

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕННЯ «МАГІСТР»
НА ТЕМУ:

**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА
ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ
ЕНЕРГІЇ/ COMPUTER-INTEGRATED ENERGY SUPPLY SYSTEM
BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Виконав студент групи АКІТм-21
Гриців А.С.
Науковий керівник к.т.н., доц.
Гуменний П.В.

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"
спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ” 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ГРИЦІВ Антон Сергійович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Комп'ютерно-інтегрована система енергозабезпечення на основі
відновлюваних джерел енергії/ Computer-Integrated Energy Supply System Based
on Renewable Energy Sources

керівник роботи к.т.н., Гуменний П.В.

затверджені наказом по університету від "12" грудня 2023 р. №753.

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи

15 листопада 2024р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Види систем відновлюваних джерел енергії

1.1. Вітрові системи відновлюваної електричної енергії

1.2. Сонячні системи отримання електричної енергії

2. Технічні засоби управління контролю параметрів відновлюваної енергетики

2.1 Пристрої управління сонячною електростанцією

2.2. Контролер системи сонячної електростанції

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз видів систем відновлюваної енергетики

2. Характеристика вітрових електростанцій

3. Принципи автоматизованої системи керування електричною сонячною станцією

4. Розробка моделі системи управління електричним електричною сонячною станцією

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Схема пристрою балансування акумуляторних батарей

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
2	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
3	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 12 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	АНАЛІЗ СИСТЕМ ВИРОБЛЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ	12.2023р. – 02.2024р.	
2	ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ВІДНОВЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	03.2024р. – 06.2024р.	
3	РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ	07.2024р. – 11.2024р.	

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Гриців А.С.

к.т.н., Гуменний П.В.

АНОТАЦІЯ

Гриців А. С. Комп'ютерно-інтегрована система енергозабезпечення на основі відновлюваних джерел енергії . – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Західноукраїнський національний університет. Тернопіль, 2024.

У роботі розкрито засоби відновлюваних джерел енергії; особливості функціонування вітрових систем відновлюваної електричної енергії; фотоелектричних систем для генерації електроенергії; досліджено пристрої управління сонячною електростанцією; досліджено івертори та групи акумуляторів для сонячної електростанції; наведено приклади використовуваних автоматів безпеки сонячної електростанції; реалізовано моделі ключових елементів системи відновлюваної енергетики.

ANOTATION

Hrytsiv A. S. Computer-Integrated Energy Supply System Based on Renewable Energy Sources. – Manuscript.

Research for obtaining the educational degree of "Master" in the specialty 174 "Automation, Computer-Integrated Technologies, and Robotics," educational and professional program "Automation and Computer-Integrated Technologies" – West Ukrainian National University. –Ternopil, 2024.

The study explores renewable energy sources; features of wind systems for renewable electricity generation; photovoltaic systems for electricity generation; examines control devices for solar power plants; investigates inverters and battery groups for solar power plants; provides examples of safety devices used in solar power plants; and implements models of key components of renewable energy systems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ВИРОБЛЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ	12
1.1 Дослідження векторів еволюції альтернативних енергетичних систем.....	12
1.2 Аналіз вітрових систем відновлюваної електричної енергії	18
1.3 Аналіз фотоелектричних систем для генерації електроенергії	24
2. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ВІДНОВЛЮВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	35
2.1 Дослідження пристроїв управління сонячною електростанцією	35
2.2 Дослідження іверторів та групи акумуляторів сонячної електростанції.....	43
2.3 Дослідження автоматів безпеки сонячної електростанції.....	52
3. РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ.....	61
3.1 Розробка Simulink моделі фотоелемента та сонячної панелі.....	61
3.2 Реалізація Simulink моделі акумуляторних блоків сонячної електростанції.....	67
3.3 Реалізація SCADA інтерфейсу сонячної електростанції	76
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83
ДОДАТОК А СХЕМА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ БАЛАНСУВАННЯ В MATLAB/SIMULINK.....	
ДОДАТОК Б. ПУБЛІКАЦІЇ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ –автоматизована система управління

МК – мікроконтролер

АЛБ- арифметико-логічний блок

СЕС- сонячна електростанція

ВЕУ- вітрова електростанція

АКБ- акумуляторні батареї

ВСТУП

Актуальність теми. На тлі стрімкого підвищення «цін на енергетичні ресурси, враховуючи їх вичерпність та шкідливий екологічний вплив продуктів згоряння викопного палива, надзвичайно значущим сьогодні постає питання впровадження невичерпних альтернативних енергетичних джерел, що базуються на використанні енергії сонячного випромінювання, повітряних мас та гідроресурсів. Сумарний «обсяг сонячної радіації, що досягає земної поверхні протягом семи днів, перевершує енергетичний еквівалент глобальних покладів нафтопродуктів, природного газу, вугілля та уранової сировини» [1]. Територія України «характеризується сприятливими умовами для розвитку геліо- та вітроенергетики: щорічний технічно досяжний енергопотенціал сонячного випромінювання в державі відповідає 6 млрд. тонн умовного палива, його реалізація могла б компенсувати близько 5 млрд. м³ блакитного палива» [2]. Ці фактори стимулюють до активізації освоєння сонячної енергії, оскільки вона демонструє високу ефективність перетворення у теплову та електричну форми, задовольняючи потреби в енергозабезпеченні. Таким чином, імплементація відновлюваних енергоджерел у виробництво електроенергії відкриває перспективи створення автономних енергетичних об'єктів як у комерційному секторі, так і в соціальній інфраструктурі.

Мета кваліфікаційної роботи. Реалізувати складне дослідження шляхом створення моделі інтелектуальної системи для керування енергетичним комплексом із використанням альтернативних енергоджерел.

Досягнення поставленої мети передбачає виконання наступних завдань:

- дослідити динаміку впровадження та перспективи, що будуть використовуватись для інноваційних систем енергозабезпечення;
- провести комплексне дослідження особливості вітроенергетичних установок, що використовуються для генерації електроенергії;

- виконати всебічний аналіз геліоенергетичних комплексів електрогенерації;
- спроектувати симуляційну Simulink-модель фотоелектричного перетворювача та сонячного модуля;
- сконструювати Simulink-модель енергоакумуючих систем фотоелектростанції;
- розробити диспетчерський SCADA-інтерфейс для моніторингу сонячної електростанції.

Об'єкт дослідження - процедура інтелектуального керування комплексом енергозабезпечення з використанням альтернативних енергетичних ресурсів.

Предмет дослідження - інтегровані комплекси автоматичної регуляції динамічних сегментів енергетичної системи, що базується на використанні альтернативних енергоджерел.

Методологія наукових досліджень. Дослідницька робота ґрунтується на фундаментальних положеннях термодинамічних процесів та систем автоматизації, методології параметричної ідентифікації, алгоритмах оптимального синтезу параметрів, а також інструментарії цифрового моделювання. Математичний опис енергетичних трансформацій у фотоелектричних перетворювачах, з врахуванням екзогенних впливів навколишнього середовища, сформовано на основі теоретичних засад енергетичних перетворень.

Для імплементації цифрових симуляцій застосовано методологію комп'ютерного моделювання з використанням інтегрованого середовища Matlab/Simulink, візуалізація експериментальних даних реалізована за допомогою аналітичного інструментарію MS EXCEL та обчислювальної платформи Matlab.

Наукова новизна дослідження. Розроблена модель процесу балансування заряду між елементами акумуляторної батареї у системах, що живляться від відновлюваних джерел енергії, що включає інноваційну схему

управління балансуванням з динамічним розподілом зарядного струму, яка забезпечує автоматичний вибір оптимального шляху для передачі заряду до найбільш розряджених елементів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені для магістерської роботи структурні рішення, алгоритми керування та їх реалізація можуть бути використані при реалізації автоматизованої системи управління відновлюваними джерелами енергії.

Напрямки подальшого розвитку. Результати роботи служитимуть інструментом для вдосконалення систем автоматизованого керування систем відновлюваної енергетики шляхом збільшення надійності та швидкодії системи.

Апробація. Гриців А.С. Розробка імітаційної моделі керування інформаційно-вимірювальною системою цукрового виробництва / П.В. Гуменний, А.С. Гриців, Б.В. Романюк, Ю.П. Сорока //Інноваційні підходи до розвитку технологій та економіки ІADTE 2024. – Свалява. – ЗУНУ – Червень 27, 2024. –с. 79-82.

Гриців А.С. Автоматизована система управління технологічним процесом вкладання асфальту / П.В. Гуменний, А.С. Гриців, Б.В. Романюк, Ю.П. Сорока //Збірник матеріалів науково-практичного симпозіуму «Технології Інтернету речей: системи та рішення» (ТІР СТ - 2024), Тернопіль, 2024. - с.14-19.

Гриців А.С. комп'ютерно-інтегрована система енергозабезпечення на основі відновлюваних джерел енергії / А.С. Гриців, Б.В. Романюк, Ю.П. Сорока //Збірник матеріалів науково-практичного симпозіуму «Технології Інтернету речей: системи та рішення» (ТІР СТ - 2024), Тернопіль, 2024. - с.53-56.

1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ВИРОБЛЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Дослідження векторів еволюції альтернативних енергетичних систем

Сучасний енергетичний сектор характеризується стрімкою імплементацією інноваційних технологій, впровадженням комплексних інформаційно-діагностичних систем та передових засобів моніторингу й керування. Сьогодні «споживачі постають перед стратегічним вибором між використанням централізованого енергопостачання та автономними енергогенеруючими комплексами. Український енергетичний ринок демонструє тенденцію до розвитку децентралізованої генерації, що базується на інтенсивному освоєнні відновлюваних енергоресурсів: гідро-, геліо- та вітропотенціалу. На початок 2019 року сумарна встановлена потужність, що застосовувалась для об'єктів включає велика частку альтернативної енергетики, що функціонують за “зеленим” тарифом, досягла 1462,2 МВт, при цьому приріст за 2014 рік становив 280,6 МВт. Протягом першого півріччя 2021 року енергетичний сектор поповнився додатковими 126,5 МВт потужностей відновлюваної енергогенерації» [3].

За результатами аналітичного дослідження, «що проводилось агентством з відновлюваних джерел, (IRENA) на початку 2021 року, Україна визнана лідером серед держав Південно-Східної Європи за технічними можливостями для застосування джерел альтернативної енергії. Експертна оцінка «демонструє, що річний енергопотенціал ВДЕ перевищує 1,1 млн. ГВт·год. (не враховуючи потужності великих гідроелектростанцій). У структурі цього потенціалу домінує вітроенергетика з показником 860,5 тис. ГВт·год., геліоенергетика забезпечує 90,4 тис. ГВт·год., спеціальні структурні біоенергетичні ресурси - 79,4 тис. ГВт·год., малі ГЕС - 8,9 тис. ГВт·год» [3].

Значний «вітроенергетичний потенціал України підтверджується комплексними дослідженнями як міжнародних експертних організацій, так і вітчизняних науково-дослідних установ. Згідно з оцінками IRENA, технічно досяжний потенціал встановленої потужності вітроелектростанцій сягає 321 ГВт. Прогностичні моделі ІВЕ НАН України передбачають зростання встановленої потужності вітроенергетичного сектору до 10 ГВт до 2030 року, з перспективою генерації 30 тис. ГВт·год електроенергії щорічно» [4].

Прогностичні розрахунки коефіцієнта «використання встановленої потужності (КВВП) для інноваційних вітроенергетичних установок (ВЕУ) потужністю 3 МВт, що характеризуються висотою центральної осі ротора 135 метрів та діаметром вітротурбіни 126 метрів, демонструють значення від 0,4 для досліджуваних територій» [3].

Згідно з «аналітичними оцінками експертів, можна безперечно сказати, що, потенціал вітроенергетичного сектору нашої держави, який, до речі, детально досліджувався Українською вітроенергетичною асоціацією, становить, за попередніми підрахунками, приблизно 16,5 ГВт [5]. При такому показнику КВВП прогнозований річний об'єм генерації електричної енергії може досягти 56 млрд. кВт·год.

Істотний вітроенергетичний потенціал української території підтверджується комплексними дослідженнями як міжнародних експертних інституцій, так і у внутрішніх науково-дослідних установах. Аналітичні дослідження IRENA свідчать про технічно реалізовані можливості, що відповідають заявленій потужності вітроелектростанцій на рівні 321 ГВт. Прогностичні моделі, розроблені фахівцями ІВЕ НАН України, передбачають нарощування встановленої потужності вітроенергетичного сектору до 10 ГВт до 2030 року, з перспективою щорічної генерації 30 тис. ГВт·год електроенергії. Територіальна диференціація потенціалу вітрової енергії в Україні візуалізована на рисунку 1.1» [4].

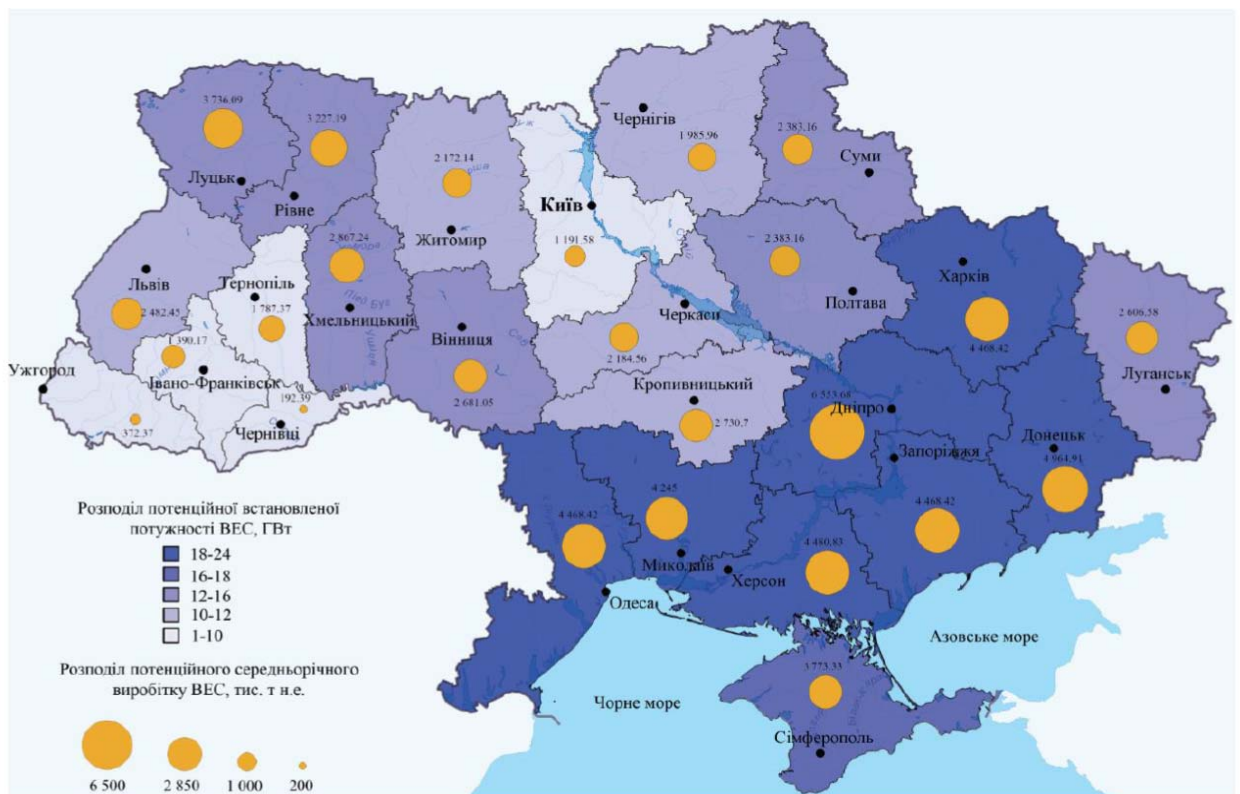


Рисунок 1.1- Територіальний розподіл вітроенергетичного потенціалу України

Вітроенергетичні установки малої потужності розміщуються в безпосередній близькості до споживачів, «де вітровий режим характеризується специфічними параметрами: помірними середніми швидкостями, частою турбулентністю, різновекторністю потоків та імпульсним характером. Локаційні особливості та специфіка вітрового режиму зумовлюють принципові конструктивні відмінності малопотужних ВЕУ від промислових вітрогенераторів, зокрема пріоритетність використання установок з вертикальною віссю обертання (ВВО) [2]. Такі енергетичні комплекси демонструють підвищену ефективність при турбулентних потоках, характеризуються всенаправленістю сприйняття вітру та зниженим стартовим моментом завдяки інтеграції прямоприводної системи з багатополосним синхронним генератором на постійних магнітах (СППМ).

Територіальний розподіл річної сумарної інсоляції на квадратний метр поверхні в Україні варіюється від 1070 кВт·год/м² у північних регіонах до

понад 1400 кВт·год/м² в АР Крим. Технічно реалізований потенціал встановленої потужності фотоелектричних станцій оцінюється на рівні 71 ГВт . Картографічну візуалізацію розподілу сонячної радіації на території України представлено на рисунку 1.2» [6].

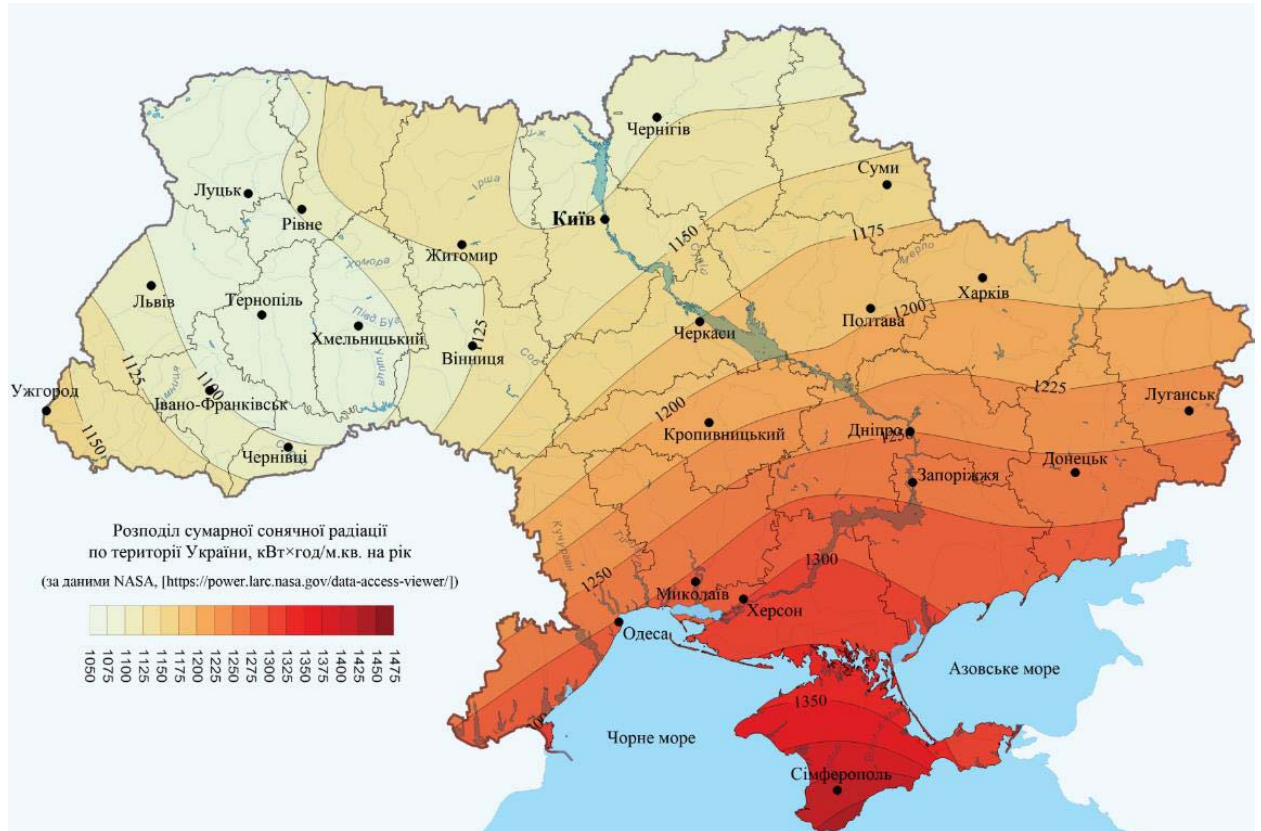


Рисунок 1.2- Карта, що відображає сонячну радіацію на території України

Наявний «геліоенергетичний потенціал України створює сприятливі передумови для широкомасштабного впровадження як теплоенергетичних, так і фотоелектричних систем у всіх регіонах, з максимальною ефективністю у південних та східних областях. Валовий потенціал сонячної енергії на території держави перевищує 730 млрд кВт·год щорічно, при цьому технічно досяжний потенціал становить 34,2 млрд кВт·год. Згідно з прогнозами IRENA, очікуваний річний обсяг генерації сонячних електростанцій до 2030 року досягне 8,4 тис. ГВт·год» [5].

За інформацією «Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, на початок квітня 2019 року сукупна встановлена потужність об'єктів альтернативної енергетики, що функціонують в рамках “зеленого” тарифу, досягла 3136 МВт. При цьому лише за перший квартал 2019 року енергетичний сектор поповнився додатковими 862 МВт потужностей відновлюваної генерації.

Детальний аналіз приросту генеруючих потужностей за перший квартал 2019 року демонструє домінування геліоенергетичного сектору з показником 684 МВт та суттєвий розвиток вітроенергетичного напрямку - 173 МВт. Додатково введено в експлуатацію 13 МВт потужностей, що охоплюють об'єкти малої гідроенергетики та установки з енергетичної утилізації біомаси й біогазу.

На початок 2019 року інтегрована встановлена потужність електрогенеруючих об'єктів Об'єднаної енергетичної системи України досягла рівня 54 ГВт. Структурну композицію генеруючих потужностей станом на початок 2022 року візуалізовано на рисунку 1.3» [6].

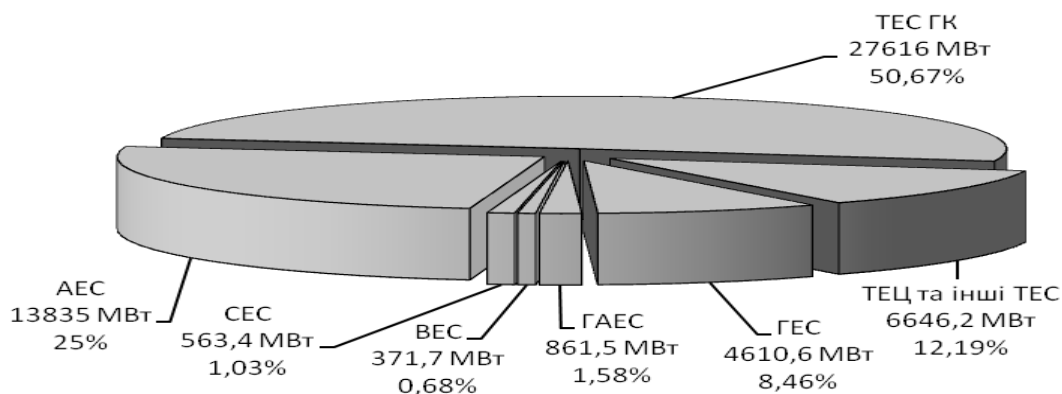


Рисунок 1.3- Розподіл представленого обладнання генерації ОЕС України станом на початок 2022 року

На основі нормативних вимог, «для забезпечення стабільного функціонування ОЕС України оптимальна структура генеруючих потужностей має включати: базові електростанції - 50-55%, напівпікові - 30-35%, пікові - 15%. Аналіз даних, представлених на рисунку 1.3, виявляє

дефіцит пікових потужностей (10% замість необхідних 15%), що призводить до вимушеного залучення енергоблоків ТЕС до регулювання навантаження.

