

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

Рівень вищої освіти – другій (магістерський) рівень

на тему: **«КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ГЕНЕРУВАННЯ З
ВИКОРИСТАННЯМ МАНЕВРЕНИХ СИСТЕМ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ
СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ 16 МВт ТЗОВ «ФАВОРИТ-АГРО» М.
КОРЕЦЬ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ»**

Виконав: студент 6 курсу групи Ен-61
Спеціальності 141 „Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва)

Кубай Віталій Андрійович
(Прізвище та ініціали)

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

Рецензенти: _____
(Прізвище та ініціали)

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2023

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
" ____ " _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на дипломну роботу студенту
Кубаю Віталію Андрійовичу

1. Тема роботи: «Керування режимами генерування з використанням маневрених систем для балансування сонячної електростанції 16 МВт ТзОВ «Фаворит-Агро» м. Корець Рівненської області».

Керівник роботи: Коробка Сергій Васильович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від **11.09.2019 року № 367/К-С**

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 30.11.2023 року.

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

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Актуальність теми, мета і завдання дослідження.

4.2. Теоретичні передумови розробки моделі системи балансування для сонячної електростанції 16 МВт.

4.3. Обґрунтування параметрів та режимів роботи дослідного зразка мікросонячної електростанції 16 МВт.

4.4. Охорона праці та довкілля.

4.5. Економічна ефективність застосування системи балансування сонячної електростанції.

Список використаної літератури

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

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	Коробка С. В. к.т.н., доцент, доцент кафедри енергетики			
4	Городецький І. М. к.т.н., доцент, доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 04.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Актуальність теми, мета і завдання дослідження	4.09.2023 – 21.09.2023	
2	Теоретичні передумови розробки моделі системи балансування для сонячної електростанції 16 МВт	22.09.2023 – 29.09.2023	
3	Обґрунтування параметрів та режимів роботи дослідного зразка мікросонячної електростанції 16 МВт	02.10.2023 – 13.10.2023	
4	Охорона праці та довкілля	16.10.2023 – 23.10.2023	
5	Економічна ефективність застосування системи балансування сонячної електростанції	24.10.2023 – 02.11.2023	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	03.11.23 – 13.11.2023	
7	Завершення роботи в цілому	14.11.23 – 30.11.2023	

Студент _____ Кубай В. А.
(підпис)

Керівник роботи _____ Коробка С. В.
(підпис)

Кваліфікаційна робота на тему «Керування режимами генерування з використанням маневрених систем для балансування сонячної електростанції 16 МВт ТЗОВ «Фаворит-Агро» м. Корець Рівненської області» Кафедра енергетики, м. Дубляни, Львівський НУП, 2024, текст доповідної частини, складається із 42 с., 5 розділів, 21 рисунків, 3 табл., використано 21 літер. джерел, до доповіді підготовлена одна презентація із 15 слайдів.

Проаналізовано існуючі системи маневреного балансування і виявлено недоліки та способи їх усунення. Розроблено математичну модель системи балансування для сонячної електростанції. Досліджено систему балансування для сонячної електростанції 16 МВт під час навантаження в залежності від фізичних параметрів навколишнього середовища.

У першому розділі проведено аналіз навчальної літератури, існуючих систем альтернативного електрозабезпечення об'єктів, охарактеризовано предмет і об'єкт дослідження.

У другому розділі проаналізовано існуючих систем балансування для сонячної електростанції 16 МВт, спроектовано автономну сонячну енергетичну систему, показано концепцію аналізу роботи автономної системи електропостачання.

У третьому розділі обґрунтовано розроблений варіант структури схеми балансування для сонячної електростанції 16 МВт та показано результати натурних випробувань запропонованої дослідної моделі.

У четвертому розділі проведено огляд охорони праці та захисту навколишнього середовища під час експлуатації сонячної електростанції.

У п'ятому розділі було проведено оцінку економічної ефективності застосування системи балансування для сонячної електростанції 16 МВт.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1 Характеристика предмету і об'єкта дослідження.....	7
1.2 Аналіз існуючих систем альтернативного електрозабезпечення об'єктів.....	10
1.3 Мета і завдання дослідження.....	12
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ СИСТЕМИ БАЛАНСУВАННЯ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ 16 МВт.....	13
2.1 Аналіз існуючих систем балансування для сонячної електростанції 16 МВт.....	13
2.2 Проєктування автономної сонячної енергетичної системи.....	16
2.3 Концепція аналізу роботи автономної системи електропостачання.....	18
РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКУ МІКРОСОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ 16 МВт.....	20
3.1 Обґрунтування розробленого варіанту структури схеми балансування для сонячної електростанції 16 МВт.....	20
3.1.1 Розробка дослідного зразку мікросонячної електростанції 16 МВт.....	20
3.1.2 Дослідження запропонованої дослідної моделі мікросонячної електростанції 16 МВт.....	22
3.2 Результати натурних випробувань запропонованої дослідної моделі сонячної електростанції 16 МВт.....	29
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	34
4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля.....	34
4.2 Протипожежна безпека та грозозахист.....	35
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ БАЛАНСУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	37
5.1 Обґрунтування економічної ефективності системи балансування для сонячної електростанції.....	37
ВИСНОВКИ.....	39
ПОСИЛАННЯ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40

ВСТУП

В Україні присутній дефіцит енергоносіїв, тому країна змушена імпортувати близько 60-65%. За даними державної служби статистики тільки підприємства України споживають близько 32% енергії. Але вони мають 35-відсотковий потенціал підвищення енергоефективності. Це означає, що підприємства можуть споживати близько 20,8% енергії країни, якщо поміняють старе обладнання на нове, та почнуть перейматись енергозбереженням.

Використання відновлювальних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України. Це дозволить зменшити імпорт енергоносіїв, зменшити забруднення навколишнього середовища. В Україні розроблено проєкт Національного плану дій з розвитку відновлюваної енергетики, який передбачає збільшення частки енергії з відновлюваних джерел енергії в 3 рази – з 9% в 2020 до 27% в 2030 році. Зокрема у секторах електроенергетики в 2 рази – з 14% до 25%; опалення та охолодження в 4 рази – з 9% до 35%; транспортний сектор в 5 разів – з 3% до 14%.

Для реалізації проєкту Національного плану потрібне залучення інвестицій у розмірі 20 млрд. євро, а саме:

- в галузі електроенергетики – понад 8,4 млрд євро;
- в галузі теплоенергетики та установки виробництва біометану – 11,5 млрд. євро;
- в установки з виробництва біодизелю та біоетанолу – 0,3 млрд. євро.

На сьогодні виробництво електроенергії за допомогою відновлюваних джерел енергії є досить актуальним. Найперспективнішим напрямом є сонячна енергетика. В Україні потенціал сонячного випромінювання становить до 1250 кВт·год/м², що досить високий, аналогічний до досвіду країн ЄС, яка є одним із світових лідерів в області сонячної енергетики, однак слід зазначити, що найефективніше використання сонячних установок є можливим протягом п'яти, семи місяців в залежності від розташування самої СЕС.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Характеристика предмету і об'єкта дослідження

Під час забезпечення безперервного живлення господарства на сьогодні існують наступні схеми маневреного балансування, а саме:

Автономна система постійного та змінного струму – це система з підключенням інвертора. Основною перевагою є те, що вона може забезпечувати живлення споживача, коли сонячна електростанція не працює (сонячне світло відсутнє) за рахунок акумуляторних батарей, які заряджаються як від станції, так і від додаткового джерела живлення.

Гібридна автономна система – система з двома і більше джерелами живлення. Тобто, може бути підключеним дизель-генератор. На рис. 1 зображена структурна схема маневреного балансування.



Рисунок 1.1 – Структурна схема маневреного балансування

Основними елементами сонячної електростанції є фотоелектрична панель, інвертор, контролер, накопичувач енергії (акумуляторні батареї), система моніторингу.

Фотоелектрична панель, або сонячна панель є найважливішим компонентом сонячної електростанції. Вона складається з окремих фотоелектричних елементів. Це пристрій, який використовується для перетворення сонячних фотонів в електричну енергію.

Зазвичай, напівпровідниковим матеріалом, який використовується в фотоелектричних панелях є кремній. Типова потужність становить 0,5, 0,6 А, це еквівалентно приблизно 3 кВт. Декілька фотоелектричних комірок з'єднані послідовно або паралельно, які утворюють модуль. Певна кількість модулів утворює сонячну панель. В залежності, яку потужність нам необхідно отримати, монтується ряд панелей.

На виході сонячної панелі ми отримуємо постійний струм. Як ми знаємо, більшість електричних приладів живляться змінним струмом. Для цього ми використовуємо інвертор, який перетворює постійний струм в змінний.

Для великих сонячних електростанцій, інвертор підключається за допомогою спеціальних захисних пристроїв. Трансформатор також підключений до інвертора для того, щоб забезпечити вихідну напругу та частоту відповідно до стандарту джерела живлення.

Для накопичення виробленої електричної енергії переважно використовуються акумуляторні батареї. Вони необхідні для того, щоб забезпечити живлення споживача в похмурі дні, коли немає сонця протягом кількох днів. Для прикладу, батарея ємністю 100 А·год може забезпечити споживача струмом 1 А протягом 100 годин або струмом 100 А протягом 1 години. Ємність батареї – це кількість електроенергії, яку вона може акумулювати.

Для тривалого терміну служби акумуляторної батареї потрібно ніколи не розряджати її повністю. Але, якщо так сталось, що вона повністю розряджена, бажано як найшвидше її зарядити. На ємність батареї впливає температура. При підвищенні температури на 1 градус Цельсія після 25°C ємність зменшується на 0,6 %.

У сонячній електростанції використовуються два типи батареї:

- свинцево-кислотний акумулятор;
- нікель-кадмієвий акумулятор.

Контролер заряду використовується для контролю зарядки і розрядки акумулятора, для запобігання перезаряду батареї, бо він може призвести до корозії та перегріву. У найгіршому випадку це може пошкодити електроліт акумулятора.

