

Експериментальний аналіз роботи сонячних панелей із різними характеристиками.

Д. А. Маєвський, О. Ф. Винаков, О. А. Кетрарь
Національний університет «Одеська політехніка»

Анотація. В статті проведено огляд поточного стану та перспектив розвитку пристроїв та систем сонячної енергетики. Проведено аналіз основних напрямків покращення роботи сонячних електростанцій, виконано порівняння цих напрямків та показана перспектива способу реконфігурації сонячних панелей. Приведені результати експериментального дослідження сонячних панелей. Подані пропозиції щодо подальших досліджень систем сонячної енергетики. Зроблено висновок, що необхідно аналізувати роботу СП при однакових зовнішніх факторах.

Ключові слова: сонячна енергетика; сонячні електростанції, сонячна панель, оптимізатор потужності, вольт-амперная характеристика, підвищення ефективності

Вступ

В статті проведено огляд сучасних систем сонячної енергетики. Сонячна енергетика – це використання енергії Сонця з метою перетворення її в електричну або теплову енергію. Для цього використовуються сонячні панелі та колектори (теплова енергія).

Метою статті є аналіз роботи сонячних електростанцій для підвищення ефективності праці.

Основні переваги сонячної генерації:

- Екологічно чиста енергія;
- Необмежений ресурс енергії Сонця;
- Незалежність від палива;
- Можливість використання у складі системи розподіленої генерації.

Основні недоліки сонячної генерації:

Висока початкова вартість;

- Залежність від погодних умов;
- Обмеженість часу використання тільки світловими годинами;
- Залежність об'ємів виробництва електроенергії сонячними електростанціями (СЕС) від займаної території;
- Екологічні наслідки при виробництві компонентів сонячних панелей.

Ці недоліки варто враховувати при плануванні та використанні сонячної енергії. Однак, при правильному використанні, переваги сонячної енергії переважають недоліки і роблять її однією з перспективних галузей.[1]

Майже у всіх сценаріях після 2035 року, сонячна фотоелектрична енергія дедалі більше

© Маєвський Д. А., Винаков О.Ф., Кетрарь О.А., 2024

частку ринку у енергії вітру, тому що швидкість зниження вартості сонячної фотоелектричної енергії вища, і сонячна енергія, зрештою, стає дешевшою, ніж енергія вітру.

Як показано в [2] СЕС в Україні складають більше 70% ВДЕ.

Фотоелектричні системи все частіше використовуються як масиви сонячних панелей. Однак, незважаючи на чисельні переваги сонячної технології, ефективність перетворення енергії сонячними панелями низька. Тому проблема покращення ефективності роботи сонячних панелей є дуже актуальною.

1. Основні напрямки покращення ефективності роботи СЕС

1.1. Перший напрямок - Покращення конструкції сонячних панелей.

Наприклад використовувати монокристалічні чи полікристалічні панелі. Принципова різниця між полі і моно панелями полягає у їх методології виготовлення. Монокристал, що формує основу панелі, виробляється методом Чохральського – шляхом повільного обертання кристалу кремнію із розплаву напівпровідника. В результаті чого отримуємо високо очищений (99%) кремнієвий кристал, який характеризується підвищеним ККД, кращими температурними характеристиками, вищою ефективністю - за умов попадання на нього прямих сонячних променів. В свою чергу, полікристал є дешевшим у собівартості виробництва (виробляється шляхом переплавлення різних кристалів в один суцільний). Як наслідок, полікристалічні сонячні панелі є дешевшими по ціні за монокристал, мають трохи гірші технічні

характеристики та відрізняються зернистим візерунком, що буде більш ефективно при розсіяному освітленні. [3,4], або використання двосторонніх (біфракційних) фотоелектричних модулів. Фронтальна частина біфракційних фотомодулів працює як звичайна панель. А ось тильна сторона поглинає світло, яке відбивається від поверхні над якою закріплені фотомодулі.[5,6]. Цей процес призводить до збільшення питомої потужності. Двосторонні фотоелектричні модулі матимуть перевагу нижчих втрат потужності при затіненні, ніж односторонні фотоелектричні модулі завдяки світлу, що поглинається через задню сторону.[7].

Ще одна можливість покращити роботу СЕС, це використання PERC – технологій. Суть PERC технології полягає у наявності додаткового шару пасивізації діелектрика. Це сприяє більшому поглинанню сонячного випромінювання, а також відбиванню хвиль, довжиною 1180 нм, які розсіюють енергію у вигляді тепла.[8]. Технологія *Half Cell (половинчасті фотоелементи)*. Напівпрозорі сонячні фотоелементи з розподільною коробкою по центру задньої частини батареї. Конструктивно такий фотомодуль складається з двох панелей меншої потужності (50 % кожна), з'єднаних паралельно. Таке рішення надає певних переваг, включаючи стійкість при частковому затіненні. Оскільки кожен фотоелемент є наполовину обрізаний відносно стандартного фотоелемента, струм який протікає через такий фотоелемент, є у 2 рази менший. Зменшення струму також впливає на температуру нагріву фотоелементу. Також зменшення довжини струмоз'ємної шини зменшує опір провідника, що у свою чергу сприяє підняттю потужності в окремих випадках до 20 Вт [8].

