

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка стенду для дослідження характеристик фотоелектричних сонячних батарей

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Спеціалізація «Електропобутова техніка»

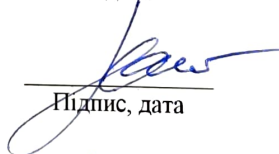
Шифр МРМА 22.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТм-21-1


Підпис

Бобров С.С.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

проф. Скиба М.Є.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Пухович С.І.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

23 12 2022 р.

Хмельницький 2022

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр і назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр і назва
Спеціалізація _____
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МАЕЕС
д.т.н., проф. Поліщук О.С.
_____ 2022р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Бобров Сергій Сергійович
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенду для дослідження характеристик фотоелектричних сонячних батарей

керівник роботи д.т.н., проф. Скиба М.Є.

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

Затверджено наказом ректора університету від 1 07 2022 р. № 83

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____
3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики фотоелектричних сонячних батарей та пристроїв.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Аналітичне дослідження сонячної панелі. 3. Розробка установки для дослідження сонячних фотомодулів. 4. Експериментальне дослідження сонячного фотомодуля. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Класифікація методів вимірювання ВАХ. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Аналітичне дослідження сонячної батареї. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 3. Вплив затемнення сонячного елемента на характеристики панелі. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 4. Стенд для дослідження сонячних панелей. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 5. Блок-схема вимірювальної установки. Схема структурна (A2)+ Активне навантаження. Схема електрична (A2). Аркуш 6. Схема для вимірювання вольт-амперних характеристик. Схема комбінована (A2)+

Схема підключення системи. Схема структурна (А2). Аркуш 7. Дослідження параметрів панелі. Документ дослідницький (А1). Аркуш 8. Інтенсивність сонячного випромінювання. Документ дослідницький (А1). Аркуш 9. Зміна температури панелі. Документ дослідницький (А1). Аркуш 10. Вплив затемнення сонячного елемента на характеристики панелі. Документ дослідницький (А1).

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	Примітка
1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	до 30.10.22р.	
2. Аналітичне дослідження сонячної панелі	до 10.11.22р.	
3. Розробка установки для дослідження сонячних фотомодулів	до 20.11.22р.	
4. Експериментальне дослідження сонячного фотомодуля	до 5.12.22р.	
5. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	до 12.12.22р.	

Студент


Підпис

С.С.Бобров
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

М.Є. Скиба
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові

Бобров Сергій Сергійович

2. Тема магістерської роботи Розробка стенду для дослідження характеристик фотое-
лектричних сонячних батарей

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента

Щур С. В.

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 10 арк., сторінок записки 112

5. Вступ. 1. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики
магістерської роботи. 2. Аналітичне дослідження сонячної панелі. 3. Розробка установ-
ки для дослідження сонячних фотомодулів. 4. Експериментальне дослідження сонячно-
го фотомодуля. Висновки. Перелік джерел посилання.

Підпис студента



" 23 " 12 2022 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 153 від " 29 " 12 2022 р.

Оцінка проекту ЕК

визначено 5,0 / А

Рекомендації ЕК

внести зміни у
навічальний уривок

Особливі відмітки





Технічний секретар



" 29 " 12 2022 р.

ЗМІСТ

	стор
Вступ	9
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	9
1.1 Загальні відомості про альтернативні джерела енергії	13
1.2 Стан та перспективи розвитку сонячної енергетики	17
1.3 Типи сонячних елементів	25
1.4 Принцип роботи і будова сонячного фотомодуля	28
1.5 Особливості використання сонячних панелей	29
1.6 Схеми організації сонячних електростанцій	32
1.7 Основні параметри сонячних фотомодулів	34
1.8 Методи вимірювання вольт-амперних характеристик фотоелектричних сонячних елементів і батарей	37
1.9 Висновки до розділу	38
2 Аналітичне дослідження сонячної панелі	38
2.1 Представлення сонячного елемента рівнозначною системою заміщення	40
2.2 Визначення вольт-амперної характеристики сонячного елемента	42
2.3 Висновки до розділу	44
3 Розробка установки для дослідження сонячних фотомодулів	46
3.1 Загальні відомості	46
3.2 Розробка експериментальної установки	46
3.3 Розробка вимірювальної системи стенду	64

МРМА22.00.00.000 ПЗ				
м.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
виконав		Бобров		28.12
перевір.		Скиба		
контр.		Поліщук С.П.		
Затвер.		Поліщук		
Розробка стенду для дослідження характеристик фотоелектричних сонячних батарей			Літера	Аркуш
			М	4
			Аркушів	
			112	
ХНУ гр.ЕТМ-21-1				

ВСТУП

Актуальність теми. Пріоритетним напрямком розвитку електроенергетики на сьогодні є застосування відновлюваних джерел, зокрема, енергії Сонця. За останні три десятиріччя, завдяки політиці економічного заохочення провідних економічно розвинутих країн світу темпи збільшення об'ємів світового виробництва фотоелектричних сонячних батарей (ФЕСБ) щороку склали 20-30%, а їх сумарна потужність приблизилася до 250 ГВт.

На сьогодні найбільш поширеним матеріалом для ФЕСБ є кристалічний кремній. Йому віддають перевагу перед іншими матеріалами завдяки не токсичності, технологічності та поширеності у природі, незважаючи на його недоліки, пов'язані з не оптимальною шириною забороненої зони.

На шляху розвитку сонячної енергетики суттєвою проблемою є висока собівартість енергії: кожний ват потужності сонячної електричної станції вдвічі-втричі дорожчий за аналогічну потужність на теплових електричних станціях. Збільшення коефіцієнту корисної дії (ККД) та терміну експлуатації ФЕСБ є головними напрямками наукового пошуку з метою зменшення собівартості енергії, з цією метою, на наш погляд, потрібне впровадження нових та удосконалення існуючих методів і засобів контролю ФЕСБ.

Головним джерелом інформації про параметри і характеристики ФЕСБ є її вольт-амперна характеристика (ВАХ), з якої визначають ККД, максимальну потужність, струм короткого замикання, напругу холостого ходу, струм і напругу при максимальній потужності, коефіцієнт форми тощо.

Аналіз ВАХ також дозволяє здійснювати контроль дефектів на початковій стадії їх розвитку та прогнозувати деградацію фотоелектричної сонячної батареї, що є важливим чинником для забезпечення корекції навантаження для максимального відбору до нього потужності [28].

Все вищезазначене свідчить про актуальність теми магістерської роботи, спрямованої на дослідження для дослідження характеристик фотоелектричних

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

сонячних батарей.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є розробка стенду для дослідження фотоелектричних сонячних батарей з метою порівняння їх заявлених заводських технічних характеристик та знятих експериментально.

Для досягнення поставленої мети в роботі були визначені і вирішені задачі, які дозволили:

- встановити тенденції розвитку сонячної енергетики на Україні та визначити характеристики, які характеризують сонячні панелі;
- привести класифікацію методів вимірювання вольт-амперних характеристик фотоелектричних сонячних елементів і батарей;
- розробити математичну модель сонячного елемента;
- розробити стенд для дослідження сонячних панелей;
- провести експериментальні дослідження по визначенню вольт-амперної характеристики для різних кутів нахилу сонячної панелі;
- провести порівняння технічних характеристик сонячної панелі заявлених виробником та отриманих експериментально;
- провести експериментальні дослідження впливу затемнення сонячної панелі на її характеристики.

Об'єктом дослідження є стенд для дослідження фотоелектричних сонячних батарей.

Предметом дослідження є фотоелектрична сонячна батарея.

Методи дослідження. Завдання, що були поставлені в магістерській роботі, вирішувалися за допомогою класичних положень теорії фізики, електротехніки, технічної механіки, математики тощо.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено, виготовлено стенд для дослідження фотоелектричних сонячних панелей;
- розроблено методикку по визначенню вольт-амперної характеристики фотоелектричної сонячної панелі.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Практичне значення одержаних результатів заключається в тому, що розроблений стенд може бути застосований в навчальному процесі кафедри машин та апаратів, електромеханічних та енергетичних систем при підготовці студентів спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» при викладанні дисципліни «Альтернативні та поновлювальні джерела енергії».

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення та результати магістерської роботи представлялися, обговорювались і отримали позитивну оцінку на науковій студентській конференції кафедри машині апаратів, електромеханічних та енергетичних систем (м. Хмельницький, 2022 р.).

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Загальні відомості про альтернативні джерела енергії

Енергія – це одна із потрібних умов існування людського суспільства. За останні століття енергію отримували з таких викопних джерел як газ, вугілля, нафта тощо. Всі ці природні ресурси є непоновлювальними і в недалекому майбутньому їх запаси зйдуть до мінімуму, а потім взагалі зникнуть [1].

«Світ шукає енергію». Це вислів відомого індійського вченого ніколи не звучав так актуально, як в теперішні дні, коли людство, не зважаючи на величезні фінансові витрати, докладає великих зусиль для пошуку нових шляхів отримання енергії.

Питанням розвитку енергетики надається першочергове значення, бо це не тільки головна проблема, але і важливий соціально-політичний аспект в теперішньому світі. Щорічне збільшення витрат енергії перевищує зростання населення на Землі, і це є закономірним. Процес індустріалізації призводить до додаткових затрат матеріалів, що в свою чергу викликає збільшення затрат енергії. Людству потрібно все більше і більше енергії, отримати яку за рахунок традиційних джерел в недалекому майбутньому буде важко чи взагалі практично неможливо. Отже, потрібно шукати інші варіанти енергетичного забезпечення людства. Все необхіднішою та гострішою стає заміна існуючих технологій на екологічно чисті, що гарантують виживання суспільства та збереження біосфери, так як енергетика загрожує екологічною катастрофою. Енергетика, що ґрунтується на спалюванні природних запасів нафти, вугілля, газу, урану стає пагубною для людства [3].

Окрім того, як уже зазначалося вище, запаси природних копалин та дешевого урану є вичерпними. Передбачається, що до 2025 року потреба щодо

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

природних ресурсів сягне 25 млрд. тон, і прогнозується, що запасів хімічного палива людству вистачить на 140 років (рис.1.1, 1.2).



Рисунок 1.1 – Стан використання джерел енергії

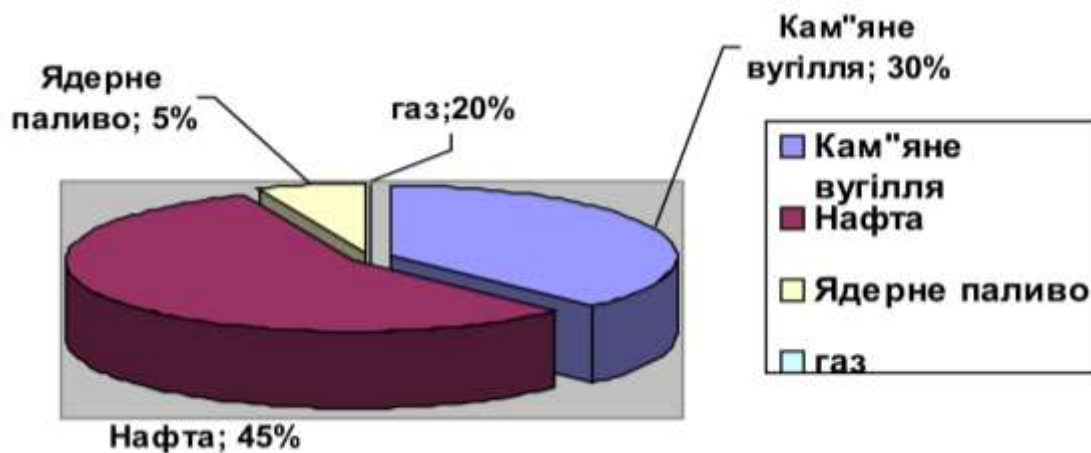


Рисунок 1.2 – Стан застосування викопного палива

Ми бачимо, виходячи з цього, що класичні джерела енергії треба замінити альтернативними, над чим і працює багато науковців світу.

Альтернативні джерела енергії – це енергія морів та океанів, вітру, внутрішнього тепла Землі, Сонця [1].

Енергія вітру.

За оцінками науковців, загальний вітроенергетичний потенціал Землі в 30 разів перевищує річне споживання енергії людьми. Однак застосовується лише мізерна частка такої енергії. Так було не завжди. За даними статистики, в двадцятих роках ХХ століття в кожному другому селі України працював вітряк. Але парова машина, а потім двигун внутрішнього згорання витіснили вітряки.

Можливості застосування енергії вітру в різних місцях планети неоднакові. Для нормальної роботи вітрогенераторів швидкість вітру в середньому за рік має бути не меншою 4-5 м/с, а краще, коли вона становить 6-8 м/с [1].

Вітроелектростанції не забруднюють навколишнього середовища. Єдиний негативний фактор – низькочастотний шум (гудіння) під час роботи вітрогенератора та ще одиничні випадки загибелі птахів, які потрапляють у його лопаті.

Думки інженерів і науковців повертаються й до, здавалося б, давно забутих вітрильників. Відомий океанолог Ж.-І. Кусто наприкінці 80-х років ХХ століття сконструював і випробував вантажне судно, в якого крім дизельного двигуна були вітрила.

Енергія морів та океанів.

Світовий океан вміщує колосальні запаси енергії.

По-перше, це енергія сонячного випромінювання, яка була поглинута океанською водою, що виявляється в енергії хвиль, прибою, морських течій, різниці температур різних шарів води.

По-друге, це енергія тяжіння Сонця і Місяця, що спричиняє морські відпливи і припливи. Цей екологічно чистий потенціал застосовується іще дуже мало.

Першими об'єктами зазначеної енергетики можна вважати морські хвильові електричні станції, які акумулюють енергію вертикальних коливань води [1].

Енергія внутрішнього тепла Землі.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Ще з давніх часів людям відомо про стихійні прояви тієї потужної енергії, що знаходиться в надрах земної кори. Потужність навіть порівняно невеликого вулкану в сотні разів перевищує потужність будь якої енергетичної споруди, що була сконструйована людиною. Хоча люди ще не знають способу безпосереднього використання вулканічної енергії, але можна навести чудовий приклад раціонального застосування енергії земних надр – Ісландію. Ця європейська маленька країна повністю забезпечує себе теплом, яке отримується з гарячих фонтанів гейзерів, які працюють з точністю хронометра.

Але вперше ідея застосування гейзерів була втілена у дійсність не в країні Ісландія. Ще древні римляни використовували тепло гейзерів в лазнях-термах міста Каракали.

Людство черпає енергію з надр Землі не тільки для опалення. Вже давно працюють електричні станції, що застосовують гарячі підземні джерела. Перша така станція була побудована ще у далекому 1904 р. Зараз поблизу м.Сан-Франциско працює геотермальна електростанція потужністю 500 КВт.

Та не всюди з Землі б'ють джерела гарячої води. Хоча гейзери і є чудовими джерелами енергії, та характерна їм локальність заперечує будь які розмови щодо глобального використання останніх [1].

Енергія Сонця [1].

В останній час інтерес до проблеми застосування сонячної енергії різко збільшився.

Сонце – є найпотужнішим джерелом екологічно чистої енергії, і суспільство має зосередити свої зусилля на розробці методів її утилізації. Розглянемо можливості саме безпосереднього застосування сонячної енергії; хоча більшість всієї енергії, що надходить на Землю є сонячною, але її основна частина зосереджується у атмосфері та гідросфері.

В розсіяності сонячної енергії полягає основна перешкода. Утилізація сонячної енергії гальмується високою вартістю установок, а отже, й порівняно високою собівартістю електричної енергії.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Сонячну енергію можна застосовувати для добування електроенергії, побутового тепла, високотемпературного тепла на транспорті та в промисловості.

Для добування енергії від Сонця людство застосовує кілька методів, найперспективніший з яких полягає в безпосередньому перетворенні сонячного випромінювання на електричну енергію з використанням напівпровідникових фотоелектричних генераторів (сонячних батарей). Коефіцієнт корисної дії найсучасніших їхніх типів сьогодні становить 25-30%. Через високу вартість такі батареї поки що застосовуються мало – на космічних станціях і супутниках, у ретрансляторах, навігаційних маяках, електронних іграшках тощо.

Електричну енергію від Сонця добувають також за допомогою паротурбінних генераторів.

Переваги сонячних електростанцій.

Такі електростанції не забруднюють довкілля. Щоправда, для потужних СЕС на сонячних панелях знадобляться великі площі. Але на планеті Земля близько 20 млн км² пустель, землі яких не придатні для сільського господарства, потік сонячної енергії найпотужніший, а кількість хмарних днів на протязі року мінімальна. Щоб задовольнити енергетичні потреби людства, треба зайняти до 15 % площі пустель.

Сонячна енергія застосовується також для добування побутового тепла, яке йде на опалення приміщень, приготування їжі тощо.

Сонячна енергія може застосовуватися й на транспорті, а саме для енергоживлення невеликих суден, автомобілів і навіть літаків.

1.2 Стан та перспективи розвитку сонячної енергетики

Як відомо, в останні двадцять років значна увага світової спільноти приділяється альтернативній і поновлюваній енергетиці. Серед альтернативних джерел найбільш привабливою та доступною виглядає енергія Сонця, яка

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

мільярди років надходить на поверхню Землі [4]. Людство просто зобов'язане взяти під свій контроль і максимально застосовувати потік сонячної енергії. Повна кількість сонячної енергії, яка надходить на поверхню Землі лише за один тиждень, перевищує енергію всіх світових запасів газу, вугілля, нафти та урану. Тому розвиток сонячної енергетики складає одне з першочергових завдань на довгострокову перспективу. За термінологією, прийнятою Організацією Об'єднаних Націй, всі види енергії, в основі яких лежить сонячна, класифікують як поновлювані джерела енергії, які знаходять все більше застосування. Ось деякі приклади. В Японії розроблено програми «Місячне сяйво» і «Сонячне світло», в результаті здійснення яких частка альтернативної енергетики даної країни зросла в декілька разів. За останні двадцять п'ять років вартість електроенергії, яку отримують від сонячних фотомодулів зменшилась більш ніж в сто двадцять разів. Сонячні енерго панелі для встановлення на даху і стінах вже випускаються серійно і там знаходяться у вільному продажу. В Німеччині, діє урядова програма, яка надає податкові пільги виробникам сонячних фотобатарей, які монтуються на дахах будівель. В країні діє закон, згідно з яким кожен громадянин має право отримати у банку безвідсотковий кредит для придбання сонячних батарей потужністю від 3-х до 5-ти кіловат. Одночасно вже десять років працює програма «Сто тисяч сонячних дахів». Аналогічну програму «Мільйон сонячних дахів» впровадили Сполучені Штати Америки, де існує декілька експериментальних фотоелектричних станцій потужністю від 0,3 МВт до 605 МВт, що працюють на загальну енергосистему. У США центром розвитку сонячної енергетики можна вважати Сакраменто. Середньорічний приріст потужностей у даній галузі становить приблизно 30 %. Наша країна за кліматичними умовами належить до регіонів із середньою інтенсивністю сонячної радіації. Інтенсивність на одиницю площі на протязі року складає 1000 - 1 350 кВт·год/м², тобто в середньому виходить 1200 кВт·год/м². Щорічне виробництво теплової енергії в Україні становить 500 - 600 кВт·год/м². Враховуючи загальноприйнятий на Заході потенціал застосування сонячних

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

колекторів для розвинутих країн, що дорівнює 1 м² на одну людину, а також продуктивність сонячних пристроїв для умов України, щороку ресурси сонячного гарячого опалення та водопостачання можуть скласти 230 млрд. кВт/год теплової енергії. Реалізація такого потенціалу дозволить заощадити 34 млн тон умовного палива (т.у.п.) на рік. І це при тому, що на сьогодні комунальне господарство України щорічно споживає приблизно 76 млн т.у.п. Ще у далекому 1997 році Кабінетом Міністрів України затверджена «Програма державної підтримки розвитку нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії та малої гідро-і теплоенергетики». В програмі сформульовані найбільш перспективні напрями використання сонячної енергії, а саме: безпосереднє перетворення в низько потенційну теплову енергію для гарячого теплопостачання і водопостачання, а також перетворення безпосереднє в електричну енергію постійного струму. Комплексна програма із застосування нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії також була розроблена Державним комітетом України у справах містобудування і архітектури [4].

Даною програмою рекомендовано три типи установок сонячного тепло - та електропостачання для масового використання:

- сонячні установки до котельнь;
- системи сезонної дії для окремих об'єктів;
- модульні установки сонячного нагріву води.

Новий закон «Про альтернативні джерела енергії» передбачає ряд стимулюючих заходів. Однак, на практиці існують численні бар'єри зростання ринку застосування сонячної енергії. В першу чергу це економічні бар'єри, а саме:

- досить високі ціни на сонячні системи;
- великий період окупності;
- відсутність обігових коштів у підприємств-виробників;
- відсутність конкретних механізмів стимулювання виробництва у вигляді надання субсидій,

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- звільнення від податків;
- пільгова тарифна політика тощо.

На сьогодні розвиток сонячних технологій стримує [4]:

- відсутність координації у сфері розвитку сонячних технологій;
- відсутність державної політики;
- на сьогодні не існує інформаційної системи для поширення відомостей про наявність уже розроблених сонячних технологій, їхніх параметрів, екологічних переваг, а також інформації про впровадження демонстраційних проектів на різних об'єктах.

Розглянемо головні чинники, що можуть позитивно вплинути на втілення в життя сонячних технологій:

- стимулювання урядом інтересів споживача;
- розвиток конкретних механізмів стимулювання виробництва у вигляді надання субсидій,
- звільнення від податків,
- пільгова тарифна політика;
- розробка сучасних і недорогих зразків геліотехніки;
- розробка та впровадження дешевих схем використання сонячних модулів;
- створення загальнодержавних і регіональних структур для сприяння розвитку сонячних технологій, у тому числі у будівництві, житлово-комунальному господарстві України;
- збільшення активності промисловості;
- організація масштабного виробництва обладнання;
- забезпечення умов для сертифікації, монтажу та сервісу устаткування для сонячної енергетики;
- створення інформаційної системи зарубіжних і вітчизняних розробок в геліотехніці;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.
16

- впровадження активних і пасивних методів використання сонячної енергії,
- поширення реклами та маркетингу;
- активізація роботи з населенням, в тому числі у школах, училищах, коледжах та вищих навчальних закладах;
- адресна робота з потенційними споживачами сонячного тепло- та електропостачання [4].

1.3 Типи сонячних елементів

Для перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію потрібні фотоелементи. На сьогодні найбільш поширені технології виготовлення фотоелементів наступні [5]:

Кристалічні фотоелементи:

- кремнієві монокристалічні фотоелементи (рис.1.3);
- полікристалічні фотоелементи (рис.1.4).

Тонкоплівкові фотоелементи:

- фотоелементи із застосуванням діселеніда індію і міді (CIS технологія) (рис.1.5);
- фотоелементи із застосуванням телуриду кадмію (CdTe технологія) (рис.1.7);
- фотоелементи із застосуванням аморфного кремнію (рис.1.9).

Виробництво монокристалічних фотоелементів проходить із застосуванням методу Чхоральського. Щоб отримати кремнієвий монокристал, в розплав кремнію з бором занурюють початковий кристал і поступово піднімають на кілька метрів над поверхнею розчину, при цьому за затравочним кристалом витягується й кристалізується розчин. З отриманої монокристалічної заготовки зрізають кромки для того щоб отримати квадратні елементи і розрізають його на елементи товщиною близько 0,3 мм. В подальшому елементи

легують фосфором для придання n-провідності і створення pn- переходу. Піддають поліруванню. Наносять анти відбиваюче покриття і струмопровідні доріжки. Таким чином отримується готовий до використання монокристалічний фотоелемент.



Рисунок 1.3 – Монокристалічний кремнієвий фотоелемент

Характеристики:

- форма квадратна або квадратна із закругленими або зрізаними кутами;
- коефіцієнт корисної дії від 15 до 18 %;
- товщина шару 0,2 – 0,3мм;
- колір від темно-синього до чорного з анти відбиваючим покриттям, може бути сірий без покриття;
- зовнішній вигляд – однорідний.