Система моніторингу (компонент балансування системи) – це набір компонентів, які використовуються для захисту, керування та розподілом електричної енергії в системі. Ці пристрої гарантують, що система працює правильно, та використовує енергії в потрібному напрямку. Використання систем моніторингу забезпечує максимальну продуктивність та безпеку інших компонентів сонячної електростанції.

Сонячні фотоелектричні панелі підключаються до акумулятора. Вони використовуються для зарядки акумулятора під час сонячного світла. Під час зарядки, струм протікає від панелі до батареї. Проте, коли відсутнє сонячне світло, струм може протікати в протилежному напрямку, що може пошкодити панель. Тому використовують блокуючий діод, який підключають між панеллю та батареєю, щоб уникнути зворотного струму.

Виробництво електричної енергії сонячної фотопанелі залежить від сонячного світла. Це призводить до коливань струму та навантаження. Щоб врегулювати коливання використовуються регулятори напруги, які підтримують їх в певному діапазоні.

Основною метою моєї роботи є обґрунтування ефективності маневрених систем балансування для сонячної електростанції 16 МВт ТзОВ «Фаворит-Агро» м. Корець Рівненської області.

На сьогодні, дуже широко розвивається застосування альтернативних джерел для вироблення різних видів енергії. Одне з них, Сонце – невичерпне джерело енергії.

Сонце виробляє більше ніж достатньо енергії, щоб задовільнити потреби усього світу, і на відміну від викопного палива, закінчиться не скоро. Єдиним

обмеженням сонячної енергії є наша здатність перетворювати її в електричну ефективним і рентабельним способом.

Під час використання сонячної енергії немає викиду парникових газів в навколишнє середовище. А оскільки Сонце дає більше енергії, ніж нам коли-небудь знадобиться, електроенергія від сонячної енергії є дуже важливим джерелом для переходу до виробництва чистої енергії.

Після встановлення сонячних панелей експлуатаційні витрати є досить низькими порівняно з іншими видами виробництва електроенергії. Не потрібно палива, і це означає, що сонячна енергія може виробляти велику кількість електроенергії без невизначеності та витрат на забезпечення постачання палива.

Тому, актуальність цієї роботи є забезпечення незалежного та безперебійного живлення в умовах війни, коли дуже часто в мережі є дефіцит потужності, що дозволить знизити навантаження на енергосистему України та працювати підприємству під час планових або аварійних відключень.

1.2. Аналіз існуючих систем альтернативного електрозабезпечення об'єктів

Під час проектування електропостачання враховують різні режими генерування, такі як розосереджене та розподілене.

Розосереджене – це таке генерування, при якому потрібно побудувати додаткові джерела електроенергії безпосередньо біля споживача. Наприклад: будівництво ТЕЦ на території потужного промислового району. Потужність може бути різною, в залежності від кількості споживання електричної енергії підприємства. Втім слід зауважити, що споживач не відключається від централізованої мережі електропостачання.

Перевагами цього генерування є зменшення втрат електроенергії в електромережах, якість та надійність електропостачання споживачів. Основними недоліками можна вважати об'ємність джерела генерування, висока ціна та забруднення навколишнього середовища, а також витрата на

енергоносії. При втраті централізованого живлення необхідний метод відновлення електропостачання, що збільшує витрати на експлуатацію та монтаж.

Розподілене – це таке генерування, яке передбачає встановлення джерел електроенергії для забезпечення власних потреб, а надлишок, який не споживається, продається в мережу. Переважно це невеликі сонячні електростанції, які монтують на даху власного будинку, вітрогенератори або інші відновлювані джерела енергії.

Перевагами для України розподіленого генерування є енергонезалежність, так як країна імпортує близько 60-65% енергоносіїв. Наявність у підприємств та територіальних громад самостійно виробляти електроенергію зменшить навантаження на енергосистему. Як відомо, близько у 70% електричних мереж вийшов термін експлуатації та потребує оновлення, тому наявність сонячних фотопанелей, вітрогенераторів підвищить надійність їх електропостачання, дасть змогу отримувати прибуток за «зеленим тарифом» та зробить енергонезалежними від держави. Недоліками можуть бути обмеження в ресурсі при зменшенні вітрової активності протягом року, разова ціна та неможливість керування цим поновлюваним джерелом енергії.

Аналізуючи два типи генерування систем ми бачимо, що на даний час розподілене генерування виглядає більш актуальним та дешевшим способом забезпечення електроенергії. Так, як витрати на експлуатацію та монтаж значно менші та можливість заробляти на виробленій власними установками електроенергії. Перспектива відновлюваних джерел енергії є досить велика, тому, що це невичерпне джерело енергії та не шкодить навколишньому середовищу. На мою думку головною метою енергетичної політики України забезпечити себе власною електроенергією і не бути енергозалежною країною.

1.3 Мета і завдання дослідження

У даній кваліфікаційна роботі необхідно змоделювати систему маневреного балансування для сонячної електростанції 16 МВт. Вироблення електроенергії за допомогою сонячної електроустановки залежить від природніх умов і це має вплив на енергосистему України. Тому є необхідність зберігання запасу потужності для компенсації відхилень.

Метою роботи є обґрунтування ефективності маневрених систем балансування для сонячної електростанції 16 МВт ТзОВ «Фаворит-Агро» м. Корець Рівненської області.

Відповідно до поставленої мети необхідно було виконати такі завдання:

1. Проаналізувати існуючі системи маневреного балансування і виявити недоліки та способи їх усунення;
2. Розробити математичну модель системи балансування для сонячної електростанції 16 МВт;
3. Дослідити систему балансування для сонячної електростанції 16 МВт під час навантаження в залежності від фізичних параметрів навколишнього середовища;
4. Оцінити економічну ефективність застосування системи балансування для сонячної електростанції 16 МВт .

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ СИСТЕМИ БАЛАНСУВАННЯ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ 16 МВт

2.1 Аналіз існуючих систем балансування для сонячної електростанції 16 МВт

Аналізуючи системи балансування потрібно дослідити вже існуючі варіанти а саме: система маневреного балансування з мережевим інвертором; система маневреного балансування з мережевим інвертором та акумуляторними батареями; система маневреного балансування з дизельним генератором.

Для правильного вибору системи балансування сонячної електростанції необхідно дослідити існуючі варіанти та провести їх аналіз. Для порівняння ми маємо звичайну систему з мережевим інвертором, систему з інвертором та акумуляторними батареями та систему з дизельним генератором. Необхідно дослідити всі переваги та недоліки.

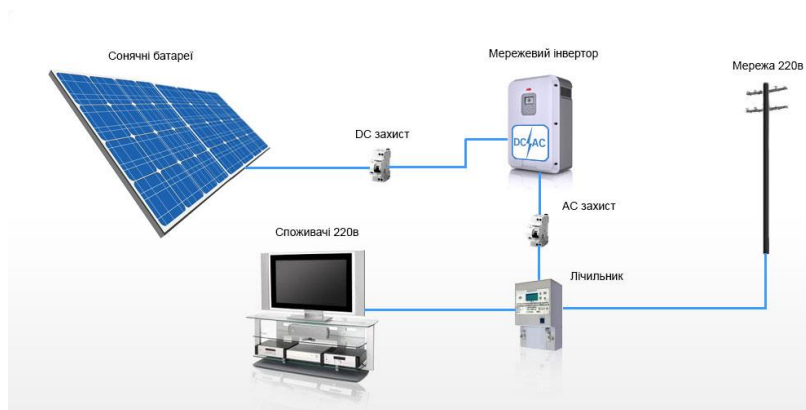


Рисунок 2.1 – Система маневреного балансування з мережевим інвертором

Система сонячної підстанції побудована тільки на мережевому інверторі, який перетворює електричну енергію сонячної панелі в змінний струм з дотриманням фази та частоти. Інвертор дозволяє максимально перетворювати енергію від сонячних модулів завдяки наявності MPPT (відстеження точки максимальної потужності).

Перевагами даної схеми є простота в обслуговуванні, наявність «зеленого тарифу», екологічність, невичерпне джерело енергії, автономність. Недоліками можна назвати неможливість накопичення електроенергії, так як відсутні акумуляторні батареї та досить висока ціна купівлі та монтажу елементів сонячної підстанції.

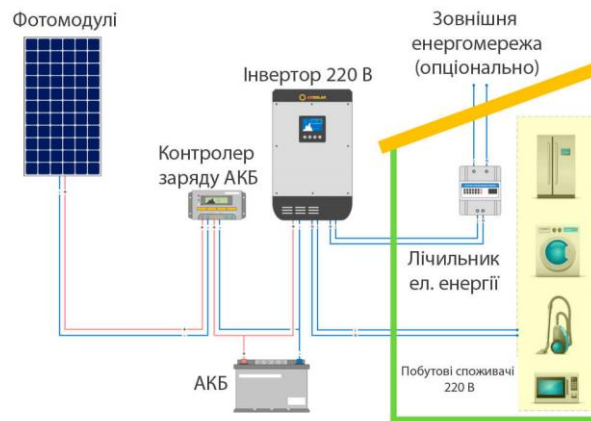


Рисунок 2.2 – Система маневреного балансування з мережевим інвертором та акумуляторними батареями

Ця система досить схожа на рис. 2.1. Відмінність цієї системи полягає в тому, що присутній контролер заряду акумуляторної батареї, та накопичувальні пристрої.

Перевагами цієї схеми є ті ж самі що і в минулій схемі, а також наявність АКБ в системі, електроенергію яких можна використовувати для живлення в нічний час доби або при недостатньому сонці чи відсутності його. Недоліками можна назвати, що система дорожча, та потребує місце для зберігання акумуляторних батарей.