Одна з проблем зменшення ефективності роботи сонячної панелі – це її часткове затінення. Залежно від того як підключені фотомодулі, а вони можуть бути підключені послідовно або паралельно, будь-який із методів підключення буде страждати від втрат затінення. На продуктивність послідовно з'єднаних сонячних панелей часткове затінення вплине більше, ніж на паралельні, оскільки всі фотомодулі в послідовному стренгу створюють потік струму, а один затінений фотомодуль може блокувати потік для інших, що може призвести до великих втрат виробленої електроенергії та фінансових затрат. Затінення на будь-яких типах підключених панелей може відняти від 10% до 70% електроенергії від сонячної електростанції. Існують додаткові інструменти, які допомагають

при частковому затіненні. У сонячних електростанціях використовуються обхідні діоди, які захищають модуль і перенаправляють струм через затінений елемент. Це покращує загальну продуктивність модуля, навіть якщо деякі втрати відтінку неминучі.[9].

З затіненням можливо боротися використанням відбивачів. Відбивач використовується для збільшення кількості сонячного випромінювання, якому можуть піддаватися сонячні панелі, збільшуючи цим вироблення електроенергії.[10,11,12].

1.2. Другий напрямок - Оптимізатор потужності за допомогою трекерів

Оптимізатор потужності дозволяє збільшити загальну генерацію сонячної електростанції шляхом відстеження точки максимальної потужності (MPPT). [8]. Зміна положення Сонця щодо Землі протягом дня змінює інтенсивність сонячного світла, що падає на фотоелектричні елементи сонячної панелі, що призводить до суттєвого зниження її загальної ефективності. Тому використовують різні трекери.

Цьому напрямку приділяється багато уваги для поліпшення ефективності роботи сонячних панелей. Починаючи від найпростіших одновісних трекерів і закінчуючи інтелектуальними системами стеження за сонцем з використанням штучного інтелекту.

Наприклад одновісний сонячний трекер, який залежить від полярних координат Сонця у різних місцях та інтервалах часу. Роблять висновок, що при використанні одновісного сонячного трекера за розкладом спостерігається перспективний рівномірний сплеск вироблення енергії, оскільки в процесі вловлювання сонячної енергії буде менше коливань і втрат.[13,14,15].

Найпоширеніший метод відстеження сонячних панелей – використання мікроконтролера для переміщення сонячних панелей залежно від положення сонця. У разі відстеження сонячних панелей мікроконтролер може бути налаштований на відстеження розташування Сонця та регулювання кута нахилу сонячних панелей для виробництва більшої кількості електроенергії.[16].

1.3. Третій напрямок - Зниження температури СП.

Зі зростанням температури СП зменшується потужність вироблена нею. У статтях [17,18] показано, що в даний час охолодження фотоелектричних панелей є серйозною проблемою. Сонячна панель може

працювати оптимально лише за стандартних умов випробувань. Через динамічне сонячне випромінювання та коливання температури навколишнього середовища сонячна панель не може працювати оптимально. Внаслідок перепаду температур сонячні панелі втрачають до 10% своєї ефективності. [19].

В [20,21,22] показано, що для розсіювання тепла система охолодження прокачує воду через панелі за допомогою водяного насоса і радіатора. Для зниження температури СП планують використовувати навіть наноматеріали [23]. У цій статті передбачається підвищення електричного ККД автономної фотоелектричної системи за рахунок зниження температури панелі з використанням нанорідини цинк-вода (Zn-H₂O) як рідини зворотного каналу. Для аналізу характеристик запропонованої фотоелектричної панелі на основі каналу потоку нанорідини Zn-H₂O, що використовується у фотоелектричних системах, було розроблено модель MATLAB Simulink та проведено моделювання у різних умовах температури та освітленості для субтропічного регіону.

Для охолодження СП пропонують використовувати мікроконтролери [24]. Ця стаття написана для створення автоматизованої системи охолодження сонячних панелей залежно від температури з використанням Arduino Uno/Nano. Ця система при інтеграції з Інтернетом речей допомагає покращити управління операціями та забезпечити свободу контролю з будь-якої точки світу.

1.4. Четвертий напрямок - Очищення поверхні СП.

Пил на фотоелектричних панелях знижує ефективність здатності панелей виробляти електроенергію на 50 відсотків. [25,26,27]. Пропонується автоматична система очищення сонячних панелей, яка може підвищити ефективність на 32 відсотки. За допомогою системи фотоелектричні панелі можна мити з водою або без неї. У статті [28] представлено проектування та розробка автономного робота для очищення сонячних панелей, що відповідає цій потребі. Важливо моніторити стан СП. Тому [29,30] пропонується інтелектуальна автоматизована система, яка відстежує продуктивність сонячних панелей, спостерігаючи за вихідним струмом і напругою, а також відстежуючи погодні умови, включаючи сонячне випромінювання і температуру.

1.5. П'ятий напрямок - Варіанти підключення СП між собою.

Як писалося раніше, часткове затінення зменшує ефективність роботи СП. Реконфігурація з'єднань фотоелектричних масивів - сильна стратегія пом'якшення впливу затінення [31]. Традиційно фотоелектричні масиви покладаються на фіксовані сполуки чи топології задля забезпечення електроенергією мережі. Однак при безперервних змінах шаблонів затінення в реальному часі альтернативні топології, такі як послідовно-паралельна (SP), бруківка (BL), стільниковий (HC) або повний перехресний зв'язок (TCT) можуть призвести до поліпшення вироблення електроенергії. У статті [31] розглядаються чотири, найпоширеніші, топології сполуки СП. (Рис.1).

