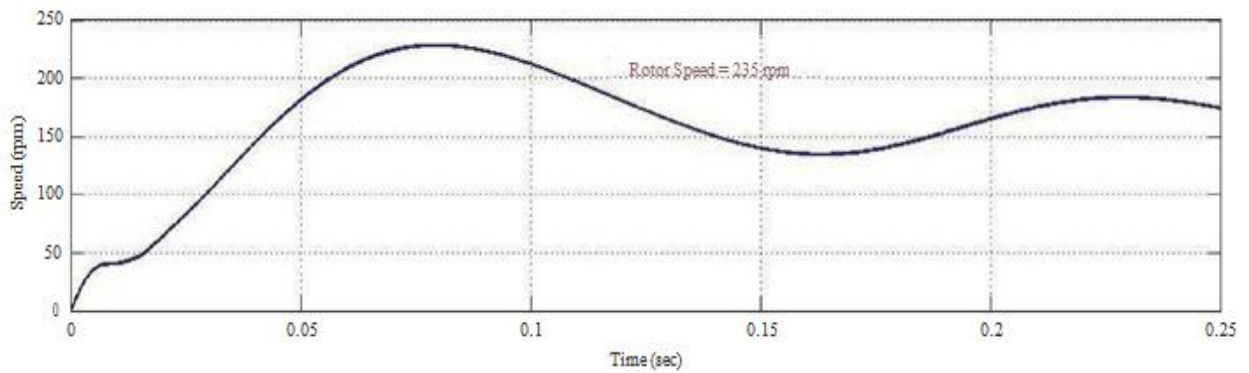


Рисунок 3.13 – Реакція на швидкість ротора

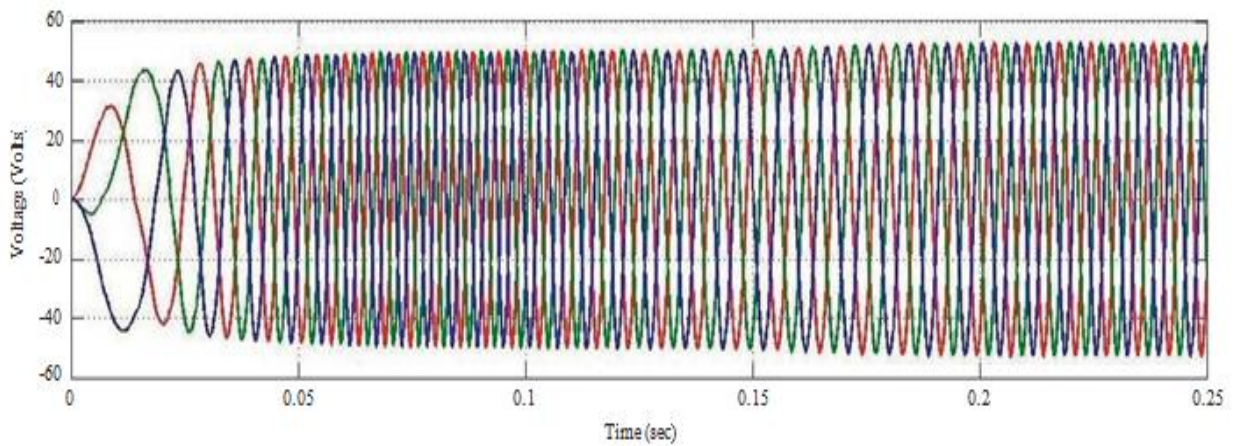


Рисунок 3.14 – Реакція SCIG

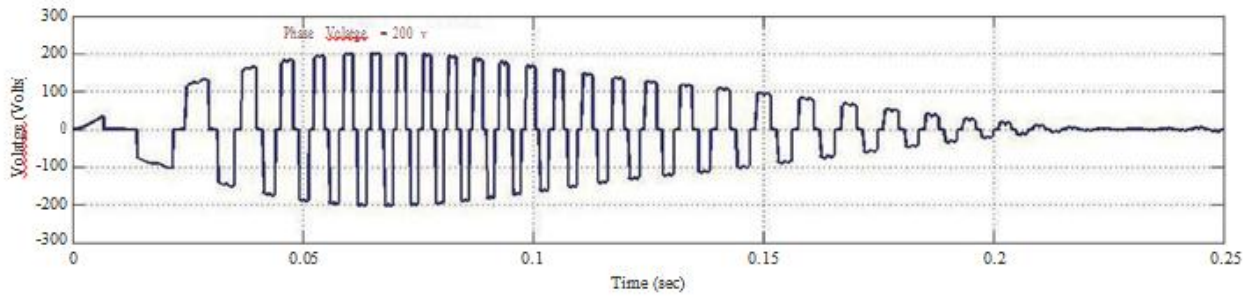


Рисунок 3.15 – Реакція фазної напруги

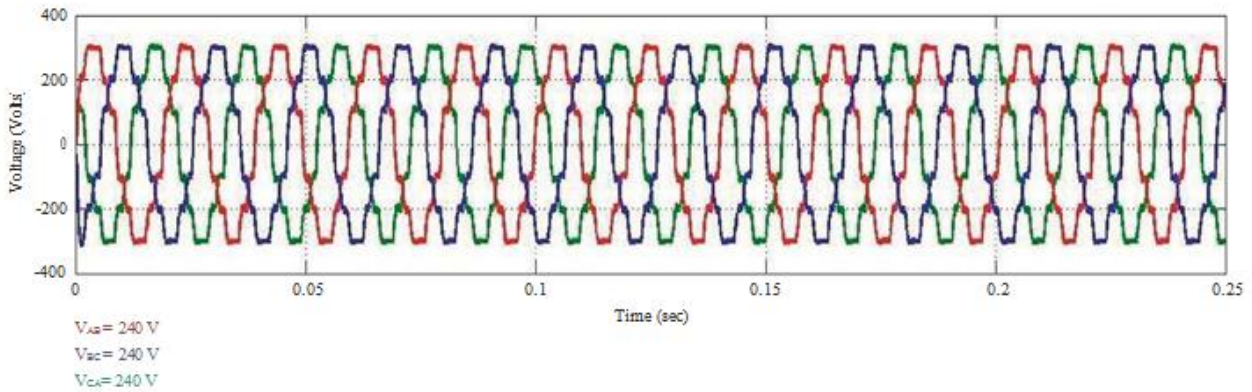


Рисунок 3.16 – Реакція VSI

На рис. 3.15 показано різні характеристики фазної напруги. Як показано на рис. 3.15 і 3.16, інвертор перетворює напругу постійного струму від батареї в напругу змінного струму і підключається до акумулятор і навантаження. У трифазній системі живлення шоста гармоніка напруги змінного струму відображається як домінуюча гармоніка на стороні постійного струму. Передбачається, що основні частоти VSI відповідають номінальній швидкості та найнижчій швидкості двигуна BLDC, що є критичним для роботи генератора SCIG.

Таким чином, дослідження успішно описало та змоделювало використання двох направлено перетворювача DC-DC для керування фотоелектричною системою з MPPT.

Крім того, було успішно з модельовано каскад підвищувального перетворювача для підвищення вихідної напруги PV. За допомогою контролера ШНМ реалізовано замкнуту систему керування. Алгоритми підвищеної провідності були включені в контролер MPPT. Контролери MPPT, які використовують покращені алгоритми провідності, можуть допомогти усунути

пульсації в стаціонарному стані. Створюючи межі SOC і враховуючи їх у системі керування, важко використовувати скидання навантаження та дозволяє підвищити термін служби батареї. Окрім вивчення та моделювання техніки керування ШНМ, також було проаналізовано двох напрямлений перетворювач, який використовується для додатків.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля

Система управління охороною праці (СУОП) – це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових безпечних і високопродуктивних умов праці. За дану частину виробництва відповідає інженер з охорони праці. Головне завдання спеціаліста – створення здорових, безпечних і високопродуктивних умов праці, покращення виробничого побуту, запобігання травматизму і профзахворюванням.

Для забезпечення створення СУОП щорічно розробляються та затверджуються на підприємстві положення про організацію управління охорони праці; щорічно оформляються накази про призначення осіб відповідальних за стан охорони праці на дільницях, а також безпечне використання об'єктів підвищеної небезпеки (котлів, що працюють під тиском, газових та кисневих балонів, пестицидів); оформляються наказ про визначення персональних обов'язків з охорони праці усіх спеціалізацій, керівників дільниць та інших службових осіб; щорічно проводиться паспортизація умов праці, технічних засобів безпеки і технічного стану робочих місць; складаються плани роботи з охорони праці, комплексне, річне і оперативне планування; організовуються заходи матеріального і морального стимулювання щодо охорони праці; проводяться розслідування і вивчення причин травм, пожеж їх аналіз і облік, а також розробляються заходи щодо їх застосування;

Об'єктом управління є діяльність структурних підрозділів та служб підприємства по забезпеченню безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виробничих дільницях, цехах та підприємства в цілому.