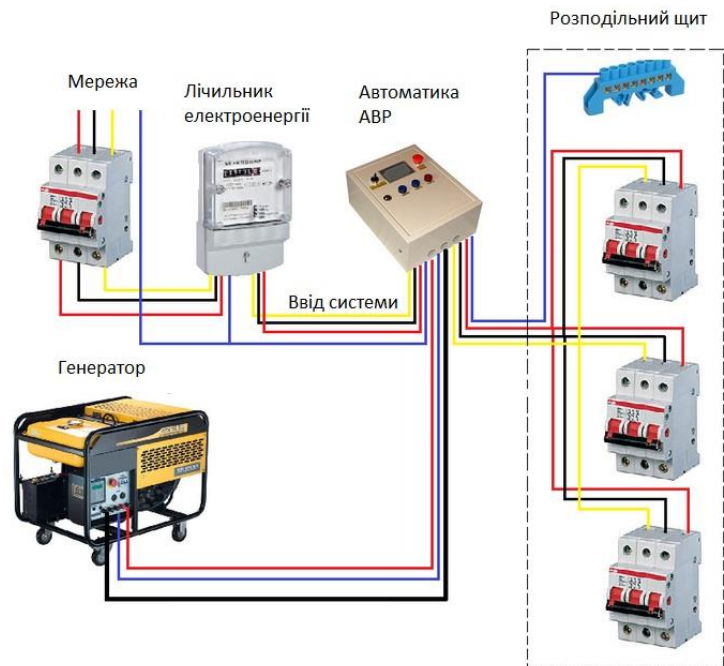


Рисунок 2.3 – Система маневреного балансування з дизельним генератором

Дизельний генератор – досить економний варіант для резервного або аварійного живлення електроенергією приватного будинку або невеликого підприємства, наприклад продуктивний магазин. Щоб він працював надійно потрібно правильно підключити його до мережі. Неправильне підключення може призвести до виходу з ладу електрообладнання або короткого замикання.

При підключенні дизельного генератора через систему АВР, то вона візьме під контроль центральну електромережу. Тобто, при відключенні електроенергії більше ніж на 10 секунд, за рахунок автоматики запуститься резервне електроживлення з самостійним включення генератора. Двигун прогрівається близько 15 секунд і починає жити домашню мережу. Коли відновлюється електроживлення центральної мережі, то автоматика виключить дизельний генератор.

Перевагами цієї схеми є простота в обслуговуванні, широкий діапазон потужності, дешевий монтаж. Недоліками є необхідність вентиляції при роботі в приміщенні, не можна залишати під відкритим небом без захисту від опадів, не економічний при частому та тривалому використанні, забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами, неекономічність при тривалому використанні.

Порівнюючи ці три схеми можна зробити висновки, що система сонячної електростанції з акумуляторними батареями краща тому, що вона більш надійніша за систему без АКБ, та економніша за систему з дизельним генератором.

2.2 Проєктування автономної сонячної енергетичної системи

Під час проєктування автономної сонячної енергетичної системи необхідно дослідити метеорологію місцевості, а саме рівень сонячної радіації.

Відповідно до метеорологічних даних, отриманих від NASA Prediction of Worldwide Energy Resources, середній рівень ізоляції сонячної енергії в 2023 році у м. Корець, Рівненського району, Рівненської області, становить 5 кВт·год/м²/день.

Акумулятор. Використання батареї в автономній системі сонячної електростанції 16 МВт ми розрахуємо за формулою:

$$P_{\phi} = \frac{P_{\text{доба}}}{\eta_{\text{інвертор}} \cdot U_{\text{ном.б.}}}, \text{ де}$$

$P_{\text{доба}}$ – загальна енергія за день, кВт · год;

$\eta_{\text{інвертор}}$ – ККД інвертора;

$U_{\text{ном.б.}}$ – номінальна напруга батареї.

$$C_x = n \cdot P_{\phi} \cdot \frac{1}{K}, \text{ де}$$

n – дні роботи;

K –

Сонячна панель. Щоб розрахувати потребу в енергії сонячних панелей, потрібно наступне рівняння:

$$\text{Ефективність} = 3,25 \text{ год}$$

випромінювання

$$\text{Необхідна панель} = \frac{\text{Загальне щоденне навантаження}}{(\text{Довжина випромінювання, ККД інвертора})}$$

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

$$\begin{aligned}\text{Номінальний струм SCC} &= \text{Загальна енергія панелі} / \\ &\quad \text{Система напруги батареї} \\ &= 605 / 24 \\ &= 25,3\end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}\text{Пікова потужність навантаження} &= 552 \text{ Вт} \\ \text{Система напруги батареї} &= 24 \text{ В} \\ \text{Максимум інвертора постійного струму} &= \text{Пікова потужність навантаження} / \text{Напруга батареї} \cdot \text{ККД} \\ &= 552 / 24 \cdot 0,85 \\ &= 27,8 \text{ А} \\ &= 552 \cdot 1,25 \\ \text{Потужність інвертора після втрат} &= 690 \text{ Вт}\end{aligned}$$

2.3 Концепція аналізу роботи автономної системи електропостачання

Типова автономна система електропостачання складається з таких блоків: контролера, первинного джерела енергії, зберігання енергії, вторинного джерела енергії, системи безпеки, навантаження, аварійне накопичення енергії

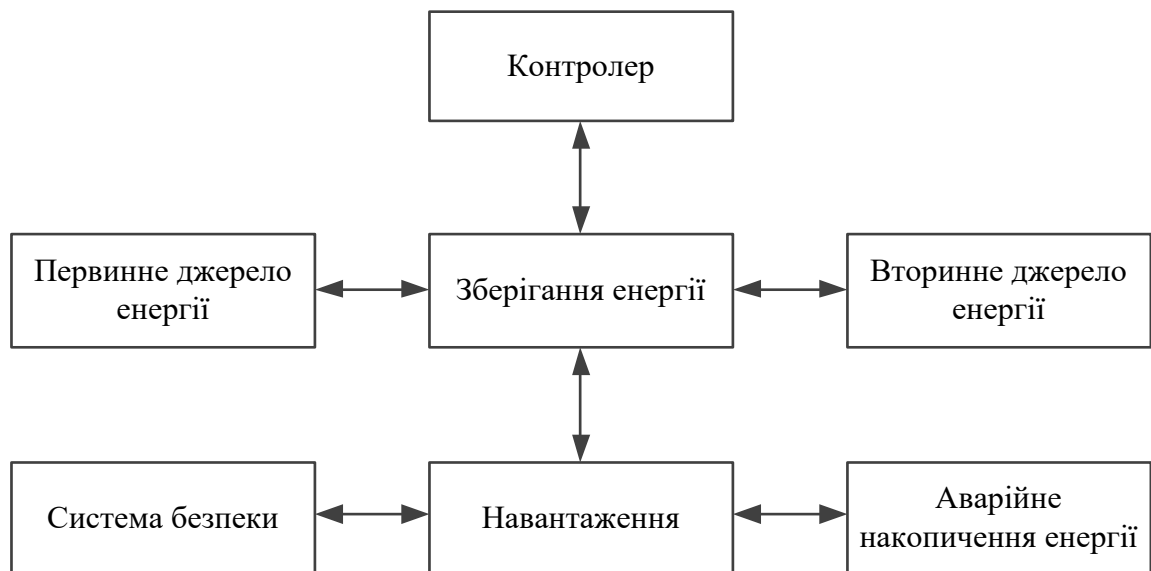


Рисунок 2.4 – Блок-схема автономної системи живлення

Також в схему можуть входити приймачі та захист системи живлення. Ця система є актуальною тому, що витрати на них дуже малі, порівняно з вартістю великих установок. Автономні системи живлення призначені для електропостачання будинків, складів, освітлювальних установок.

Залежно від потреб та розміщення АПС поділяються на 2 типи. Перший тип – острівна автономна енергетична система. Він застосовується в тій місцевості, де немає прокладено ліній електропередач, тобто споживач знаходиться далеко від інших населених пунктів.

Другий тип – міська автономна енергосистема. Ця система повинна бути адаптована під використання сонячних електростанцій і мати можливість підключення до інших автономних систем. Первинне джерело енергії має забезпечувати електроенергією в діапазоні 60 – 80 % від потреб. Вторинне

джерело від 20 до 40 %. Аварійне джерело живлення спрацює тільки в разі нестачі електроенергії і в якості накопичувачів можуть використовуватись АКБ або конденсатори.

Доцільність АФЕ у процесі балансування режимів ЕЕС перевіряють за допомогою прогнозного графіка вироблення електричної енергії її фактичному значенню.

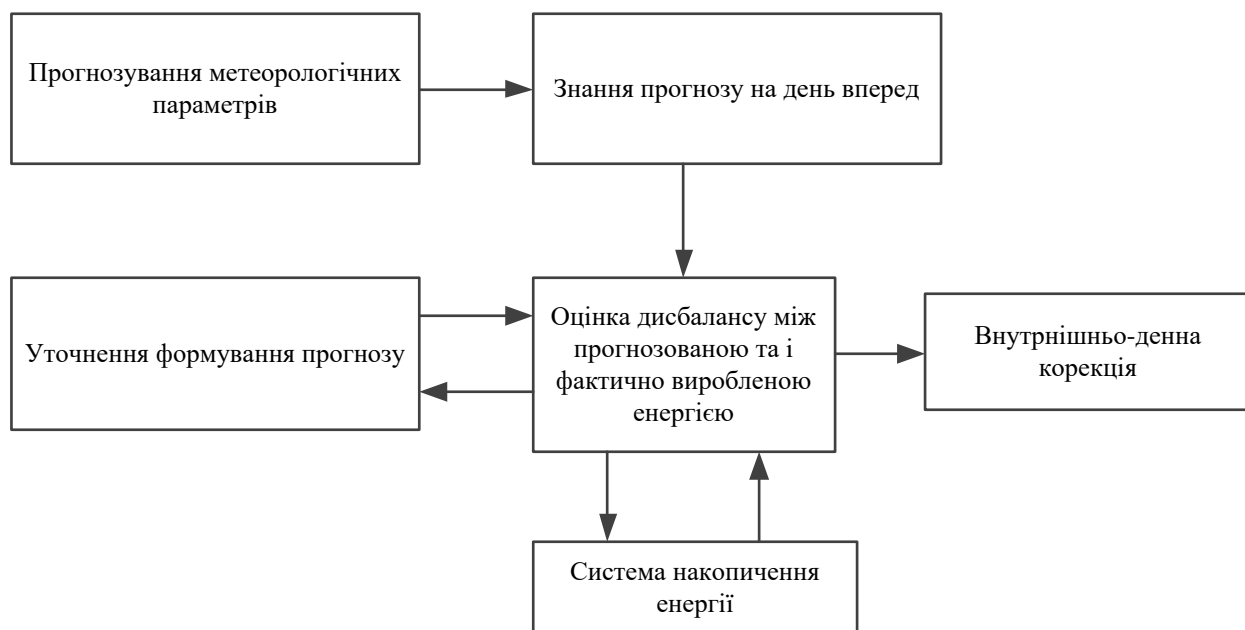


Рисунок 2.5 – Структурна схема зменшення дисбалансу електроенергії в ЕЕС з АФЕ

Отже, під час монтажу сонячної електростанції 16 МВт не достатньо маневреної потужності, щоб компенсувати їх нестабільну генерацію. Для усунення цих недоліків необхідно розробити спеціальні методи та засоби для режимів балансування маневрених систем за участю сонячної електростанції 16 МВт в м. Корець.

