



УДК 621.311.001.57

SIMULATION OF SOLAR POWER PLANT OPERATION IN CONDITIONS OF PARTIAL SHADING**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В УМОВАХ ЧАСТКОВОГО ЗАТІНЕННЯ****Glad I.V. / Гладь І.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8247-655X

Batsala Y.V. / Бацала Я.В.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4964-407X

Fedenko V. Y. / Феденько В.Я.*assistant/ асистент*

ORCID: 0009-0009-8907-683X

Kiianiuk O. I. / Кіянюк О.І.*assistant/ асистент*

ORCID: 0000-0001-9959-5822

*Ivano Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019*

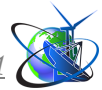
Анотація. У статті наведено процес моделювання сонячної електростанції у програмному середовищі *Simulink*, модель базується на масиві декількох послідовно з'єднаних фотопанелей. Одним з способів підвищення ефективності фотоелектричних станцій є забезпечення оптимальних вхідних параметрів, а також обмеження затінення і забруднення фотомодулів. Для проведення оцінки зниження вихідних значень масиву в умовах часткового затінення задаються різні значення параметру сонячної інсоляції фотопанелі. На основі вихідних значень моделі будуються характеристики залежностей $I-V$ та $P-V$ враховуючи паспортні дані фотопанелей задані в модель. З отриманих кривих визнаються точки максимальної вихідної потужності та розраховується втрата ефективності через затінення.

Ключові слова: сонячна електростанція, моделювання, затінення фотопанелей, зниження ефективності через затінення, комп'ютерне моделювання.

Вступ. Ефект часткового затінення є поширеною проблемою, яка безпосередньо впливає на зниження ефективності та продуктивності сонячної електростанції. У випадку затінення однієї чи декількох панелей може знижуватись загальна вихідна потужність, це пов'язано з тим що панелі на електростанціях з'єднуються між собою послідовно та паралельно, формуючи при цьому необхідну встановлену потужність.

Причинами затінення можуть бути різні фактори, зокрема: затінення від об'єктів які знаходяться поруч; затінення від інших масивів фотопанелей; затінення через тимчасове забруднення тощо.

Основний текст. Важливою перевагою комп'ютерного моделювання є те, що воно дозволяє перевіряти гіпотези та досліджувати ідеї в безпечному та контрольованому середовищі. У Процесі моделювання можна маніпулювати змінними та спостерігати за результатами, не ризикуючи пошкодити фактичну(фізичну) систему.



В роботі використано програмний продукт Matlab, який містить вбудоване середовище для моделювання Simulink. Однією з ключових особливостей Simulink є його бібліотека наявних блоків, які можна використовувати для побудови моделей широкого діапазону систем, включаючи механічні, електричні та гідравлічні системи.

Електрична еквівалентна модель фотоелектричного елемента складається з джерела струму та діода, з'єднаних паралельно. Джерело струму I_L являє собою генерування носіїв заряду в напівпровідниковому шарі фотоелемента під дією падаючого випромінювання. Шунтуючий діод I_D являє собою рекомбінацію цих носіїв заряду при напрузі прямого зсуву. Шунтуючий резистор R_{sh} відображає шляхи струму через напівпровідник уздовж механічних дефектів матеріалу. Послідовний резистор R_s враховує опір у зовнішніх областях напівпровідника, головним чином на межі напівпровідника та металевих контактів.

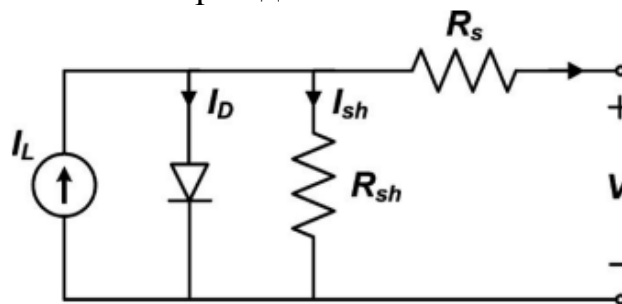


Рисунок 1 – Еквівалентна схема фотоелемента

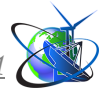
Рівняння що описує модель має вигляд:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q \cdot V_{pv} + I_{pv} R_s}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (1)$$

Однак, основною проблемою при використанні фотоелектричних джерел є їхні нелінійні характеристики, які змінюються залежно від величини температури та сонячного випромінювання. Вихідні характеристики ускладнюються, якщо увесь фотоелектричний масив не отримує рівномірного опромінення, як наприклад, в умовах часткової хмарності (затіненості). Дуже важливо прогнозувати фотоелектричні вихідні характеристики для того, щоб ефективно використовувати фотоелектричний масив за будь-яких умов.

