

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вишого навчального закладу)

Факультет Інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

БАКАЛАВРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ВІД НАПРУГИ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ»

Виконав: студент 4-го курсу, групи КІВТ-20Б
спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Черешнюк І. Д.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ІРТС

Дудатьєв І.А.

(прізвище та ініціали)

«14» 06 2024 р.

Рецензент: доц. каф. БМІОЕС, к.т.н., доц.

Тужанський С.Є.

(прізвище та ініціали)

«14» 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осалчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«15» 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти І-й (бакалаврський)
Галузь знань – 15 «Автоматизація та приладобудування»
Спеціальність – 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка
Освітньо-професійна програма – Комп'ютеризовані інформаційно-
вимірвальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

Олександр ОСАДЧУК

2024 року

ЗАВДАННЯ **НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Черешнюк Івану Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу

керівник роботи к.т.н., доц., Дудатьєв Ігор Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "11" 03 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи 13 06 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Об'єкт вимірювання – монокристалічний сонячний елемент. Контрольовані параметри – напруга, струм. Додаткові параметри – ККД, потужність. Дестабілізуючі фактори – температура.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Теоретичні відомості про засіб для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу. Фізико-технічне представлення лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу. Метрологічне забезпечення та похибки лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу. Безпосереднє представлення лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Принципова схема фотоелектричної електроенергії. Концентруюча фотоелектрична система генерації. Вплив різної освітленості холостого ходу. Вплив специфічного освітлення на вихідну потужність. Схематичне застосувань сонячних панелей. Ланцюг сонячної панелі з послідовним опором. Сонячна панель, що працює для отримання максимальної вихідної потужності.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доцент кафедри ІРТС к.т.н. доц., Дудатьєв ІА.		

7. Дата видачі завдання 17.03. 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-16.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	17.03.2024-08.04.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	09.04.2024-22.04.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки . Експериментальне дослідження.	23.04.2024-18.05.2024	
6.	Розробка графічної частини БДР	19.05.2024-28.05.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	29.05.2024-05.06.2024	
8.	Нормоконтроль	06.06.2024-07.06.2024	
9.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	08.06.2024-10.06.2024	
10	Захист БДР ЕК	11.06.2024-18.06.2024	

Студент


(підпис)

Черешнюк І.Д.

Керівник роботи


(підпис)

Дудатьєв І.А.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311

Черешнюк І.Д. Розробка лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу. Бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 61 с. На українській мові. Бібліогр.: 16 назв; табл.: 1; рис. 19.

У цій бакалаврській дипломній роботі розглядається розробка лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу.

Лабораторний стенд дозволяє детально вивчати фізичні явища, що відбуваються в сонячних елементах під впливом змінної інтенсивності сонячного випромінювання. Це допомагає краще розуміти процеси генерації електричної енергії в монокристалічних елементах.

Стенд служить важливим інструментом для навчання студентів, які вивчають відновлювані джерела енергії. Практичні заняття з використанням стенду дозволяють студентам застосовувати теоретичні знання на практиці, що значно підвищує якість освіти.

Ключові слова: сонячна панель, коефіцієнт корисної дії (ККД), температура, потужність, напруга, вольт-амперна характеристика (ВАХ), інвертор.

ABSTRACT

Chereshniuk I.D. Development of a laboratory stand for studying the dependence of the intensity of incident solar rays on the voltage at the output of a monocrystalline cell. Bachelor thesis. – Vinnytsia: VNTU, 2024. – 61 p. In Ukrainian language. Bibliography: 16 titles; table: 1; Fig. 19.

This bachelor thesis deals with the development of a laboratory bench for studying the dependence of the intensity of incident solar rays on the voltage at the output of a monocrystalline cell.

The laboratory stand allows for a detailed study of physical phenomena occurring in solar cells under the influence of variable intensity of solar radiation. This helps to better understand the processes of generating electrical energy in single-crystal cells.

The stand serves as an important teaching tool for students studying renewable energy. Practical classes using the stand allow students to apply theoretical knowledge in practice, which significantly increases the quality of education.

Keywords: solar panel, efficiency (efficiency), temperature, power, voltage, current-voltage characteristic (VAC), inverter.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗАСІБ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ВІД НАПРУГИ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ.....	12
1.1 Теоретичні відомості про сам засіб та його приклади.....	12
1.2 Переваги та недоліки сонячної енергії та сонячних панелей.....	16
1.3 Висновки до розділу 1.....	19
2 ФІЗИКО-ТЕХНІЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ВІД НАПРУГИ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ.....	20
2.1 Принцип роботи сонячних панелей.....	20
2.2 ККД сонячних панелей.....	21
2.3 Інвертор , як підсистема засобу для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елемента	24
2.4 Як правильно розрахувати інвертор для сонячної панелі.....	28
2.5 Висновки до розділу 2.....	38
3 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПОХИБКИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ВІД НАПРУГИ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ	39
3.1 ВАХ лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елемента.....	39
3.2 Основні тези для аналізу та оцінки якості лабораторного	

стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу.....	41
3.3 Виміри електричних характеристик сонячних елементів для лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу.....	44
3.4 Висновки до розділу 3.....	45
4 БЕЗПОСЕРЕДНЄ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ВІД НАПРУГИ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ.....	47
4.1 Розробка структурної схеми стенду.....	47
4.2 Розробка функціональної схеми стенду.....	48
4.3 Хід лабораторної роботи.....	49
4.4 Висновки до розділу 4.....	51
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
Додаток А (Обов'язковий) Ілюстративна частина.....	56
Додаток Б (Обов'язковий) Протокол перевірки роботи	58

ВСТУП

Сонячна енергетика є однією з найперспективніших галузей відновлюваної енергетики, яка набуває все більшого значення в умовах глобального переходу до сталого розвитку та зменшення залежності від викопних видів палива. Сучасні технології виробництва сонячних елементів постійно вдосконалюються, сприяючи підвищенню їх ефективності та зниженню вартості. В цьому контексті дослідження характеристик монокристалічних сонячних елементів є надзвичайно актуальним, оскільки вони прославились за останній час своєю високою продуктивністю та стабільністю в роботі.

Одним з важливих аспектів досліджень в області сонячної енергетики є вивчення залежності вихідних електричних параметрів сонячних елементів від умов освітлення. Інтенсивність падаючих сонячних променів є одним з ключових факторів, що впливає на ефективність перетворення сонячного світла в електричну енергію. Знання цієї залежності дозволяє оптимізувати роботу сонячних систем, покращити їх продуктивність та прогнозувати їх поведінку в реальних умовах експлуатації.

Основною метою та завданням цієї бакалаврської дипломної роботи є розробка лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу. Створення такого стенду дозволить провести серію експериментів, спрямованих на вивчення взаємозв'язку між інтенсивністю освітлення та електричними характеристиками сонячного елементу, а також на отримання нових даних, які можуть бути використані для подальших досліджень та розробок в області сонячної енергетики.

В рамках даної роботи буде проведено аналіз теоретичних аспектів роботи сонячних елементів, розглянуто методи вимірювання інтенсивності світла та вихідних параметрів сонячних елементів, розроблено конструкцію

та методику експлуатації лабораторного стенду. Основна увага буде приділена отриманню та аналізу експериментальних даних, які дозволять зробити висновки щодо впливу інтенсивності освітлення на ефективність роботи монокристалічного сонячного елемента.

Таким чином, результати даної бакалаврської дипломної роботи сприятимуть поглибленню знань у сфері сонячної енергетики та допоможуть у створенні більш ефективних та надійних сонячних енергетичних систем.

Метою даного дослідження є розробка лабораторного стенду, який дозволить вимірювати та аналізувати залежність інтенсивності падаючих сонячних променів від вихідної напруги монокристалічного фотоелектричного елемента.

Об'єктом дослідження в роботі є процес дослідження метрологічних характеристик монокристалічного сонячного елемента, такі як вихідна напруга, струм і ККД (коефіцієнт корисної дії) під впливом різної інтенсивності світла.

Предметом дослідження є методи та засоби, які можна застосувати при побудові стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елемента.

Методи дослідження. При вирішенні поставленої задачі в роботі використовуються методи теорії вимірювального контролю, математичної статистики та теорії випадкових процесів для обробки експериментальних результатів, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювання та технічного контролю для визначення контрольних ймовірностей.

Практичне значення одержаних результатів.

У роботі отримані такі практичні результати:

1. Розроблений лабораторний стенд дозволяє студентам здійснювати практичні дослідження в реальних умовах, що сприяє кращому розумінню теоретичних основ функціонування сонячних елементів.

2. Отримані дані можуть бути використані для подальших досліджень і розробок у галузі матеріалознавства, спрямованих на поліпшення характеристик монокристалічних сонячних елементів.

3. Вивчення залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від вихідної напруги монокристалічного елемента допомагає в оптимізації систем генерації електроенергії, що працюють на сонячних батареях.

4. Використання лабораторного стенду дозволяє покращити методики вимірювання параметрів сонячних елементів, забезпечуючи високу точність і надійність отриманих результатів.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати, що представлені в бакалаврській дипломній роботі, одержані автором самостійно.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗАСІБ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ВІД НАПРУГИ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ

1.1 Теоретичні відомості про сам засіб та його приклади

Прикладом для лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу найкраще підходить сонячні панелі. В цьому розділі наведені основні відомості та приклади про сонячні панелі.

Сонячні панелі (батареї, модулі) - це фотоелектричні генератори, що складаються з сонячних (фотоелектричних) елементів (СЕ), розміщених між шарами герметизуючого матеріалу, скляною верхньою пластиною і захисною плівкою. Фотоелектричні елементи виробляють електричну енергію під впливом світла. Кількість енергії, яку виробляє СЕ, залежить від інтенсивності інсоляції. Коефіцієнт корисної дії показує, яка частка світла, що падає на поверхню панелі, перетворюється на електрику. Це відбувається завдяки фізичним властивостям напівпровідників, з яких виготовляються сонячні панелі. Найчастіше для цього використовується кремній. Під впливом світла та тепла від інфрачервоних променів на фотоелементах виникає різниця потенціалів, що призводить до утворення струму. Для сонячних електростанцій використовують один із трьох типів сонячних панелей: монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові. Розміри сонячних панелей варіюються від 99,5 до 140 см у ширину та від 168,5 до 250 см у довжину. При однакових розмірах потужність сонячних панелей різних типів може значно відрізнятись. Розгляньмо кожен тип детальніше.

1. Монокристалічна
2. Полікристалічна
3. Тонкоплівкова (аморфні)
4. Кремнієва

Монокристалічна панель складається з осередків, виготовлених з монокристала кремнію. Вони мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД), який становить від 17% до 25%, і термін служби від 20 до 25 років. Ці панелі легко впізнати за їх зовнішнім виглядом: осередки мають форму квадрата зі зрізаними кутами і однорідний темно-синій або чорний колір. Монокристалічні сонячні панелі є найдорожчими, але й найефективнішими з точки зору кількості кіловат, які можна отримати на одиницю площі. Висока вартість обумовлена складністю орієнтації кристалів в одному напрямку. Найвищу ефективність монокристалічні панелі показують при вертикальному падінні сонячних променів, тому їх рекомендується встановлювати на висоті або на відкритій місцевості. У північних регіонах краще вибирати інші типи панелей, проте чим ближче до екватора, тим більш ефективними є монокристалічні панелі. На рисунку 1.1 показана схема монокристалічної сонячної панелі.



Рисунок 1.1 – Монокристалічні сонячні панелі

Полікристалічні сонячні панелі виготовляються з кремнію з домішками. Елементи мають звичайну квадратну форму і нерівномірний колір. ККД таких панелей становить 15-18%. Вони вимагають значно більшої площі, ніж монокристалічні панелі. Навіть при розсіяному освітленні висока ефективність досягається завдяки різноспрямованим кристалам.

