

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка стенду для дослідження ефективності сонячних панелей

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
4 курсу групи ЕМ-19-1


Підпис

Грудінін В. І.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С. Я. Лудькич
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

25 06 2023 р.

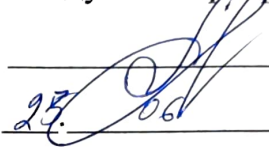
Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень бакалавр
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


_____ .202__

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Грудінін Володимир Ігорович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка стенду для дослідження ефективності сонячних панелей**

керівник роботи **Поліщук О.С., д.т.н, професор**

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від _____ 202__ р. № _____

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи: **ефективність виробленої і спожитої електроенергії сонячними панелями**

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Огляд та аналіз розвитку сонячної енергетики та існуючих стендів для дослідження сонячних панелей

2 Розробка стенду для дослідження ефективності сонячних панелей

3 Розробка системи вимірювання стенду для дослідження ефективності сонячних панелей

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1 Існуючі стенди для дослідження сонячних панелей. Документ оглядовий (A1) Аркуш 2 Структурна схема стенду для дослідження ефективності сонячних панелей (A1) Аркуш 3 Схема електрична принципова стенду для дослідження ефективності сонячних панелей (A1) Аркуш 4 Стенд для дослідження ефективності сонячних панелей Вигляд загальний 5 Схема конструкції трекерної системи сонячних панелей (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1 Огляд технічної літератури та існуючих стендів для дослідження сонячних панелей	18.05.23р.	
2 Розробка стенду для дослідження ефективності сонячних панелей	23.05.23р.	
3 Розробка системи вимірювання стенду для дослідження ефективності сонячних панелей	03.06.23р.	

Студент

Підпис 

Фудікіні В.У
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис 

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Грудінін Володимир Ігорович

2. Тема магістерської роботи
Розробка стенду для дослідження ефективності сонячних панелей

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Шур С.В.

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 72

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки:

1 Огляд та аналіз розвитку сонячної енергетики та існуючих стендів для дослідження сонячних панелей

2 Розробка стенду для дослідження ефективності сонячних панелей

3 Розробка системи вимірювання стенду для дослідження ефективності сонячних панелей

Висновки

Перелік джерел посилання

Підпис студента 

"23" 06 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 3 від "29" 06 2023 р.

Оцінка проекту ЕК вільно

Рекомендації ЕК рекомендувати у виробництво

у навчальній формі

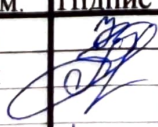


Особливі відмітки 

Технічний секретар 

"29" 06 2023 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз розвитку сонячної енергетики та існуючих стендів для дослідження сонячних панелей.....	8
1.1 Аналіз розвитку сонячної енергетики в світі.....	8
1.2 Стан та перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні.....	15
1.3 Огляд та аналіз існуючих стендів та установок для дослідження сонячних панелей.....	18
1.4 Висновки до першого розділу.....	25
2 Розробка стенду для дослідження ефективності сонячних панелей	26
2.1 Розробка структурної схеми стенду для дослідження ефективності сонячних панелей.....	26
2.2 Основні елементи стенду для дослідження сонячних панелей.....	27
2.3 Розробка електричної принципової схеми стенду для дослідження ефективності сонячних панелей.....	43
2.4 Загальний вигляд стенду для дослідження ефективності сонячних панелей.....	46
2.5 Розробка трекерної системи для сонячних панелей.....	47
2.6 Висновки до другого розділу.....	53
3 Розробка системи вимірювання стенду для дослідження ефективності сонячних панелей.....	54
3.1 Підбір основних компонентів системи вимірювання стенду для дослідження ефективності сонячних панелей.....	54

БРМА23.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Грудінін		
Перевір.		Поліщук		
Н.контр.				
Затвер.		Поліщук		
Розробка стенду для дослідження ефективності сонячних панелей			Літера	Аркуші
			6	4
			72	
ХНУ гр.ЕМ-19-1				

3.2	Проведення експериментальних досліджень, що підтверджують працездатність стенду для дослідження ефективності сонячних панелей.....	62
3.3	Висновки до третього розділу.....	67
	Висновки.....	68
	Перелік джерел посилання.....	69
	Додаток А.....	72

ВСТУП

Альтернативна енергетика – це використання енергії природних відновлюваних джерел – сонця, води, вітру тощо. Ще в доісторичну епоху люди палили вогнища для обігріву, пізніше – топили печі дровами, підігрівали воду на сонці, використовували енергію проточної води на водяних млинах і таке інше [1].

Сонячна енергетика - це процес використання сонячної енергії для виробництва електрики або тепла. Вона базується на використанні сонячних панелей, також відомих як фотоелектричні модулі, які здатні перетворювати сонячне випромінювання на електричний струм.

Основним компонентом сонячних панелей є сонячні клітини, які складаються з напівпровідникових матеріалів, таких як кремній. Коли сонячне випромінювання падає на ці клітини, енергія фотонів викликає вибивання електронів, що генерує постійний електричний струм. Кілька сонячних клітин з'єднуються разом у сонячні панелі, щоб забезпечити достатню потужність. Сонячна енергетика має декілька переваг.

По-перше, вона є відновлюваною джерелом енергії, оскільки сонячне випромінювання є безкоштовним та доступним у будь-якому регіоні.

По-друге, вона не виділяє в атмосферу парникові гази та інші шкідливі речовини, тому вона є екологічно чистим джерелом енергії. Крім того, сонячна енергетика може допомогти зменшити залежність від традиційних джерел енергії, таких як вугілля та нафта, та знизити витрати на електроенергію. Для використання сонячної енергії потрібна інфраструктура, що включає сонячні панелі, інвертори (для перетворення постійного струму на змінний струм), акумулятори (для збереження електричної енергії) та системи розподілу електричної енергії. Збір сонячної енергії може здійснюватися на дахах будівель, на земельних ділянках, у великих сонячних фермах або в енергетичних парках.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

Сонячна енергетика є швидко зростаючою галуззю, оскільки технологічні досягнення знижують вартість сонячних панелей і підвищують їхню ефективність. Вона застосовується як у великих масштабах для постачання електрики мережам, так і у невеликих системах, встановлених на покрівлях житлових будинків. У сонячній енергетиці є потенціал для подальшого розвитку та використання в поєднанні з іншими джерелами відновлюваної енергії. Це може сприяти створенню стійкого та екологічно чистого енергетичного майбутнього.

Можна зробити висновок, що тема бакалаврської роботи є актуальним та важливим питанням для подальшого розвитку сонячної енергетики.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІСНУЮЧИХ СТЕНДІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

1.1 Аналіз розвитку сонячної енергетики в світі

У 2022 році сонячна енергетика демонструвала вражаючий ріст і стала неперевершеною серед інших технологій виробництва електроенергії. За даними рисунка 1.1, з понад 300 ГВт нових глобальних потужностей відновлюваної генерації електроенергії, сонячна енергетика встановила більше потужностей, ніж будь-яка інша технологія відновлюваної енергії, досягнувши 56%. Навіть порівняно з усіма технологіями виробництва електроенергії на викопному паливі разом, сонячна енергетика зайняла перше місце у встановленні нових потужностей. Однак, хоча сонячна енергія ще забезпечує лише невелику частку - близько 4% - світового попиту на електроенергію, понад 70% електроенергії все ще генерується з невідновлюваних джерел. [2].

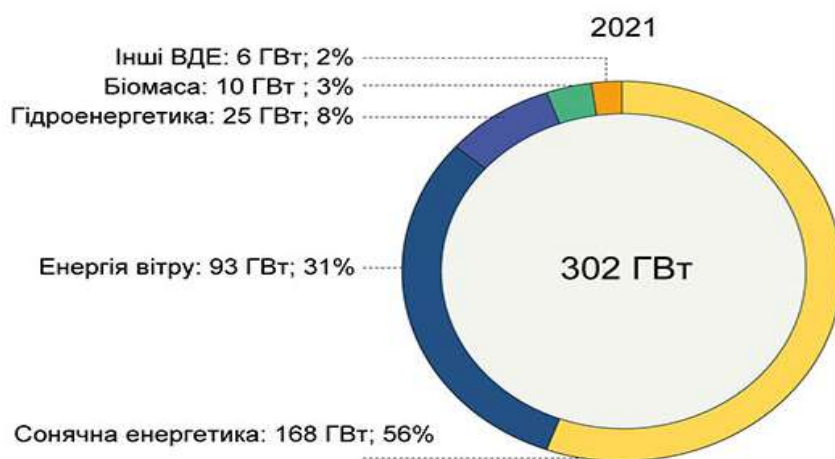


Рисунок 1.1 – Загальна світова встановлена потужність ВДЕ у 2021 році

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

8

Проблеми в ланцюжку постачання компонентів через війну Росії проти України не зупинили розвиток конкурентоспроможності сонячної енергії. Незважаючи на деяке збільшення загальної вартості на 3% порівняно з попереднім роком, все одно сьогодні вартість сонячної енергії у загальному масштабі стабільно нижча, ніж з будь-яких нових чи традиційних джерел генерації електроенергії, тоді як економічна конкурентоспроможність сонячної енергії + накопичувачів порівняно з піковими потужностями на природньому газі вже безперечна в певних країнах та регіонах світу [2].

У минулому році сонячна енергетика продовжувала задовольняти невелику частку світового попиту на електроенергію, забезпечуючи лише 3,7% від загального виробництва електроенергії. Ця цифра зросла на 0,5% в порівнянні з показником 3,2% попереднього року, як показано на рисунку 1.2. [2].

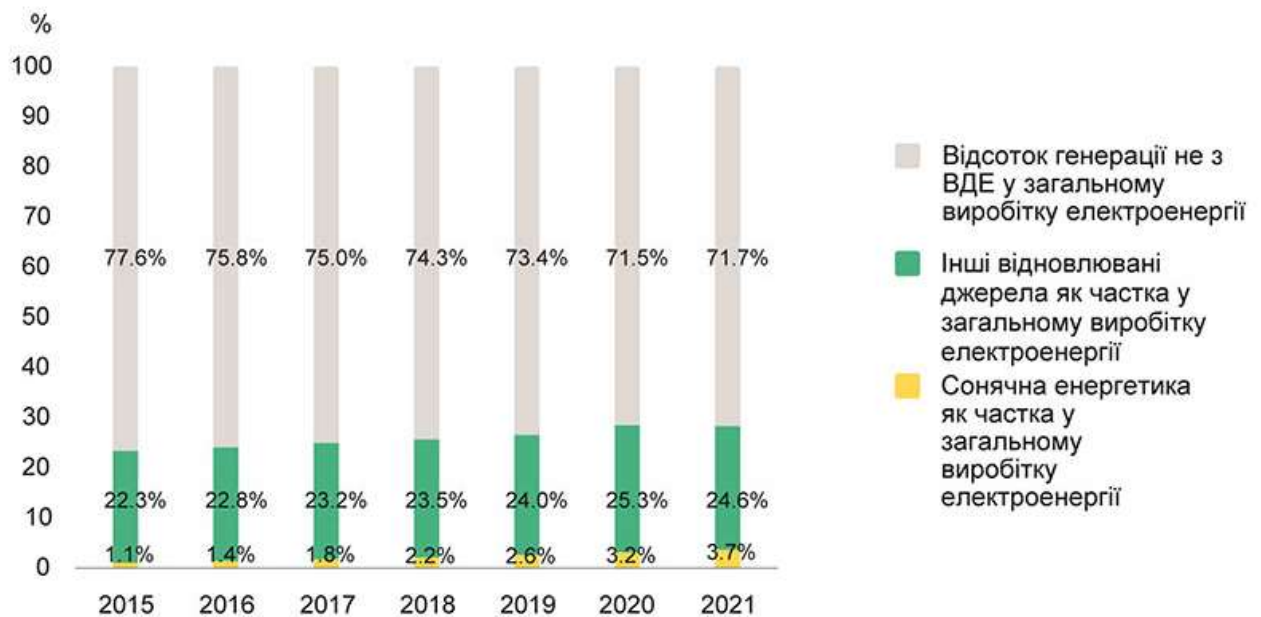


Рисунок 1.2 – Частка ВДЕ в цілому та сонячної енергетики зокрема в глобальній електрогенерації, 2015-2021

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

9

Інші відновлювані джерела енергії також відображають схожу ситуацію, забезпечуючи приблизно чверть (24,6%, щоб бути точним) від загального світового виробництва електроенергії. Однак, на відміну від сонячної енергії, зростання інших відновлюваних джерел сповільнилося в 2021 році з рівня 25,3% у 2020 році. Загальна виробництво електроенергії з використанням відновлюваних джерел становить 28,3% від світового виробництва електроенергії, водночас невідновлювані джерела все ще переважають, займаючи 71,7% частку. Однак, добра новина полягає в тому, що сонячна енергетика має величезний ринковий потенціал, а її постійно зростаюча конкурентоспроможність дозволяє їй займати все більшу частку і лідирувати у глобальному енергетичному переході, не тільки за темпами зростання, але і в абсолютних показниках [2].

Сонячна енергетика має свої особливості порівняно з іншими технологіями, але одним із ключових чинників є різке зниження витрат протягом останнього десятиліття, що зробило її лідером у зменшенні собівартості (рис. 1.3). Ця тенденція дозволяє сонячній енергетиці займати все більшу частку та грати провідну роль у глобальному енергетичному переході, не лише за темпами зростання, але й в абсолютному вимірі [2]. Вартість сонячної енергії порівняно з генерацією викопного палива та ядерної енергії вже довгий час залишається нижчою, а тепер вона також конкурентоспроможна в порівнянні з вітровою енергетикою у багатьох регіонах світу. Згідно з останнім аналізом середньозваженої вартості енергії (LCOE) від Lazard, опублікованим у жовтні 2021 року, витрати на сонячну енергію в комунальному секторі зменшилися на 3% порівняно з попереднім роком [2]. Варто відзначити, що використання традиційних технологій генерації також продовжує розширюватися, зокрема через зростання вартості газу та атомної енергії, спричинене війною Росії проти України. Зменшення витрат на сонячну енергію за останні роки було дійсно значимим: порівняно з 2009 роком, витрати на виробництво сонячної енергії скоротилися на 90% [2].