Враховуючи актуальну конфігурацію генеруючих джерел Об'єднаної енергосистеми України, теплові електростанції залишаються єдиним типом генерації, технічно спроможним забезпечувати балансування флуктуацій потужності відновлюваних енергоджерел.

Істотним обмежуючим фактором є те, що більшість теплоелектростанцій введено в експлуатацію у 1960-1980 роках, внаслідок чого їх обладнання характеризується критичним рівнем фізичного зношення та потребує комплексної модернізації» [8].

Для ефективного «регулювання напівпікового навантаження оптимальними є енергоблоки ТЕС потужністю 100-200 МВт, проте їх частка становить лише 17% при нормативній потребі 30-35%. Додатковим ускладнюючим фактором є перевищення граничного експлуатаційного ресурсу (300 тис. годин) більшістю енергоблоків. Це зумовлює необхідність залучення до покриття напівпікових навантажень базових енергоблоків потужністю 300 МВт, які конструктивно не адаптовані до маневрових режимів.

Надмірна концентрація базових генеруючих потужностей створює технологічні складнощі при проходженні нічного мінімуму навантаження ОЕС України, що вимагає щодобового відключення частини енергоблоків ТЕС на 4-6 годин з подальшим відновленням їх роботи під час ранкового зростання споживання. Набула поширення практика експлуатації теплових електростанцій з навантаженням нижче технологічного мінімуму, встановленого умовами живучості станції» [8].

Такі нештатні режими експлуатації енергоблоків ТЕС призводять до підвищення питомих витрат палива, прискореної деградації обладнання та, як наслідок, зростання аварійності. У цьому контексті впровадження інноваційних енергогенеруючих комплексів на базі гелію- та вітропотенціалу

створює передумови для оптимізації режимів роботи енергосистеми України та мінімізації негативного впливу на довкілля.

1.2 Аналіз вітрових систем відновлюваної електричної енергії

Аналіз вітрових систем відновлюваної електроенергії виявляє стрімкий розвиток цієї галузі. Вітроенергетика, як лідер серед відновлюваних джерел енергії, вже стала невід'ємною частиною енергосистеми багатьох країн. Її визнають надійним, доступним та екологічно чистим джерелом енергії.

Особливої «популярності» набувають малопотужні вітроенергетичні установки (ВЕУ), потужністю до 10 кВт, які часто працюють автономно. Такі установки знаходять широке застосування в місцях, де відсутня централізована електромережа, або як додаткове джерело живлення для зниження споживання електроенергії з мережі, підвищення енергоефективності та забезпечення безперебійного електропостачання.

Згідно з «даними дослідження», темпи зростання вітроенергетики до 2020 року та в подальшому будуть вищими за темпи розвитку сонячної енергетики.

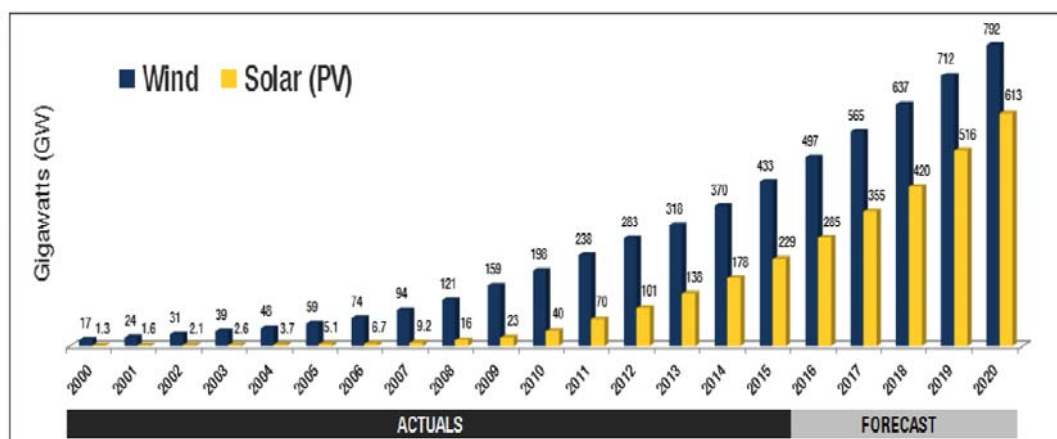


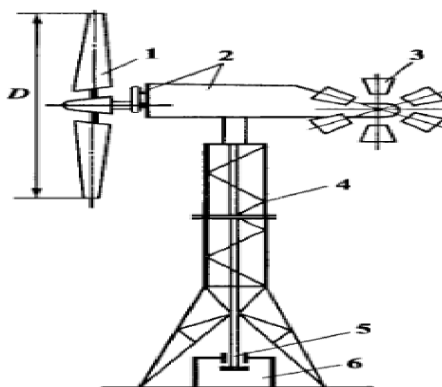
Рисунок 1.7– Відображено ріст СЕС та ВЕС до 2020 року

У галузі «сучасного вітроенергетичного обладнання» виділяють дві ключові конструктивні схеми силових установок: агрегати з горизонтальним

розташуванням осі обертання, що оснащені пропелерними лопатями, та системи з вертикально орієнтованою віссю, відомі також як ортогональні вітродвигуни. Примітно, що конструкція роторного механізму у вертикально-осьових установках може втілюватися у двох принципово різних варіантах: або шляхом монтажу прямих лопатей уздовж вертикальної осі, або із застосуванням інноваційної конфігурації за принципом Дар'є, що передбачає використання аеродинамічно вигнутих лопатей» [9].

Горизонтально-осьова вітроустановка «складається з трилопатевого вітродвигуна, трансмісії-мультиплікатора, вітровказівника, вала відбору потужності та електрогенератора. На думку експертів, монтаж високоефективної щогли здійснюється на спеціально розробленій зварній структурі, що, звісно, забезпечує надійну основу конструкції. Очевидно, що інженерне рішення головки вітрової турбіни передбачає наявність двох систем керування: як мануального типу, так і, безумовно, автоматизованого комплексу стабілізації ротаційної швидкості лопатевого механізму при варіаціях вітрового навантаження. До речі, оптимальне позиціонування вітроагрегату забезпечується чутливим флюгером, встановленим у кормовій частині щоглової конструкції, який, природно, керує механізмом орієнтації при флуктуаціях напрямку повітряних мас. Слід зауважити, що енергетична трансмісія від вала відбору потужності до електрогенеруючого блоку реалізується через багатоступінчастий редукторний механізм» [9].

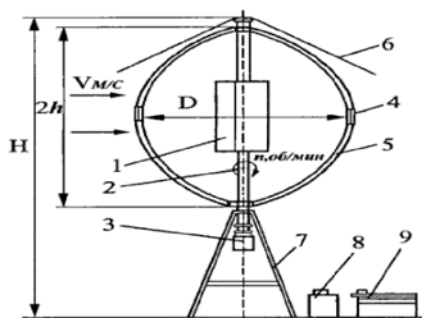
Одним із «серед інноваційних рішень у галузі вітроенергетики, безперечно, особливе місце посідає вертикально-осьова турбіна конструкції Дар'є. Примітно, що генерація обертового моменту в даній установці відбувається, головним чином, за рахунок аеродинамічного ефекту, який виникає на спеціально спроектованих криволінійних лопатях, кількість яких, як правило, варіюється від двох до трьох, причому кожна з них має ретельно розрахований профіль перерізу. Максимальна підйомна сила спостерігається, коли лопатка проходить через зустрічний потік на великій швидкості.



1 – робоча лопать; 2 – передача (мультиплікатор); 3 – вітровказівник; 4 – щогла; 5 – вал відбору потужності; 6 – генератор електроенергії

Рисунок 1.8 – Конструктивна схема вітроенергетичної установки з горизонтальною віссю обертання

Цей тип вітродвигуна зазвичай не може самозапуститися, звідси щоб він працював використовують або генератор у режимі двигуна, або ротор Савоніуса (рисунок 1.9). Вітроколесо обертається під дією сили опору. Лопаті цього вітряка зроблених з дриних вгнутих площин прямокутної форми, що вирізняються простотою та низькою вартістю. Крутний момент створюється через різницю опору між елементами конструкції, а високе геометричне заповнення надає вітряку значний крутний момент»[10].



1 – базова основа ротора типу Савоніуса, 2 – осьовий вал, 3 – електричний генератор, 4 – система гальмування, 5 – активна лопать, 6 – силові розтяжки, 7 – несуча рама, 8 – енергетичний перетворювач, 9 – накопичувач енергії

Рисунок 1.9 – Елементи конструкції вертикально-осьової вітроелектричної системи генерації

Вітроелектричні установки, що мають вертикальну структурні вісь обертання відзначаються простотою конструкції та високою надійністю. Їхніми перевагами є можливість легкого монтування, доступність технічного обслуговування та ремонту, що суттєво знижує собівартість. Особливо це актуально для ВЕУ невеликої та середньої потужності, що функціонують у місцевостях із потужним вітровим потенціалом.

Самостійні вітрові електростанції мають специфічні вимоги та технічні особливості, що істотно відрізняють їх від установок, інтегрованих в енергомережу. Ключова відмінність полягає в тому, що параметри напруги та частоти, а також їх стабільність забезпечуються не зовнішньою мережею, а внутрішніми системами автоматизованого керування. Дослідження демонструють, що вітроенергетичні установки можна класифікувати за методом отримання необхідної частоти на дві категорії:

1. установки зі стабілізованою частотою генератора;
2. установки з перетворенням змінної частоти генератора у фіксовану.

Типова архітектура ВЕУ (рисунок 1.10) включає аеродинамічний, електричний, механічний та перетворювальний блоки, доповнені системою автоматичного управління [12].



Рисунок 1.10 – Спрощена структурна схема установки для вітрогенерації

Функціональне призначення основних блоків:

- Аеродинамічний блок (роторна система) виконує трансформуючу функцію, а саме перетворює кінетичну енергію повітряних мас у механічну;
- Механічний блок, що включає (гальмівний механізм, трансмісія, швидкісні та тихохідні вали) стабільно реалізовує оптимізацію механічної енергії для ефективної роботи генераторної установки;
- Електричний блок (генераторна система) здійснює конвертацію механічної енергії в електричну;
- Перетворювальний блок забезпечує отримання електроенергії із заданими характеристиками;
- Система керування (вимірювач швидкості вітру, контролюючий пристрій, датчик напрямку вітру, приводи гондоли та лопастей) відповідає за оптимальне позиціонування установки та максимальну утилізацію вітрової енергії.

Сучасні «високопродуктивні вітроенергетичні комплекси функціонують повністю в автоматичному режимі, використовуючи передові електронні компоненти, обчислювальні системи та програмне забезпечення. Участь оператора в основних технологічних процесах не потрібна.

Ключові завдання системи керування охоплюють:

- автоматичне регулювання запуску та зупинки ВЕУ відповідно до показників анемометра;
- екстрене припинення роботи установки при виникненні критичних ситуацій;
- регулювання частоти обертання (для установок із фіксованою або дискретною зміною швидкості);
- синхронізація з електромережею та регулювання вихідної потужності;
- Збір, аналіз та зберігання інформації про швидкість вітру та генеровану електроенергію за різні часові проміжки (добові, місячні, річні показники);

- моніторинг технічного стану та сповіщення про виявлені несправності;
- телеметрична передача експлуатаційних параметрів до диспетчерського центру енергомережі та виробника обладнання;
- оптимізація просторового положення вітроколеса відносно повітряного потоку та контроль скручування кабельної системи.

Для підвищення енергоефективності систем тепло- та електропостачання впроваджуються гібридні відновлювані комплекси (рисунок 1.11), які інтегрують фотоелектричні модулі та вітрогенераторні установки в єдину енергетичну систему» [13].



Рисунок 1.11– Гібридна система, що формується на основі енергії сонця та вітру

Отже, з огляду на існуючі загрози, що спричиненні ракетними ударами росії по енергетичним об'єктам України, доцільно використовувати малі розгалужені системи енергетики. Також сучасні екологічні виклики та економічні можливості, використання сонячної енергетики як

альтернативного джерела є виправданим рішенням, яке не лише зменшує навантаження на довкілля, а й доповнює традиційну енергетичну систему.

1.3 Аналіз фотоелектричних систем для генерації електроенергії

Сонячна енергетика вирізняється низкою переваг: екологічна безпечність, невичерпність ресурсу, тривалий термін експлуатації фотоелектричних модулів без капітального ремонту (понад 30 років), мінімальні експлуатаційні витрати та перспективна економічна конкурентоспроможність порівняно з традиційними методами електрогенерації. У світлі зростаючих цін на викопне паливо та проблем з його постачанням ВДЕ мають економічну привабливість

Суттєвою перевагою сонячної енергетики є її нульовий внесок у глобальне потепління. Заміщення викопного палива відновлюваними джерелами сприяє енергетичній незалежності держави та зменшує залежність від імпорту енергоносіїв.

Фотоелектричні «електростанції (ФЕС) ідеально вписуються в концепцію розподіленої генерації. Технології перетворення сонячної енергії в електричну та теплову довели свою надійність та ефективність. Сонячні енергетичні установки забезпечують широкий спектр застосувань: від електропостачання до систем опалення, нагріву води та кондиціонування.

Класифікація сонячних електростанцій включає чотири основні категорії:

1. Автономні побутові системи – забезпечують електропостачання віддалених домогосподарств, не підключених до централізованої мережі (“Off-grid”);
2. Автономні промислові комплекси – живлять телекомунікаційне обладнання, системи водопостачання та навігаційні пристрої;

3. Локальні мережеві станції – обслуговують окремих споживачів, інтегрованих у загальну електромережу (“On-grid”);

4. Промислові мережеві станції – забезпечують електроенергією масштабні об’єкти: населені пункти, промислові підприємства.

Базова конфігурація мережевої фотоелектричної станції представлена на рисунку 1.12. Її функціонування критично залежить від підключення до зовнішньої електромережі та якості електропостачання. За відсутності мережі або при невідповідності параметрів мережі нормативним вимогам, станція втрачає працездатність навіть за оптимальних погодних умов. Попри цей недолік, мережеві ФЕС відрізняються порівняно низькою вартістю та підвищеним коефіцієнтом корисної дії, що робить їх привабливими для генерації електроенергії в рамках програми “Зеленого тарифу”» [10].

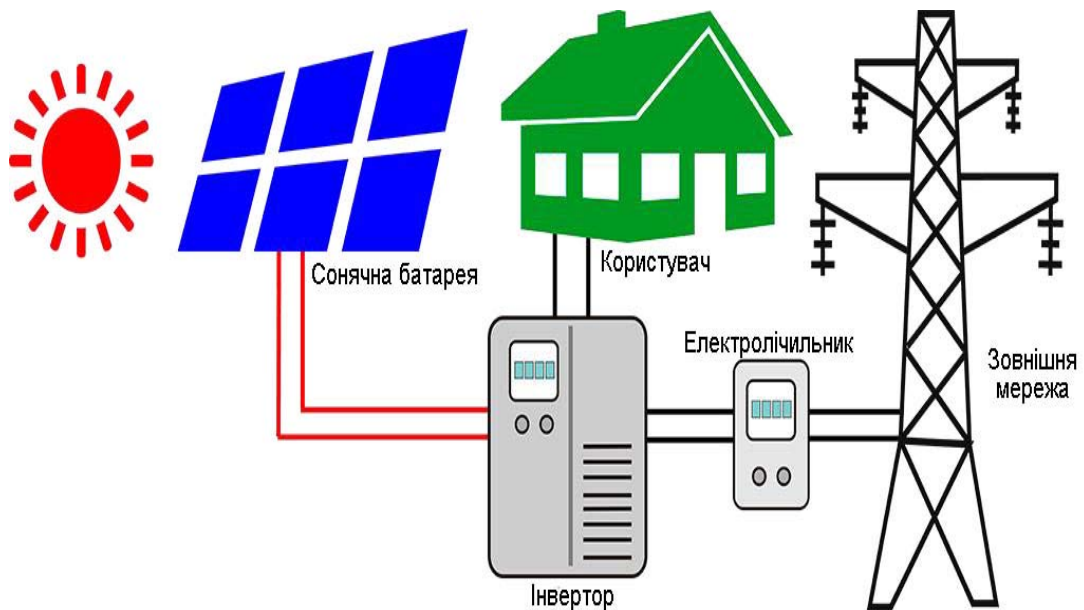


Рисунок 1.12-Узагальнена структура сонячної мережевої електростанції

Гібридні сонячні електростанції «(СЕС) поєднують в собі переваги як автономних, так і мережевих систем. Вони являють собою розширення базової схеми мережевої СЕС за рахунок інтеграції акумуляторного блоку, що використовується з контролером заряджання та заміні традиційного

інвертора на гібридний. Це дозволяє накопичувати надлишкову сонячну енергію в акумуляторах, забезпечуючи більшу енергетичну незалежність від централізованої мережі. Таке рішення особливо актуальне в регіонах з нестабільним або обмеженим електропостачанням, де гібридні СЕС часто використовуються як основа для систем безперебійного живлення. Однак, висока вартість акумуляторного блоку та гібридного інвертора є суттєвим обмеженням, особливо для систем з великою ємністю та тривалим часом автономної роботи» [12].

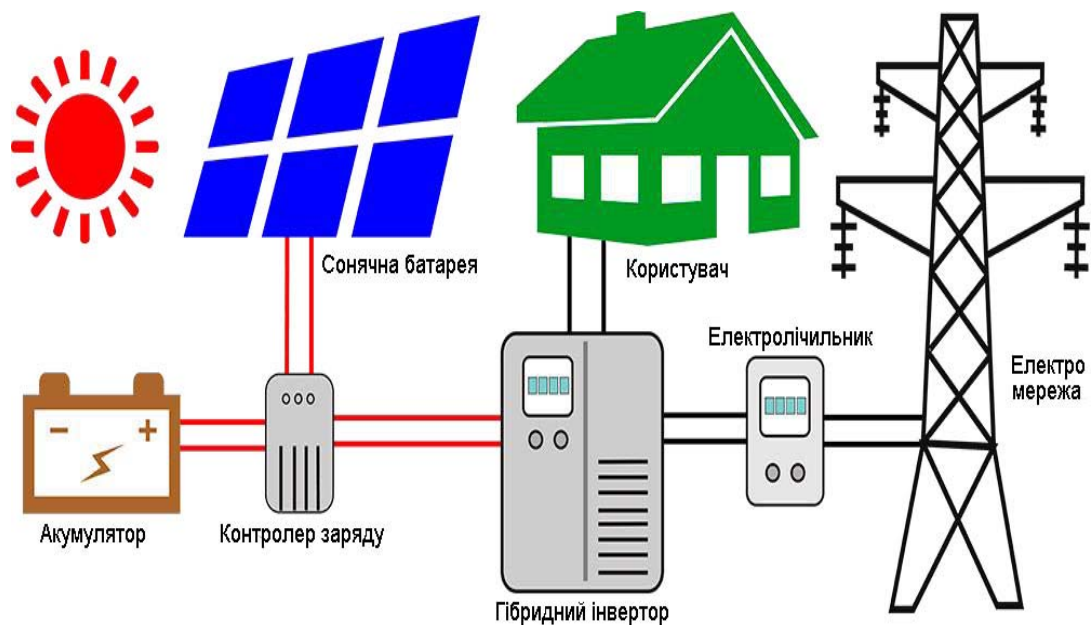


Рисунок 1.13- Узагальнена схема автономної гібридної СЕС

В загальному випадку «сонячна електрична система може включати в себе наступний базовий перелік обладнання, що відображено рисунком 1.14:

- Важливим елементом системи є акумуляторні батареї, що використовуються для забезпечення резервною енергією при високих навантаженнях споживачів, а також у разі вимкнення основного джерела струму;
- трансформатори;
- Загальна мережа забезпечення енергією централізованого доступу, що також включає - лінію електропередач;
- Інженерно-монтажні конструкції, що надійно реалізують надійну фіксацію фотоелектричних модулів;

- Прецизійні вимірювальні комплекси електронні лічильники;
- Інтелектуальна система контролю забезпечення безперервного моніторингу параметрів для експлуатаційних характеристик фотоелектричної станції;
- високоєфективні мережеві інвертори останнього покоління;
- Фотоелектричні генератори –для здійснення реалізації пряме перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію постійного струму за допомогою фотоелектричного ефекту» [11].

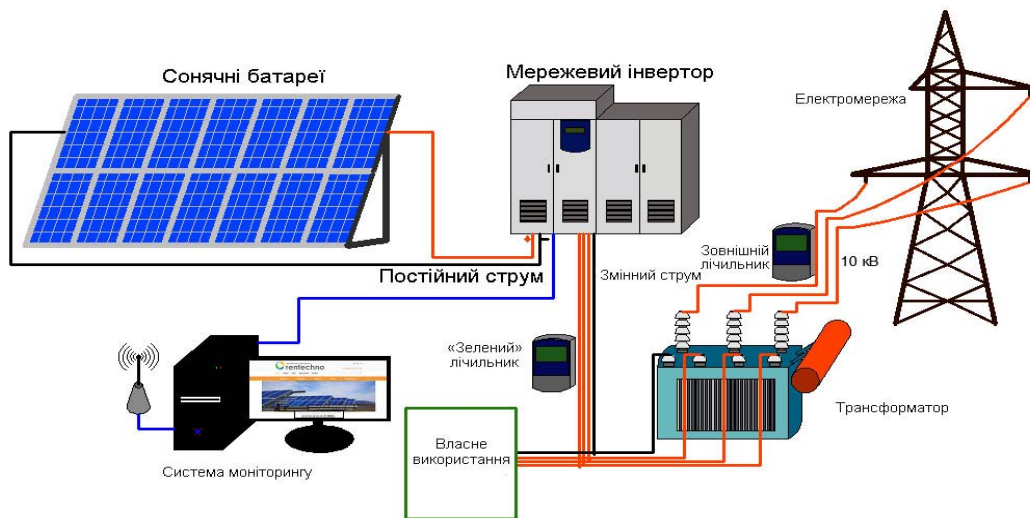


Рисунок 1.14- Структура апаратного забезпечення для сонячної електричної станції

Колосальний «потік сонячного випромінювання, який надходить до поверхні Землі. відкриває широкі перспективи для впровадження автономних систем електрогенерації на базі напівпровідникових фотоперетворювачів.