Полікристалічні панелі менш ефективні, ніж однотипні, але саме в похмуру погоду вони виробляють більше енергії. При цьому вартість таких панелей нижче в порівнянні з монокристалічними панелями, оскільки технологія їх виготовлення простіше і дешевше. Через неоднорідності матеріалу і особливостей створення вартість конструкції значно знижується. Якщо при виготовленні монопанелі необхідно зорієнтувати кристали в одному напрямку і виготовити полікристалічну сонячну панель, спрямованість не контролюється, і вона ріжеться і обробляється після охолодження. Полікристалічні панелі встановлюються на дахах громадських будівель і приватних будинків, тому вони дуже затребувані на ринку. Наочна схема полікристалічної сонячної панелі наведена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Полікристалічна сонячна панель

Тонкоплівкова (аморфна). Цей тип панелей найдешевший, але і продуктивність низька, ККД становить всього 9-13%, а термін служби значно поступається двом іншим типам. Вага сонячних панелей цього типу найнижчий, оскільки вони виготовлені з тонкого шару кремнію, який наноситься на фольгову або скляну основу. Низька продуктивність призводить до необхідності використання великих площ і збільшення витрат на допоміжні матеріали, такі як системи кріплення. Завдяки тонкоплівковій технології виробляються недорогі сонячні панелі. Тонкоплівкові панелі особливо популярні на великих фермах, що виробляють "сонячну

електроенергію", особливо з невеликим бюджетом на придбання великих земельних ділянок, призначених для панелей та акумуляторів. Пристрої на тонкоплівкових сонячних батареях встановлюються на землі, на даху і навіть збоку будинку. Тонкоплівкові панелі використовуються в системах, які генерують енергію безпосередньо в мережу. До обладнання станції рекомендується додати Високовольтні контролери та інвертори для сонячних панелей, які не підключені до домашньої системи. Схему тонкоплівкової (аморфної) сонячної панелі можна побачити на рисунку 1.3

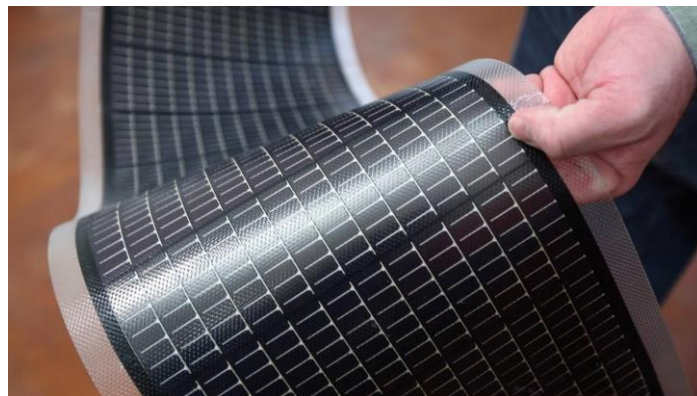


Рисунок 1.3 – Тонкоплівкова (аморфна) сонячна панель

Кремнієві панелі. Кремнієва панель виготовлена з аморфного кремнію, і технологічний процес відрізняється від виробництва кристалічного обладнання. Оскільки замість чистих матеріалів використовуються гідриди, класичні кристали не утворюються, що знижує собівартість виробництва. Завдяки структурі аморфного кремнію кремнієві акумулятори ефективно поглинають фотони розсіяного світла. Кремнієві сонячні панелі ідеально підходять для північних регіонів з великими пустельними територіями. При високих температурах продуктивність кремнієвих панелей нижче, ніж у аналогів, але її все одно вистачає для побутового споживання. Схему такої кремнієвої панелі можна побачити на рисунку 1.4



Рисунок 1.4 – Кремнієві панелі

1.2 Переваги та недоліки використання сонячної енергії та сонячних панелей

Переваги сонячної енергії:

1. З усіх переваг що можна привести для сонячних панелей найважливішими є ті, що сонячна енергія є відновлюваним джерелом енергії.

2. Скоротить витрати на електроенергію. Ваші рахунки за електроенергію зменшаться, оскільки частина ваших енергетичних потреб задовольнятиметься за рахунок електроенергії, виробленої вашою Сонячною системою. Скільки ви заощадите на рахунку, залежить від розміру Сонячної системи та споживання енергії.

3. Можливість продавати надлишки електроенергії державі за "зеленими" тарифами і заробляти близько 7000 доларів на рік.

4. Низькі експлуатаційні витрати.

5. Технології сонячної енергетики постійно розвиваються, і в найближчому майбутньому вони будуть вдосконалюватися. Інновації потенційно можуть збільшити ефективність сонячних панелей і подвоїти або потроїти електричну потужність сонячних енергетичних систем.

З недоліків можна виділити декілька основних, а саме:

1. Досить висока початкова вартість придбання сонячної системи. Це включає оплату сонячних панелей, інвертора, акумуляторів,

проводки та монтажу. Проте, технології сонячної енергії постійно вдосконалюються, тому можна припустити, що в майбутньому ціни будуть знижуватися.

2. Залежність від погодних умов. Ефективність роботи сонячної електростанції залежить від інтенсивності сонячного світла. Чим краще освітленість, тим більше енергії виробляє ваша система. Відповідно, погодні та кліматичні умови є важливими факторами, що впливають на продуктивність.

3. Висока вартість акумуляторних батарей та необхідність їх заміни в майбутньому. Якщо ви не плануєте продавати електроенергію за зеленим тарифом, її можна зберігати в акумуляторах. Ці акумулятори заряджаються протягом дня для використання енергії вночі. Це хороший спосіб використовувати сонячну енергію цілодобово, але він досить дорогий. У більшості випадків розумніше використовувати сонячну енергію вдень, а вночі брати електроенергію з мережі.

4. Потреба у великій площі. Чим більше електроенергії ви хочете виробляти, тим більше сонячних панелей вам знадобиться. Сонячні фотоелектричні панелі займають багато місця, а деякі дахи не достатньо великі, щоб розмістити бажану кількість панелей.

Також хочу виділити та додати переваги та недоліки по кожному з виду сонячних панелей.

Переваги монокристалічних сонячних батарей:

1. Високий коефіцієнт корисної дії.
2. Компактність. Їх можна розміщувати на невеликих майданчиках завдяки високій потужності обладнання.

3. Надійність і довговічність. Монокристалічні панелі ефективно перетворюють сонячну енергію на електрику протягом 25 років.

Полікристалічні сонячні панелі мають такі переваги:

1. Ефективне генерування енергії при розсіяному сонячному світлі.

2. Підходять для монтажу на дахах.
3. Більш приваблива ціна порівняно з монокристалічними аналогами.
4. Довговічність. Протягом перших 20 років панель показує найбільшу потужність, після чого показники знижуються на 15-20%, але панель все ще здатна генерувати енергію.

Тонкоплівкові (аморфні) панелі мають такі переваги:

1. Ефективна робота при розсіяному випромінюванні.
2. Рентабельність у регіонах з туманним і похмурим кліматом або у промислових зонах зі складною екологічною ситуацією (задимленість, запиленість).

Переваги кремнієвих панелей:

1. Універсальність. Підходять для встановлення на будь-яких будинках.
2. Високий ККД при розсіяному сонячному світлі.
3. Стабільна робота навіть при високих температурах.
4. Прості та надійні конструкції, що практично не ламаються.
5. Ефективність за складних умов, таких як запиленість.
6. Термін служби - 20-25 років.

Недоліки різних сонячних панелей: При виборі сонячних панелей слід враховувати їхні недоліки.

Монокристалічні панелі - найдорожчі і чутливі до забруднення повітря. Пил розсіює світло навіть у сонячну погоду, що знижує ККД обладнання.

Полікристалічні панелі - мають нижчий ККД порівняно з монокристалічними. Вони більш громіздкі, тому для їхнього монтажу потрібно більше простору.

Тонкоплівкові панелі – недорогі, але мають нижчий ККД, тому для них також потрібно більше місця, ніж для інших типів.

Панелі з аморфного кремнію потребують великих площ для встановлення обладнання.

Кожен тип панелей оптимальний для певних умов експлуатації. Важливо ретельно визначити, для яких умов потрібні панелі, на який термін служби розраховуєте і який фінансовий рівень готові інвестувати.

1.3 Висновки до розділу 1

У цьому розділі було розглянуто основні переваги та недоліки використання сонячної енергії та сонячних панелей. На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

Переваги використання сонячної енергії:

1. Відновлюваність: Сонячна енергія є невичерпним ресурсом, який доступний практично всюди на Землі. Це робить її стійким джерелом енергії на довготривалу перспективу.

3. Екологічність: Використання сонячних панелей для генерації електроенергії не спричиняє викидів парникових газів, забруднюючих речовин або шкідливих відходів. Це сприяє зниженню негативного впливу на навколишнє середовище і допомагає боротися зі змінами клімату.

4. Зниження енергетичної залежності: Використання сонячної енергії дозволяє зменшити залежність від імпорتنих енергоносіїв і підвищити енергетичну безпеку країни.

5. Економічна ефективність: Хоча початкові витрати на встановлення сонячних панелей можуть бути високими, їх експлуатаційні витрати є мінімальними. Сонячні панелі мають тривалий термін служби і можуть забезпечувати безкоштовну електроенергію протягом багатьох років.

6. Можливість децентралізації енергосистем: Сонячні панелі можна встановлювати як на великих сонячних фермах, так і на дахах приватних будинків, що дозволяє створювати децентралізовані енергетичні системи.

Недоліки використання сонячної енергії:

1. Залежність від погодних умов: Ефективність сонячних панелей значно залежить від погодних умов і рівня сонячного випромінювання. У хмарні дні або вночі виробництво електроенергії суттєво знижується або взагалі припиняється.

2. Початкові витрати: Вартість встановлення сонячних панелей та необхідного обладнання може бути високою, що є серйозною перешкодою для багатьох споживачів.

3. Потреба у великій площі: Для встановлення великої кількості сонячних панелей потрібна значна площа, що може бути проблемою в густонаселених районах або на обмежених територіях.

4. Ефективність перетворення енергії: Хоча технології постійно вдосконалюються, коефіцієнт корисної дії (ККД) сучасних сонячних панелей все ще залишається відносно невисоким, зазвичай в межах 15-22%.

5. Вплив на навколишнє середовище: Виробництво та утилізація сонячних панелей можуть спричиняти певний негативний вплив на навколишнє середовище через використання хімічних речовин і ресурсів.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що сонячна енергія є перспективним і екологічно чистим джерелом енергії, яке має значні переваги. Проте існують і певні обмеження, які потрібно враховувати при плануванні та впровадженні сонячних енергосистем. Подальший розвиток технологій і зниження витрат на виробництво сонячних панелей можуть сприяти подоланню цих недоліків і зробити сонячну енергію ще більш доступною та ефективною.

2 ФІЗИКО-ТЕХНІЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗАСОБУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ВІД НАПРУГИ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ

2.1 Принцип роботи сонячних панелей

Сонячні панелі використовуються для збору чистої відновлюваної енергії з сонячного світла, перетворення її в електрику і подачі електричних зарядів. Кожна сонячна панель складається з кількох окремих сонячних елементів, які, в свою чергу, містять шари кремнію, фосфору (що забезпечує негативний заряд) і бору (що забезпечує позитивний заряд). Поглинаючи фотони, сонячна панель одночасно виробляє електричний струм. Енергія фотонів, що вдаряються об поверхню сонячної панелі, змушує електрони виходити з атомної орбіти і переміщатися в електричне поле, створене сонячним елементом. Цей процес відомий як фотоелектричний ефект.

У збалансованій конфігурації мережі сонячні батареї генерують енергію протягом дня, яка використовується вночі. Програма обліку електроенергії дозволяє власникам сонячних фотоелектричних систем отримувати компенсацію, якщо їх система виробляє більше енергії, ніж споживається в будинку. В автономних сонячних системах акумуляторні батареї, контролери заряду і, часто, інвертори є ключовими компонентами. Сонячний елемент подає постійний струм електрики на акумуляторну батарею через контролер заряду. Після цього живлення з акумулятора надходить до інвертора, який перетворює постійний струм у змінний, що може використовуватися для пристроїв, які потребують змінного струму. За допомогою інверторів масив сонячних панелей може бути розрахований на відповідність найвищим вимогам до електричного навантаження. Враховуючи принцип роботи сонячних елементів, зверніть увагу, що конструкція модуля забезпечує 2 види напівпровідників при подачі змінного

струму на побутове навантаження або комерційні будівлі, транспортні засоби для відпочинку і човни, віддалені ангари, котеджі або будинки, дистанційне керування рухом, телекомунікаційне обладнання. , управління потоком нафти і газу та багато іншого:

- N-шар – із зайвими електронами;
- Р-шар - недостатня кількість електронів.

Коли сонячні промені потрапляють в перший шар, електрони залишають атом, і там, де є порожнє місце. Він переходить в шар. Це дозволяє електронам рухатися по замкнутому колу, утвореному сонячними елементами та батареями. Поки цей процес триває, акумулятор заряджається.