Полікристалічні фотоелементи виготовляються на підприємствах за допомогою рівномірного спрямованого охолодження ємності з розплавом бору і кремнію. При цьому в спеціальній ємності формуються односпрямовані гомогенні кристали розміром від кількох міліметрів до декількох сантиметрів. Отриманий блок полікристалів піддається такій самій обробці так само, як і монокристалічна заготовка [5].

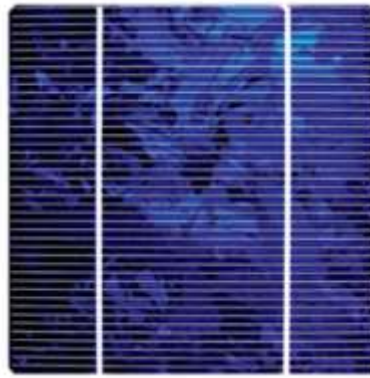


Рисунок 1.4 – Полікристалічний кремнієвий фотоелемент

Характеристики:

- форма квадратна;
- ККД від 13 до 16 %;
- товщина шару 0,24 – 0,3мм;

Колір сріблясто-сірий без покриття, синій з анти відбиваючим покриттям.

Зовнішній вигляд – це блок різноспрямованих кристалів, деякі кристали чітко видно на зрізі.

Активним напівпровідниковим матеріалом в CIS фотоелементах є діселенід міді та індію (рис.1.5). CIS компаунд може легуватися галієм і (або) сіркою. При виробництві елемента скло покривається шаром молібдену, який проводить електричний струм. Для фотоелемента цей шар буде катодом. Шар CIS компаунда в фотоелементі володіє р- провідністю і наноситься на шар молібдену. Оксид цинку з домішками алюмінію ZnO: Al застосовується як прозорий провідник електричного струму і є анодом. Цей шар має n- провідність і в ньому розпорошений допоміжний шар оксиду цинку ZnO. Проміжний шар сульфіді кадмію CdS застосовується для зменшення витрат, пов'язаних з невідповідністю кристалічних решіток CIS і ZnO шарів [5].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA22.00.00.000 ПЗ

Арк.
19

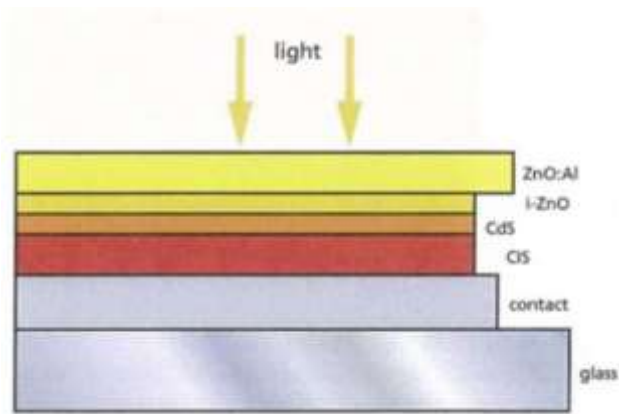


Рисунок 1.5 – Будова CIS фотоелемента

Характеристики:

- зовнішній вигляд – однорідний;
- форма елемента відповідає формі модуля;
- ККД від 9 до 11 %;
- товщина модуля в незагартованім склі складає від 2 до 4мм;
- колір від темно-сірого до чорного.



Рисунок 1.6 – CIS фотоелемент

Фотоелементи в яких використовується телурид кадмію CdTe виготовляються на підкладці з прозорим провідником (ТСО), який виготовляється з оксиду олова та індію (ІТО) і використовується як передній контакт (рис.1.7).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.
20

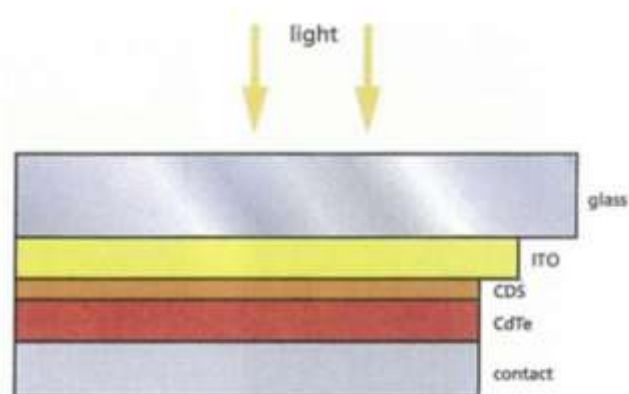


Рисунок 1.7 – Будова фотоелементу, що вміщує телурид кадмію CdTe

Підкладка покривається шаром селеніду кадмію CdS з n- типом провідності. Після цього наноситься абсорбуючий шар телуриду кадмію CdTe з р-типом провідності. Після цього модуль закривається металевою струмопровідною пластиною [5].



Рисунок 1.8 – Фотоелемент, що вміщує телурид кадмію CdTe

Характеристики:

- зовнішній вигляд – однорідний;
- колір від дзеркального темно-зеленого до чорного;
- коефіцієнт корисної дії 8,5%;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA22.00.00.000 ПЗ

Арк.
21

- форма елемента відповідає формі модуля;
- товщина модуля в незагартованому склі – 3мм.

Аморфний кремній у фотоелементах не утворює однорідну структуру, але утворює хаотичну структуру (рис.1.9). В результаті, через відкриті кордони кристалів, здійснюється поглинання водню. Цей гідро генізований аморфний кремній а – Si: H створюється в реакторі плазми з газової фази гідриду кремнію SiH_4 . Легування кремнію здійснюється змішуванням газів, які вміщують легуючий елемент – гідрид бору B_2H_6 для р- провідності і гідрид фосфору PH_3 для n- провідності. Легуючі добавки проникають на не велику відстань в аморфний кремній. У зв'язку з цим термін життя носіїв заряду не дуже довгий, тому на шар кремнію наносяться додаткові шари з n- і р- провідностями. В якості переднього контакту застосовується прозорий TCO провідник з оксидом олова SnO_2 , оксидом індію та олова ITO або оксидом цинку ZnO . В якості іншого контакту використовується металева струмопровідна пластина [5].

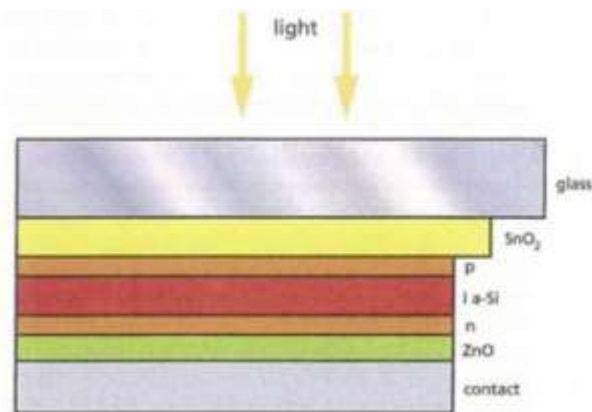


Рисунок 1.9 – Будова фотоелементу із застосуванням аморфного кремнію

Характеристики:

- коефіцієнт корисної дії від 5 до 7 %;
- товщина елемента в незагартованому склі від 1 до 3 мм;
- форма відповідає формі модуля, максимальний розмір 2×3 м;
- зовнішній вигляд – однорідний;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA22.00.00.000 ПЗ

Арк.

22

- колір від коричневого до синього або фіолетового.



Рисунок 1.10 - Фотоелемент з аморфного кремнію

Коефіцієнт корисної дії для фотоелементів – це ефективність перетворення сонячної в електричну енергію. Це означає, що чим менше ККД тим більшу площу фотоелементів необхідно для забезпечення тієї ж потужності в порівнянні з елементами у яких цей показник має більш високе значення [5].

Полікристалічні сонячні фотомодулі більш ефективно перетворюють сонячне випромінювання порівняно з монокристалічними, а тонко плівкові порівняно з кристалічними. Перетворення енергії прямого сонячного випромінювання в монокристалічних елементах відбувається з більшою ефективністю, у полікристалічних сонячних модулів це перетворення відбувається з меншою ефективністю у зв'язку, як вже зазначалося раніше, з різною орієнтацією кристалів в елементі. Розсіяне випромінювання кристалічні сонячні фотоелементи перетворюють з однаковою ефективністю. Частка виробітку від розсіяного випромінювання в полікристалічних фотомодулях вище ніж в монокристалічних панелях, а значить і вплив орієнтації на вироблення нижче. У зв'язку з більшим ступенем безладності орієнтації світлочутливих елементів у тонкоплівкових елементах вироблення з розсіяною частини випромінювання становить основну частку вироблення. Тому на вироблення тонкоплівкових модулів не впливає орієнтація. Але енергію

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA22.00.00.000 ПЗ

Арк.

23

сонячного випромінювання найефективніше перетворюють монокристалічні модулі у зв'язку з тим, що у них ККД вище [5].

Фотомодулі з кристалічних фотоелементів найчастіше використовуються в сонячних електростанціях. Як правило, термін служби сонячних фотомодулів з кристалічних елементів складає 25 років. Через 25 років потужність сонячних елементів складе 80% від поточної потужності. Як правило, кристалічні фотопанелі виготовляються з непрозорою підкладкою з PVB пластика чи тефлону, покриттям зі скла або прозорого EVA-пластику, скла та алюмінієвої рами.

CIS фотопанелі мають найбільший коефіцієнт корисної дії як для тонкоплівкових модулів. Але такі модулі схильні до корозії від струмів витоку в зв'язку з використанням електролізу під час їхнього виробництва,. Тому, коли встановлюється станція з CIS фотопанелей потрібно забезпечити повну потенційну розв'язку з АС - мережею за допомогою встановлення трансформаторного інвертора або спеціального розділового трансформатора і розміщення по диференціальному автомату на кожну з ліній, що підключені до інвертора [5].

CdTe - фотопанелі не схильні до корозії. Але хімічний елемент кадмій є сильно токсичним елементом, що викликає гострі та хронічні отруєння. Тому використані чи зіпсовані CdTe – сонячні фотопанелі підлягають обов'язковій утилізації. Це, в свою чергу, збільшує вартість експлуатації станції.

Фотомодулі з аморфного кремнію не токсичні і не схильні до корозії, але мають дуже низький коефіцієнт корисної дії і їх активні елементи можуть вигоряти на Сонці. На протязі 6-12 місяців після встановлення проходить зменшення потужності, потім вони виходять на сталу потужність. Термін експлуатації таких модулів становить біля 10 років. Термін служби CIS і CdTe фотомодулів такий же, як і у кристалічних.

Тонкоплівкові фотопанелі використовуються найчастіше у фасадних системах і дизайнерських рішеннях. В майбутньому тонкоплівкові фотомодулі

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

заміняють кристалічні виходячи з того, що їхнє виробництво дешевше і менш енергоємне [5].

1.4 Принцип роботи і будова сонячного фотомодуля

Панелі, що перетворюють сонячне світло в електроенергію, називають фотоелектричними перетворювачами або сонячними батареями. Принцип роботи цих пристроїв, перші робочі екземпляри яких з'явилися досить давно, насправді досить простий для розуміння людиною, що має тільки знання зі шкільної лавки [6].

В ході наукових експериментальних досліджень минулих років, фахівці виготовили р-п перехід з пластинами великої площі. Це була перша поява на світ фотоелектричних перетворювачів, які називаються сонячними батареями.

Будова сонячної панелі показана на рис.1.11.

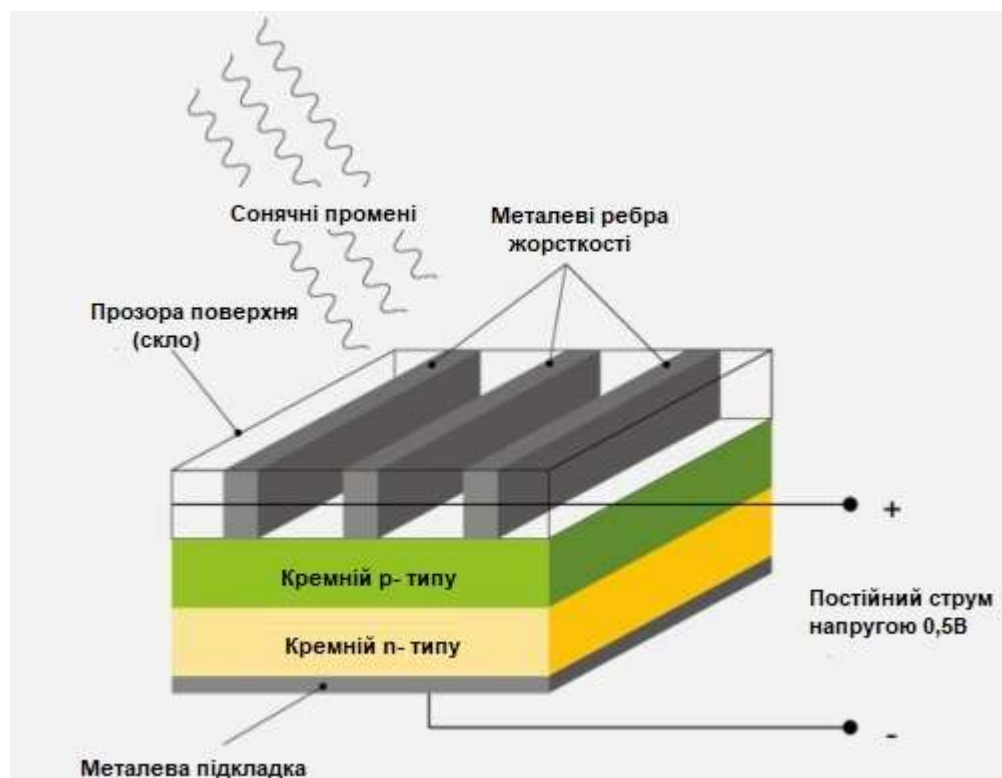


Рисунок 1.11 – Будова сонячної панелі

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Принцип дії сучасних сонячних панелей зберігся, незважаючи на багаторічну історію їхнього існування (рис.1.12). Модернізації піддалася лише конструкція і матеріали, що застосовуються у виробництві, завдяки яким виробники поступово збільшують коефіцієнт фотоелектричного перетворення або коефіцієнт корисної дії пристрою. Варто також сказати, що величина вихідного струму і напруги сонячної панелі безпосередньо залежить від рівня зовнішнього освітлення, яке впливає на неї.

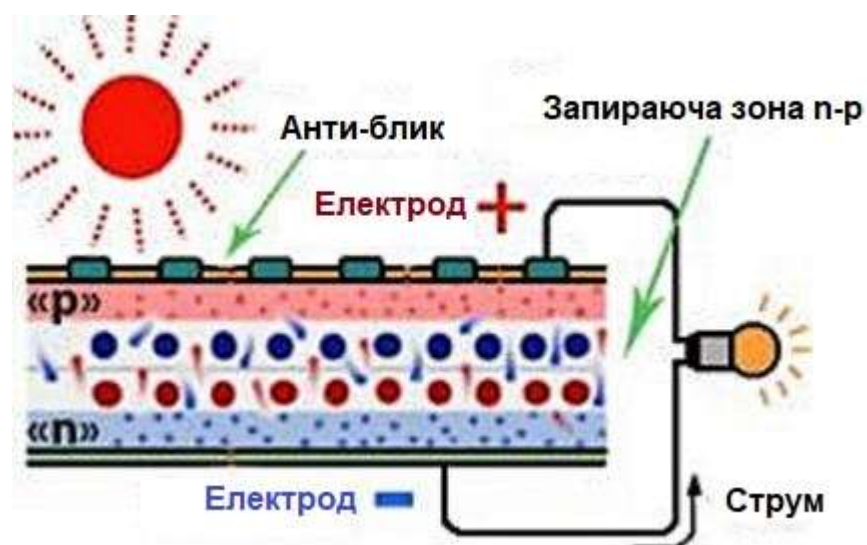


Рисунок 1.12 – Принцип дії сонячної панелі

В структурі сонячної панелі застосовується р-п перехід і пара електродів для зняття вихідної напруги.

На рис.1.12 можна побачити, що верхній шар р-п переходу, що має надлишок електронів, з'єднаний з металевими пластинками, які виконують роль позитивного електрода, пропускають світло і додають, в свою чергу, елементу додаткову жорсткість. Нижній шар в конструкції сонячного елемента має недолік електронів і до нього приклеєна суцільна металева пластинка, яка виконує функцію негативного електрода.

Технологія, за якою виготовлена сонячна панель, впливає на її коефіцієнт корисної дії.

Вважається, що на сьогодні в ідеалі сонячна панель має близький до 20 % коефіцієнт корисної дії. Однак на практиці і за даними технічних фахівців [7] він в середньому дорівнює всього 14%, при тому, що для якихось сонячних панелей він більше, для якихось менше. В основному це залежить від технології, за якою виконаний сам р-п перехід. Найбільш потрібними і такими що мають найбільший відсоток коефіцієнта корисної дії продовжують бути сонячні панелі, виготовлені на основі монокристалічного або полікристалічного кремнію. Причому полікристалічні через відносну дешевизну є дедалі поширенішими.

На сьогодні окремо від інших пристроїв сонячні батареї застосовуються рідко. Із них будуються так звані системи, які обладнані акумулятором, здатним накопичувати електричний струм вдень, коли сонячна фотобатарея його виробляє, а вночі, накопичений заряд може віддавати споживачу.

Сонячна система представляє собою сукупність сонячної батареї і акумулятора (рис.1.13).



Рисунок 1.13 – Елементи сонячної системи

Для збільшення вихідної напруги, струму і потужності, на основі сонячних батарей створюються блоки панелей в яких окремі елементи з'єднуються послідовно або паралельно.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

1.5 Особливості використання сонячних панелей

Правильне застосування сонячних фотопанелей в дозволяє забезпечити електричною енергією окремі будинки, торговельні майданчики, виробничі зони, групи будівель або цілі селища (рис.1.14) [6, 8].



Рисунок 1.14 – Застосування сонячних панелей

Використання сонячної енергії для отримання електричної енергії має ряд переваг:

1. Не вимагає палива.
2. Працює постійно.
3. Безшумність.
4. Тривалий термін безаварійної служби.
5. Надійність.
6. Загальнодоступність..
7. Можливість довільної зміни потужності системи.

Як правило, ідеальних систем не буває. Хоча сонячні фотопанелі і є оптимальним вибором для автономних систем електропостачання, у них є і обмеження:

- у зимовий час продуктивність сонячних батарей знижується в декілька разів;

- низька ефективність для використання в опалювальних системах;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA22.00.00.000 ПЗ

Арк.

28

- необхідність високої енерго ефективності. Порівняно висока вартість сонячних модулів робить їх рентабельними лише в разі, коли витрата електричної енергії добре оптимізована;

- необхідність достатньої інтенсивності світла. Хоча сонячні панелі можна встановлювати практично скрізь, зрозуміло, що ефективність буде вищою там, де більше сонячного світла;

Головні переваги сонячних систем.

У питанні встановлювати чи не встановлювати сонячну систему вирішальними є декілька факторів. Є групи споживачів, для яких встановлення сонячних батарей для отримання електричної енергії є особливо вигідною:

- об'єкти не підключені до загальної електричної мережі і де підключення є вартісним через віддаленість об'єкту або нестачу потужності найближчих мереж;

- продаж електроенергії за зеленим тарифом;

- об'єкти підключені до існуючих електричних мереж, що оплачують електричну енергію за високими тарифами. Це можуть бути об'єкти юридичних осіб або фізичні особи з договорами приватної поставки електричної енергії для котеджних селищ або віддалених об'єктів;

- об'єкти підключені до існуючих електричних мереж, але де напруга у них низька або є проблема частих відключень і стрибків напруги;

- малі або мобільні споживачі електроенергії (освітлення; зарядка телефону; робота телевізора, ноутбука, радіо і т.п.).

1.6 Схеми організації сонячних електростанцій

1.6.1 Автономна станція для споживачів постійного струму (рис.1.15) [9].

Станція подібної конфігурації складається з фотомодулів (1), контролера заряду (2), акумулятора (3) і споживача (4). Така станції є основним джерелом

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

енергії і, як правило, використовується для електропостачання систем освітлення або спеціальної побутової техніки, що працює на постійному струмі. Потужність таких систем не перевищує 1 кВт. Навантаження потрібно підключати до акумуляторної батареї (АКБ) через контролер заряду.

Фотомодулі (1) перетворюють сонячну енергію в електричну, акумулятор (3) накопичує енергію, контролер заряду (2) захищає батарею від позаштатних режимів роботи.

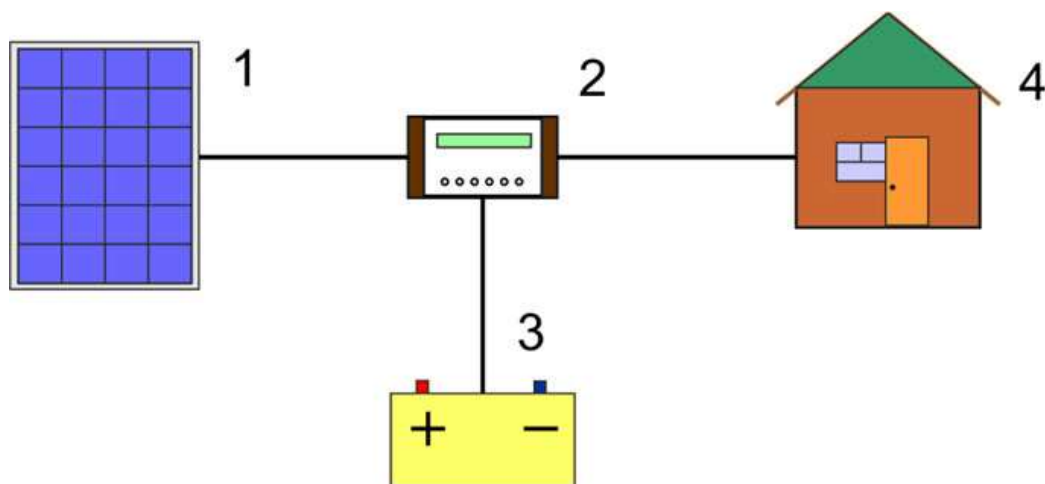


Рисунок 1.15 – Конструкція автономної станції для споживачів постійного струму

1.6.2 Автономна станція для споживачів змінного струму (рис.1.16) [9]

Автономна сонячна електростанція – основне або додаткове джерело електричної енергії. Основними елементами сонячної системи є: фотомодулі (1), контролер заряду (2), акумуляторна батарея (3) і інвертор (4).

Сонячне випромінювання не є постійним в часі, тому вироблення електричної енергії фотопанелями (1) не завжди відповідає її споживанню. Для накопичення надлишкової електричної енергії та використанні її у випадках коли споживання перевищує вироблення застосовують акумуляторні батареї (3).

Підключення фотопанелей (1) безпосередньо до акумуляторних батарей (3) для їх зарядження є неприпустим, оскільки це може призвести до їх

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

пошкоджень, які потягнуть в подальшому за собою їх вихід з ладу. Саме для захисту акумуляторних батарей від перезарядження і для підтримання оптимальної роботи АКБ (3) застосовують контролер заряду (2).

Поскільки більшість споживачів електричної енергії застосовують змінний струм, а фотомодулі (1) та акумуляторні батареї (3) видають постійний, виникає потреба у перетворенні струму з постійного у змінний. Цю функцію виконує інвертор (4).

У разі потреби підключення навантаження постійного струму – її можна безпосередньо підключити до вихідних клем контролера заряду (2).