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		10

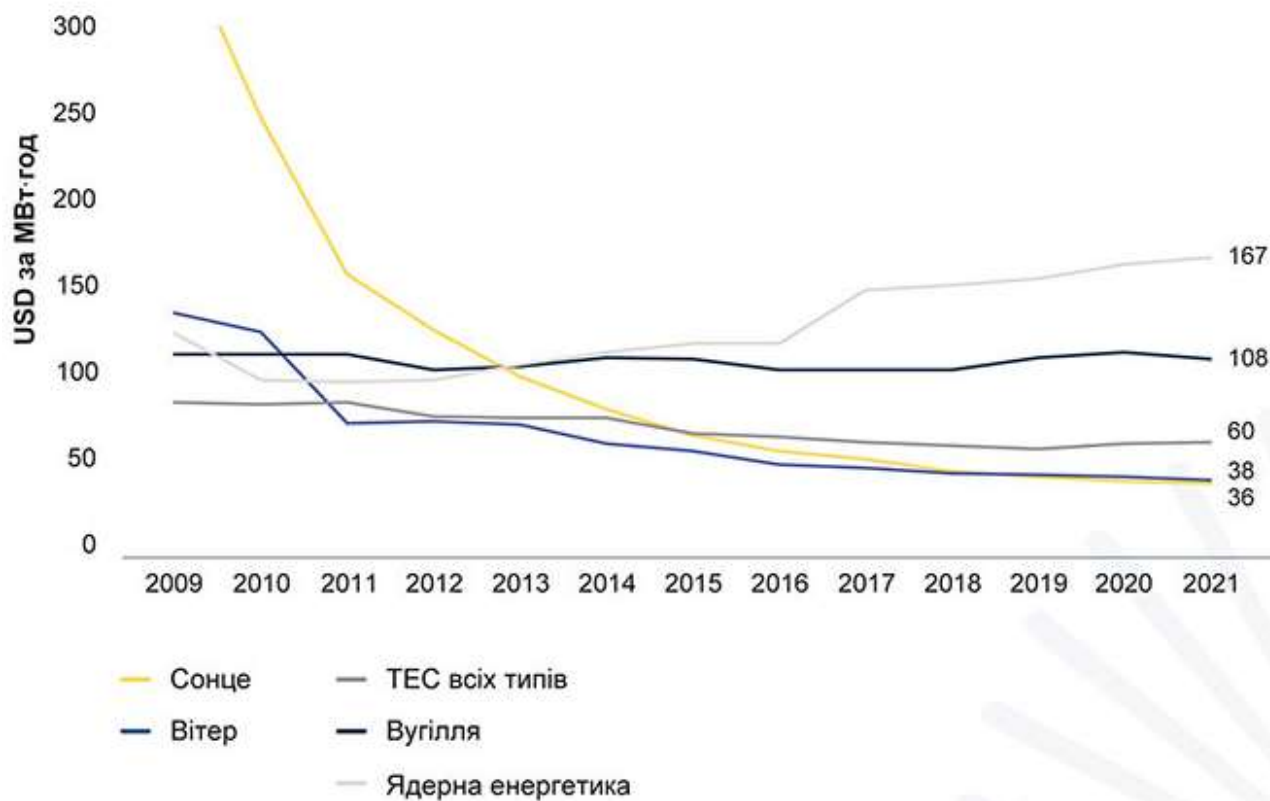


Рисунок 1.3 – Середньозважена вартість (LCOE) сонячної енергії порівняно з іншими джерелами, 2009-2021

В цілому, ціна сонячної енергії на загальному ринку залишається стабільно нижчою, ніж у будь-яких інших традиційних методах виробництва електроенергії, навіть у порівнянні з новими, більш ефективними станціями (див. рис. 1.4). Більш того, системи, що поєднують "сонячну генерацію + накопичувачі енергії", вже в багатьох регіонах стають економічно вигіднішими, ніж газові турбіни, які використовуються для задоволення пікового попиту. Все більше країн по всьому світу проводять спільні аукціони на продаж відновлювальної енергії, включаючи сонячну, разом з генерацією з різних інших джерел відновлюваної енергії та АКБ забезпечує зручне вирішення енергетичних потреб [2].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

11

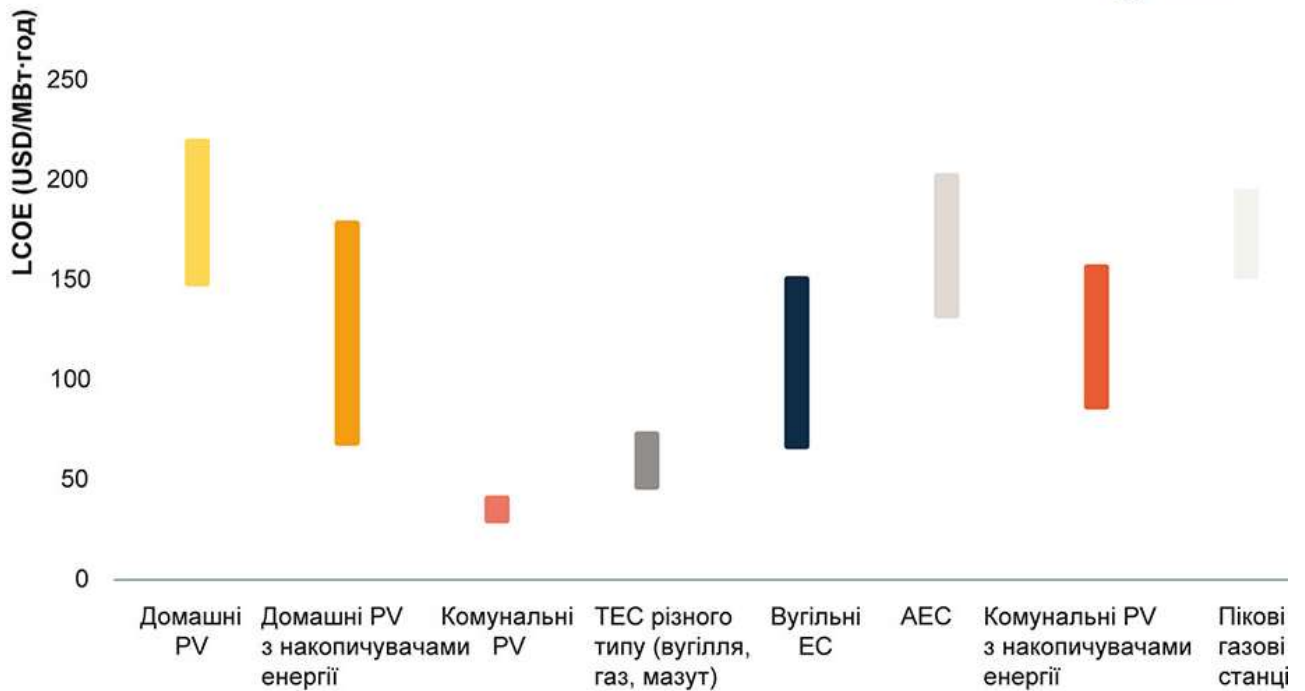


Рисунок 1.4 – Вартість сонячної електрогенерації порівняно з іншими традиційними джерелами, 2021

Фактична потужність, яка була встановлена, становить 167,8 ГВт, що майже досягає помірному прогнозу. Хоча помірний прогноз виявився занадто консервативним, він все ж співзвучний з цифрою у оптимістичному сценарії, яка прогнозувалася на рівні 197,9 ГВт у 2020 році. Навіть під час пандемії COVID-19 Китай, який є найбільшим ринком у світі, продовжує розвиватися з річним темпом зростання 14%. Хоча цей темп зростання є прогнозованим зниженням порівняно з неочікуваним 60% зростанням, яке було зафіксовано в 2020 році. Також можна відзначити позитивну динаміку сонячного ринку в багатьох інших країнах і глобальних регіонах, зокрема в США, Європі та Індії, які відчули сильні наслідки COVID-19 у 2020 році. На рисунку 1.5 наведені країни-лідери у розвитку сонячної енергетики. Проте наразі найбільш

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

роки будуть характеризуватися більш рівномірним розподілом факторів, що впливають на зростання, без великих сюрпризів, і залишатимуться на поміркованих рівнях, наближених до 10% щорічно [2].

1.2 Стан та перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні

В Україні зараз працює значна кількість сонячних електростанцій різного масштабу, від невеликих підприємств до великих комерційних проектів. Навіть є кілька електростанцій з потужністю понад 100 МВт, які успішно виробляють та постачають електроенергію до енергосистеми. Варто відмітити, що уряд України докладает зусиль для розвитку сонячної енергетики в країні. Державні програми підтримки відновлюваної енергетики надають стимули інвесторам та сприяють укладанню довгострокових договорів на продаж електроенергії з сонячних електростанцій. Електроенергія, вироблена з сонячної енергії в Україні, має важливе значення для забезпечення енергетичної безпеки країни. Згідно з Енергетичною стратегією України до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність", відновлювана енергетика має скласти 25% від загального обсягу виробництва електроенергії. Усі області нашої країни мають потенціал для розміщення сонячних електростанцій. Особливо сприятливими для цього є південні області України, такі як Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька та частина Донецької, де вже сьогодні розташовано понад 60% промислових сонячних електростанцій.

Останні роки були визначними для розвитку сонячної енергетики в Україні, що підтверджується одним з найвищих темпів росту в Європі. За винятком окремих північно-західних регіонів, понад 80% території країни є придатним для розгортання сонячних електростанцій, особливо в степовій та південній частині лісостепової зони, де спостерігаються найвищі показники сонячного випромінювання. Незважаючи на це, перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні є високими на всій території. Уже з 2008 року в країні діє

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		15

"зелений тариф" на електроенергію, який сприяв росту виробництва електроенергії на сонячних електростанціях. Зокрема, потужності сонячної енергетики становлять 6,3 ГВт (за винятком окупованих територій), які генеруються як на промислових, так і на приватних сонячних електростанціях. Приватні електростанції наразі виробляють приблизно 1,2 ГВт електричної енергії, з яких понад 0,4 ГВт було введено в експлуатацію у 2021 році.

Проте, всі ці досягнення у галузі сонячної енергетики були підірвані вторгненням. Військові дії на півдні країни спричинили значні руйнування інфраструктури, оскільки понад 60% сонячних електростанцій знаходяться саме в цих регіонах. За різними оцінками, майже 40% сонячних електростанцій на півдні України було пошкоджено. Крім того, для забезпечення стабільності енергетичної системи, недоторкані сонячні електростанції працюють не на повну потужність, що призводить до нерентабельності виробництва електроенергії. Приватні сонячні електростанції також серйозно постраждали, оскільки за різними оцінками понад 20% з них зазнали пошкоджень. [3]

Є декілька причин, які призвели до зростання популярності сонячної енергетики в Україні. По-перше, країна має сприятливий клімат з високим рівнем сонячного випромінювання, який перевищує показники таких країн, як Німеччина, що є світовим лідером у сфері сонячної енергетики.

По-друге, Україна має сприятливе правове поле, яке стимулює інвестиції в альтернативну енергетику. "Зелений" тариф, за яким держава викупує всю електрику, вироблену сонячними електростанціями, є одним з найвищих в Європі. Також в квітні 2019 року був прийнятий закон про "зелені" аукціони, який сприятиме конкуренції та запобігатиме монополії в галузі відновлюваної енергетики.

По-третє, Україна має значні можливості для інвестицій в альтернативний енергетичний сектор. Країна володіє різноманітними запасами сировини і має кваліфіковану робочу силу з необхідними технічними знаннями для розробки та впровадження останніх досягнень у цій галузі.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		16

По-четверте, постійне зростання вартості електроенергії робить інвестиції у власну генерацію електроенергії виправданими. Вартість виробництва електрики з використанням сонячної енергії вже майже дорівнює вартості традиційних джерел енергії.

Оскільки сонячна енергетика є популярним відновлюваним джерелом енергії в Україні, спостерігається кореляція між розташуванням встановлених об'єктів сонячної енергетики та рівнем сонячної активності. Увага найбільше зосереджена на регіонах з найвищим рівнем сонячного випромінювання, як показано на карті нижче (рис. 1.7). На шкалі представлені дві величини: щорічна сума глобального опромінення (зображена ліворуч) і щорічна сума сонячної електроенергії, згенерованої системою потужністю 1 кВт з коефіцієнтом корисної дії 0,75 (представлена справа) [4].

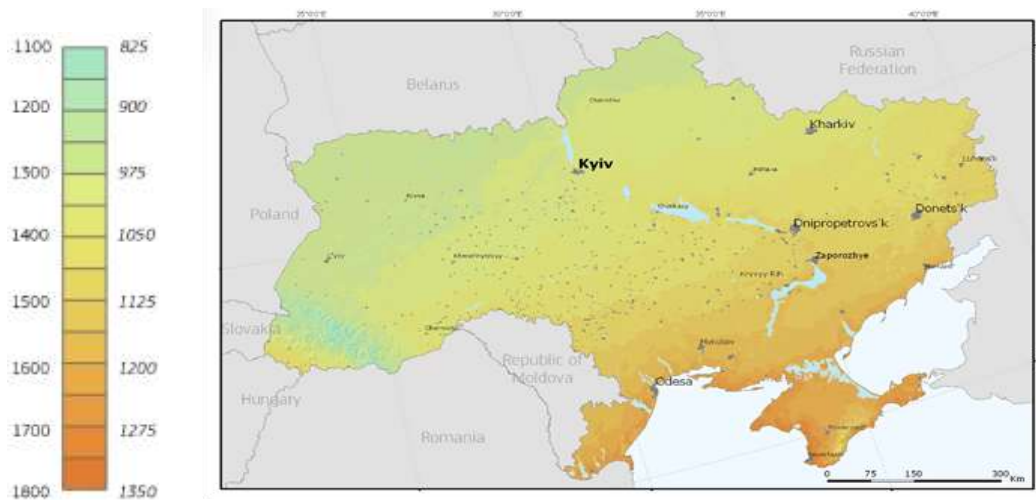


Рисунок 1.7 – Випромінювання і потенціал сонячної енергії в Україні.

1.3 Огляд та аналіз існуючих стендів та установок для дослідження сонячних панелей

1.3.1 Стенд для дослідження роботи і розрахунок ефективності сонячної батареї

Лабораторна установка для дослідження роботи сонячних елементів і батарей (аркуш [БРМА23.00.00.000 ДО]).

Кутомір сонячної батареї (рис. 1.8). Установка складається з основи 1 зі стійкою 2; стержні для закріплення джерела світла 3; основи із закріпленими сонячними батареями 4; тримача стійки 5; кутоміра джерела світла 6; освітлювача 7; комутуючого пристрою 8; лабораторного автотрансформатора 9; міліамперметра 10; магазину опорів 11; люксметра 12; мультиметра 13; сонячної батареї 14; кутоміра сонячної батареї 15 (рис. 1.9).



Рисунок 1.8- Кутомір сонячної батареї

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

18



- 1 – основа; 2 – стійка; 3 – стержень для кріплення джерела світла;
 4 – основа із закріпленими сонячними батареями; 5 – тримач стійки;
 6 – кутомір джерела світла; 7 – джерело світла (освітлювач);
 8 – комутючий пристрій; 9 – лабораторний автотрансформатор;
 10 – міліамперметр; 11 – набір опорів; 12 – люксметр; 13 – мультиметр;
 14 – сонячна батарея; 15 – кутомір сонячної батареї
- Рисунок 1.9 – Стенд для дослідження сонячних батарей

Електрична схема (рис. 1.10) використовується для дослідження основних робочих параметрів. Вона включає FL1-сонячну батарею, FL2...FL5-сонячні елементи, PV1-вольтметр, PA1-амперметр, R1-декадний магазин опорів та X1...X4-з'єднувальні елементи. Залежно від поставленої задачі, в електричній схемі може бути включена або сонячна батарея FL1, або сонячні елементи FL2...FL5 за допомогою з'єднувальних елементів X1...X4. Сонячні елементи FL2...FL3 виготовлені з полікристалічного кремнію, а сонячний елемент FL5 - з монокристалічного кремнію. Конструкція панелі сонячних елементів дозволяє підключати їх як послідовно, паралельно, так і в послідовно-паралельному з'єднанні. Конструкція і точки підключення панелі сонячної батареї та панелі

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

19

сонячних елементів, згідно з електричною схемою (рис. 1.10), показані на рисунку 1.11 [5].

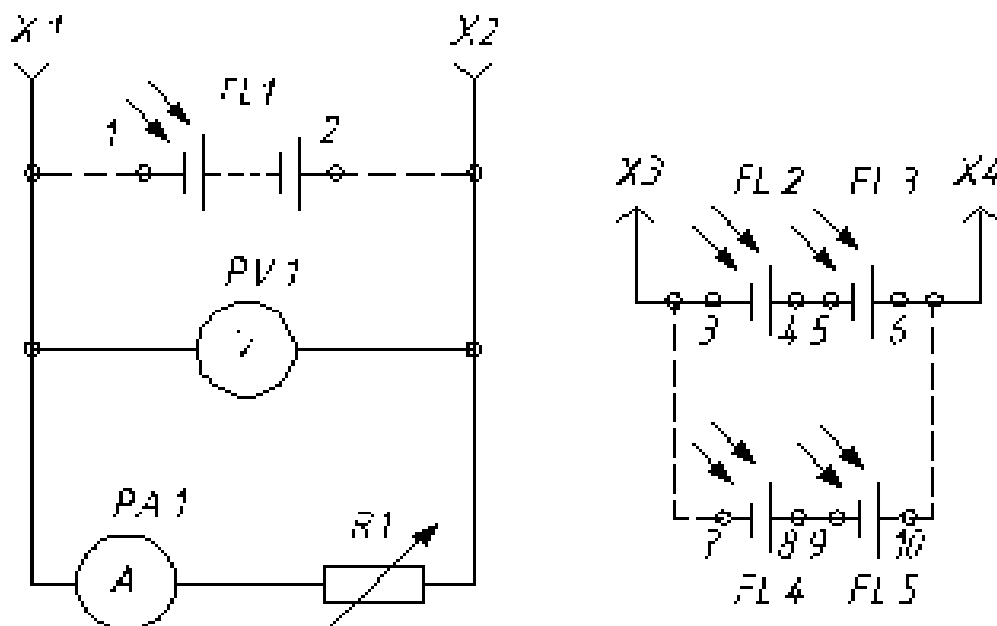


Рисунок 1.10 – Електрична схема для дослідження роботи сонячних елементів і батареї



Рисунок 1.11 – Конструкція і точки під'єднання панелі сонячної батареї та сонячних елементів

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

20

1.3.2 Стенд для дослідження роботи фотоелектричної системи електропостачання з акумулюванням енергії

Основними елементами лабораторної автономної фотоелектричної системи електропостачання є: фотоелектрична батарея 1, контролер заряду АКБ 2; інвертор напруги 3; акумуляторна батарея 4; навантаження 5 (рис. 1.12) (аркуш [БРМА23.00.00.000 ДО]).