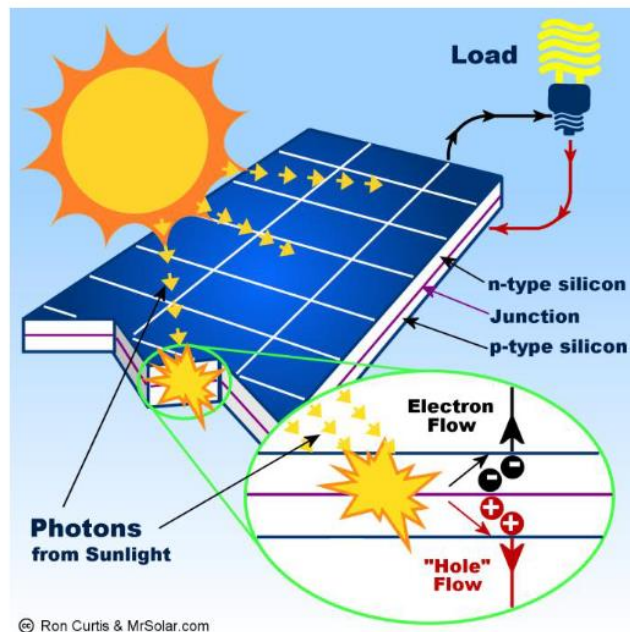


Рисунок 2.1 – Приклад роботи сонячної панелі

2.2 ККД сонячних панелей

Коефіцієнт корисної дії (ККД) визначається як співвідношення корисної енергії, отриманої від перетворювача, до загальної енергії, що підводиться до нього. ККД сонячної батареї – це відношення енергії, яка видається джерелом світла, до енергії, виробленої батареєю.

Як було згадано при описі різних типів батарей, їхній середній ККД досить низький. Це пов'язано з тим, що батареї можуть ефективно поглинати

і переробляти тільки певні ділянки спектру. Для найпоширеніших кремнієвих сонячних батарей цей показник не досягає 30%. Проте у світі активно працюють над підвищенням цього показника. Середній ККД сонячних батарей у галузі становить близько 18%, і цей показник залежить від кристалічного складу матеріалу фотоелектричних елементів. Найбільш популярними у всьому світі є три види кремнієвих елементів:

1. Елементи на основі монокристалічного кремнію з ККД до 23% – виготовляються з кремнієвих підкладок псевдоквадратної форми, вирізаних із злитків надчистого кремнію, вирощеного за складною технологією. Кремній легується домішками для зниження відбивних властивостей, текстурування поверхні та створення омичних контактів.

2. Елементи на основі полікристалічного кремнію з ККД від 14 до 18% – виробляються з квадратних підкладок, вирізаних з полікристалічних злитків, вирощених у кварцових тиглях. Для цього використовуються злитки кремнію невисокого ступеня очищення або відходи надчистого кремнію.

3. Елементи на основі аморфного кремнію з ККД в середньому 8% – це легкі, тонкоплівкові панелі, виготовлені з некристалічного аморфного кремнію, який має лише ближню впорядкованість структури. Для виробництва однакової кількості електрики панелей з аморфного кремнію потрібно більше, ніж монокристалічних.

Кристалічні кремнієві фотоелементи мають найвищу продуктивність перетворення енергії серед усіх комерційних модулів.

Серед найважливіших факторів, що впливають на ефективність роботи сонячних панелей, є особливості обладнання та монтажу, зокрема:

1. вибір якісного і високотехнологічного обладнання з відповідними характеристиками;
2. правильний кут нахилу панелей з урахуванням координат сонця;
3. якісне сервісне обслуговування;
4. втрати в проводці, інверторі та контролері;

5. орієнтація модулів - максимальна продуктивність досягається при направленні на південь, південний схід або південний захід.

До інших важливих факторів відносяться природні умови, такі як:

1. погода - дощ, снігопад і похмура погода зменшують генерацію;
2. тривалість дня - взимку кількість сонячних годин менша, ніж влітку;
3. температура навколишнього середовища та її вплив на нагрівання панелей;
4. влітку генерація може знижуватися через спеку та надмірне нагрівання модулів.

Ефективність сонячних панелей можна підвищити кількома способами. Одним з популярних методів збільшення продуктивності панелей без їх кількісного розширення є використання оптимізаторів потужності, які працюють на основі відстеження точки максимальної потужності (MPPT). Ці пристрої постійно обчислюють точку на панелі, де поєднання струму і напруги дає максимальну генерацію.

Оптимізатори потужності підвищують ККД електростанцій, особливо коли на одну або кілька панелей протягом дня потрапляє тінь. У разі послідовного з'єднання, зниження генерації в одному модулі призводить до зниження генерації у всій лінії. Завдяки MPPT, які відстежують точку максимальної потужності для кожного модуля окремо, підвищується ефективність всієї системи.

Для досягнення високого ККД електростанцій необхідно використовувати високоефективне обладнання. Для контролерів та інверторів коефіцієнт ефективності повинен бути 95% і більше. Якщо ККД інверторів менше 85%, 15-20% від загальної потужності масиву буде витрачатися на інвертор, що є неприпустимим при використанні високотехнологічних і дорогих панелей.

Для підвищення продуктивності СЕС також застосовуються сонячні трекери і концентратори світла. Трекери відстежують положення сонця і

змінюють нахил модулів для забезпечення оптимального кута між потоком світла і поверхнею, що поглинає. Концентратори збільшують щільність сонячних променів за допомогою оптичних пристроїв, що підвищує інтенсивність випромінювання в сотні та тисячі разів.

Отже, ККД сонячної панелі - це характеристика її ефективності, яка визначається як відношення потужності, що виробляється сонячним елементом, до потужності падаючого випромінювання. (2.1)

$$P_{\text{max}} \div P_{\text{пад}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Отже, у формулі 2.1 наведено ККД сонячної панелі.

2.3 Інвертор, як підсистема засобу для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу

Зрозуміло, що енергію, яку генерують сонячні батареї, потрібно зберігати. Для цього використовуються акумулятори. Вони, разом із сонячними батареями, створюють автономну систему енергопостачання. Загальна структура такої системи виглядає наступним чином. (Рисунок 2.2)

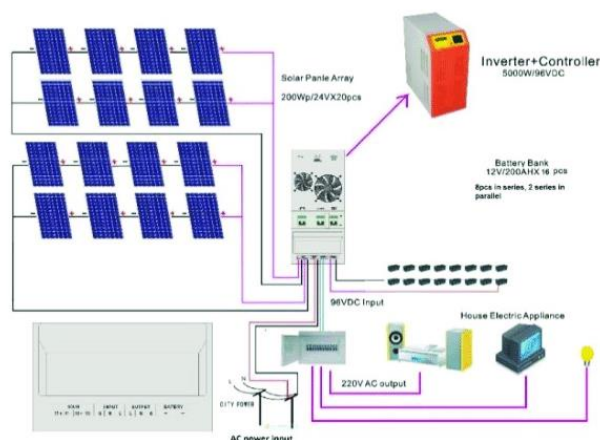


Рисунок 2.2 – Схема автономної системи на сонячних батареях

Таким чином, вдень сонячні батареї заряджають акумулятори, які вночі забезпечують енергією підключені пристрої.

Розглянемо детальніше кожен елемент цієї системи:

1. Контролер заряду – компонент зарядного пристрою, який керує процесом зарядки акумуляторів. Його функції включають реалізацію оптимальних алгоритмів заряду та розряду для конкретного типу акумуляторів, стабілізацію напруги при одночасному використанні акумуляторів, а також інші функції, що залежать від моделі.

2. Інвертор – пристрій, який перетворює постійний струм на змінний, змінюючи при цьому напругу. Інвертори поділяються на автономні та залежні, але в сонячних системах зазвичай використовуються автономні. Вони можуть змінювати як напругу, так і струм. Існує три види інверторів для сонячних панелей:

1. Сонячний мережевий інвертор
2. Автономний інвертор напруги
3. Гібридний інвертор

Сонячний мережевий інвертор застосовується у мережевих сонячних електростанціях. Він є ключовим елементом системи, оскільки від нього залежить багато процесів генерації електроенергії. Мережевий інвертор може працювати в двох режимах:

1. Передача згенерованої енергії в загальну електромережу. Якщо ваше домогосподарство споживає менше електроенергії, наприклад, 0,5-1 кВт, надлишки передаються в загальну мережу. За кожен 1 кВт переданої енергії ви отримуєте кошти, враховуючи різницю між "зеленим" тарифом, Net Metering і Net Billing. У випадку з Net Billing кошти зараховуються на спеціальний рахунок і не можуть бути переведені в готівку.

2. Використання енергії для власного споживання. Якщо споживання перевищує виробіток сонячної електростанції, вся згенерована енергія використовується для живлення споживачів. Додаткова

електроенергія береться з загальної мережі в потрібній кількості для роботи побутової техніки.

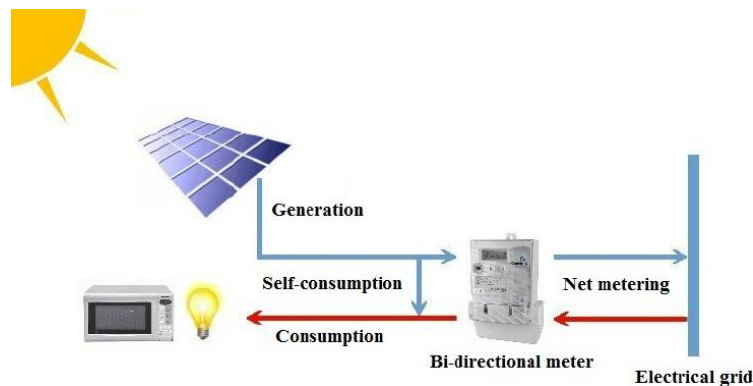


Рисунок 2.3 – Приклад мережевого інвертора

Автономний інвертор напруги відрізняється від мережевих моделей тим, що може функціонувати навіть при відключенні електропостачання. Для цього система комплектується акумуляторними батареями (АКБ) і контролером заряду. Автономний інвертор має кілька режимів роботи:

1. При відсутності електропостачання інвертор одночасно живить споживачів і заряджає АКБ.
2. Якщо генерація енергії недостатня, інвертор живить споживачів, а недостача електроенергії компенсується за рахунок АКБ.
3. При наявності автономного інвертора, можна створювати різні системи електроживлення. Наприклад, інвертор може одночасно використовувати енергію від фотопанелей, загальної мережі та АКБ для живлення споживачів.
4. Коли генерація СЕС достатня, енергія використовується для живлення споживачів і заряджання АКБ. При зниженні генерації інвертор бере енергію з мережі лише для споживання, без заряджання АКБ.
5. При обмеженнях в електромережі СЕС компенсує їх. Якщо споживання перевищує ліміт у мережі та виробіток фотопанелей, додаткова енергія береться з АКБ.

6. За повної відсутності як генерації, так і електропостачання, споживачі живляться від акумуляторів. Тривалість роботи залежить від ємності батарей і ступеня їхнього заряду.

Акумулятори для автономних систем на базі сонячних батарей або вітрових електрогенераторів, а також ДБЖ, зазвичай використовують літій-залізо-фосфатні АКБ. Вони мають високий ККД — близько 90%. Завдяки високому ККД, енергії виходить більше порівняно з іншими АКБ аналогічної ємності. Ці акумулятори не псуються, мають термін служби до 15 років і витримують 3000 циклів при розрядах на 80%, 5000 циклів при розрядах на 50%, а при меншому розряді — до 10000 циклів.



Рисунок 2.4 – Приклад автономного інвертора сонячних панелей

Зверніть увагу на важливу особливість автономних інверторів: їх принцип роботи не дозволяє передавати надлишки електроенергії в мережу. Таким чином, СЕС цього типу не підходять для використання у "зеленому" тарифі, Net Billing та Net Metering.

Гібридні інвертори. Ці пристрої дуже схожі на автономні моделі, але мають суттєву відмінність — можливість передавати згенеровану енергію в електромережу. Оскільки гібридні інвертори працюють як для живлення

споживачів, так і для передачі енергії в мережу, вони можуть використовуватися для "зеленого" тарифу, Net Metering та Net Billing.

Крім того, з гібридними пристроями можна використовувати акумуляторні батареї (АКБ). Це дозволяє створювати різноманітні системи, які забезпечують власне споживання, накопичення заряду акумуляторів та компенсацію нестачі генерації.