Фотоелектричні елементи являють собою спеціалізовані напівпровідникові пристрої, що здійснюють пряму конверсію світлової енергії в електричний струм. Геліоенергетичні системи характеризуються низкою суттєвих переваг:

- практична невичерпність та повсюдна доступність первинного енергоресурсу;
- вольовий вплив на екосистеми в процесі експлуатації;
- відсутність акустичного забруднення довкілля;

- модульний принцип компонування, що дозволяє гнучко масштабувати потужність;
- стійка тенденція до зниження собівартості фотоелектричного обладнання.

У сучасній фотоенергетиці використовуються різноманітні технології перетворення сонячної енергії:

- кремнієві технології (монокристалічні, полікристалічні та аморфні структури);
- тонкоплівкові технології (на основі телуриду кадмію (CdTe) та сполук міді-індію-галію-селену Cu(InGa)Se_2).

На сьогоднішній день кремнієві фотоперетворювачі домінують на ринку, займаючи приблизно 85% загального обсягу виробництва сонячних панелей» [14].

Серед кремнієвих «фотоелектричних модулів виділяють два основні типи (рисунок 1.15): монокристалічні та полікристалічні. Монокристалічні перетворювачі демонструють найвищу ефективність – 19-22%, проте потребують точного орієнтування на сонце для досягнення максимальної продуктивності. Полікристалічні модулі виготовляються за економічно ефективнішою технологією спрямованої кристалізації, однак наявність структурних дефектів обумовлює зниження їх ККД до 14-18%» [14].

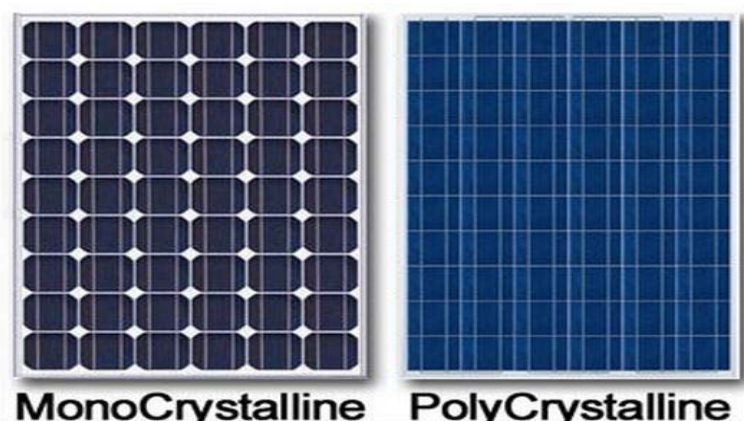


Рисунок 1.15- Приклад фотоелектричних панелей монокристалічного та полікристалічного типу

Технологія «аморфного кремнію базується на формуванні надтонких напівпровідникових шарів методом вакуумного осадження на різноманітні підкладки: металеву фольгу преміум-класу, полімерні матеріали або спеціальне скло. Незважаючи на порівняно низький коефіцієнт перетворення (близько 6%), такі пристрої демонструють підвищену ефективність за умов розсіяного освітлення та хмарності завдяки хаотичній орієнтації фоточутливих елементів. Головним стримуючим фактором широкого впровадження кристалічних кремнієвих перетворювачів залишається їх висока собівартість, де майже половину витрат складає вартість кремнієвої підкладки» [13].

Інноваційні «тонкоплівкові фотоелектричні модулі (рисунок 1.16) вирізняються оптимальним співвідношенням ціна/якість завдяки економічно ефективній технології виробництва. Хоча їх енергетична ефективність коливається в діапазоні 6-8%, що вимагає збільшення робочої площі для досягнення заданої потужності, вони мають ряд унікальних переваг:

- Еластичність конструкції, що розширює можливості інтеграції;
- Можливість виготовлення суцільних великогабаритних модулів;
- Оптимізовані експлуатаційні характеристики;
- Спрощений технологічний процес виробництва» [12].



Рисунок 1.16- Загальний вигляд тонкоплівкової фотоелектричної сонячної панелі

Максимальна ефективність сонячних панелей досягається, коли вони встановлені перпендикулярно до падаючих сонячних променів. Проте більшість зазвичай у традиційних сонячних модулів, які монтують на дахах,

фіксуються нерухомо в одному положенні. Це обмежує можливість використання потенціалу фотоелементів на повну, адже сонце, рухаючись по небу протягом дня, взаємодіє з панелями під оптимальним кутом лише на обмежений час. І хоча існують спеціальні системи стеження за сонцем, так звані трекери, які можна встановити на сонячні батареї, вони є досить дорогими. Крім того, автоматичні системи орієнтації ускладнюють процес монтажу або інтеграції в уже існуючі сонячні установки, що робить їх використання не завжди практичним або економічно виправданим.

Для досягнення максимальної ефективності фотоелектричні модулі повинні бути встановлені таким чином, аби сонячні промені падали на їхню поверхню під прямим кутом (90 градусів). Це можливо лише за допомогою спеціальних поворотних конструкцій, званих сонячними трекерами, які здатні відстежувати рух сонця у двох осях. Хоча такі системи забезпечують значно вищий рівень вироблення електроенергії, вони мають і свої недоліки: висока вартість, постійне (хоч і незначне) споживання електроенергії та необхідність більшої площі для монтажу порівняно зі стаціонарними конструкціями.

З огляду на це, часто доводиться шукати компроміс між ефективністю та вартістю системи, внаслідок чого перевага надається стаціонарним установкам. Однак, сонячні трекери дозволяють значно підвищити ефективність фотоелектричних панелей – до 30-40% порівняно зі стаціонарними конструкціями. Одноосьові трекери (рис. 1.17), наприклад, відстежують рух сонця з сходу на захід протягом дня.

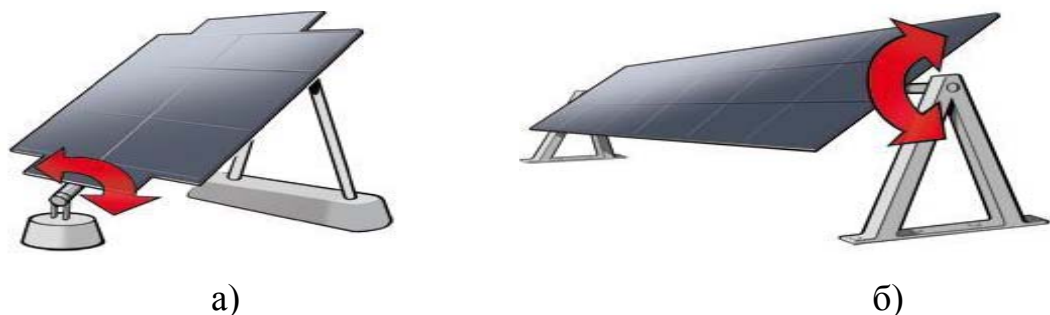


Рисунок 1.17- Одноосьовий трекер з полярною вісю обертання (а), та горизонтальною (б)

Сонячні трекири оскільки це досить інтелектуальні системи, вони нам дозволяють використовувати фотоелектричні панелі, що постійно встановлюються перпендикулярно до сонячних променів, що значно підвищує ефективність вироблення електроенергії. Залежно від кількості осей обертання, трекири поділяються на одноосьові та двоосьові [12].

Одноосьові «трекири обертаються навколо однієї осі, зазвичай слідуючи за рухом сонця зі сходу на захід. Вони простіші в конструкції та більш економічні, проте їхня ефективність нижча порівняно з двоосьовими.

Двоосьові трекири мають дві осі обертання, що дозволяє панелям відстежувати рух сонця як по горизонталі, так і по вертикалі. Це забезпечує максимальну точність орієнтації панелей протягом усього дня та року, особливо в регіонах з великими сезонними змінами кута падіння сонячних променів» [12].

Типова «конструкція двохосьового трекиера включає:

- 1) Базова конструкція: міцна основа, зазвичай виготовлена з алюмінію або сталі, яка забезпечує стійкість всієї системи.
- 2) Рухома частина: складається з двох осей обертання, електродвигунів, редукторів та системи кріплення для панелей.
- 3) Система управління: мікроконтролер, датчики (сонячної радіації, температури, вітру), інтерфейс для підключення до комп'ютера та мобільних пристроїв. Сучасні системи управління використовують алгоритми, які враховують географічні координати, пору року, метеорологічні прогнози та інші фактори для забезпечення оптимального кута нахилу панелей.
- 4) Енергетична система: сонячні панелі, акумулятор, інвертор для перетворення постійного струму в змінний.
- 5) Систему безпеки: громовідвід, датчик вітру, аварійну зупинку.
- 6) Систему навігації: GPS-модуль для визначення географічних координат та точного розрахунку траєкторії сонця» [13].

Існує три основних «способи орієнтації сонячного трекиера:

1. Ручна орієнтація: Найпростіший і найнадійніший метод, при якому оператор вручну встановлює оптимальний кут нахилу панелі кілька разів на рік. Хоча цей спосіб є найменш ефективним з точки зору точності відстеження сонця, він відрізняється високою надійністю завдяки відсутності складних механізмів та електроніки. Ризик виникнення механічних несправностей є мінімальним.

2. Орієнтація за допомогою фотодатчиків, що дозволяє використовувати, цей метод через його поширеність, але він має свої недоліки. Система використовує кілька фотодатчиків, розташованих під певним кутом один до одного. Коли сонячне світло падає на всі датчики однаково, панель розташована оптимально. Однак, забруднення датчиків, необхідність їх періодичної калібровки та неефективність в похмуру погоду роблять цей метод менш надійним. Крім того, механічні несправності в системі управління є досить поширеним явищем» [13].

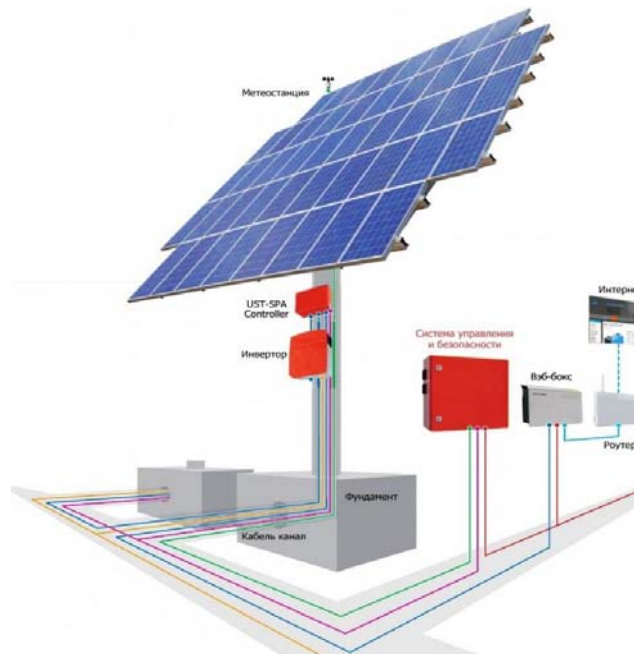


Рисунок 1.18- Сонячна електростанція з фото датчиками

Існує ще один, більш сучасний спосіб орієнтації сонячних панелей - програмний. Цей метод передбачає використання автономної системи управління, яка за допомогою програмного забезпечення відстежує рух сонця

та відповідно керує рухом панелей. Завдяки наведеним перевагам, програмні системи управління широко використовуються на промислових сонячних електростанціях (рисунок. 1.19).

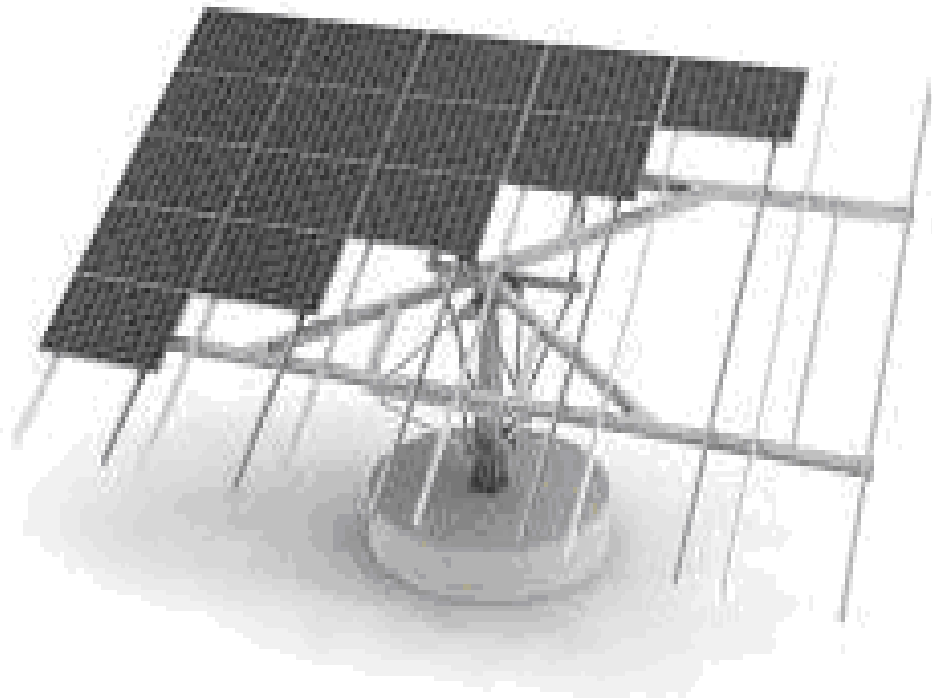


Рисунок 1.19- Промислова СЕС з програмним трекером

Smartflower – «це інноваційна мобільна сонячна електростанція, яка генерує на 40% більше енергії порівняно зі стаціонарними панелями. Її потужність становить 3,2 кВт. Унікальною особливістю Smartflower є здатність автоматично розгортати та згортати свої пелюстки» – фотогальванічні панелі – залежно від часу доби та погодних умов. Це дозволяє завжди підтримувати оптимальний кут нахилу панелей до сонця.

Безперечно, інноваційна система позиціонування Smartflower, що реалізована на базі високоточного двоосьового механізму стеження, забезпечує, як свідчать експерти, оптимальне орієнтування панелей відносно сонячної траєкторії впродовж світлового дня. Варто зазначити, що завдяки такому технологічному рішення, ця унікальна геліоустановка, що отримала, до речі, поетичну назву “сонячна квітка”, демонструє вражаючі показники річної генерації – від 3,5 до 6,3 мегават-годин електричної енергії, що,

безумовно, відповідає енергетичним потребам типового європейського домогосподарства.

Оптимальний кут нахилу панелей залежить від географічного розташування та пори року. Для літнього періоду кут нахилу може бути меншим, а для зимового – більшим. Однак, для цілорічної експлуатації зазвичай обирається середнє значення кута нахилу» [15].

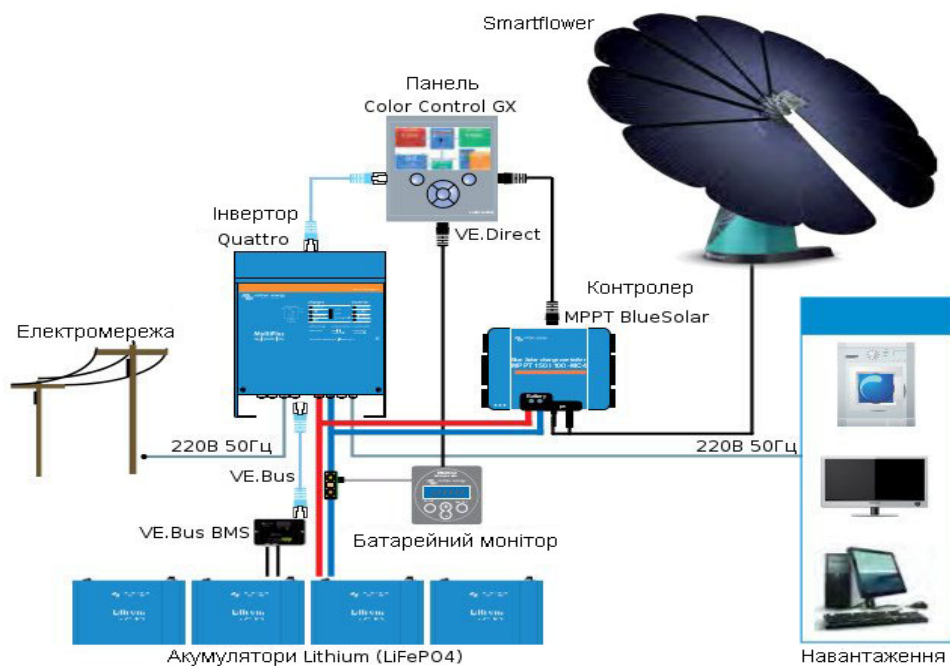


Рисунок 1.20 Система енергозабезпечення на основі SmartFlower

Smartflower «досягає рівня самокористування на рівнях 60%, що є значним кроком вперед у порівнянні зі стандартними даховими сонячними системами, які мають лише 30%. Оригінальний дизайн Smartflower також зменшує втрати енергії, спричинені забрудненням і перегрівом панелей. Встановлення даного девайсу реалізується за малий час, до однієї години.

Таким чином, спільне використання сонячних електростанцій (СЕС) та вітроенергетичних установок (ВЕУ) створює перспективи для генерації електрики, що підвищить енергобезпеку» [14]

2. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ВІДНОВЛЮВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Дослідження пристроїв управління сонячною електростанцією

Енергоефективність «сонячних електростанцій гарантує надійність, економічність використання та оптимізацію роботи всіх компонентів системи. Постійний моніторинг ефективності роботи обладнання є ключовим для стабільного функціонування сонячної установки. Він дозволяє швидко виявляти несправності в роботі сонячних панелей та інших системних компонентів, а також забезпечувати контроль доступу до окремих модулів. Конструкція установки включає модулі, що реєструють сигнали від датчиків струму, напруги та температури кожної сонячної панелі, забезпечуючи точний аналіз і оперативне реагування на можливі відхилення. Додатково система оснащена датчиками швидкості вітру, положення сонця, а також дверними датчиками і датчиками несанкціонованого доступу до мережі» [16].

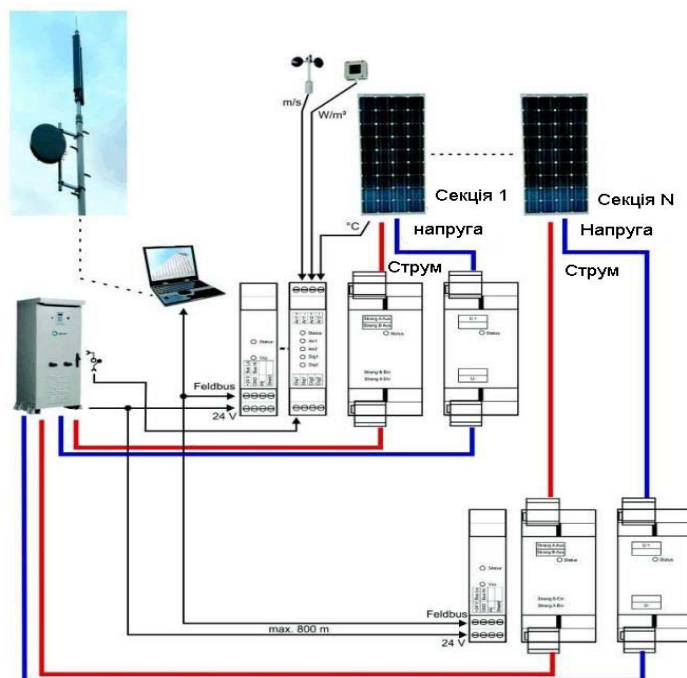


Рисунок 2.1-Програмно-апаратна структура для моніторингу за СЕС

Спеціально розроблені модульні компоненти призначені для монтажу на стандартизовану DIN-рейку. При цьому, залежно від специфікації проєкту та кількісних параметрів, їх вмонтовують у з'єднувальні коробки або диспетчерські шафи.

Важливим аспектом архітектури системи є те, що всі системні модулі інтегруються з локальним контролером. Цей контролер, у свою чергу, встановлює комунікаційний зв'язок із керуючим пристроєм вищого рівня через промислові протоколи Modbus RS485 або CAN.

Гнучкість конфігурації та потенціал для розширення забезпечуються саме завдяки модульній структурі системи. Така універсальність дає змогу ефективно впроваджувати дані модулі як на потужних промислових об'єктах сонячної енергетики, так і на компактних міні-електростанціях.

Інтелектуальна система моніторингу сонячної електростанції забезпечує всебічний контроль функціонування кожного компонента: від окремих ланцюгів фотоелектричних панелей до допоміжного устаткування. Наочним прикладом роботи цієї системи слугує діаграма, представлена на рисунку 2.2, яка демонструє виявлення падіння ефективності в одному з сегментів сонячних модулів.



Рисунок 2.2- Шкала, що відображає діаграму роботи СЕС

Для максимально ефективного використання енергії сонячних батарей необхідний спеціалізований проміжний елемент між фотоелектричними модулями та кінцевим споживачем електроенергії (зокрема, акумуляторними батареями). Цей елемент відповідає за оптимізацію параметрів струму та напруги між генеруючою та споживаючою частинами системи.

На сучасному «ринку сонячної енергетики домінують два основні типи контролерів заряду

1. PWM-контролер (Pulse Width Modulation - широтно-імпульсна модуляція) являє собою відносно нескладний пристрій керування. Його принцип роботи базується на регулюванні часових інтервалів підключення та відключення фотоелектричних елементів до навантаження, що проілюстровано на рисунку 2.3.

2. MPPT-контролер (Maximum Power Point Tracking - відстеження точки максимальної потужності) представляє собою інтелектуальний перетворювач з розширеним функціоналом. Цей пристрій не лише трансформує параметри струму та напруги, але й постійно аналізує та підтримує оптимальний режим роботи системи через відстеження точки максимальної потужності (ТМП)» [17]:



Рисунок 2.3- Контролер заряду сонячної батареї Juta 30A-12 / 24V

Багатофункціональний контролер «Juta 30A-12/24В (зображений на рисунку 2.3) забезпечує комплексний захист акумуляторної системи від надмірного заряду та запобігає розрядці в нічний період. Пристрій розрахований на роботу в двох діапазонах напруги: 12В та 24В, при цьому максимально допустимий струм від сонячних панелей та струм споживання не повинні перевищувати 30А.

Контролер підтримує три різні режими функціонування:

1. Режим керування освітленням - дозволяє запрограмувати тривалість роботи від 1 до 23 годин (режими №1-№23).
2. Режим денного циклу - забезпечує автоматичне керування від вечірніх до ранкових годин.
3. Стандартний режим - підтримує безперервне живлення навантаження.

Інформативний дисплей контролера відображає наступні параметри:

- поточний рівень напруги на акумуляторі;
- температурні показники довкілля;
- величину зарядного струму від сонячних модулів;
- рівень струму споживання;
- накопичений об'єм енергії від сонячних панелей;
- сумарне енергоспоживання з моменту останнього скидання;

Система також надає можливість самостійного налаштування критичних параметрів:

- Порогового значення напруги для відключення сонячних панелей
- Граничної напруги відключення навантаження
- Рівня напруги для відновлення електропостачання» [14].