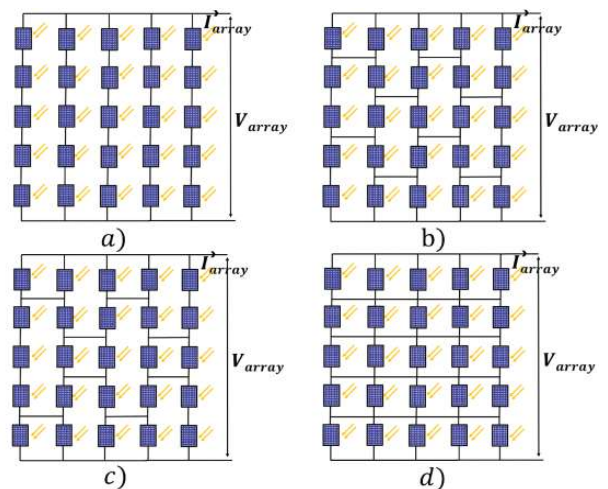


Рис.1. - Фотоелектричні топології:

(a) Послідовно-паралельний (SP);

(b) Мостовий зв'язок (BL);

(c) Стільниковий зв'язок (HC);

(d) Повний перехресний зв'язок (TCT).

Послідовно-паралельний. Конфігурація SP складається з фотоелектричних панелей, які розташовані як послідовно, так і паралельно. Зокрема панелі з'єднуються послідовно, утворюючи струни, а отримані струни з'єднуються паралельно. Таке розташування дозволяє одночасно покращувати як напругу, так і струм замість послідовного чи паралельного з'єднання.

Мостова ланка. Топологія BL виходить, коли між панелями різних ланцюжків вводяться з'єднання аналогічно до стратегії з'єднання, прийнятої для мостових випрямлячів. Конфігурацію BL вважатимуться аналогічної топології TCT, у якій половина між з'єднань посідає останню.

Соти. Структура НС реалізована шляхом введення з'єднань між панелями різних струн у «гребінчасту» структуру. Подібно до BL, НС також можна вважати топологією ТСТ, де половина між з'єднань є останньою.

Тотальний перехресний зв'язок. У разі конфігурації ТСТ фотоелектричні панелі спочатку підключаються паралельно, щоб підтримувати однакову напругу і збільшувати загальний струм. Потім ці ряди з'єднуються послідовно, щоб збільшити загальну вихідну напругу. Коротше кажучи, топологію ТСТ можна реалізувати шляхом запровадження шорт між рядками топології SP.

Є багато наукових робіт де іде порівняння різних топологій. Наприклад в статті [32] порівнюють дві конфігурації. Послідовно-паралельний (SP) та повний перехресний зв'язок (ТСТ) і дають висновок що ТСТ кращій. В доповіді [33] та статті [34] аналізується ефективність роботи усіх 4 топологій сполуки СП. В статтях [35,36] роздивляються 6 конфігурацій: послідовне (S), паралельне (P) та (SP), (BL), (НС), (ТСТ). Роблять висновок, що ТСТ видає максимальну потужність у всіх випадках.

Існуючі методи можна розділити на статичні та стратегії динамічної реконфігурації. Статична реконфігурація передбачає фізичну перестановку чи заміну панелей без зміни існуючих електричних з'єднань. З іншого боку, динамічна реконфігурація або реконфігурація електричного масиву передбачає зміну проводки всередині масиву за допомогою перемикачів, що управляють. Наприклад в статті [37] запропоновано використання реле SPDT для відновлення конфігурації конструкції зарядного пристрою сонячної фотоелектричної батареї. В статті [38] створено імітаційну платформу з фотоелектричними масивами, перетворювачем з функцією відстеження точки максимальної потужності (MPPT) та контролером для комутації топології з'єднання. Результати показують, що розроблена система, що поєднує комутацію між модулями та MPPT, забезпечує максимальну вихідну потужність фотоелектричної системи.

1.6. Шостий напрямок - Моделювання СП

Як тільки почали використовувати фотоелектричні панелі, з'явилося бажання мати математичну модель сонячної панелі, як для аналізу процесів в самій СП, так і для прогнозу роботи в різних умовах. Більшість авторів використовують для моделювання параметри СП, які вказує виробник в паспортних даних

панелей. А саме: напруга холостого ходу; струм короткого замикання; струм і напруга в точці максимуму потужності. [39,40,41].

Програмне забезпечення для моделювання та визначення характеристик фотоелектричних осередків засноване на Matlab Simulink.

Багато різних статей та видань стосовно експериментів щодо зняття ВАХ фотоелектричних панелей приводять лише загальні характеристики та висновки з результатів досліджень [39,40], але обсяг тієї інформації для проведення більш детальних досліджень та створення будь яких моделей є недостатньою. Тому завдяки можливості провести експерименти та зняти характеристики самостійно була спроектована та зібрана експериментальна установка (рис.2), яка складається з:

- 1) Основи (з можливістю регулювання кута нахилу), на яку встановлюється фотоелектрична панель;
- 2) Блоку вимірювання, який складається з:
 - Вольтметру;
 - Амперметру;
 - Люксметру.
- 3) Блоку навантажень (реостати).



Рис.2. - Стенд досліджень вольт-амперних характеристик фотоелектричних панелей

Експеримент проводився у 3 етапи, були зняти характеристики з 9 фотоелектричних панелей. Етап 1. Панель 1-4; Етап 2. Панель 5-6; Етап 3. Панель 7-9.

За отриманими експериментальними даними побудовані графіки ВАХ (рис.3), та ватт-амперні характеристики (рис.4).