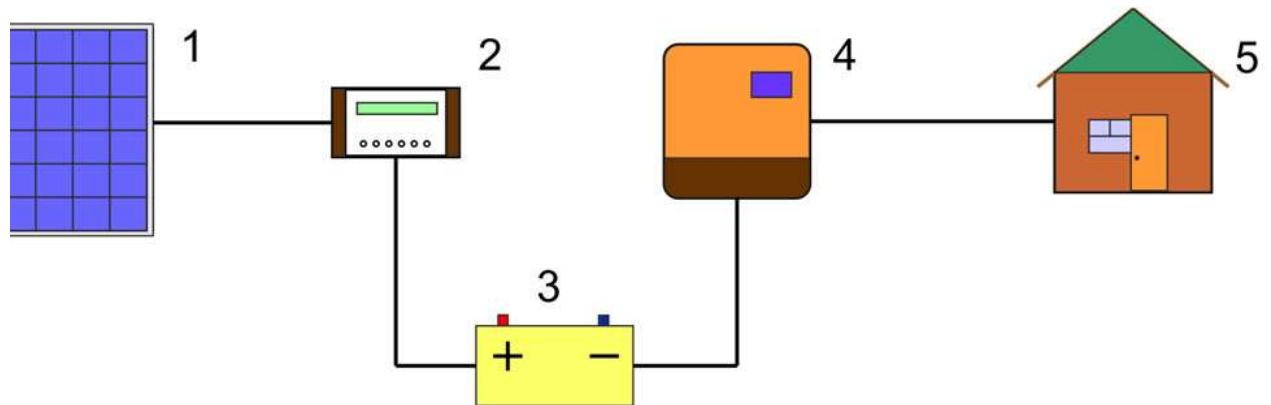


Рисунок 1.16 – Конструкція автономної станції для споживачів змінного струму

1.6.3 Мережева станція (рис.1.17) [9]

Мережева сонячна електрична станція призначена для часткового електропостачання споживачів або вироблення енергії за зеленим тарифом. Основними елементами такої сонячної системи є фотопанелі (1) і інвертор (2).

Фотомодулі (1) безпосередньо підключаються до інвертора (2), який перетворює постійний струм з панелей в змінний струм для генерації

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

електричної енергії в мережу (4). Підключення інвертора до загальної мережі (4) здійснюється через розподільчий щит споживача (3).

Обов'язковою умовою генерації електричної енергії в мережу (4) є наявність напруги в загальній мережі.

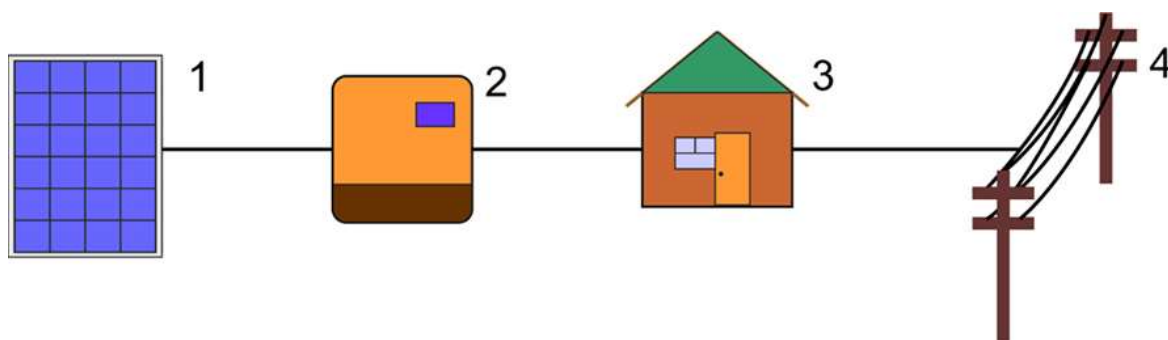


Рисунок 1.17 – Конструкція мережевої станції

1.7 Основні параметри сонячних фотомодулів

1. Напруга у фотоелектричних модулях [10].

Напруга сонячної фотопанелі визначається кількістю фотоелектричних елементів, з'єднаних між собою. Кожен фотоелемент має робочу напругу трохи менше 0,5 вольта. На даний час є модулі з кількістю елементів 36, 48, 54, 60, 72 і 96. Найбільш поширені модулі з кількістю елементів 36, 60 і 72. Вважається, чим менша напруга при максимальній потужності фотомодуля, тим ефективнішим є модуль.

2. Якість виготовлення [10].

Якість фотоелемента може бути різною. Необхідно перевіряти якість виготовлення і відсутність візуальних дефектів на сонячних елементах, склі, захисній плівці і рамі фотомодуля. Ефективність панелі залежить від безлічі його параметрів - шумових струмів, шунтового і послідовного опорів, зворотного опору та інше. Якість сонячного елемента залежить від якості кремнію, контактних паст та припою.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Між склом і елементами розташовується EVA-плівка, яка з часом мутніє. Від її якості може залежати термін служби модуля і втрата його потужності.

Також строк придатності панелі залежить від якості герметизації задньої захисної плівки та всього фотомодуля. Задня плівка захищає фотомодуль від попадання вологи. При неякісних даних елементах волога накопичується всередині модуля і руйнує контакти і контактну групу деталей і панель може вийти з ладу.

Одним з елементів фотомодуля є - алюмінієва рама. Дефекти, що можуть бути спричинені корозією рами внаслідок окислення, більше мають візуальний характер. Але в деяких випадках це може призводити до руйнування самої конструкції.

3. Толерантність [10]

Під толерантністю розуміється відхилення реальної потужності фотомодуля від заявленої паспортної. Толерантність може бути як позитивною, так і негативною.

4. Температурний коефіцієнт [10].

Температурний коефіцієнт відображає вплив на вихідний струм і напругу фотомодуля матиме підвищення або зниження температури фотомодуля. Як відомо, напруга і потужність фотомодуля при підвищенні температури зменшуються, а струм підвищується. Чим менший температурний коефіцієнт зміни потужності, тим електричний модуль є кращий.

5. Ефективність перетворення сонячного світла [10].

Чим більший коефіцієнт корисної дії, тим меншу площу фотомодулів потрібно для генерації однакової потужності енергії.

6. Загальна кількість енергії, що витрачена при виробництві модуля [10]

Даний параметр не є обов'язковим, носить тільки інформаційний характер. Загальна кількість енергії, яку було затрачено при виробництві сонячного фотомодуля від видобутку кремнію до постачання в магазин готової продукції. Цей параметр відображає, наскільки енергоємним було виробництво

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

фотомодуля і наскільки швидко сонячний фотомодуль виробить таку ж кількість енергії, яку було затрачено на його виробництво (так звана окупність енергії).

7. Термін експлуатації та гарантія [10]

Заявлений термін експлуатації сонячної панелі може відображати впевненість виробника в якості виробленої продукції. Відомі виробники мають гарантію 25 років на 80-90% потужності фотомодуля, а також 5 і більше років на механічні пошкодження.

8. Розміри і потужність [10]

Вартість фотомодуля залежить від його потужності прямопропорційно. Однак, чим більше одинична потужність фотомодуля, тим менше буде його вартість за один Ват. Тип сонячних елементів, що використані в фотомодулі, також визначає його розмір.

9. Пікова потужність всіх модулів, що вимірюється при стандартних тестових умовах [10].

Тестові умови за STC: маса повітря $A_M = 1,5$; радіація $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$; температура фотоелемента $T_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Такі умови при реальній роботі фотомодулів не існують. Фотомодулі нагріваються, як правило, до $40\text{-}60 \text{ }^\circ\text{C}$. Освітленість майже завжди нижче 1000 Вт/м^2 . Тому багато виробників також дають характеристики модулів при NOCT (normal operation conditions) – як правило, для температури фотомодуля $45\text{-}47 \text{ }^\circ\text{C}$ і освітленості 800 Вт/м^2 , при цьому вироблення фотомодулів приблизно на 25-30% є нижчою за пікову. У морозний ясний день вироблення фотомодулів може доходити до 125% від пікової.

1.8 Методи вимірювання вольт-амперних характеристик фотоелектричних сонячних елементів і батарей [11]

Розглянемо класифікацію методів вимірювання вольт-амперної характеристики (ВАХ) напівпровідникових приладів. Ця класифікація є

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

актуальною і для сонячних елементів та фотоелектричних сонячних батарей, оскільки вони є підмножиною сукупності напівпровідникових приладів. У загальному вигляді ці методи розділяють на два великі класи:

- динамічні (або імпульсні) методи (dynamic IV measurements, pulsed IV measurements);
- статичні (або безперервні) методи (static measurements, DC-measurements).

Імпульсним вважається метод, коли при вимірюванні ВАХ задається постійний режим спокою напівпровідникового пристрою (з «точкою спокою» - «quiescent point», «Q-point» або «bias point»), в якому знаходиться прилад в моменти відсутності вимірювальних впливів. В даному випадку впливовий сигнал має форму імпульсів і одночасно є безперервним у часі.

Динамічні методи передбачають подачу на досліджуваний напівпровідниковий прилад, що досліджується коротких імпульсів, під час дії яких вимірюється відгук приладу.

Статичні методи вимірювання ВАХ передбачають подачу на напівпровідниковий прилад, що досліджується електричних вимірювальних впливів, які безперервно змінюються в часі.

В залежності від стану напівпровідникового приладу під час вимірювань ВАХ виділяють ізодинамічні та ізотермічні методи.

Залежно від інерційності вимірювальних засобів, а також швидкості і характеру поданих впливів методи вимірювання воль-амперних характеристик поділяються на статичні, квазістатичні і динамічні, а також такі, що здійснюються вручну або автоматично.

Таким чином, аналіз вітчизняних і зарубіжних публікацій показав, що існують різні, відмінні між собою за низкою ознак, методи вимірювання ВАХ напівпровідникових приладів :

- статичні;
- динамічні;

- методи з урахуванням або контролем теплового стану приладу;
- методи для ВАХ із негативним диференціальним опором;
- методи із застосуванням математичних обчислень або статистичної обробки результатів вимірювання;
- автоматизовані методи.

Проведений аналіз для напівпровідникових приладів дозволив скласти класифікацію методів вимірювання ВАХ сонячних елементів і фотоелектричних сонячних батарей (рис.1.18) (лист [МРМА22.00.00.000ДО]).

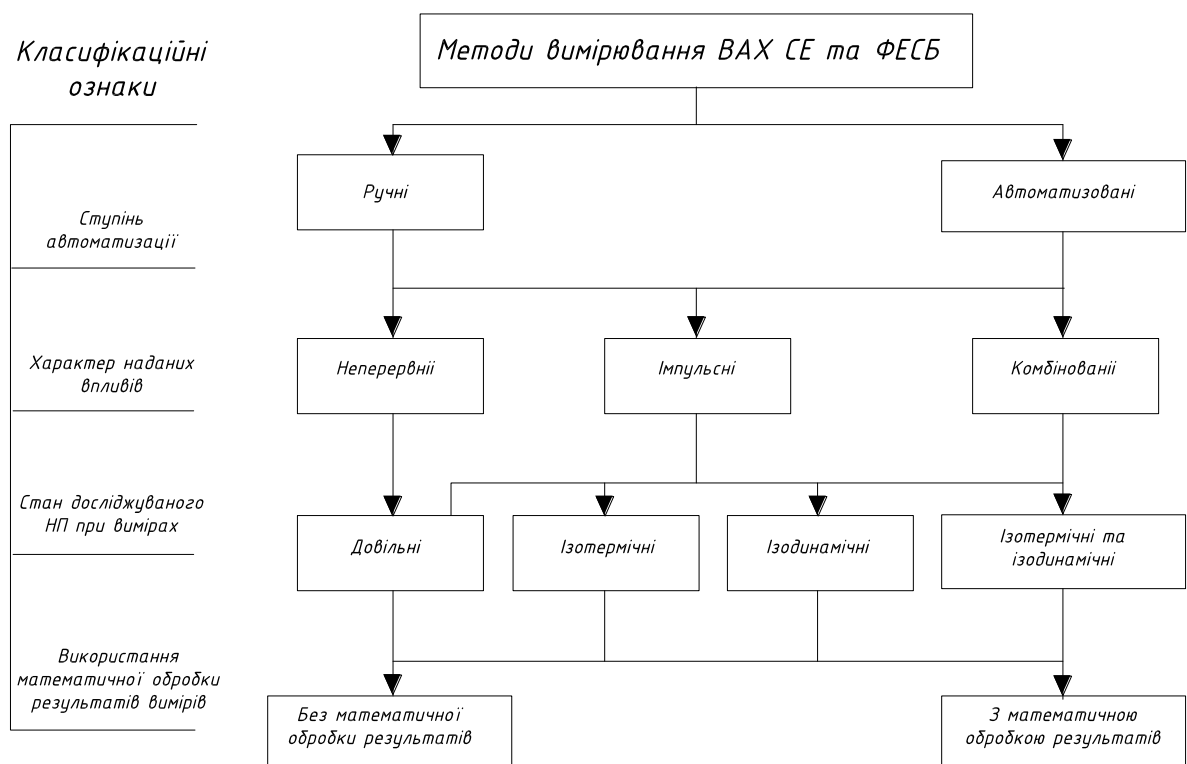


Рисунок 1.18 – Класифікація методів вимірювання ВАХ СЕ та ФЕСБ

В результаті аналізу існуючих методів вимірювання ВАХ сонячних елементів та фотоелектричних сонячних батарей встановлено, що з точки зору таких критеріїв, як тривалість процесу вимірювання і ступінь його

автоматизації, а також інтенсивність власного розігрівання приладу при вимірюванні, найбільш ефективними є автоматизовані імпульсні методи, при яких елемент або батарея знаходиться в ізотермічному та ізодинамічному стані.

1.9 Висновки до розділу

На основі проведеного огляду існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи можна зробити наступні висновки.

1. Визначено типи фотоелектричних елементів, які застосовуються для виготовлення сонячних панелей, їхню будову та основні характеристики.
2. Визначено тип сонячного фотоелемента, який буде досліджуватися.
3. Визначено технічні характеристики, що характеризують сонячний фотомодуль.
4. Розглянуто класифікацію методів вимірювання вольт-амперних характеристик фотоелектричних сонячних елементів і батарей та визначено яким методом будуть здійснюватися експериментальні дослідження.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

2.1 Представлення сонячного елемента рівнозначною системою заміщення

Сонячний елемент складається з р-n переходу і подібний за будовою до звичайного напівпровідникового діода. При нестачі освітлення характеристика такого елемента не відрізняється від характеристики напівпровідникового діода. Під впливом світла він починає працювати як генератор електроструму, а характеристика нагадує вісь напруги характеристики діода.

На рис.2.1 (лист [МРМА22.00.00.000ДІ1]) приведена схема рівнозначна сонячному елементу. На даній схемі сонячний елемент представлений як паралельне поєднання діода і джерела струму. Додатково встановлено 2 резистора репрезентуючі втрату потужності в елементі. Резистор послідовний R_s представляє опір з'єднувачів та інших опорів в електричному колі, а резистор R_p враховує процеси дифузії і рекомбінації носіїв.

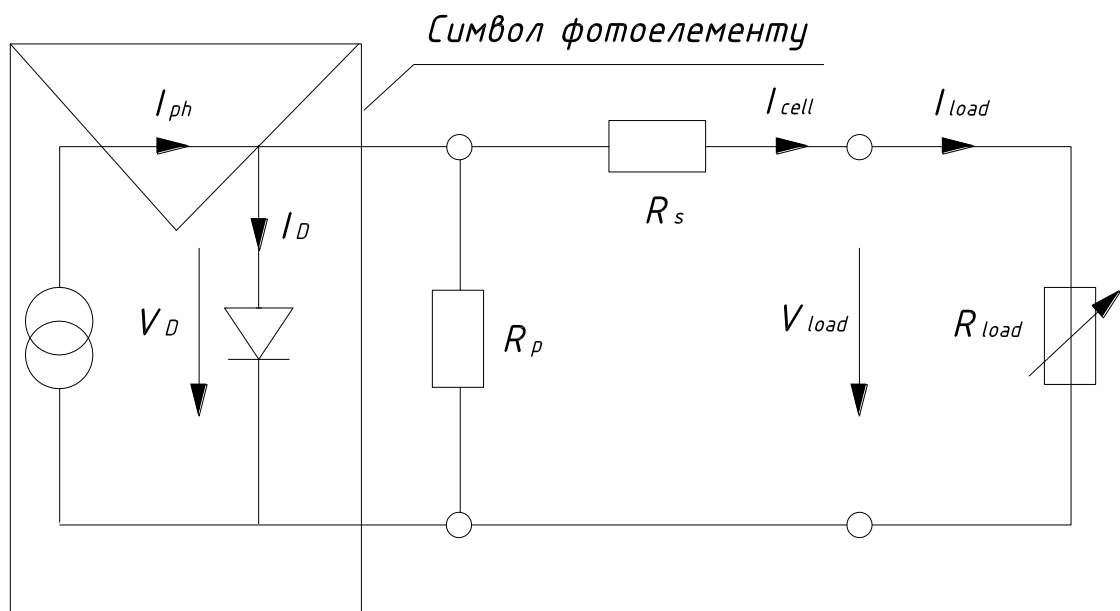


Рисунок 2.1 – Електрична схема рівнозначної системи для сонячного елемента

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Математична модель ідеального сонячного елемента можна написати наступним чином:

$$I_{cell} = I_{ph} - I_d \quad (2.1)$$

де I_{ph} - струм носіїв меншості;

I_d - струм дифузійний.

Підставивши та зробивши необхідні перетворення у формулі (2.1) отримаємо:

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q}{\sigma \cdot T} (V_{load} + I_{cell} \cdot R_s)\right) - 1 \right] - \frac{V_{load} + I_{cell} \cdot R_s}{R_p} \quad (2.2)$$

де R_s - резистор послідовний, Ом;

R_p - резистор паралельний, Ом;

R_{load} - резистор навантаження, Ом;

q - заряд електронів ($1,60219 \cdot 10^{-9}$ Кл);

I_0 - струм діода (затемненого діода), А;

T - температура сонячного елемента, К;

V_{load} - напруга навантаження зовнішнього, V;

σ - стала Стефана Больцмана.

За допомогою представленої вище моделі можна проводити теоретичний розв'язок, що стосується реального сонячного елемента. Можна також визначати в цей спосіб теоретичні вольт-амперні характеристики.

2.2 Визначення вольт-амперної характеристики сонячного елемента

Підставовим дослідженням, яке веде до певної ідентифікації сонячного елемента є визначення певної вольт-амперної характеристики. При розрахунках вольт-амперних характеристиках прийнято інтенсивність сонячного випромінювання і температуру елемента сталою. Типова характеристика елемента представлена на рис.2.2 (лист [МРМА22.00.00.000ДІ2]) із зазначеними всіма характеристичними точками до яких належать:

- U_{oc} - напруга сонячного елемента не навантаженого (відкрите коло);
- I_{sc} - струм короткого замикання елемента (напруга дорівнює нулю);
- P_{MPP} - точка потужності максимальної
- I_{MPP} - струм максимальної потужності;
- U_{MPP} - напруга максимальної потужності.

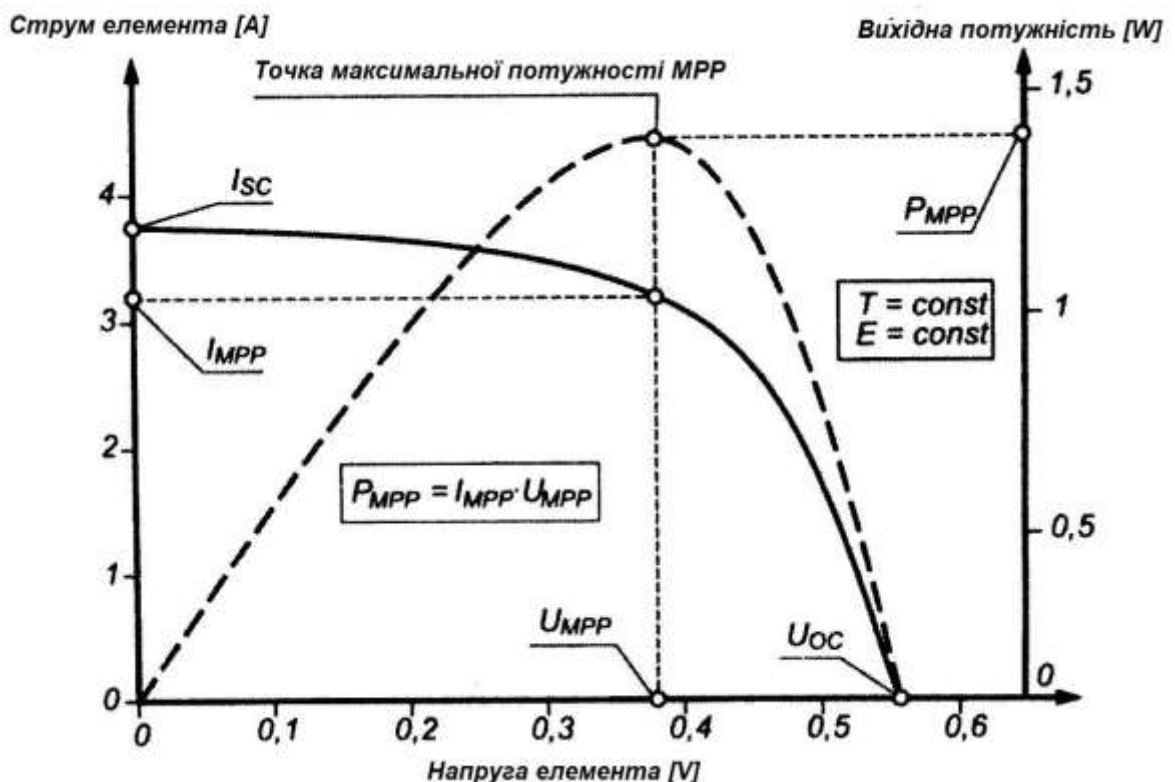


Рисунок 2.2 – Типова вольт-амперна характеристика сонячного елемента

Результат з неї такий, що в одній частині елемент тримає як джерело струму, в другій як і напруга. Унеможлиблює це безпосереднє живлення пристрою постійного струму, вимагає постійної величини напруги живлення. Істотним з практичної сторони бачення параметром є також так звана максимальна точка потужності (MPP), чи точка на характеристиці U-I в якій елемент виробляє найбільшу потужність при заданих температурі і інтенсивності.

Щоб максимально використати продуктивність елемента необхідно обтяжувати його такою величиною опору для якого виступає MPP. Є то опір оптимальний, який можна знайти із формули:

$$R_{opt} = \frac{U_{mpp}}{I_{mpp}} \quad (2.3)$$

Маючи такі дані можна визначити інші параметри, коефіцієнт заповнення FF і коефіцієнт корисної дії.

Коефіцієнт заповнення виражається формулою:

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot U_{oc}} = \frac{I_{mpp} \cdot U_{mpp}}{I_{sc} \cdot U_{oc}}, \quad (2.4)$$

Окреслює він якість сонячного елемента, а його величина досягає одиниці, коли форма характеристики є дуже наближена до прямокутника. Є то поверхні прямокутника з боками I_{MPP} і U_{OC} . Його максимальна величина в кімнатній температурі може складати біля 0,89.

Коефіцієнт корисної дії є найважливішим параметром характеризую чого якість сонячного елемента, характеризується як відношення потужності максимальної до потужності освітленості сонячного світла, що падає на поверхню даного сонячного елемента.

Визначається за формулою:

$$\eta = \frac{I_{mpp} \cdot U_{mpp}}{E \cdot S} = FF = \frac{I_{sc} \cdot U_{oc}}{E \cdot S} \quad (2.5)$$

де E - інтенсивність сонячного випромінювання, W/m^2 ;
 S - площа поверхні елементу, m^2 .

2.3 Залежність електричних параметрів кремнієвого елементу від інтенсивності сонячного випромінювання і температури

Всі практично електричні параметри кремнієвого елементу залежать від інтенсивності сонячного випромінювання і температури. Модулі піддаються впливові при змінній інтенсивності випромінювання і температури, що в загальному впливає на вольт-амперну характеристику. На рис.2.3 представлена отримана залежність параметрів I_{sc} , $s U_{oc}$ від інтенсивності випромінювання.