Щодо «контролерів MPPT (рисунок 2.4), їхній принцип роботи базується на інтелектуальному управлінні енергетичними піками. Незважаючи на вищу вартість, ці пристрої демонструють значно кращу ефективність експлуатації, що суттєво скорочує термін окупності сонячної електростанції. Завдяки інноваційному алгоритму роботи, такі регулятори

здатні забезпечити на 25-30% більше енергії для акумуляторів порівняно зі стандартними моделями.

Особливість їхньої роботи полягає у постійному моніторингу точки максимальної потужності та оптимізації перетворення напруги фотомодулів із підвищенням сили струму при збереженні загальної потужності. Для ефективного заряду акумуляторів сонячні панелі генерують підвищену напругу. Сучасні MPPT контролери досягають показника ККД близько 95%» [14].

При виборі контролера заряду сонячної батареї критично важливо враховувати вхідну напругу. Рекомендується обирати пристрій із запасом потужності близько 20% відносно напруги холостого ходу сонячної панелі або загальної напруги групи фотомодулів. Такий запас необхідний через можливі розбіжності між заявленими та реальними характеристиками обладнання, а також для компенсації підвищення напруги при інтенсивному сонячному випромінюванні.

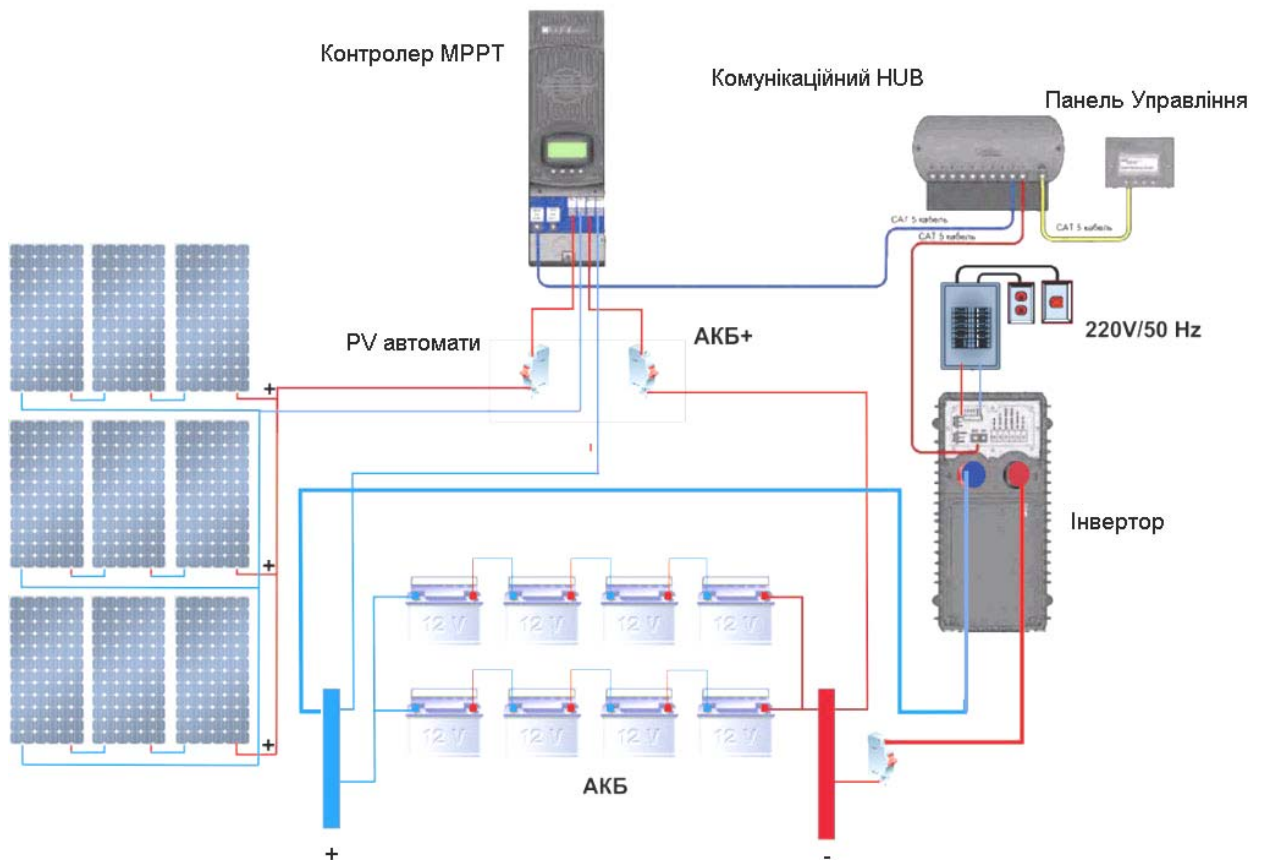


Рисунок 2.4- Сонячна СЕС з MPPT контролером

При виборі контролера необхідно враховувати специфіку номінального струму для різних типів пристроїв. Для PWM-контролерів цей показник має перевищувати струм короткого замикання сонячної панелі щонайменше на 10%. Натомість, при виборі MPPT-контролера ключовим параметром є потужність - вона повинна перевершувати добуток вихідного струму регулятора та напруги системи (розрахованої для розряджених акумуляторів). Додатково рекомендується забезпечити 20-відсотковий запас потужності для періодів підвищеної сонячної активності.

Деякі моделі оснащені додатковими таймерами для налаштування нічного режиму роботи. Більшість пристроїв функціонує за принципом імпульсного заряду: при досягненні оптимального рівня заряду акумулятора відбувається відключення від джерела енергії, а підтримуючий режим активується короткими імпульсами при падінні напруги. Цей метод особливо ефективний для довготривалого використання акумуляторних батарей і рекомендується для систем аварійного освітлення та малопотужних споживачів.

У більшості сучасних контролерів «використовується метод Perturb and Observe. Цей алгоритм передбачає регулярне сканування вольт-амперної характеристики (ВАХ) сонячної батареї, зазвичай кожні 2 години. У контролерах SunStar MPPT цей інтервал можна регулювати від 1 хвилини до 4 годин. Після визначення точки максимальної потужності (ТММ) контролер здійснює локальний пошук оптимальних параметрів, коригуючи робочу точку для досягнення максимальної потужності. Хоча цей метод має певний недолік - тимчасове призупинення генерації енергії під час вимірювань - виробники оптимізують параметри пошуку (глибину та частоту ітерацій, періодичність сканування) для максимально ефективного відстеження ТММ» [17]. Незважаючи на різні фірмові назви методів пошуку, всі вони базуються на принципі “відхилити і спостерігати” (Perturb & Observe). Як приклад сучасного MPPT-контролера можна навести модель JUTA eMPPT6048 (60A, 48V), зображену на рисунку 2.5» [18].



Рисунок 2.5-Зображення контролера JUTA MPPT 60A

Для керування сонячними електростанціями використовуються різні методи оптимізації роботи, кожен з яких має свої особливості та сфери застосування:

Метод «Scan and Hold» вирізняється своєю простотою та ефективністю. Після первинного сканування система фіксує знайдену оптимальну напругу до наступного циклу вимірювань. Цей підхід демонструє найкращі результати в умовах стабільної сонячної активності, без затінення модулів та хмарності. Ключовою перевагою є мінімальне переривання генерації енергії під час вимірювань, що забезпечує високу продуктивність системи.

Метод Percentage of Open Circuit Voltage базується на використанні коефіцієнта напруги холостого ходу. Робоча точка встановлюється як добуток напруги холостого ходу та коефіцієнта k (зазвичай 0,8), який може варіюватися від 0 до 1. Подібно до попереднього методу, цей алгоритм найефективніший при стабільному сонячному випромінюванні та відсутності затінення. Перевагами є висока швидкодія та мінімальні перерви в генерації.

Метод жорсткого вибору робочої точки передбачає фіксацію наперед визначеної напруги без подальших вимірювань та корекцій. Хоча цей метод може призвести до відхилення від реальної точки максимальної потужності, він виправдовує себе в умовах стабільної роботи при ясному небі, коли параметри сонячної батареї добре відомі. Налаштування системи вимагає попереднього розрахунку оптимальної напруги з урахуванням характеристик конкретної сонячної панелі» [19].

Важливим компонентом сучасної сонячної електростанції є інтелектуальна панель керування. Прикладом такого обладнання слугує «Victron Energy Color Control GX, схема якої представлена на рисунку 2.6. Цей пристрій характеризується широким функціоналом, який постійно розширюється завдяки регулярним оновленням програмного забезпечення. При підключенні до інтернету система щоденно перевіряє наявність нових версій прошивки.

Панель підтримує роботу з різноманітним обладнанням:

- системи Multi, включаючи трифазні та спліт-фазні конфігурації (доступні функції моніторингу та базового керування);
- обладнання Quattro, включаючи складні енергетичні системи (з можливістю контролю включення/виключення та обмеження струму);
- контролери BlueSolar MPPT 150/70 (85).

Деякі розширені функції, такі як зміна налаштувань Multi та вибір активного входу Quattro, знаходяться в процесі розробки та стануть доступними з майбутніми оновленнями» [18].

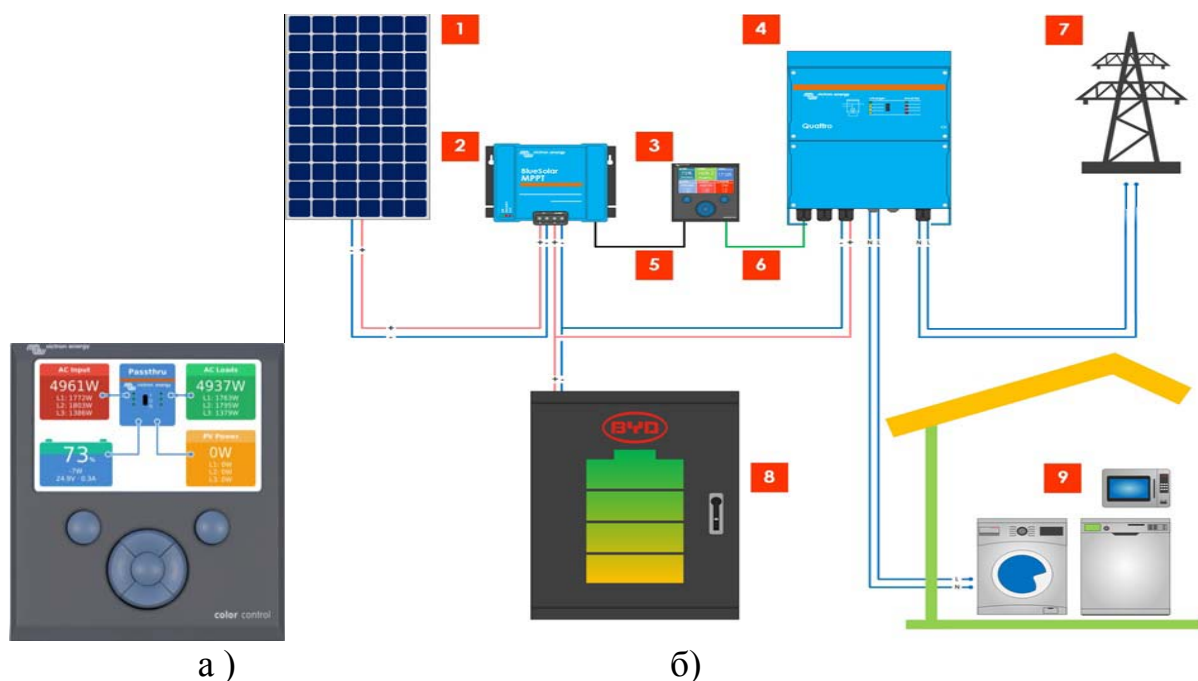


Рисунок 2.6- Комплексна систему управління сонячною електростанцією, панель управління Color Control GX (а) та схема управління СЕС (б) , що «складається з наступних компонентів:

1. Фотоелектричні модулі – відображені первинні перетворювачі для сонячної енергії.
2. MPPT контролер заряду - пристрій оптимізації енергетичних потоків.
3. Інтелектуальна панель управління Color Control GX.
4. Інвертор - перетворювач постійного струму в змінний.
5. Комунікаційний кабель VE Direct (перше підключення).
6. Комунікаційний кабель VE Direct (друге підключення).
7. Система вводу електричної енергії 220В.
8. Акумуляторна система накопичення енергії.
9. Кінцеві споживачі електроенергії.

Система моніторингу забезпечує розширені можливості контролю та візуалізації даних. Що включає постійний моніторинг вихідного струму через інформативний інтерфейс. Де відбувається автоматична передача всіх параметрів на хмарну платформу VRM Online Portal. Звідки інтегрований додаток VRM забезпечує детальну візуалізацію даних від контролерів BlueSolar MPPT 150/70 (85). При паралельному підключенні декількох контролерів система агрегує інформацію та відображає її як єдиний потік даних.

Система підтримує різноманітні варіанти підключення обладнання. Зокрема пристрої BMV серії 600 інтегруються через порти VE.Direct використовуючи спеціалізований кабель VE.Direct to BMV60xS. Зазначене обладнання BMV серії 700 підключається безпосередньо через стандартний інтерфейс VE.Direct. Дуже важливо всюди мати можливість одночасного підключення декількох сонячних контролерів BlueSolar MPPT при чому забезпечувати індивідуальне відображення кожного пристрою. Підтримка GPS-модуля через USB-порт для дозволяє робити відстеження географічного положення та швидкості з передачею даних на VRM портал» [19].

Зазначений тип архітектури дозволяє повністю забезпечити загальний комплексний моніторинг та керування всіма компонентами сонячної електростанції з використанням єдиного центру управління.

2.2 Дослідження інверторів та групи акумуляторів сонячної електростанції

Важливим компонентом роботи кожної системи ВДЕ являється інвертор, що здійснює важливе для системи перетворення постійного струму в змінний, при цьому є можливість виконувати регулювання частоти та напруги. Цей пристрій являє собою генератор періодичної напруги, яка за формою наближається до синусоїди або має вигляд дискретного сигналу. Інвертори можуть використовуватися як окремі пристрої або бути частиною систем живлення, що забезпечують електричною енергією змінного струму різноманітну апаратуру. Оскільки сонячні генератори генерують тільки постійний струм, інвертори дозволяють перетворити його для подальшого використання.

Усі «інвертори виконують дія, що реалізує процес перетворення постійного струму для акумуляторних батарей. При підвищеній напрузі втрати при передачі енергії від генератора до батареї, регулятора зарядки та інвертора знижуються, але одночасно ускладнюється конструкція та експлуатація сонячної станції при високих напругах (понад 40 В). Вихідний сигнал автономних інверторів менш вимогливий до точності, тому в деяких випадках допускається використання інверторів із трапецієподібним сигналом, які є вдвічі або втричі дешевшими за синусоїдальні моделі» [20].

Однією з ключових «характеристик автономних інверторів є залежність коефіцієнта корисної дії (ККД) від потужності підключеного навантаження. Для забезпечення ефективності роботи ККД повинен залишатися високим навіть за підключення навантаження, яке у десять разів менше від номінального. Крім того, інвертор повинен справлятися з

короткочасними і тривалими перевантаженнями, що є критичним під час роботи з електродвигунами та іншими динамічними навантаженнями.

До основних вимог, які висуваються до автономного інвертора, належать: здатність витримувати перевантаження різної тривалості; мінімальні втрати енергії при низьких навантаженнях і в режимі холостого ходу; стабільність вихідної напруги; низький коефіцієнт гармонійних спотворень; високий рівень ККД; а також повна відсутність радіочастотних перешкод» [20].

Іноземні виробники пропонують широкий асортимент інверторів, спеціально розроблених для сонячних панелей. Такі «інвертори часто оснащені блоком регулятора відбору максимальної потужності, регулятором заряду, а також додатковим входом для підключення дизель-генератора, що дозволяє екстрено підзаряджати акумуляторну батарею. Мережеві інвертори мають найвищі вимоги до форми вихідного сигналу, а для зниження втрат у процесі перетворення вони працюють на високих входних напругах. Оскільки мережеві інвертори підключаються безпосередньо до сонячних панелей, вони обладнані регулятором максимальної потужності та автоматично вмикаються, як тільки потужність сонячних панелей досягає необхідного рівня» [20].

Гібридний «інвертор MultiPlus 48/5000/70-100 — це багатофункціональний пристрій із розумною системою управління, який забезпечує чисту синусоїдальну вихідну напругу. Він містить зарядний пристрій із адаптивною технологією зарядки батарей і швидкодіюче трансферне реле для передачі змінного струму з потужністю 50А або 16А. Такий інвертор здатний працювати як у трифазній конфігурації, так і в паралельній» [20].

Гібридний інвертор «MultiPlus 48/5000/70-100 оснащений кількома інтелектуальними функціями для ефективного управління енергією. Регулювання споживання (PowerControl): дозволяє забезпечити обмеження кількості електроенергії, яку інвертор бере з зовнішнього джерела

(наприклад, сонячних панелей), плавно регулюючи заряд батареї. Це особливо корисно, коли потужність джерела обмежена. Уявіть, що це як відкрити кран з водою лише наполовину, щоб не витратити всю воду відразу.



Рисунок 2.7- MultiPlus 48/5000 / 71-100 rjv

Підсилення потужності (PowerAssist): здійснює функцію включення потужного приладу, інвертора у автоматичному режимі підключаючи батарею, щоб забезпечити необхідну потужність.

Регулювання частоти (Frequency shift): Ця функція дозволяє інвертору змінювати частоту вихідної напруги, щоб оптимізувати використання енергії від сонячних панелей» [22].

Схема підключення інвертора показана на рисунку 2.8. Для більш детального розуміння роботи кожної схеми необхідно ознайомитися з графіками та діаграмами в інструкції з експлуатації.

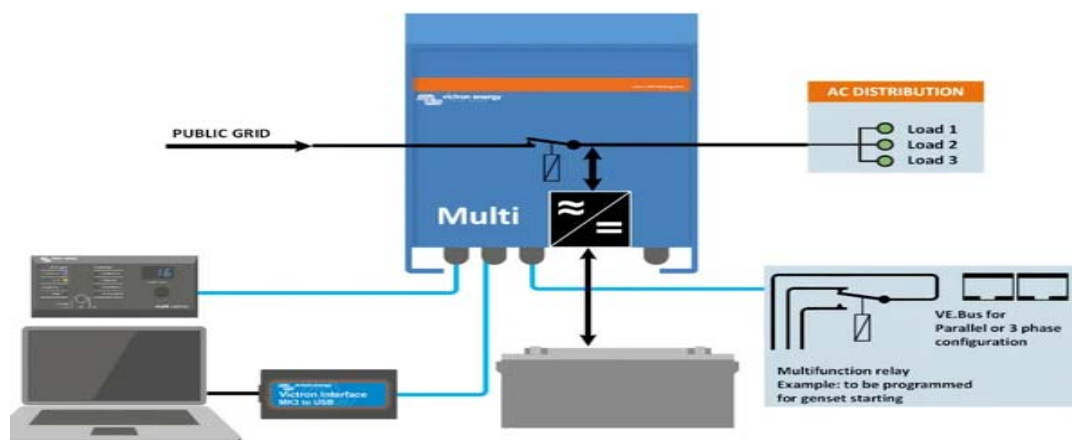


Рисунок 2.8- Схема підключення гібридного інвертора MultiPlus 48/5000 / 70-100

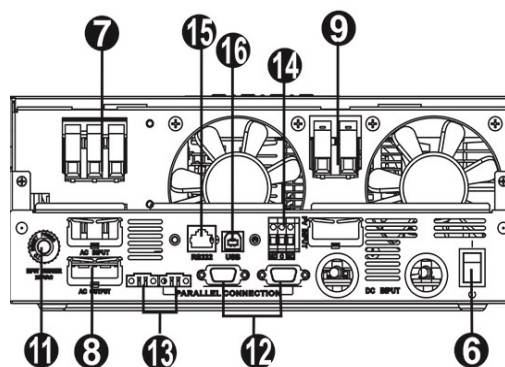
Для збільшення вихідної потужності можна з'єднати до шести інверторів MultiPlus 48/5000/70-100. Для цього додатково можлива реалізація в трифазній топології, де до шести інверторів реалізують здатність працювати паралельно на кожній фазі. У разі несподіваного аварійного вимкнення мережі повинно, щоб автоматичне трансфертне реле переключило систему на живлення від акумуляторних батарей та інвертора MultiPlus 48/5000/70-100. Після відновлення мережевого живлення система автоматично повертається до режиму прямої передачі напруги споживачам. Час перемикання складає менше 20 мс, а при активному режимі “UPS” забезпечується миттєвий запуск для безперебійної роботи.

Інвертор «MultiPlus 48/5000/70-100 підтримує режим енергозбереження, який знижує струм холостого ходу на 70% під час пошуку навантаження. У цьому режимі інвертор короткочасно вмикається кожні дві секунди для перевірки наявності навантаження. У режимі AES (економія) струм холостого ходу зменшується на 20%, і інвертор працює постійно. Налаштування режимів енергозбереження виконується через програмне забезпечення VEConfigure» [23].

Інвертор «із резервною потужністю 4 кВт ISGRID 4000 від AXIOMA Energy є багатофункціональним пристроєм, розробленим для здійснення живлення побутової техніки та чутливого обладнання, але при цьому здатний забезпечувати надійне електропостачання. Він оснащений вбудованим сонячним зарядним пристроєм на базі технології MPPT, що дозволяє максимально ефективно заряджати акумулятор від сонячних батарей. Користувач може регулювати параметри напруги та струму заряду. Програмовані режими роботи включають: мережевий автономний (off-grid) і мережевий з резервною функцією (grid-tie with backup). Програмне забезпечення для моніторингу в реальному часі надає можливість керувати параметрами системи і відстежувати її стан. Система підтримує паралельну роботу до шести інверторів на резервному виході та може функціонувати в трифазній мережі в мережевому режимі» [19].



а)



б)

6 — тумблер для увімкнення/вимкнення інвертора; 7 — вхідні роз'єми АС (підключення до мережі); 8 — підключення навантаження; 9 — вхідні роз'єми для підключення сонячних батарей; 11 — вимикач; 12 — роз'єм для підключення кабелю при паралельній роботі; 13 — кабель поділу струмів; 14 — контакти реле; 15 — порт комунікації RS-232; 16 — USB

Рисунок 2.9- Інвертор ISGRID 4000, AXIOMA energy (а) та схема підключення (б)

Сучасні енергетичні системи пропонують широкий спектр можливостей для ефективного використання різноманітних джерел енергії. Зокрема, заряджання акумуляторних батарей може здійснюватися як від традиційної електромережі, так і від відновлюваних джерел, таких як сонячні панелі.

Надзвичайно важливим є те, що користувач має можливість динамічно керувати цими джерелами. Іншими словами, система дозволяє в реальному часі вибирати, яка саме енергія буде використана для живлення споживачів: сонячна, мережева чи акумуляторна. Така гнучкість забезпечує максимальну ефективність використання сонячної енергії та оптимізує загальні витрати на електроенергію.