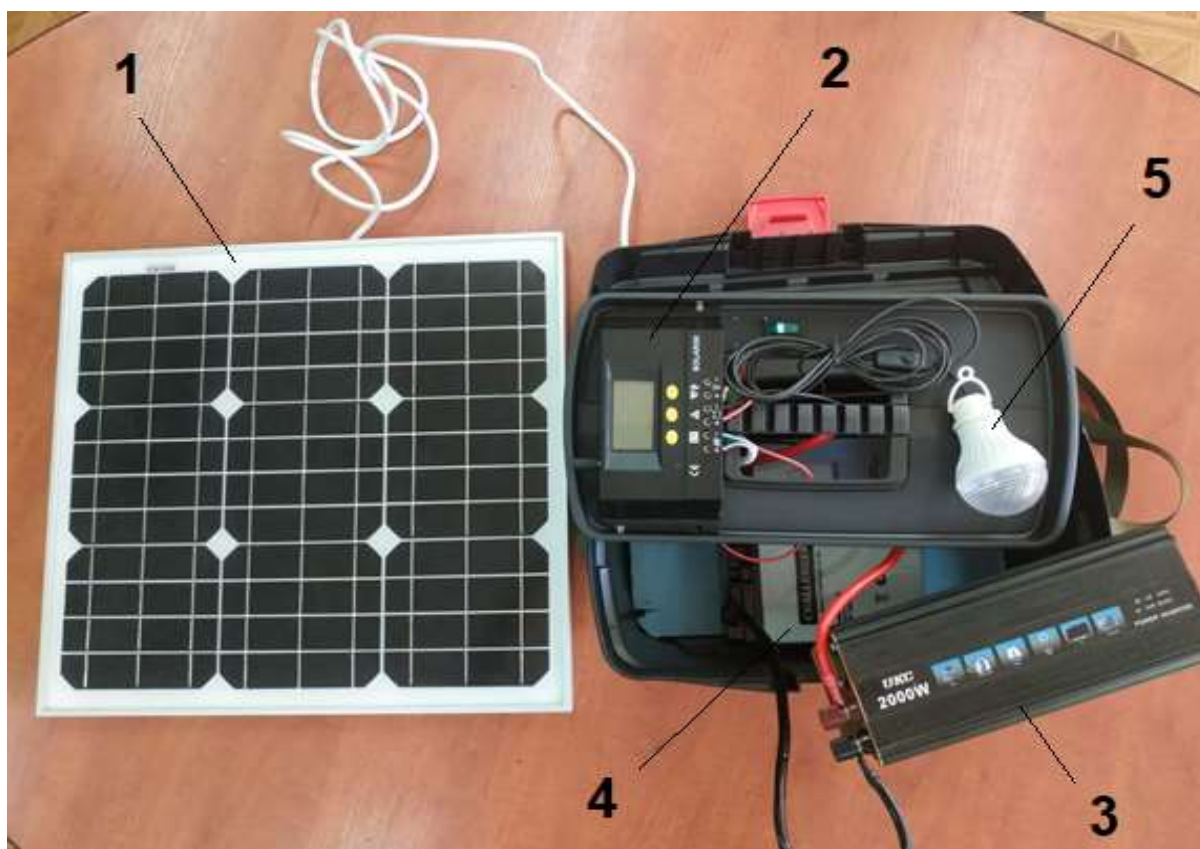


Рисунок 1.12 - Лабораторна автономна фотоелектрична система електропостачання

У лабораторній роботі використовується світлодіодна лампа як навантаження. Для вимірювання напруги на виході акумуляторної батареї (АКБ) використовується цифровий вольтметр. Зарядка АКБ здійснюється за допомогою сонячного випромінювання. При падінні променів світла на сонячну

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

панель 1, на її виході генерується робоча напруга, яка подається на вхід контролера заряду АКБ 2. Тимчасово, на виході цього контролера також з'являється напруга, яка подається на вхід АКБ 4. Контролер заряду АКБ регулює зарядний струм. Коли напруга на АКБ досягає 13,5 В (100% заряду), зарядний струм зменшується до рівня підзаряду для компенсації саморозряду АКБ, і напруга на затискачах АКБ підтримується на рівні 13,5 В. У випадку підключення навантаження до АКБ, зарядний струм знову збільшується за допомогою контролера заряду для компенсації енергії, що витрачається з АКБ. Інвертор напруги 3 перетворює постійну напругу від АКБ на змінну синусоїдальну напругу 220 В з частотою 50 Гц, яку можна використовувати для живлення більшості електроприладів.

У лабораторній роботі в якості навантаження (5) використовуються освітлювальні прилади, які є еквівалентними за виходом світлової енергії, але відрізняються за конструкцією, такі як розжарювальна лампа, люмінесцентна лампа та світлодіодна лампа [5].

Після аналізу існуючих стендів для сонячних батарей було встановлено, що жоден із доступних варіантів дослідження не забезпечує детальних даних щодо ефективності сонячних панелей. Тому розробка стенду для дослідження ефективності сонячних панелей є актуальним та важливим завданням.

1.3.3 Стенд для дослідження експлуатаційних характеристик сонячних панелей

Даний стенд складається із сонячних панелей, джерела штучного освітлення та навантаження. Також на стенді присутні кнопки вмикання джерел світла, вольт-амперметр DSN-VC288, тумблер «живлення приладів» та провідники. У якості навантаження використовуються світлодіодна стрічка, вентилятор та світлодіодна лампа. Загальний вигляд стенду представлено на рисунку 1.13 (аркуш [БРМА23.00.00.000 ДО]).

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

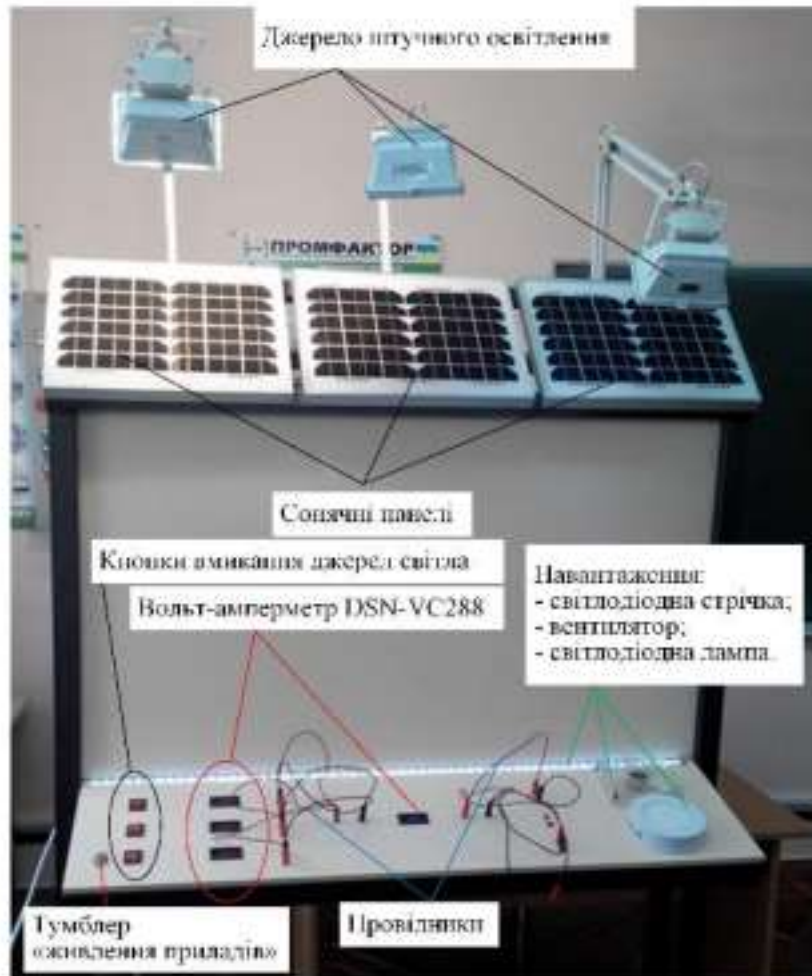


Рисунок 1.13 – Загальний вигляд стенда для дослідження експлуатаційних характеристик сонячних панелей

Для проведення дослідів необхідно:

- 1) Під'єднати стенд до джерела живлення напругою 220 В (стандартна розетка).
- 2) Подати живлення на вимірювальні прилади, для чого необхідно перевести тумблер «живлення приладів» в положення «джерело».
- 3) Провести заміри напруги холостого ходу та струму короткого замикання для варіантів з'єднання панелей, що подані в табл. 4. Заміри виконати при різному положенні джерел штучного освітлення: змінюючи відстань та/або кут освітлення панелі(ей).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

23

4) Провести заміри напруги та струму при різних положеннях джерела штучного освітлення [6].

1.3.4 Навчальний стенд «Сонячні батареї з ухилом даху»

Навчальний стенд “Сонячні батареї з ухилом даху” призначений для проведення навчання та іспитів, що підтверджують професійну кваліфікацію за професією техніка пристроїв і систем відновлюваної енергетики (рис.1.14) (аркуш [БРМА23.00.00.000 ДО]) [7].



Рисунок 1.14 – Загальний вигляд навчального стенду «Сонячні батареї з ухилом даху»

Стенд дозволяє проводити експерименти в таких областях:

- 1) проста електрична схема;
- 2) залежність потужності сонячної батареї від кута падіння світла;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

24

- 3) вимірювання напруги холостого ходу та струму короткого; замикання (Стенд забезпечує послідовне та паралельне підключення фотоелементів);
- 4) залежність потужності сонячної батареї від кута падіння світла;
- 5) залежність потужності сонячної батареї від інтенсивності освітлення;
- 6) часткове затемнення сонячних елементів при послідовному з'єднанні;
- 7) часткове блокування сонячних елементів при паралельному з'єднанні;
- 8) частково прихований сонячний елемент;
- 9) залежність потужності сонячної батареї від температури;
- 10) монтаж і демонтаж елементів установки;
- 11) монтаж та демонтаж фотоелектричних панелей на даховому модулі.

Проаналізуючи існуючі стенди для дослідження сонячних панелей можна зробити висновок, що жоден із існуючих стендів не дає детального опису ефективності сонячних панелей. Отже, тема бакалаврської роботи є актуальним завданням для розвитку сонячної енергетики.

1.3 Висновки до першого розділу

В даному розділі здійснено аналіз розвитку сонячної енергетики. Розглянуто стан сонячної енергетики в світі, основні темпи розвитку та тенденції ринку сонячної енергетики в світі. Описано стан та перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні. Проведено огляд та аналіз існуючих стендів та установок для дослідження сонячних панелей.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		25

дільників напруги надходять на аналогові входи модуля обробки інформації, перетворюються у цифрові, обробляються і по вище описаному шляху передаються на комп'ютер.

2.2 Основні елементи стенду для дослідження сонячних панелей

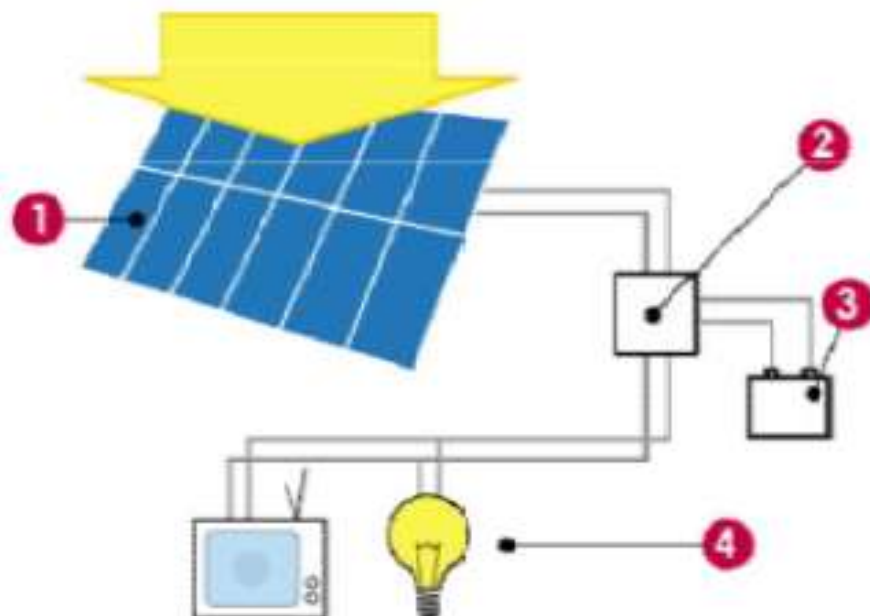
Фотоелектричні батареї мають широке застосування в електропостачанні промислових підприємств, телекомунікаційного та навігаційного обладнання, метеостанцій та військових об'єктів, а також науково-дослідних станцій. У ситуаціях, коли немає альтернативних джерел енергії, наприклад, в гірських або віддалених від населених пунктів районах, де неможливе проведення електрокабелів, встановлення фотоелектричних батарей є економічно доцільнішим варіантом порівняно з дизельними генераторами, які потребують палива та регулярного обслуговування. Фотоелектричні системи не потребують сервісного обслуговування і не забруднюють навколишнє середовище, що робить їх привабливими вибором. Важливим аспектом для сонячних систем є правильне їх встановлення.

Фотоелектричні батареї можуть бути встановлені на дахах і стінах будівель, що не порушує зовнішній вигляд будівлі та уникне великої кількості проводів, що характерні для традиційних систем енергопостачання. Сонячні системи можуть забезпечувати фасадне освітлення будинків і незалежну роботу комунальних систем, а також можуть бути використані як резервне джерело енергії у випадку несподіваного відключення електропостачання.

Для того щоб фотоелектричні батареї (фотоелектричні модулі) були надійним джерелом електроенергії, необхідно мати додаткові елементи в системі: кабелі, підтримуюча структура і, в залежності від типу системи (приєднана до мережі, автономна чи резервна), ще й електронний інвертор і контролер заряду з акумуляторною батареєю. Така система в цілому називається сонячною фотоелектричною системою, або фотоелектричною станцією.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27

Автономні системи. Автономні фотоелектричні системи (АФС) застосовуються в областях, де відсутні централізовані електричні мережі. Для забезпечення електроенергією в періоди недостатнього сонячного світла або вночі використовується акумуляторна батарея. АФС часто використовуються для постачання електроенергії окремих будинків. Невеликі системи забезпечують базове навантаження, таке як освітлення та, іноді, телевізор або радіо. Більш потужні системи можуть жити насоси для водопостачання, радіостанції, холодильники, електроінструменти та інші пристрої. Складові автономної системи включають сонячні панелі, контролери, акумуляторні батареї, кабелі, електричне навантаження та необхідну інфраструктуру (рис. 2.2) [8].