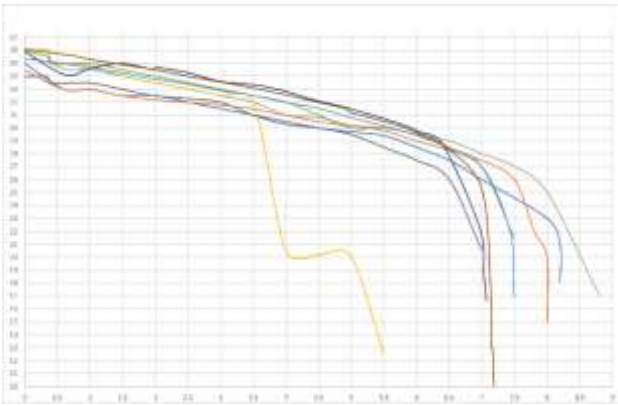


Рис.3. - Графіки вольт-амперних характеристик фотоелектричних панелей

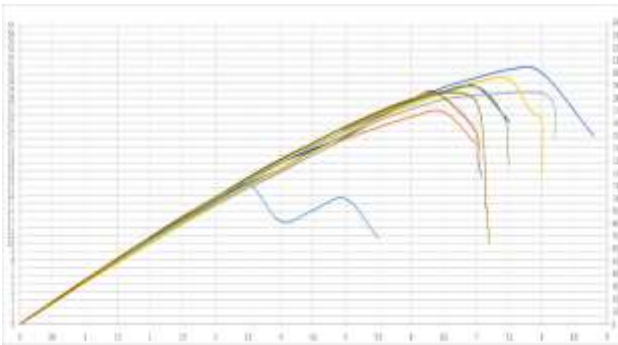


Рис.4. - Графіки потужності фотоелектричних панелей

2. Аналіз отриманих результатів

Метою експерименту було отримання даних для досліджень характеристик фотоелектричних панелей. В процесі проведення експерименту було отримано практичне підтвердження впливу рівня освітленості, температури оточуючої середовища на роботу фотоелектричних панелей. Особливо ярко вираженим був вплив затінення на генерацію енергії фотоелектричною панеллю №3 (рис.5).

Як показано раніше, при будь якій конфігурації СП, не обійтись без послідовного з'єднання блоків СП. При такому з'єднанні дуже важливо мати СП з однаковими параметрами. І не тільки напругу холостого ходу і струм короткого замикання, а також однакові точки максимальної потужності. Як бачимо з Рис.4 ці точки дуже відрізняються. Але не можливо зробити висновок. Чи то параметри СП, чи вплив рівня освітленості.

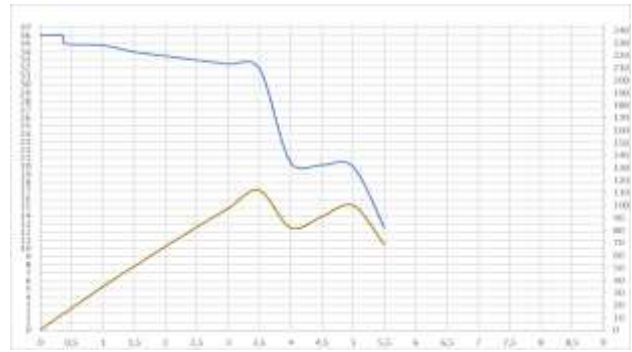


Рис.5. Графіки вольт-амперної характеристики та кривої потужності фотоелектричної панелі під впливом «затінення»

Отримані результати дали практичний досвід, але були недостатніми для порівняння ВАХ фотоелектричних панелей, тому що неможливо у природньому середовищі забезпечити однакові умови освітлення, температури, затінення та ін. фактори для усіх панелей одночасно.

Висновки

Необхідно аналізувати роботу СП при однакових зовнішніх факторах. Для цього треба мати експериментальну установку, що забезпечує постійний рівень освітлення і температури СП. Тоді буде можливість знімати ВАХ і підбирати СП з однаковими параметрами.

Список літератури

1. Маєвський Д. Пристрої та системи розподільної генерації [Текст] / Д. А. Маєвський, О.Ф.Винаков, О.А.Кетрарь // Електротехнічні та комп'ютерні системи -2023. - №37 (113) - С.
2. Бурикін О. Дослідження методів контролю СЕС для балансування режимів електроенергетичних систем.[Текст]/ О.Б. Бурикін і др. // Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXII міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 20–21 травня 2021р.).–К.: Інтерсервіс, 2021.– С. 444–448.
3. Що краще: полікристал або монокристал - які сонячні батареї вибрати. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sunenergy.com.ua/articles/poly-or-mono>
4. Performance evaluation of 445 wp half cut Mono crystalline solar panel with 380wp Mono crystalline and 330wp Poly crystalline solar panel for partially shading effect. Shital. S. Kewte; Shashikant G. Kewte 2023 Third International

Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT). Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

5. Двосторонні сонячні панелі - майбутнє галузі зеленої енергетики. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sunenergy.com.ua/articles/dvostoronni_sonyachni_paneli

6. Electricity Generation of Dynamic Bifacial Solar Panels Using IoT. Govindasamy P; Ramraj B;Gopinath Singaram;Sasirekha P;Sabarivelu V;Rajan S2023 International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS). Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

7. Power Performance of Bifacial c-Si PV Modules With Different Shading Ratios. Byeong Gwan Bhang; Wonbin Lee; Gyu Gwang Kim;Jin Ho Choi;So Young Park;Hyung-Keun Ahn IEEE Journal of Photovoltaics. Year: 2019 | Volume: 9, Issue: 5 | Journal Article | Publisher: IEEE