4.2 Протипожежна безпека і грозозахист

Блискавко захист – це комплекс захисних захистів від блискавки, які гарантують безпеку людей, збереження людей і споруд, обладнання та матеріалів від вибухів, загоряння й руйнування. Найпростішими і надійними засобами від блискавки є створення блискавковідводів. Схема блискавкозахисту будівлі показана на рис. 4.1.

Струмопровід виконується сталюю стрічкою перерізом 25...30 мм або дротом не менше 6 мм. Заземлення виконується кутовою сталлю, трубами на відстані від установки не менше 4,5 м. Опір розтікання не повинен перевищувати 15...20 Ом.

Приймаємо початкову висоту блискавковідводу 8 метрів. Визначаємо радіус конуса, в якому ймовірність попадання 95%, через висоту конуса h за формулою (4.1):

$$R_0 = 1.5 \cdot h, \text{ м. } R_0 = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ м.}$$

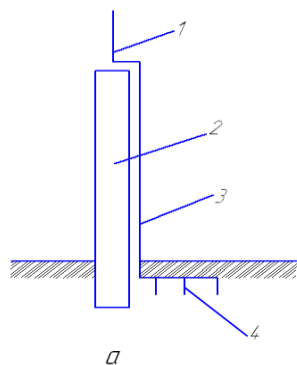


Рисунок 4.1 – Схема блискавко захисту конструкції; 1 – блискавко приймач, 2 – блискавко провідник; 3 – опора, 4 – заземлювач.

Для будинку довжиною L кількість одиночних блискавковідводів визначаємо через радіус конуса R_0 в якому ймовірність попадання 95% за формулою:

$$N_6 = \frac{L}{2R_0}, \text{ шт, } N_6 = \frac{86}{2 \cdot 4} = 11 \text{ шт.}$$

Усі з'єднання в процесі монтажу системи блискавко захисту (Блискавко приймач – струмовідвід, струмовід – заземлювач) виконують за допомогою зварювання. Болтові з'єднання застосовують лише для тимчасових блискавко захисних пристроїв.

РОЗДІЛ 5. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

5.1 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень для автономної система живлення на основі сонячної електростанції

Техніко-економічна доцільність інвестицій у сонячну електростанцію в місці дослідження визначається на основі чистої теперішньої вартості (NPV) за допомогою програмного забезпечення RetScreen. На результат моделювання також впливають загальні інвестиційні витрати, експлуатаційні витрати, витрати на економію електроенергії, ставки дисконту та значення інфляції. Інвестиційні витрати на кожен компонент конструкції сонячної електростанції на дослідницькому майданчику можна побачити в таблиці 5.

Таблиця 5 – Початкова інвестиційна вартість системи сонячної електростанції.

Компонент	Всього	Одиниця	Вартість	Загальна сума
JA Solar Monocrystalline 350Wp Solar Panel	2	Modules	Rp 3,000,000	Rp 6,000,000
Solar Charge Controller Make Sky Blue	1	Piece	Rp 1,500,000	Rp 1,500,000
SMT Power 12V 80Ah Battery	4	Pieces	Rp 1,550,000	Rp 6,200,000
STEC PSW 1000W Inverter	1	Piece	Rp 1,800,000	Rp 1,800,000
Solar Panel Support	1	set	Rp 768,000	Rp 768,000
Cable	1	set	Rp 1,000,000	Rp 1,000,000
Protection	1	set	Rp 2,000,000	Rp 2,000,000
Service and others	1	set	Rp 1,500,000	Rp 1,500,000
	Всього			Rp 20,500,000

Річні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування систем сонячної електростанції, як правило, розраховуються як 1-2% від загальних початкових інвестиційних витрат на сонячну електростанцію плюс витрати на

заміну батарей протягом проектного періоду [9]. Таким чином, річні операційні витрати на це дослідження можна побачити в таблиці 6.

Таблиця 6 – Експлуатаційна вартість системи сонячної електростанції.

Компонент	Всього	Одиниця	Вартість	Загальна сума
Solar Panel O&M	1	Year	Rp 64,000	Rp 60,000
SCC O&M	1	Year	Rp 15,000	Rp 15,000
Battery O&M	1	Year	Rp 62,000	Rp 62,000
Inverter O&M	1	Year	Rp 18,000	Rp 18,000
Solar Panel Support O&M	1	Year	Rp 5,000	Rp 5,000
Cable O&M	1	Year	Rp 10,000	Rp 10,000
Protection O&M	1	Year	Rp 20,000	Rp 20,000
Battery Replacement	1	Year	Rp 775,000	Rp 775,000
	Всього			Rp 965,000

Згідно з таблицею 5 і рис. 5.1 вище, показано, що необхідні початкові інвестиційні витрати становлять 20500000 грн. з річними витратами на експлуатацію та обслуговування 965000 грн.