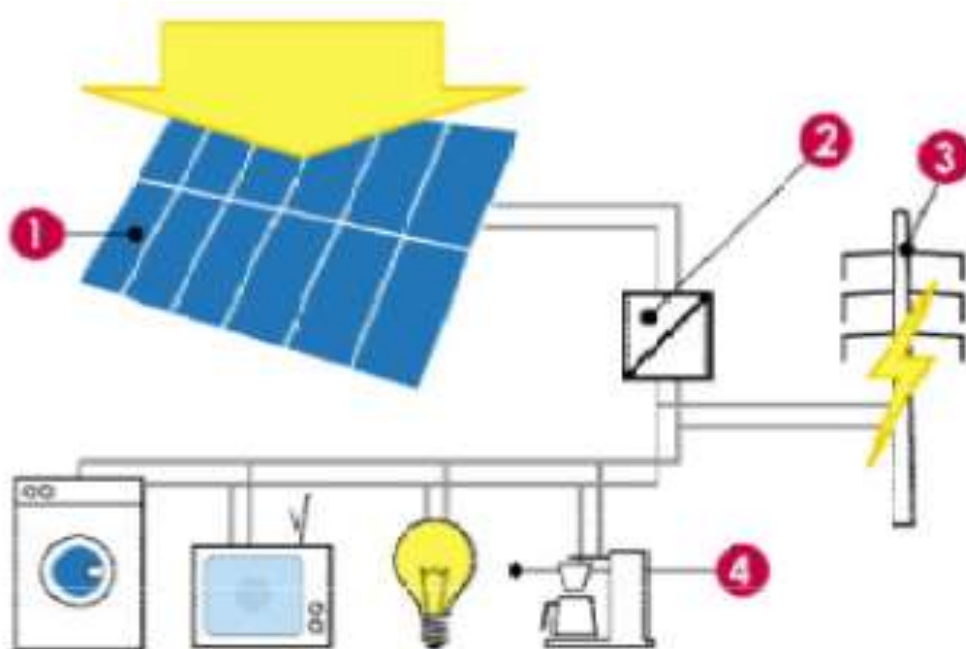


1 – фотоелектричні батареї; 2 – контролер заряду акумуляторних батарей + інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – навантаження

Рисунок 2.2 – Автономна фотоелектрична система

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Системи сонячної фотоелектричної енергії, приєднані до мережі. У випадку наявності централізованої електричної мережі, але бажання отримувати електроенергію від чистого джерела - Сонця, сонячні панелі можуть бути підключені до цієї мережі. За умови встановлення достатньої кількості фотоелектричних модулів, частина енергопостачання будинку може бути забезпечена сонячною електрикою. Приєднані до мережі фотоелектричні системи зазвичай включають один або кілька модулів, інвертор, кабелі, підтримуючу структуру та електричне навантаження (рис. 2.3).

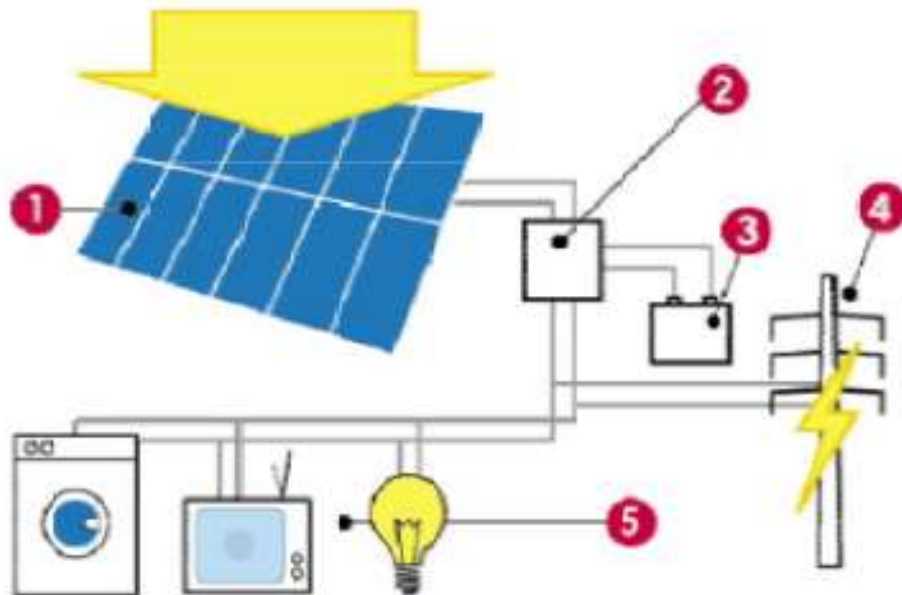


1 – фотоелектричні батареї; 2 – мережевий інвертор; 3 – мережа;
4 – навантаження

Рисунок 2.3 – Приєднана до мережі фотоелектрична система

Резервні фотоелектричні системи. Резервні фотоелектричні системи використовуються там, де є з'єднання з мережею централізованого електропостачання, але мережа ненадійна (рис. 2.4).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



- 1 – фотоелектричні батареї; 2 – контролер заряду акумуляторних батареї + інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – мережа;
5 – навантаження

Рисунок 2.4 – Резервна фотоелектрична система

Резервні системи можуть використовуватися для електропостачання в періоди, коли немає напруги в мережі. Малі резервні сонячні системи електропостачання найважливішого навантаження – освітлення, комп’ютер і засоби зв’язку (телефон, радіо, факс тощо). Більші системи можуть також забезпечувати енергією й холодильник під час відключення мережі. Чим більша потужність необхідна для живлення відповідального навантаження, і чим довші періоди відключення мережі, тим більша необхідна потужність фотоелектричної системи [9].

2.2.1 Фотоелектрична батарея

Фотоелектричні батареї будуються з модулів, виготовлених на основі кристалів кремнію. Залежно від галузі застосування, сонячні модулі можуть мати різні конструктивні рішення та різні вихідні потужності. Застосовуються

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

фотоелектричні батареї для забезпечення автономною електроенергією. Фотоелектричні батареї класифікуються по організації атомів кремнію в кристалі сонячного елемента: монокристалічні, полікристалічні і аморфні.

Монокристалічні фотоелектричні батареї виготовляються з високочистого кремнію, який широко використовується у виробництві напівпровідників. Оптимальна кількість елементів для побутових батарей з монокристалічних модулів становить 36 штук. Батареї, зроблені з монокристалічного кремнію, є найпопулярнішими. Коефіцієнт перетворення енергії (КПЕ) монокристалічних батарей становить 14-17%.

Полікристалічні фотоелектричні батареї виготовляються з кремнію, який отримують з повільного охолодження розплавленого кремнію. Цей метод є менш енергоємним і дешевим. Кремній, використаний для полікристалічних батарей, має яскраво синій колір. КПЕ полікристалічних батарей становить 10-12%.

Батареї з аморфного кремнію виготовляються методом "випарної фази". Тонкий шар кремнію відкладається на підкладку і покривається захисним покриттям. Тому такі батареї також називають тонкоплівковими. Цей метод виготовлення є простим і дешевим, але ефективність батареї значно нижча, а елементи з аморфного кремнію схильні до деградації. Тонкоплівкові батареї працюють при розсіяному сонячному випромінюванні і встановлюються на стіни будівель. КПЕ батарей з аморфного кремнію становить 5-6%. Фотоелектрична батарея представляє собою панель, вбудовану в алюмінієвий профіль (рис. 2.5).

Для нашого стенду ми обрали дві монокристалічні фотоелектричної батареї потужністю по 150 Вт кожна. Одна фотоелектрична батарея закріплена статично, а інша закріплена на трекерній системі.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		31



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд фотоелектричних батарей різного типорозміру і потужності

2.2.2 Акумуляторна батарея (АКБ)

Акумуляторні батареї великої ємності є невід'ємною складовою фотоелектричних систем і не потребують обслуговування. Такі батареї забезпечують постійну якість та збереження функціональних можливостей протягом усього зазначеного життєвого циклу. Акумулятор (від латинського "accumulator", що означає "збирач", від латинського "accumulo", що означає "збирати, нагромаджувати") - це пристрій, призначений для накопичення енергії для подальшого використання. Фотоелектричні батареї працюють тільки за наявності сонячного світла, але що робити в темний час доби або при похмурій погоді, коли робочий струм сонячного модуля значно знижується? Для цього необхідно накопичувати електричну енергію, що виробляється сонячними

модулями протягом дня, в акумуляторних батареях. Різні типи акумуляторів відрізняються кількістю циклів заряду-розряду, терміном зберігання, ємністю і розмірами, температурним діапазоном роботи, можливістю швидкої зарядки, вартістю та іншими характеристиками (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Акумуляторні батареї фотоелектричних систем

Акумуляторні батареї для фотоелектричних систем повинні відповідати певним вимогам. А саме: низький рівень саморозряду; здатність працювати в режимах глибокого розряду; робота з малими струмами заряду; робота при негативних температурах (для систем круглорічного використання); мінімальні вимоги з використання.

Акумулятори глибокого циклу є відмінними від стартерних акумуляторів, які призначені для автомобілів і не підходять для фотоелектричних систем. Стартерні акумулятори розраховані на великі струми пуску і непридатні для низькострумів розрядів, так як швидко втрачають свою ефективність. Вони також чутливі до глибокого розряду і мають високий рівень саморозряду, особливо при низьких температурах. Для фотоелектричних систем використовуються спеціалізовані акумулятори типу AGM і GEL, які зазвичай не

потребують обслуговування. Свинцево-кислотні акумулятори є найбільш поширеними, оскільки їх вартість на один кіловат-год енергії нижча, ніж у інших типах акумуляторів з такою ж ємністю. Крім того, акумулятори інших типів поступаються свинцево-кислотним акумуляторам за кліматичними характеристиками. Акумулятори AGM (абсорбуючі скляні мати) мають склотканину, що містить електроліт, у "зв'язаному" стані. Вони можуть бути використані в будь-якому положенні і зазвичай мають термін служби до 5 років, а деякі моделі навіть до 10 років. AGM акумулятори здатні витримувати розряди з різною глибиною до 200 циклів (з глибиною розряду 100%), до 350 циклів (з глибиною розряду 50%) і до 800 циклів (з глибиною розряду 30%). Вони рекомендовані для застосування в резервних системах живлення, де розряди будуть рідкісними, і при дотриманні оптимальної температури (15-25 °C) та униканні розрядження батареї, AGM акумулятори можуть прослужити заявлений виробником термін служби.

Акумулятор GEL отримав свою назву від скорочення "Gelled Electrolite" (загущений електроліт). У гелевих акумуляторах використовується сепаратор у вигляді силікагелю, який заливається між свинцевими пластинами під час виробництва. Після застигання силікагель стає твердою речовиною з багатою кількістю пор, які утримують електроліт. Через те, що силікагель повністю заповнює простір між пластинами, гелеві акумуляторні батареї майже не сиплються, уникнувши замикань та поломок. Така конструкція дозволила покращити характеристики гелевих акумуляторів, зокрема, їх циклічну стійкість та стійкість до глибокого (100%) розряду. Номінальний термін експлуатації гелевих акумуляторів, як і у технології AGM, зазвичай не відрізняється, і існують моделі з терміном служби 5 або 10 років. Проте, кількість циклів типової гелевої батареї в середньому на 50% вища. Зазвичай, типова модель акумулятора GEL може пройти до 350 циклів розряду з глибиною 100%, до 550 циклів з глибиною 50% і до 1200 циклів з глибиною 30%.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		34

Основними технічними характеристиками акумуляторів, окрім терміну служби, є вихідна напруга (як правило – 12 або 24 В) і ємність, яка визначається в ампер-годинах (А·год). Ємність акумулятора вказує, яку кількість енергії він здатний накопичити. Наприклад, якщо взяти акумуляторну батарею напругою 12В та ємністю 200А·год, її можна вистачити приблизно на 2 години роботи, при навантаженні 1 кВт [5].

При виборі акумулятора для стенду було обрано акумулятор AGM LPM 12-100 АН. Ми використовуємо 2 акумулятори такого типу з'єднаних послідовно.

Основні властивості моделі: напруга 12V, ємність 100 Ah (20 годинний цикл), робоча температура +25 °С, температура зберігання від – 20 °С до +30 °С.

2.2.3 Контролери заряду акумуляторних батарей

Контролери заряду акумуляторних батарей виконують функцію керування процесами заряду і розряду акумуляторів у фотоелектричних системах. Вони забезпечують оптимальну роботу та тривалу експлуатацію всіх компонентів системи, а також захищають її від перевантажень і коротких замикань.

Основні функції контролерів заряду включають:

- а) регулювання та відображення процесів заряду і розряду акумуляторних батарей;
- б) запобігання перезаряду акумуляторних батарей;
- в) запобігання глибокого розряду акумуляторних батарей;
- г) вимкнення або увімкнення навантаження, якщо воно підключене через контролер.

Контролер заряду акумуляторної батареї можна уявити як вентиль на водопровідному крані, оскільки його роль полягає в регулюванні потоку зарядного струму з фотоелектричних модулів до акумуляторів. В автономній системі електропостачання, що включає акумуляторні батареї, необхідно мати

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		35

контролер заряду і розряду акумуляторів. Якщо акумулятор розряджається до критичного рівня, що перевищує 50%, це значно скорочує його термін служби. З іншого боку, якщо акумулятор заряджений, але через нього продовжує протікати зарядний струм, це може спричинити надмірне нагрівання електроліту, виділення газів або пошкодження герметичності акумуляторної батареї. Тому в автономних системах електропостачання використовуються пристрої, які відключають навантаження від акумуляторних батарей, якщо вони досягають неприпустимо низького заряду, а також відключають джерело енергії (фотоелектричну батарею або генератор), коли акумулятори досягають повного заряду. Контролери заряду відрізняються алгоритмом регулювання заряду на завершальній стадії, коли досягнута необхідна напруга на зарядженій акумуляторній батареї.

Найпростіші контролери просто відключають джерело енергії (фотоелектричну батарею) при досягненні напруги приблизно 14,4 В на акумуляторній батареї з номінальною напругою 12 В (рис.2.7).



Рисунок 2.7 – Контролери заряду акумуляторних батарей фотоелектричних систем

При досягненні напруги на акумуляторній батареї (АКБ) рівня приблизно 12,5-13 В, фотоелектрична батарея або вітрогенератор знову підключаються для відновлення заряду. Під час цього процесу максимальний рівень зарядженості

АКБ досягає 60-70%. Однак при регулярному "недозаряді" відбувається значне скорочення терміну служби АКБ. Більш складні контролери мають вбудований графічний дисплей з підсвічуванням, на якому відображається інформація про стан енергосистеми, а також здатні відстежувати точку максимальної потужності, що дозволяє підвищити вироблення електричної енергії сонячними батареями навіть в похмуру погоду [5].

У стенді використовується контролер заряду сонячних батарей 12/24В MPPT 30А (рис. 2.8).

Даний контролер автоматично відстежує точку максимальної потужності (ТММ) і вибирає оптимальне співвідношення напруги і сили струму, що надається сонячною батареєю. Цей тип контролерів здатний використовувати вищу напругу з сонячних батарей і перетворювати її на оптимальну напругу для заряду акумуляторної батареї. Використання таких контролерів дозволяє максимально ефективно використовувати потенціал сонячних батарей і, в результаті, отримувати на 15-30% більше електроенергії порівняно з іншими контролерами [11].



Рисунок 2.8 – Контролер заряду сонячних батарей 12/24В MPPT 30А

Основні технічні характеристики контролера заряду сонячних батарей 12/24В MPPT 30А такі:

- 1) Номінальний робочий струм: 30 А.
- 2) Максимальна напруга від сонячних панелей: менше 48 В.
- 3) Номінальна робоча напруга: 12 В або 24 В (автовибір).
- 4) Напруга відключення заряду акумуляторної батареї: 13.8 В / 27.6 В.
- 5) Напруга відключення навантаження: 10.7 В / 21.4 В.
- 6) Напруга відновлення живлення навантаження: 12.5 В / 25.0 В.
- 7) Робоча температура: від -10°C до +60°C.
- 8) Температура зберігання: від -30°C до 70°C.
- 9) Власне споживання: менше 15 мА.
- 10) Падіння напруги: менше 0.16 В.
- 11) Компенсація температури, при 25°C: -4 мВ/°C (для 12 В) / -8 мВ/°C (для 24 В).
- 12) Вага: 475 г.
- 13) Габаритні розміри: 143 x 89 x 461 мм.