8. Передові технології виробництва сонячних фотомодулів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://sun-energy.com.ua/articles/peredov%D1%96-tehnolog%D1%96%D1%97-virobnitstva-sonyachnih-fotomodul%D1%96v>

9. Як зменшити втрати електроенергії при затіненні сонячних панелей? [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://sun-energy.com.ua/articles/yak-zmenshiti-vtrati-elektroenerg%D1%96%D1%97-pri-zat%D1%96nenn%D1%96-sonyachnih-panelej>

10. Study On New Design Techniques for Enhancement of Solar Panel Efficiency. S. Uma Maheswara Reddy; N. Venkatesh; N. Siva Nagendra; P.Ram Prasad; M. Raja Nayak2021 International Conference on Computing Sciences (ICCS). Year: 2021 | Conference Paper | Publisher: IEEE

11. Experimental Analysis of Partial Shading on Solar Panels With Theuse of Aluminium Reflectors. M.Nageswara Rao;V.S.N.K. Chaitanya 2020 IEEE International Conference on Advances and Developments in Electrical and Electronics Engineering (ICADEE) Year: 2020 | Conference Paper | Publisher: IEEE

12. Reflective Structure Model for Increased Irradiance over Solar Panels. Christian Ortiz; Diego Parra;José M. Aller; Natalia González 2019 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) Year: 2019 | Conference Paper | Publisher: IEEE

13. Efficiency Analysis of Using Solar Panel System Tracker to Static Solar Panel

Oscar Haris; Agus Darmawan; Ade Juliansyah 2021 IEEE 7th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED) Year: 2021 | Conference Paper | Publisher: IEEE

14. Integrated Heuristic Approaches to get Maximum Power from Fixed and Moving PV Solar Panel GopiKrishna Pasam; Rajababu Natarajan; Rashid Said Rashid Alnamani;Sara Mohammed Abdallah Al-Alawi;Sameya Amur Mohammed Al-Sulaimi 2023 Third International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

15. Scheduled single axis solar tracker system for improvisation of energy efficiency. Vansha Kher; Sanjeev Sharma; Santhosh H M; Manoj N;Yogesh O M;Nikhil A Bhinge 2022 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) Year: 2022 | Conference Paper | Publisher: IEEE

16. Smart Solar Tracking System for Optimal Power Generation Using Three LDR's. Shamanth Guduru;Preetham CH;Akhil Puneeth M;K. Vijayan 2023 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics, Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

17. Investigating the Effects of Cooling Options on Photovoltaic Panel Efficiency: State of the Art and Future Plan. Feyzullah Behlül Özkul; Erhan Kayabasi; Erdal Çelik;Huseyin Kurt;Erol Arcaklioğlu 2018 International Conference on Photovoltaic Science and Technologies (PVCon) Year: 2018 | Conference Paper | Publisher: IEEE

18. A Systematic Review for Enhancing Solar Photovoltaic System Efficiency by Reducing the Panel Temperature. Mohammed Sanad Raja;Ahmed J. Abid;Zuhair S. Al-Sagar 2023 IEEE 3rd International Conference in Power Engineering Applications (ICPEA) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

19. A Study of the Effect of Optical Filters on the Performance of Solar Panel. Chairma Lakshmi K R; Gnanasekaran Thangavel; Kalai Chelvan V;Aadithya V;Julian Devapiriyam R K 2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

20. Improving the efficiency of a solar PV panel's power generation by using a Dual-Axis tracker with a Cooling system. Devang Pradeep; Akash N V; Deeksha B N; Mrigank Jay; Sachin C N Shetty 2023 IEEE International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE
21. Performance Evaluation of a Back Surface Cooling Type PV Panel Based on Energy and Exergy. Sampurna Panda; Babita Panda; Rakesh Kumar; Lipika Nanda; Chitralkha Jena; Arjadhara Pradhan 2023 IEEE 2nd International Conference on Industrial Electronics: Developments & Applications (ICIDEA) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE
22. Advanced cooling technique to improve efficiency of Solar Panel. Ritik Solanki; Vijay Singh; Lokesh Varshney; Kanhaiya Kumar 2023 International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE
23. Effect of Zn-H₂O Nanofluid Back-Flow Channels on the Efficiency and Electrical Power Output of a Solar PV Panel Used in Standalone PV System. M Saad Bin Arif; Shahrine M. Avob; S M Yahya; Uvais Mustafa; Muhammad Ado; Zeeshan A Khan 2018 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) Year: 2018 | Conference Paper | Publisher: IEEE
24. Smart Temperature-dependent Cooling of Solar Panel using Arduino. Anshu Behera; Prakash S. Kulkarni 2023 2nd International Conference on Paradigm Shifts in Communications Embedded Systems, Machine Learning and Signal Processing (PCEMS) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE
25. Application of IoT: A Study on Automated Solar Panel Cleaning System. Saikat Gochhait; Ronak Asodiya; Totappa Hasarmani; Vasily Patin; Olga Maslova 2022 4th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE) Year: 2022 | Conference Paper | Publisher: IEEE
26. Photovoltaic Module Efficiency Improvement via Integration of Water Fountain. Rohan Singh; Shubham K. Patel; Nitish Kumar; Rituraj Singh; Brijesh Singh; Arvind Dhingra 2021 IEEE 8th Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON) Year: 2021 | Conference Paper | Publisher: IEEE
27. Automatic Solar Panel Cleaner. Gayathry Menon; Anjana N Sathyan; John J Tharayil; Aswin Ramesh; Jayan A.R. 2023 IEEE International Conference on Recent Advances in Systems Science and Engineering (RASSE) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE
28. Towards Sustainable Smart Sites: Design and Development of Autonomous Solar Panel Cleaning Robot. Nurhasliza Hashim; Idzwan Haqim Bin Mat Rasid; Adnan Al-Tamimi; H.S. S. Aljibori; M. N. Mohammed; M. A. Abdelgnei; Zuhair Nafea Alani; Aysha Sharif; M. Alfiras 2023 IEEE 8th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE
29. Automated Cleaning System for Solar Panels. Reema Alghamdi; Sarah Alsowayeh; Hind Almahri; Hana Alaamri 2022 Saudi Arabia Smart Grid (SASG) Year: 2022 | Conference Paper | Publisher: IEEE
30. Computational Study of Dirt's Effect on Solar Panel Efficiency. Daniel Caldas Soares Ferreira; Leandro Maciel da Silva; Carlos Torturella Valadão; Flávio Barcelos Braz da Silva 2023 15th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE
31. Optimizing Solar Power Using Array Topology Reconfiguration With Regularized Deep Neural Networks. Vivek Narayanaswamy; Raja Ayyanar; Cihan Tepedelenlioglu; Devarajan Srinivasan; Date of Publication: 20 January 2023
32. Experimental investigation of serial parallel and total-cross-tied configuration photovoltaic under partial shading conditions. Rudi Darussalam; Rakhmad Indra Pramana; Ahmad Rajani 2017 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA) Year: 2017 | Conference Paper | Publisher: IEEE
33. Efficiency Enhancement of The PV System Through Reconfiguration Strategies Under Non-Uniform Irradiance Conditions. Salim Ahmed Ali; Ahmed R. Ajel; Safaa A. Ghadhban 2023 10th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)
34. Effect of topology on the performance of PV module. Sujit Kumar; Sushma Kakkar; Asif Iqbal 2017 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT) Year: 2017 | Conference Paper | Publisher: IEEE
35. Mismatch Loss Analysis of PV Array Configurations Under Partial Shading Conditions.