Financial viability			
Pre-tax IRR - equity	%		Negative
Pre-tax MIRR - equity	%		-100%
Pre-tax IRR - assets	%		Negative
Pre-tax MIRR - assets	%		-100%
Simple payback	yr		None
Equity payback	yr		None
Net Present Value (NPV)	IDR		-24,523,208
Annual life cycle savings	IDR/yr		-1,021,800
Benefit-Cost (B-C) ratio			-0.2
Debt service coverage			No debt
GHG reduction cost	IDR/tCO ₂		No reduction

Рисунок 5.1 – Результат симуляції RetScreen

Згідно з рисунку 2.2, можна побачити, що ця сонячна електростанція має значення NPV -24 523 208 грн. Знак цього результату є від'ємним значенням або менше 1, отже, цю інвестицію неможливо реалізувати.

Нездійсненність спричинена декількома факторами, в основному спричиненими більшими відпливами готівки, ніж надходженнями. Грошові надходження отримують на основі значення економії електроенергії, отриманого з кількості енергії, що подається на навантаження, а потім

помноженого на поточний тариф на електроенергію. Тариф на електроенергію, який застосовується під час проекту, становить 1,67 грн, що є недосяжним для досягнення мінімальних значень NPV. У таблиці 7 наведені результати розрахунків з варіаціями тарифу на електроенергію в системі сонячної електростанції.

Таблиця 7. Значення NPV сонячної електростанції з варіаціями тарифу на електроенергію

Цінова варіація	NPV
Rp 1,67	-Rp 24,523,208
Rp 2,000	-Rp 11,943,068
Rp 2,500	-Rp 2,945,496
Rp 2,663	-Rp 12,287
<u>Rp 2,664</u>	<u>Rp 5,708</u>

Згідно з таблицею 7, можна побачити, що значення NPV досягає позитивного значення або перевищує 0, особливо коли тариф на електроенергію становить 2,664 грн (Rp). Таким чином, можна зробити висновок, що інвестиції в сонячну електростанцію будуть вважатися доцільними, якщо поточна ціна на електроенергію становить мінімум 2,664 грн.

Система сонячної електростанції, розроблена в цьому дослідженні, є автономною системою. Основні компоненти, вибрані на основі результатів розрахунку, включають 2 модульні монокристалічні сонячні панелі потужністю 350 Вт від бренду JA Solar, 4 акумулятори SMT Power 12 В 80 А·год, один контролер сонячної зарядки Make Sky Blue і один інвертор STEC 1000 Вт.

Результати цього проектування виробляють корисну електроенергію 570 кВт·год на рік, таким чином значення NPV становить 24523208 грн. Це вказує на те, що ці інвестиції є неможливими, оскільки значення NPV все ще від'ємне або менше 0. Однак інвестиції в сонячну електростанцію вважатимуться здійсненими, якщо поточна ціна на електроенергію становить мінімум 2,664 грн.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Кваліфікаційна робота пояснює проблему розроблені автономної сонячної електростанції для генерації електроенергії живлення ТзОВ «Фаворит-Агро» загальною потужністю 16 МВт. Система складається з фотоелектричних модулів для перетворення сонячного світла в електричну енергію, монтажна рама, батарея для зберігання та доставки електричної енергії в придатній формі, інвертор для перетворення постійного струму, контролера заряду для регулювання рівня заряду та розряду від акумулятора, система проводки.

Отримані результати показали хорошу продуктивність системи. Система починає виробляти електроенергію з 06.00 год і триває до 18.00 год., що становить 12 годин вироблення електроенергії. Робочі години, коли електроенергія найбільше потрібна, припадають на період між цим періодом виробництва електроенергії. Вихідна напруга коливається від 12,28 до 12,38 В, що забезпечувало регулярну та достатню вхідну напругу для належної роботи інвертора. Вихідна потужність системи була високою між 10:00 та 16:00 годинами, що відповідає періоду високої сонячної радіації. Під час тестування була отримана середня вихідна потужність сонячної енергії 3,34 МВт, а загальне навантаження, що переноситься системою, становило 2,90 МВт.