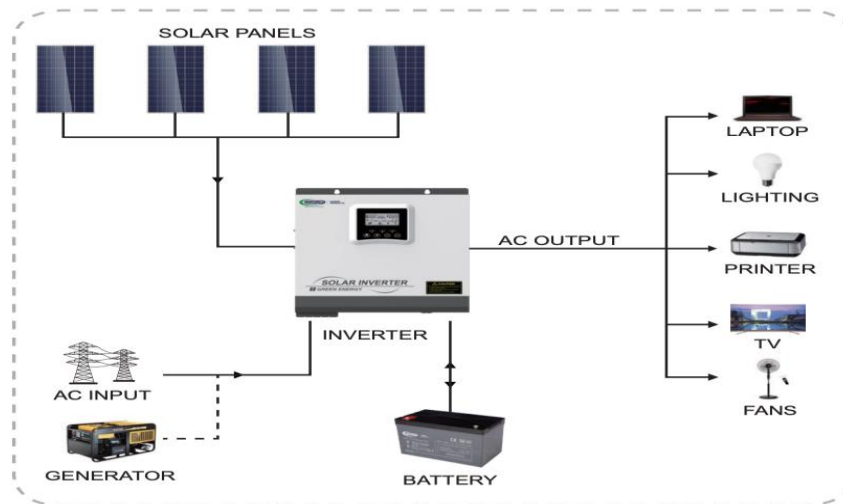


Рисунок 2.5 – Приклад гібридного інвертору напруги

2.4 Розрахунок технічних параметрів інвертора для сонячної панелі

Вибір інвертора слід починати з визначення типу сонячної фотоелектричної системи: мережної, автономної або гібридної. Кожна з цих систем вимагає використання спеціалізованого інвертора. Далі необхідно визначити потужність сонячних панелей, а також місце та спосіб їх встановлення. Важливим фактором при виборі інвертора є різниця в струмі сонячних панелей, яка може виникнути через:

1. Встановлення частини панелей під іншим кутом;
2. Розміщення панелей на різних майданчиках з різною орієнтацією на південь;
3. Періодичне (денне) затінення панелей.

Слід узгодити потужність інвертора з потужністю сонячних панелей. Номінальна потужність на стороні змінного струму (АС) визначає максимальну потужність споживачів, які можуть бути підключені до інвертора, або максимальний обсяг енергії, який може бути переданий до мережі. Цей параметр завжди зазначений у технічному паспорті. Для оптимальної ефективності інвертор повинен працювати якомога ближче до номінальної потужності. Ефективність перетворення може досягати 98%, залежно від моделі. Якщо потужність, що генерується сонячними панелями, зменшується, наприклад, у похмурий день, коли сонячна інтенсивність не перевищує 200 Вт/м², ефективність інвертора різко падає.

Потужність на стороні постійного струму (DC) зазвичай не фіксована і визначається на основі вихідної потужності. Оптимальний діапазон потужності масиву сонячних панелей становить від 80 до 120% номінальної вихідної потужності інвертора. Виробники інверторів зазвичай рекомендують трохи “перевантажувати” інвертор на стороні постійного струму, оскільки потужність сонячних панелей завжди визначається для умов STC, які рідко досягаються на практиці. Випромінювання з потужністю 1000 Вт/м² протягом усього року триває від кількох днів до кількох годин, що становить лише 1-2% від загального часу сонячної активності. Решту часу потужність сонячного випромінювання не перевищує 800-900 Вт/м². Це означає, що 98% часу сонячна станція працює максимум на 80-90% від своєї номінальної продуктивності.

Крім того, потужність сонячних модулів зменшується з часом через деградацію кремнієвих фотоелементів. Цей процес йде досить повільно, але вже в перший рік продуктивність знижується в середньому на 1-2 відсотки. Отже, сонячні панелі вкрай рідко досягають номінальної потужності в умовах STC, заявленої виробником.

Для розрахунків у лабораторному стенді вибираємо мережевий інвертор Fronius SYMO 10.0-3-M, так як він нам найбільше підходить по своїм характеристикам.

Технічні параметри FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M)

Вхідні параметри		10.0-3-M		12.5-3-M		15.0-3-M	
Кількість трекерів MPP		2		2		2	
		MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2
Мак. вхідний струм ($I_{dc\ max}$)	A	27.0	16.5 1	27.0	16.5 1	33.0	27.0
Мак. вхідний струм на контролер ($I_{dc\ max\ MPPT\ 1+2}$)	A	43.5		43.5		51.0	
		MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2
Макс. струм короткого замикання масиву MPPT1/MPPT2 ($I_{sc\ pv}$) 2	A	55.7	34	55.7	34	68	55.7
Мінімальна - максимальна вхідна напруга ($U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$)	V	200 - 1000		200 - 1000		200 - 1000	
Стартова напруга ($U_{dc\ start}$)	V	200		200		200	
Робочий MPP діапазон напруги	V	200 - 800		200 - 800		200 - 800	
MPP діапазон напруг (при номін. потуж.) ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	V	270 - 800		320 - 800		320 - 800	
		MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2
Кількість DC підключень		3	3	3	3	3	3
Макс. потужність фотомодулів ($I_{dc\ max}$)	Вт peak	15,000		18,800		22,500	

Рисунок 2.6 – Технічні параметри інвертора – загальні дані

Технічні параметри FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M)

Вихідні параметри		10.0-3-M		12.5-3-M		15.0-3-M	
АС номінальна потужність (P _{ac,r})	Вт	10,000		12,500		15,000	
АС номінальна вихідна потужність (P _{ac,r})	ВА	10,000		12,500		15,000	
		380 VAC	400 VAC	380 VAC	400 VAC	380 VAC	400 VAC
АС номінальний струм (I _{ac nom})	A	15.2	14.4	18.9	18	22.7	21.7
Номінальна напруга мережі (voltage range)		3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)					
Номінальна частота (діапазон частоти)	Hz	50 / 60 (45 - 65)		50 / 60 (45 - 65)		50 / 60 (45 - 65)	
Коефіцієнт нелінійності	%	< 1.75		< 2.0		< 1.5	
Коефіцієнт потужності (cos φ _{ac,r})		0–1 ind. / cap.					

Рисунок 2.7 – Вхідні дані інвертора

Технічні характеристики інвертора. Робочий діапазон інвертора знаходиться між значеннями напруги старту $U_{dc\ min}$ та максимальною напругою $U_{dc\ max}$. Як тільки напруга постійного струму з боку сонячних батарей досягає значення $U_{dc\ start}$, перетворювач активується та починає пошук точки максимальної потужності MPP. Якщо ця точка знаходиться між $U_{dc\ min}$ та $U_{dc\ start}$, інвертор запуститься та почне працювати. Поки напруга

не перевищує мінімального значення діапазону MPPT $U_{mppt\ min} - U_{mppt\ max}$, інвертор працює з неповною потужністю. Найвища ефективність перетворювача досягається з напругою V_{nom} , тому конфігурація ланцюгів сонячних батарей повинна видавати напругу, близьку до U_{nom} інвертора.

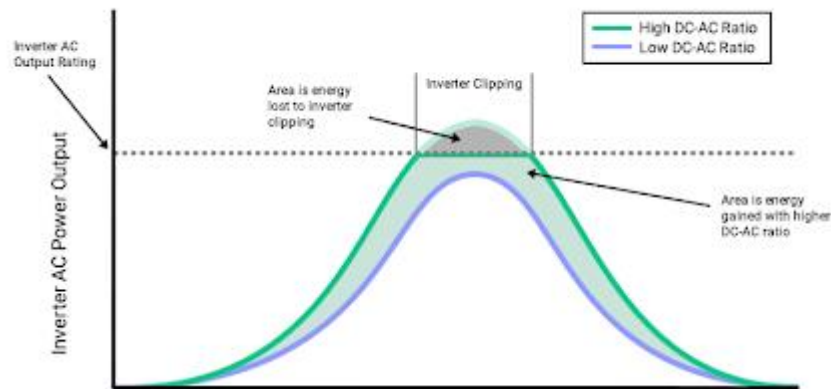


Рисунок 2.8 – Графік роботи інвертора сонячної електростанції

Кожен інвертор має діапазон напруги MPPT, який зазначений у технічних характеристиках. Цей параметр визначає, при якій напрузі на вході постійного струму інвертора буде досягнуто максимальну точку потужності алгоритмом MPP. Іншим важливим параметром є мінімальна напруга включення інвертора – напруга PV-модулів, при якій інвертор запускається та починає виробляти енергію. У нашому випадку (див. таблицю вище) діапазон MPPT становить 200-800 В, а мінімальна напруга – 200 В.

Ці параметри визначають, як саме підключаються сонячні панелі в стрінг (ланцюг), їх кількість та спосіб з'єднання (послідовний, паралельний, паралельно-послідовний). Кожна панель у стрінгу генерує певну напругу та струм залежно від миттєвого освітлення і відповідає вольт-амперній характеристиці. Сонячні панелі, з'єднані між собою, додають напругу або струм залежно від схеми підключення (послідовно, паралельно). У будь-якому випадку, ця сума не повинна перевищувати допустимі значення для обраної моделі інвертора на стороні постійного струму.

Розглянемо приклад розрахунку кількості панелей у стрінг відповідно до технічних параметрів інвертора. Вибираємо панелі потужністю 450 Вт від компанії LG. Найважливіші параметри цієї панелі:

1. Максимальна потужність – P_{mpp} [Вт]
2. Допуск потужності – $\pm DP_{mpp}$ [%] (Power tolerance)
3. Напруга холостого ходу – U_{oc} [В]
4. Ток короткого замикання – I_{sc} [А]
5. Напруга при максимальній потужності – U_{mpp} [В]
6. Ток при максимальній потужності – I_{mpp} [А]
7. Робоча температура модуля в номінальних умовах – NOCT [°C]
(зазвичай $43 \div 48$ °C)
8. Температурні коефіцієнти для I_{sc} , U_{oc} , P_{mpp} – α_T , β_T , γ_T [%/°C]

Температурні коефіцієнти дозволяють розрахувати напругу та потужність, що генеруються сонячною панеллю в граничних умовах, при постійному значенні сонячної радіації. В Україні панелі можуть працювати в температурному діапазоні від -25 до +70 °C, тому для таких умов проводяться розрахунки.

Максимальний струм у ланцюзі. Струм, який генерують сонячні модулі, залежить від типу з'єднання. У послідовному з'єднанні сила струму дорівнює значенню найслабшої панелі в стрінгу, наприклад, частково затіненої панелі. При паралельному з'єднанні струм дорівнює сумі струмів окремих панелей. Значення струму також залежить від температури: чим вона вища, тим вищий струм. Зміна інтенсивності струму залежно від температури визначається коефіцієнтом I_{sc} панелі (у нашому випадку 0,04 %/°C).

Максимальний струм, який може генерувати одна панель, можна розрахувати за такою формулою:

$$I_{sc(Tr)} = I_{sc} \left[1 + (Tr - 25) \frac{\alpha_T}{100} \right], \quad (2.1)$$

де $I_{sc(T_r)}$ – значення струму сонячної панелі при $70\text{ }^{\circ}\text{C}$; I_{sc} – значення струму в умовах STC, вказане у характеристиці панелі (11,34 A); T_r – максимальна температура ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$); α_T – температурний коефіцієнт I_{sc} (0,04 %/ $^{\circ}\text{C}$).

$$I_{sc(T_r)} = 11,34 \cdot (1 + (70-25) \cdot 0,04 / 100) = 11,54 \text{ [A]} \quad (2.2)$$

З розрахунків видно, що для інвертора SYMO 10.0-3-M потужністю 10 кВт на перший вхід трекера MPP не рекомендується встановлювати більше двох паралельно з'єднаних сонячних панелей, а на другий вхід можливе лише послідовне з'єднання. При паралельному з'єднанні струми підсумовуються. Сума струмів від трьох панелей ($3 \cdot 11,54 = 34,62 \text{ A}$) перевищуватиме максимальне значення 27A ($I_{dc\ max1}$) для першого входу, а сума струмів від двох панелей у паралельному з'єднанні ($2 \cdot 11,54 = 23,08 \text{ A}$) перевищує 16,5 A ($I_{dc\ max2}$) для другого входу MPPT.

Максимальна напруга у ланцюзі. Напруга, що генерується сонячним модулем, збільшується при зниженні температури. Розрахунки проводять для граничної температури панелі $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Теоретично, більш високі напруги виникають при подальшому зниженні температури, але на практиці взимку температура на сонячному модулі рідко опускається нижче $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ при необхідній освітленості для початку генерації енергії. При розрахунку максимальної напруги враховують напругу холостого ходу та температурний коефіцієнт β_T .

Максимальна напруга розраховується за такою формулою:

$$U_{oc(T_r)} = U_{oc} \left[1 + (T_r - 25) \frac{\beta_T}{100} \right], \quad (2.3)$$

де $U_{oc}(T_r)$ – значення напруги за температури $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$; U_{oc} – напруга холостого ходу (49,7 В); T_r – мінімальна робоча температура ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$); β_T – температурний коефіцієнт модуля ($-0,26\text{ } \%/^{\circ}\text{C}$).