Запропонована модель складається з чотирьох послідовно з'єднаних фотопанелей, паралельно кожній панелі під'єднані байпасні(обхідні) діоди. Обхідний діод – це тип діода, який використовується в сонячних панелях для захисту панелі від пошкоджень, спричинених частковим затіненням або виходом із ладу елемента. Коли сонячна панель частково затінена, обхідний діод стає зміщеним в іншу сторону, дозволяючи струму протікати через нього та обходити затінені панелі. Це допомагає запобігати втраті потужності через несправність окремої фотопанелі.

Використані блоки “current measurement” та “voltage measurement” з бібліотеки елементів Sensors and Measurements дозволяють вимірювати вихідні значення струму та напруги послідовно з'єднаних фотопанелей.



Таблиця 1 – Параметри фотопанелі що використовується в моделі

Найменування параметра	Значення параметра
Тип фотомодуля	SunPower SPR-X20-250-BLK
Потужність	250 Вт
Напруга холостого ходу	51 В
Струм короткого замикання	6,2 А
Температурний коефіцієнт(по напрузі)	-0,291 %/°C
Температурний коефіцієнт(по струму)	0,013 %/°C

Щоб отримати можливість змінювати параметри сонячної інсоляції кожної окремої панелі використовується блок “Constant” в якому задається параметр постійних значень вихідного сигналу для кожної окремої комірки послідовно. З допомогою цього блоку моделюємо параметри сонячної інсоляції та температури фотомодуля, які безпосередньо впливають на генерування електроенергії кожним фотомодулем.

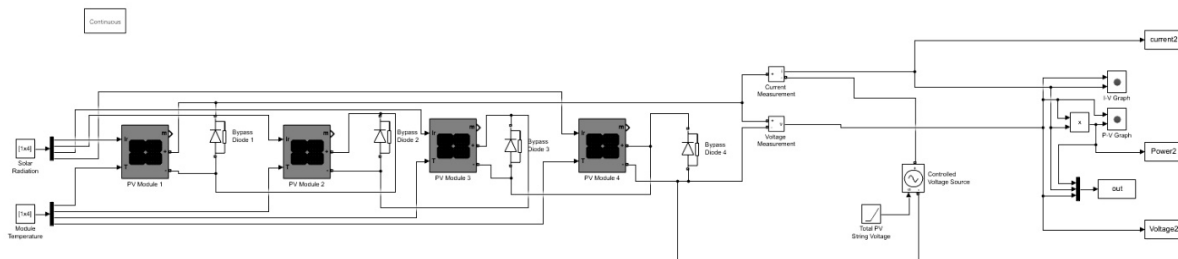


Рисунок 2 – Simulink модель для дослідження параметрів

В процесі моделювання проведемо експериментальні дослідження при різних значеннях сонячної інсоляції що падає на панель. Для початку моделюємо найкращі умови для роботи фотомодуля при температурі 25°C, та інсоляції 1000 Вт/м²

Таблиця 2 – Результати моделювання при рівномірному освітленні панелей

Дослід 1				
№ панелі	PV 1	PV 2	PV 3	PV 4
Значення інсоляції Вт/м ²	1000	1000	1000	1000
Значення максимальної потужності	1000 Вт			

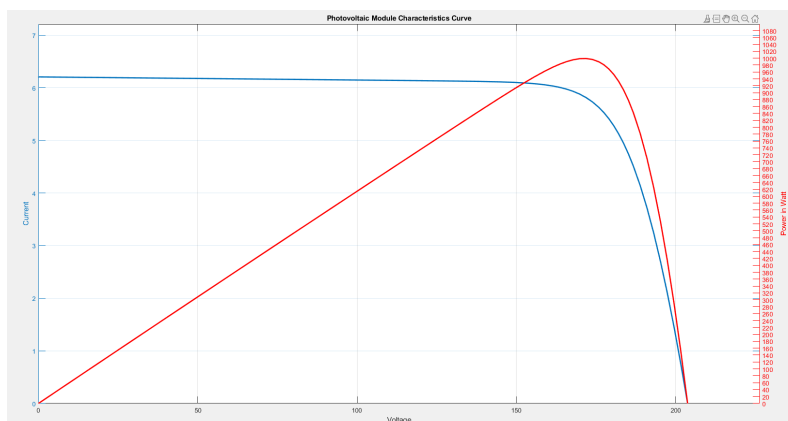


Рисунок 3 – Графіки вихідних значень фотопанелі



При частковому затінненні частина фотопанелей отримує менше сонячного світла, ніж інші. Коли сонячна панель частково затінена, окремі комірочки не виробляють електричний струм, це призводить до зменшення загальної вихідної потужності панелі, а також зміни характеристик I-V та P-V фотопанелі.