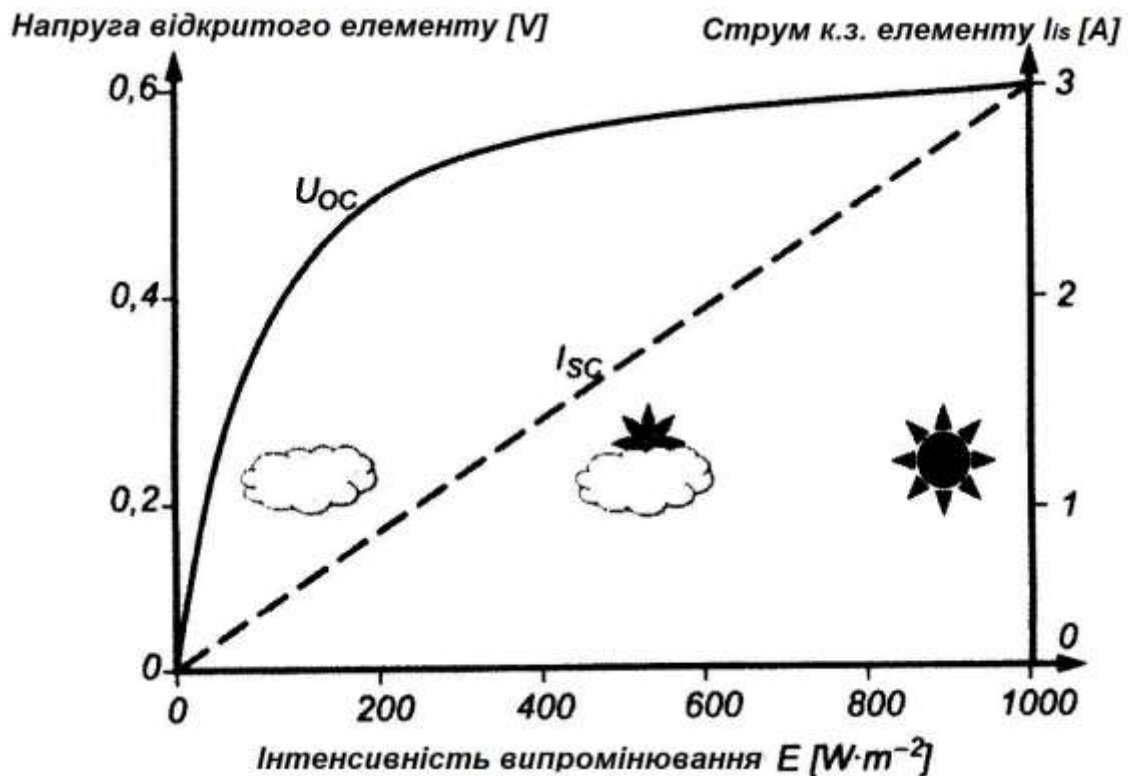


Рисунок 2.3 – Вплив інтенсивності випромінювання на U_{oc} і I_{sc}

На графіках (рис.2.4) представлено вплив інтенсивності випромінювання на характеристики елемента при постійній температурі.

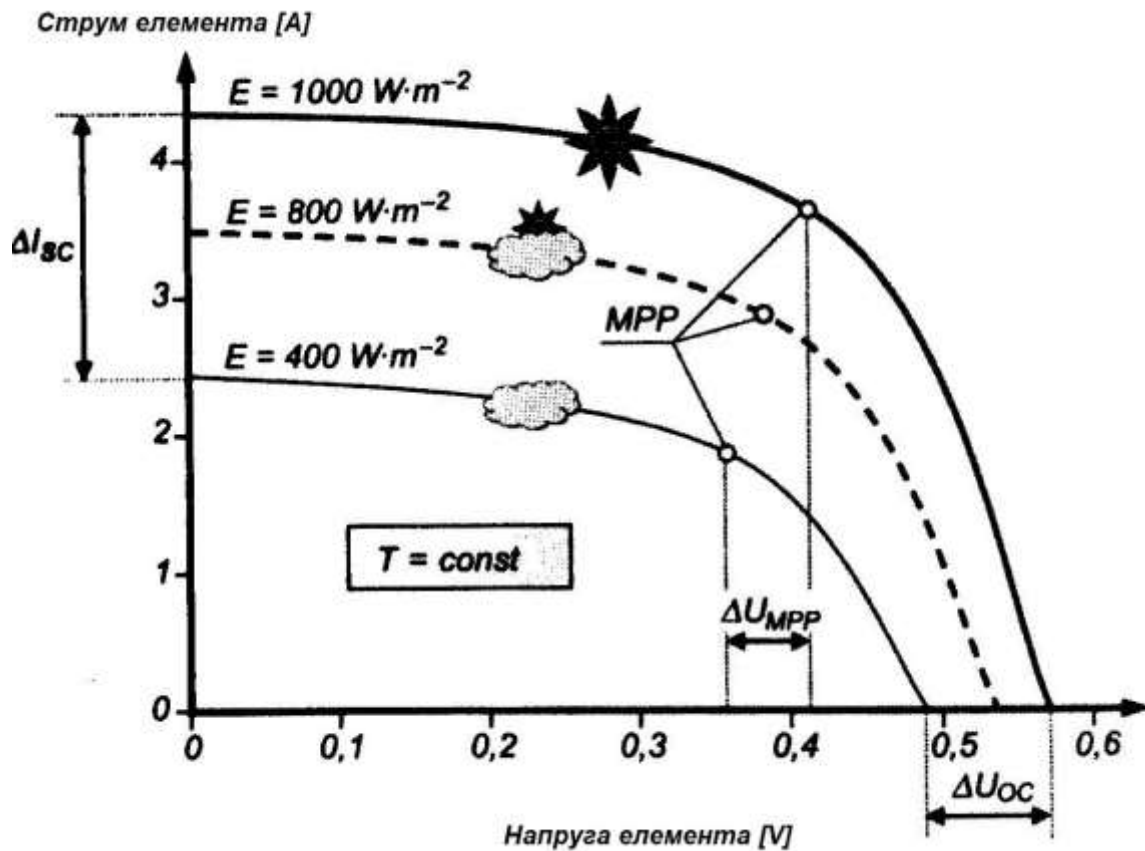


Рисунок 2.4 – Вплив інтенсивності випромінювання на характеристики сонячного елемента при постійній температурі

На електричні властивості має також вплив зміна температури, цей вплив є однак відмінним ніж у випадку зміни інтенсивності випромінювання (рис.2.5).

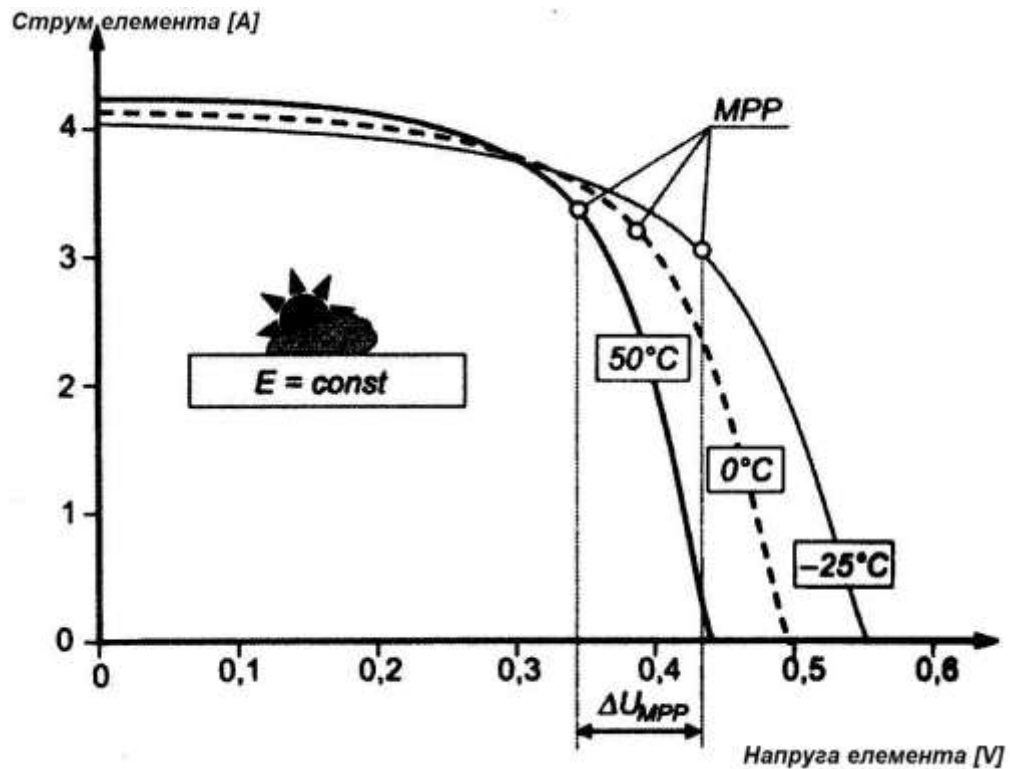


Рисунок 2.5 – Вплив зміни температури на характеристики сонячного елемента при постійній інтенсивності випромінювання

2.4 Висновки до розділу

1. Досліджуючи форму зміни характеристик $I = f(U)$ при змінній інтенсивності сонячного випромінювання можна зробити наступні висновки:

- струм фотоелементу змінюється пропорційно до інтенсивності випромінювання. Сонячний фотоелемент при короткому замиканні може застосовуватися як простий вимірник інтенсивності випромінювання;

- напруга холостого ходу в невеликій степені залежить від інтенсивності сонячного випромінювання. При значному зменшенні випромінювання напруга значно зменшується і може доходити до нуля;

- напруга для точки максимальної потужності MPP зменшується не значно при спаданні інтенсивності випромінювання;

- максимальна потужність, яка згенерована сонячним елементом зменшується при пропорційному наближенні до спадання інтенсивності випромінювання.

2. З рис. 2.5 на якому приведено характеристики I-U при постійній інтенсивності можна зробити певні загальні висновки з яких викликають істотні твердження:

- зростання температури приводить до зменшення напруги холостого ходу і максимальної потужності. Напруга змінюється в межах 0,4%/К;

- зростання температури приводить до зростання струму короткого замикання, приблизно 0,06%/К;

- зростання температури приблизно на 20 °С приводить до зменшення потужності приблизно на 10% (0,5%/К), тим самим до зменшення коефіцієнт корисної дії.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ФОТОМОДУЛІВ

3.1 Загальні відомості

Кожний виробник має обов'язок представляти технічні характеристики сонячних фотомодулів відповідно до Європейських норм EN50380. До них відноситься:

- струм короткого замикання I_{sc} ;
- струм в точці максимальної потужності I_{mpp} ;
- напруга в точці максимальної потужності U_{mpp} ;
- напруга холостого ходу U_{oc} ;
- номінальна потужність W_p ;
- температурні коефіцієнти для вихідної потужності, інтенсивності струму і напруги.

Всі вище зазначені коефіцієнти повинні бути подані до стандартних характеристик STC (Standart Test Conditions):

- інтенсивність сонячного випромінювання $E = 1000W / m^2$;
- температура сонячного елемента $T = 25^{\circ}C$.
- маса повітря $AM 1,5$;

Повинна також бути представлена інформація в наданих сертифікатах, вид матеріалу з якого виготовлено сонячний елемент, про раму, вид скла, розміри панелі, її маса.

3.2 Розробка експериментальної установки

Спроектована і виготовлена в рамках даної магістерської роботи установка для досліджень сонячних панелей складається із об'єкту, що

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

досліджується та обладнання для дослідження. В нашому випадку об'єктом є сонячна панель. Для дослідження використано сонячну панель SUNTECH STP 180S-24/As потужністю 180W при напрузі 36V і струмові 5A.

Сонячна панель є монокристалічною (рис.3.1, 3.2) (лист [МРМА22.00.00.000ДІЗ]).



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд сонячної панелі

Вона має наступні параметри, заявлені виробником:

- напруга холостого ходу $U_{oc} = 44,8V$;
- напруга в точці максимальної потужності $U_{mpp} = 36,0V$;
- струм короткого замикання $I_{sc} = 5,29A$;
- струм в точці максимальної потужності $I_{mpp} = 5,00A$;
- максимальна потужність $P_{MPP} = 180W_p$;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.
47



Рисунок 3.3 - Стенд для проведення експериментальних досліджень

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.
49

3.2.1 Автоматичний вимикач

Автоматичний вимикач – представляє собою контактний комутаційний апарат, що спроможний вмикати, проводити та вимикати струм, коли електричне коло знаходиться у нормальному стані, а також вмикати, проводити протягом певного встановленого часу і вимикати струм при певному аномальному стані електрокола. Він призначений для нечастих вмикань, а також для захисту кабелів та кінцевих споживачів від перевантаження і короткого замикання [29].

Автоматичні вимикачі виконують одночасно функції захисту та керування. Незалежно від виконуваних функцій, автоматичні вимикачі поділяються за власним часом спрацьовування t_c (час з моменту подачі команди до початку розмикання контактів) на:

- нормальні ($t_c = 0,02-0,1$ с);
- швидкодіючі, що володіють струмообмежувальним ефектом ($t_c \leq 0,005$ с);
- селективні (t_c регулюється і може становити до 1 с).

Автоматичний вимикач для монтажу на DIN-рейку конструктивно виготовляється у діелектричному корпусі (рис.3.4). Включення-відключення здійснюється важелем 1, проводи приєднуються до гвинтових клем 2. Засувка 9 фіксує корпус вимикача на DIN-рейці і дозволяє при потребі легко його зняти. Комутацію кола здійснюють рухомий 3 і нерухомий 4 контакти. Рухомий контакт підпружинений, пружина забезпечує зусилля для швидкого розчеплення контактів. Механізм розчеплення приводиться в дію одним із двох розчеплювачів: тепловим або магнітним [29].

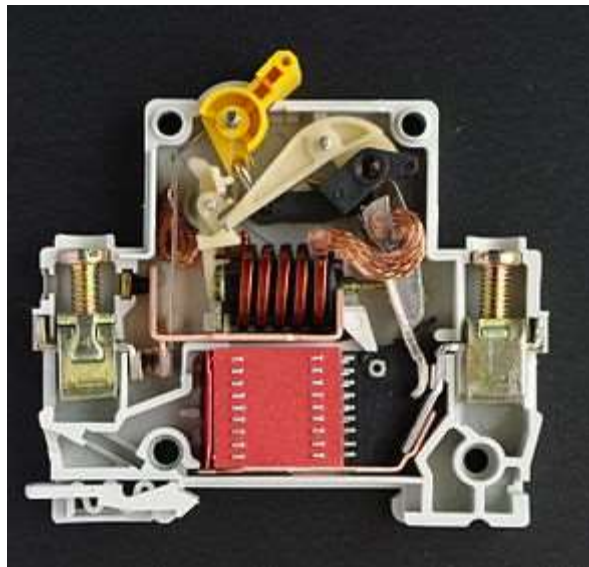


Рисунок 3.4 - Будова автоматичного вимикача

У стенді використано 6 автоматичних вимикачів ВА47-60 1р 16А фірми ІЕК. Автоматичні вимикачі ВА торгової марки ІЕК, найбільш відомі з усіх автоматичних вимикачів китайського виробництва на ринку України, вони чудово підходять для вирішення недорогих бюджетних проектів. Технічні характеристики даного автоматичного вимикача приведено в табл.3.1 [30].

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики автоматичного вимикача ВА47-60 1р 16А

№ п/п	Характеристика	Величина
1	Номінальний струм	16А
2	Кількість полюсів	1р
3	Відключаюча здатність	6кА
4	Характеристика відключення	С
5	Механічний ресурс	20 000
6	Електричний ресурс	6 000

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

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.
51

Продовження табл.3.1.

7	Перетин підключаемого дрота	1-25мм ²
8	Ширина модуля	18мм
9	Монтаж	на шину ТН35(DIN)
10	Ступінь захисту	IP-20

3.2.2 Контролер заряду

Контролер заряду є одним із важливих елементів сонячної електростанції. Правильний вибір того чи іншого контролера дозволить максимально застосовувати сонячні ресурси [11].

Контролер заряду є невід'ємним елементом сонячної електричної станції від якого залежить не тільки працездатність системи, але й ефективність перетворення сонячного світла в електричну енергію. Існує декілька типів контролерів заряду, що застосовуються для сонячних батарей, це так звані ШІМ та МРРТ контролери.

ШІМ контролери заряду для сонячних батарей [11].

ШІМ контролери в активній стадії процесу заряду рfcnjcjde.nm так звану широтно - імпульсну модуляцію (ШІМ) струму заряду (PWM - power wide modulation). Ці контролери підтримують функцію температурної компенсації струму заряду акумуляторної батареї за допомогою зовнішніх датчиків для оптимального режиму заряду батарей. При цьому заряд батареї відбувається до 100 %.

Використання ШІМ - контролерів дозволяє оптимально заряджати акумуляторні батареї, відповідно до вимог виробників АКБ.

МРРТ контролери заряду для сонячних панелей [11].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPPT контролери являють собою останнє покоління контролерів заряду із найкращою технологією перетворення енергії, що генерується від фотоелектричних модулів. Аббревіатура MPPT в перекладі з англійської Maximum power point tracker - слідування за точкою максимальної потужності (ТММ). Такі контролери які самі вибирають оптимальне співвідношення напруги і струму, отриманих від фотоелектричних модулів. Ці контролери знімають більш високу напругу з сонячних батарей і конвертують її в оптимальну напругу для заряду акумуляторної батареї. MPPT контролер перетворюють зайву напругу в корисний струм наприклад у сонячний день, а у хмарний день все навпаки. Коли напруга на фотомодулі є нижчою напруги заряду батареї контролер автоматично піднімає напругу зменшуючи при цьому зарядний струм і акумулятор заряджається (правда вже не так інтенсивно). Тому використання MPPT контролерів дозволяє отримувати від сонячних панелей на 15-30 % більше електричної енергії в порівнянні з іншими контролерами .

Якщо розглянути стандартну вольт - амперну характеристику фотоелектричного модуля (рис.3.5, 3.6) то, можна відзначити, що вироблена електрична енергія може бути збільшена, якщо контролер заряду відстежуватиме точку максимальної потужності фотоелектричного модуля [11].

MPPT контролер весь час стежить за струмом і напругою на фотопанелях, примножує їх значення і визначає струм - напругу, при яких потужність сонячної батареї є максимальною. Процесор аналізує стадії заряду, в яких знаходиться акумулятор (наповнення, насичення, вирівнювання, підтримка) і на підставі цього регулює струм, що подається безпосередньо на акумуляторну батарею.

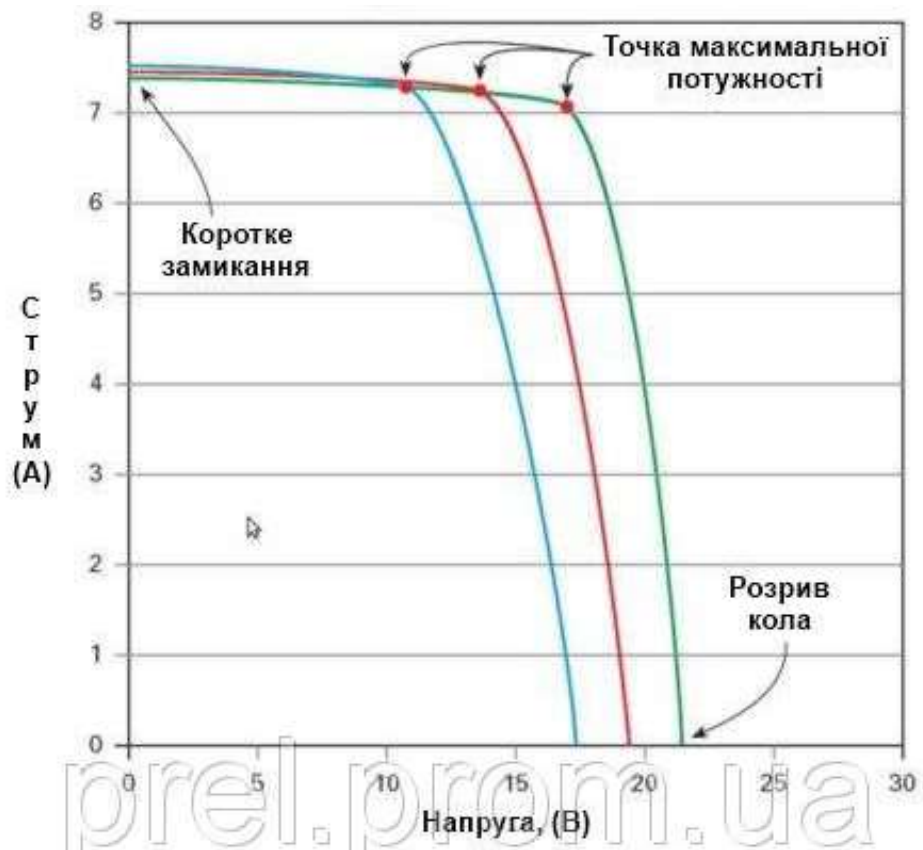


Рисунок 3.5 - Точка максимальної потужності

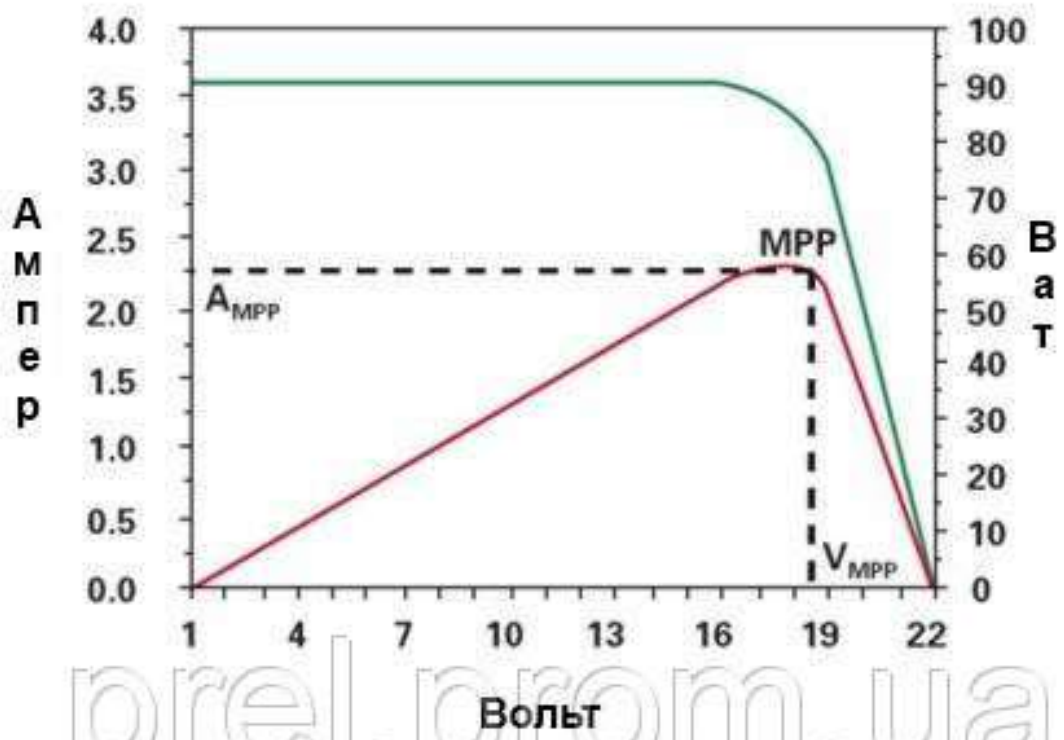


Рисунок 3.6 - Вольт-амперна характеристика

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA22.00.00.000 ПЗ

Арк.
54

В стенді використано контролер MPPT SOLAR 30 фірми Y-SOLAR (Китай) (рис.3.7).