Щоб збільшити загальну потужність системи та забезпечити резервування, передбачена можливість паралельного підключення до шести інверторів. Схема такої конфігурації детально представлена на рисунку 2.10.

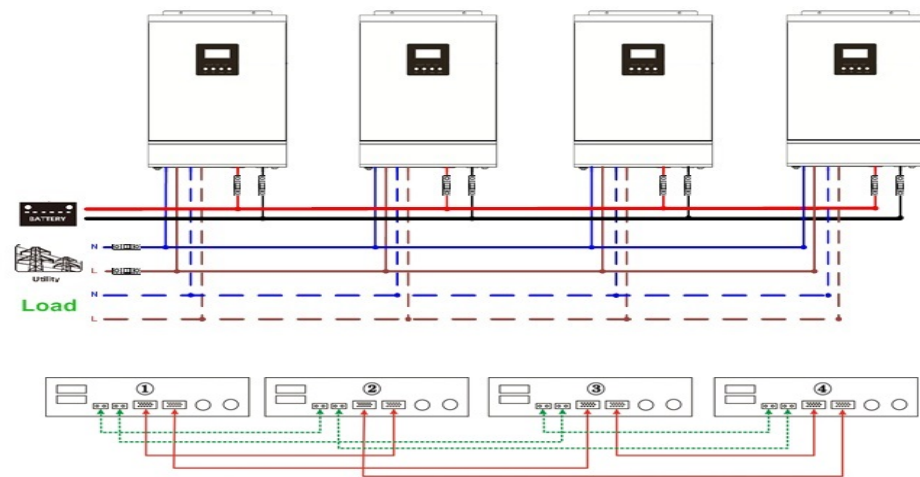


Рисунок 2.10- . Візуальне представлення паралельного об'єднання інверторів

Енергію, що виробляється сонячними панелями, можна зберігати в різних формах: як хімічну енергію в складі електрохімічної сполук у акумуляторах, як потенційну енергію води у резервуарах, як частину теплової передавальної енергію в теплових акумуляторах або як кінетичну енергію обертових мас і стисненого повітря. Найбільш відповідним для сонячних панелей є використання електроакумуляторів, оскільки вони дозволяють зберігати саме електроенергію, яку виробляють панелі та яку споживачі використовують безпосередньо. Виключенням є сонячні системи, які використовують воду для зберігання енергії, що необхідна для потенційної частки енергії від води у водонапірних баштах.

Для більшості фотоелектричних систем зазвичай використовують свинцево-кислотні акумулятори, спеціально розроблені для сонячних панелей. Вони значно відрізняються від автомобільних стартерних акумуляторів. Головні вимоги до акумуляторів включають витривалість до циклічного режиму роботи, здатність до глибокого розряду без втрати якості, низький рівень саморозряду, стійкість до можливих порушень умов заряджання і розряджання, довговічність, простоту обслуговування, компактність і герметичність (особливо важливо для мобільних або переносних сонячних панелей).

Цим критеріям відповідають «акумулятори, вироблені за технологіями “dryfit” і AGM, aghb а при можливості необхідгл також включати

рекомбінаційної технології. Ці типи акумулярів не потребують обслуговування, відрізняються низьким рівнем газовиділення, мають рекомбінацію кисню та пропонуються в широкому діапазоні ємностей (від 1 до 12000 А·год). Це дозволяє їм відповідати різноманітним потребам користувачів і зменшення витрат на обслуговування забезпечується завдяки відсутності електролізу та випаровування води в електроліті, що усуває потребу у її періодичному доливанні» [24].

Наприклад, акумулятори з трубчастими позитивними пластинами забезпечують тривалий термін служби, високу витривалість у циклічному режимі (понад 1200 циклів), не потребують обслуговування протягом усього періоду використання, мають мінімальне газовиділення завдяки застосуванню сплавів без сурми і технології рекомбінації газу, а рівень саморозряду становить близько 3% на місяць.

Висока «вартість спеціалізованих акумуляторів іноді змушує користувачів звертати увагу на звичайні кислотні акумулятори. Проте їхній термін служби в умовах сонячної електростанції обмежений 3-5 роками, що означає потребу в кількаразовій заміні за весь період експлуатації сонячної панелі (15-20 років). Це, разом із витратами на обслуговування та облаштування приміщень, може значно збільшити загальні експлуатаційні витрати» [20].

Для продовження терміну служби акумуляторів у циклічному режимі важливо уникати глибокого розряду, який визначається рівнем розряду (у відсотках від номінальної ємності акумулятора). Глибокий розряд пришвидшує зношення акумуляторів та збільшує витрати на заміну. На рисунку 2.11 показано залежність ємності акумулятора від кількості циклів при різних рівнях глибини розряду. Щоб зменшити частоту заміни акумуляторів, їхній розряд зазвичай обмежують до 30-40% за допомогою відключення навантаження (або зниження потужності) або збільшенням ємності акумуляторів.

Літій-залізо-фосфатні «акумулятори (LiFePO₄) від Victron Energy є безпечними та стійкими до повного розряду та недозаряду. Унікальною особливістю LiFePO₄ є подовження терміну служби при частковому заряді — до 5000 циклів при заряді на 50%. Крім того, такі акумулятори мають низький внутрішній опір, широкий температурний діапазон, високу ефективність і достатньо великий термін роботи (від 3000 до 5000 циклів), що робить їх надійним вибором для сонячних електростанцій»[24].



Рисунок 2.11- Victron Energy LiFePO₄ battery

Ефективність «свинцево-кислотних акумуляторів суттєво знижується при досягненні значного рівня заряду. Коли акумулятор заряджений на 80% і більше, його ККД може впасти до 50% і нижче. Це особливо критично для сонячних енергетичних систем, де акумулятори працюють у режимі частих циклів заряджання-розряджання і, як правило, завжди знаходяться у верхній частині свого енергетичного діапазону.

Порівнюючи з кислотними літій-залізо-фосфатні (LFP) акумулятори демонструють високу ефективність навіть при постійних циклах заряджання-розряджання. Їхній ККД залишається на рівні близько 90% протягом усього циклу експлуатації» [21].

Крім високої енергетичної ефективності, LFP-акумулятори відрізняються компактними розмірами та невеликою вагою, що дозволяє суттєво економити простір та спрощує їх інсталяцію. Незважаючи на вищу початкову вартість, тривалий термін служби та висока надійність LFP-акумуляторів з часом компенсують ці витрати.

Модульність «LFP-акумуляторів дозволяє створювати енергетичні системи будь-якої ємності шляхом паралельного та послідовного з'єднання окремих блоків. Для забезпечення безпечної та ефективної роботи акумуляторних батарей використовують системи управління батареями (BMS), які контролюють баланс напруги між окремими елементами, температуру та інші параметри (рисунок 2.12)» [21].



Рисунок 2.12- Моніторинг статусу батарей

Застосування інноваційних технологій та сучасних рішень у сфері сонячної енергетики дозволяє створювати сонячні електростанції з тривалим терміном експлуатації та ефективними системами управління. Це не лише підвищує їх продуктивність, але й робить сонячну енергію більш доступною та економічно привабливою для кінцевого користувача.

2.3 Дослідження автоматів безпеки сонячної електростанції

Безпека сонячної електростанції є невід'ємною складовою її ефективної роботи. Навіть при дотриманні всіх технологічних норм, сонячна енергетична система може зіткнутися з різноманітними ризиками. Серед них: руйнівна сила природних явищ, таких як вітер та блискавка і неочікуваний людський фактор, включаючи помилки під час монтажу та навмисні

пошкодження. Технічні неполадки, пов'язані з якістю обладнання та правильністю підключення можуть нанести шкоди енергетичній системі.

Зважаючи на значні інвестиції в сонячні електростанції, захист системи від потенційних загроз є надзвичайно важливим. Для цього застосовують комплекс заходів, починаючи від ретельного проектування та якісного монтажу, і закінчуючи використанням спеціалізованого обладнання для захисту від перенапруг, коротких замикань та інших аварійних ситуацій.

Особливу увагу слід приділити захисту інверторів – серця будь-якої сонячної електростанції. Навіть незначне пошкодження інвертора може призвести до серйозних наслідків та зупинки всієї системи. Тому при виборі інвертора варто віддавати перевагу моделям з вбудованими захисними функціями та високим ступенем надійності.

Важливо що, надійний захист ліній постійного струму в геліосистемах реалізується, насамперед здійснюється, через впровадження спеціалізованих DC-запобіжників. Варто зазначити, що для комплексного захисту від стрибків напруги доцільно інтегрувати обмежувачі перенапруги серії ETITEC-PV (категорій В та С), які, безперечно, є визначальними елементами для підтримки стабільного функціонування сонячних установок.

Що стосується конфігурації системи, то фотоелектричні модулі об'єднуються в послідовні ланцюги (стрінги) з урахуванням технічних параметрів мережевого інвертора для досягнення оптимального рівня напруги. За необхідності можлива паралельна інтеграція стрінгів, враховуючи граничні показники струму інвертора. Примітно, що захисні запобіжники розташовуються виключно на позитивному полюсі кожного входу системи відстеження точки максимальної потужності (ММРТ). При спрацюванні запобіжного механізму відбувається миттєве відключення фотоелектричного модуля від інвертора, що ефективно запобігає потенційним пошкодженням обладнання.

Архітектура захисту сонячної електростанції зазвичай включає три фундаментальні компоненти: DC-захист, AC-захист, заземлювальний контур.

Глибокий аналіз цієї інфраструктури дає змогу визначити критично важливі елементи, необхідні для забезпечення комплексного захисту геліостанції від різноманітних загроз, включаючи атмосферні перенапруги, надмірні навантаження та інші нештатні ситуації.

Для гарантування надійного захисту від перевантажень встановлюються спеціально розроблені DC-щити. Як правило, для кожного входу фотоелектричного масиву достатнім є комплект із запобіжника, комутаційного вимикача та пристрою обмеження перенапруги.

Комутаційний вимикач виконує функцію керування з'єднанням між сонячними панелями та інвертором. Хоча він не забезпечує безпосередній захист, його присутність є критичною для безпечного переривання електричного кола, особливо під час технічного обслуговування, зокрема при заміні компонентів системи.

На ілюстрації 2.13 відображено конструкцію захисного щита AC-інвертора потужністю 30 кВт із мідними струмопровідними елементами.



Рисунок 2.13- Щит захисту інвертора по АС

Детально компоненти щита захисту інвертора представлено у додатку В. Задля комплексного захисту фотоелектричного устаткування від комплексу загроз - зворотних струмів, надмірних навантажень та короткого замикання - на кожному полюсі (+/-) DC-системи, що забезпечує передачу енергії від фотомодулів, безумовно, необхідне встановлення спеціалізованих запобіжників. Крім того, у цьому ж вузлі інтегрується система захисту від перенапруги (ОПН) разом із комутаційним роз'єднувачем, де ОПН ефективно

нейтралізує як індуковані, так і прямі імпульси перенапруги, а роз'єднувач, своєю чергою, гарантує безпечне проведення технічного обслуговування шляхом повного знеструмлення постійностримового контуру. Варто зауважити, що на схематичному зображенні 2.14 детально відображено архітектуру сонячної електростанції з інтегрованими захисними компонентами як для змінного (AC), так і для постійного струму (DC)[23].

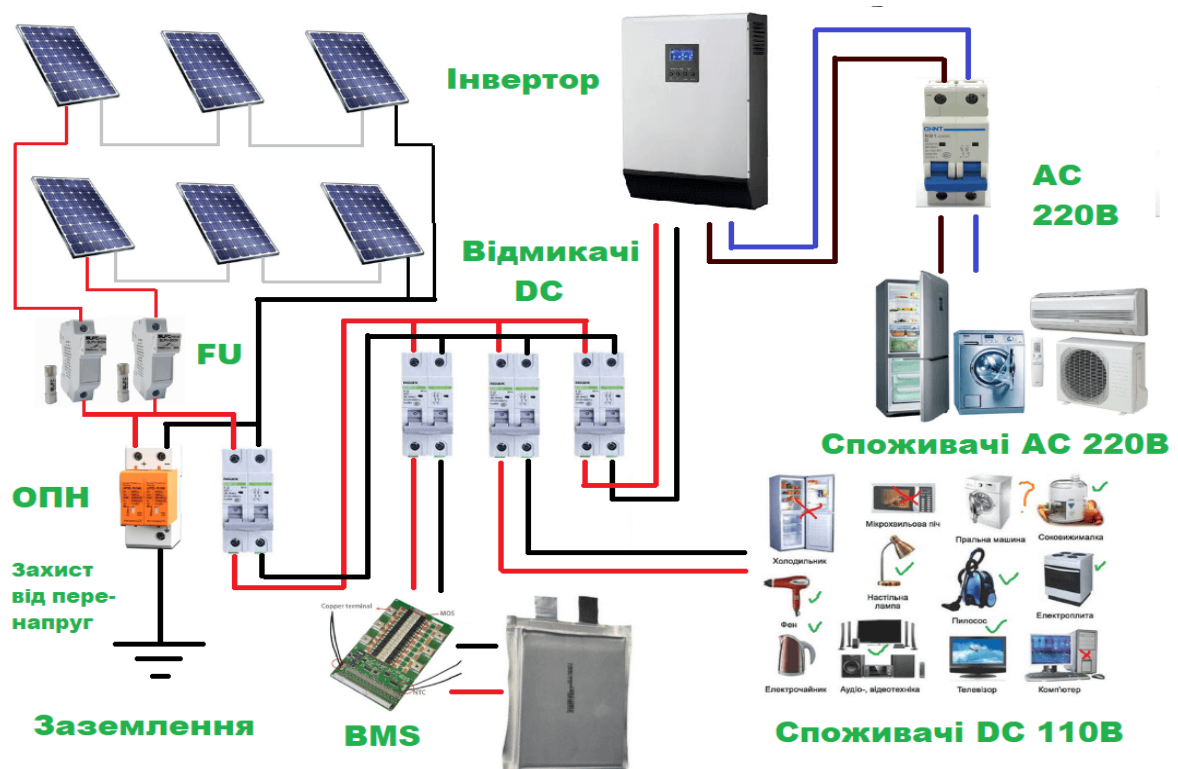


Рисунок 2.14- Схема СЕС з блоками захисту

У системах автономних та гібридних геліостанцій, безперечно, важливим елементом є встановлення ножових запобіжників, які забезпечують надійний захист акумуляторних систем та інверторного обладнання. Для запобігання коротким замиканням в AC-контурі (змінний струм) від сонячного перетворювача енергії на кожний фазовий провідник та нульову лінію інтегруються автоматичні вимикачі. З метою запобігання ураженню електричним струмом при контакті з компонентами фотоелектричної установки впроваджується диференційний захист або ПЗВ (пристрій захисного відключення) у комбінації з автоматичним вимикачем.

Безсумнівно, важливим аспектом є встановлення обмежувачів перенапруги (ОПН) з боку інвертора для забезпечення повноцінного грозозахисту.

Примітно, «що все згадане захисне обладнання постачається в уніфікованих комплектах та, задля оптимізації простору й полегшення монтажних робіт, розміщується в спеціалізованому електромонтажному боксі. Отже, для реалізації всеохоплюючого захисту сонячної електростанції необхідне придбання двох захисних шаф - для змінного та постійного струму. На ілюстрації 2.15 продемонстровано DC-комутаційний блок NOARK Electric потужністю 20 кВт» [23].



Рисунок 2.15- Блок вимикачів DC NOARK Electric DC 20 кВт

Щодо захисного щита постійного струму «NOARK Electric DC 20 кВт з трьома MPPT-входами, то він розроблений для забезпечення безпеки інверторів діапазону потужності 1-30 кВт. Маючи другий клас захисту від перенапруги, цей пристрій ефективно запобігає пошкодженням фотоелектричних модулів та інверторів внаслідок грозових імпульсних перенапруг.

Варто підкреслити, що щит NOARK Electric DC 20 кВт - 3 MPPT, виготовлений виключно з європейських компонентів, демонструє

універсальну сумісність з інверторами різних виробників та відрізняється простотою інтеграції в наявні системи» [21].

Щодо модуля «KY-019, то це однокальний релейний пристрій, оснащений парою контактів (замкненим та розімкненим), який застосовується для керування комутацією різноманітних пристроїв (рисунок 2.16)» [23].



Рисунок 2.16- Реле KY-019

Пристрій демонструє універсальну сумісність із різноманітними мікроконтролерними платформами. Процес «підключення реле KY-019 здійснюється у чітко визначеній послідовності, а саме:

1. Негативний термінал KY-019 з'єднується з шиною заземлення (GND) мікроконтролера
2. Позитивний вивід KY-019 комутується з 5-вольтовою лінією живлення мікроконтролера
3. Сигнальний контакт (S) KY-019 під'єднується до будь-якого доступного цифрового порту мікроконтролера
4. NC-контакт функціонує як нормально-замкнений вивід реле
5. NO-контакт слугує нормально-розімкненим виводом реле
6. COMMON виконує роль центрального комутаційного терміналу реле

Для мінімізації дестабілізуючих факторів впроваджуються спеціалізовані пристрої нівеліри для акумуляторних блоків. Зокрема,

прикладом такого пристрою може бути активний балансир ЕЛНІ-2/12-05 (рисунок 2.17)» [23].



Рисунок 2.17- Активний балансир для АКБ ЕЛНІ - 2/12 – 05

Представлений «балансир є розроблений для забезпечення еквівалентності 12-вольтових акумуляторів різних типів (свинцево-кислотних, гелевих, літій-іонних тощо), об'єднаних у високовольтні батареїні збірки з номіналами від 24В до 1000В і вище.

Пристрій забезпечує балансування у всіх експлуатаційних режимах, включаючи цикли заряду-розряду, буферну роботу та холостий хід, що сприяє формуванню енергоефективного високовольтного накопичувача з подовженим терміном експлуатації. Такі системи інтегруються в комплекси електроживлення як мобільного, так і стаціонарного обладнання різного призначення»[23].

Варто зазначити, що для оптимізації системи достатньо встановити один нівелір на декілька послідовно з'єднаних 24-вольтових акумуляторних ланцюгів (візуалізовано на рисунку 2.18).

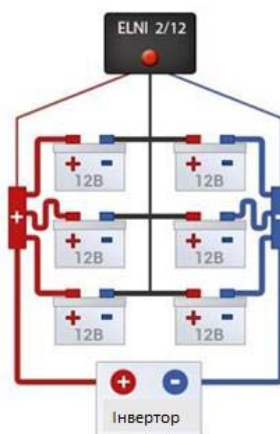


Рисунок 2.18- Нівелір на декілька ланцюгів АКБ 24В

Розглядаючи техніко-економічні переваги системи, безсумнівно, варто відзначити суттєве підвищення експлуатаційної надійності та розширення часового ресурсу акумуляторних блоків, а також оптимізацію енергетичної віддачі. Примітно, що при використанні активного балансування для трансферу енергії між елементами з різним ступенем заряду застосовуються реактивні накопичувачі, які демонструють винятково високий коефіцієнт корисної дії - 96-98%, що свідчить про мінімальні енергетичні втрати.

Фундаментальний принцип функціонування базується на динамічному перерозподілі заряду між елементами акумуляторної батареї, що забезпечує практично ідентичні показники напруги на всіх компонентах. Запропонована технологія демонструє значно вищу енергоефективність порівняно з альтернативними рішеннями, які використовують або селективне шунтування надлишкової зарядної потужності, або вибірккову підзарядку елементів, яка обмежується лише режимом заряду.

Щодо сенсора освітленості KY-018 візуалізованого на рисунку 2.19, то «цей компонент забезпечує можливість точного вимірювання інтенсивності світлового потоку в заданій локації. Конструктивні особливості модуля передбачають надійну фіксацію фоторезистора та наявність швидкоз'ємного конектора для оперативної заміни сенсора. Пристрій знаходить широке застосування в системах автоматизованого керування освітленням, зокрема у фотореле. Крім того, модуль ефективно використовується для моніторингу функціонування освітлювальних приладів у критично важливих системах та інтегрується в різноманітні світлочутливі робототехнічні комплекси» [24].

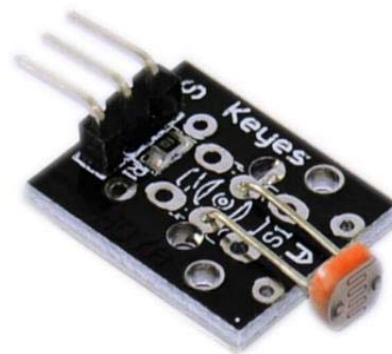


Рисунок 2.19 – Давач освітлення

Функціональний принцип «сенсора KY-018 базується на оберненій залежності між інтенсивністю освітлення фоторезистора та його електричним опором. Варто зазначити, що діапазон варіації опору надзвичайно широкий - від декількох кілоом при яскравому освітленні до сотень кілоом чи навіть мегаом у темряві.

Конструктивні особливості модуля KY-018 передбачають подвійний режим експлуатації: можливе як автономне використання фоторезистора, так і його інтеграція в схему подільника напруги, де додатково встановлено резистор номіналом 10 кОм» [25].

При подачі живлення на 5-вольтовий термінал спостерігається наступна залежність: посилення освітленості призводить до прогресивного зниження вихідної напруги, причому при максимальній яскравості вона стабілізується приблизно на рівні половини напруги живлення. Безумовно, конкретні показники вихідної напруги корелюють із характеристиками встановленого фоторезистора. За відсутності освітлення вихідна напруга наближається до максимального значення - близько +5В.

3. РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ

3.1 Розробка моделі Simulink для фотоелемента та сонячної панелі

Одним з ключових етапів впровадження систем, що використовують сонячну енергію, є створення імітаційних моделей. Такі моделі, розроблені в спеціалізованому програмному середовищі, дозволяють швидко конструювати віртуальні прототипи компонентів та систем, а також досліджувати їх характеристики. Це значно скорочує витрати на фізичне втілення проекту.

Для моделювання фотоелементів ми обрали популярне середовище MATLAB/Simulink. Основою математичної моделі фотоелемента є класична еквівалентна схема, яка складається з кількох основних елементів: генератора фотоструму, діода, шунтуючого та послідовного опорів (рисунки 3.1а).

Ця еквівалентна схема дозволяє описати роботу фотоелемента за допомогою наступного рівняння

$$I = I_{\phi} - I_{\pi} - I_{\text{ш}} \quad (3.1)$$

звідки I – використовуваний струм;

I_{ϕ} – фотострум;

I_{π} – заданий струм, що проходить через діод;

$I_{\text{ш}}$ – використовуваний струм, що проходить шунтуючий опір.