MPPT контролери є останнім словом технології у сфері контролю заряду та використовують найкращу технологію для ефективного відбору енергії від фотомодуля. MPPT розшифровується як "Maximum power point tracker" - це система, яка постійно моніторить струм і напругу, з якими заряджається акумуляторна батарея (АКБ). Вона аналізує значення цих параметрів і вибирає оптимальну комбінацію "струм-напруга", при якій досягається максимальна потужність сонячної панелі. Завдяки застосуванню MPPT контролерів, енергія, отримана від сонячної батареї, збільшується на 15-30% у порівнянні з використанням простого контролера. Для визначення точки максимальної потужності, контролер послідовно знижує напругу від нульового струму сонячного модуля до напруги на АКБ і обчислює відповідну пару "струм-напруга". Найбільша комбінація "струм-напруга" визначає точку максимальної потужності [11].

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		38

2.2.4 Інвертор напруги

Інвертори напруги – це перетворювачі постійного струму напруги 12, 24, 36 або 48 В у змінний струм напруги 220 В з промисловою частотою 50 Гц. Джерелами постійного струму є акумуляторні батареї, фотоелектричні батареї або вітрогенератори. Інвертор використовує енергію однієї або декількох акумуляторних батарей [12].

Батареї потребують періодичного заряджання, яке може здійснюватися з допомогою дизель-бензо-газогенератора, підключення до загальної мережі або використання альтернативних джерел енергії. Одним з найпростіших і поширених застосувань інвертора є використання його як резервного або аварійного джерела напруги 220 В. Підключаючи інвертор до акумуляторної батареї і включаючи пристрої в розетку 220 В на корпусі інвертора, ми можемо жити практично будь-який електроприлад та освітлювати всі приміщення в будинку. Це дає змогу використовувати електроприлади в місцях, де немає сталого джерела електроенергії.

У ситуаціях, коли в центральній електромережі є напруга, акумуляторні батареї заряджаються від фотоелектричних батарей. Однак, як тільки постачання електроенергії з центральної мережі переривається, активується автономна система електропостачання. Інвертор перетворює струм з акумуляторних батарей, що дозволяє повністю або частково замінити центральне енергопостачання на автономне. Звичайні інвертори, які підключені до систем стаціонарного електропостачання, працюють у такий спосіб. Після відновлення постачання електроенергії з центральної мережі розряджені акумуляторні батареї знову заряджаються від сонячних панелей. Після повного заряду акумуляторів, сонячні модулі стають непотрібними, оскільки вони не мають куди витратити згенеровану електроенергію.

Гібридні інвертори не тільки дозволяють заряджати акумуляторні батареї, але й використовувати "зайву електроенергію", вироблену сонячними модулями

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		39

або іншими альтернативними джерелами електропостачання, направляючи її в загальну мережу. Встановлення змішаної системи, яка включає в себе як відновлювальні джерела енергії, так і підключення до промислової мережі, з гібридним потужним інвертором, стає все більш поширеним явищем. Така система на сьогодні є найперспективнішою (рис. 2.9) [5].



а



б

Рисунок 2.9 – Інвертори напруги фотоелектричних систем:

а – автономні; б – гібридні

За формою вихідного сигналу перетворювачі напруги розділяються на перетворювачі з:

- 1) чистою синусоїдою (рис. 2.10, а);
- 2) з модифікованою синусоїдою (рис. 2.10, б);
- 3) з псевдосинусоїдою (рис. 2.10, в).

Синусоїдальні інвертори (форма сигналу яких відповідно є синусоїдальною), генерують електроенергію високої якості. Сфера використання: електродвигуни, трансформатори тощо.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

40



Рисунок 2.10 – Форма вихідного сигналу перетворювача напруги:
 а – чиста синусоїда; б – модифікована синусоїда; в – псевдосинусоїда

Інвертори з прямокутною формою вихідної напруги мають низькі технічні характеристики і є найдешевшими пристроями на ринку. Вони мають обмежену сферу застосування, наприклад, використовуються головним чином в системах освітлення.

Інвертори з псевдо синусоїдальною формою вихідної напруги представляють компромісне рішення між прямокутною формою і чистим синусом. Сигнал, що вони генерують, наближений до чистої синусоїди, і вони придатні для живлення різноманітного побутового обладнання.

У нашому стенді використовується інвертор моделі 600 Вт DC to AC Pure Sine Wave Inverter (рис. 2.11). На передній панелі пристрою розміщені індикатори, які відображають режим роботи, розетка для підключення електричних приладів, перемикач увімкнення і USB-порти. Інвертор постійно охолоджується за допомогою вентилятора, розташованого на задній панелі. Також на задній панелі є клеми для підключення кабелю від акумулятора. Прилад автоматично вимикається при низькому вхідному або падінні вихідної напруги. Крім того, інвертор має надійний тепловий захист, який активується при температурі вище 45°C, а також захист від перевантаження та короткого замикання на виході [13].



Рисунок 2.11 – Інвертор моделі 600 Watt DC to AC Pure Sine Wave Inverter

Технічні характеристики інвертора:

- 1) Вихідний сигнал: чиста синусоїда;
- 2) Пікова потужність на виході: 1200 Вт;
- 3) Постійна потужність на виході: 600 Вт;
- 4) Частота: 50 Гц;
- 5) Струм без навантаження: менше 0,8 А;
- 6) Ефективність перетворення: більше 90%;
- 7) Вхідна напруга постійного струму: 12 В;
- 8) Діапазон вхідної напруги постійного струму: від 9 В до 15,5 В;
- 9) Вихідна напруга змінного струму: 220 В;
- 10) Діапазон вихідної напруги змінного струму: від 210 В до 240 В;
- 11) Сигналізація про н.напругу: 10 В постійного струму з точністю $\pm 0,5$ В;
- 12) Вимкнення при н. напрузі: 9 В постійного струму з точністю $\pm 0,5$ В;
- 13) Захист від перевантаження: вимкнення виходу;
- 14) Вимкнення через високу напругу: 15,5 В.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

42

2.3 Розробка електричної принципової схеми стенду для дослідження ефективності сонячних панелей

Для вимірювання напруги ми використовуємо дільник напруги, оскільки допустимий рівень напруги, який можна подати на процесорний модуль, становить 5 В, нам потрібно виміряти 24 В на акумуляторі та 220 В у мережі. Тому на кожній електростанції використовується два сепаратори. Ці дільники напруги сконструйовані найпростіше з використанням двох резисторів (R1-R8) (рис. 2.13). Їх слід розрахувати таким чином, щоб на модуль обробки інформації надходило близько 2,5 В, тому на нижній лінії ми ділимо на коефіцієнт приблизно 10, а на верхній лінії ділимо на коефіцієнт 100. Але на лінії високої напруги ми вимірюємо змінний струм, для обробки нам потрібен постійний струм, тому ми використовуємо діодний міст (VD5, VD6). Для захисту основного модуля ми встановили діоди VD1-VD4, якщо напруга буде вище 4,5В, то діод буде включений, і струм піде через нього, а не на плату (рис.2.13).

При розробці електричної принципової схеми ми керувались вимогами які були поставлені до стенду, тобто які параметри ми маємо вимірювати. Модулем збору та обробки інформації виступає мікроконтролера Arduino UNO. Всі дані з вимірювальних пристроїв поступають на цей модуль. Для вимірювання струму застосовано датчики ACS712 (DA1- DA4). Для їх коректної роботи потрібно під'єднати два конденсатори відповідної ємності (C1 – C8), вони виконують роль своєрідного фільтра. Для вимірювання напруги ми використовуємо дільники напруги так як допустимий рівень напруги який можна подавати на модуль обробки складає 5В, а нам потрібно вимірювати 24в на акумуляторі і 220в в мережі. Тому використовуються по два дільникв на кожену електростанцію. Ці дільники спроектовані найпростішим способом, тобто використано по два резистори (R1- R8). Вони розраховані таким чином щоб на модуль обробки інформації поступало приблизно 2,5в, тому на лінії низької напруги ми ділимо приблизно у 10 разів а у лінії високої напруги ділимо у 100 разів. Але на лінії

високої напруги ми вимірюємо змінний струм а для обробки нам потрібно постійний тому ми використали діодні мости (VD5, VD6). Для захисту головного модуля ми встановили діоди VD1- VD4 таким чином що якщо напруга буде вище 4,5в то діод відкриється і струм потече через нього а не на плату.

Ми обираємо модуль загального призначення LM2569 для живлення Arduino. На вхід цього модуля ми подаємо напругу від акумулятора, тобто 24В. За допомогою потенціометра регулюємо напругу і отримуємо на виході 5В. Плюсова клемка живлення забезпечує вихід номер 5 основного модуля.

Ми використовуємо модуль WiFi (DD2) для полегшення обробки отриманих даних і можливості перегляду даних на веб-сайті. Оскільки цей модуль є низьковольтним (Low Voltage) за структурою, ми використовуємо компонент AMS1117 (VT1). Отже, ми живимо модуль бездротової передачі даних, знижуючи напругу з 5 вольт до 3,3 вольт. Щоб мати можливість скинути модуль, підтягуємо його до нуля за допомогою резистора R9 і кнопки S1. При натисканні кнопки струм через резистор дорівнює нулю.

Схема електрична принципова представлена на рисунку 2.12 (аркуш [БРМА23.00.00.000 Е3]).

Дані з модуля обробки та збору інформації передаються на модуль WiFi по двох каналах. Дані з модуля передачі даних поступають через роутер і мережу Інтернет до ПК, де ми можемо здійснювати з ними будь які операції.

Складним етапом є написання програми для керування всіма процесами мікроконтролера. Для програмування і завантаження відкомпільованого файлу ми використовували безкоштовний додаток Arduino.

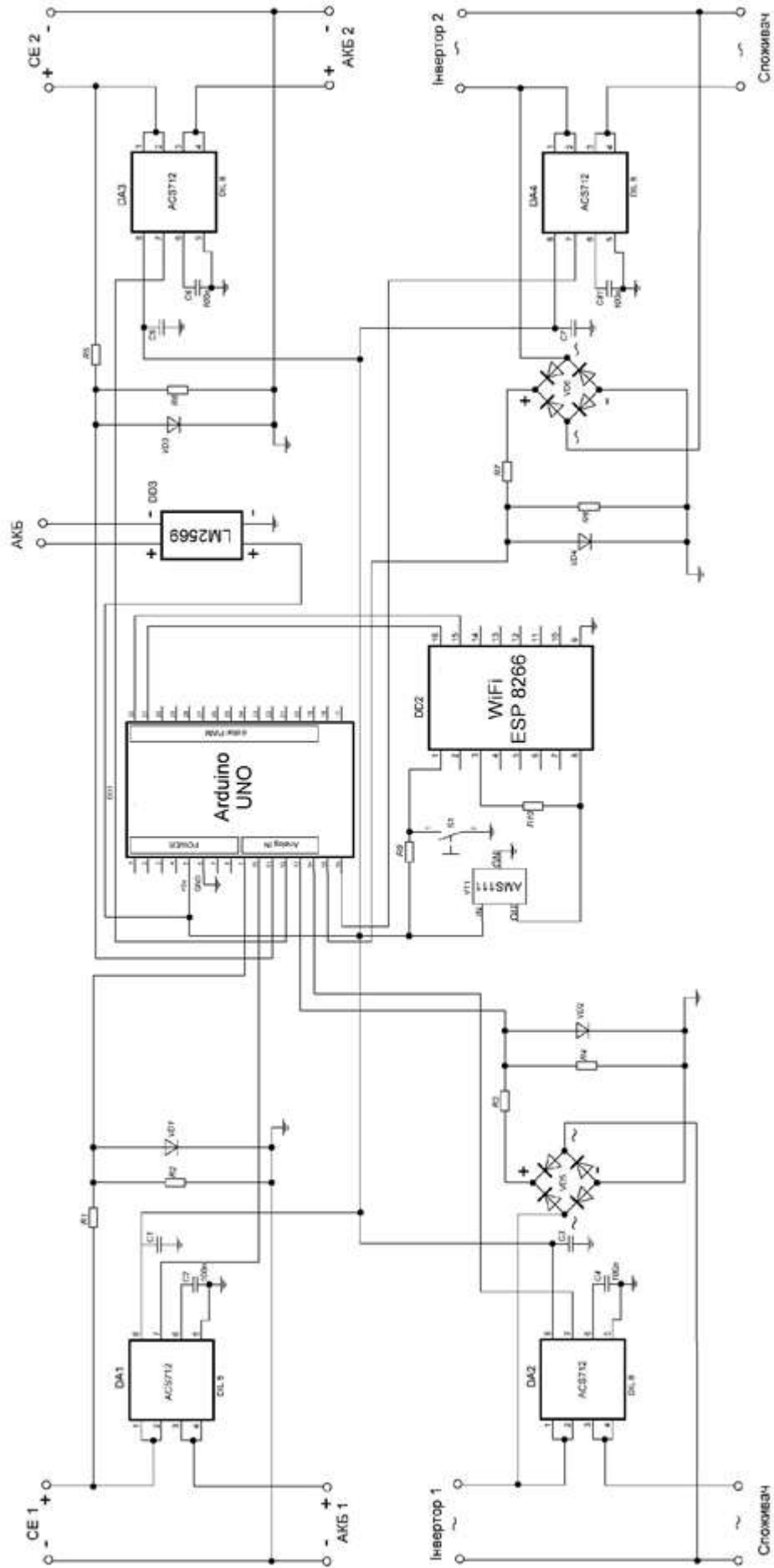


Рисунок 2.12 - Схема електрична принципова стенду

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

45

2.4 Загальний вигляд стенду для дослідження ефективності сонячних панелей

Дослідження ефективності сонячних панелей відбувається за допомогою стенду представленого на рисунку 2.13 (аркуш [БРМА23.00.00.000 ДІ]).

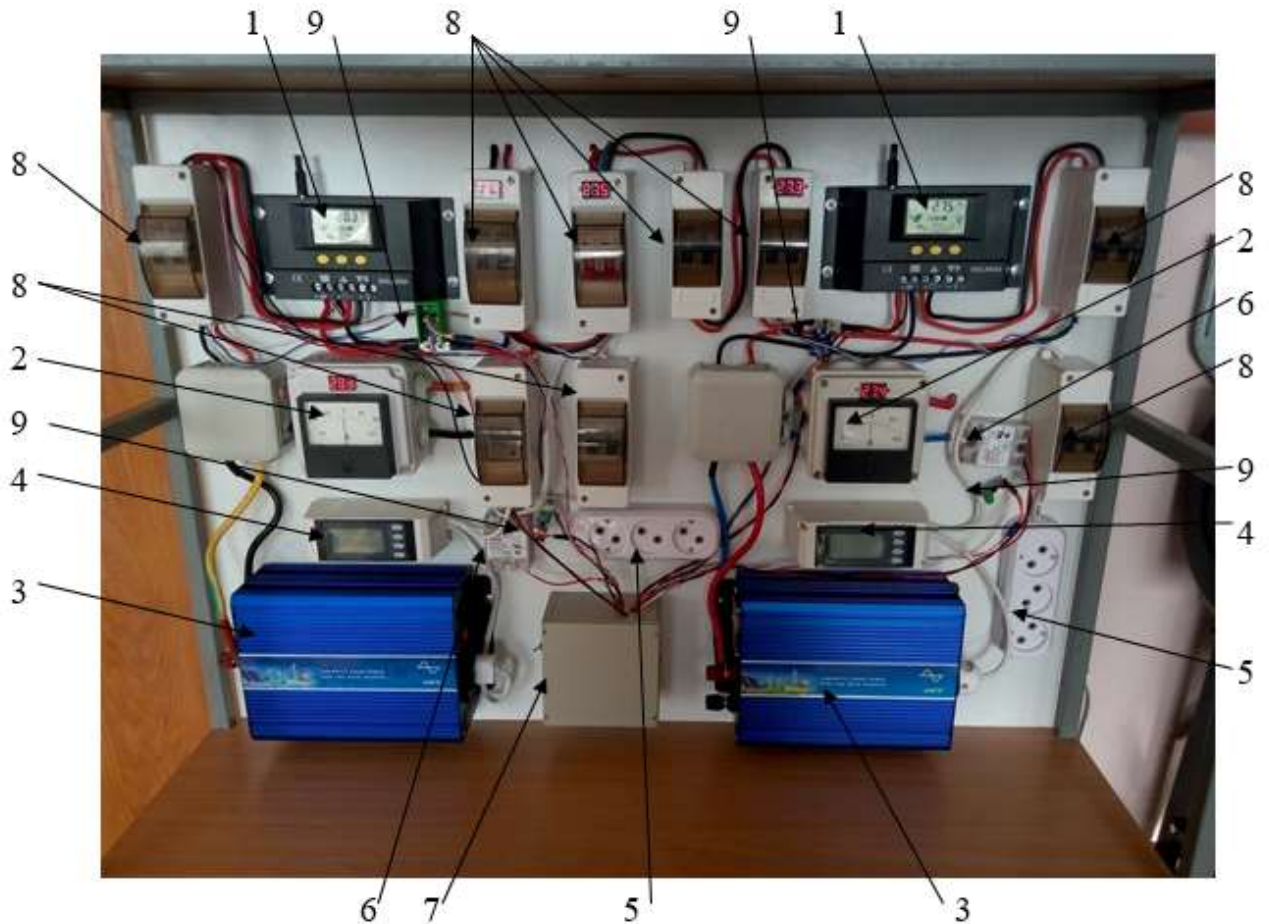


Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд експериментального стенду

Стенд для дослідження ефективності сонячних панелей складається із: 1 – контролер заряду акумуляторної батареї; 2 – амперметр; 3 - інвертор; 4 – контролер (містить вбудований дисплей для відображення струму, і напруги на виході); 5 – розетка для підключення навантаження; 6 – твердотіле реле; 7 – модуль збору та обробки інформації з вбудованим блоком живлення; 8 –

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

46

електричний вимикач із захистом від перенавантаження і короткого замикання (к.з); 9 – датчик струму.