Отже:

$$U_{oc}(T_r) = 49,7 \cdot (1 + (-25 - 25) \cdot (-0,26 / 100)) = 56,16 \text{ [В]} \quad (2.4)$$

Грунтуючись на цьому значенні, ми можемо підрахувати кількість модулів у стрінгу, з'єднаних послідовно.

$$N_{max} \leq U_{DC\ max} \div U_{OC}(T_r), \quad (2.5)$$

де $U_{DC\ max}$ – максимально допустиме значення напруги на вході перетворювача.

$$N_{max} \leq 1000 / 56,16 = 17,8. \quad (2.6)$$

Округлюючи до цілого числа меншу сторону, отримуємо, що в один стрінг можна встановити до 17 сонячних панелей.

Розрахунок мінімальної кількості панелей у ланцюгу з урахуванням допустимої пускової напруги інвертора. Кожен інвертор має мінімальну

Макс. струм короткого замикання масиву MPPT1/MPPT2 ($I_{sc\ pv}$) ²	A	55.7	34	55.7	34	68	55.7
Мінімальна - максимальна вхідна напруга ($U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$)	B	200 - 1000		200 - 1000		200 - 1000	
Стартова напруга ($U_{dc\ start}$)	B	200		200		200	
Робочий MPP діапазон напруги	B	200 - 800		200 - 800		200 - 800	
MPP діапазон напруг (при номін. потуж.) ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	B	270 - 800		320 - 800		320 - 800	

Рисунок 2.9 – Мінімальна вхідна напруга інвертора Fronius SYMO 10 кВт

У свою чергу, модулі досягають мінімальної робочої напруги при граничній температурі 70 °С. Тому мінімальну кількість панелей у стрінгу розраховують для цієї температури, округлюючи значення в більший бік. У цьому випадку застосовуються такі формули:

$$U_{OC(Tmax)} = U_{OC} \left[1 + (Tmax - 25) \frac{\beta_T}{100} \right], \quad (2.7)$$

$$N_{min} \geq U_{DC \text{ start}} \div U_{OC(Tmax)}, \quad (2.8)$$

де $U_{OC(Tmax)}$ – напруга за максимальної температури 70 ° С; U_{OC} – напруга холостого ходу (49,7 В); T_{max} – максимальна робоча температура (70 ° С); β_T – температурний коефіцієнт модуля (-0,26 %/°С); N_{min} – мінімальна кількість сонячних панелей; $U_{dc \text{ start}}$ – Мінімальна стартова напруга, що подається (200 В).

$$U_{OC(Tmax)} = 49,7 \cdot (1 + (70 - 25) \cdot (-0,26 / 100)) = 43,88 \text{ [В]} \quad (2.9)$$

$$N_{min} \geq 200 / 43,88 = 4,56 \quad (2.10)$$

Округлюємо до найближчого більшого цілого числа, тому рекомендується встановлювати не менше 5 модулів в один стрінг. Визначення допустимої кількості модулів у ланцюзі здійснюється з урахуванням МРР інвертора трекера. Інвертор має оптимальний діапазон напруги для роботи трекера МРР, у нашому випадку цей діапазон становить 200-800 В.

Мінімальна - максимальна вхідна напруга ($U_{dc \text{ min}} - U_{dc \text{ max}}$)	В	200 - 1000		200 - 1000		200 - 1000	
Стартова напруга ($U_{dc \text{ start}}$)	В	200		200		200	
Робочий МРР діапазон напруги	В	200 - 800		200 - 800		200 - 800	
МРР діапазон напруг (при номін. потуж.) ($U_{mppt \text{ min}} - U_{mppt \text{ max}}$)	В	270 - 800		320 - 800		320 - 800	
		MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2
Кількість DC підключень		3		3		3	
Макс. потужність фотомодулів ($I_{dc \text{ max}}$)	Вт peak	15,000		18,800		22,500	

Рисунок 2.10 – Діапазон напруги для роботи МРР інвертора

При визначенні кількості панелей, підключених до одного входу МРР, необхідно визначити кількість панелей, при якому весь ланцюг генеруватиме напругу в робочому діапазоні МРРТ за певних умов. У цьому випадку підраховується максимальна та мінімальна напруга сонячного модуля для умов МРРТ, при цьому максимальне значення напруги підраховується при -25°C та мінімальне значення при $+70^{\circ}\text{C}$. На основі цих значень розраховується оптимальна кількість панелей за формулою:

$$U_{OC(Tmax)} = U_{OC} \left[1 + (Tmax - 25) \frac{\beta_T}{100} \right], \quad (2.11)$$

$$N_{min} \geq U_{DC\ start} \div U_{OC(Tmax)}, \quad (2.12)$$

де $U_{MPP(Tmax)}$ – напруга сонячної панелі при 70°C ; $U_{MPP(stc)}$ – оптимальна напруга МРРТ (41,5 В); T_{max} – максимальна робоча температура (70°C); β_T – індекс температури модуля ($-0,26\ \%/^{\circ}\text{C}$); N_{min} – мінімальна кількість модулів у стрінгу; $U_{dc\ min}$ – мінімальне значення МРРТ інвертора (200 В);

$$U_{MPP(Tmax)} = 41,5 \cdot (1 + (70 - 25) \cdot (-0,26 / 100)) = 36,64\ [\text{В}]. \quad (2.13)$$

$$N_{min} \cdot U_{MPP(Tmax)} \geq 200. \quad (2.14)$$

Таким чином:

$$N_{min} \geq 200 / 36,64 = 5,46. \quad (2.15)$$

Отриманий результат округлюємо до найближчого значення. Отже, рекомендується встановлювати щонайменше 8 сонячних панелей у стрінг для оптимальної роботи МРРТ інвертора.

Проводимо перевірку сумарної кількості сонячних панелей з урахуванням номінальної потужності інвертора. Зазвичай виробники радять підключати до інвертора сонячні панелі із сумарною потужністю в діапазоні 0,8-1,2 від номінальної вихідної потужності інвертора для досягнення оптимальної роботи перетворювача. Наприклад, якщо інвертор має номінальну вихідну потужність $P_{ac,r} = 10\ 000\ \text{Вт}$, то оптимальна сумарна потужність сонячних батарей буде в межах 8 000 – 12 000 Вт.

Деякі виробники дозволяють підключати більше сонячних панелей з коефіцієнтом до 1,6. Це може бути доцільним у випадках, коли ланцюги панелей мають різну орієнтацію щодо півдня, наявні ділянки із затіненням, або в регіонах з низькою інтенсивністю сонячного випромінювання. Проектуючи систему з таким перевантаженням, необхідно переконатися, що виробник дозволяє таку конфігурацію і що інвертор не втратить гарантію при такому підключенні.

Розрахуємо кількість модулів відповідно до рекомендованого діапазону:

$$P_{ac,r} \times 0,8 \div P_{mpp} \leq N_{sum\ gen} \leq P_{ac,r} \times 1,2 \div P_{mpp}, \quad (2.16)$$

де $P_{ac,r}$ – номінальна потужність інвертора (10 000 Вт).

Отримані значення округляємо до найближчого цілого числа у більшу сторону для визначення мінімального значення, і меншу сторону для максимального значення:

$$10\ 000 \cdot 0,8 / 450 \leq N_{sum\ gen} \leq 10\ 000 \cdot 1,2 / 450 \quad (2.17)$$

$$18 \leq N_{sum\ gen} \leq 26 \quad (2.18)$$

Таким чином, оптимальна кількість сонячних панелей повинна бути в діапазоні від 18 до 26 шт.

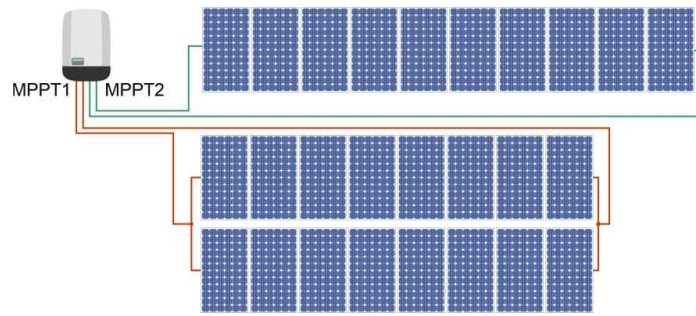


Рисунок 2.11 – Приклад підключення сонячних панелей згідно розрахунку

Згідно з розрахунками, до інвертора SYMO 10.0-3-M потужністю 10 кВт рекомендується підключати від 18 до 26 сонячних панелей моделі LG450N2W-E6. При цьому, в кожному стрінгу має бути від 5 до 17 панелей, з'єднаних послідовно. На один з входів MPP можна підключати панелі паралельно, але не більше ніж у 2 ряди.

2.5 Висновки до розділу 2

У розділі було представлено фізико-технічний аналіз засобу для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу. На основі проведеного дослідження зроблено наступні висновки:

Технічні параметри та ефективність:

1. Лабораторний стенд продемонстрував високу ефективність і зручність у використанні, що робить його придатним для проведення як навчальних, так і наукових досліджень.

2. Отримані результати підтверджують можливість використання даного засобу для широкого спектра досліджень, включаючи тестування нових матеріалів і конструкцій сонячних елементів, а також оптимізацію існуючих технологій.

Практичне значення:

1. Розроблений лабораторний стенд є важливим інструментом для підвищення якості освіти у сфері відновлюваних джерел енергії, дозволяючи студентам і дослідникам проводити практичні експерименти і отримувати реальні дані.

2. Засіб також сприяє розвитку наукових досліджень у галузі фотовольтаїки, дозволяючи тестувати нові підходи та методи підвищення ефективності сонячних елементів.

Таким чином, розроблений засіб для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елемента має значні переваги в контексті як наукових, так і освітніх цілей. Він забезпечує високу точність і надійність вимірювань, що є важливим для подальшого розвитку технологій у сфері сонячної енергетики.

Також ми провели невеличкий експеримент з розрахунками для інвертора SYMO 10.0-3-M та монокристалічної панелі LG450N2W-E6. Ми розрахували кількість сонячних панелей які можна підключити до інвертора, його максимальний струм та максимальну напругу.

3 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПОХИБКИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ВІД НАПРУГИ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ

3.1 ВАХ лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу

Найважливішим показником сонячної батареї є її вольт-амперна характеристика. Це фактично параметри кожної окремої панелі, що входить до складу батареї. Адже потужність модуля в цілому складається з сукупної потужності його панелей. Вольт-амперна характеристика визначається за такою формулою (3.1)

$$U = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} - I}{I_s} - 1 \right), \quad (3.1)$$

де I - струм, що протікає через р-п перехід; I_s - струм насичення р-п переходу; I_{ph} – фотострум; k - стала Больцмана; T - абсолютна температура; q - заряд електрона.

У загальному випадку вольт-амперна характеристика (ВАХ) – це залежність струму, що протікає через електричний ланцюг, від напруги, прикладеної до цього ланцюга. У випадку сонячної батареї ця характеристика розглядається з урахуванням додаткових умов, які були стандартизовані на світовому рівні та застосовуються при проектуванні всіх подібних систем. Відповідно до цих стандартів, ВАХ сонячних елементів визначається при потужності сонячного випромінювання 1000 ват на квадратний метр. При цьому температура елементів повинна становити +25 °С, а вимірювання повинні проводитися на широті 45 °.

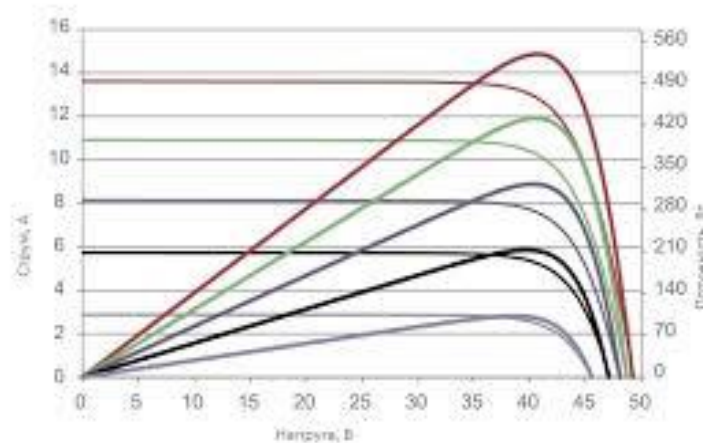


Рисунок 3.1 – Вольт-амперна характеристика сонячних панелей

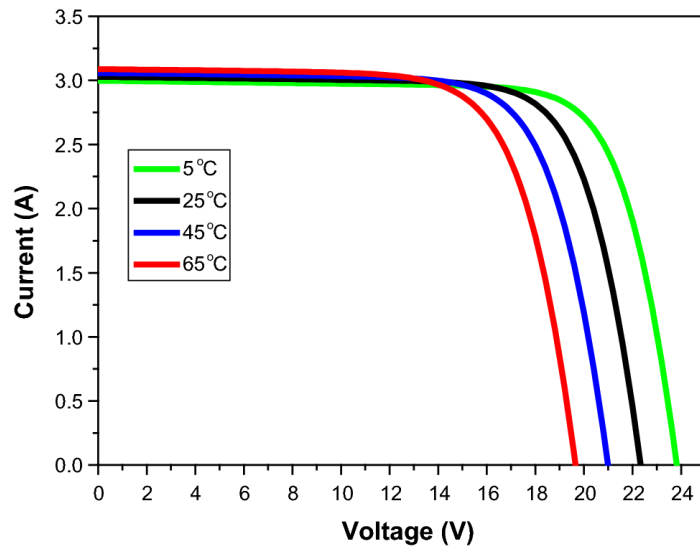
На графіку показані основні точки вольт-амперної характеристики напівпровідникового фотоперетворювача – U_{xx} і I_{kz} . Для визначення робочих параметрів елементів на цьому ж графіку представлена крива, що відображає потужність досліджуваного фотоелектричного елемента. Цей графік є функцією потужності осередку залежно від навантаження.