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд контролера MPPT SOLAR 30

Контролер має наступні характеристики:

- номінальна напруга: 12V, 24V (напруга розпізнається автоматично);
- номінальна сила струму заряду акумуляторної батареї: 30A;
- номінальна напруга: DC12V / 24V;
- максимальний струм: 30A;
- напруга сонячних батарей: менше або дорівнює 48 В;
- захист від низької напруги (встановлюється): 10.7V / 21.4V;
- напруга підзаряду: 13.8V / 27.6V;
- втрати без навантаження: менше або дорівнює 30 мА;
- падіння напруги контуру: менше або дорівнює 200mV;
- робоча температура: -10 С ~ 60 С.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA22.00.00.000 ПЗ

Арк.
55

3.2.3 Клемна коробка

Основним призначенням клемної коробки є комутація проводів, які йдуть від сонячних панелей через автоматичні вимикачі та контролер заряду до акумулятора і інвертора.. Клемна коробка була виготовлена на основі розподільчої коробки, що використовується в електротехніці. В якості основи кріплення болтів для затискання клем використано текстоліт. Для кріплення клем використано болтове з'єднання (рис.3.8).



Рисунок 3.8 – Клемна коробка

3.2.4 Амперметр із вбудованим вольтметром

Амперметр (англ. ammeter; нім. Amperemeter n) - прилад, яким вимірюють силу електричного струму [12]. Амперметр завжди вмикають послідовно з тією ділянкою електричного кола, силу струму у якій вимірюють. Електричний опір амперметра є малим.

Для відстеження струму зарядки, який протікає в сонячних панелях та струму споживання при підключенні навантаження використано амперметр з нульовою точкою на 50 А (рис.3.9). Даний амперметр вмонтовано в розподільчу електротехнічну коробку.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Для контролю напруги зарядки акумулятора в корпус коробки вмонтовано портативний цифровий вольтметр DC0-100V (рис.3.10) [13].

Вольтметр має наступні характеристики:

- діапазон вимірювання DC0-100V;
- мінімальна вхідна напруга DC 0 В;
- максимальна вхідна напруга DC100V;
- допустима похибка 1%;
- колір дисплею – червоний;
- частота оновлення 500 мс/час;
- живлення DC3.0-30V.



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд амперметра із вбудованим вольтметром

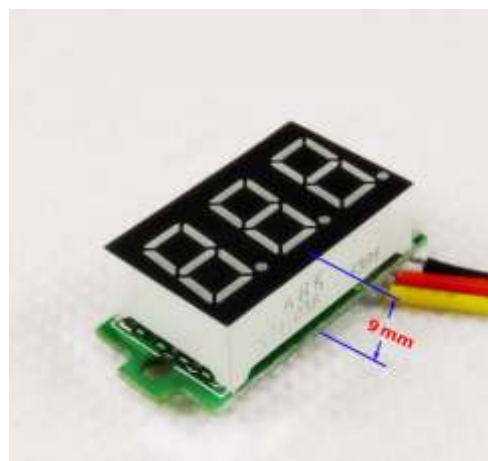


Рисунок 3.10 – Загальний вигляд портативного цифрового вольтметра DC0-100V

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA22.00.00.000 ПЗ

Арк.

57

3.2.5 Ватметр

Ватметр (англ. wattmeter, нім. Wattmeter) - прилад для вимірювання активної потужності електричного струму [31].

Ватметр має чотири контакти, двома з яких його вмикають в електричне коло послідовно з тією ділянкою кола, споживану потужність якої вимірюють, і двома паралельно до неї.

Ватметри створюють, як правило, на основі електродинамічних механізмів.

Для вимірювання струму, напруги, активної потужності в стенді використано ватметр використано ватметр АС 20А китайського виробництва [14]. Даний ватметр був вмонтований в коробку для встановлення автоматичних вимикачів. Загальний вигляд вмонтованого ватметра в корпус приведено на рис.3.11.



Рисунок 3.11 - Загальний вигляд вмонтованого ватметра в корпус

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

живлення. Причина в тому, що при роботі таких акумуляторних батарей виділяється достатньо велика кількість водню та кисню, що є небезпечним в умовах замкнутого простору котельні;

- герметизовані акумуляторні батареї з гелеподібним електролітом (VRLA GEL). Ці акумулятори добре пристосовані до роботи в умовах глибокого багаторазового розряду. Але велика густина електроліту призводить до погіршення динамічних характеристик батареї, що неприйнятно для джерел безперебійного живлення в системах опалення. Крім того, в безперебійниках АКБ працюють в буферному режимі (тобто активуються лише час від часу при зникненні напруги в електричній мережі) і здатність гелевих АКБ не втрачати своїх характеристик при багаторазових циклах розряду-заряду не потрібна. VRLA GEL акумулятори мають найбільшу вартість в порівнянні з іншими типами акумуляторних батарей і в джерелах безперебійного живлення застосовуються в виключних випадках в умовах дуже нестабільних електромереж;

- герметизовані акумуляторні батареї з абсорбуючим скловолоконним наповнювачем (VRLA AGM). Саме такий тип акумуляторів найширше використовується в ДБЖ середньої та великої потужності з тривалим режимом автономної роботи та сонячних електричних станціях. Строк служби батарей типу AGM може сягати 15 років.

В стенді застосовано 2 акумуляторні батареї LogicPower LPM - MG 80 АН, 12V. Загальний вигляд даної батареї приведено на рис.3.12.

Акумуляторна батарея LogicPower LPM - MG 80 АН, 12V це хороше та якісне джерело постійної напруги 12 В [33]. Ємність батареї складає 80 А год. Корпус акумулятора зроблений із ударостійкої та вогнестійкої пластмаси. Основною перевагою приведених батарей - є насамперед безпечність в експлуатації. Джерела живлення такого типу не виділяють шкідливих газів. Вони є герметичними та такими, що не обслуговуються. Їх можна використовувати у домашніх умовах. Батарея відноситься до AGM типу, по

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

іншому їх ще називають "мультигель". Дана АКБ витримує 350-400 циклів заряду розряду, що у буферному режимі складає біля 8 до 10 років роботи.



Рисунок 3.12 – Загальний вигляд акумуляторної батареї LogicPower LPM - MG 100 АН

Технічні характеристики акумуляторної батареї LogicPower LPM - MG 100 АН [33]:

- вихідна напруга $U_{\text{вих}}$: 12В;
- ємність: 100 Аh;
- тип акумуляторної батареї - AGM герметична не обслуговуюча;
- термін служби - 8-12 років;
- номінальна напруга - 13,6-13,8 Вольт;
- напруга при підзарядки - 14,4-14,7 Вольт;
- діаметр отворів на клеммах — М6;
- маса 23 кг;
- габарити 290x190x270 мм.

3.2.7 Лічильник електричної енергії

Лічильник електроенергії (лічильник електричної енергії, електричний лічильник, електролічильник) (англ. Electricity meter) - електричний

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA22.00.00.000 ПЗ

Арк.
61

вимірювальний прилад, засіб обліку спожитої електроенергії змінного або постійного струму [34].

Кожна марка електролічильника розрахована на певний тип мережі живлення.

В стенді використано лічильник двох направленої дії DDS238-2 [15].

DDS238-2 типу SW, що кріпиться на din-рейку кВт год метр призначений для вимірювання однофазної двохпроводникової АС активної енергії. Даний лічильник був вмонтований в коробку для монтування автоматичного вимикача.

Загальний вигляд даного лічильника приведено на рис.3.13.



а



б

Рисунок 3.13 – Лічильник DDS238-2: а-загальний вигляд лічильника; б- лічильник в корпусі

Технічні характеристики DDS238-2:

- напруга 230 В 50 Гц;
- робочий діапазон напруги 0.8-1.2Un;
- частота 50 Гц;
- робочий струм 5 (65);

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.
62

- дисплей рідкокристалічний;
- клас точності 1,0;
- споживана потужність < 2 Вт/10VA;
- пусковий струм 0.004I_б.

Функції лічильника енергії:

- реальна частота Гц, діапазон 0,0 – 99,99;
- скидання енергії;
- вимірювання реального струму;
- вимірювання коефіцієнту потужності COS;
- вимірювання реактивної потужності;
- вимірювання реальної прямої і зворотної електричної енергії;
- вимірювання реальної напруги;
- вимірювання загальної енергії.

3.2.8 Інвертор

Найсучасніша розробка електрообслуговування, яка не поступається в мобільності ритму сучасного життя - це інвертор. Якщо необхідно підключити електроустаткування, але поблизу немає розетки. Якщо потрібний перехідник, який формує правильну чи модифіковану синусоїду для пристроїв з різною потужністю, то інвертор з правильною та модифікованою синусоїдою, це саме той засіб, який допоможе вирішити ці проблеми та отримати енергетичну незалежність [35].

Для стенду вибрано інвертор з чистою синусоїдою на напругу 24 В RX-500-S китайського виробництва [16].

Загальний вигляд даного інвертора приведено на рис.3.14.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.14 – Загальний вигляд інвертора RX-500-S

Технічні характеристики інвертора RX-500-S:

- вихідна напруга змінного струму 220V;
- вихідна потужність 500 Вт;
- миттєва пікова потужність 1000 Вт;
- форма хвилі виходу – чиста синусоїда;
- вихідна частота 50 Гц;
- DC вхідна напруга 24 В;
- струм холостого ходу < 0,6А;
- ефективність 88%.

3.3 Розробка вимірювальної системи стенду

В склад установки входить фотоелектрична панель типу on-grid, яка використовується для накопичення електричної енергії в акумуляторах. Використаний інвертор марки RX-500-S може працювати в одному режимі роботи.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.

64

До установки підключено систему моніторингу робочих параметрів. Блок – схема системи приведена на рис.3.15 (лист [МРМА22.00.00.000С1]). В її склад входить:

- піранометр в якому в якості датчика використано фотодіод ВРW-34 завдяки лінійній характеристиці сонячна радіація – фотострум;
- датчик температури, прикріплений до сонячної панелі;
- датчик струму на акумуляторах;
- центральний блок з дисплеєм;
- активне навантаження.

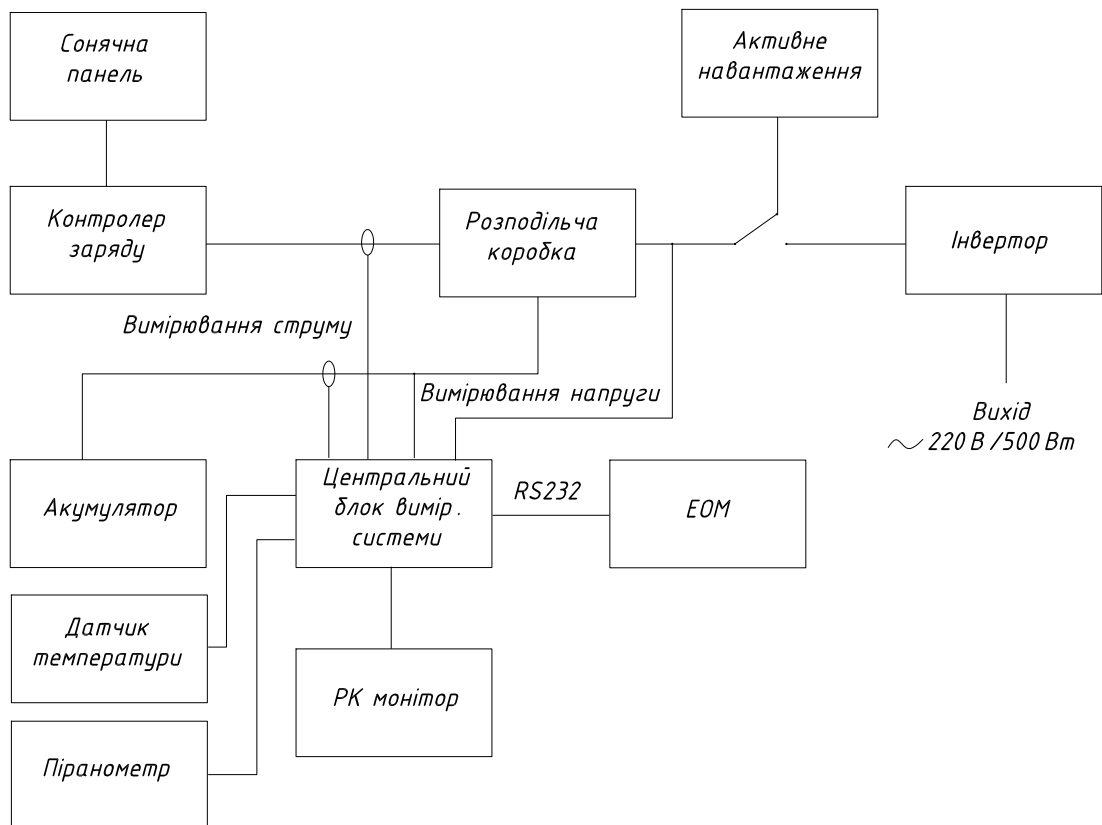


Рисунок 3.15 – Блок-схема установки з вимірювальною системою

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Вимірювання струму акумулятора виходячи із його великого значення відбувається посередньо за допомогою датчика Хола. Всі виміряні робочі параметри установки такі:

- напруга на сонячній панелі в межах 0 – 100 V (точність 0,1 V, +/-5%);
- струм на сонячній панелі в межах 0 – 10 A (точність 0,01 A, +/-5%);
- напруга на акумуляторі в межах 0 – 100 V (точність 0,1 V, +/-10%);
- - струм на акумуляторі в межах до 100 A (-100 до -0,5/ +0,5 до +100, +/-5%);
- потужність сонячної панелі і акумулятора;
- температура сонячної панелі (-55 °C до +125 °C, точність 0,5 °C),
- енергія сонячного випромінювання в межах 0 – 2000 W/m² (точність 2 W/m², +/-5%).

Загальний вигляд центрального блоку з дисплеєм приведено на рис.3.16.

Система вимірювання оснащена рідкокристалічним дисплеєм з роздільною здатністю 240x128 (рис.3.17) (лист [MPMA22.00.00.000ДІЗ]).

Вимірювальні дані можуть в будь-який момент передані до комп'ютера через порт RS232 і за допомогою спеціального додатку PV2EX записані в таблицю Excel. Це дозволяє легко робити аналіз, представляти у вигляді графіків і формування характеристик.

Додатково система має функцію для входу даних, яка полягає в автоматичному їх присиланню з хвилинним інтервалом.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

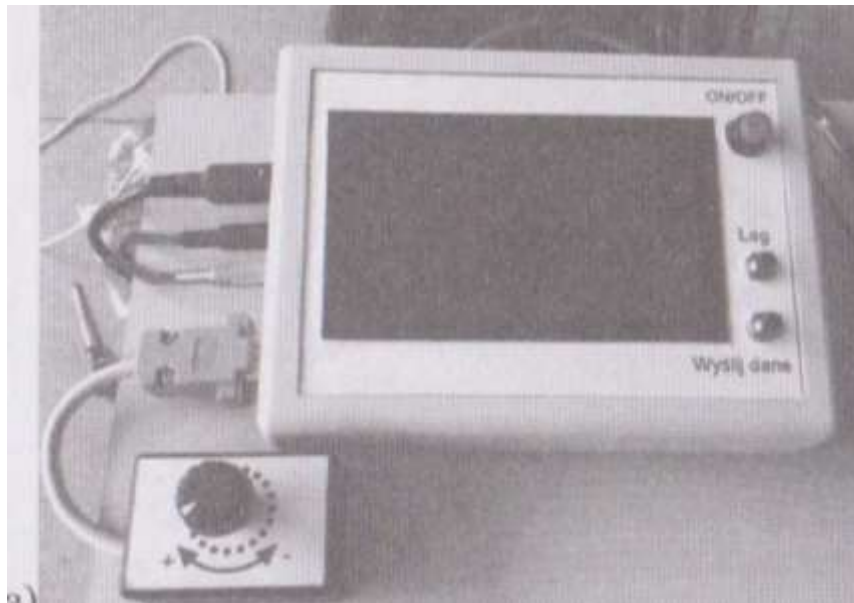


Рисунок 3.16 - Загальний вигляд центрального блоку з дисплеєм

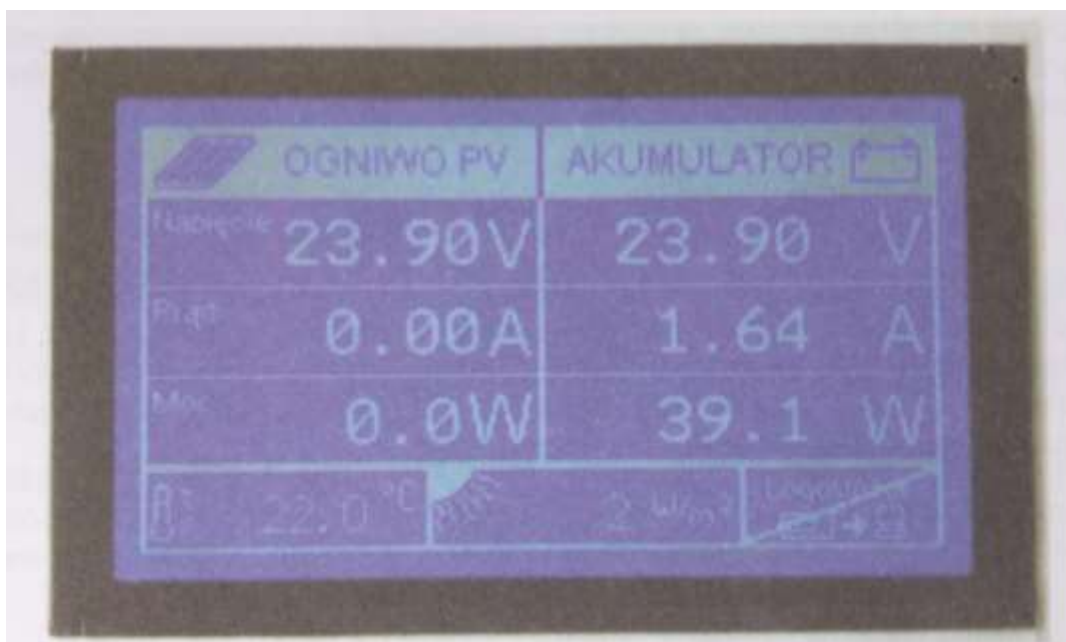


Рисунок 3.17 – Монітор системи вимірювання

Блок центральний складається із кількох вимірювальних блоків (схем) і мікроконтролера, що керує роботою всієї системи. В системі використовуються такі індивідуальні схеми.

Схема вимірювання струму сонячної панелі.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Принцип вимірювання струму, що протікає в ланцюзі фотоелемента заключається у вимірюванні падіння напруги на резисторі R_3 , включеного послідовно в цій схемі. Цей резистор повинен мати як найменший опір, щоб не було великої похибки вимірювання і втрат потужності, для цього прийнято величину $R_3 = 0,02\Omega$. Максимальний струм, який можна буде вимірювати $I_{\max} = 10A$. Це дозволить практично досліджувати всі панелі, які є на ринку, так як в них струм не буде вище даної величини. Отже мінімальна потужність резистора повинна бути:

$$P_{R_3} \geq I^2 \cdot R_3, \quad (3.1)$$

$$P_{R_3} \geq 10^2 \cdot 0,02 \geq 2W$$

Був використаний металевий резистор потужністю 3W і похибкою 1%.

Межа вимірювання складе 0,01A. Можна зараз визначити діапазон падіння напруги на резисторі R_3 :

$$U_{R_3\min} \leq U_{R_3} \leq U_{R_3\max} \quad (3.2)$$

$$0,01 \cdot R_3 \leq U_{R_3} \leq I_{\max} \cdot R_3$$

$$0,2mV \leq U_{R_3} \leq 200mV$$

Вимірювана напруга за допомогою аналогово-цифрового перетворювача в мікроконтролері Atmega 64A (IC1), що є 10 бітним перетворювачем для якого $V_{REF} = 4,096V$.

Тоді:

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$A / D_{RES} = \frac{4,096V}{1024} = 0,004V = 4mV \quad (3.3)$$

Якщо $A / D_{RES} > U_{R3min}$ то не можливим було б вимірювання напруги на резисторі R_3 у цілому діапазоні. Напруга U_{R3} є підсиленою на підсилювачі вимірювальному (IC4) AD620, який був встановлений так, аби діапазон U_{R3} знаходився в границях $0,004V$, що відповідає межах A / D_{RES} , а величина $4,096V$ була максимальним діапазоном вимірювальним перетворювача.

Тоді потрібне підсилення визначається за формулою:

$$G = \frac{A / D_{RES}}{U_{R3min}} \quad (3.4)$$

$$G = \frac{0,004}{0,0002} = 20$$

Підсилення підсилювача AD620 залежить від величини резистора R_4 і буде рівним:

$$G_{AD620} = \frac{49,4k\Omega}{R_4} + 1 \quad (3.5)$$

Провівши перетворення отримаємо необхідну величину R_4 :

$$R_4 = \frac{49,4k\Omega}{G - 1} \quad (3.6)$$

$$R_4 = \frac{49,4k\Omega}{19} = 2,6k\Omega$$

Використаним був резистор $2,61 k\Omega$ з похибкою 1%.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Напруга з R_3 після 20 ти кратного підсилення буде знаходитися в межах від 0,004 до 4V, це знаходиться в діапазоні вимірювань перетворювача і похибки 4mV/10mA. Величина виміру записується в реєстрі ADC3 мікроконтролера, а наступна буде збільшена на величину струму миттєвого в схемі фотовольтаїчного модуля:

$$I_{PV} = \frac{\left(\frac{V_{REF}}{1024}\right) \cdot ADC3}{G} \cdot \frac{1}{R_3} \quad (3.7)$$

Визначена величина виводиться на рідкокристалічний дисплей.

Схема вимірювання напруги сонячної панелі і акумулятора

Вимірювання напруги акумулятора (V_{AK}) як і модуля PV (V_{PV}) відбувається на звичайному дільнику складеному з резисторів R_7 , R_8 , R_9 і R_{10} , R_{11} , R_{12} , Опір дільників повинен бути як найточнішим щоб не виникнула похибка вимірювання струму. Максимальний рівень вимірюної напруги прийняли рівною 100V. Ціна поділки перетворювача A/D є такою самою як її при вимірюванні струму модуля, або $A/D_{RES}=0,004V$, натомість величина виміру напруги прийнята 0,1V.