Система моніторингу ефективності сонячних мініелектростанцій з трекерною та стаціонарною системою розміщення панелей дає можливість: в автоматичному режимі здійснювати візуалізацію параметрів; проводити обробку даних у реальному часі; формувати бази даних та здійснювати порівняльний аналіз їх експлуатаційної ефективності; дистанційно відслідковувати параметри, що знімаються з будь-якої точки світу. Система дає можливість провести порівняння ефективності роботи сонячних панелей.

Для забезпечення рівних умов вимірювання, сонячні панелі двох мініелектростанцій знаходяться поруч, але тінь від панелей не падає одна на одну. При проведенні експериментальних досліджень трекерна система та система збору даних працюють в автоматичному режимі. Дані з фотомодулів автоматично знімаються та передаються на сервер для побудови графіків.

Для оцінки ефективності у чисельному вигляді використовується формула (1.1) відсоткової різниці між двома числами:

$$a > b = ((a - b) / a) \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

де a – значення першого числа; b – значення другого числа.

В результаті розрахунків отримується відсоткове значення, що показує наскільки одна із сонячних електростанцій ефективніша за іншу за певний проміжок часу.

2.5 Розробка трекерної системи для сонячних панелей

Труднощі використання енергії Сонця фотоелектричною панеллю створює сезонна та добова нерівномірність надходження сонячної енергії.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		47

Нерівномірність надходження енергії може бути викликана Сонцем, погодними умовами, а також добовим ходом Сонця на небосхилі. Ефективне використання сонячної енергії фотоелектричною панеллю залежить від її орієнтації в просторі. Це забезпечить мінімальне відхилення кута падіння сонячних променів до нормалі фотоелектричної панелі протягом року та світлового періоду доби [14].

Існують два основних типи систем кріплення сонячних панелей: статична і динамічна.

У статичній системі орієнтація і нахил сонячних модулів за відношенням до Сонця залишаються постійними. Ідеально, сонячні модулі мають бути орієнтовані на південь, оскільки це забезпечує максимальне освітлення протягом дня. У разі неможливості, їх можна встановити на південно-західний або південно-східний напрямки. Кут нахилу також впливає на продуктивність сонячних панелей і встановлюється відповідно до місцевості, де розташована сонячна електростанція [15].

Один із найефективніших способів підвищення електричної продуктивності фотомодулів - це використання динамічних систем кріплення та трекерів, які слідкують за Сонцем. Рухомі трекери мають перевагу в тому, що сонячні батареї, розміщені на них, автоматично слідкують за Сонцем протягом дня, змінюючи кут нахилу в залежності від пори року. Це значно підвищує коефіцієнт корисної дії системи і збільшує виробництво електроенергії порівняно з нерухомими сонячними панелями [15, 16]. Вибір типу трекера залежить від багатьох факторів, включаючи розмір установки, електричних параметрів, земельних обмежень, широти і місцевих погодних умов.

Серед найбільш уживаних систем орієнтації панелей можна виділити наступні: неперервно-слідкуючі з датчиками положення Сонця та неперервно-або дискретно-слідкуючі з програмним управлінням [14]. Крім того, за положенням осі повороту вони можуть бути виконані одноосьовими або двохосьовими [15].

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

Існують два типи трекерів: одновісні і двовісні трекери. Одновісні трекери мають одну ось обертання, яка зазвичай орієнтована уздовж північ-південь. Застосовуються алгоритми стеження, що дозволяють їх орієнтувати у будь-якому напрямку.

Двовісні трекери мають дві осі обертання, які працюють незалежно одна від одної. Основна вісь фіксується відносно Землі, а вторинна вісь рухається паралельно до неї. Модулі сонячних панелей на двовісних трекерах орієнтовані вертикально і горизонтально, що дозволяє отримати оптимальну кількість сонячної енергії.

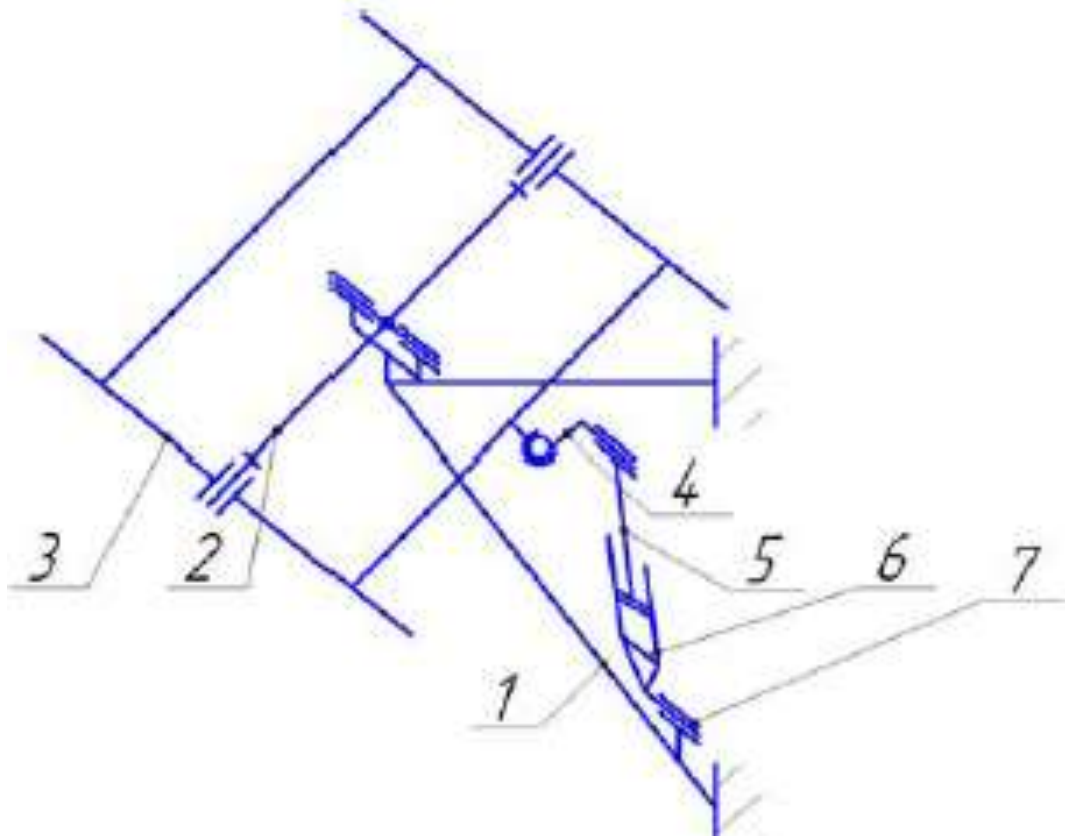
Використання динамічних систем кріплення, таких як трекери, має безліч переваг. Розроблено слідкуючу трекерну систему, яка суттєво підвищує продуктивність сонячних панелей і дозволяє досліджувати їх параметри.

У зв'язку з розвитком електроприводів та силової електроніки усе частіше у фотоелектричних установках використовують динамічні автоматичні системи наведення фотомодулів на Сонце, які забезпечують збільшення їх продуктивності, за різними джерелами, від 25 до 47 % [17, 18]. Перевага таких систем наведення полягає в тому, що розміщені на них сонячні батареї автоматично рухаються за Сонцем протягом дня і змінюють кут нахилу в залежності від пори року. Це значно збільшує виробництво електроенергії в порівнянні з стаціонарно (нерухомо) закріпленими сонячними батареями за рахунок падіння сонячних променів під кутом 90° на площину панелі на протязі світлового дня, веде до генерування максимальної енергії, що забезпечить, в свою чергу, максимальну енергетичну ефективність сонячних панелей.

Аналіз технічної літератури показав, що найбільше генерування енергії відбувається, коли трекерна система повертає сонячні панелі на максимальний кут в площині азимуту. Зенітальний кут нахилу фотомодулів в залежності від пори року не суттєво впливає на вироблення електричної енергії. Тому його можна виставляти оптимальним для певної місцевості для всіх пор року однаковим, або регулювати вручну. Використання додаткового актуатора для

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		49

змогу суттєво здешевити і спростити конструкцію, що в свою чергу зменшило строк окупності установки без суттєвих втрат коефіцієнту корисної дії.



1 – рама з підкосом; 2 – вісь трекера;
4 – поворотний стіл; 5 – шток привода; 6 – корпус привода; 7 – шарнір
Рисунок 2.15 - Кінематична схема трекера виконавчого механізму

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

51

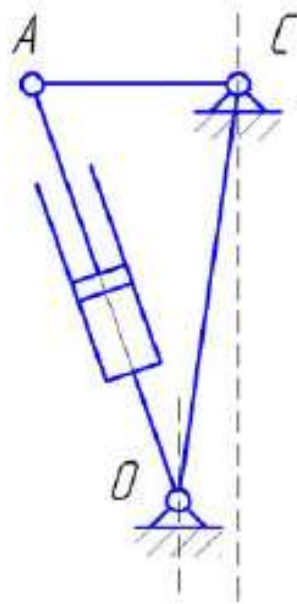


Рисунок 2.16 - Кінематична схема виконавчого механізму

З метою максимальної освітленості в світловий період доби статична і динамічні системи були встановлені строго на південь з однаковим кутом нахилу в площині zenіту. Загальний вигляд встановлених фотомодулів приведено нижче (рис.2.17). В статичній і динамічній сонячних електростанціях використано по дві сонячних панелі потужністю 150 Вт кожна.



1 - статично; 2 - динамічно

Рисунок 2.17 - Загальний вигляд встановлених фотомодулів

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

52

2.4 Висновки до другого розділу

В даному розділі розроблено структурну та електричну принципову схему стенду для дослідження ефективності сонячних панелей. Здійснено аналіз основних приладів, які використовуються для конструювання стенду для дослідження ефективності сонячних панелей. Розроблено стенд для дослідження ефективності сонячних панелей. Розроблено трекерну систему для проведення експерименту з використанням стенду для дослідження ефективності сонячних панелей.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

3.1 Підбір основних компонентів системи вимірювання стенду для дослідження ефективності сонячних панелей

Як зазначено раніше, для збору та обробки інформації у нашій структурній схемі ми використали мікроконтролер Arduino Uno (див. рис. 3.1). Arduino Uno є популярною відкритою платою мікроконтролера, яка базується на мікроконтролері ATmega328P. Вона містить всі необхідні компоненти для зручної роботи з мікроконтролером, зокрема 14 цифрових входів/виходів (6 з них можуть використовуватися як ШІМ-виходи), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на частоті 16 МГц, USB-порт, роз'єм живлення, ICSP-порт для програмування та кнопку скидання. Для початку роботи з пристроєм достатньо просто підключити його до джерела живлення, такого як AC/DC-адаптер або батарейка, або підключити до комп'ютера за допомогою USB-кабелю [19].



Рисунок 3.1– Мікроконтролер Arduino Uno

Технічні характеристики мікроконтролера вказані в таблиці 3.1

Таблиця 3.1– Характеристики Arduino Uno

№ з/п	Параметр	Величина
1	Мікроконтролер	ATmega328
2	Напруга живлення	5 В
3	Вхідна напруга (рекомендуємо)	7-12 В
4	Вхідна напруга (максимальна)	6-20 В
5	Цифрові Входи/Виходи	14 (6 із яких можуть використовуватись як виходи ШИМ)
6	Аналогові входи	6
7	Постійний струм через вхід/вихід	40 мА
8	Постійний струм для виходу 3.3 В	50 мА
9	Флеш - пам'ять	32 Кб (ATmega328)
10	ОЗУ	2 Кб (ATmega328)
11	EEPROM	1 Кб (ATmega328)
12	Тактова частота	16 МГц

Arduino Uno може бути живлено через USB або зовнішнє джерело, залежно від обраного типу живлення.

Якщо використовується зовнішнє джерело живлення (не USB), то це може бути мережевий АС/DC-адаптер або акумулятор/батарея. Для підключення адаптера необхідно вставити штекер (діаметром 2.1 мм, з позитивним центральним контактом) у відповідний роз'єм живлення на платі. У випадку живлення від акумулятора/батареї, дроти необхідно під'єднати до виводів Gnd і Vin роз'єму POWER [19].

Напруга зовнішнього джерела живлення може коливатися в діапазоні від 6 до 20 В. Проте, зниження напруги нижче 7 В призводить до зменшення вихідної напруги 5V, що може призвести до нестабільної роботи пристрою. Використання напруги понад 12 В може спричинити перегрів стабілізатора

приладів. Він може бути реалізований на різних елементах, в залежності від того чи іншого схемного рішення. Тільки принцип його роботи залишається незмінним - відповідно до закладених у нього коефіцієнтів, він перетворює сигнал від вимірювального трансформатора або іншого пристрою в сигнал напруги, що гармонує з рештою ланцюга.

Датчики струму відомі своєю роботою в колах змінної та постійної напруги. Для змінної напруги як вимірювальні елементи зазвичай використовують трансформатори струму. Це безконтактний прилад, який контролює стан керованої ланцюга живлення. Сигнал від нього надходить на датчик струму, призначення якого - масштабувати отриманий сигнал схемою управління [21].

Ситуація дещо інша, якщо ми маємо справу з постійними або повільно змінними в часі параметрами. Наведений вище метод не працюватиме в цьому сценарії, оскільки на його виході ми матимемо лише динаміку вимірних параметрів. Зазвичай в таких схемах використовується спеціальний шунт, який має більш високий опір щодо решти ланцюга. Встановлюється безпосередньо на виробничій лінії. У цьому випадку знімається падіння напруги в цій зоні, яке буде живити датчик постійного струму. Оскільки вхідний ланцюг у цій схемі має високий потенціал, датчик може виконувати кілька функцій одночасно.

Типова схема, за якою працює такий датчик струму, складається з генератора високочастотних імпульсів, роздільника і трансформатора. Сигнал вимірювання перетворюється за допомогою генератора і відповідних ключів, зазвичай встановлених на польових транзисторах. Перетворена таким чином змінна напруга передається на окремий трансформатор. Потім фільтруйте та посилюйте відповідно до коефіцієнта, встановленого під час розробки.