З графіка видно, що номінальна потужність елемента визначається як максимальна можлива потужність при стандартних вихідних параметрах. Напруга, при якій досягається максимальна потужність, є робочою напругою і позначається U_p . Відповідно, струм, який відповідає максимальній потужності, є робочим і позначається I_p .

Для отримання робочої напруги 12 вольт підбирається така кількість елементів, щоб на виході модуля досягати напруги 16-17 вольт. Це необхідно для компенсації падіння робочої напруги через нагрівання елемента під впливом сонячних променів. Справа в тому, що у кремнієвих напівпровідників напруга холостого ходу зменшується на 0,4% при підвищенні температури осередку на 1°C. Водночас, значення струму короткого замикання збільшується на 0,07% при збільшенні температури на 1°C. Якщо змінюється освітленість осередку, то прямо пропорційно ступеню освітленості змінюється і значення струму короткого замикання. Водночас

зміна освітленості практично не впливає на величину напруги холостого ходу.

Ефективність сонячної комірки обчислюється як відношення значення максимальної потужності до загальної потужності випромінювання сонця,



визначеної за міжнародними стандартами (STC).

Рисунок 3.2 – Залежність напруги сонячної панелі від температури

3.2 Основні тези для аналізу та оцінки якості лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елемента

Для аналізу і оцінки якості фотоелемента корисна така характеристика, як спектральна залежність струму короткого замикання елемента, розрахована на один квант поглинаючого світла. Ця величина називається ефективним квантовим виходом фотоелемента Q_{ef} (3.2)

$$Q_{\text{ef}} = I_{\text{к.з}} \times N_0, \quad (3.2)$$

де $I_{к.з}$ – струм короткого замикання, N_0 – кількість квантів, що падають на одиницю поверхні напівпровідника.

Вимірювання струму короткого замикання фотоелемента та аналіз спектрального складу та щільності оптичного випромінювання в одиниці часу дозволяють оцінити ефективність кожної фази процесу перетворення світла на електричну енергію всередині елемента.

Для оптимальної ефективності роботи фотоелемента потрібно враховувати наступні умови:

1. Оптичний коефіцієнт поглинання активного шару напівпровідника має бути достатньо великим, щоб забезпечити поглинання значної частини енергії сонячного випромінювання на товщині шару.

2. Електрони та дірки, що виникають в результаті освітлення, повинні ефективно збиратися на контактних електродах з обох боків активного шару.

3. Сонячний елемент має мати велику висоту бар'єру в напівпровідниковому переході.

4. Повний опір, підключений послідовно до сонячного елемента (за винятком опору навантаження), має бути невеликим, щоб мінімізувати втрати потужності в процесі роботи через перетворення в тепло.

5. Структура тонкої плівки має бути однорідною по всій активній області сонячного елемента, щоб уникнути закорочування та впливу шунтувальних опорів на характеристики елемента.

Основними параметрами сонячних елементів є:

1. Інтегральна чутливість S - значення короткозамкненого фотоструму $I_{к.з.}$, що виникає при падінні на фотоелемент одиниці потоку променевої енергії Φ , який складається з різних довжин хвиль та спектральних складових випромінювання від вольфрамової лампи, нитка якої нагріта до температури 2840°K .

$$S = I_{к.з} \div \Phi . \quad (3.3)$$

2. Спектральна чутливість S_λ характеризує значення фотоструму, що виникає під дією одиниці променевого потоку певної довжини хвилі та визначається як співвідношення фотоструму короткого замкнення $I_{к.з}$ до падаючого на ФЕ потоку монохроматичного випромінювання Φ_λ (3.4)

$$S_\lambda = I_{к.з} \div \Phi_\lambda \quad (3.4)$$

3. Вольт-амперна характеристика – залежність значення фотоструму від напруги на фотоелементах при постійному значенні світлового потоку; дозволяє визначити оптимальний робочий режим фотоелемента;

4. ККД або коефіцієнт перетворення сонячного випромінювання – відношення електричної потужності фотоелемента до падаючої світлової потужності при номінальному навантаженні

Енергетичні характеристики сонячних фотоперетворювачів перш за все залежать від властивостей напівпровідникових матеріалів і конструкційних особливостей фотоелементів (сонячних елементів). Фотоелектричні параметри сонячних елементів, такі як вольт-амперна характеристика (ВАХ) і спектральна чутливість, впливають на оптичні та електрофізичні властивості напівпровідника. Лише ретельний аналіз дозволяє визначити причини недостатньої ефективності фотоелемента. Для цього потрібно спочатку виміряти основні характеристики, що дозволяє розібратися у виникненні, природі та видів втрат.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) сонячного елементу визначається як відношення максимальної вихідної потужності до потужності падаючого сонячного світла. Чим більше фотонів сонячного світла поглинається сонячним елементом, тим більшим є його струм. Це досягається через використання напівпровідників з меншою шириною забороненої зони, що збільшує долю фотонів у сонячному випромінюванні з енергією, що перевищує ширину забороненої зони. З іншого боку, напруга холостого ходу

залежить від висоти потенційного бар'єру в р-п переході і збільшується зі збільшенням ширини забороненої зони напівпровідника. Розглядаючи розподіл енергії в спектрі сонячного випромінювання, можна вибрати оптимальний напівпровідниковий матеріал для ефективних сонячних елементів. Цей матеріал повинен мати ширину забороненої зони в межах 1,3–1,5 еВ, наприклад, арсенід галію, де теоретична максимальна межа ККД сонячних елементів перевищує 31%.

3.3 Виміри електричних характеристик сонячних елементів для лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу

Виміри електричних характеристик сонячних елементів для лабораторного стенду полягають у вивченні залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу. Сонячна батарея працює з певною комбінацією напруги і струму, що називається точкою максимальної потужності (МРР). Відповідні напруга і струм позначаються U_p (номінальна напруга) і I_p (номінальний струм). Параметри сонячних елементів вимірюють, щоб визначити їх здатність виробляти електроенергію при певних умовах. Установка для вимірювання складається з джерела світла, навантаження, підключеного до вихідних кінців сонячних елементів, та приладів для вимірювання електричного струму та напруги $R_n = \infty$, а струм дорівнює нулю.

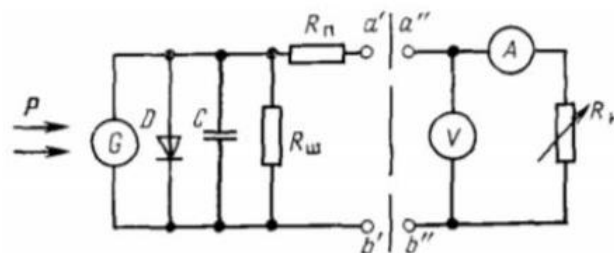


Рисунок 3.3 – Еквівалентна електрична схема сонячної батареї (ліворуч) та вимірювальної схеми (праворуч)

На рисунку 3.3 наведено настурні позначення: P – потік випромінювання; G – генератор постійного струму; D – діод, що працює в режимі прямого зміщення, характеризує діодні властивості p-n переходу; C – пропускна здатність; R_p – послідовний опір; R_{sh} – шунтуючий опір; A – міліамперметр з малим вхідним опором; V – вольтметр з великим вхідним опором; R_n – змінний опір навантаження

Цей режим відомий як холостий хід, а його напруга позначається як $U_{x.x}$. За допомогою вимірювання струму і напруги можна побудувати вольт-амперну характеристику (ВАХ).

Форма та розмір ВАХ залежать від параметрів, що визначають якість переходу, значень шунту та послідовного опору (відповідно D , R_{sh} , R_p на рисунку 3.3), а також від повної енергії випромінювання, перетвореної в електричну енергію, незалежно від спектрального розподілу інтенсивності випромінювання.

З огляду на те, що при високій інтенсивності випромінювання сонячні батареї мають малий внутрішній опір, прилади для вимірювання струму також повинні мати малий внутрішній опір, щоб уникнути помилок. Наприклад, для вимірювання струму короткого замикання внутрішній опір приладу повинен бути не менше 0,1 Ом. При низьких рівнях світлового потоку внутрішній опір сонячної батареї стає високим, що ускладнює вимірювання напруги. Для правильного вимірювання напруги холостого ходу при щільності потоку випромінювання, рівної 0,01 сонячної постійної, вхідний опір вольтметра повинен бути не менше 10 МОм.

3.4 Висновки до розділу 3

В цьому розділі бакалаврської дипломної роботи були проведені детальні дослідження та аналіз, які дозволили зробити наступні висновки:

1. Лабораторний стенд був оснащений сучасними вимірювальними приладами, які забезпечують високу точність і надійність вимірювань параметрів сонячних елементів.

2. Вибір приладів для вимірювання струму та напруги був здійснений з урахуванням їхнього внутрішнього опору, що дозволило мінімізувати похибки вимірювань. Зокрема, використання вольтметра з вхідним опором не менше 10 МОм і амперметра з внутрішнім опором не більше 0,1 Ом було обґрунтовано для забезпечення точності вимірювань у різних режимах роботи сонячного елемента.

3. Аналіз можливих джерел похибок показав, що основними чинниками, які впливають на точність вимірювань, є нестабільність джерела випромінювання, вплив температурних змін на характеристики сонячного елемента та похибки вимірювальних приладів.

4. Було проведено оцінку систематичних та випадкових похибок вимірювань. Зокрема, встановлено, що похибки вимірювань струму та напруги можуть бути мінімізовані за рахунок використання високоточних приладів та правильного вибору умов експерименту.

4 БЕЗПОСЕРЕДНЄ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ ДЛЯ СТУДЕНТІВ

4.1 Розробка структурної схеми стенду

Структурна схема лабораторного стенду для дослідження фотоелектричних ВП представлена на рисунку 4.1

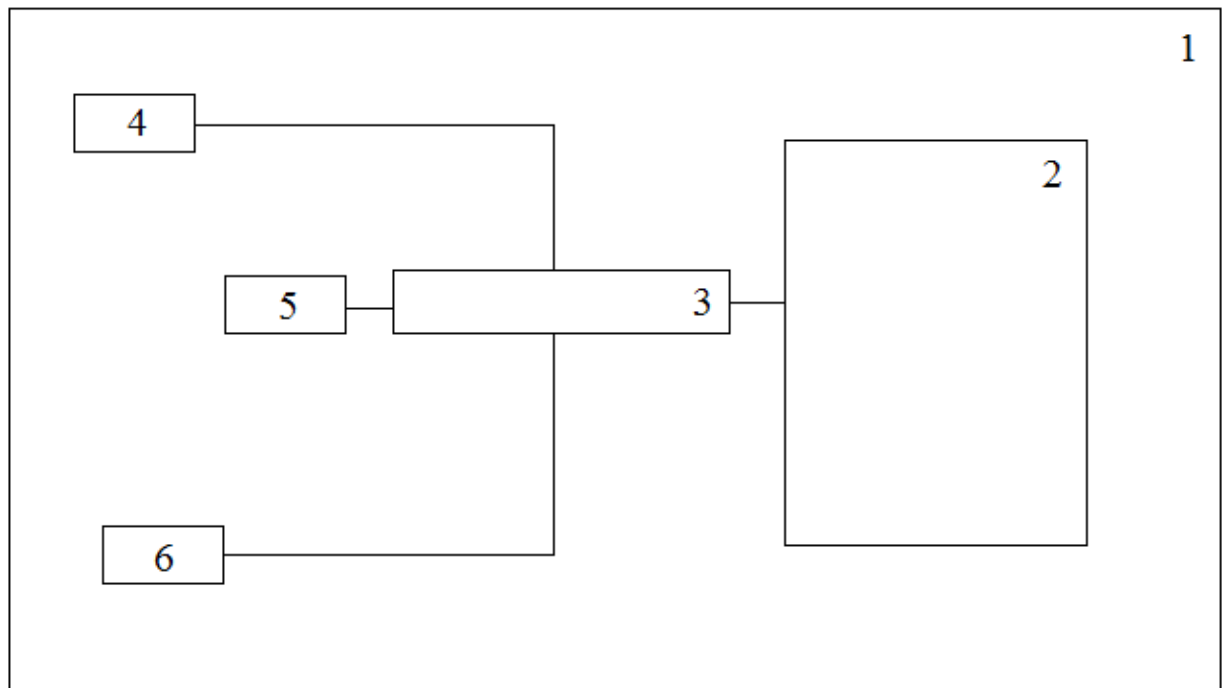


Рисунок 4.1 – Структурна схема лабораторного стенду для дослідження фотоелектричних ВП

На рисунку 4.1 наведено наступні позначення:

- 1 – корпус;
- 2 – фотоелемент;
- 3 – Інвертор та блок індикації;
- 4 – вхідні контакти напруги/струму холостого ходу;
- 5 – вихідні контакти напруги/струму на аккумуляторах;

6 – вихідні контакти напруги/струму навантаження.