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКУ МІКРОСОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ 16 МВт

3.1 Обґрунтування розробленого варіанту структури схеми балансування для сонячної електростанції 16 Мвт

3.1.1 Розробка дослідного зразку мікросонячної електростанції 16 Мвт.

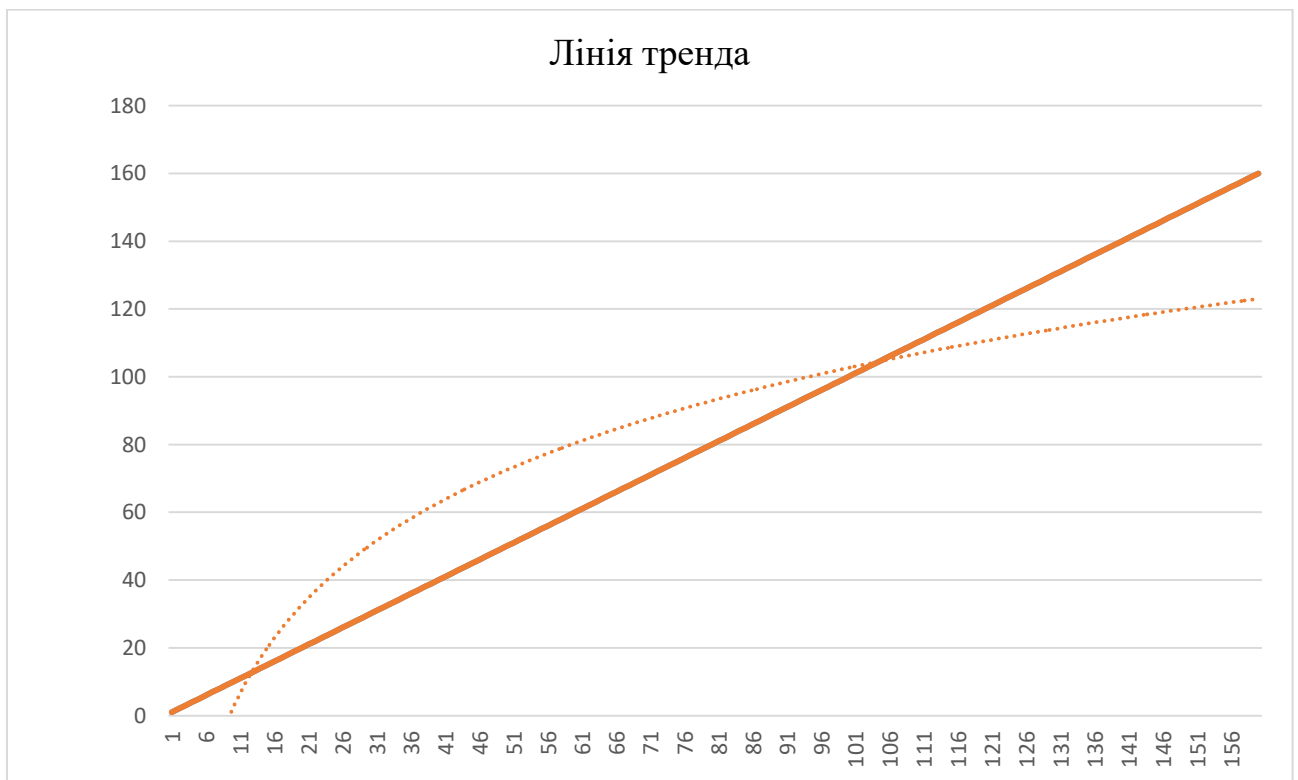


Рисунок 3.1 – Лінія тренда

Система дослідної мікросонячної електростанції складається:

- сонячного фотомодуля C&T Solar CT60275 потужністю 260 – 275 Вт, який буде перетворювати сонячну енергію в електричну;
- контролера заряду сонячної батареї Solar charge controller 12/24 В 30 А, який контролюватиме зарядку і розрядку АКБ і буде запобігати перезарядці, тобто збереже її;

- сонячний мережевий інвертор Huawei SUN2000-23KTL для перетворення постійного струму в змінний, аби подати його в мережу.
- акумуляторна батарея для накопичення електроенергії, щоб можна було використовувати в її в хмарні дні та вночі.

У зв'язку з моїм фінансовим становищем (я – студент) немає коштів для втілення даного проєкту. Тому було розроблено мікросонячну електростанцію з мінімальними витратами.

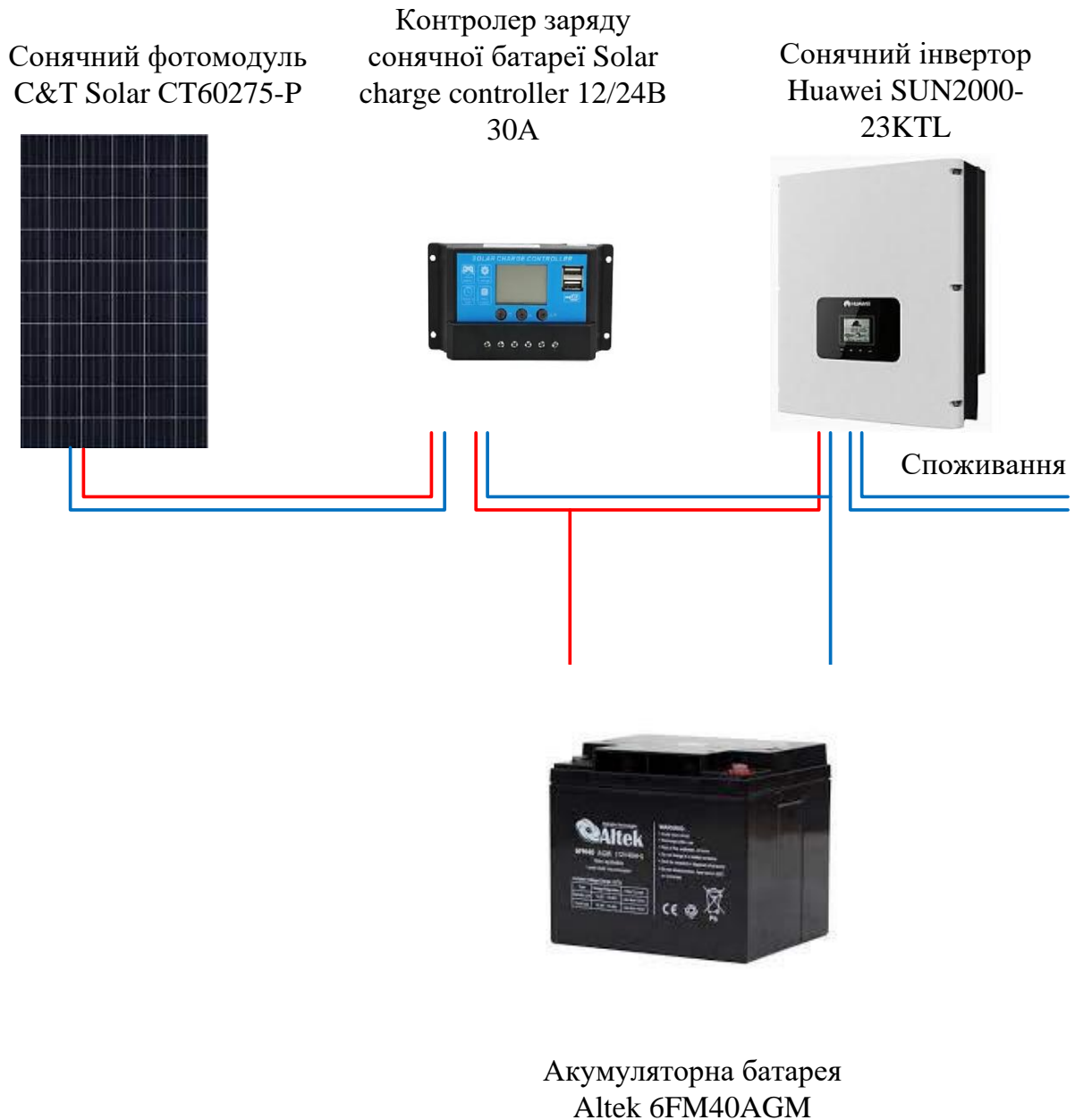


Рисунок 3.2 – Запропонований макет схеми балансування з мінімальними витратами

3.1.2 Дослідження запропонованої дослідної моделі мікросонячної електростанції 16 Мвт

Одним із компонентів, які необхідні для керування сонячною установкою є Arduino Nano. Arduino Nano – це класична мікроконтролерна плата з відкритим кодом на основі процесора ATmega328P. Ця плата характеризується своєю різноманітністю функцій та особливостей. Не має жодного роз'єму постійного струму, тому можна заживити напругою 6 – 20 В за допомогою міні-порту USB. Плата складається з 8 аналогових і 14 цифрових входів/виходів, робоча напруга 7 – 12В, споживна потужність 19 мА. Вага становить всього 7 г. Переваги працювати з цією платою є її простота та надійність.