Шунти використовуються через їх низьку вартість і потенційно високу точність вимірювання. У той же час, однак, ви повинні миритися із відносно великим розсіюванням потужності та відсутністю гальванічної розв'язки між ланцюгом живлення та вихідним сигналом. Крім того, недорогі шунти мають

значну паразитну індуктивність, що не дозволяє використовувати їх на високих частотах. Спеціальні шунти з низькою індуктивністю, що працюють на високих частотах понад 500 кГц, є дорогими. Зазвичай вихідний сигнал шунта необхідно додатково посилити за допомогою зовнішньої схеми. У цьому випадку можуть виникнути труднощі з великими синфазними напругами на шунтах, і необхідно використовувати, наприклад, операційні підсилювачі з гальванічною розв'язкою.

Ще один широко поширений метод вимірювання струму заснований на використанні ефекту Холла. Основними перевагами датчиків на основі ефекту Холла є дуже малі власні втрати енергії, повна гальванічна розв'язка та вимірювання електрично ізольованої потужності, змінного та постійного струмів до кількох тисяч вольт. Їх потенційні недоліки порівняно з шунтами зводяться до обмеженого діапазону частот, постійного зміщення вихідної напруги та необхідності зовнішнього джерела живлення [22].

Ще один недорогий прийом - за допомогою трансформатора струму - дозволяє вимірювати тільки змінний струм. Найпростіші трансформатори розроблені для вузьких частотних діапазонів, але вони все ще дорожче шунтів і датчиків Холла. Проте трансформатори струму мають багато переваг: відсутність зміщення вихідної напруги при нульовому струмі, гальванічна розв'язка та відсутність потреби у зовнішньому джерелі живлення.

Найзручніше використовувати датчик, який є конструктивно і функціонально завершеним, включаючи всі необхідні струмочутливі елементи і ланцюги для перетворення і посилення вимірюваного сигналу. Часто виникає необхідність вимірювати струм, що протікає через датчик з різних напрямків. Тому найбільшу увагу привернув датчик струму на основі ефекту Холла компанії Allegro Microsystems Inc [23].

Цікаве рішення для створення компактних, простих у використанні датчиків струму запропонувала американська компанія Allegro Microsystems. Інновація полягає в тому, що всі компоненти датчика - провідник, по якому протікає вимірюваний струм, датчик Холла і схеми підсилення та корекції

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

вимірюваного сигналу - об'єднані на одній мікросхемі. Інженери компанії створили два конструктивні типи датчика з різним максимальним вимірювальним струмом: ACS75x (рис. 3.3, а) і ACS70x (рис. 3.3, б).



Рисунок 3.2 – Інтегральні датчики струму компанії Allegro

У підгрупі датчиків, призначених для вимірювання великих струмів, виділяються два нових сімейства: двонаправлений датчик ACS754 та його однонаправлений аналог - сімейство ACS755.

Структурна схема цих датчиків показана на рисунку 3.3. Пристрій містить високоточну сенсорну схему Бігмосса Холла з малим зміщенням, концентратор магнітного потоку (ферит) і провідник великого перерізу з безкисневої міді поблизу кристала. Струм, що проходить через провідник, створює магнітне поле, яке впливає на інтегральну схему датчика Холла, вихідний сигнал якої посилюється і надходить на вихід датчика струму [24].

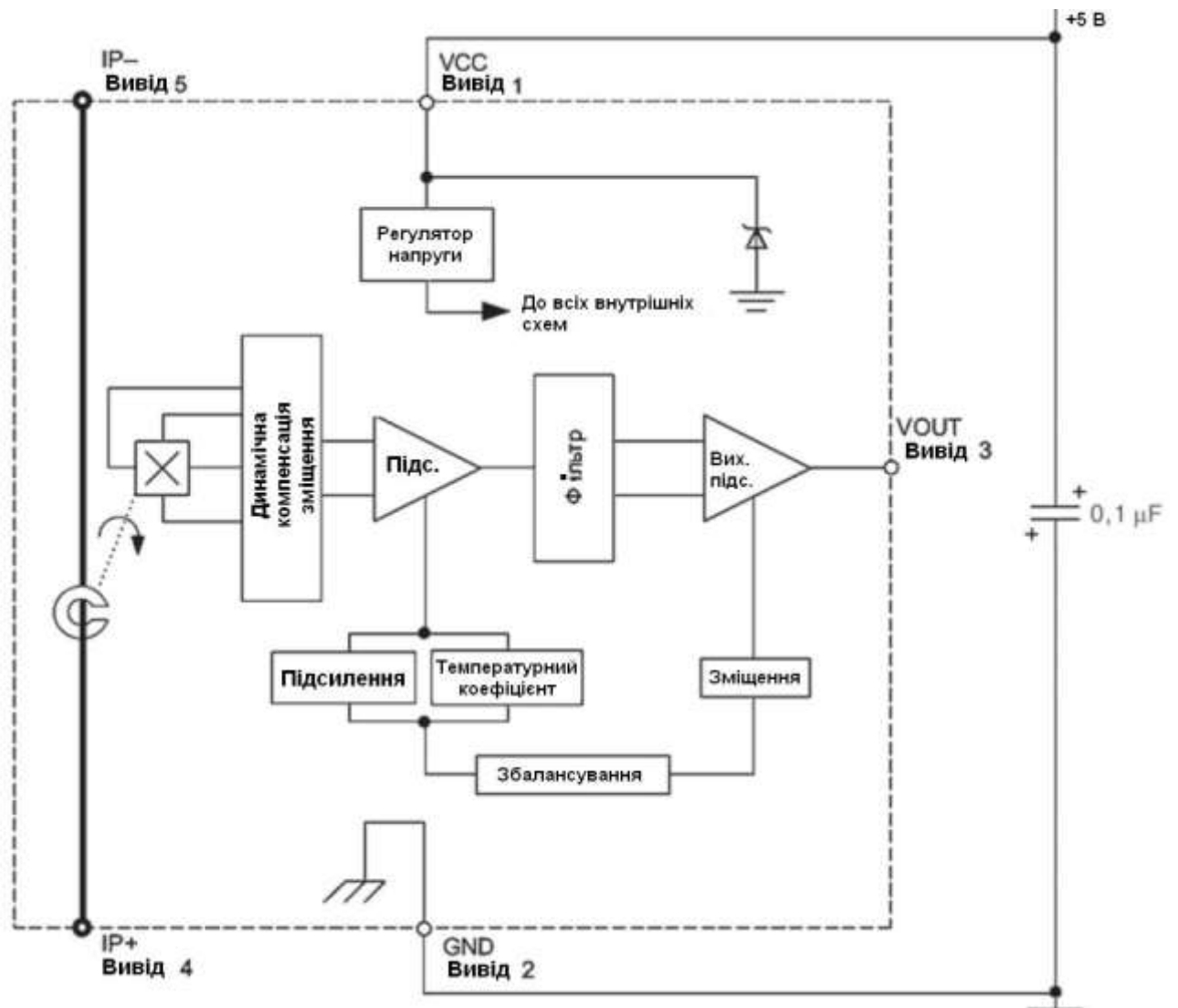


Рисунок 3.3 – Структурна схема датчиків струму серії ACS75x

Для підвищення точності вимірювання датчик Холла розташовують якомога ближче до мідного провідника, який витримує п'ятикратне перевантаження по струму. Наприклад, в датчику ACS754SCB-200 внутрішній опір цього провідника становить приблизно 100 мкОм. За відсутності струму вихідна напруга односпрямованого датчика ACS755 дорівнює нулю, тоді як вихідна напруга датчиків сімейства ACS754 становить половину напруги живлення. Тільки датчики серії ACS750/752/754/758 здатні вимірювати струм в

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

обох напрямках. Вихідний сигнал 0...5 В можна підключити безпосередньо до входу АЦП. Зовнішній вигляд датчика показано на рисунку 3.4 [25].



Рисунок 3.4 – Датчик струму ACS712ELCT-20A-T

Нами було вибрано датчики фірми «Allegro» марки ACS712, і відповідно підібрані по струму. Для виміру струму після сонячних панелей обраний датчик ACS712ELCT-20A-T (рис 3.5.), технічні характеристики приведені нижче:

- 1) діапазон вимірюваних струмів - ± 20 А;
- 2) однополярне живлення 5 В;
- 3) споживаний струм 10 мА;
- 4) вихідний опір 1 Ом при вихідному струмі 1,2 мА;
- 5) опір первинного провідника 0,1 мОм;
- 6) частотний діапазон 0...120 кГц;
- 7) максимальна напруга живлення 16 В;
- 8) сукупна помилка на виході у всьому діапазоні $\pm 1\%$.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

61

3.2 Проведення експериментальних досліджень, що підтверджують працездатність стенду для дослідження ефективності сонячних панелей

Перші досліди були проведені в сонячні та майже безхмарні дні (5 та 6 червня 2023 року). Вимірювання величин здійснювалось з інтервалом у 5 хв. На рисунках 3.5 та 3.6 наведені отримані графіки із WEB-сторінки для двох мініелектростанцій.

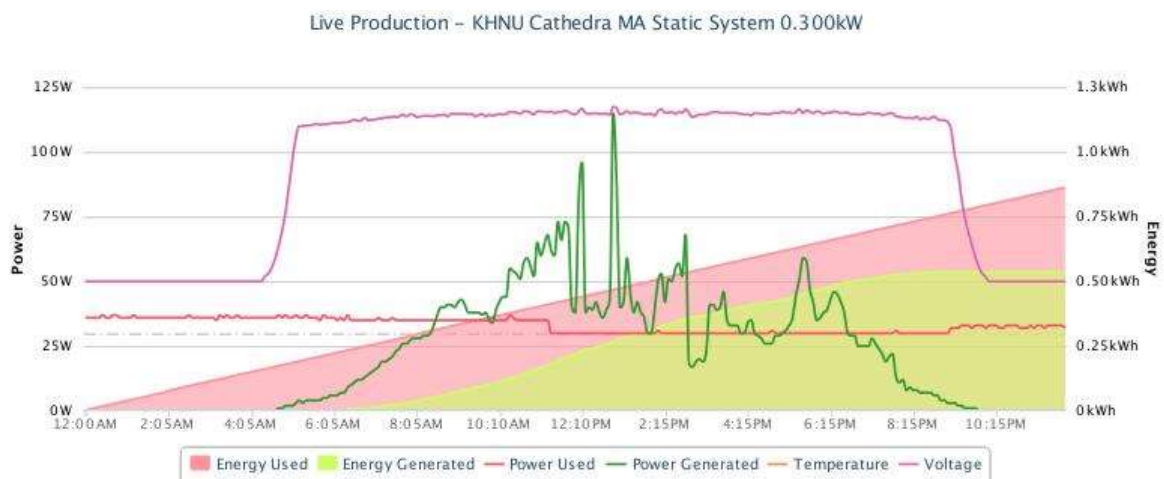


Рисунок 3.5 - Графік виробленої і спожитої електричної енергії статичної сонячної електростанції на 05.06.2023р.

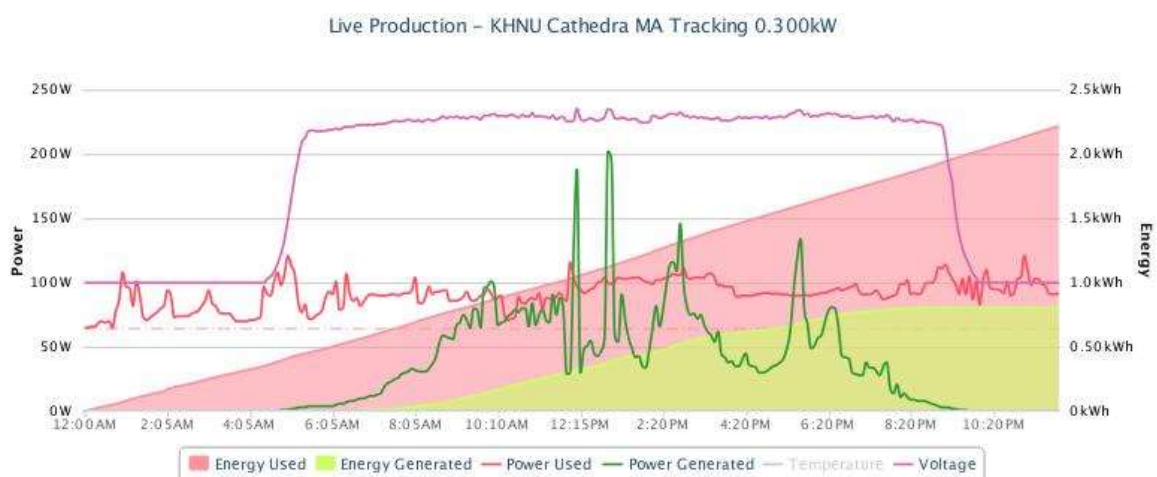


Рисунок 3.6 - Графік виробленої і спожитої електричної енергії трекерної сонячної електростанції на 06.06.2023р.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

62

Всього за світловий день статичною системою було вироблено 0,537 кВт/год. Пікова потужність о 12:55 склала 112 Вт. За добу трекерною системою було вироблено 0,806 кВт/год. Пікова потужність о 12:55 склала відповідно 202 Вт.

Для порівняння було побудовано суміщений графік виробленої електричної енергії двох електростанцій (рис. 3.6). Використавши формулу (1.1), було розраховано ефективність трекерної системи, що склала 33,37 %.

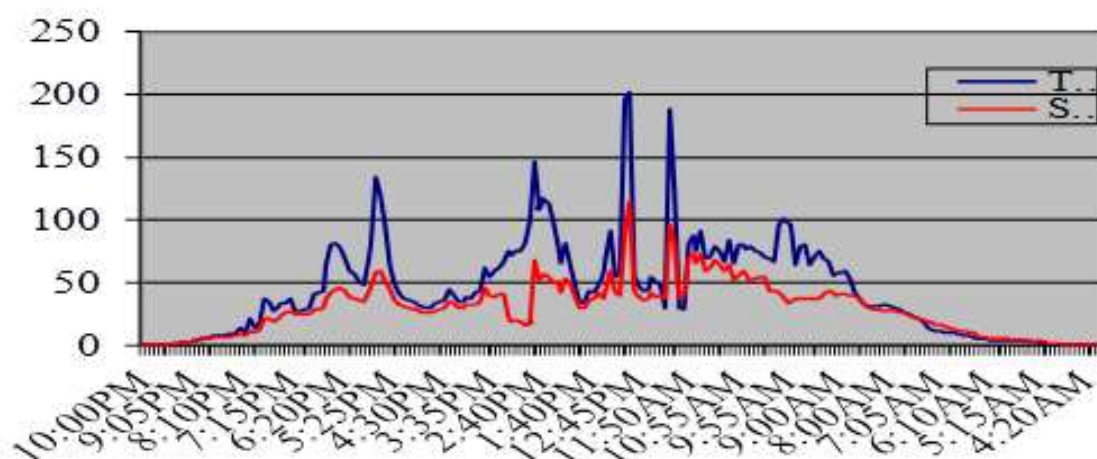


Рисунок 3.6 - Суміщений графік виробленої електричної енергії трекерної та статичної сонячних електростанцій на 05.06.2023р.

Далі було проведено експериментальні дослідження на наступний день (06.06.23 року) з меншою температурою навколишнього середовища та сонячною активністю, а друга половина дня взагалі була хмарною.

Проаналізувавши отримані графіки, було встановлено, що статична електростанція виробила 0,365 кВт/год, а трекерна 0,412 кВт/год. Максимальні пікові потужності досягали 80 Вт і 167 Вт відповідно. Максимальна сонячна активність була біля 12 години дня.

Суміщений графік виробленої електричної енергії обох електростанцій (рис. 3.7).