Виразивши «струми для структурних фізичних параметрів заданих фотоелектричних перетворювачів, отримуємо аналітичний вираз вольт-амперної характеристики у вигляді заданого рівняння (3.2):

$$I = I_{\phi} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(U + IR_n)}{AkT}\right) - 1 \right] - \frac{U + IR_n}{R_{\text{ш}}} \quad (3.2)$$

де I_0 - електричний струм, що проходить через р-п перехід;

U - вихідна напруга;

$R_{ш}$ – електричний опір, паралельно з'єднаний з р-п переходом;

R_n – використовуваний послідовний опір ФЕП;

q – використовуваний заряд електрона;

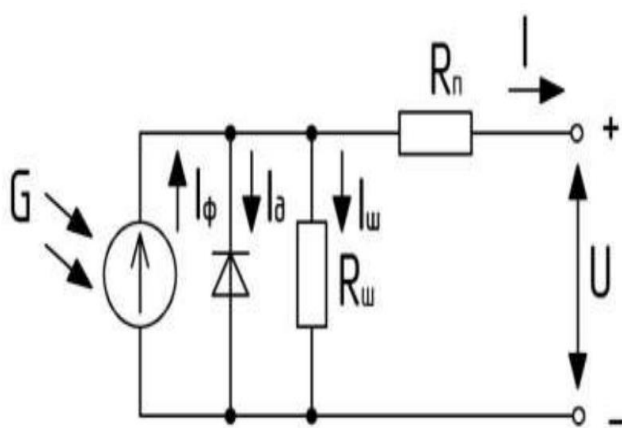
k – використовувана константа, що виконує встановлений зв'язок між температурою системи та середньою кінетичною енергією;

A – використовуваний середньозважений параметр ВАХ ФЕП,;

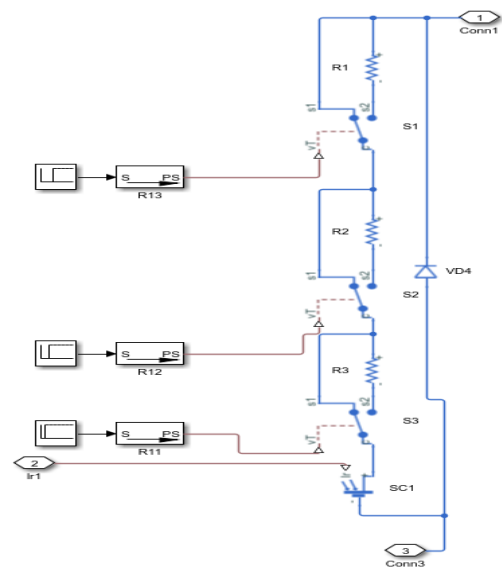
T – відображені абсолютні температура для СЕ, К» [26].

Коефіцієнти «корисної дії (ККД) сонячної електростанції залежать від форми її вольт-амперної характеристики (ВАХ), параметри сонячного елемента, що входять до рівня ВАХ (3.2), впливають на ефективність перетворення. Якщо обрати ефективний фотоелектричного перетворювач світлової вольт-амперної характеристику сонячного елемента, структура якої залежить від декількох параметрів: паралельного і паралельного опорного елемента, щільності струму насичення діода та діодного коефіцієнта»[27].

На основі заданого рівняння (3.2) розроблено модель фотоелемента в середовищі MATLAB/Simulink (рисунок 3.1).



а



б

Рисунок 3.1- Simulink модель роботи фотоелемента сонячної панелі

Згідно розробленої моделі фотоелемента, що редствлена на рисунку 3.1 використовуються наступні елементи: R1, R2, R3 – це резистори, які імітують зміну внутрішнього опору під час проходження вектора проекції хмарного покриву. VD4 – використовуваний для озробленої моделі рекуперуючий діод, SC1 – фотоелемент; Ir1 – сигнал, що постійно відображає інтенсивність поступаю чого сонячного випромінювання; S1, S2, S3 – ключі для встановлення підключення резисторів R1, R2, R3. R11, R12, R13 – це постійно задані сигнали, що визначають перемикання ключів S1, S2, S3, а Conn1 і Conn3 – клеми, які підключаються до фотоелементів моделі.

Ефективність перетворення сонячної енергії в електричну безпосередньо пов'язана з формою вольт-амперної характеристики сонячного елемента. Крім того, на цю характеристику впливають такі параметри, як послідовний і паралельний опори, щільність струму насичення діода та діодний коефіцієнт. Саме ці параметри визначають максимальну потужність, яку може видати сонячний елемент, і обчислюються за відповідною формулою:

$$P = UI \quad (3.3)$$

Для досягнення необхідної точності моделі важливо мати точні значення внутрішніх опорів фотоелементів. У загальному під час моделювання спостерігаються систематичні відхилення теоретичної вольт-амперної характеристики (ВАХ) від експериментального, що пов'язано зі змінами щільності струмів і градієнтами напруги. Ця модель часто використовується для початкового аналізу роботи сонячного елемента та сонячної електростанції, хоча між теоретичними та експериментальними значеннями часто виникають незначні розбіжності. Однією з причин цих відхилень є складність точного в

Моделювання характеристик фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) допоможе вирішити таке завдання:

- оптимізація конструктивної форми для використовуваної схеми ФЕП;

- визначення оптимальної робочої точки (РТ) в умовах змінної освіти
- оцінка втрат у схемі;
- розрахунок і проведення перевірки моделі фотоелектричних систем здійснення електропостачання
- аналіз і прогнозування ефективності роботи фотоелектричної станції.

Для ефективного моделювання I_{AC} важливо розуміти основні параметри сонячного модуля: напругу холостого ходу (U_x) і струм короткого замикання ($I_{kз}$). Ці характеристики надаються виробником у документації до сонячного елемента чи модуля. Крім того, такі фактори, як наступний опір R_n , температура T і параметр діода A , можуть впливати на характеристики FER. Змінення R_n призведе до підвищення вихідної потужності від CE , таким чином підвищуючи ефективність. I навпаки, зі зростанням температури значення T U_{xx} зменшується, тоді як $I_{kз}$ залишається досить стабільним [28]. Імітаційна модель сонячного фотоелектричного модуля була створена за допомогою програмного середовища Matlab/Simulink. Ця модель дозволяє записувати ключові характеристики сонячного фотоелектричного модуля, що відображено на рисунку 3.2.

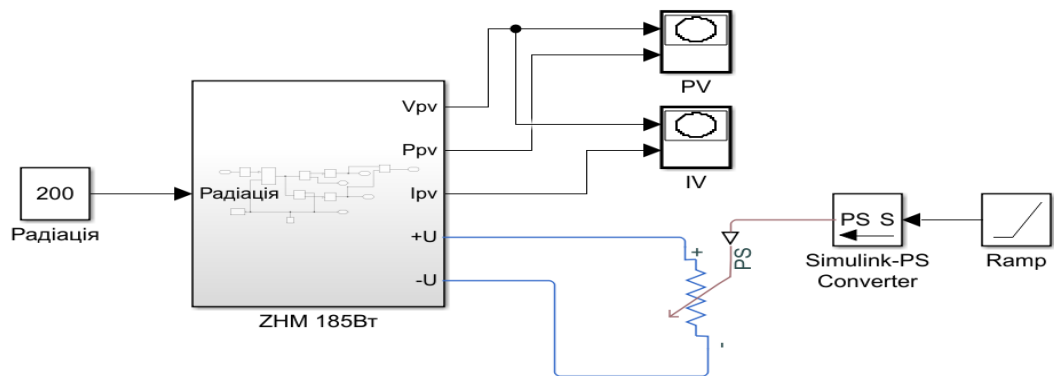


Рисунок 3.2 – Модель для проведення вимірювання характеристик сонячної панелі

Побудована модель складається з різних підсистем і блоків. Блок «Випромінювання» (Constant) підключається до входу підсистеми сонячного

модуля і забезпечує інтенсивність сонячного випромінювання G , виміряну у Вт/м^2 .

Підсистема «ZHM 185Вт» має власний сонячний модуль. На рисунку 3.3 показано розширений дизайн запропонованої підсистеми сонячного модуля.

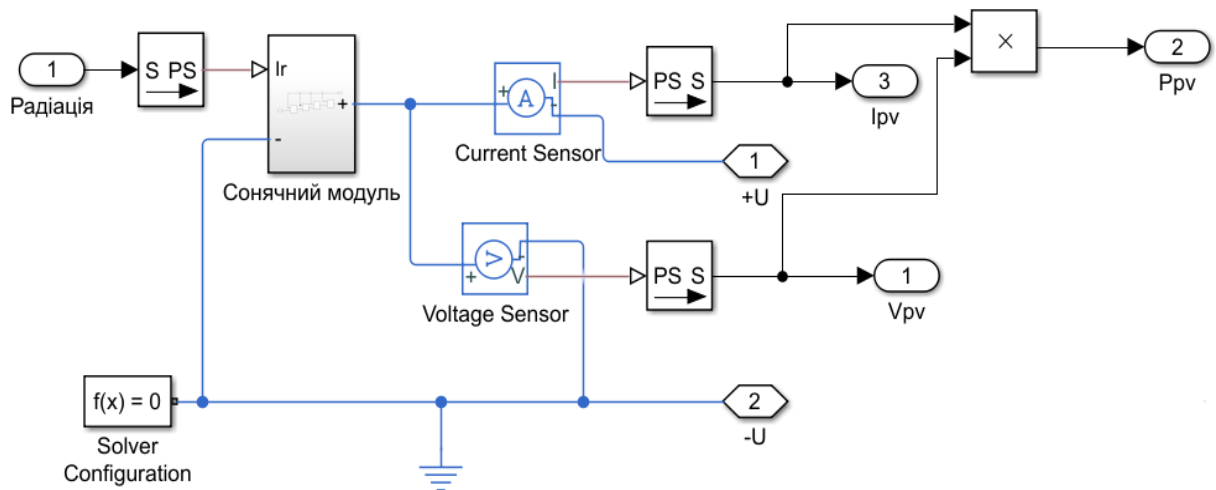


Рисунок 3.3 – Модель структури підсистеми сонячного модуля

Підсистема «складається з кількох блоків, що включають перетворювачі сигналів, такі як Simulink-PS Converter і PS-Simulink Converter, а також вимірювальні напруги та струм з позначками VoltageSensor і CurrentSensor. Крім того, існує блок конфігурації, відомий як “SolverConfiguration”, і блок множення, який називається “Product”. Ми створюємо підсистему, яка представляє собою сонячний модуль у Simulink, спроектований так, щоб його вихідні параметри відповідали параметрам модуля ZHM 180W за умов освітлення 1000 Вт/м^2 : $P = 180 \text{ Вт}$; $U = 24 \text{ В}$; $I = 5,14 \text{ А}$; $L_{xx} = 45,67 \text{ Вт}$; $k_z = 7,6 \text{ А}$. Проводимо вибір свого універсального блоку SolarCell (також відомий як «Solar element») із бібліотеки Simscape у програмі» [24].

Проведення повного авідлаштування для заданого блоку виконується у відображеному вікні за вказаними параметрами необхідно, що . структури сонячних елементів були з'єднані послідовно (рисунок 3.4).

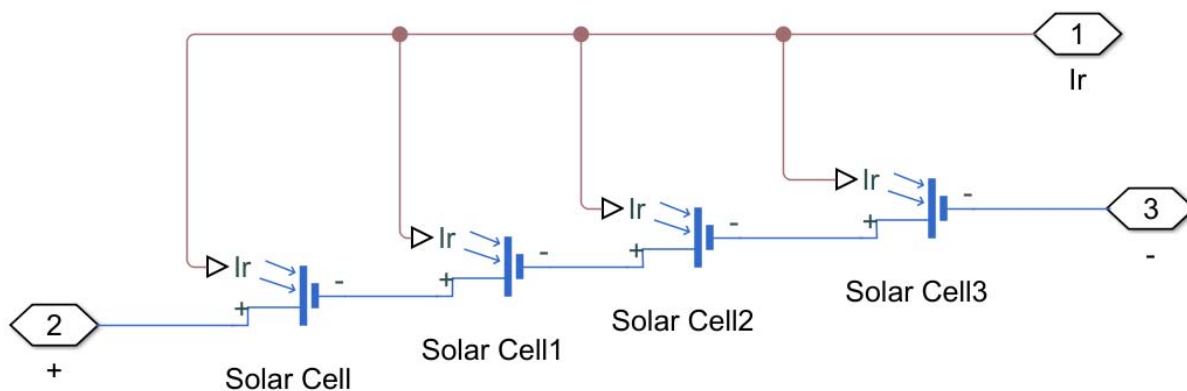


Рисунок 3.4 – Підсистема «Сонячний модуль»

Блок “Ramp” відображає лінійно зростаючий сигнал, який передається на вхід блоку “Simulink-PS Converter”. Візуалізацію результатів моделювання забезпечують блоки “PV” та “IV”, що будують графіки залежності вихідних характеристик фотоелектричного перетворювача. У моделі не враховувалися такі фактори, як часткове затінення та механічні пошкодження сонячної панелі, що дозволило використовувати традиційні аналітичні моделі.

Температура сонячних елементів була прийнята за сталу величину, рівну 25°C. Варто зазначити, що точність отриманих результатів може бути вплинута технологічними відмінностями між окремими елементами та модулями. На рисунку 3.5 наведено результати моделювання для різних рівнів освітленості, що демонструють положення точок максимальної потужності.

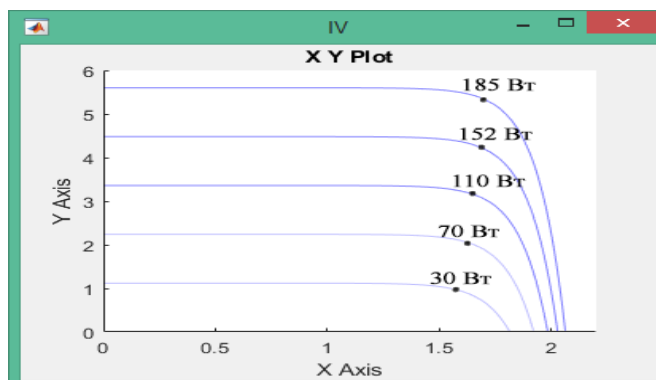


Рисунок 3.5 – Результати здійснення моделювання для вольт-амперних характеристик наведеної сонячної панелі

На рисунку 3.6 відображено функціональний набір параметрів для вольт-амперних характеристик сонячного модуля ZHM 185W, отриманих за різних рівнів освітленості при постійній температурі.

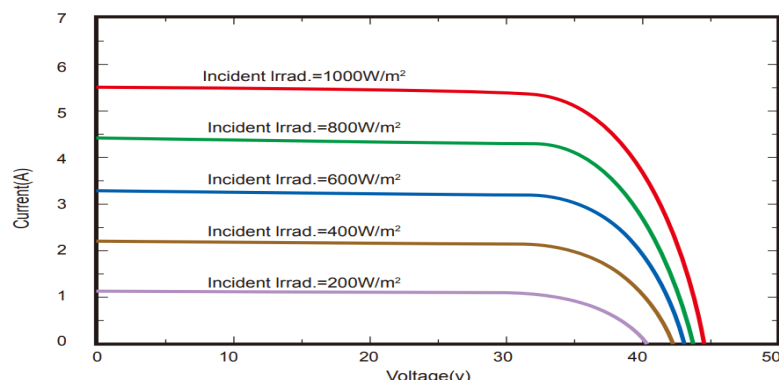


Рисунок 3.6 – Дослідження ВАХ сонячного модуля ZHM 185Вт

Отримані в результаті моделювання дані демонструють залежність характеристик модуля від інтенсивності сонячного випромінювання. Незважаючи на загальну відповідність моделі реальному пристрою, спостерігаються деякі відхилення, які пояснюються труднощами точного вимірювання внутрішніх параметрів сонячних елементів. Порівняння з паспортними даними виробника показало, що отримані результати є цілком прийнятними з інженерної точки зору.

Це підтверджує ефективність розробленої імітаційної моделі, яка забезпечує високу точність прогнозування потужності сонячної панелі завдяки детальному врахуванню параметрів сонячної радіації.

3.2 Реалізація Simulink моделі акумуляторних блоків сонячної електростанції

Порівнюючи з свинцево-кислотних акумуляторами, SLA-батареї, що застосовуються в електроніці, розроблені з низьким порогом перезарядження, аби запобігти газовиділенню. Це забезпечує їм дуже довгий

термін їх зберігання, хоча й обмежує заряд до неповного об'єму. Внаслідок цього, такі акумулятори демонструють найнижчу питому енергію серед усіх типів батарей, тобто найменшу кількість енергії, яку можна накопичити в одиниці маси або об'єму.

Незважаючи на це, «завдяки значно низькому саморозряду і браку ефекту пам'яті та мінімальним вимогам до обслуговування, ці батареї залишаються економічно вигідним рішенням для певних застосувань. Для перевірки заряджання та розряджання моделі батареї динамічного типу були проведені експерименти на чотирьох найпоширеніших типах акумуляторів» [29].

Варто зазначити, що простота є однією з головних переваг цієї моделі (рисунком 3.7), оскільки для її використання достатньо ввести лише три параметри: номінальну напругу, номінальну ємність та перший стан заряду .

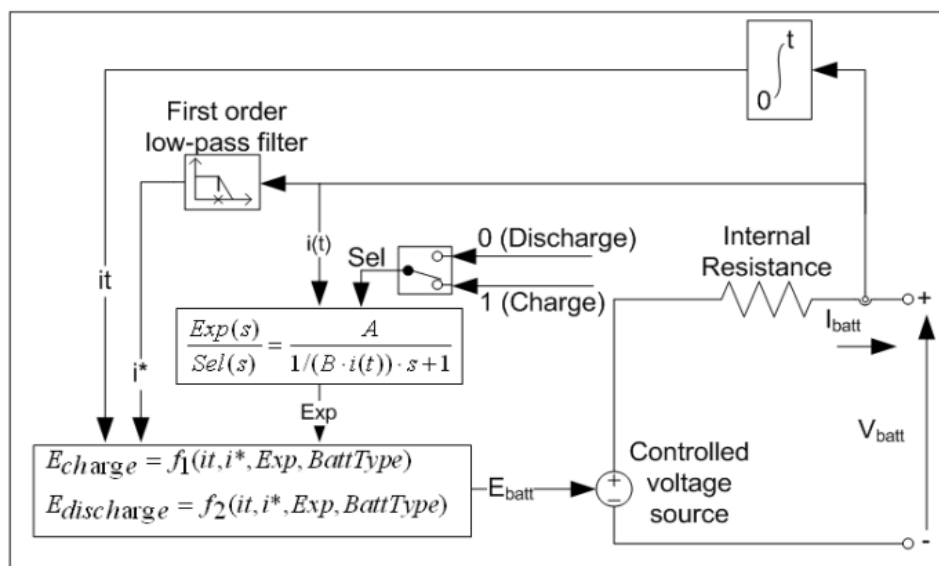


Рисунок 3.7 – АКБ структура у моделі Matlab

На схемі яка відображена рисунком 3.7 представлена структурна модель акумулятора, що слугує фундаментом для розробки та аналізу його математичного опису. Схема містить низку ключових елементів: кероване джерело напруги, внутрішній опір, комутаційний пристрій (який керує режимами заряджання та розряджання залежно від стану 1 або 0), фільтр нижніх частот для зменшення високочастотних складових струму, блоки, що

моделюють процеси заряджання та розряджання, а також блок, який відображає експоненціальну динаміку певної зони.

З метою проведення моделювання необхідно визначити математичну модель свинцево-кислотного акумулятора. Наведені нижче рівняння (3.4 та 3.5) описують процеси розряджання та заряджання акумуляторних батарей, що входять до складу батарейного блоку.

Наведена схема для моделі розряду ($i^* > 0$)

$$f_1(it, i^*, \exp) = E_0 - K \frac{Q}{Q - it} i^* - K \frac{Q}{Q - it} it + Laplace^{-1} \left(\frac{\exp(s)}{sel(s)} 0 \right). \quad (3.4)$$

відображена модель заряду ($i^* < 0$)

$$f_2(it, i^*, \exp) = E_0 - K \frac{Q}{it + i0,1Q} i^* - K \frac{Q}{Q - it} it + Laplace^{-1} \left(\frac{\exp(s)}{sel(s)} \frac{1}{s} \right). \quad (3.5)$$

Ключові параметри математичної моделі акумулятора:

Експоненційна «динаміка зони (B)» – характеризує зміну властивостей з часом роботи.

- режим роботи ($0/1$) – розряд/заряд.
- постійна поляризації (K) – оцінює поляризаційні ефекти.
- низькочастотна динаміка струму (i^*) – описує повільні зміни струму.
- струм акумулятора (i) – миттєве значення струму.
- вилучена ємність (i^*) – віддана енергія.
- експоненційна ємність (B) – здатність зберігати заряд.
- максимальна ємність (Q) – гранична ємність.
- експоненційна напруга (A) – зміна напруги при зарядці/розрядці» [30].

Рисунок 3.8 показує, як відбувається зарядка акумулятора від спеціального пристрою, який дає постійну напругу. Цей пристрій, який називається “Controlled Voltage Source”, працює як ідеальний зарядний пристрій. Щоб зарядити акумулятор повністю, достатньо встановити на виході цього пристрою напругу 14 вольт.

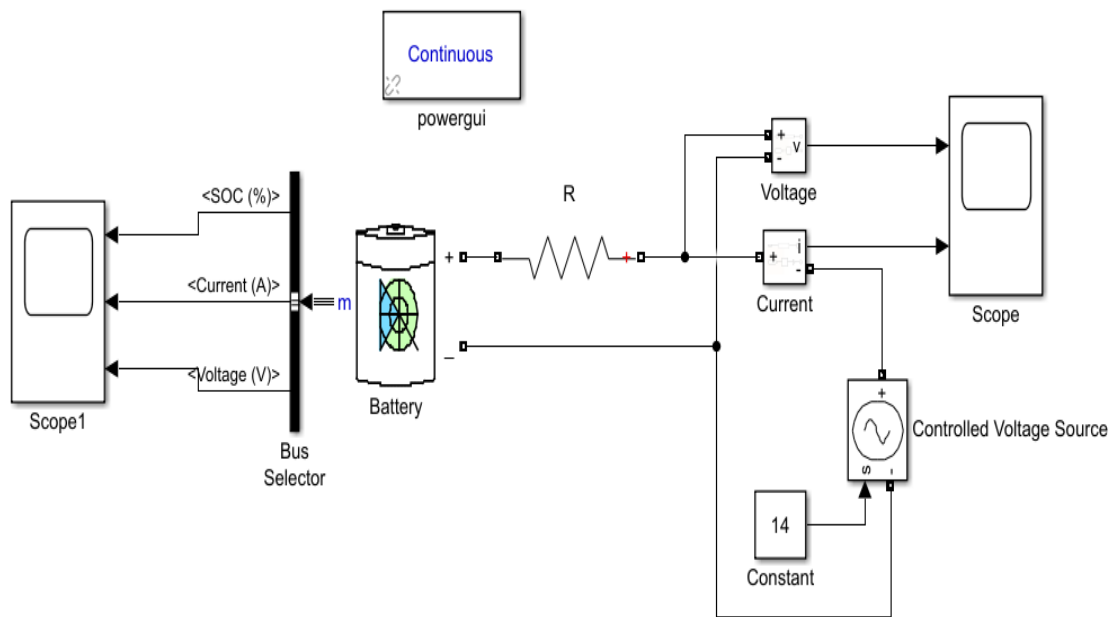


Рисунок 3.8- Модель заряду акумуляторної батареї

Резистор R імітує опір, який виникає між зарядним пристроєм та акумулятором під час заряджання. Елемент Scope1 «використовується для візуалізації процесу заряджання. За допомогою датчиків напруги та струму, підключених до Scope1, ми можемо спостерігати на екрані осцилографа такі параметри:

- SOC%: ступінь заряду акумулятора, виражений у відсотках (рисунок 3.9);
- Current A: сила струму заряджання, виміряна в амперах;
- Voltage V: напруга на клеммах акумулятора, виміряна у вольтах (рисунок 3.10)» [25].