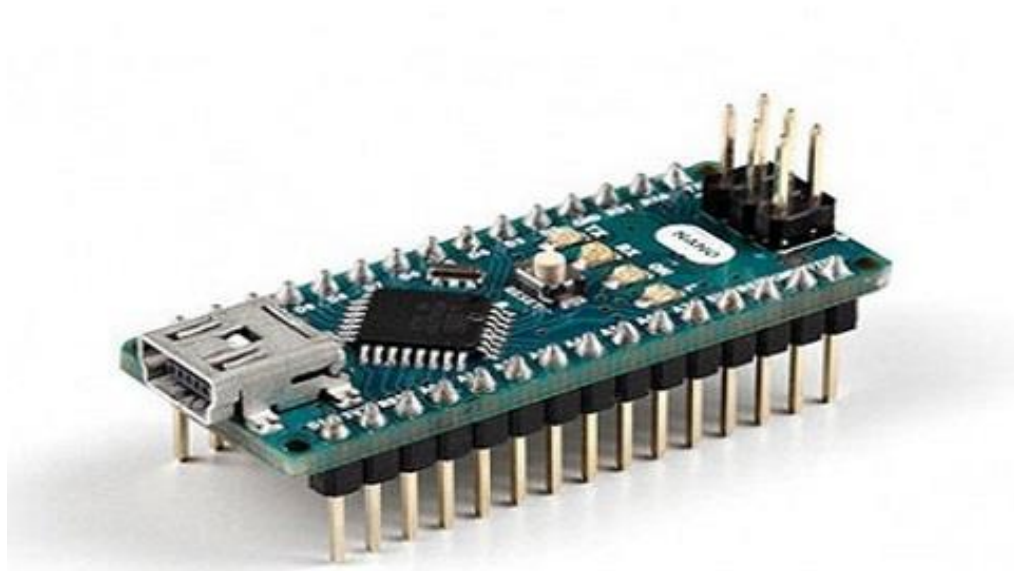


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд контролера Arduino Nano

Зв'язок між платою можна здійснити за допомогою різних джерел живлення, таких як додаткова плата Arduino, комп'ютер. Мікроконтролер, який використовується, забезпечує послідовний зв'язок (UART TTL). Програмне забезпечення Arduino складається з послідовного монітора, за допомогою якого можна легко отримувати текстову інформацію з плати.

Світлодіоди TX і RX на платі Nano будуть блимати щоразу, коли надсилається інформація через з'єднання FTDI та USB до комп'ютера.

Конфігурація наноконтаків Arduino Nano показана на рисунку 2.

V_{in} – це вхідна напруга живлення, використовується тоді, коли зовнішнє джерело живлення становить від 7 до 12 В.

5 В – це регульована напруга живлення нано плати, призначена для живлення плати та її компонентів.

3,3 В – це мінімальна напруга живлення, яка генерується регулятором напруги на платі.

GND – контакт заземлення плати.

Вивід Reset – використовується для скидання мікроконтролера.

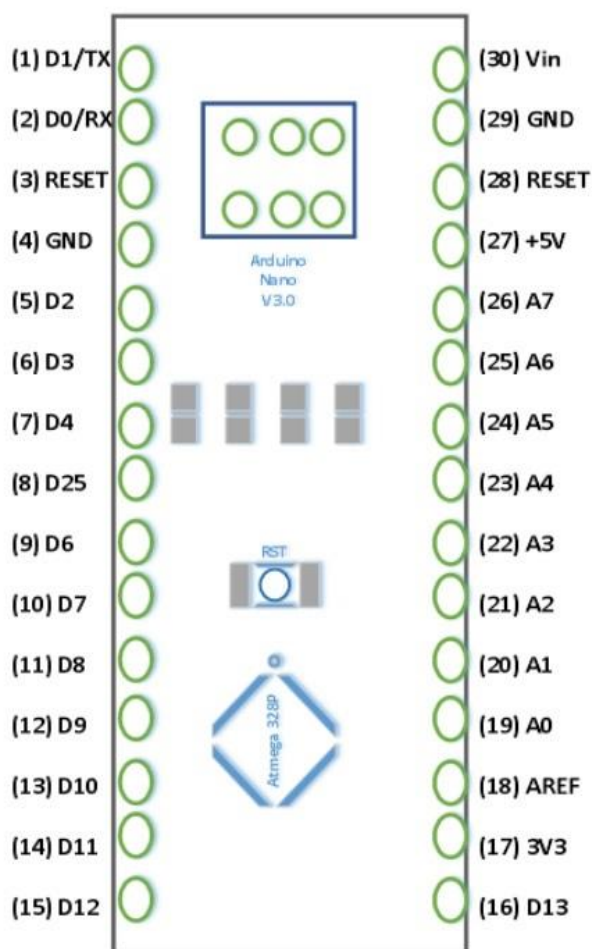


Рисунок 3.4 – Розпіновка Arduino Nano

Аналогові контакти (A0-A7) – використовуються для розрахунку аналогової напруги плати в діапазоні від 0 до 5 В.

Цифрові контакти (D0-D13) – контакти введення і виведення.

Послідовні контакти (TX, RX) – використовуються для передачі та отримання послідовних даних TTL.

Зовнішні переривання (2, 3) – ці контакти використовуються для активації переривання.

ШИМ (3, 5, 6, 9, 11) – ці контакти використовуються для забезпечення 8-бітного виходу ШИМ.

SPI (10, 11, 12, 13) – ці контакти використовуються для підтримки зв'язку SPI.

Вбудований світло діод (13) – цей контакт використовується для активації світлодіода.

ІС (A4, A5) – ці контакти використовуються для підтримки зв'язку TWI.

AREF – використовується для надання опорної напруги вхідній напрузі.

Плати Arduino Nano використовуються для створення проектів автоматизації, систем управління, робототехніки та інші.

Для організації управління сонячною установкою було розроблено схему блоку керування на основі мікроконтролера Arduino Nano ATМega328P (рис. 3.5).

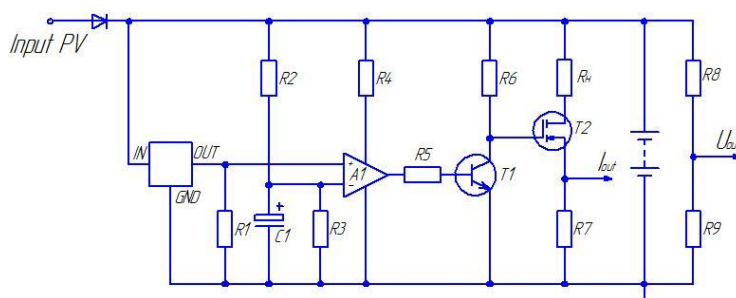


Рисунок 3.5 – Електрична принципова схема управління блоку керування

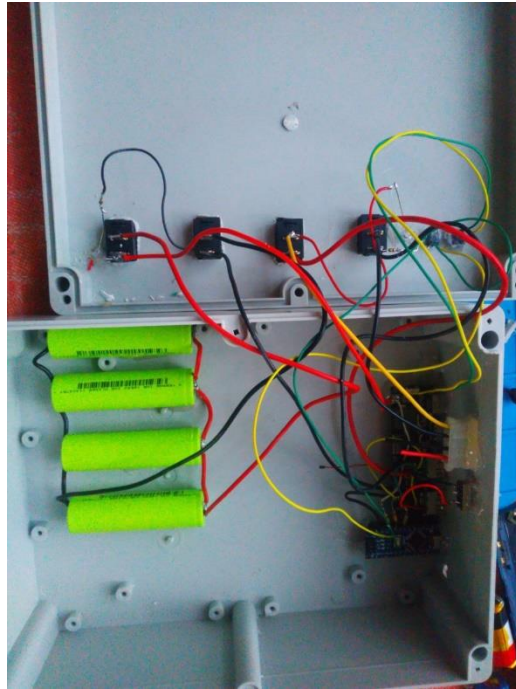


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд блоку керування

Для створення друкованої плати для блоку керування була використана програма Sprint-Layout 6.0 (рис. 3.7).

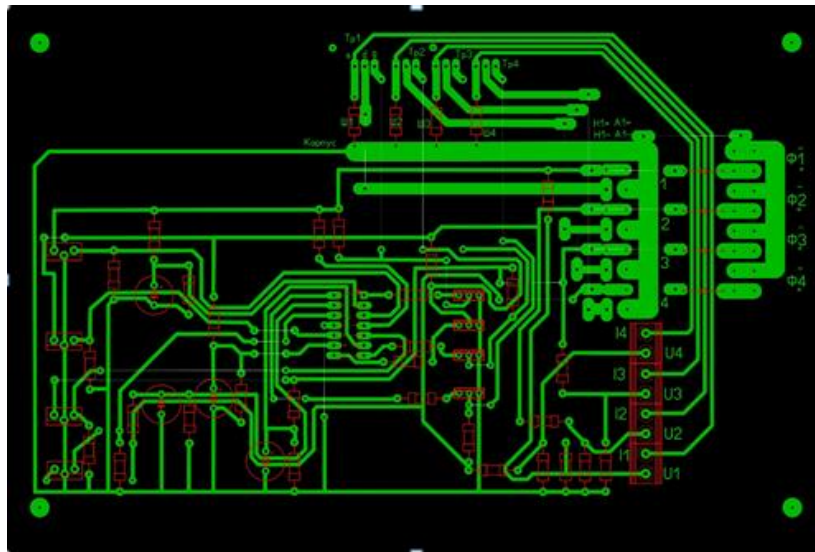


Рисунок 3.7 – Друкована плата блоку керування

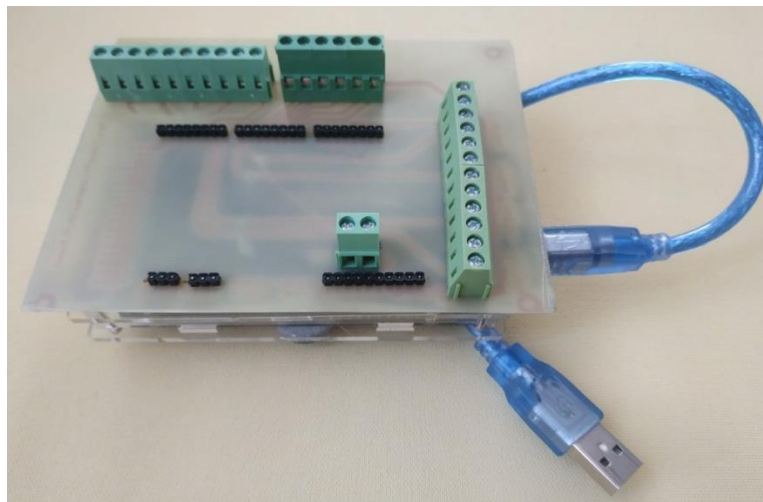


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд плати розширення для мікроконтролера Arduino Nano ATmega328P блоку керування