Таблиця 3 – Дослідні результати моделювання при різних ступенях затіннення

№ панелі		PV 1	PV 2	PV 3	PV 4	Значення максимальної потужності, Вт
Дослід 1	Значення інсоляції Вт/м ²	1000	1000	1000	1000	1000
Дослід 2		1000	1000	500	500	536
Дослід 3		1000	500	1000	500	536
Дослід 4		800	600	600	600	799
Дослід 5		800	500	500	500	647
Дослід 6		800	800	600	700	613
Дослід 7		750	750	520	480	518

На основі дослідних даних будемо суміщені графіки P-V та I-V характеристик

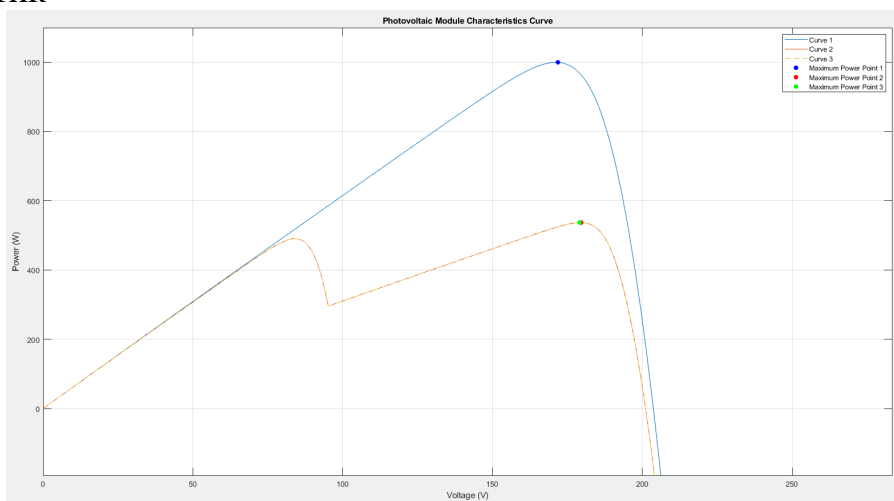


Рисунок 4 – Суміщені графіки P-V характеристик для 1-3 дослідів

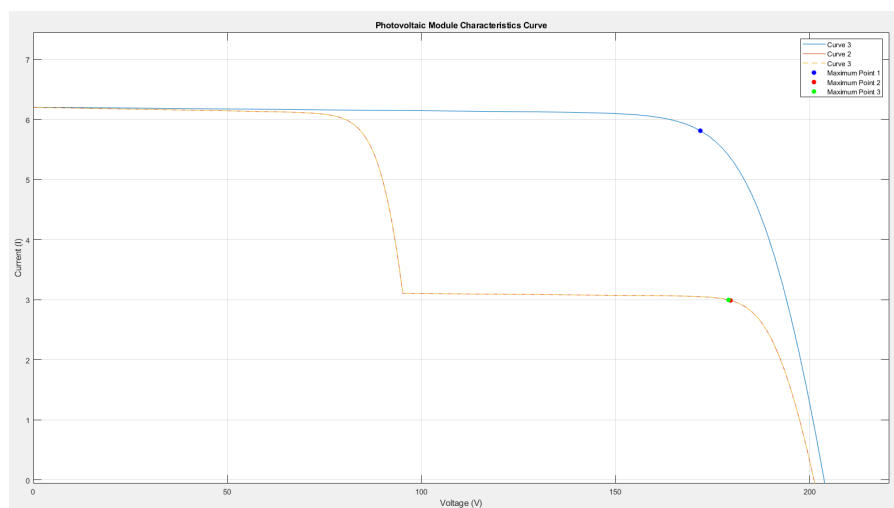


Рисунок 5 – Суміщені графіки I-V характеристик для 1-3 дослідів

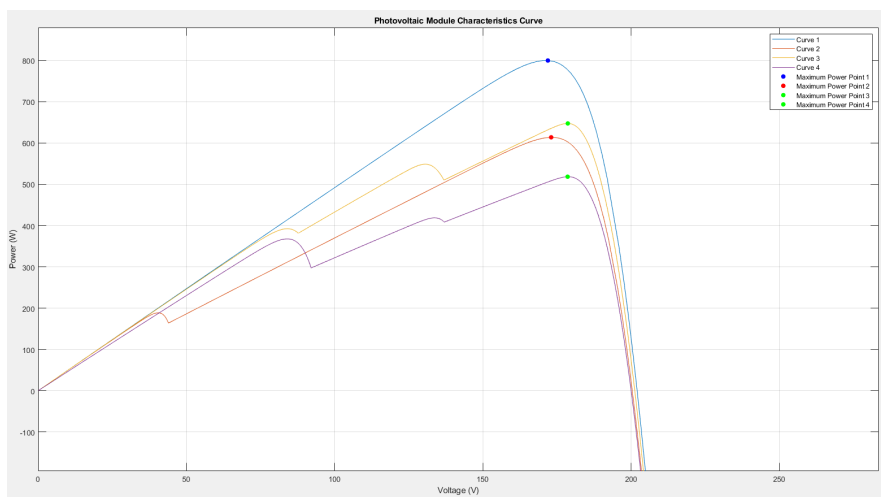


Рисунок 6 – Суміщені графіки P-V характеристик для 4-7 дослідів

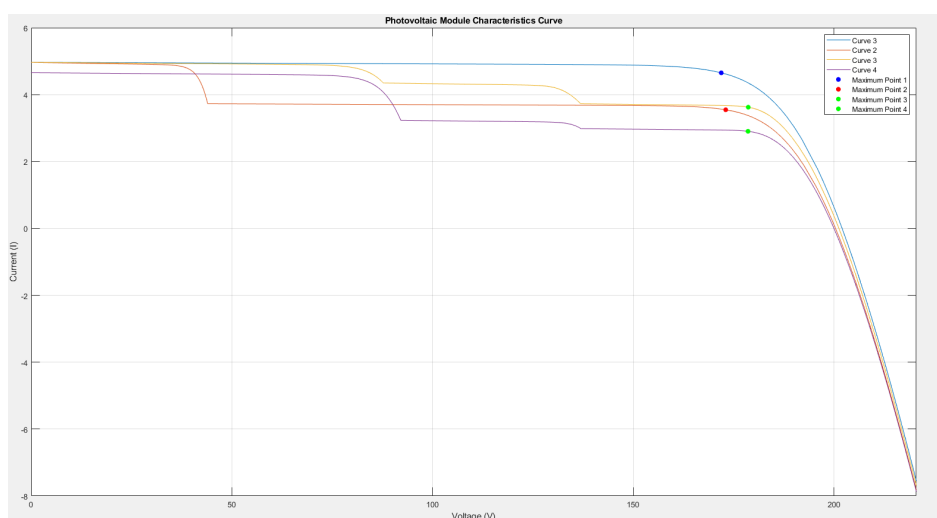


Рисунок 7 – Суміщені графіки I-V характеристик для 4-7 дослідів

Отримані криві свідчать про суттєве зниження вихідної потужності у випадку тимчасового затінення окремих панелей.

Висновки.

В процесі дослідження Simulink моделі, що складається з чотирьох послідовно з'єднаних фотопанелей, проведено аналіз впливу часткового затінення на вихідну потужність цілого масиву фотопанелей; досліджено, що при однаковій величині затінення незалежно від фотомодуля, ефективність залишається на тому ж рівні, що ілюструє дослід 2,3. При інших значеннях часткового затінення спостерігається значна втрата вихідної потужності, яка негативно впливає на ефективність сонячної електростанції.

Література:

1. Vishwakarma, Satyendra. (2017). Study of Partial shading effect on Solar Module Using MATLAB. International Journal of Advanced Research in Electrical Electronics and Instrumentation Engineering. 6. 5303-5308. 10.15662/IJAREEIE.2017.0607011.