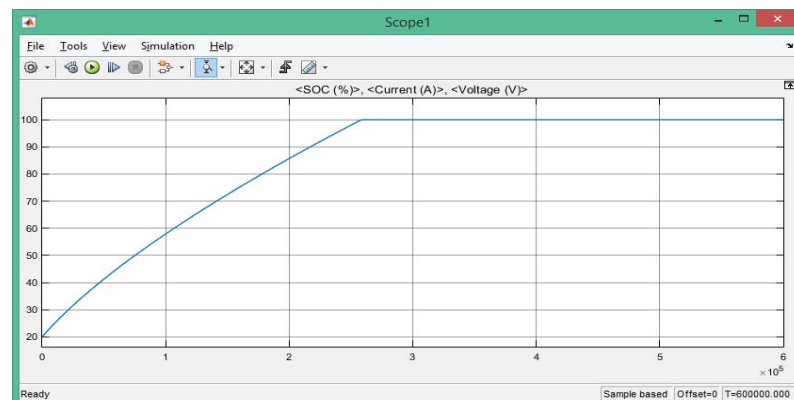


Рисунок 3.9- Моделювання процесу заряду акумулятора

Результати моделювання процесу заряджання акумулятора показали, що зарядний струм стабілізувався на рівні близько 20 А при напрузі 14 В. Час повного заряду акумулятора ємністю 100 А·год склав приблизно 6,9 години, що узгоджується з паспортними даними. Проте, якщо не передбачити зупинку процесу заряджання, напруга на акумуляторі продовжуватиме зростати, що може призвести до його пошкодження або навіть виходу з ладу.

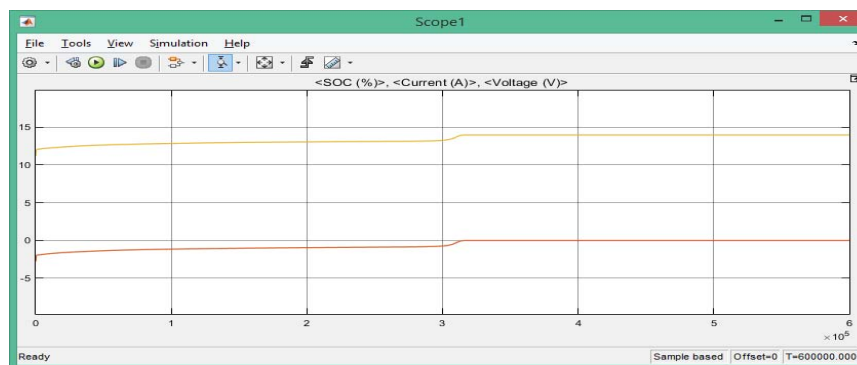


Рисунок 3.10 – Моделювання для струму та напруги заряду АКБ

Графік розряду на рисунку 3.11 демонструє стабільну роботу акумулятора навіть при значних струмах розряду, які не перевищують допустимі значення, зазначені виробником. Цей графік показує, що акумулятор здатний забезпечувати постійну потужність аж до 90%розрядження.

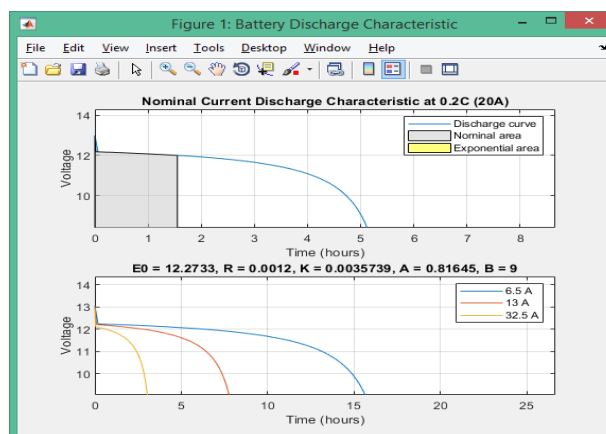


Рисунок 3.11 –Характеристика розряду при струмі розряду 20 А

Для ефективної роботи сонячної електростанції необхідний пристрій балансування акумуляторної батареї. Нижче ми детально розглянемо

принцип роботи та конструкцію моделі такого пристрою, створеної в середовищі Matlab Simulink. Зокрема, буде проаналізовано схему з комутованим конденсатором.

Для кращого розуміння процесів заряджання та розряджання акумулятора, на рисунку 3.12 представлений відповідний алгоритм. У схемі використовуються такі позначення: U_{ab} – напруга акумулятора, U – різниця напруг між акумуляторами, SOC – стан заряду.

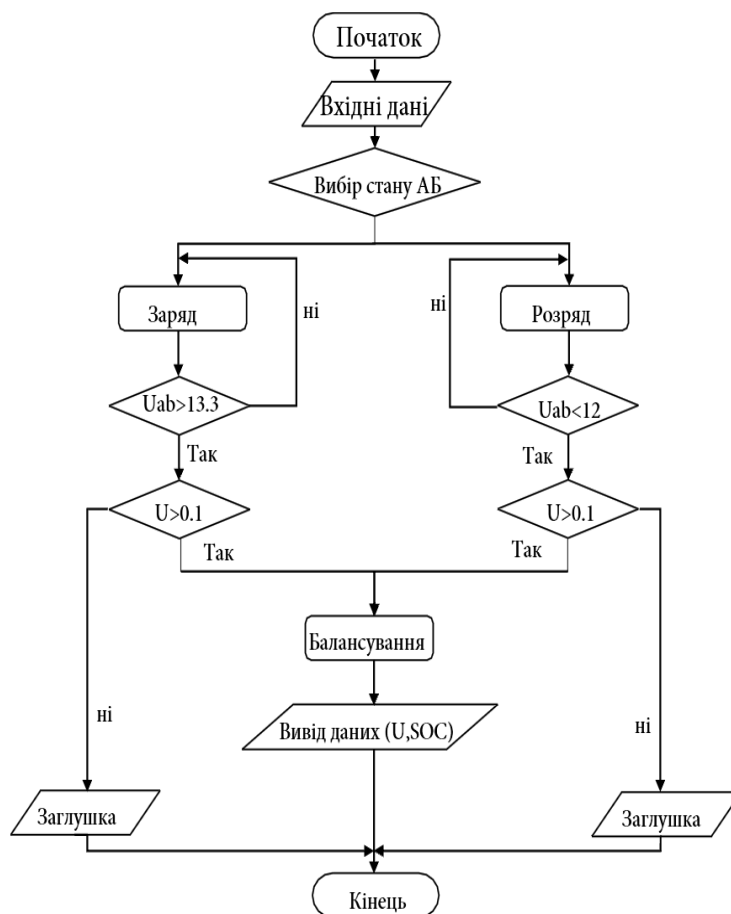


Рисунок 3.12 – Алгоритм роботи акумуляторів з балансуванням

Навіть у масовому виробництві акумуляторні батареї, що складаються з послідовно з'єднаних елементів, не можуть мати абсолютно ідентичних характеристик. Незначні відмінності в ємності, внутрішньому опорі, швидкості саморозряду та деградації є неминучими. Більше того, більшість зарядних пристроїв пропонують лише стабільний, але нерегульований зарядний струм, а тривалість заряджання часто визначається користувачем інтуїтивно. Такий підхід може призвести до дисбалансу в акумуляторній

батареї, особливо з урахуванням сучасних тенденцій, коли акумулятори однакового розміру можуть відрізнятися за ємністю в три рази. Глибокий розряд, хоча й дозволяє витягти максимальну енергію, може спричинити структурно та передчасне виходження з ладу елементів, які відповідають меншій ємності, якщо не здійснювати індивідуальний контроль над кожним акумулятором.

Гелеві «акумулятори не потребують частоті і тривалої компенсаційної підзарядки, оскільки це може негативно вплинути на їхній термін служби. Для забезпечення оптимальної роботи акумуляторних батарей, складених з таких елементів, застосовують пристрої балансування.

На рисунку 3.13 представлена схема для конденсаторного пристрою балансування, який включає в себе структурні блоки “переносу заряду”. Кожен такий блок складається з двох комутаційних ключів та конденсатора, який підключається до пари послідовно з’єднаних акумуляторів» [31].

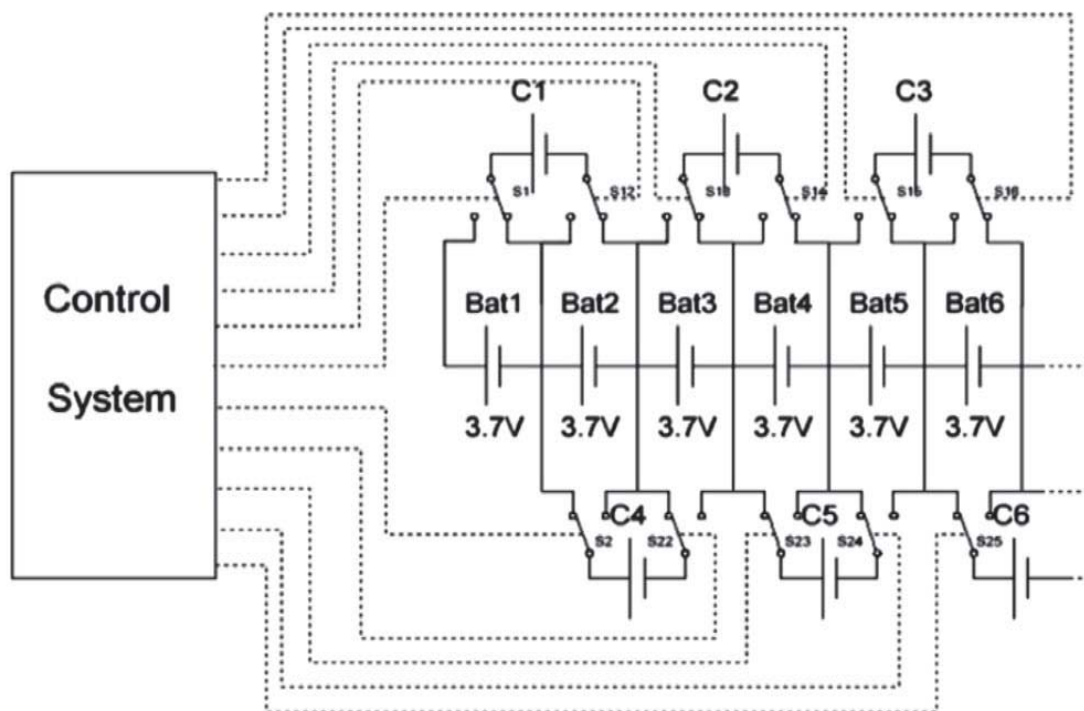


Рисунок 3.13 –Схема для пристрою балансування АКБ

Виконання роботи по балансуванню полягає в періодичному перемиканні конденсатора між акумуляторами з різним рівнем заряду. Це

дозволяє переносити надлишковий заряд від більш заряджених елементів до менш заряджених, вирівнюючи таким чином напругу в батареї. Варто зазначити, що управління процесом перемикання конденсатора є досить простим і може бути реалізовано за допомогою силових ключів. Для великих батарей, де акумулятори з'єднані послідовно, можна використовувати кілька таких блоків балансування, працюючих паралельно.

Однак, «ефективність балансування залежить не тільки від конструкції пристрою, але й від умов експлуатації. Різні температури акумуляторів в батареї можуть призводити до значних відмінностей у їхніх характеристиках. Тому для підвищення ефективності роботи батареї рекомендується використовувати акумулятори з однієї партії та забезпечити оптимальні умови теплообміну.

Розбалансування акумуляторних батарей є однією з основних причин зниження їх ефективності. Коли напруга на окремих елементах опускається нижче допустимого рівня, це свідчить про те, що в батареї залишився невикористаний заряд. Такий стан не лише знижує загальну ємність батареї, але й може призвести до пошкодження окремих елементів. Для усунення цієї проблеми та продовження терміну служби батареї необхідно регулярно проводити процедуру балансування, яка полягає у вирівнюванні рівня заряду всіх елементів» [32].

Для детального аналізу процесів балансування в акумуляторних батареях, будемо використовувати модель, реалізовану в програмному середовищі MATLAB Simulink. Об'єктом дослідження слугуватиме акумуляторна батарея, що складається з шести серійно з'єднаних секцій типу SLA, які широко застосовуються в системах безперебійного живлення. Номінальна напруга кожної секції становить 13.3 В, а номінальна ємність – 100 Ач.

З метою моделювання неідеальних умов експлуатації, встановимо наступні початкові значення рівня заряду секцій: АКБ1 – 90%, АКБ2 – 85%... Таким чином, спостерігається 20% розбалансування між секціями батареї.

Метою моделювання є оцінка ефективності роботи балансувального пристрою з комутованим конденсатором за умов нерівномірного розподілу заряду (рисунок 3.14).

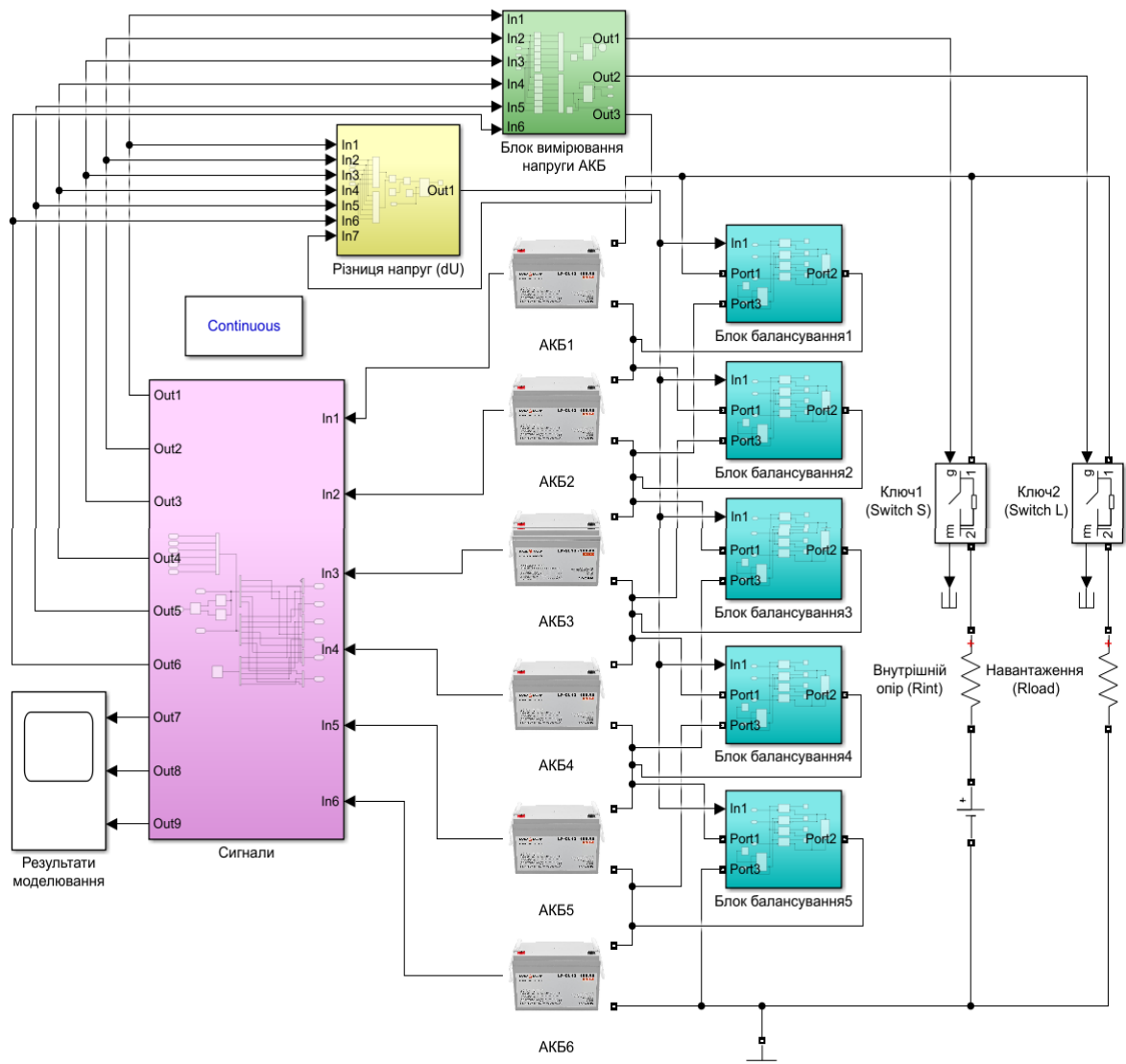


Рисунок 3.14 – Схема математичної моделі пристрою балансування в *Matlab/Simulink*

Процес заряджання акумуляторної батареї (АКБ) відбувається від джерела стабілізованої напруги. Внутрішній опір кожної секції батареї симулюється резистором R_{int} , який підключається при замиканні ключа S. Розрядження АКБ ініціюється підключенням навантаження R_{load} шляхом замикання ключа L. Невикористані виходи елементів схеми підключаються до заземлення (Terminator) для уникнення небажаних ефектів.

Зарядний струм встановлюється на рівні 25 А і триває доти, доки напруга хоча б на одній секції батареї не досягне 13,3 В. Розрядний процес здійснюється струмом 50 А до моменту, коли напруга на будь-якій секції знизиться до 12 В. Після досягнення цієї умови моделювання припиняється.

Для налаштування параметрів моделювання та візуалізації результатів використовується блок Powergui. Цей інструмент дозволяє задати крок інтегрування та інші необхідні параметри симуляції.

Одним із недоліків такого методу балансування є значна тривалість процесу, особливо коли сильно розряджені елементи розташовані на протилежних кінцях батареї. В таких випадках, заряд доводиться “переносити” послідовно через кожен акумулятор, що суттєво знижує ефективність та збільшує час балансування. Тим не менш, компактність такої схеми є її безперечною перевагою. Модулі балансування, що складаються з контролера, ключів та конденсатора, можуть бути розміщені безпосередньо біля кожної пари акумуляторів, що спрощує конструкцію системи. Для розширення системи достатньо додати нові модулі, не змінюючи існуючої структури.

3.3 Реалізація SCADA інтерфейсу сонячної електростанції

Безперечно, Simp Light постає як інноваційне програмне рішення, що майстерно поєднує в собі функціонал для розробки АСУТП, комплексного збору даних та інтуїтивної візуалізації виробничих процесів. Цей потужний інструмент знаходить широке застосування у сфері диспетчерського контролю над різноманітними автоматизованими об'єктами.

Архітектура SCADA-системи SIMP Light вирізняється модульною структурою, що охоплює взаємоінтегровані компоненти: модуль редагування каналів, систему моніторингу, конструктор мнемосхем, координатор проектів та середовище розробки скриптів.

Особливої уваги заслуговує редактор каналів (рисунк 3.15), який забезпечує всебічну взаємодію з OPC-серверами та користувацькими проектами, а також дає змогу налаштовувати загальні параметри SIMP Light.

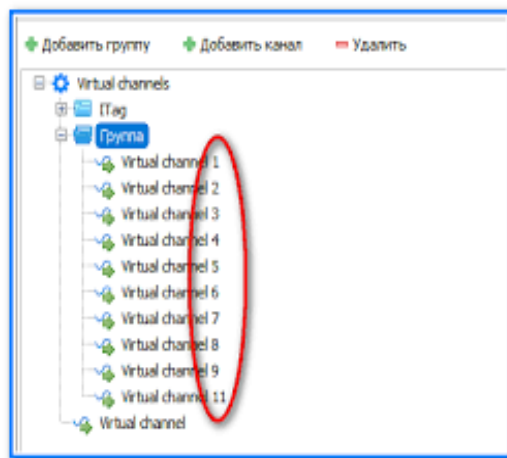


Рисунок 3.15- Редактор каналів SCADA системи SIMP Light

У межах цього модуля користувачі отримують доступ до вичерпного переліку наявних OPC-серверів та пристроїв нижнього рівня, відомих як канали або теги, разом із відповідними приладами та групами каналів. Варто «зазначити, що функціонал включає можливості:

- налаштування відображення серверів і каналів;
- керування каналами на активному сервері;
- регулювання статусу каналу в процесах моніторингу та збору даних.

При цьому слід враховувати, що безкоштовна версія має певні обмеження щодо кількості доступних серверів і каналів.

Ключовим елементом редактора виступає конфігурація паспорту каналу, де визначаються критично важливі параметри:

- граничні значення (верхня та нижня межі);
- специфікація типу зчитуваної змінної;
- конфігурація відображення поточного стану в моніторингу;
- ідентифікаційні дані каналу» [33].

Примітно, що редактор підтримує два різновиди каналів: фізичні (для взаємодії з реальними пристроями нижнього рівня) та віртуальні (для

симуляції технологічних процесів). Значеннями віртуальних каналів можна керувати через спеціалізовані скрипти, які встановлюють алгоритми розрахунку показників каналу.

Функціональність проектної роботи, кщо розглядати з точки зору редактора каналів, то тут реалізовано потужну систему управління проектами, що забезпечує не лише збереження внесених модифікацій у профілі проекту, кк й надає можливість оперативного переключення між функціональними модулями для перегляду та редагування проектної документації.

Системні налаштування Особливу роль відведено конфігуруванню базових параметрів SIMP Light через редактор каналів. Найсуттєвішим аспектом цього розділу є впровадження багаторівневої системи захисту через встановлення паролів, що запобігає несанкціонованому втручанню в роботу ккумулятора комплексу.

Інтегрований монітор SIMP Light виступає ключовим інструментом для динамічного спостереження за станом каналів OPC-сервера.

У головному інтерфейсі монітора постійно відображається актуальний перелік робочих каналів OPC-сервера та їхніх параметрів. Статус активності каналу визначається через редактор каналів та впливає на його включення в процеси моніторингу й збору даних. Важливо зазначити, що в безкоштовній версії існують кількісні обмеження щодо активних каналів.

Центральним елементом функціоналу монітора є система відстеження та сповіщення диспетчера про наближення параметрів каналу до критичних меж. Усі попередження автоматично фіксуються в журналі тривоги, при цьому передбачено можливість квітування (підтвердження отримання) критичних сповіщень оператором.