В роботі успішно описало та змодельовало використання двох направлено перетворювача DC-DC для керування фотоелектричною системою з MPPT. Крім того, було успішно з модельовано каскад підвищувального перетворювача для підвищення вихідної напруги PV. За допомогою контролера ШНМ реалізовано замкнуту систему керування. Алгоритми підвищеної провідності були включені в контролер MPPT. Контролери MPPT, які використовують покращені алгоритми провідності, можуть допомогти усунути пульсації в стаціонарному стані. Створюючи межі SOC і враховуючи їх у системі керування навантаження та дозволяє продовжити термін служби батареї. Окрім вивчення та моделювання техніки керування ШНМ, також було проаналізовано двох направлений перетворювач, який використовується для автономної система живлення на основі сонячної електростанції 16 МВт.

ПОСИЛАННЯ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. R. K. Sarojini, K. Palanisamy and E. De Tuglie, “A fuzzy logic- based emulated inertia control to a supercapacitor system to improve inertia in a low inertia grid with renewables,” *Energies*, Vol. 15, no. 4, Article ID 1333, 2022.
2. O. Abdel-Rahim and E. Abdelhameed, “Ultimate transformerless boost DC-DC converter for renewable energy applications,” *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, Vol. 2, no. 2, pp. 63–69, 2021.
3. J. B. Holm-Nielsen, and D. Almahles, “A hybrid PV-battery system for ON-grid and OFF-grid applications-controller in loop simulation validation,” *Energies*, Vol. 13, №. 3, P. 755, 2020.
4. V. Burlaka, S. Gulakov, S. Podnebennaya, E. Kudinova, and O. Savenko, “Bidirectional single stage isolated DC-AC converter,” in *Proceedings of the 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, PP. 343–346, IEEE, Kharkiv, Ukraine, 2020, October.
5. S. Deshmukh, A. R. Thorat, and I. Korachagaon, “Modelling and analysis of PV standalone system with energy management scheme,” in *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*, PP. 1–5, IEEE, Bangalore, India, 2020, July.
6. K. Amer, M. Fakher, S. Ahmad, M. Irhouma, S. Altaobao and E. Salem, “Performance of domestic solar heating system with thermal storage using phase change materials,” *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 16, no. 9, PP. 01–11, 2020.
7. E. S. Harsha, R. K. Nema, S. Nema, and R. D. Kulkarni, “Design & Simulation of high gain ratio Bidirectional converter for energy storage applications,” in *Proceedings of the 2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)*, pp. 1–6, IEEE, Keonjhar, India, 2020, July.
8. Y. Nassar, S. Alsadi, K. Amer, A. Yousef, and M. Fakher, “Numerical

analysis and optimization of area contribution of the PV cells in the PV/T flat-plate solar air heating collector,” *Solar Energy Research Update*, Vol. 6, PP. 43–50, 2019.

9. M. Schroeder and J. Jaeger, “Advanced energy flow control concept of an MMC for unrestricted operation as a multiport device,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 34, №. 11, PP. 11–496, 2019.

10. M. S. Chinthavali, J. Sun, P. R. V. Marthi, S. Chinthavali, S. Lee and M. Elizondo, *Models and Methods for Assessing the Value of Hvdc And Mvdc Technologies in Modern Power Grids*, Pacific Northwest National Lab, United States, May 2019.

11. S. Yassin Alsadi and Y. Fathi Nassar, “A general expression for the shadow geometry for fixed mode horizontal, step-like structure and inclined solar fields,” *Solar Energy*, Vol. 181, PP. 53–69, 2019.

A. Hafez, Y. Nassar, M. Hammdan, and S. Alsadi, “Technical and economic feasibility of utility-scale solar energy conversion systems in Saudi arabia,” *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Electrical Engineering*, Vol. 44, PP. 213–225, 2020.

12. H. Bayat and A. Yazdani, “A hybrid MMC-based photovoltaic and battery energy storage system,” *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, Vol. 6, №. 1, PP. 32–40, 2019.

13. M. Kumar, “Solar PV based DC microgrid under partial shading condition with battery- Part 2: energy management system,” in *Proceedings of the 2018 8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, PP. 1–6, IEEE, Jaipur, India, 2018, December.

14. S. Debnath and M. Chinthavali, “Numerical-stiffness-based simulation of mixed transmission systems,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, №. 12, PP. 9215–9224, Dec 2018.

15. S. Jadhav, N. Devdas, S. Nisar, and V. Bajpai, “Bidirectional DC-DC converter in solar PV system for battery charging application,” in *Proceedings of the 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*, PP. 1–4, IEEE, Mumbai, India, 2018, January.