Дільник повинен мати розподіл рівним:

$$R_{DIV} = \frac{0,1V}{A / D_{RES}} = \quad (3.8)$$

$$R_{DIV} = \frac{0,1}{0,004} = 25$$

Величина резисторів R_7 і R_{12} складає 81 кОм, опір (R_8+R_9), а також ($R_{10}+R_{11}$) визначається із формули:

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

випромінювання використано фотодіод BPW32, D1, нагадує він конструкцією малий сонячний елемент, закрите в корпусі, площа якого складає 7,5 мм². Його особливістю є те, що діод дуже добре справляється в ролі датчика інтенсивності і характеристикою є фотострум – інтенсивність (рис.3.18) з не лінійністю менше 1,2% і характеристикою спектральною (рис.3.19). При сонячній радіації 1000W/mm² він генерує струм 3,337 mA. Закладено аби на 1000W/mm² припадало 0,1V. Паралельно до діода підключено резистор R₁, який розраховується за формулою:

$$R_1 = \frac{0,1V}{0,003337A} = 29,97\Omega \quad (3.14)$$

Прийнято резистор номіналом 30 Ом з похибкою 1% на якому буде падіння напруги. Було прийнято рішення, що ціна поділки вимірювання буде складати 2W/m², напруга U_{R1}, буде змінюватися з роздільністю 100μV / 1W / m², в кінцевому випадку все буде відбуватися як і як у випадку при вимірюванні струму модуля PV. Використано такий самий знімач AD620 (IC1)/ Необхідне підсилення:

$$G = \frac{A / D_{RES}}{U_{R1}} \quad (3.15)$$

$$G = \frac{0,004}{0,0002} = 20$$

Підсилена напруга з датчика потрапляє на вхід ADC4 аналогово-цифрового перетворювача в мікроконтролері (IC1), а величина іррадіації отримуємо через домноження значення реєстру ADC4:

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{RR} = ADC4 \cdot 2(W/m^2) \quad (3.16)$$

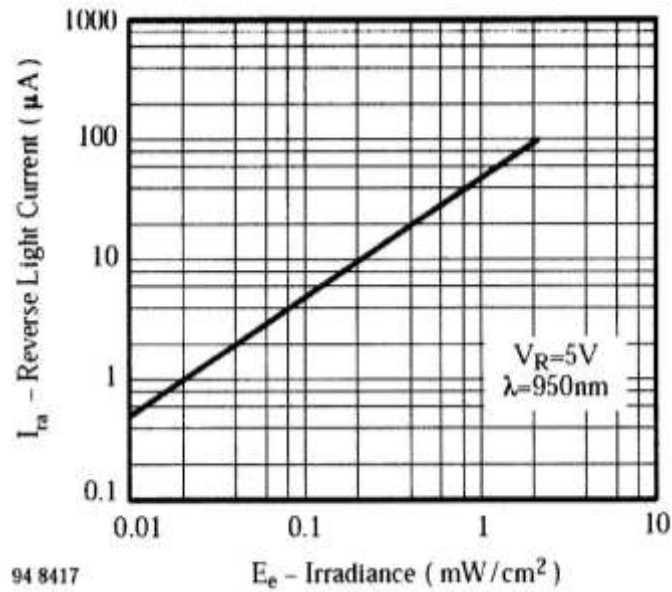


Рисунок 3.18 – Характеристика фотострум – іррадіація

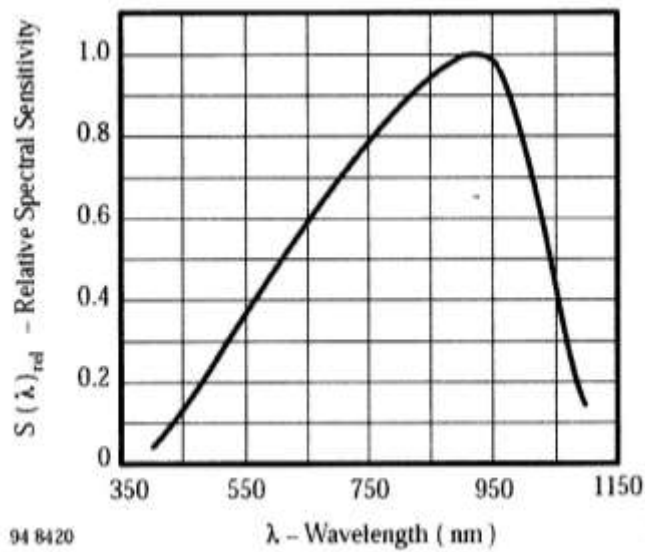


Рисунок 3.19 – Характеристика спектральна

Вимірювання температури.

Останнім вимірювальним параметром є температура модуля PV. Для її вимірювання використано датчик DS18B20, який вимірює температуру в межах

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$I_{R1(\max)} = \sqrt{\frac{P_{R1(\max)}}{R_1}}, \quad (3.18)$$

$$I_{R1(\max)} = \sqrt{\frac{14}{4,7}} = 1,72 A,$$

Якщо

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4,$$

то

$$I_{PV(\max)} = 4 \cdot I_{R1(\max)}.$$

Тоді:

$$I_{PV(\max)} = 4 \cdot 1,72 = 6,88 A.$$

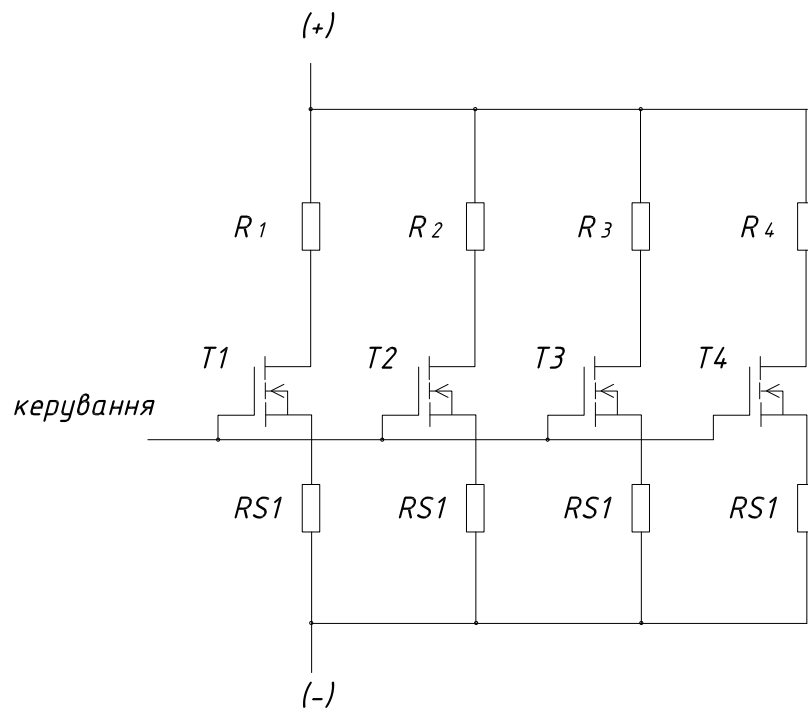


Рисунок 3.20 – Електрична схема активного навантаження

Резистор R_8 має величину 0,33 Ом і використовується для стабілізації струму. Натомість потужність, що виділяється в транзисторах буде залежна від

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

характеристики модуля PV. Наприклад, для модуля потужністю 200W при струмі 6,25A і напрузі 32V, потужність що витрачається в транзисторах буде складати 154,12W, а на резисторах тільки 45,88W. Візьмемо зараз модуль такої самої потужності 200W, натомість струм складе 2A і напруга 100V. В даному випадку на транзисторах будемо мати 195,3W, а на резисторах тільки 4,7W. В першому випадку потужність, що витрачається на один транзистор складе 38,53W, а в другому 48,82W. Для розсіювання такої потужності в транзисторах необхідно використовувати радіатор.

Вибір відповідного радіатора проводиться шляхом розрахунку необхідного теплового опору R_{THRA} (радіатор - оточення).

Необхідні дані для розрахунку:

- тепловий опір R_{THJC} транзистора – для IRFP260N=0,5 °C/W;
- тепловий опір R_{THCS} транзистора – для IRFP260N=0,24 °C/W (з використанням термопасти);
- потужність максимальна, що розсіюється в транзисторі - $P_{MAX} = 50W$;
- максимальна допустима температура з'єднання транзистора T_j - для IRFP260N=175 °C;
- температура навколишнього середовища в якому буде працювати система - $T_A=40$ °C;

$$R_{THRA} = R_{THJA} - \left(\frac{1}{2} R_{TRJC} + \frac{1}{2} R_{THCS} \right), \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W} \quad (3.19)$$

- де R_{THRA} - тепловий опір радіатор – навколишнє середовище;
 R_{THJA} - тепловий опір з'єднання – навколишнє середовище;
 R_{TRJC} - тепловий опір з'єднання – корпус;
 R_{THCS} - тепловий опір корпус - радіатор

Якщо на одному резисторі буде змонтовано по два транзистори тоді:

$$R_{THJA} = \frac{\Delta T}{2P_{MAX}} = \frac{T_J - T_A}{2P_{MAX}}, \quad (3.20)$$

$$R_{THJA} = \frac{175 - 40}{100} = 1,35 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

Підставивши у формулу (3.19) визначимо необхідний R_{THRA} радіатора:

$$R_{THRA} = 1,35 - (0,25 + 0,12) = 0,98 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

Було використано радіатор HF92B-150A з тепловим опором $0,6 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$.

З метою підтвердження максимальної температури з'єднання розрахуємо:

$$\Delta T = 2P_{MAX} (R_{THJC} + R_{THCS} + R_{THRA}), \quad (3.21)$$

$$\Delta T = 100 \cdot (0,25 + 0,12 + 0,6) = 97 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура з'єднання транзистора складає $137 \text{ } ^\circ\text{C}$ при температурі оточення $40 \text{ } ^\circ\text{C}$, а це значно нижче допустимої температури T_J . Таке виконання навантаження дозволяє проводити дослідження різних сонячних модулів. Однак необхідно пам'ятати, аби не перевищити максимальної потужності 200W і струму $6,88\text{A}$. Більшого розсіювання потужності можна досягти, використовуючи штучне охолодження.

3.4 Висновки до розділу

1. Для проведення експериментальних досліджень сонячних фотомодулів було вибрано сонячну панель SUNTECH STP 180S-24/As, з технічного паспорту визначено її заводські параметри.

2. Розроблено експериментальний стенд, який дає змогу перетворювати сонячну енергію в електричну. З цією метою підбрано та розраховано потрібне устаткування.

3. Розроблено вимірювальну систему, яка дасть змогу визначати потрібні параметри сонячної панелі та системи вироблення електроенергії.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНОГО ФОТОМОДУЛЯ

4.1 Опис дослідження про визначенню вольт-амперної характеристики для різних кутів нахилу сонячного фотомодуля

Перше дослідження заключалося у визначенні характеристик I-U для кута $\beta = 0, 45, 90^\circ$. Проведене було у безхмарний сонячний день в годинах 12:00-12:30 на території кафедри машин та апаратів Хмельницького національного університету, азимут сонячної батареї склав $56,0^\circ$. З цією метою необхідно було виготовити систему представлену на рис.4.1, вольтметр вимірював напругу на сонячному модулі, амперметр вимірював струм, що протікає при змінній навантаженні. На розробленій установці, щоб зробити таку систему необхідно було підключити гніздо від активного навантаження зі штекерами підписаними як «Вихід сонячної панелі» в блоці центральному системи вимірювання (рис.4.2) (лист [МРМА22.00.00.000С1]). Додатково необхідно підключити потенціометр, що керує навантаженням до гнізда, що знаходиться по лівій стороні центрального блоку.

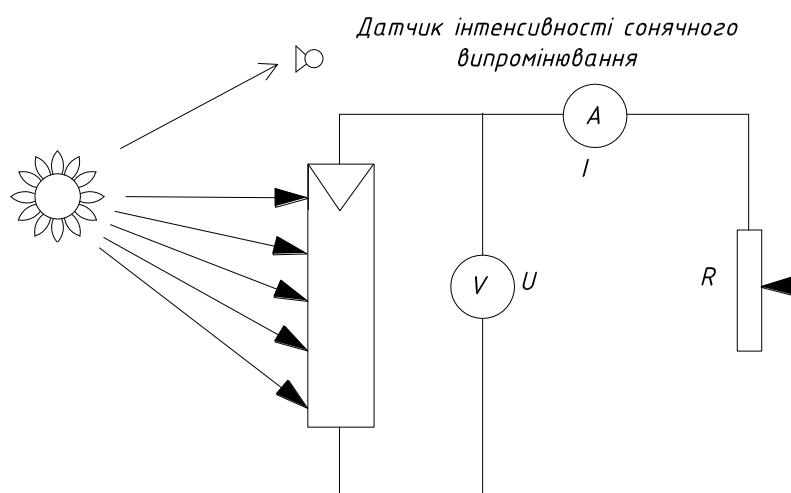


Рисунок 4.1 – Електрична схема для вимірювання вольт-амперних характеристик

Внутрішня сторона центрального блоку
системи вимірювання

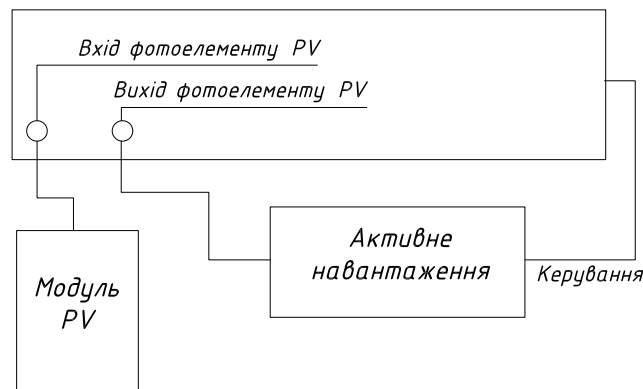
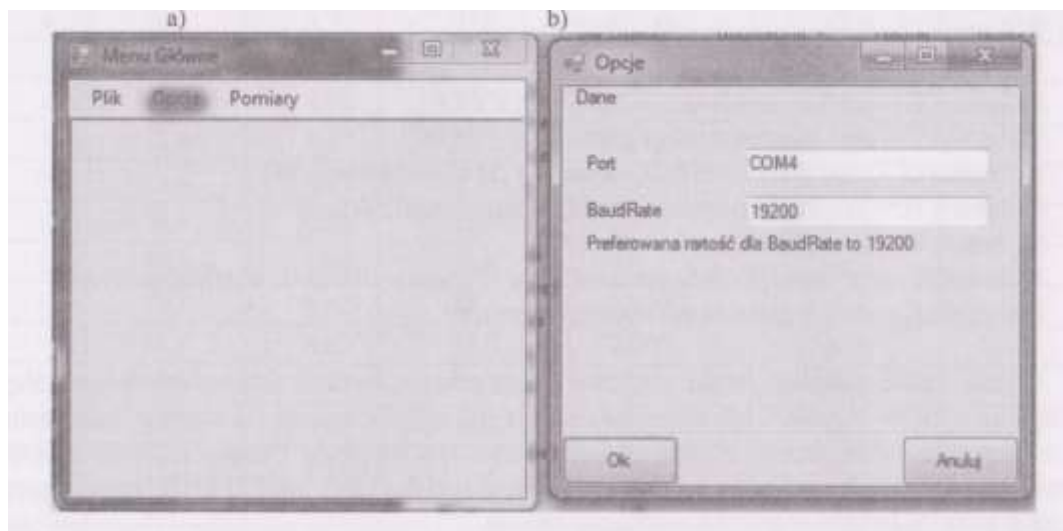


Рисунок 4.2 – Схема підключення системи для вимірювання характеристик на установці

Перед початком вимірювань необхідно ще з'єднати вимірювальну систему з комп'ютером, з цією метою використовуємо звичайний кабель RS232 DB9m/f (1:1) або конвертор USB-RS232.

Далі включаємо вимірювальну систему, а на комп'ютері запускаємо додаток PV2EX.exe, головне вікно якого представлено на рис.3.3, а.



а

б

а – вікно головного додатку; б – вікно конфігурації порту

Рисунок 4.3 – Комп'ютерний додаток:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Першим кроком є конфігурація послідовного порту до якого підключена система. Аби це завершити необхідно в меню «опції» і в полі «порт» (рис.3.3, б) вписати назву використаного порту COM. Номер порту можна взяти в диспетчері пристроїв системи WINDOWS в закладці «Porty (COM і LTP)»/ Після виконання цих дій можна перейти до проведення вимірювань. В головному вікні додатку клікаючи «вимірювання > розпочинай вимірювання», повинно автоматично відкритися вікно таблиці Excel (рис.3.4).

Після закінчення вимірювань зберігаємо таблицю і закриваємо таблицю Excel, далі в додатку PV2EX клікаючи «вимірювання > закінчи вимірювання». Якщо хочемо відкрити нову таблицю повторюємо дії необхідно змінити конфігурацію порту.

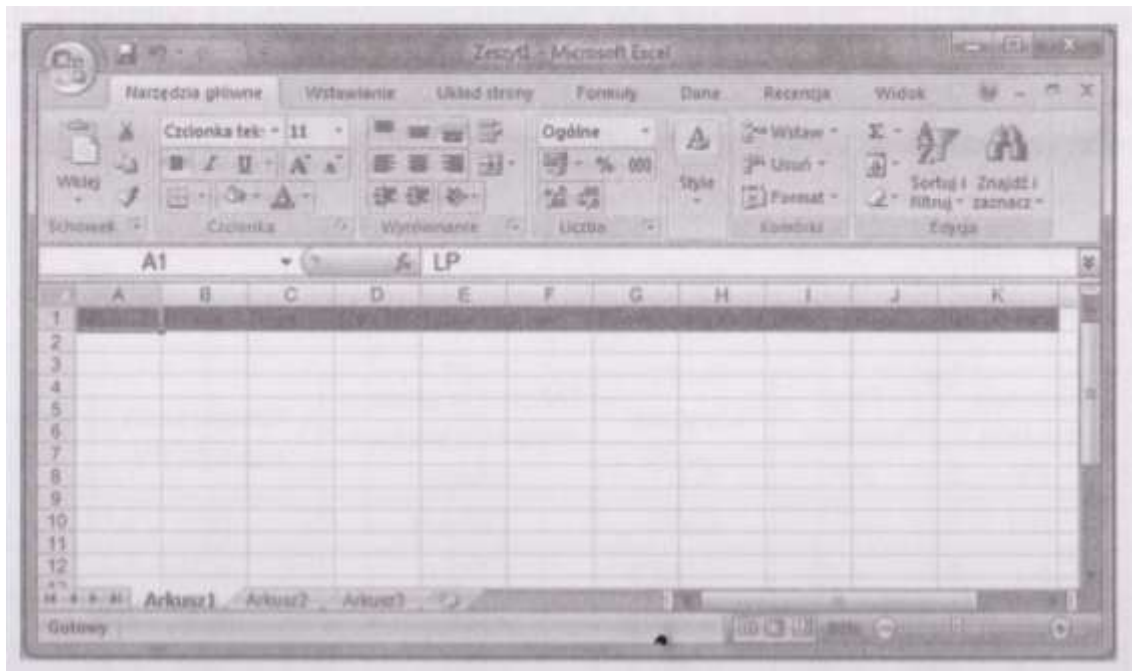


Рисунок 4.4 - Вигляд вікна із згенерованою таблицею програми Excel

В чергових колонках будуть записуватися наступні дані:

Колонка A – порядковий номер

Колонка B – напруга в установці PV

Колонка C – напруга на модулі PV

Колонка D – струм модуля PV

Колонка Е – струм акумулятора в установці PV

Колонка F – потужність згенерована через модуль PV

Колонка G – потужність, що відбирається з акумулятора або віддається

Колонка H – інтенсивність сонячного випромінювання,

Колонка I – температура модуля PV

Колонка J – опір навантаження модуля PV (для розрахунків в табл.. Excel)

Колонка K – дата і година проведення вимірювань

Визначення вольт-амперної характеристики сонячної панелі полягає на почерговому збільшенню або зменшенню опору навантаження від величини мінімальної до максимальної і для кожної з них записування величини струму і напруги модуля. Запис вимірювальних даних настає натиснувши на кнопку «Вишли дані», що знаходиться на передній панелі центральної системи.

Опір навантаження змінюємо за допомогою потенціометра, що знаходиться біля центрального блоку, необхідно прийняти зміни опору на одну поділку, зазначеної на її шкалі або теж віднестися до величини струму чи напруги модуля PV, змінюючи його визначеною величиною до моменту досягнення його стабілізації, після якої необхідно виконати декілька вимірювань. Стабілізована максимальна величина струму приблизна є до величини I_{sc} модуля, а величина максимальної напруги рівна U_{oc} . Із взглядів конструкційних активного навантаження, його мінімальний опір складає 1,3 Ом, але струм при тій величині опору можна взяти струм короткого замикання модуля.

Після встановлення установки на рівній підлозі, вибираємо азимут на актуальну позицію сонця встановлено модуль під заданим кутом і проводимо вимірювання. Прийнято змінювати опір від найбільшого до найменшого однак відносити до величини струму модуля змінюючи його кожний 0,1А. Важливим моментом є те, щоб під час проведення вимірювань інтенсивність сонячного випромінювання утримувалася на сталому рівні, в день дослідження було невелика хмарність, що приводило до коливання інтенсивності в межах 8,3%.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Результати буде представлено в таблицях нижче.

4.2 Результати експериментальних досліджень

4.2.1 Вимірювання параметрів модуля SUNTECH STP 180S-24/Ас ($\beta = 45^\circ$)

Результати дослідження панелі SUNTECH STP 180S-24/Ас при куті нахилу сонячної панелі $\beta = 45^\circ$ приведено в табл.4.1.

Таблиця 4.1- Результати дослідження панелі SUNTECH STP 180S-24/Ас ($\beta = 45^\circ$)

№ п/п	Напруга панелі PV, V	Струм панелі PV, A	Потужність панелі PV, W	Інтенсивність сонячного випромінювання, W/m ²	Температура панелі PV, °C	Опір, Ω
1	2	3	4	5	6	7
1	6,1	4,73	28,9	732,0	39,5	1,3
2	6,2	4,71	29,2	728,0	39,5	1,3
3	6,5	4,72	30,7	730,0	39,5	1,4
4	7,2	4,71	33,9	730,0	40,0	1,5
5	8,2	4,72	38,7	730,0	40,0	1,7
6	10,1	4,71	47,6	730,0	40,0	2,1
7	11,3	4,69	53,0	728,0	40,0	2,4
8	12,5	4,68	58,5	726,0	40,0	2,7
9	14,8	4,67	69,1	724,0	40,5	3,2
10	16,6	4,67	77,5	726,0	40,5	3,6
11	17,9	4,63	82,9	722,0	40,5	4,2

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

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.

84

Продовження табл.4.1

1	2	3	4	5	6	7
12	19,3	4,63	89,4	722,0	40,5	4,2
13	18,3	4,65	85,1	726,0	40,5	3,9
14	19,9	4,65	92,5	728,0	40,5	4,3
15	23,0	4,65	107,0	728,0	40,5	4,9
16	24,7	4,61	113,9	724,0	40,5	5,4
17	24,5	4,60	112,7	724,0	40,5	5,3
18	26,7	4,59	122,6	722,0	40,5	5,8
19	28,4	4,67	132,6	732,0	42,0	6,1
20	29,0	4,60	133,4	732,0	42,0	6,3
21	30,9	4,63	143,1	732,0	42,0	6,7
22	30,2	4,83	145,9	754,0	41,5	6,3
23	30,2	4,80	145,0	756,0	42,0	6,3
24	29,9	4,70	140,5	746,0	42,5	6,4
25	31,2	4,60	143,5	746,0	42,5	6,8
26	31,6	4,50	142,2	4740,0	42,0	7,0
27	32,2	4,40	141,7	732,0	42,0	7,3
28	32,9	4,30	141,5	744,0	42,0	7,7
29	33,3	4,20	139,9	746,0	42,0	7,9
30	33,8	4,10	138,6	750,0	42,0	8,2
31	34,2	4,00	136,8	756,0	42,0	8,6
32	34,5	3,90	134,6	752,0	42,0	8,8
33	34,8	3,80	132,2	752,0	42,0	9,2
34	35,1	3,70	129,9	752,0	41,5	9,5
35	35,1	3,60	126,4	740,0	41,5	9,8
36	35,6	3,50	124,6	756,0	41,5	10,2

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.