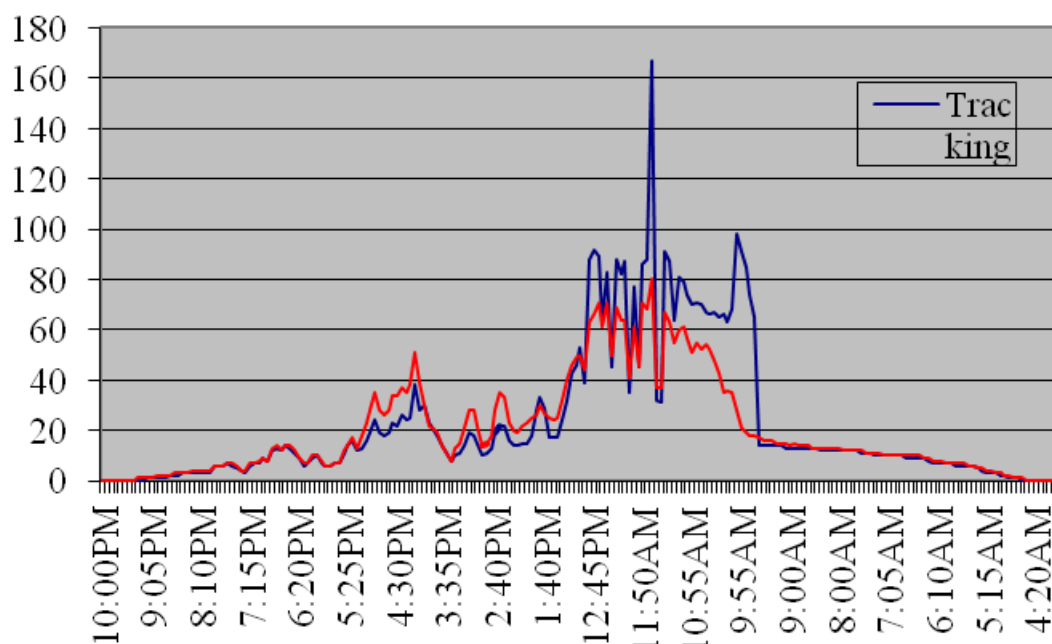


Рисунок 3.7 – Суміщений графік виробленої електричної енергії трекерної та статичної сонячних електростанцій на 06.06.2023р.

Розрахунки проведені за формулою (1.1) показують що 6 червня 2023 року трекерна сонячна електростанція була на 11,4% ефективніша за статичну.

Наступний дослід був проведений 11.06.2023 року. У цей день було похмуро, попадання прямих сонячних променів на панелі не спостерігалось. Температура навколишнього середовища коливалась в межах 16–20°C. Отримані результати (рис. 3.8) показали, що у цей день трекерна і статична сонячні електростанції виробили майже однакову кількість електричної енергії – 424 і 403 кВт/год відповідно.

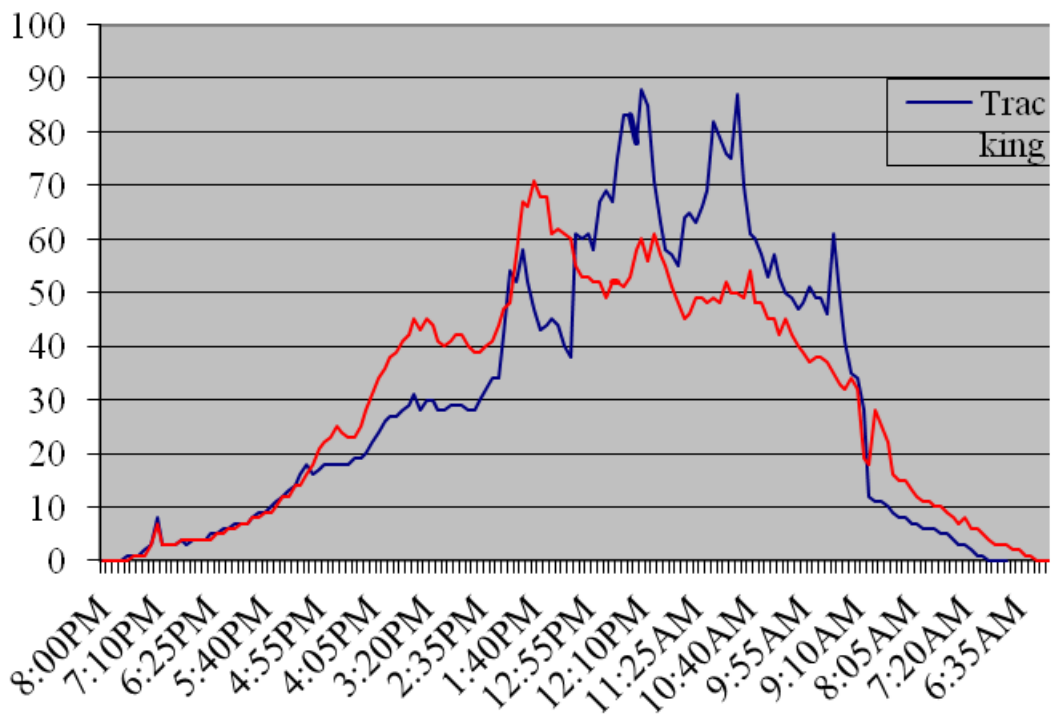


Рисунок 3.8 - Суміщений графік виробленої електричної енергії трекерної та статичної сонячної електростанції на 11.06.2023р.

Це пов'язано з погодними умовами, адже хмари на небі перешкоджали попаданню прямих сонячних променів і освітленість панелі майже не залежала від повороту фотомодуля. Ефективність трекерної системи у похмурий день склала 4,95%.

Заключний експеримент проводився протягом трьох днів з 14.06.2023р. по 16.06.23р. Дні були сонячні, інколи було хмарно, але сонячна активність була досить високою. Цей експеримент дав змогу оцінити ефективність трекерної системи впродовж тривалого періоду часу. Найбільше було вироблено електричної енергії сонячними електростанціями за цих три дні 14.06.2023р.

Отриманий графік виробленої і спожитої електричної енергії статичної сонячної електростанції на 14.06.2023р. (рис. 3.9).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

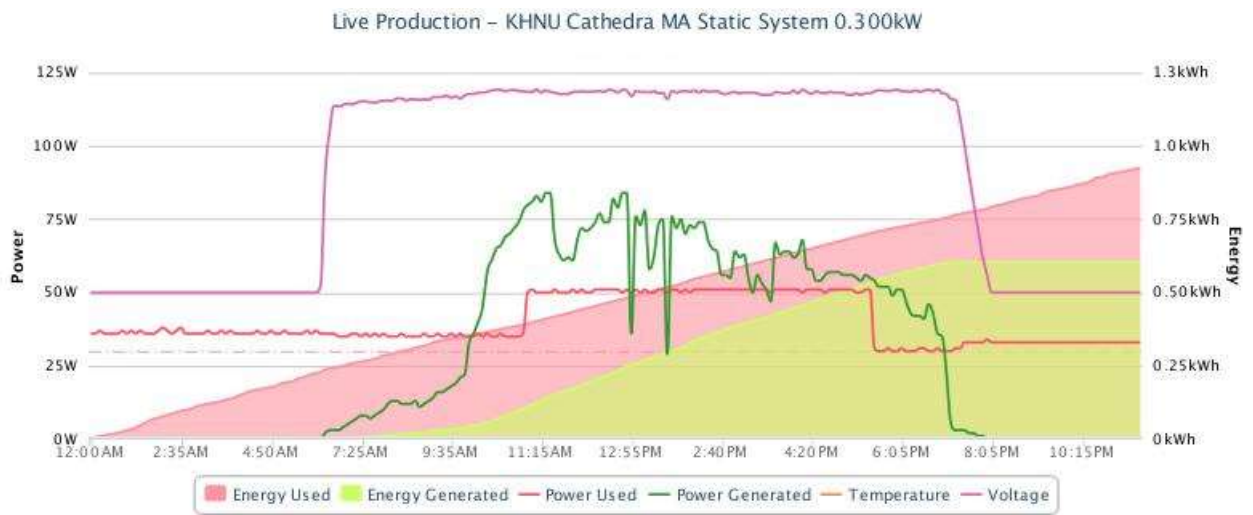


Рисунок 3.9 - Графік виробленої і спожитої електричної енергії статичної сонячної електростанції на 14.06.2023р., потужність 0,603кВт/год

Отриманий графік виробленої і спожитої електричної енергії трекерною сонячної електростанції на 14.06.2023р. (рис. 3.10).

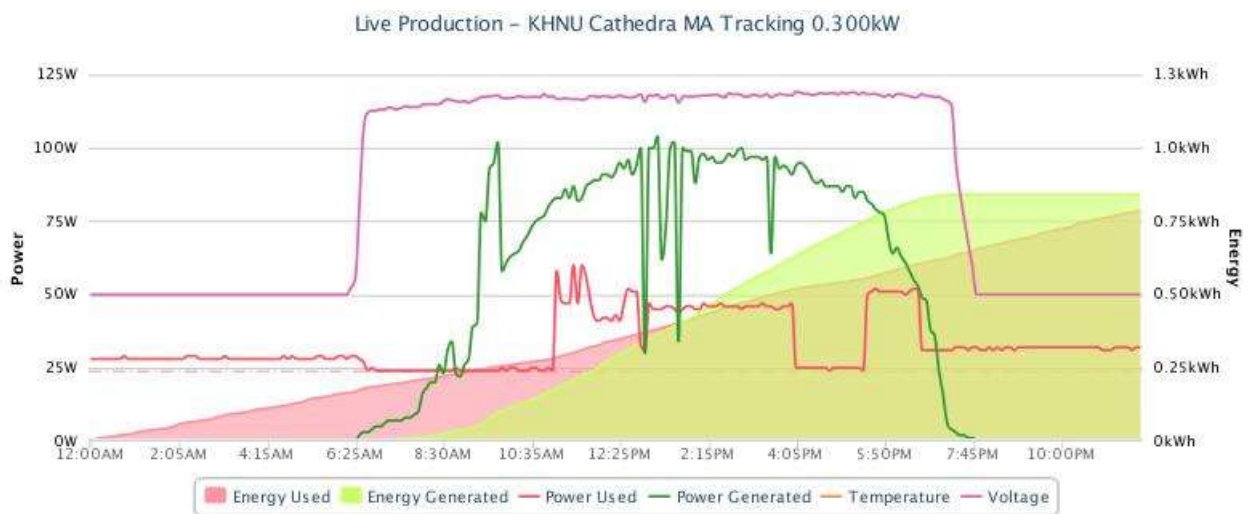


Рисунок 3.10 - Графік виробленої і спожитої електричної енергії трекерної сонячної електростанції на 14.06.2023р., потужність 0,841кВт/год

За формулою (1.1) було проведено розрахунок ефективності трекерної електростанції порівняно зі статичною за три дні. В результаті розрахунків вона склала 29,1 %.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

66

3.3 Висновки до третього розділу

В даному розділі розроблено систему вимірювання стенду для дослідження ефективності сонячних панелей. Проведено експериментальні випробування стенду для дослідження ефективності сонячних панелей. Описано результати експериментів та наведено графіки ефективності сонячних панелей, які були отриманні в результаті використання розробленого стенду для дослідження сонячних панелей.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі розроблено стенд для дослідження ефективності сонячних панелей.

В першому розділі проведено огляд та аналіз розвитку сонячної енергетики в світі, а також стан та перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні. Також проведено огляд та аналіз існуючих стендів для дослідження ефективності сонячних панелей.

В другому розділі проведено розробку стенду для дослідження ефективності сонячних панелей. Розроблено структурну та електричну принципову схеми стенду для дослідження ефективності сонячних панелей. Проведено огляд та аналіз основних компонентів стенду. Здійснено вибір основних компонентів стенду та зібрано стенд для дослідження ефективності сонячних панелей. Спроектовано трекерну систему для проведення експерименту з використанням стенду для дослідження ефективності сонячних панелей.

В третьому розділі розроблено систему вимірювання стенду для дослідження ефективності сонячних панелей та наведено результати експериментів, здобутті із допомогою розробленого стенду, у формі графіків із виробленою та спожитою електроенергією.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		68

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Альтернативна енергетика. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://week.dp.gov.ua/osvitnia-prohrama/pislya91/alternatyvna-enerhetyka>.
2. Енергетика сонячна – середньострокові перспективи 2022-2026. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://aw-therm.com.ua/sonyachna-energetika-serednostrokovyi-perspektivi-2022-2026>.
3. Особливості розвитку сонячної енергетики в Україні. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.ueex.com.ua/presscenter/news/osoblivosti-rozvitku-sonyachnoi-energetiki-v-ukraini>.
4. Сонячна енергетика в Україні. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://avenston.com/articles/solar-in-ukraine-2019>.
5. О.С. Поліщук, М.Є. Скиба, С.П. Лісевич, А.О. Поліщук, С.В. Каретний, О.В. Вишинський. – Хмельницький: ХНУ. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». 2022. 26-29 с. 37-47 с.
6. С. Л. Бондаревський, О. К. Данилейко Криворізький національний університет. Комплексний стенд-імітатор для дослідження експлуатаційних характеристик сонячних панелей.
7. Standlab. Навчальне і наукове обладнання. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://standlab.com.ua/product/foss-10-sonyachni-batareyi-z-uhylom-dahu>.
8. Яворський А.В., Ващишак І.Р. Нетрадиційні енергоресурси: конспект лекцій – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – 164 с.
9. Екоцентр. Впровадження систем на альтернативних джерелах енергії. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ecosvit.net/ua/sonyachni-batarei-fotomoduli>

10. СонцеДім. Центр відновлювальної енергетики. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://soncedim.com.ua/blog/dlia-chogo-potriben-kontroler-zariadu>
11. 12/24В MPPT 30А Контролер заряду сонячних батарей (модулів) з Дисплеєм Контролер заряду для сонячних модулів. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://s-a.in.ua/ua/p1379937702-1224v-mppt-30a.html>
12. Romstal. Світ інсталяцій. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://romstal.ua/uk/info/179-chto-takoe-invertor-dlya-solnechnoy-paneli-i-kak-ego-pravilno-vybrat>
13. Інвертор моделі 600 Watt DC to AC Pure Sine Wave Inverter. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://leobox.com.ua/p1754376977-invertor-220-chistyj.html>.
14. Боярчук В., Сиротюк В., Гальчак В., Сиротюк С., Болтянський Б. Розробка експериментального стенда для дослідження ефективності застосування пристроїв, які слідкують за сонцем. Вісник Львівського НАУ : агроінженерні дослідження. 2013. №17. С. 286-293.
15. Danko V.M., S.V. Smutko., Polishchuk O.S. Development of the design of the tracker system for solar panels. Herald of Khmelnytskyi National University. 2017. №1. P. 232-235.
16. В.П. Кожем'яко, О.Г. Домбровський, В.Ф. Жердецький, В.І. Маліновський, Г.В. Притуляк. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики. Оптико-електронні пристрої та компоненти в лазерних і енергетичних технологіях. 2011. P. 141-157.
17. Gevorkian P. Alternative energy systems in building design / P. Gevorkian. — New York : McGraw-Hill, 2010. — 522 p.
18. Gavin D.J. Harper. Solar Energy Projects for the Evil Genius / Gavin D. J. Harper — New York: McGraw Hill, 2007. — 196 p.
19. Характеристики мікроконтролера Arduino Uno. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno

20. Allegro Microsystems Inc. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.sea.com.ua/ua/producer/allegro-microsystems-inc>

21. Датчики струму та напруги. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://stud.com.ua/171555/tehnika/datchiki_strumu_naprugi

22. Посібник ВНТУ. С.М. Павлов. Основи мікроелектроніки. Ефект Холла. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/3pavlov_osnovy_mikroelektroniky

23. Allegro Microsystems Inc. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.sea.com.ua/ua/producer/allegro-microsystems-inc>

24. РКСкомпоненти. Датчик струму ACS712ELCT-20A-T. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/acs712elctr-20a-t_34792

25. SEA інновації та ефективність. Датчик струму ACS712ELCT-20A-T. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.sea.com.ua/ua/elektronnye-komponenty/datchiki-toka-na-effekte-holla/acs712elctr-20a-t>

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		71

Додаток А

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		72