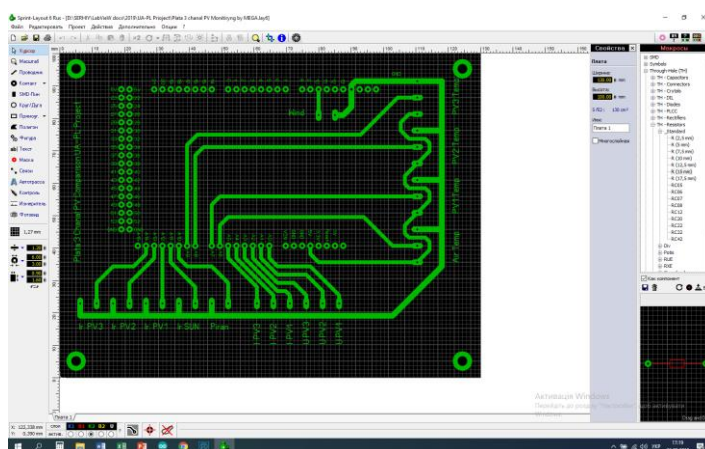


Рисунок 3.9 – Друкована плата провідників плати розширення для мікроконтролера Arduino ATmega328P системи моніторингу блоку керування

Для програмування мікроконтролера Arduino ATmega328P було використано графічне середовище програмування LabVIEW, створене National Instruments, яке можна використати для розробки автоматизованих систем керування. Спочатку воно було призначене для вимірювання різних лабораторних інструментів, але з моменту створення його значно розширили. LabVIEW – це не мова кодування, а середовище розробки. Принцип роботи цього середовища полягає в малюванні блок-схем, тобто ми перетягуємо різні будівельні блоки та об'єднуємо їх в архітектуру даних.

LabVIEW можна використовувати для виконання величезної кількості математичних та логічних функцій, включаючи, але не обмежуючись цим, базову арифметику, умовні оператори if/then/elseif, оператори case. Ще одна унікальна можливість, яку пропонує графічне середовище – це компіляція в реальному часі та можливість виконувати функціональні блоки без необхідності розробки текстового приладу. Кожна функція LabVIEW розроблена з користувальницьким інтерфейсом, який просто і зручно користуватися, щоб можна було взаємодіяти зі своїм кодом одразу після написання.

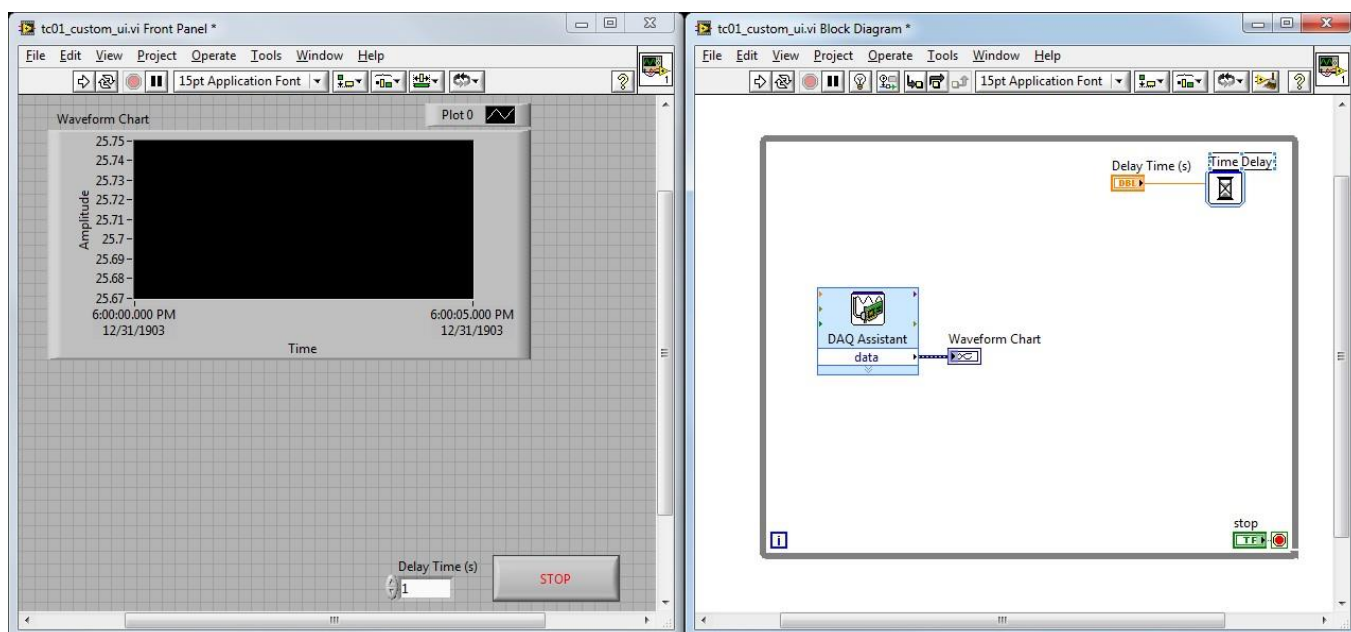


Рисунок 3.10 – Інтерфейс графічного середовища LabVIEW

В даній роботі розробка програмного коду для мікроконтролера виконана в системі відлагоджування мікроконтролерів Arduino IDE 1.8.9. Текст програми для блоку керування подана нижче:

```
//Program UA-PL Project PV Comparing
```

```
#include <BH1750FVI.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

```
#define ONE_WIRE_BUS 2
```

```

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
BH1750FVI LightSensor(BH1750FVI::k_DevModeContLowRes);