Це видно з рисунка 4.1. Лабораторний стенд безпосередньо містить фотоелемент, який, у свою чергу, підключений до винахідника. Винахідники перетворили електричний сигнал від фотоелемента в сигнал для зарядки акумулятора. Крім того, винахідник посилив сигнал батареї до рівня 5В, 1А (тобто стандарт USB). Додатково на кронштейні є три пари вихідних контактів. З одного боку учні записують напругу/струм холостого ходу, з другого — напругу/струм під навантаженням, а з третього — інформацію про стан напруги/струму батареї.

4.2 Розробка функціональної схеми стенду

Рисунок 4.2. Показано функціональну схему лабораторного стенду, який використовується для дослідження фотоелектричних ВП. На схемі також показані основні вузли стенду.

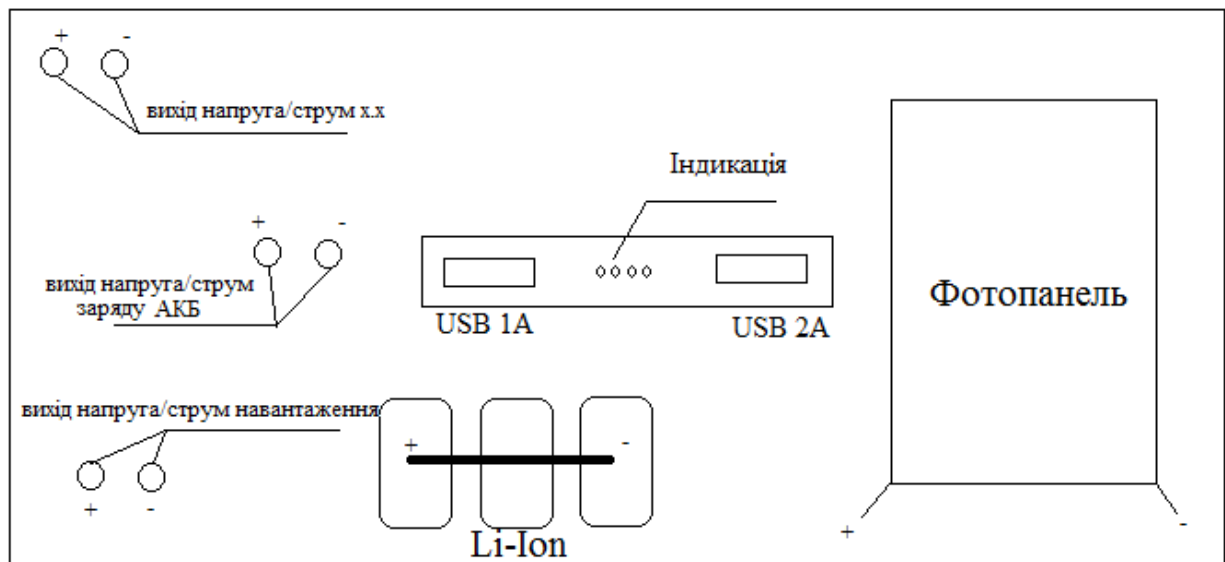


Рисунок 4.2 – Функціональна схема лабораторного стенда

Таким чином, на рисунку представлена функціональна схема лабораторного рiштування. При цьому показані точки і лінії взаємодії між його елементами. Фотоелектрична панель підключається через контакти до блоку 3, який, у свою чергу, підключається до акумулятора.

4.3 Хід лабораторної роботи

Необхідно стежити, щоб сонячне світло потрапляло на фоточутливий елемент. Потрібно 10 вимірювань одночасно. Перший вимірювальний фотоелемент повністю відкритий, а десятий фотоелемент відповідно розряджений на 100% (наприклад, із світлонепроникного картону чи тканини). Кожне вимірювання записує дані про напругу/струм холостого ходу; напругу/струм акумулятора; напругу/струм навантаження (відповідні контакти показані на малюнку вище). Отримані значення заносимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Експериментальні дані

Номер вимірювання	Напруга/струм холостого ходу	Напруга/струм на акумуляторах	Напруга/струм навантаження	Потужність/ККД
1				
2				
....				
n				

Отриману табличну аналітичну форму представимо у вигляді графічної. Залежність ВАХ фотоелемента від його параметрів зображена на рисунку 4.3.

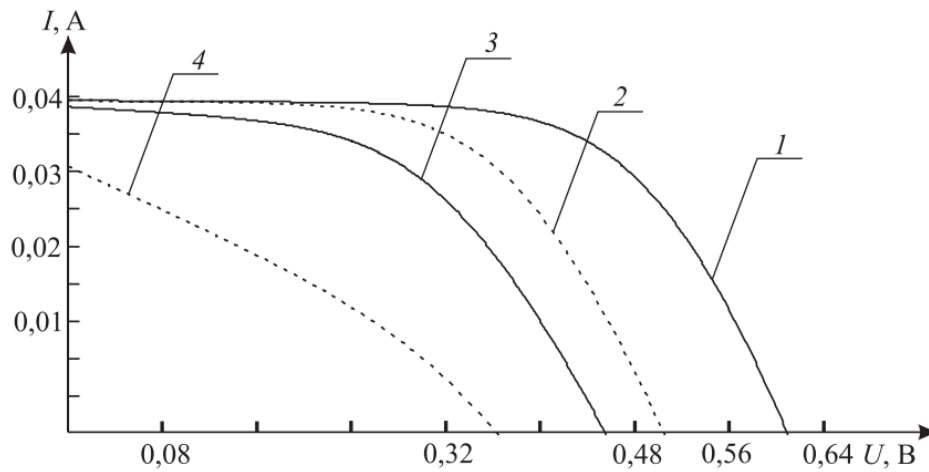


Рисунок 4.3 – Представлення графічної напруга-струм

ККД фотоелемента розрахуємо за формулою 4.1

$$\eta = \frac{P_m}{P} = \frac{ff * I_{sc} * U_{oc}}{P}, \quad (4.1)$$

де P – потужність падаючого сонця на фотоелемент, P_m – максимальна вихідна потужність фотоелемента, ff – фактор заповнення ВАХ (розраховується окремо), I_{sc} – струм короткого замикання, U_{oc} – напруга холостого ходу.

Коефіцієнт (фактор) заповнення ВАХ можна розрахувати відповідно за 4.2:

$$ff = \frac{I_m U_m}{I_{sc} U_{sc}}, \quad (4.2)$$

де I_m та U_m – величина струму і напруги, що відповідають значенню P_m .

Отже, тоді 4.3:

$$P_m = ff \cdot I_{sc} \cdot U_{oc} \quad (4.3)$$

Та відповідно графічна залежність представлена на рисунок 4.4

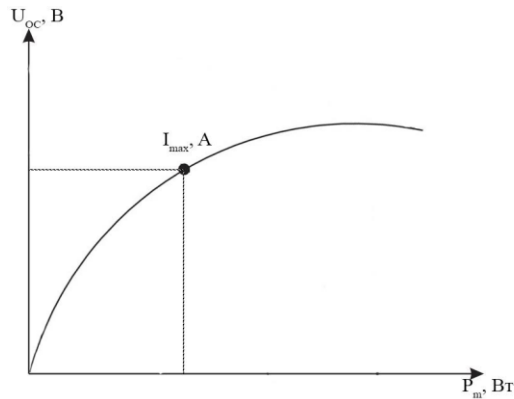


Рисунок 4.4 – Залежність потужність-напруга

Звіт лабораторної роботи завершується висновком.

4.4 Висновки до розділу 4

У даному розділі дипломної роботи було безпосередньо представлено лабораторний стенд для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елемента, розроблений спеціально для навчальних потреб студентів.

Розроблений лабораторний стенд включає в себе всі необхідні компоненти для проведення експериментів, зокрема, джерело світла, монокристалічний сонячний елемент, вимірювальні прилади та контролери. Система передбачає можливість регулювання інтенсивності світлового потоку, що дозволяє моделювати різні умови освітлення та досліджувати їх вплив на вихідні параметри сонячного елемента.

Лабораторний стенд сприяє глибшому розумінню студентами теоретичних основ роботи сонячних елементів, зокрема, їх вольт-амперних характеристик та впливу інтенсивності освітлення на вихідні параметри.

ВИСНОВКИ

Розроблений лабораторний стенд для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу є ефективним інструментом для вивчення характеристик монокристалічних сонячних елементів та їх поведінки під впливом змінної інтенсивності сонячного випромінювання. Це сприятиме подальшим дослідженням та розробкам у галузі сонячної енергетики, зокрема у підвищенні ефективності сонячних елементів та оптимізації їх використання в різних кліматичних умовах.

Розробка лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елемента є важливим кроком у розвитку наукових досліджень у сфері відновлюваної енергетики. Стенд демонструє високу точність і надійність вимірювань, що дозволяє використовувати його як для навчальних цілей, так і для наукових досліджень. Отримані результати сприяють глибшому розумінню фізичних процесів у сонячних елементах та допомагають визначити оптимальні умови для їх ефективної роботи. Це, у свою чергу, сприяє розвитку екологічно чистих джерел енергії та підвищенню енергетичної безпеки.

Таким чином, мету бакалаврської дипломної роботи було досягнуто, а отримані результати можуть бути використані для вдосконалення технологій сонячної енергетики та проведення подальших наукових досліджень у цій сфері.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Серкез Х.В. Покращення характеристик приймачів сонячного випромінення з електричним заміщенням / Х.В. Серкез., В.О. Яцук, Ю.В. Яцук // Вісник Нац-ного ун-ту «Львівська політехніка» «Автоматика, вимірювання та керування». – Львів, Вид-во НУ —ЛПІ, 2013.
2. Василюха Х.В. Вдосконалення цифрових термометричних засобів для досліджень сонячних колекторів / Х.В. Василюха, В.О. Яцук, Ю.В. Яцук, В.Б. Здеб // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Вимірювальна техніка та метрологія» (ISSN 0368-6418) – Львів, Вид-во НУ —ЛПІ, – №77, – 2016.
3. Vasylykha Kh. Experimental studies of temperature channel efficiency for solar energy systems / Kh. Vasylykha, Yu. Yatsuk, V. Zdeb, V. Yatsuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (ISSN 1729-3774). –3/8 (87), 2017.
4. Серкез Х.В. Метрологічне забезпечення вимірювань різниці температур під час випробувань сонячних колекторів / Х.В. Серкез, В.О. Яцук // Матеріали І Всеукраїнської науково-практичної та студентської конференції за напрямком «Проблеми розвитку та впровадження системи управління стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України», 24-26 травня 2011 р. – Донецьк : Дон. НТУ, 2011.
5. Serkez Kh. Metrological assurance of the sun energy collector testing / V. Yatsuk, P. Stolyarchuk, M. Mykyjchuk, Kh. Serkez, R. Dyak, T. Oleskiv // Pomiar, Automatyka, Kontrola. — Vol. 59. — Nr 9/2013.
6. Серкез Х.В. Шляхи вдосконалення блоку вимірювання різниці температур абсолютного радіометра енергетичної освітленості./ Х.В. Серкез, В.О. Яцук // Збірник тез доповідей 69-тої студентської науково-технічної конференції Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології, 17-21 жовтня 2011 р.
7. Серкез Х.В. Метрологічне забезпечення температурних вимірювань під час випробувань сонячних колекторів / Х.В. Серкез, В.О.