2. Бацала Я. В., Яремак І. І., Феденько В. Я. (2020). Застосування середовища Arduino для трекерних систем фотопанелей. Вісник КрНУ імені



Михайла Остроградського. Випуск №3/2020(122), с. 126-132. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.3.126-132

3. Boyd, Matthew & Klein, Sanford & Reindl, Douglas & Dougherty, Brian. (2011). Evaluation and Validation of Equivalent Circuit Photovoltaic Solar Cell Performance Models. Journal of Solar Energy Engineering. 133. 10.1115/1.4003584.

4. Інтернет ресурс lightingequipmentsales.com режим доступу: <https://lightingequipmentsales.com/how-to-calculate-solar-panel-tilt-angle.html>

5. Nguyen, X.H. Matlab/Simulink Based Modeling to Study Effect of Partial Shadow on Solar Photovoltaic Array. Environ Syst Res 4, 20 (2015). <https://doi.org/10.1186/s40068-015-0042-1>

Abstract. *The article describes the process of modeling a solar power plant in the Simulink software environment; the model is based on array of several series-connected photovoltaic panels. One of the ways to increase the efficiency of photovoltaic power plants is to provide optimal input parameters, as well as to limit shading and contamination of PV modules. For modeling the reduction in the output values of the array under partial shading conditions, different values of the solar insolation parameter of the PV panel are set. Based on the initial values of the model, the characteristics of the I-V and P-V dependencies are built, taking into account the passport data of the PV panels specified in the model. From the obtained curves, the points of maximum output power are recognized and the efficiency loss due to shading is calculated.*

Key words: *solar power plant, modeling, shading PV, reduction efficiency, computer simulation.*

Стаття відправлена: 06.06.2023 р

© Феденько В.Я.