void setup() {
digitalWrite(3,HIGH);
delay(200);
LightSensor.begin();
delay(200);
Serial.print(" ");
Serial.print(IPV1);
Serial.print(" ");
Serial.println(IPV3);
delay(1000)}

```

Блок-діаграма програмного коду подана на рис. X, а фронтальна панель програми з візуалізацією параметрів блоку керування (рис. X).

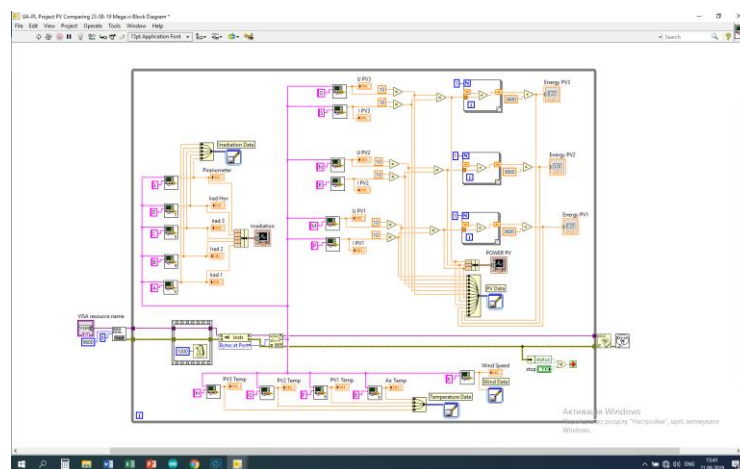


Рисунок 3.11 – Програмний код (блок-діаграма) системи моніторингу блоку керування

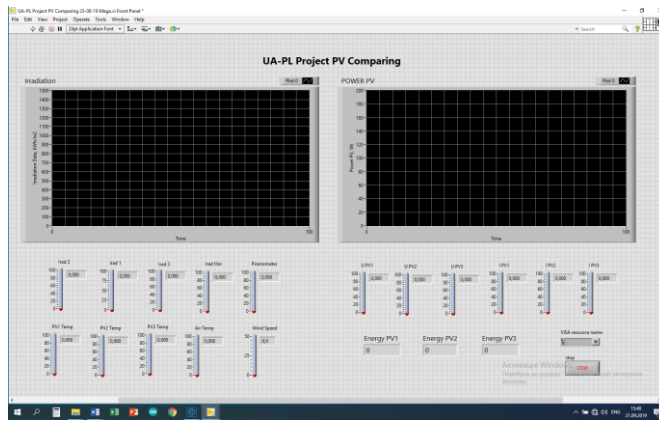


Рисунок 3.12 – Панель оператора моніторингу блоку керування

Отже, була розроблена система управління сонячною електростанцією на основі мікроконтролера Arduino ATМega328P. Це дозволяє оптимізувати процес споживання та генерування сонячної електричної енергії.

3.2 Результати натурних випробувань запропонованої дослідної моделі сонячної електростанції 16 Мвт

Для вимірювання параметрів навколишнього середовища, а саме фізичних параметрів роботи автономної сонячної електростанції було обрано макет і вимірювальна керуюча система на основі Arduino Uno, що зображена на рис X. Вузол дозволяє нам як вимірювати так і керувати заданими параметрами. Зокрема:

1. Дослідження вольт-амперної характеристики (далі – ВАХ)

Щоб виміряти ВАХ сонячної панелі, її розміщують під кутом 45° , встановлюють температуру 25°C і на кожен квадратний метр батареї має попадати потужність падаючих сонячних променів.

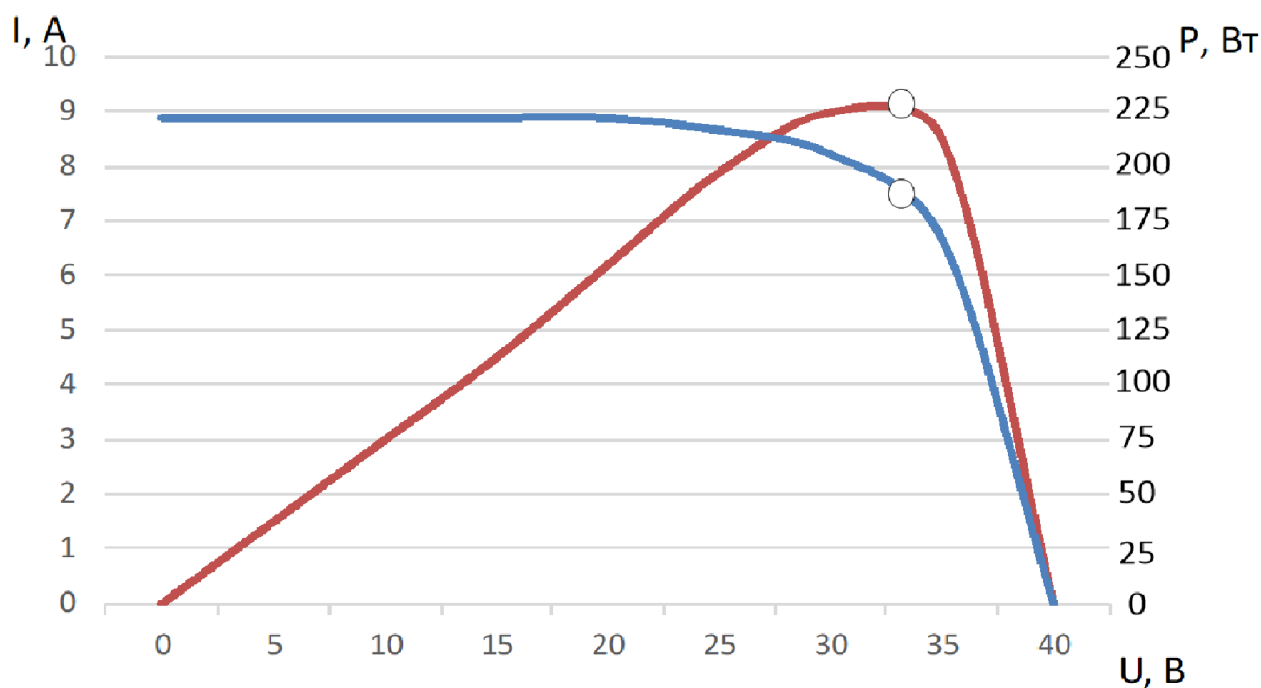


Рисунок 3.13 – Вольт-амперна характеристика дослідної установки

На рис. 3.13 зображено вольт-амперну характеристику дослідної установки. Дві точки характеризують напівпровідниковий перетворювач з точки зору залежності сили струму від напруги. По кривій ми зможемо оцінити потужність фотоелектричного компонента. Робочу напругу U приймають таку, за якої потужність системи максимальна, робочий струм – це струм, який протікає при робочій напрузі.

Якщо струм буде рівний нулю, потужність також буде нуль, тому з графіка видно, що в даній відмітці система не буде в робочому стані. Він наступить тоді, коли дійсний струм і напруга будуть приблизно рівні з заданими робочими цифрами. Батарея споживає потужність, яка їй необхідна з великої кількості комірок, як написано в теорії. Справа в тому, що суттєва частина напруги покриває компенсацію падіння робочої напруги через те, що установка може перегрітися від сонячного світла.

2. Дослідження роботоздатності дослідного макету.

Укомплектувати вимірювальний стенд у складі акумулятора, зарядного пристрою SmartCharge+, цифрового вольтметра UTM1804, цифрових

лічильників-мультиметрів (Вт·год. та А·год.), амперметра, навантажувального реостата і перемикача режимів, як показано на рис. 4.

1) Виміряти напругу розімкненого кола U_{1p} цифровим вольтметром попередньо зарядженого акумулятора з точністю до 1 мВ, зчитати покази вихідних лічильників і результати занести у таблицю.

2) Навантажити акумулятор на реостат, встановити початковий струм, рівний 0,1С і ввімкнути секундомір одночасно з початком розряджання. Розряджати протягом 30 хв. Дostroково припинити розряджання лише у випадку падіння напруги на клеммах акумулятора нижче 10,8 В.

3) Щохвилини реєструвати покази амперметра та вольтметра з метою наступної побудови їх часових залежностей і графічного інтегрування для розрахунку розрядної енергії W_p у Вт·год. та ємності C_p в А·год. Кінцеве значення напруги розімкненого кола U_{2p} виміряти через добу.

4) Зібрати схему для заряджання акумулятора у складі зарядного пристрою SmartCharge+, низьковольтного лічильника енергії постійного струму і амперметра.

5) Виміряти початкову напругу розімкненого кола $U_{1зар}$ Тривалість заряджати вибирають до моменту, коли показ лічильника заряду C_3 зрівняється з раніше зареєстрованим розрядним C_p . Усі результати занести у таблицю.

6) Щохвилини реєструвати покази амперметра та вольтметра з метою наступної побудови їх часових залежностей і графічного інтегрування для розрахунку розрядної енергії W_3 у Вт·год. та ємності C_3 в А·год. Кінцеве значення напруги розімкненого кола U_{23} виміряти через добу.

7) Розрахувати значення інтервалів напруг $\Delta U_{роз}$ і $\Delta U_{зар}$, а також питомі значення зарядної і розрядної енергії та заряду за формулами (5).

8) Розрахувати коефіцієнти віддачі за енергією (енергетичний к.к.д) та за ємністю даного зарядно-розрядного циклу за формулами:

$$\eta_w = \frac{W'_p}{W'_3} ; \quad \eta_q = \frac{C'_p}{C'_3}$$

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання параметрів зарядно-розрядного циклу

Розрядка						Зарядка					
U_{1p}	U_{2p}	C_p	W_p	C'_p	W'_p	$U_{1з}$	$U_{2з}$	$C_з$	$W_з$	$C'_з$	$W'_з$
11,837	11,499	11,499	29,59	11,499	29,59	12,92	12,920	12,92	0,013	12,92	0,013
11,873	11,805	11,805	59,37	11,805	59,37	12,894	12,914	12,894	64,47	12,894	64,47
11,895	11,836	11,836	89,21	11,836	89,21	12,877	12,909	12,877	128,77	12,877	128,77
11,91	11,854	11,854	119,1	11,854	119,1	12,864	12,903	12,864	192,96	12,864	192,96
11,921	11,867	11,867	149,01	11,867	149,01	12,855	12,898	12,855	257,1	12,855	257,1
11,931	11,877	11,877	178,97	11,877	178,97	12,847	12,894	12,847	321,18	12,847	321,18
11,938	11,886	11,886	208,92	11,886	208,92	12,841	12,890	12,841	385,23	12,841	385,23
11,944	11,893	11,893	238,88	11,893	238,88	12,834	12,886	12,834	449,19	12,834	449,19
11,948	11,899	11,899	268,83	11,899	268,83	12,829	12,882	12,829	513,16	12,829	513,16
11,952	11,904	11,904	298,8	11,904	298,8	12,825	12,878	12,825	577,13	12,825	577,13
11,954	11,909	11,909	328,74	11,909	328,74	12,82	12,875	12,82	641	12,82	641
11,957	11,913	11,913	358,71	11,913	358,71	12,816	12,871	12,816	704,88	12,816	704,88
$\Delta U_{1p} =$						$\Delta U_{1з} =$					

В табл. 3.1 зображено результати зарядно-розрядного циклу балансуєчої системи, а саме акумулятора.

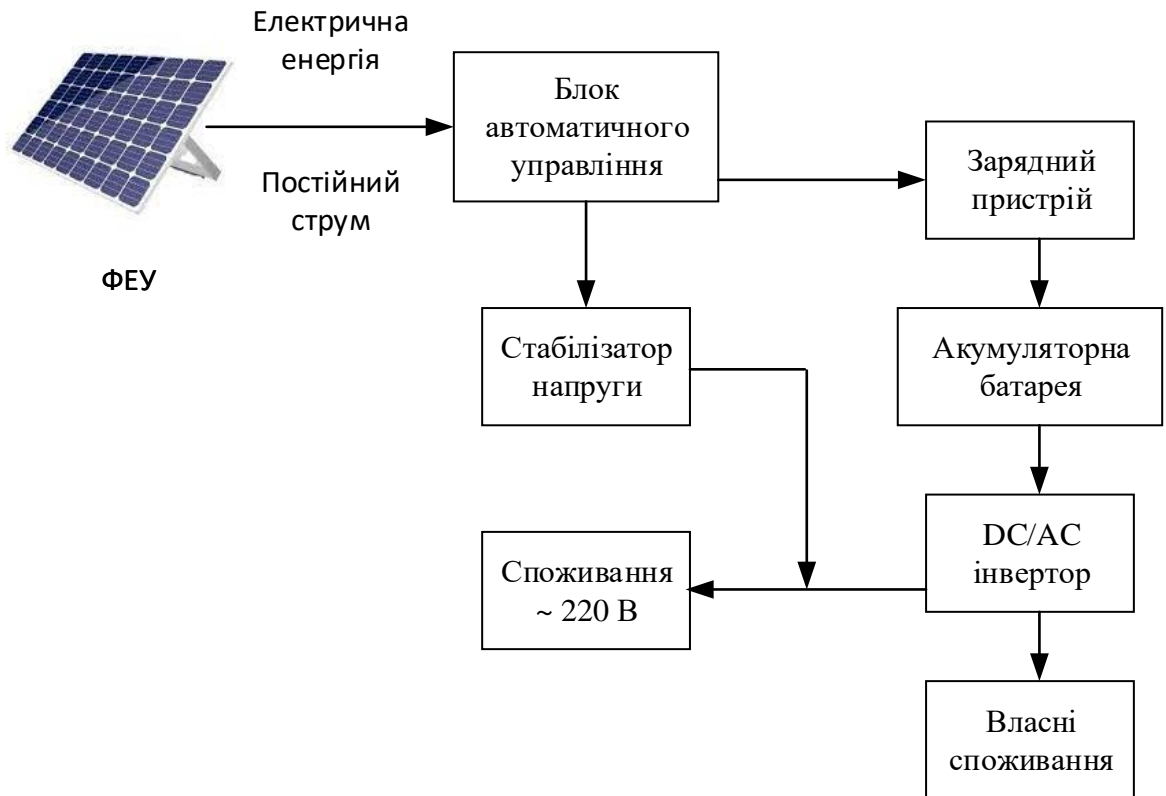


Рисунок 3.14 – Структурна схема системи балансування дослідної установки

На рис. 3.14 зображено спроектовану схему системи балансування сонячної електростанції 16 МВт в зменшених розмірах, яка складається з фотоелектричної установки, блоку автоматичного управління, стабілізатора напруги, зарядного пристрою, акумуляторної батареї, DC/AC інвертора, власних споживань, та відпуску в електричну мережу. На її основі будуватиметься наша дослідна установка.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля

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

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

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

4.2 Протипожежна безпека і грозозахист

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

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

Приймаємо початкову висоту блискавковідводу 8 метрів.

Визначаємо радіус конуса, в якому ймовірність попадання 95%, через висоту конуса h за формулою (4.1):

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

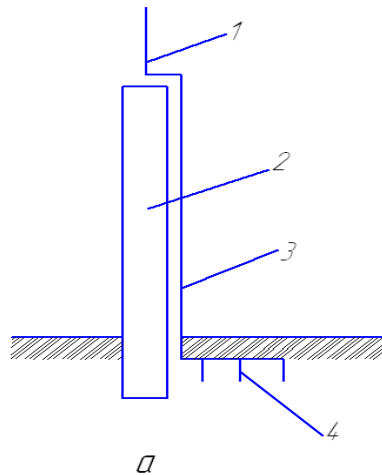


Рисунок 4.1 – Схема блискавко захисту конструкції; 1 – блискавко приймач; 2 – блискавко провідник; 3 – опора, 4 – заземлювач.

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

$$N\bar{b} = \frac{L}{2R_0}, \text{ шт.}, \quad N\bar{b} = \frac{86}{2 \cdot 4} = 11 \text{ шт.}$$

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

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ БАЛАНСУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

5.1 Обґрунтування економічної ефективності системи балансування для сонячної електростанції.