Яцук // Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної та студентської конференції за напрямком «Проблеми розвитку та впровадження системи управління стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України», 3-5 травня 2012 р.

8. Серкез Х.В. Особливості вимірювання різниці температур під час випробувань сонячних колекторів / Х.В. Серкез, В.О. Яцук, Т.М. Олеськів // Матеріали VII Міжнародної конференції «Стратегія якості у промисловості і освіті», 8-15 червня 2012 р. Том II.

9. Серкез Х.В. Покращення характеристик приймачів сонячного випромінювання з електричним заміщенням / Х.В. Серкез, В.О. Яцук, Ю.В. Яцук // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 22-24 травня 2013 р. – Львів : НУ «ЛП», 2013.

10. Серкез Х.В. Метрологічне забезпечення випробувань сонячних колекторів / Х.В. Серкез, В.О. Яцук, П.Г. Столярчук, М.М. Микийчук, Р.П. Дяк, Т.М. Олеськів // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань», 23-27 травня 2013 р. – Львів: НУ «ЛП», 2013.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ВІД НАПРУГИ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ

Виконав: студент 4-го курсу, групи КІВТ-20Б
спеціальності 152 - Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)
_____ Черешнюк І.Д.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ІРТС
_____ Дудатьєв І.А.
(прізвище та ініціали)
«14» _____ 06 2024 р.

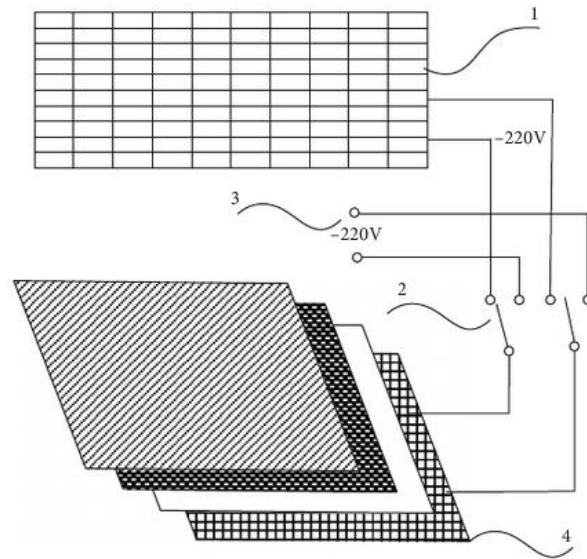


Рисунок 1 – Принципова схема теплоаккумуляційної та опалювальної системи для фотоелектричне виробництво електроенергії

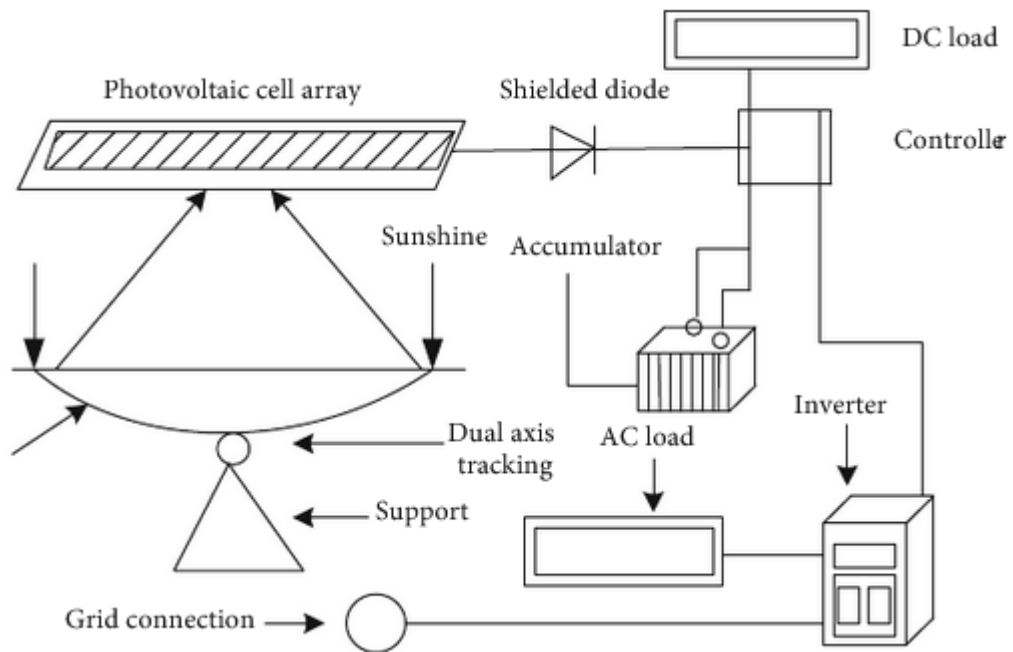


Рисунок 2 – Концентруюча фотоелектрична система генерації електроенергії жолоба

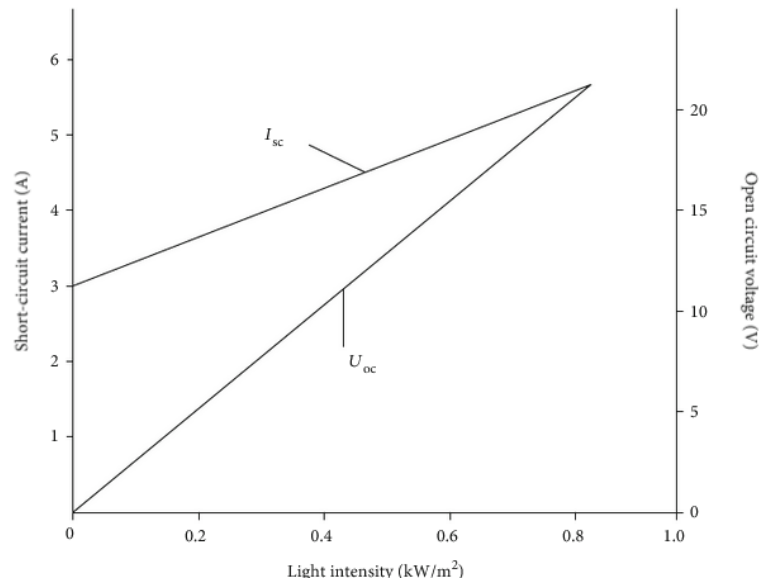


Рисунок 3 – Вплив різної освітленості на струм короткого замикання та напругу холостого ходу

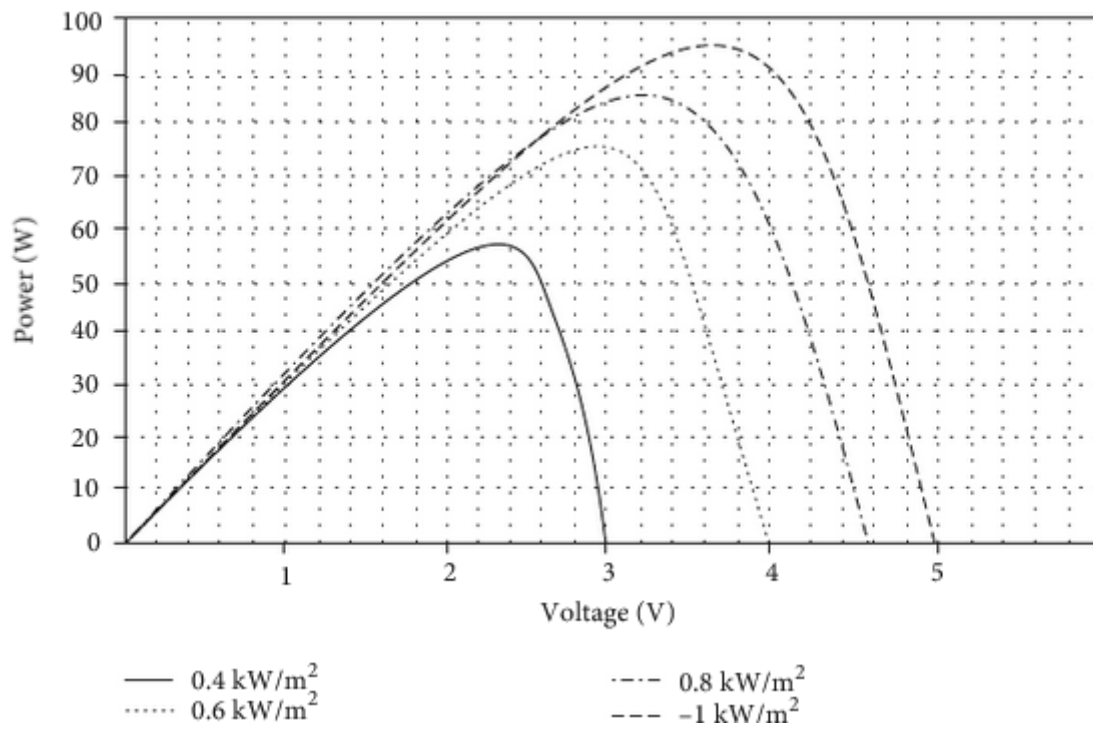


Рисунок 4 – Вплив специфічного освітлення на вихідну потужність

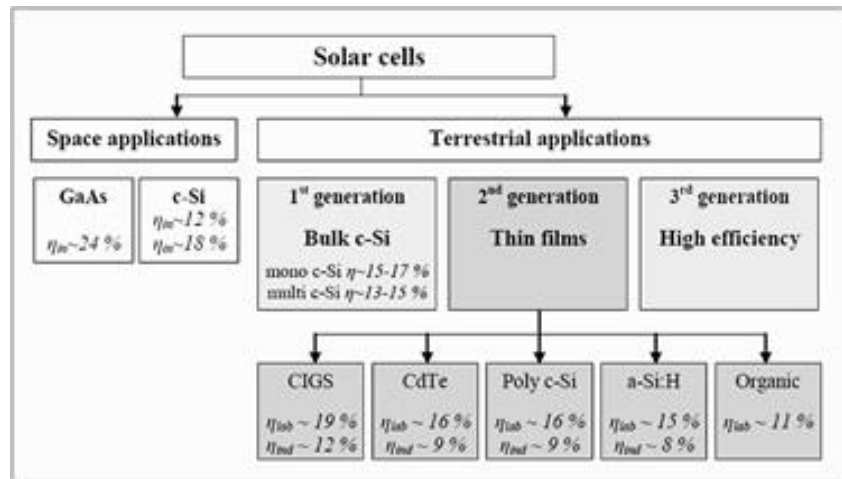


Рисунок 5 – Схематичне зображення кількох застосувань і типів сонячних батарей

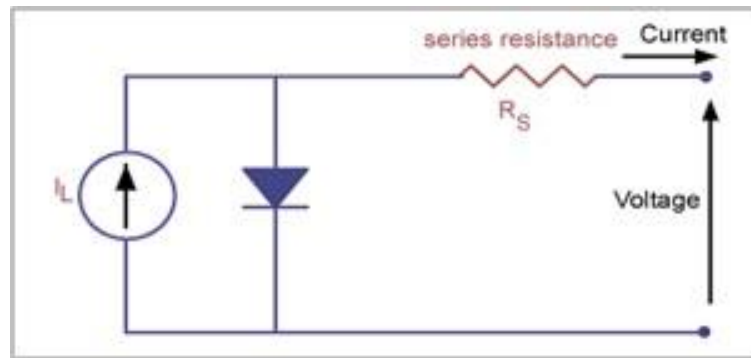


Рисунок 6 – Схематично показано ланцюг сонячної батареї з послідовним опором

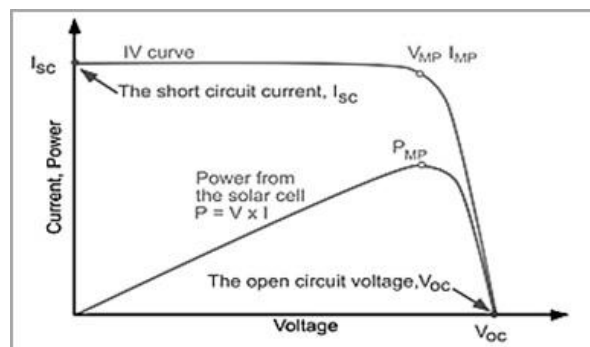


Рисунок 7 – Режим роботи сонячної панелі яка працює для отримання максимальної вихідної потужності

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
ІНТЕНСИВНОСТІ ПАДАЮЧИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ВІД
НАПРУГИ НА ВИХОДІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Розробка лабораторного стенду для дослідження залежності інтенсивності падаючих сонячних променів від напруги на виході монокристалічного елементу»

Тип роботи: БДР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 79.9% Схожість 20.1%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібно):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Іван ЧЕРЕШНЮК
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Ігор ДУДАТЬЄВ
(прізвище, ініціали)