85

Продовження табл.4.1

1	2	3	4	5	6	7
37	35,9	3,40	122,1	758,0	41,5	10,6
38	35,7	3,30	117,8	710,0	41,5	10,8
39	36,3	3,20	116,2	754,0	41,5	11,3
40	36,4	3,10	112,8	754,0	41,5	11,7
41	36,7	3,00	110,1	752,0	41,0	12,2
42	36,9	2,90	107,0	756,0	41,0	12,7
43	37,1	2,8	103,9	758,0	41,0	13,3
44	37,3	2,7	100,7	764,0	41,0	13,8
45	37,5	2,60	97,5	766,0	41,0	14,4
46	37,4	2,5	93,5	734,0	41,0	15,0
47	37,7	2,4	90,5	770,0	41,0	15,7
48	37,8	2,30	86,9	736,0	41,0	16,4
49	37,4	2,20	82,3	748,0	41,0	17,0
50	38,2	2,10	80,2	756,0	40,5	18,2
51	38,4	2,00	76,8	800,0	40,5	19,2
52	38,6	1,9	73,3	796,0	40,5	20,3
53	38,7	1,80	69,7	776,0	40,5	21,5
54	38,9	1,7	66,1	808,0	40,5	22,9
55	39,1	1,6	62,6	802,0	40,5	24,4
56	39,2	1,5	58,8	804,0	40,0	26,1
57	39,2	1,4	54,9	768,0	40,0	28,0
58	39,4	1,3	51,2	778,0	40,0	30,3
59	39,6	1,2	47,5	802,0	40,0	33,0
60	39,8	1,10	43,8	800,0	40,0	36,2
61	39,9	1,00	39,9	806,0	39,5	39,9

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.
86

Продовження табл.4.1

1	2	3	4	5	6	7
62	40,1	0,90	36,1	798,0	39,5	44,6
63	40,2	0,80	32,2	804,0	39,5	50,3
64	40,4	0,7	28,3	810,0	39,5	57,7
65	40,4	0,60	24,2	780,0	39,5	67,3
66	40,5	0,5	20,3	742,0	39,5	81,0
67	40,8	0,40	16,3	818,0	39,5	102,0
68	40,9	0,30	12,3	808,0	39,5	136,3
69	41,0	0,20	8,2	764,0	39,5	205,0
70	41,0	0,10	4,1	772,0	39,5	410,0
71	41,0	0,00	0,0	770,0	39,0	∞
Max.818,0 Min.710,0				Середнє 755,2		

Аналізуючи зібрані дані в табл.3.1 необхідно звернути увагу коливань значень інтенсивності сонячного випромінювання, що досягало поверхні модуля. Середнє значення склало 755,2 W/m², а зміни досягли 8,3%. Також видно, що зниження випромінювання наступило в момент коли модуль PV був навантажений малим опором і працював в якості джерела струму. Це вплинуло на те, що вимірний струм короткого замикання був з деякою похибкою.

Іншим важливим параметром, який необхідно взяти до уваги була температура модуля. Дана температура є трохи вищою за температуру передбачену умовами STC і зростає вона за разом із зростанням потужності, що віддається через модуль.

На підставі даних були побудовані вольт-амперні характеристики приведені на рис.4.5 (лист [МРМА22.00.00.000ДД1]).

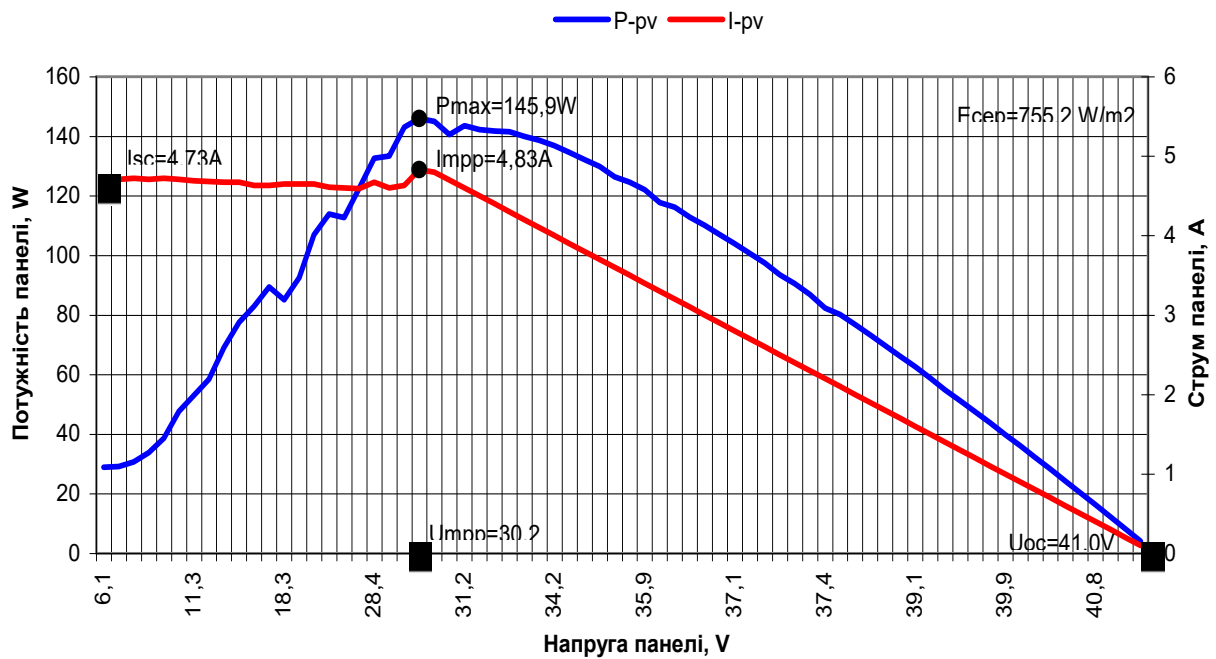


Рисунок 4.5 - Характеристика панелі SUNTECH STP 180S-24/As ($\beta = 45^\circ$)

На рис.4.6 (лист [МРМА22.00.00.000ДД2]) приведено хід зміни інтенсивності сонячного випромінювання при куті нахилу сонячної панелі $\beta = 45^\circ$.



Рисунок 4.6 - Хід зміни інтенсивності сонячного випромінювання ($\beta = 45^\circ$)

На рис.4.5 представлено характеристики для кута рівного 45° і зазначено всі характерні пункти:

- напруга холостого ходу $U_{oc} = 41,0V$;
- напруга при максимальній потужності $U_{mpp} = 30,2V$;
- струм при максимальній потужності $I_{mpp} = 4,83 A$;
- максимальна потужність $P_{max} = 145,9W$;
- струм короткого замикання $I_{sc} = 4,73 A$.

Видимою є помилка, що виникла в результаті зміни інтенсивності випромінювання про яку згадувалося раніше, спричинена тим, що величина струму короткого замикання нижча ніж величина струму в пункті максимальної сили, що при постійній напрузі не може мати місця.

На рис.4.7 (лист [МРМА22.00.00.000ДДЗ]) приведений графік зміни температури панелі при куті її нахилу $\beta = 45^{\circ}$.

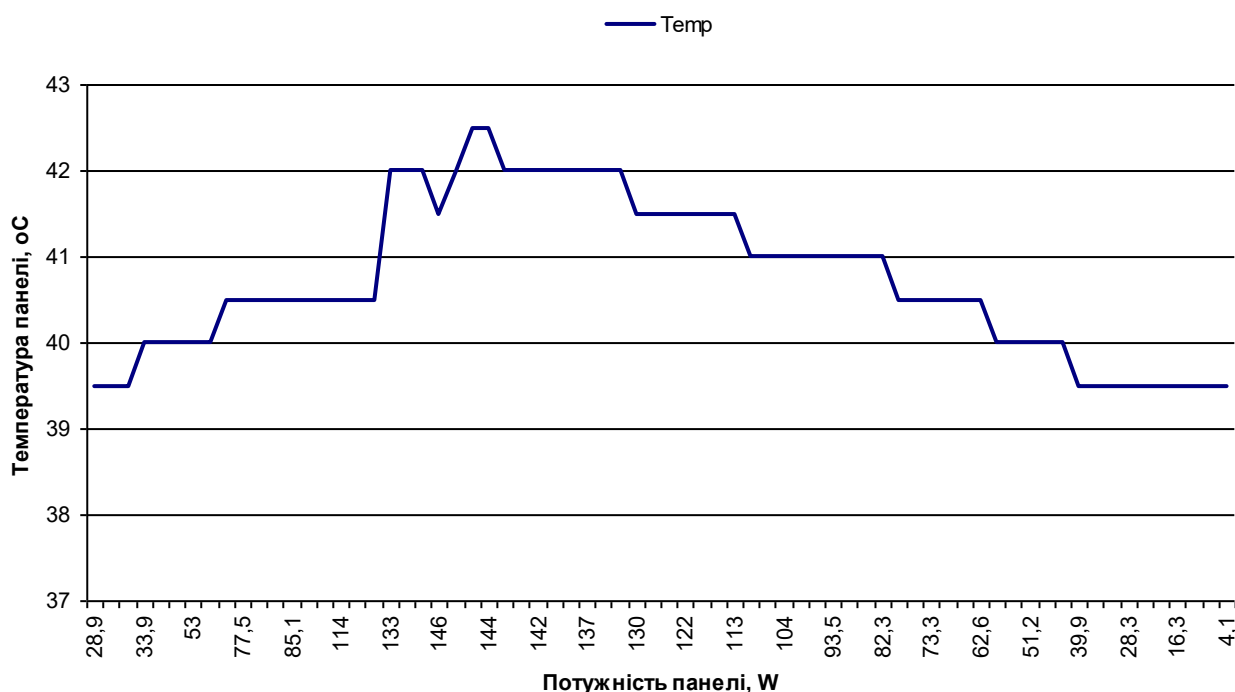


Рисунок 4.7 – Хід зміни температури панелі ($\beta = 45^{\circ}$)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

З даного графіка ми бачимо що під час коли модуль досягав максимальної потужності його температура досягала 42,5 °С, що на 17,5 °С вище, ніж впливає з стандартних умов випробувань. Беручи до уваги температурний коефіцієнт максимальної потужності, зазначений в каталозі для даного модуля, який складає -0,48 % / ° С, можна обчислити, якщо температура модуля становила 25 °С при тих самих в реальних умовах дозволить досягти максимальної потужності 159,3 Вт, що становить 9,2%.

Схожа ситуація з напругою холостого ходу, при якій температурний коефіцієнт складає -0,34% / ° С, при температурі 25 ° С U_{oc} має бути 43,1V.

Останнім кроком по визначенню вольт-амперної характеристики був розрахунок коефіцієнта заповнення, корисної дії і оптимального опору.

Коефіцієнт заповнення:

$$FF = \frac{P_{\max}}{I_{sc} \cdot U_{oc}} \quad (4.1)$$

$$FF = \frac{145,9}{4,73 \cdot 41,0} = \frac{145,9}{193,9} = 0,75$$

Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = FF \cdot \frac{I_{sc} \cdot U_{oc}}{E \cdot S}, \quad (4.2)$$

де E - інтенсивність сонячного випромінювання, що падає на площину модуля, прийнято середнє значення 755,2 W/m²;

S - площа фотоелектричних елементів ($S = 1,125 \text{ м}^2$);

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\eta = 0,75 \cdot \frac{4,73 \cdot 41,0}{755,2 \cdot 1,125} = 0,158 \cdot 100\% = 15,8\%$$

Оптимальний опір:

$$R_{opt} = \frac{U_{mpp}}{I_{mpp}}, \quad (4.3)$$

$$R_{opt} = \frac{30,2}{4,83} = 6,25\Omega$$

4.2.2 Дослідження сонячної панелі SUNTECH STP 180S-24/Ас ($\beta = 0^\circ$)

Результати дослідження панелі SUNTECH STP 180S-24/Ас при куті нахилу сонячної панелі $\beta = 0^\circ$ приведено в табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Результати дослідження панелі SUNTECH STP 180S-24/Ас ($\beta = 0^\circ$).

№ п/п	Напруга модуля PV, V	Струм модуля PV, A	Потужність модуля PV, W	Інтенсивність сонячного випромінювання, W/m ²	Температура модуля PV, °C	Опір, Ω
1	2	3	4	5	6	7
1	3,0	2,26	6,78	454,0	41,0	1,3
2	3,2	2,26	7,23	450,0	41,5	1,4
3	4,10	2,26	9,27	448,0	41,5	1,8
4	6,3	2,23	14,05	446,0	41,5	2,8

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.

91

Продовження табл.4.2.

1	2	3	4	5	6	7
5	12,8	2,23	28,54	448,0	41,5	5,7
6	16,8	2,23	37,46	448,0	42,0	7,5
7	19,4	2,22	43,07	446,0	42,0	8,7
8	22,30	2,22	49,51	448,0	42,0	10,0
9	30,4	2,20	66,88	448,0	42,5	13,8
10	32,6	2,10	68,46	446,0	42,5	15,5
11	33,10	2,00	66,2	438,0	42,5	16,6
12	34,00	1,90	64,60	440,0	42,5	17,9
13	34,70	1,80	62,46	440,0	42,0	19,3
14	35,20	1,70	59,84	440,0	42,0	20,7
15	35,80	1,60	57,28	442,0	42,0	22,4
16	36,00	1,5	54,00	440,0	42,0	24,0
17	36,40	1,40	50,96	442,0	42,0	26,0
18	36,70	1,30	47,71	442,0	42,0	28,2
19	36,90	1,20	44,28	442,0	42,0	30,8
20	37,20	1,10	40,92	444,0	41,5	33,8
21	37,40	1,00	37,40	446,0	41,5	37,4
22	37,70	0,90	33,93	446,0	41,5	41,9
23	37,90	0,80	30,32	446,0	41,5	47,4
24	38,10	0,70	26,67	448,0	41,0	54,4
25	38,30	0,60	22,98	448,0	41,0	63,8
26	38,40	0,50	19,20	448,0	41,0	76,8
27	38,6	0,40	15,44	450,0	41,0	96,5
28	38,80	0,30	11,64	450,0	41,0	129,3
29	38,90	0,20	7,78	446,0	40,5	194,5

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.

92

Продовження табл.4.2.

1	2	3	4	5	6	7
30	39,10	0,10	3,91	446,0	40,5	391,0
			Середнє 445,5			
Max.454,0						
Min.438,0						

Вимірювання при куті нахилу рівним 0° (панель встановлено паралельно підлозі) провели в майже ідеальних умовах. Коливання інтенсивності випромінювання не перевищували 3%, однак одного разу його значення сягнуло аж 41%. Беручи, до уваги, що інтенсивність безпосередньо складала в той самий момент біля 800 W/m^2 .

Характеристика панелі SUNTECH STP 180S-24/Ac при куті його нахилу $\beta = 0^{\circ}$ приведена на рис.4.8 (лист [MPMA22.00.00.000ДД1]).

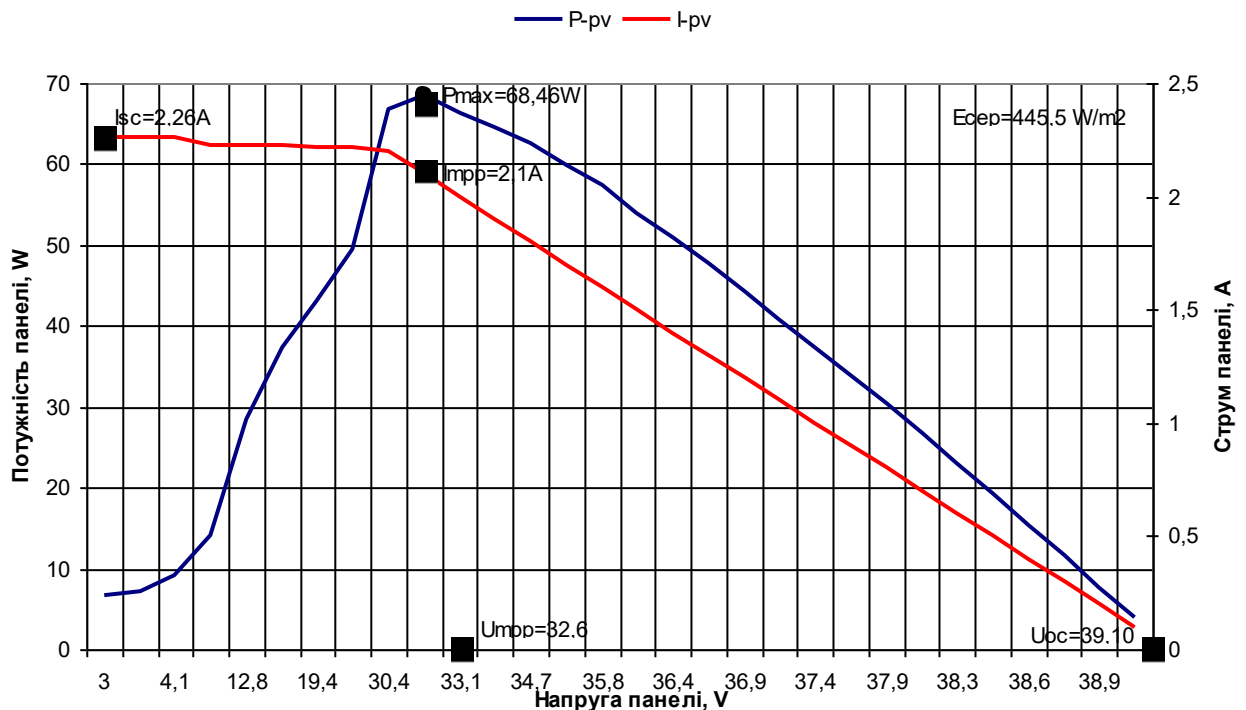


Рисунок 4.8 - Характеристика панелі SUNTECH STP 180S-24/Ac ($\beta = 0^{\circ}$)

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

MPMA22.00.00.000 ПЗ

Арк.
93

Характеристики для кута рівного 0^0 і всі характерні пункти:

- напруга холостого ходу $U_{oc} = 39,1V$;
- напруга при максимальній потужності $U_{mpp} = 32,6V$;
- струм при максимальній потужності $I_{mpp} = 2,10 A$;
- максимальна потужність $P_{max} = 68,4W$;
- струм короткого замикання $I_{sc} = 2,26 A$.

Коефіцієнт заповнення:

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot U_{oc}} , \quad (4.4)$$

$$FF = \frac{68,4}{2,26 \cdot 39,1} = \frac{68,4}{88,3} = 0,77$$

Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = FF \cdot \frac{I_{sc} \cdot U_{oc}}{E \cdot S} \quad (4.5)$$

$$\eta = 0,77 \cdot \frac{2,26 \cdot 39,1}{445,5 \cdot 1,125} = 0,135 \cdot 100\% = 13,5\%$$

де E - інтенсивність сонячного випромінювання, що падає на площину модуля, прийнято середнє значення $445,5 \text{ W/m}^2$;

S - площа фотоелектричних елементів ($S = 1,125 \text{ m}^2$).

Оптимальний опір:

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						94
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$R_{opt} = \frac{U_{mpp}}{I_{mpp}}, \quad (4.6)$$

$$R_{opt} = \frac{32,6}{2,10} = 15,52\Omega$$

На рис.4.9 (лист [МРМА22.00.00.000ДД2]) приведено хід зміни інтенсивності сонячного випромінювання при куті нахилу сонячної панелі $\beta = 0^{\circ}$.

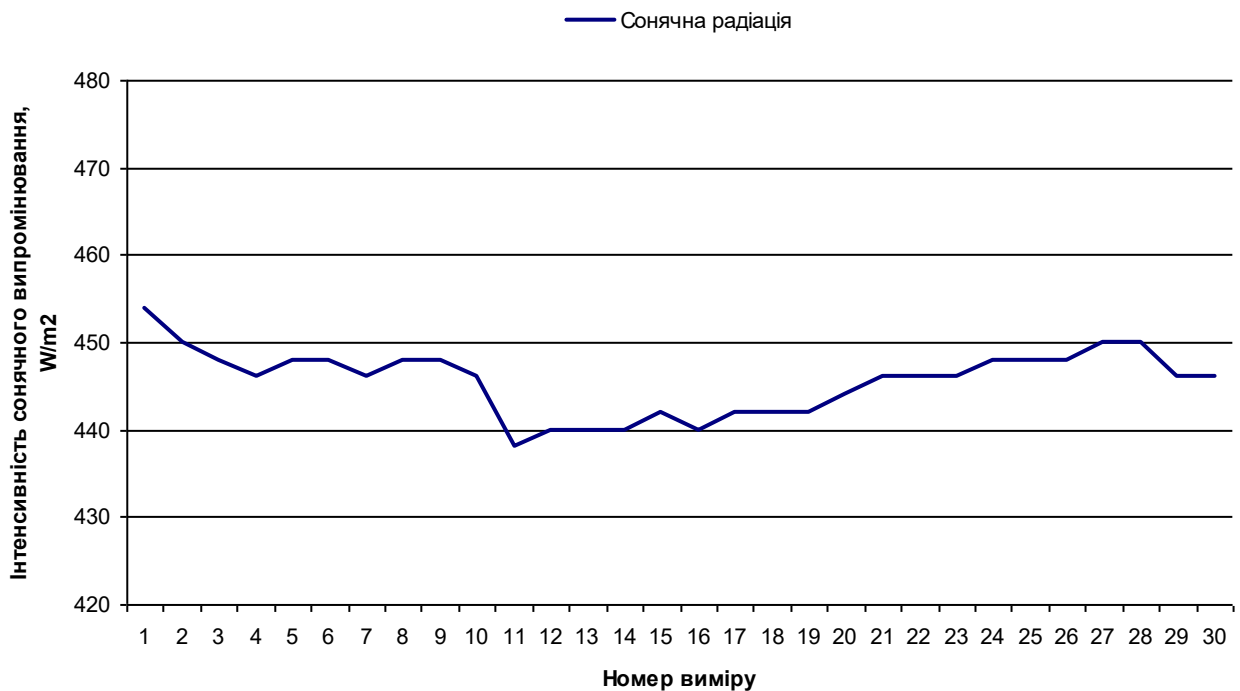


Рисунок 4.9 - Хід зміни інтенсивності сонячного випромінювання ($\beta = 0^{\circ}$)

На рис.4.10 (лист [МРМА22.00.00.000ДД3]) приведено хід зміни температури панелі при куті її нахилу $\beta = 0^{\circ}$.

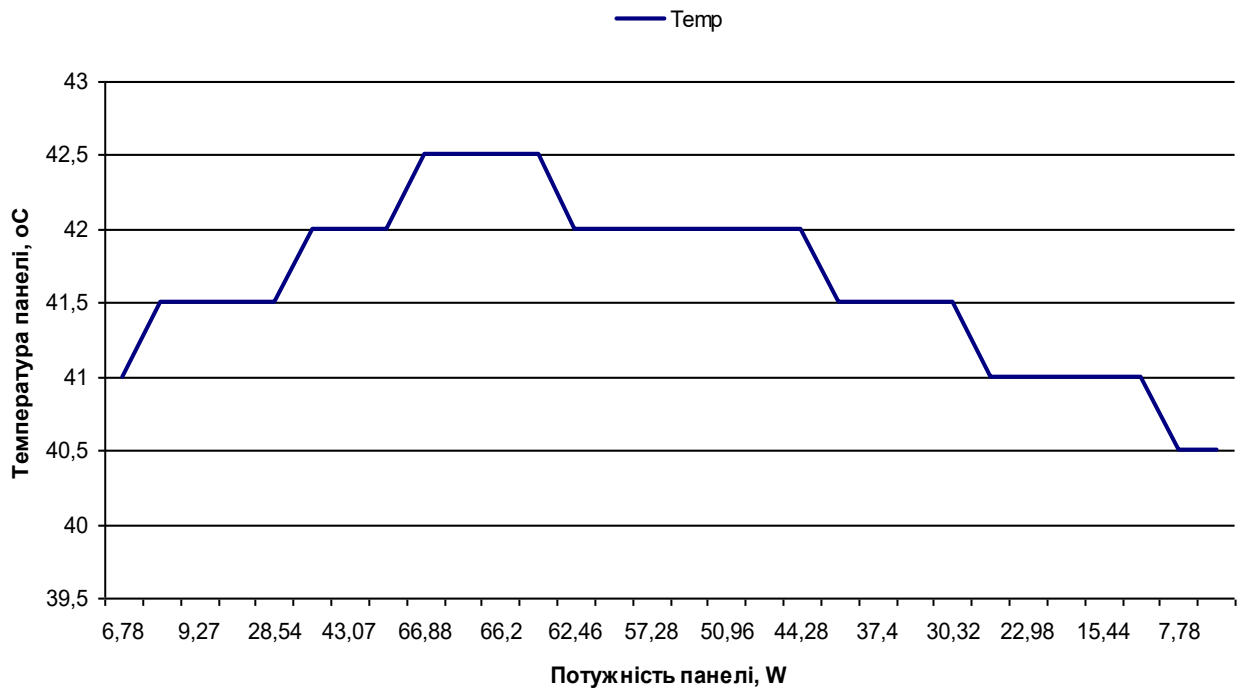


Рисунок 4.10 – Хід зміни температури панелі ($\beta = 0^\circ$)

4.2.3 Дослідження сонячної панелі SUNTECH STP 180S-24/Ac ($\beta = 90^\circ$)

Результати дослідження панелі SUNTECH STP 180S-24/Ac при куті нахилу сонячної панелі $\beta = 90^\circ$ приведено в табл.4.3.