Система підтримує режим візуального моніторингу через інтерактивні мнемосхеми проекту, де пристрої сервера представлені графічними елементами. Користувачі мають змогу не лише модифікувати параметри

мнемосхеми, й аналізувати тренди каналів через вбудовані графічні інструменти.

Вбудований журнал сповіщень забезпечує безперервну автоматичну реєстрацію часових міток та відстеження критичних станів каналів, формуючи повну картину подій системи. Комплекс включає спеціалізований модуль для поглибленого аналізу даних через графічні представлення.

Гнучке налаштування інтерфейсу Головне меню монітора забезпечує зручну навігацію між різними режимами відображення інформації: мнемосхемою, журналом тривог та модулем візуалізації графіків. Для оптимізації користувацького досвіду в SCADA SIMP Light розроблено три спеціалізовані екрани моніторингу, причому екран трендів проілюстровано на рисунку 3.16.

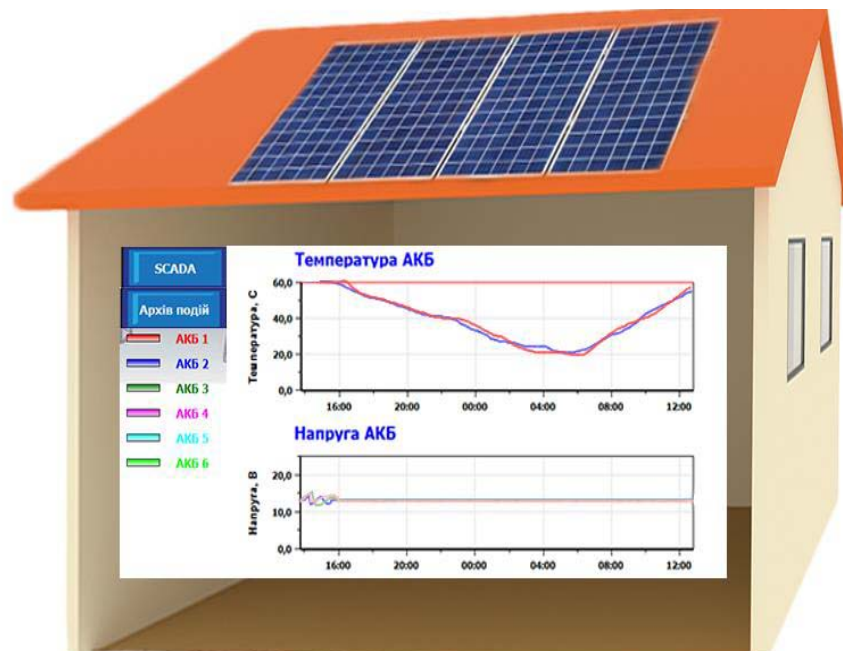


Рисунок 3.16 – Вигляд екрану трендів

На екрані трендів SCADA SIMP Light (рис. 3.16) реалізовано двокомпонентну систему моніторингу ключових параметрів сонячної електростанції: верхній графік демонструє динаміку температури (t) акумуляторних батарей, тоді як нижній відображає коливання напруги (U). Додатково, система включає спеціалізований екран моніторингу подій

(рисунок 3.17), що забезпечує комплексний контроль за функціонуванням сонячної електростанції.

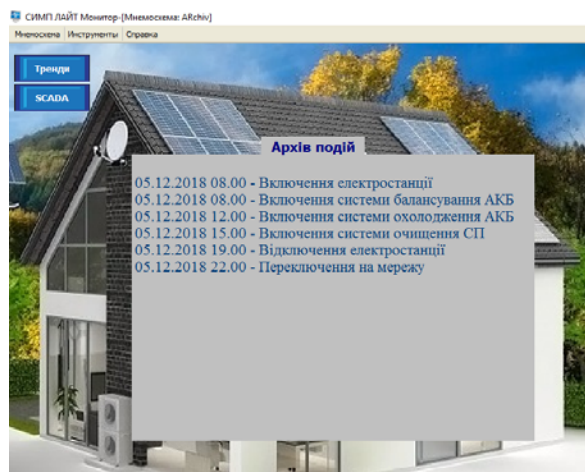


Рисунок 3.17 – Вигляд екрану подій

Вбудований редактор мнемосхем виступає потужним інструментом для розробки та модифікації графічних інтерпретацій підключеного через OPC-сервер обладнання. Архітектура SIMP Light передбачає зберігання кожної мнемосхеми як окремого файлу, що суттєво спрощує процеси створення, редагування та збереження візуальних проектів.

Розширений набір графічних елементів «звідки система пропонує багатий інструментарій для візуального моделювання, що включає:

- магістральні елементи (труби);
- геометричні форми;
- системи індикації;
- графіки трендів;
- інтеграцію зображень;
- часові компоненти;
- елементи керування.

Функціональність тестування Редактор забезпечує два спеціалізовані режими верифікації:

1. Режим установки мнемосхем Призначений для комплексного тестування функціональності мнемосхеми та валідації взаємозв'язків між компонентами.

2. Режим емуляції Забезпечує всебічну перевірку працездатності та коректності налаштувань мнемосхеми через:

- можливість запису фіксованих значень у канали;
- інтегрований генератор значень, що формує пилоподібний сигнал.

Синхронна подача уніфікованого сигналу на всі пов'язані канали. Покрокова (з кроком 1) відображає модифікацію значення від встановленого мінімуму. Автоматична реверсія напрямку зміни відбувається при досягненні граничних значень» [34].

Фінальний куму-машинний інтерфейс, розроблений для системи диспетчеризації малопотужної сонячної електростанції, представлено на рисунку 3.18. Даний інтерфейс інтегрує всі вищезазначені компоненти у єдину систему контролю та управління.



Рисунок 3.18 – Людино-машинний інтерфейс для системи диспетчеризації сонячної електростанції

Інтеграція розробленого людино-машинного інтерфейсу в середовищі SCADA SIMP Light суттєво розширила функціональні можливості малопотужної сонячної електростанції. Комплексна SCADA-система забезпечує багаторівневий моніторинг технологічних процесів, архівування історії експлуатації та превентивне запобігання аварійним ситуаціям.

ВИСНОВКИ

У першому розділі кваліфікаційної роботи, був проведений всебічний аналіз альтернативних джерел енергії, зокрема принципів функціонування вітрових та сонячних електростанцій. Ґрунтовне дослідження наявних технічних рішень дозволило провести синтез для проектування моделі оптимальної архітектури системи автоматичного керування.

Примітно, що запропонована архітектура вирізняється гнучкістю використання згенерованої енергії: реалізовано безпосереднє живлення споживачів постійного струму, забезпечено акумулювання енергії для подальшого використання, впроваджено комбінований режим роботи при пікових навантаженнях через синхронне використання енергії сонячних батарей та акумуляторів. Додатково, система включає перетворення постійного струму в змінний (220В) через спеціалізовані інвертори. Варто підкреслити, що впровадження системи демонструє значні економічні та екологічні переваги через мінімізацію експлуатаційних витрат, відсутність паливної складової та суттєве зменшення шкідливих викидів.

У процесі розробки оптимізованих схем автоматизації, представлених у другому розділі, ключовою інновацією стало впровадження трекінгової системи позиціонування сонячних панелей, що забезпечує перпендикулярне розташування модулів відносно сонячного випромінювання для максимізації генерації електроенергії.

Зважаючи на високу вартість акумуляторних батарей, було розроблено спеціалізовану систему термоконтролю з автоматичним увімкненням вентиляції при досягненні граничних температурних показників, що запобігає перегріву та подовжує термін експлуатації АКБ. Водночас, у четвертому розділі представлено математичну модель системи балансування заряду акумуляторів, реалізовану в середовищі Matlab Simulink. Варто відзначити, що система активує ккумулятор вирівнювання при досягненні

різниці напруг між ккумуляторами 100 мВ шляхом динамічного перерозподілу зарядного струму між елементами.

Результати впровадження свідчать, що розроблена система диспетчеризації малопотужної сонячної електростанції демонструє високу ефективність у забезпеченні комплексного збору технологічних даних, архівування історії експлуатації та превентивного виявлення аварійних ситуацій. Більше того, система успішно вирішує завдання часткового енергозабезпечення об'єкта з одночасною оптимізацією експлуатаційних витрат, що підтверджує її практичну цінність та економічну доцільність впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Малєєв В.О. Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні / В.О. Малєєв, В.М. Безпальченко, Д.С. Макарчук // Актуальні проблеми сучасної енергетики: матеріали II-ої Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. – Херсон : ХНТУ, 2017. – С.74–70.
2. Дробишева В. П. Сучасний стан використання відновлювальних джерел енергії в Україні [Електронний ресурс] / В. П. Дробишева, К. П. Токар, Г. А. Федоренко // Науковий вісник будівництва. - 2014. - № 1. - С. 165-168. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2014_1_44.
3. Будько В. І. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії / В. І. Будько – серія навчально-методичних матеріалів – Київ: ЮНІДО, 2015. – 49 с.
4. Стоян О.Ю. Державне регулювання розвитку сонячної енергетики в Україні: від теорії до практики / О.Ю. Стоян // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія"]. Серія : Державне управління. - 2014. - Т. 239, Вип. 237. - С. 124-130.
5. С.О. Кудря. Електроенергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України / С.О. Кудря, М.П. Кузнєцов, М.П. Тимченко // Матеріали Інституту відновлюваної енергетики НАН України. – Київ, 2022. – с. 26-34.
6. С.М. Шукаєв. Сучасні тренди та актуальні питання у галузі відновлюваної енергетики / С.М. Шукаєв, О.К. Сулема // Збірник матеріалів ІВЕ НАН України. – Київ, 2023. – с. 51-56
7. Н.М. Мхітарян. Розвиток комбінованих систем енергетики в умовах децентралізації / Н.М. Мхітарян, О.В. Лисенко // Журнал «Відновлювана енергетика». – 2021. – с. 62-69.

8. Ю.В. Ташеєв. Роль відновлюваних джерел енергії в енергетичній трансформації / Ю.В. Ташеєв // Журнал «Енергетична політика». – 2022. – с. 46-50
9. О.М. Бітюков. Відновлювана енергетика в Україні: виклики та перспективи / О.М. Бітюков // Науковий вісник енергетики. – Київ, 2022. – с. 112-119.
10. В.А. Жовтянський. Вітроенергетика: сучасний стан і перспективи розвитку / В.А. Жовтянський, Г.В. Жук // Інститут газу НАН України. – Київ, 2021. – с. 39-44.
11. Ю.П. Морозов. Використання геотермальних ресурсів у системах відновлюваної енергетики / Ю.П. Морозов, О.В. Лисенко // Поліський національний університет. – Житомир, 2021. – с. 58-63.
12. Б.С. Стогній. Біоенергетика: технології і екологія / Б.С. Стогній, С.М. Кухарець // Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2020. – с. 85-91.
13. Відновлювана енергетика. Енциклопедичний довідник / Упорядник – О.І. Мірошник // Вікіпедія. – 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: uk.wikipedia.org
14. Global Renewables Status Report, 2023 / Міжнародна енергетична агенція // Офіційний сайт ІЕА. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: iea.org.
15. До 2020 року в Україні 11% енергії вироблятиметься з відновлюваних джерел [Електронний ресурс]. EcoTown. Режим доступа: URL: <http://ecotown.com.ua/news/Do-2020-roku-v-Ukrayini-11-enerhiyi-vyroblyaty-metsya-z-vidnovlyuvanykh-dzherel/>. – 09.10.2014 р.
16. Возняк О. Т. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні / О. Т. Возняк, М. Є. Янів // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Теорія і практика буд-ва. - 2010. - N 664. - С. 7-10.

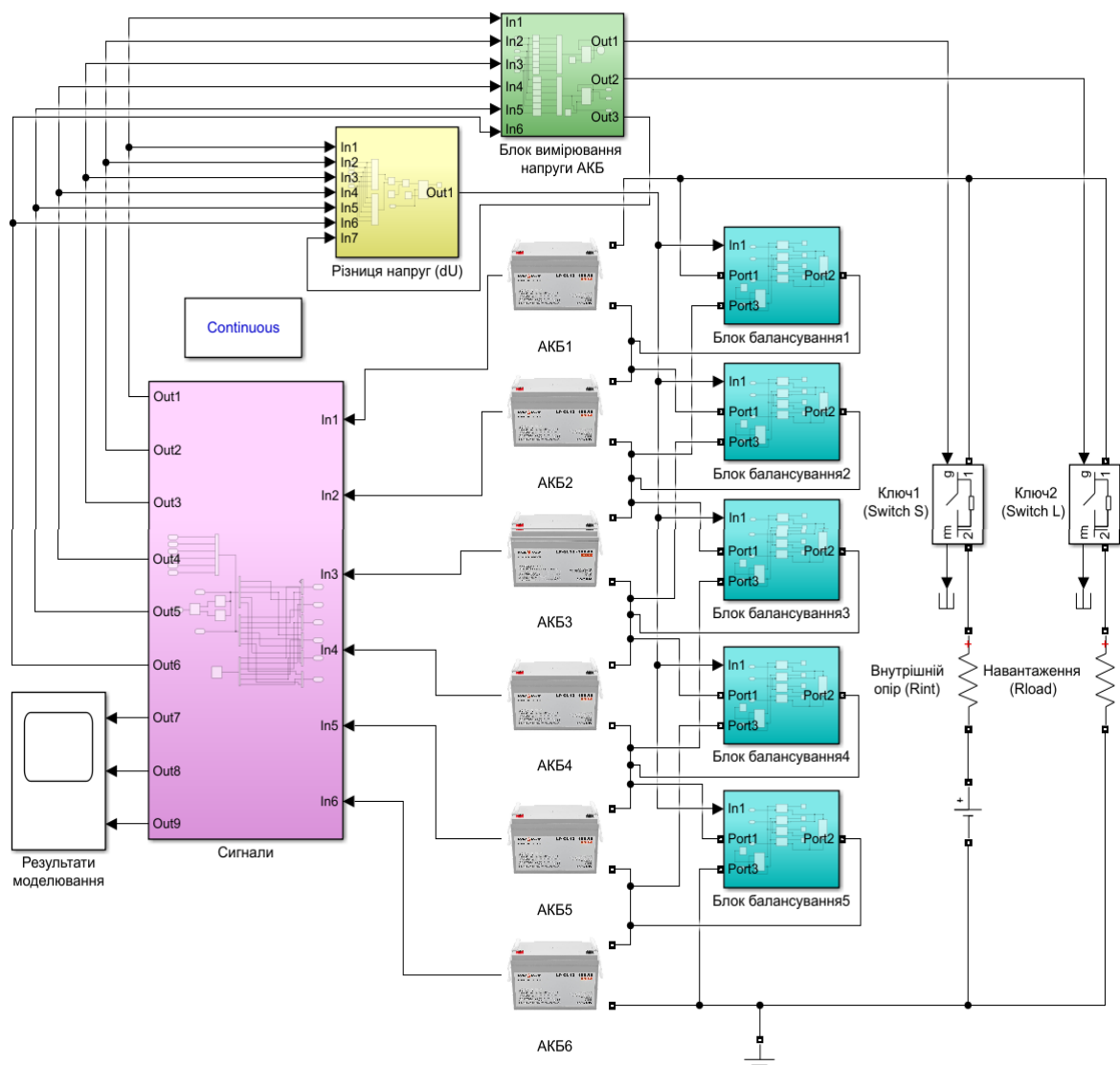
17. Кудря С.О. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії України / С.О. Кудря, Л.В. Яценко, Г.П. Душина, Л.Я. Шинкаренко та ін // – К., 2001. – 41 с.
18. Жуков О. А. Математичні моделі та пристрої для автоматичного керування вітровим електротехнічним комплексом з вертикальною віссю обертання: автореф. дис. ... на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» / О. А. Жуков – Вінниця, 2011. – 17 с.
19. Козирський В. В. Обґрунтування принципів адаптивного регулювання навантаження сільськогосподарських автономних вітроелектричних установок / В. В. Козирський, М. І. Трегуб, А. В. Петренко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів та природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К., 2013. – Вип. 166, ч.3. – с. 22 – 31.
20. Кувшинов В. В. Підвищення потужності серійних сонячних установок при комбінованому виробленні теплової і електричної енергії: автореф. дис. ... на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.08 «Перетворювання відновлюваних видів енергії» / В. В. Кувшинов. – Київ, 2012. – 19 с.
21. Кузьо І. В. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності / І. В. Кузьо, В. М. Корендій // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка»: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – № 679. – Львів: Вид-во Націон. ун-ту «Львівська політехніка», 2010. – С. 61–68.
22. Легошин Д. В. Енергетична ефективність автономної вітроелектроустановки зі стабілізацією частоти обертання ротора за умов косого обдування: автореф. дис. ... на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.08 «Перетворювання відновлюваних видів енергії» / Д. В. Легошин. – Київ, 2012. – 19 с.

23. Головка Д.Б. Автоматика і автоматизація технологічних процесів: Підручник для інженерів та студентів вузів [Текст] / Д.Б. Головка, К.Г. Рего, Ю.О. Скрипник. – К.: Либідь, 1997. – 232 с.
24. Сонячна енергетика [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: https://pidruchniki.com/1579122737970/ekologiya/sonyachna_energetika – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.
25. Енергозбереження в Україні [Електронний ресурс]: Монографія / Д. В. Зеркалов. – Електрон. дані – Режим доступу до ресурсу: <http://zerkalov.org/files/ezu-mz.pdf#4> – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.
26. Особливості гелевих акумуляторів [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <https://kgrant.ru/uk/how-to-fill-the-gel-battery-how-to-properly-charge-the-gel-battery/> – Загол. з титул екрану. – Мова: рос.
27. Типи сонячних електростанцій [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <http://nek-npo.ru/novaya-energetika/solnechnaya-energetika/typy-solnechnyh-elektrostantsii> – Загол. з титул екрану. – Мова: рос. – Перевірено: 14.12.2015.
28. Автоматика і автоматизація технологічних процесів: підручник / Т. Б. Головка, К. Г. Рего, Ю. О. Скрипник. – К. : Либідь, 1997. – 232 с.
29. Виконання електричних схем по ЕСКД: довідник / С. Т. Усатенко, Т. К. Каченюк, М. В. Терехова. – М. : Видавництво стандартів, 1989. – 325 с.
30. Клименко Б.В. Комутаційна апаратура, апаратура керування, запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. – Харків: Талант, 2008. – 208 с.
31. Принципи роботи хімічних джерел струму [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <https://ukrbukva.net/page,6,122328-Principy-raboty-himicheskikh-istochnikov-toka.html> – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.

32. Develop battery management systems with Simulink [Electronic resource]: Available at: <https://www.mathworks.com/discovery/battery-management-system.html> (дата звернення 11.03.2018). Мова: англ.
33. Series and Parallel Battery Configurations [Electronic resource]: Available at: https://batteryuniversity.com/learn/article/serial_and_parallel_battery_configurations (accessed 26 May 2018). Мова: англ.
34. Морозько О.А. Matlab simulation and user satisfaction assessment of PHEV. / О.А.Морозько, Ю.Н.Петренко. [Електронний ресурс]. – 2015 – Режим доступу до ресурсу: <https://rep.bntu.by/handle/data/12043>. – 6. с.

ДОДАТОК А

СХЕМА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ БАЛАНСУВАННЯ В MATLAB/SIMULINK



Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"
спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ” 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ГРИЦІВ Антон Сергійович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Комп'ютерно-інтегрована система енергозабезпечення на основі
відновлюваних джерел енергії/ Computer-Integrated Energy Supply System Based
on Renewable Energy Sources

керівник роботи к.т.н., Гуменний П.В.

затверджені наказом по університету від "12" грудня 2023 р. №753.

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи

15 листопада 2024р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Види систем відновлюваних джерел енергії

1.1. Вітрові системи відновлюваної електричної енергії

1.2. Сонячні системи отримання електричної енергії

2. Технічні засоби управління контролю параметрів відновлюваної енергетики

2.1 Пристрої управління сонячною електростанцією

2.2. Контролер системи сонячної електростанції

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз видів систем відновлюваної енергетики

2. Характеристика вітрових електростанцій

3. Принципи автоматизованої системи керування електричною сонячною станцією

4. Розробка моделі системи управління електричним електричною сонячною станцією

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Схема пристрою балансування акумуляторних батарей

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
2	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
3	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 12 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	АНАЛІЗ СИСТЕМ ВИРОБЛЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ	12.2023р. – 02.2024р.	
2	ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ВІДНОВЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	03.2024р. – 06.2024р.	
3	РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ	07.2024р. – 11.2024р.	

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Гриців А.С.

к.т.н., Гуменний П.В.

АНОТАЦІЯ

Гриців А. С. Комп'ютерно-інтегрована система енергозабезпечення на основі відновлюваних джерел енергії . – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Західноукраїнський національний університет. Тернопіль, 2024.

У роботі розкрито засоби відновлюваних джерел енергії; особливості функціонування вітрових систем відновлюваної електричної енергії; фотоелектричних систем для генерації електроенергії; досліджено пристрої управління сонячною електростанцією; досліджено івертори та групи акумуляторів для сонячної електростанції; наведено приклади використовуваних автоматів безпеки сонячної електростанції; реалізовано моделі ключових елементів системи відновлюваної енергетики.

ANOTATION

Hrytsiv A. S. Computer-Integrated Energy Supply System Based on Renewable Energy Sources. – Manuscript.

Research for obtaining the educational degree of "Master" in the specialty 174 "Automation, Computer-Integrated Technologies, and Robotics," educational and professional program "Automation and Computer-Integrated Technologies" – West Ukrainian National University. –Ternopil, 2024.

The study explores renewable energy sources; features of wind systems for renewable electricity generation; photovoltaic systems for electricity generation; examines control devices for solar power plants; investigates inverters and battery groups for solar power plants; provides examples of safety devices used in solar power plants; and implements models of key components of renewable energy systems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ВИРОБЛЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ	12
1.1 Дослідження векторів еволюції альтернативних енергетичних систем.....	12
1.2 Аналіз вітрових систем відновлюваної електричної енергії	18
1.3 Аналіз фотоелектричних систем для генерації електроенергії	24
2. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ВІДНОВЛЮВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	35
2.1 Дослідження пристроїв управління сонячною електростанцією	35
2.2 Дослідження іверторів та групи акумуляторів сонячної електростанції.....	43
2.3 Дослідження автоматів безпеки сонячної електростанції.....	52
3. РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ.....	61
3.1 Розробка Simulink моделі фотоелемента та сонячної панелі.....	61
3.2 Реалізація Simulink моделі акумуляторних блоків сонячної електростанції.....	67
3.3 Реалізація SCADA інтерфейсу сонячної електростанції	76
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83
ДОДАТОК А СХЕМА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ БАЛАНСУВАННЯ В MATLAB/SIMULINK.....	
ДОДАТОК Б. ПУБЛІКАЦІЇ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ –автоматизована система управління

МК – мікроконтролер

АЛБ- арифметико-логічний блок

СЕС- сонячна електростанція

ВЕУ- вітрова електростанція

АКБ- акумуляторні батареї