Balaji Veerasamy; Takaharu Takeshita; Aberra Jote; Tefera Mekonnen 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) Year: 2018 | Conference Paper | Publisher: IEEE

36. Optimum Connection Structure for Photovoltaic Array Considering Shadow Influence.

Wooyong Jeong; Hyosung Kim 2019 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) Year: 2019 | Conference Paper | Publisher: IEEE

37. Relay Switch Matrix based Optimized reconfigurable Solar PV Battery Charger. Albert Alexander Stonier; Geno Peter; Samat Iderus 2022 IEEE 19th India Council International Conference (INDICON)

38. Review of PV Array Reconfiguration to Maximize Power Generation. Yuan-Kang Wu; Ba Long-Dong; Manh-Hai Pham; Cheng-Liang Huang 2022 IEEE 5th International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)

39. A New method to represent the I-V and P-V characteristics of different photovoltaic modules. Badis Lekouaghet; Chabane Boubakir; Abdelkrim Boukabou 2020 6th International Symposium on New and Renewable Energy (SIENR). Year: 2021 | Conference Paper | Publisher: IEEE

40. New Use of the Photovoltaic Cells and Modules Current-Voltage Characteristic to Extract the Simple Diode Model Parameters. Hamza Mokhliss; Khalid Rais 2018 Renewable Energies, Power Systems & Green Inclusive Economy (REPS-GIE)

41. The Research of Photovoltaic Module Based on Simulink. Xiao Xuefang; Feng Shiliang; Zhang Zewang 2021 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks (ICICN)

Reference list

1. D. Maievskiy. Devices and systems of distribution generation [Text] / D. A. Maievskiy, O. F. Vynakov, O. A. Ketrar // Electrotechnical and computer systems -2023. - No. 37 (113) - S.

2. O. Burykin. Study of SES control methods for balancing modes of electric power systems. [Text] / O.B. Burykin et al. // Renewable energy and energy efficiency in the XXI century: materials of the XXII international scientific and practical conference (Kyiv, May 20–21, 2021). –K.: Interservice, 2021. – P. 444–448.

3. Which is better: polycrystalline or monocrystalline - which solar batteries to choose. [Electronic resource]. – Access mode: <https://sunenergy.com.ua/articles/poly-or-mono>

4. Performance evaluation of 445 wp half cut Mono crystalline solar panel with 380 wp Mono crystalline and 330 wp Poly crystalline solar panel for partial shading effect. Shital. S. Kewte; Shashikant G. Kewte 2023 Third International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT). Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

5. Double-sided solar panels are the future of the green energy industry. [Electronic resource]. – Access mode: https://sunenergy.com.ua/articles/dvostoronni_sonyachni_paneli

6. Electricity Generation of Dynamic Bifacial Solar Panels Using IoT. Govindasamy P; Ramraj B; Gopinath Singaram; Sasirekha P; Sabarivelu V; Rajan S 2023 International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS). Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

7. Power Performance of Bifacial c-Si PV Modules With Different Shading Ratios. Byeong Gwan Bhang; Wonbin Lee; Gyu Gwang Kim; Jin Ho Choi; So Young Park; Hyung-Keun Ahn IEEE Journal of Photovoltaics. Year: 2019 | Volume: 9, Issue: 5 | Journal Article | Publisher: IEEE

8. Advanced technologies for the production of solar photomodels. [Electronic resource]. – Access mode: <https://sun-nergy.com.ua/articles/peredov%D1%96-tehnologi%D1%96%D1%97-virobnitstva-sonyachnih-fotomodul%D1%96v>