Таблиця 4.3 - Результати дослідження панелі SUNTECH STP 180S-24/Ac ($\beta = 90^\circ$)

№ п/п	Напруга модуля PV, V	Струм модуля PV, A	Потужність модуля PV, W	Сонячного випромінювання, W/m ²	Температура модуля PV, °C	Опір, Ω
1	2	3	4	5	6	7
2	5,80	4,28	24,82	706,0	43,0	1,4
3	8,00	4,26	34,08	704,0	42,5	1,9

Продовження табл.4.3.

1	2	3	4	5	6	7
4	12,60	4,26	53,68	704,0	42,5	3,0
5	14,10	4,24	59,78	702,0	42,5	3,3
6	15,70	4,23	66,41	702,0	42,5	3,7
7	18,00	4,23	76,14	702,0	42,5	4,3
8	21,50	4,22	90,73	702,0	42,5	5,1
9	24,40	4,20	102,48	700,0	42,5	5,8
10	29,00	4,10	118,90	702,0	42,0	7,1
11	30,50	4,00	122,00	702,0	42,0	7,6
12	31,60	3,90	123,24	698,0	42,0	8,1
13	32,40	3,80	123,12	704,0	42,0	8,5
14	33,40	3,70	122,10	706,0	42,0	8,9
15	33,10	3,60	119,16	694,0	43,0	9,2
16	33,50	3,50	117,25	692,0	43,0	9,6
17	34,30	3,40	116,62	694,0	43,0	10,1
18	34,40	3,30	113,52	706,0	41,5	10,4
19	34,70	3,20	111,04	704,0	41,5	10,8
20	35,00	3,10	108,50	706,0	41,5	11,3
21	35,20	3,00	105,60	706,0	41,5	11,7
22	35,50	2,90	102,95	704,0	41,5	12,2
23	35,80	2,80	100,24	704,0	41,0	12,8
24	36,00	2,70	97,20	706,0	41,0	13,3
25	36,20	2,60	94,12	706,0	41,0	13,9
26	36,40	2,50	91,00	706,0	41,0	14,6
27	36,60	2,40	87,84	694,0	40,5	15,3
28	36,80	2,30	84,64	690,0	39,5	16,0
29	37,00	2,20	81,40	696,0	39,5	16,8

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.

97

Продовження табл.4.3.

1	2	3	4	5	6	7
30	37,20	2,10	78,12	702,0	39,0	17,7
31	37,40	2,00	74,80	704,0	41,5	18,7
32	37,60	1,90	71,44	702,0	41,5	19,8
33	37,80	1,80	68,04	712,0	41,5	21,0
34	37,90	1,70	64,43	712,0	41,5	22,3
35	37,80	1,60	60,48	742,0	41,5	23,6
36	38,40	1,50	57,60	750,0	41,5	25,6
37	38,50	1,40	53,90	748,0	41,5	27,5
38	38,60	1,30	50,18	738,0	41,5	29,7
39	38,70	1,20	46,44	720,0	41,5	32,3
40	38,80	1,10	42,68	714,0	41,5	35,3
41	38,80	1,00	38,80	702,0	41,5	38,8
42	39,00	0,90	35,10	702,0	41,5	43,3
43	39,20	0,80	31,36	714,0	41,0	49,0
44	39,30	0,70	27,51	718,0	41,0	56,1
45	39,50	0,60	23,70	714,0	41,0	65,8
46	39,60	0,50	19,80	718,0	41,0	79,2
47	39,70	0,40	15,88	718,0	41,0	99,3
48	39,90	0,30	11,97	716,0	41,0	133,0
49	40,00	0,20	8,00	718,0	41,0	200,0
50	40,10	0,10	4,01	716,0	41,0	401,0
Max.750,0 Min.690,0				Середнє 708,5		

Коливання інтенсивності випромінювання не перевищувала 6%.

Характеристика панелі SUNTECH STP 180S-24/Ас при куті його нахилу $\beta = 90^{\circ}$ приведена на рис.4.11 (лист [МРМА22.00.00.000ДД1]).

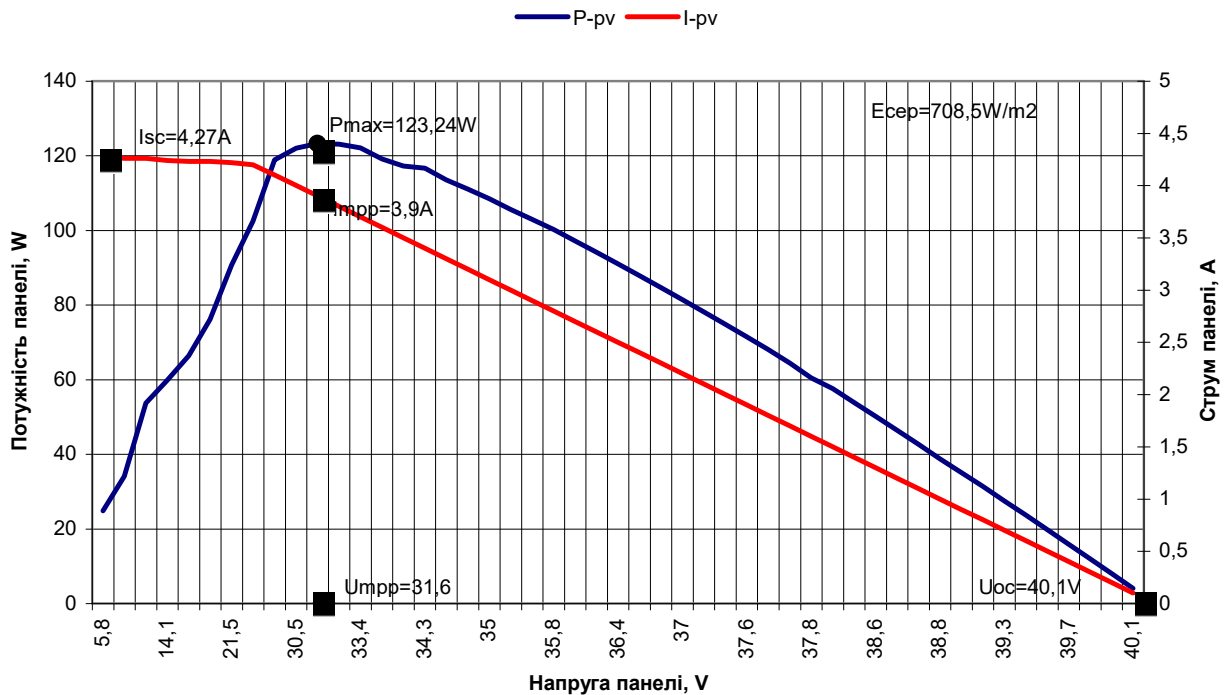


Рисунок 4.11 - Характеристика панелі SUNTECH STP 180S-24/Ас ($\beta = 90^{\circ}$)

На даному рисунку представлено характеристики для кута рівного 90° і зазначено всі характерні пункти:

- напруга холостого ходу $U_{oc} = 40,1V$;
- напруга при максимальній потужності $U_{mpp} = 31,6V$;
- струм при максимальній потужності $I_{mpp} = 3,9A$;
- максимальна потужність $P_{max} = 123,24W$;
- струм короткого замикання $I_{sc} = 4,27A$.

На рис.4.12 (лист [МРМА22.00.00.000ДД2]) приведено хід зміни інтенсивності сонячного випромінювання при куті нахилу сонячної панелі $\beta = 90^{\circ}$.



Рисунок 4.12 - Хід зміни інтенсивності сонячного випромінювання ($\beta = 90^0$)

На рис.4.13 (лист [МРМА22.00.00.000ДДЗ]) приведено хід зміни температури панелі при куті її нахилу $\beta = 0^0$.

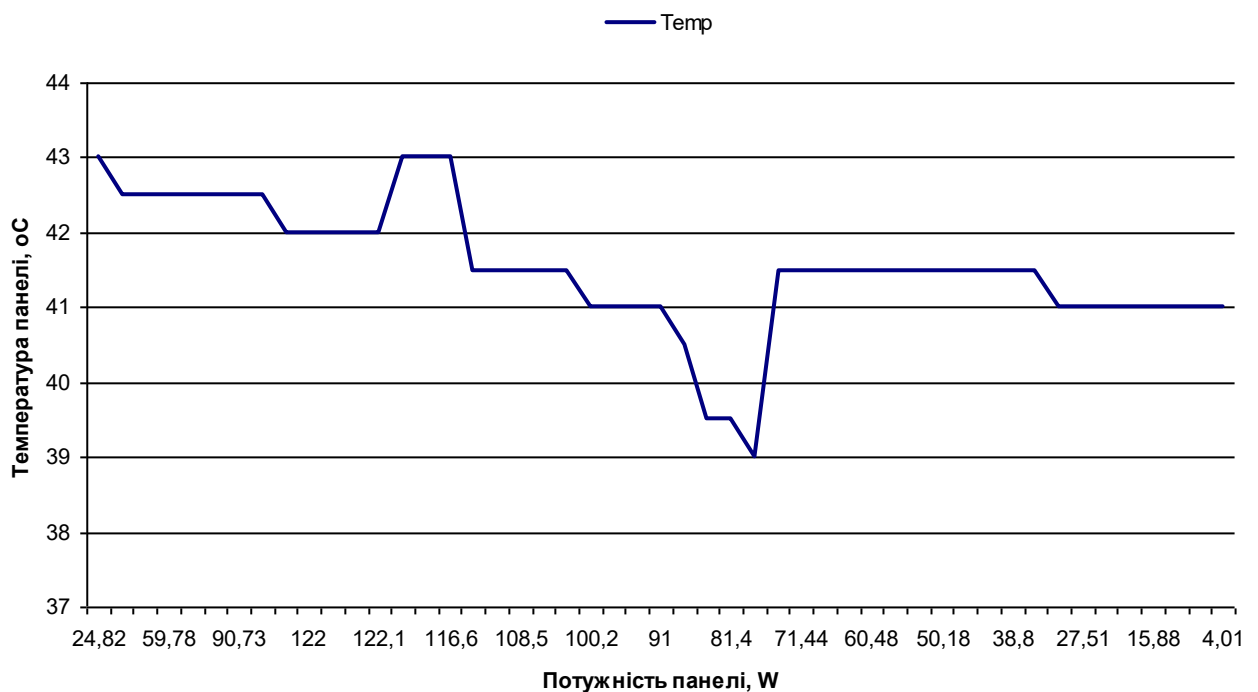


Рисунок 4.13 – Хід зміни температури панелі ($\beta = 90^0$)

Коефіцієнт заповнення:

$$FF = \frac{P_{\max}}{I_{sc} \cdot U_{oc}}, \quad (4.7)$$

$$FF = \frac{123,24}{4,27 \cdot 40,1} = \frac{123,24}{171,22} = 0,72$$

Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = FF \cdot \frac{I_{sc} \cdot U_{oc}}{E \cdot S} \quad (4.8)$$

$$\eta = 0,77 \cdot \frac{4,27 \cdot 40,1}{708,5 \cdot 1,125} = 0,154 \cdot 100\% = 15,4\%$$

де E - інтенсивність сонячного випромінювання, що падає на площину модуля, прийнято середнє значення $708,5 \text{ W/m}^2$;

S - площа фотоелектричних елементів ($S = 1,125 \text{ м}^2$).

Оптимальний опір:

$$R_{opt} = \frac{U_{mpp}}{I_{mpp}}, \quad (4.9)$$

$$R_{opt} = \frac{31,6}{3,90} = 8,12\Omega$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.
101

4.3 Порівняння технічних характеристик сонячної панелі заявлених виробником та отриманих експериментально

Знайдені в результаті досліджень характеристик параметри приведено в табл.4.4 з метою їх порівняння з даними заявленими виробником.

Таблиця 4.4 – Порівняння характеристичних параметрів панелі для різних кутів нахилу

№ п/п	Параметр модуля PV	Дані виробника (при STC)	Кут нахилу модуля (β)		
			0°	45°	90°
1	Напруга хол. ходу U_{oc} , V	44,8	39,1	41,0	40,1
2	Струм хол. ходу I_{sc} , A	5,29	2,26	4,73	4,27
3	Напруга в точці U_{mpp} , V	36,0	32,6	30,2	31,6
4	Струм в точці I_{mpp} , A	5,00	2,10	4,83	3,90
5	Максимальна потужність P_{mpp} , W	180,0	68,4	145,9	123,2
6	Оптимальний опір R_{opt} , Ω	7,2	15,5	6,25	8,10
7	FF	0,76	0,77	0,75	0,72
8	Коефіцієнт корисної дії η , %	Для моно-Si 15-18	13,5	15,8	15,5
9	Інтенсивність сонячного випромінювання, що падає на поверхню сонячної панелі E , W/m ²	1000	445,5*	755,2*	708,5*

* значення середні.

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

4.4 Дослідження впливу затемнення сонячної панелі на її характеристики

Другим проведеним дослідженням було дослідження впливу затемнення одного фотомодуля у цілій фотовольтаїчній панелі на його максимальну потужність. Електрична схема системи для цієї мети залишається такою ж як і при дослідженні вольт-амперних характеристик (рис.4.2). Дослідження проводилися також при трьох кутах нахилу модуля, тобто 0° , 45° , 90° . Хід досліджень полягав у виконанні наступних кроків:

1. Встановлення кута азимуту, що відповідає реальному положенню Сонця.
2. Встановлення визначеного кута нахилу панелі.
3. Знаходження точки максимальної потужності за допомогою потенціометра, регулюючи навантаження і запис результатів до таблиці.
4. Закривання одного із фотомодулів за допомогою матеріалу, що не пропускає світла.
5. Нове знаходження точки максимальної потужності і запис визначених результатів до таблиці.
6. Зміна кута нахилу панелі і повторення кроків 3, 4, 5.

При проведенні даних досліджень старалися, щоб інтенсивність сонячного випромінювання залишалася незмінною.

Результати вимірювань приведено в табл.4.5 і представлено на рис.4.14 (лист [МРМА22.00.00.000ДД4]).

Таблиця 4.5 – Порівняння характеристикних параметрів панелі для різних кутів нахилу

№ п/п	Параметр модуля PV	Кут нахилу панелі (β)					
		90°		45°		0°	
		БЗ	З	БЗ	З	БЗ	З
1	Напруга в точці максимальної потужності U_{mp} , V	32,50	22,00	32,50	22,40	30,90	21,60
2	Струм в точці максимальної потужності I_{mp} , A	3,89	3,60	3,93	3,58	2,15	2,00
3	Максимальна потужність P_{mp} , W	126,42	79,10	127,73	80,19	66,40	43,20
4	Інтенсивність сонячного випромінювання, що падає на поверхню сонячної панелі E , W/m ²	716,0	714,0	678,0	682,0	450,0	452,0

БЗ - фотомодуль без затемнення, З - фотомодуль затемнений

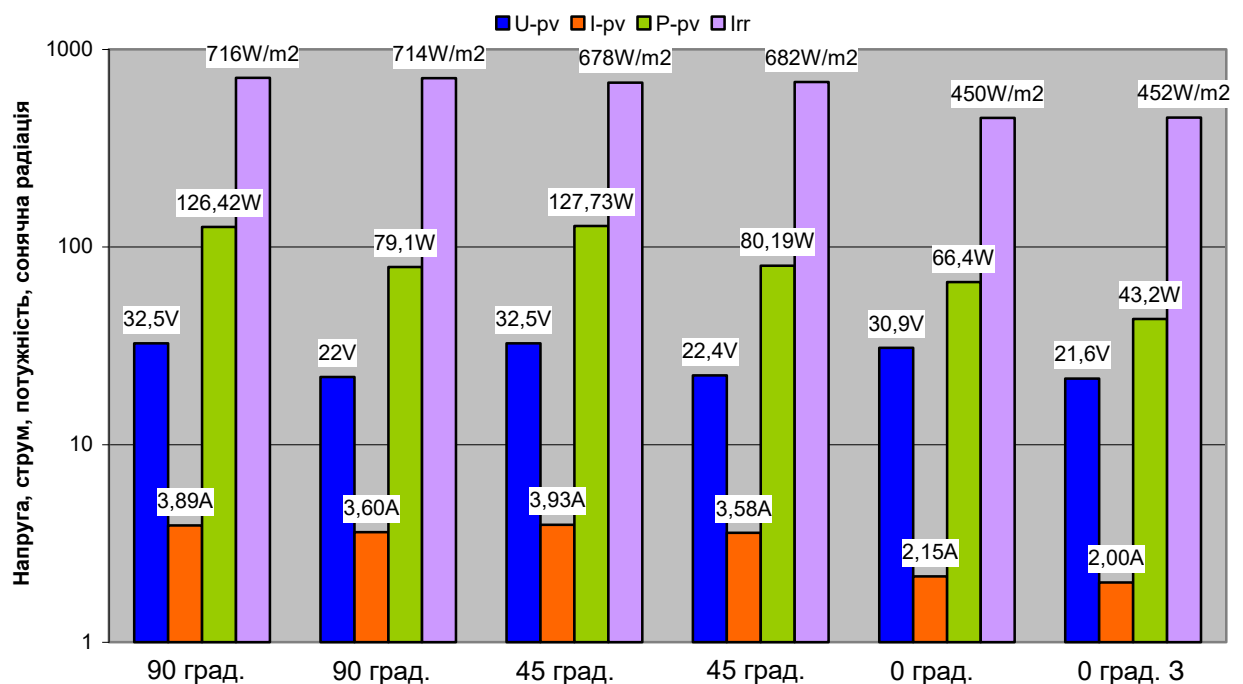


Рисунок 4.14 – Вплив затемнення сонячного елемента на пікову потужність, напругу U_{mp} і струм I_{mp} .

2. Дослідження впливу затемнення сонячної панелі на її характеристики показали наступне. Після короткого аналізу отриманих даних можемо стверджувати, що затемнення є істотною проблемою. Бачимо із максимальної потужності панелі для кожного кута нахилу, що інтенсивність сонячного випромінювання є нижчою біля 37 % у відношенні до потужності отриманої без затемнення.

Панель, що досліджується складається із 72 підключених послідовно фотомодулів із застосуванням діода шунта, що підтверджує отримані результати в порівнянні з характеристикою, представленою в технічній літературі. У випадку відсутності діода при послідовному підключенні повне закриття хоча б одного фотомодуля привело би до спадання потужності модуля до нуля, а також сильного зростання температури затемненого фотомодуля, які могли би привести до його пошкодження.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						106
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. На основі здійсненого огляду існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи встановлено: типи фотоелементів, які застосовуються для виготовлення сонячних фотомодулів, їх будову та основні характеристики; технічні характеристики, що характеризують сонячну панель; розглянуто класифікацію методів вимірювання вольт-амперних характеристик фотоелектричних сонячних елементів та батарей; визначено метод вимірювання вольт-амперних характеристик, за допомогою якого будуть проводитися експериментальні дослідження.

2. Розроблено математичну модель сонячного елемента, що, в свою чергу, дало змогу отримати теоретичні вольт-амперні характеристики. Їх аналіз показав як залежить від інтенсивності сонячного випромінювання та температури струм, напруга холостого ходу, максимальна потужність.

3. Для проведення експериментальних досліджень сонячних панелей було: вибрано сонячну панель SUNTECH STP 180S-24/As, з технічного паспорту визначено її заводські параметри; розроблено експериментальний стенд, який дозволить перетворювати сонячну енергію в електричну, підібрано та розраховано необхідне устаткування; розроблено вимірювальну систему, яка дасть змогу визначати необхідні параметри сонячної панелі та системи вироблення електричної енергії.

4. Проведено порівняння технічних характеристик сонячної панелі заявлених виробником та отриманих експериментально. З отриманих результатів можна констатувати наступне. В реальних умовах в яких було проведено дослідження, при повному безхмарному небі зафіксовано максимальне випромінювання на рівні $818\text{W}/\text{m}^2$, що на 18,8% нижче від закладеного в стандартних характеристиках. Як і слід було очікувати отримана більша величина для точки максимальної потужності при куті нахилу 45° . Коефіцієнт корисної дії модуля коливався від 13,5 до 15,8% що також лежить в

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						107
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

теоретичних межах для монокристалічних сонячних елементів. Заслугує на увагу натомість значний спад потужності при встановленні модуля під кутом 0° , який змінився на 53% у відношенні до потужності при куті 45° . Енергія сонячного випромінювання, що падає на поверхню модуля досягала величини $445,5 \text{ W/m}^2$, спричинене це є тим, що до модуля, встановленого таким чином в меншій кількості доходить відбите і розпорошене випромінювання. Також при такому розміщенні коефіцієнт корисної дії був найнижчим.

Підтвердилися раніше зроблені докази про те, що зміна інтенсивності випромінювання не впливає значно на напругу холостого ходу, але призводить натомість до значної зміни струму. Тому дуже істотною стає проблема пристосування навантаження до сонячного елемента так щоб завжди використання потужності було оптимальним. Використовуються з цією метою відповідні регулятори, чи перетворювачі, що містять спеціальні механізми, що слідкують за положенням точки максимальної потужності.

5. Дослідження впливу затемнення сонячної панелі на її характеристики показали наступне. Після короткого аналізу отриманих даних можемо стверджувати, що затемнення є істотною проблемою. Бачимо із максимальної потужності панелі для кожного кута нахилу, що інтенсивність сонячного випромінювання є нижчою на 37 % у відношенні до потужності отриманої без затемнення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С., Костіков І.Ю. Основи екологічних знань. – К.: 2004. – 256с.
2. Володин В., Хазановский П. Энергия, век двадцать первый. – К.: Вища школа, 2000 – 315с.
3. Інформаційно-аналітичне видання «Енергетика». – Л.: 2003. - 391с.
4. Маляренко В.А., Тимченко С.П. Стан, проблеми та перспективи розвитку сонячної енергетики України. Вісник Харківської національної академії міського господарства. №3. С. 73-76.
5. Типи сонячних панелей [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/tipi-sonyachnix-panelej>.
6. Сонячне будівництво [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/solar_comstruction.
7. Сонячна енергетика [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.sutem.com.ua.
8. Сонячна панель [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/solar_panel.
9. Схеми організації сонячних електростанцій [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/sxemi-organizacii-sonyachnix-elektrostantsij>.
10. Основні параметри сонячних панелей [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://kforum.com.ua/osnovni-parametri-sonjachnih-panalej>.
11. Контролери заряду для сонячних панелей, їхні типи та переваги [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://prel.prom.ua/a158055-kontroleri-zaryadu-dlya.html>.
12. Амперметр [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80>.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						109
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

28. Божко К.М. Вдосконалення методів та засобів контролю дефектів фотоелектричних сонячних батарей. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К.: 2016. – 180с.

29. Автоматичний вимикач [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%87.

30. Автоматичний вимикач ІЕК ВА47-60 1Р 16А тип С [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eltron.com.ua/avtomatychnyu-vumykach-iek-va47-60-1p-16a-tyr-c>.

31. Ватметр [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D1%82%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80>.

32. Вибір акумуляторної батареї для дбж [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prel.prom.ua/a266410-vibir-akumulyatornoyi-batareyi.html>.

33. Акумуляторна батарея LogicPower LPM - MG 80 АН, 12 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prel.prom.ua/p57078991-akumulyatorna-batareya-logicpower.html>.

34. Лічильник електричної енергії [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%96%D1%87%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D1%97.

35. Інвертори з правильною та модифікованою синусоїдою [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prel.prom.ua/a257881-invertori-pravilnoyu-modifikovanoyu.html>.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						112
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						113
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		