У кваліфікаційній роботі було виконано техніко-економічний аналіз сонячної електростанції. Найбільша різниця між виробленою і спожитою електроенергією відбувається влітку за рахунок кращого сонячного випромінювання. Ціна за 1 кВт·год за «зеленим тарифом» для сонячних електростанцій введених в експлуатацію після 1 січня 2020 року становить 0,1\$ (3,78 грн), що є цілком вигідно при окупності установки за 2,2 роки. Ціна за 1 кВт·год для індивідуальних побутових споживачів становить 2,64 грн. Проаналізувавши річне електроспоживання побутового приміщення, яке становить 1095,8 кВт і річне генерування сонячної установкою – 1619 кВт помітно різницю приблизно в 1,5 рази. Загальна сума за спожиту електроенергію з електричної мережі становить 2892,91 грн., а з сонячної станції ми отримаємо 6163,65 грн.

Термін окупності знайдемо за формулою:

$$T = \frac{B_{уст.}}{B_{зг} - B_{сп.}} = \frac{7208}{6163,65 - 2892,91} = 2,2 \text{ роки,}$$

де $B_{уст.}$ – вартість установки;

$B_{зг}$ – вартість згенерованої електроенергії;

$B_{сп.}$ – вартість спожитої електроенергії.

Таблиця 5.1 – Ціна та кількість обладнання

Найменування	К-сть	Вартість
Акумулятори 18650 TerraE 30E 3200 mAh	4 шт.	107 грн.
Корпус та елементи допоміжного керування	1 шт.	350 грн.
Провід монтажний UL1007 22AWG (17*0.16mm)	1,3 м	13 грн./м
Мікроконтролер Arduino Nano ATmega328P	1 шт.	248 грн.
Контролер керування зарядним пристроєм	1 шт.	237 грн.
Сонячна панель C&T Solar CT60275-P	1 шт.	5928 грн.
Σ		7208 грн.

Таблиця 5.2 – Споживання електричної енергії квартири за січень.

Номер дня в році	Дата	Споживання, кВт-год	Генерування СЕС, кВт-год	Ціна за спожитою ел. ен. , грн.	Ціна згенерованої ел.ел., грн.	Різниця по потужності, кВт-год	Різниця по ціні, грн.
1	Січень	104,9	112,2	276,94	467,96	7,3	191,02
2	Лютий	108,1	110,8	285,38	418,82	2,7	133,44
3	Березень	95,3	111,9	251,59	422,98	16,6	171,39
4	Квітень	90,5	130,8	238,92	494,42	40,3	255,5
5	Травень	88,7	140,8	234,17	532,22	52,1	298,05
6	Червень	80,2	170,6	211,73	644,87	90,4	433,14
7	Липень	80,3	178,9	211,99	676,24	98,6	464,25
8	Серпень	79,8	175,1	210,67	661,88	95,3	451,21
9	Вересень	83,5	130,2	220,44	492,16	46,7	271,72
10	Жовтень	87,6	125,3	231,26	473,63	37,7	242,37
11	Листопад	93,2	121,9	246,05	460,78	28,7	214,73
12	Грудень	103,7	110,5	273,77	417,69	6,8	143,92
Σ		1095,8	1619	2892,91	6163,65	523,2	3270,74

Розрахунки наведені вище показують можливість забезпечення себе відновлюваною енергетикою та стати енергонезалежним з окупністю за 2,2 роки. Чим більше людей зможуть забезпечити себе такою сонячною електроустановкою тим менше потрібно буде використовувати невідновлюваних джерел енергії (газ, вугілля, рідке паливо) для теплових електростанцій, які забруднюють навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

1. Під час патентного пошуку виявлено такі балансуючі системи:

- система маневреного балансування з мережевим інвертором.

Недоліками є відсутність накопичувальних пристроїв, так як немає акумуляторних батарей та висока вартість купівлі елементів сонячної електростанції, монтажу та експлуатації;

- система маневреного балансування з мережевим інвертором та акумуляторними батареями. Недоліками висока вартість сонячної електростанції, та необхідність додаткового місця для зберігання акумуляторних батарей;

- система маневреного балансування з дизельним генератором. Недоліками є необхідність вентиляції при роботі в приміщенні, не можна залишати під відкритим небом без захисту від опадів, не економічний при частому та тривалому використанні, забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами, неекономічність при тривалому використанні.

2. На основі системи маневреного балансування було вдосконалено акумулятор, сонячну панель, інвертор, контролер сонячного заряду та розроблено метод розрахунку конструктивно-технологічних параметрів макету дослідної установки.

3. Під час проведення натурних випробувань нами було досліджено макет роботи і встановлено вольт-амперну характеристику з двома необхідним точками: $I_1 = 7,5 \text{ A}$, $U_1 = 36,5 \text{ В}$, $P_1 = 187 \text{ Вт}$; $I_2 = 9 \text{ A}$, $U_2 = 36,5 \text{ В}$, $P_2 = 225 \text{ Вт}$, котрі будуть відповідати результатам зарядно-розрядного циклу балансуючої системи (акумулятора).

4. Проведено огляд охорони праці та захисту навколишнього середовища під час експлуатації сонячної електростанції 16 МВт.

5. Оцінено економічну ефективність застосування системи балансування для дослідної установки, окупність якої становить 2,2 роки.

ПОСИЛАННЯ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: Вид-во ЛНАУ, 2008. 135 с.
2. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навч. посіб. Львів: "Магнолія 2006", 2008. 188 с.
3. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К.: НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
4. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс. Х.: В-во САГША, 2008. 320 с.
5. <https://uniclimate.com.ua/products/teplovi-nasosy-dlya-pryvatnogo-budynku/cooperhunter-unitherm-3-all-in-one-ch-hp12wtsirk3/>
6. <https://uniclimate.com.ua/wp-content/uploads/2023/02/instrukciya-unitherm3-aio-ua.pdf>
7. https://cooperhunter-aircon.com/?gclid=Cj0KCQjw7aqkBhDPARIsAKGa0oLWwriPnZqdYFkAdTEGwILGKZiUW6zYhudeqKqlb11QuAZmcjiDyL0aAqmlEALw_wcB
8. R. K. Sarojini, K. Palanisamy and E. De Tuglie, "A fuzzy logic- based emulated inertia control to a supercapacitor system to improve inertia in a low inertia grid with renewables," *Energies*, Vol. 15, no. 4, Article ID 1333, 2022.
9. O. Abdel-Rahim and E. Abdelhameed, "Ultimate transformerless boost DC-DC converter for renewable energy applications," *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, Vol. 2, no. 2, pp. 63–69, 2021.
10. J. B. Holm-Nielsen, and D. Almakhles, "A hybrid PV-battery system for ON-grid and OFF-grid applications-controller in loop simulation validation," *Energies*, Vol. 13, №. 3, P. 755, 2020.
11. V. Burlaka, S. Gulakov, S. Podnebennaya, E. Kudinova, and O. Savenko, "Bidirectional single stage isolated DC-AC converter," in *Proceedings of the 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, PP. 343–346,

IEEE, Kharkiv, Ukraine, 2020, October.

12. S. Deshmukh, A. R. Thorat, and I. Korachagaon, "Modelling and analysis of PV standalone system with energy management scheme," in *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*, PP. 1–5, IEEE, Bangalore, India, 2020, July.

13. K. Amer, M. Fakher, S. Ahmad, M. Irhouma, S. Altaobao and E. Salem, "Performance of domestic solar heating system with thermal storage using phase change materials," *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 16, no. 9, PP. 01–11, 2020.

14. E. S. Harsha, R. K. Nema, S. Nema, and R. D. Kulkarni, "Design & Simulation of high gain ratio Bidirectional converter for energy storage applications," in *Proceedings of the 2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)*, pp. 1–6, IEEE, Keonjhar, India, 2020, July.

15. Y. Nassar, S. Alsadi, K. Amer, A. Yousef, and M. Fakher, "Numerical analysis and optimization of area contribution of the PV cells in the PV/T flat-plate solar air heating collector," *Solar Energy Research Update*, Vol. 6, PP. 43–50, 2019.

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

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

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

A. Hafez, Y. Nassar, M. Hammdan, and S. Alsadi, "Technical and economic feasibility of utility-scale solar energy conversion systems in Saudi arabia," *Iranian*

Journal of Science and Technology Transactions of Electrical Engineering, Vol. 44, PP. 213–225, 2020.

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

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

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