9. How to reduce electricity losses when shading solar panels? [Electronic resource]. – Access mode: <https://sun-energy.com.ua/articles/yak-zmenshiti-vtrati-elektroenerg%D1%96%D1%97-pri-zat%D1%96nenn%D1%96-sonyachnih-panelej>

10. Study On New Design Techniques for Enhancement of Solar Panel Efficiency. S. Uma Maheswara Reddy; N. Venkatesh; N. Siva Nagendra; P. Ram Prasad; M. Raja Nayak 2021 International Conference on Computing Sciences (ICCS). Year: 2021 | Conference Paper | Publisher: IEEE

11. Experimental Analysis of Partial Shading on Solar Panels Using Aluminum Reflectors. M. Nageswara Rao; V.S.N.K. Chaitanya 2020 IEEE International Conference on Advances and Developments in Electrical and Electronics

Engineering (ICADEE) Year: 2020 | Conference Paper | Publisher: IEEE

12. Reflective Structure Model for Increased Irradiance over Solar Panels. Christian Ortiz; Diego Parra; José M. Aller; Natalia González 2019 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) Year: 2019 | Conference Paper | Publisher: IEEE

13. Efficiency Analysis of Using Solar Panel System Tracker to Static Solar Panel

Oscar Harris; Agus Darmawan; Ade Juliansyah 2021 IEEE 7th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED) Year: 2021 | Conference Paper | Publisher: IEEE

14. Integrated Heuristic Approaches to get Maximum Power from Fixed and Moving PV Solar Panel GopiKrishna Pasam; Rajababu Natarajan; Rashid Said Rashid Alnamani; Sara Mohammed Abdallah Al-Alawi; Sameya Amur Mohammed Al-Sulaimi 2023 Third International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

15. Scheduled single axis solar tracker system for improvisation of energy efficiency. Vansha Kher; Sanjeev Sharma; Santhosh H M; Manoj N; Yogesh O M; Nikhil A Bhinge 2022 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) Year: 2022 | Conference Paper | Publisher: IEEE

16. Smart Solar Tracking System for Optimal Power Generation Using Three LDR's. Shamanth Guduru; Preetham CH; Akhil Puneeth M; K. Vijayan 2023 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics, Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

17. Investigating the Effects of Cooling Options on Photovoltaic Panel Efficiency: State of the Art and Future Plan. Feyzullah Behlül Özkul; Erhan Kayabasi; Erdal Çelik; Huseyin Kurt; Erol Arcaklioğlu 2018 International Conference on Photovoltaic Science and Technologies (PVCon) Year: 2018 | Conference Paper | Publisher: IEEE

18. A Systematic Review for Enhancing Solar Photovoltaic System Efficiency by Reducing the Panel Temperature. Mohammed Sanad Raja; Ahmed J. Abid; Zuhair S. Al-Sagar 2023 IEEE 3rd International Conference in Power Engineering Applications (ICPEA) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

19. A Study of the Effect of Optical Filters on the Performance of Solar Panels. Chairma Lakshmi K R; Gnanasekaran Thangavel; Kalai Chelvan V; Aadithya V; Julian Devapiriyam R K 2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

20. Improving the efficiency of a solar PV panel's power generation by using a Dual-Axis tracker with a Cooling system. Devang Pradeep; Akash N V; Deeksha B N; Mrigank Jay; Sachin C N Shetty 2023 IEEE International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

21. Performance Evaluation of a Back Surface Cooling Type PV Panel Based on Energy and Exergy. Sampurna Panda; Babita Panda; Rakesh Kumar; Lipika Nanda; Chitralkha Jena; Arjyadhara Pradhan 2023 IEEE 2nd International Conference on Industrial Electronics: Developments & Applications (ICIDEA) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

22. Advanced cooling technique to improve efficiency of Solar Panel. Ritik Solanki; Vijay Singh; Lokesh Varshney; Kanhaiya Kumar 2023 International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

23. Effect of Zn-H₂O Nanofluid Back-Flow Channels on the Efficiency and Electrical Power Output of a Solar PV Panel Used in a Standalone PV System. M Saad Bin Arif; Shahrine M. Avob; S M Yahya; Uvais Mustafa; Muhammad Ado; Zeeshan A Khan 2018 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) Year: 2018 | Conference Paper | Publisher: IEEE

24. Smart Temperature-dependent Cooling of Solar Panel using Arduino. Anshu Behera; Prakash S. Kulkarni 2023 2nd International Conference on Paradigm Shifts in Communications Embedded Systems, Machine Learning and Signal Processing (PCEMS) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE

25. Application of IoT: A Study on Automated Solar Panel Cleaning System. Saikat Gochhait; Ronak Asodiya; Totappa Hasarmani; Vasily Patin; Olga Maslova 2022 4th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE) Year: 2022 | Conference Paper | Publisher: IEEE

26. Photovoltaic Module Efficiency Improvement via Integration of Water Fountain. Rohan Singh; Shubham K. Patel; Nitish Kumar; Rituraj Singh; Brijesh Singh; Arvind Dhingra 2021 IEEE 8th Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON) Year: 2021 | Conference Paper | Publisher: IEEE
27. Automatic Solar Panel Cleaner. Gayathry Menon; Anjana N Sathyan; John J Tharayil; Aswin Ramesh; Jayan A.R. 2023 IEEE International Conference on Recent Advances in Systems Science and Engineering (RASSE) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE
28. Towards Sustainable Smart Sites: Design and Development of Autonomous Solar Panel Cleaning Robot. Nurhasliza Hashim; Idzwan Haqim Bin Mat Rasid; Adnan Al-Tamimi; H.S. S. Aljibori; M. N. Mohammed; M. A. Abdelgnei; Zuhair Nafea Alani; Aysha Sharif; M. Alfiras 2023 IEEE 8th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE
29. Automated Cleaning System for Solar Panels. Reema Alghamdi; Sarah Alsowayeh; Hind Almahri; Hana Alaamri 2022 Saudi Arabia Smart Grid (SASG) Year: 2022 | Conference Paper | Publisher: IEEE
30. Computational Study of Dirt's Effect on Solar Panel Efficiency. Daniel Caldas Soares Ferreira; Leandro Maciel da Silva; Carlos Torturella Valadão; Flávio Barcelos Braz da Silva 2023 15th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC) Year: 2023 | Conference Paper | Publisher: IEEE
31. Optimizing Solar Power Using Array Topology Reconfiguration With Regularized Deep Neural Networks. Vivek Narayanaswamy; Raja Ayyanar; Cihan Tepedelenlioglu; Devarajan Srinivasan; Date of Publication: 20 January 2023
32. Experimental investigation of serial parallel and total-cross-tied configuration photovoltaic under partial shading conditions. Rudi Darussalam; Rakhmad Indra Pramana; Ahmad Rajani 2017 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA) Year: 2017 | Conference Paper | Publisher: IEEE
33. Efficiency Enhancement of The PV System Through Reconfiguration Strategies Under Non-Uniform Irradiance Conditions. Salim Ahmed Ali; Ahmed R. Ajel; Safaa A. Ghadhban 2023 10th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)
34. Effect of topology on the performance of PV module. Sujit Kumar; Sushma Kakkar; Asif Iqbal 2017 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT) Year:2017 | ConferencPaper | Publisher: IEEE
35. Mismatch Loss Analysis of PV Array Configurations Under Partial Shading Conditions. Balaji Veerasamy; Takaharu Takeshita; Aberra Jote; Tefera Mekonnen 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) Year: 2018 | Conference Paper | Publisher: IEEE
36. Optimum Connection Structure for Photovoltaic Array Considering Shadow Influence. Wooyong Jeong; Hyosung Kim 2019 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) Year: 2019 | Conference Paper | Publisher: IEEE
37. Relay Switch Matrix based Optimized reconfigurable Solar PV Battery Charger. Albert Alexander Stonier; Geno Peter; Samat Iderus 2022 IEEE 19th India Council International Conference (INDICON)
38. Review of PV Array Reconfiguration to Maximize Power Generation. Yuan-Kang Wu; Ba Long-Dong; Manh-Hai Pham; Cheng-Liang Huang 2022 IEEE 5th International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)
39. A New method to represent the I-V and P-V characteristics of different photovoltaic modules. Badis Lekouaghet; Chabane Boubakir; Abdelkrim Boukabou 2020 6th International Symposium on New and Renewable Energy (SIENR). Year: 2021 | Conference Paper | Publisher: IEEE
40. New Use of the Photovoltaic Cells and Modules Current-Voltage Characteristic to Extract the Simple Diode Model Parameters. Hamza Mokhliss; Khalid Rais 2018 Renewable Energies, Power Systems & Green Inclusive Economy (REPS-GIE)
41. The Research of Photovoltaic Module Based on Simulink. Xiao Xuefang; Feng Shiliang; Zhang Zewang 2021 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SOLAR PANELS WITH DIFFERENT CHARACTERISTICS

D. A. Maevsky, O. F. Vynakov, O. A. Ketrar.
Odesa Polytechnic National University

Abstract. *The article reviews the current state and prospects for the development of solar energy devices and systems. The analysis of the main directions for improving the operation of solar power plants was carried out: improving the design of solar panels; power optimizer using trackers; a decrease in the temperature of the SP; surface cleaning of SP; options for connecting SPs to each other; SP modulation. A comparison of these directions was performed, and the perspective of the method of reconfiguration of solar panels was shown. The results of an experimental study of solar panels are presented. Suggestions for further research into solar energy systems are given. It was concluded that it is necessary to analyze the work of the joint venture under the same external factors.*

Keywords: *solar energy; solar power plants, solar panel, power optimizer, volt-ampere characteristic, efficiency improvement*

Отримано 22.07.2024



Масвський Дмитро Андрійович, Національний університет «Одеська політехніка», доктор технічних наук, професор, професор кафедри електромеханічної інженерії.

Просп. Шевченка, 1, Одеса, Україна,

E-mail: Dmitry.A.Maevsky@gmail.com, тел. +38-048-705-84-54

Dmitry Maevsky, Odesa Polytechnic National University, Dr. of Science, Professor, Head of the Department of theoretical foundations and general electrical engineering, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0666-6199>



Винаков Олександр Федорович, Національний університет «Одеська політехніка», кандидат технічних наук, доцент кафедри електромеханічної інженерії.

Просп. Шевченка, 1, Одеса, Україна,

E-mail: afvynakov@gmail.com, тел. +38-097-7873643

Oleksandr Vynakov, Odesa Polytechnic National University, Ph.D. in technical sciences, associate professor of the Department Electromechanical engineering, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6630-8986>



Кетрарь Олег Анатолійович, Національний університет «Одеська політехніка», аспірант кафедри електромеханічної інженерії.

Просп. Шевченка, 1, Одеса, Україна

E-mail: ketraroa@gmail.com, тел. +38-098-404-17-15

Oleg Ketrar, Odesa Polytechnic National University, Postgraduate student of the Department of Electromechanical Engineering, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0098-7450>