

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ БАТАРЕЙ

Васюченко П. В.¹, Руденко Д. В.¹, Кононова Т. Г.²

¹Українська інженерно-педагогічна академія (м. Харків),

²Харківський машинобудівний коледж

У статті досліджується метод моделювання та симуляції фотоелектричних сонячних батарей в середовищі моделювання MATLAB/Simulink/Simscape.

Постановка проблеми. Перспективним напрямом збільшення енергетичної ефективності систем електропостачання, підвищення енергетичної незалежності – є питання використання фотовольтаїчної енергетики як в автономних системах електропостачання, так і при роботі на системне навантаження. При цьому виробники та дистриб'ютори сонячних електричних станцій приводять загальні характеристики обладнання, без урахування більш точного настроювання під конкретні потреби споживача. Широке застосування енергетичного обладнання відновлювальної енергетики, визиває необхідність проведення широкого спектру наукових досліджень, моделювання процесів та комплексів електроенергетичних систем, що зв'язані з питанням оптимізації процесів по різних критеріям, управління та регулювання режимів роботи обладнання.

В якості основного інструменту дослідження подібних енергетичних систем, як правило, використовують методи математичного моделювання, в результаті якого виникає задача створення математичної моделі, що враховує визначену кількість вихідних параметрів, як в статистичних, так і в динамічних режимах роботи.

Основною проблемою, з якою стикаються науковці, розробники при створенні математичної моделі різних ступенів складності, потужності, є досить обмежений об'єм інформації, що надають виробники комплектуючих для сонячних електростанцій в специфікаціях на електроустаткування.

В наведеній роботі запропоновано метод моделювання об'єктів сонячної енергетики, за рахунок використання середовища моделювання MATLAB/SIMULINK/SIMSCAPE, що дозволяє більш точно підійти до питання підбору обладнання з урахування особливостей поставленої задачі, та в загальному підсумку підвищити техніко-економічні показники функціонування сонячних електричних станцій, ще на етапі проектування та підбору комплектуючих системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз науково-технічної та спеціальної літератури [1, 5] показав, що на сьогоднішній день існують досить вагомі передумови для впровадження нетрадиційних та відновлювальних джерел електроенергії на різних етапах функціонування систем електропостачання. Фотоелектричне перетворення сонячного випромінювання є однією з самих перспективних технологій виробництва електроенергії. В порівнянні з другими технологіями відновлювальної енергетики, конкурентними

перевагами є доступність, достатньо великий термін експлуатації, відсутність механічних втрат, можливість створення генеруючи установок на широкий діапазон потужності з максимальним наближенням генеруючих потужностей до об'єктів споживання, екологічність, безшумність [1-2].

Для визначення характеристик та проведення досліджень поведінки сонячних фотовольтаїчних систем в різних режимах роботи пакет моделювання MATLAB/Simulink – представляє собою потужний інструмент. Simscape, що є частиною середовища Simulink, має блок сонячних батарей, що спрощує процес побудови моделі та дозволяє вносити зміни в процес моделювання, з повною демонстрацією отриманих результатів. [3 - 4].

Середовище моделювання MATLAB / Simulink / Simscape пропонує опції готових блоків для імітації реальних фізичних процесів. Дослідники широко застосовують можливості Simscape для імітації та аналізу стабільності систем генерації електроенергії [4].

В роботі [5], автори стверджують, що визначаючими технічними параметрами для оцінки техніко-економічної ефективності сонячних панелей є номінальна потужність, розміри та термін служби. Такі технічні параметри, як напруга холостого ходу, струм короткого замикання, струм в точці максимальної потужності та інші, слабо впливають на оцінку економічної ефективності та приблизно рівні для всіх типів сонячних панелей.

Моделювання на стадії проектування дозволяє враховувати параметри сонячних модулів, та отримувати результати по вихідним параметрам вже на стадії проектування, проводити аналіз по визначення шляхів підвищення техніко-економічних показників роботи сонячних електричних станцій.

Мета статті. Враховуючи актуальність запропонованого питання постало завдання розробки моделі сонячної фотовольтаїчної батареї в середовищі MATLAB/SIMULINK/SIMSCAPE з метою дослідження зв'язку електричних параметри фотоелементів з рівнем освітленості, температурою середовища та геометричними розмірами поверхні, оцінки техніко-економічних параметрів системи в різних режимах роботи та в заданому діапазоні потужностей з урахуванням теплових процесів.

Основні матеріали дослідження. Фотоелемент є основним елементом для створення фотоелектричного модуля. Розширена бібліотека компонентів SimElectronics, що входить до складу бібліотеки Simscape середовища Matlab/Simulink містить блок

Solar Cell (рис. 1), який моделює поведінку реального фотоелемента.

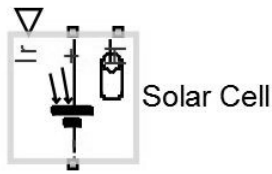


Рисунок 1 – Зображення блоку Solar Cell

Модель блоку Solar Cell подає фотоелемент як паралельну комбінацію джерела струму, двох експоненційних діодів і паралельного резистора R_p , які з'єднані послідовно з опором R_s (рис. 2).

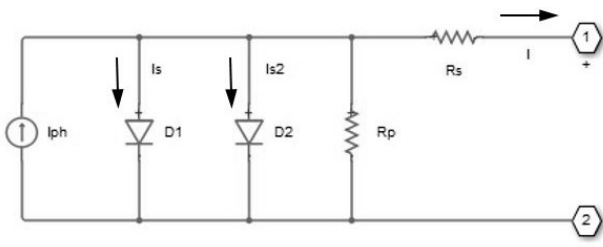


Рисунок 2 – Еквівалентна схема блоку Solar Cell

Сила вихідного струму фотоелемента I , визначається виразом:

$$I = I_{ph} - I_{s1} \left[e^{\frac{e(U+IR_s)}{N_1 k T}} - 1 \right] - I_{s2} \left[e^{\frac{e(U+IR_s)}{N_2 k T}} - 1 \right] - \frac{U + IR_s}{R_p}, \quad (1)$$

де $I_{ph} = I_{ph0} \cdot \frac{I_r}{I_{r0}}$ – сила фотоструму;

I_r – освітленість (інтенсивність світла) фотоелемента у Вт/м²;

I_{ph0} – сила фотоструму, що генерується при освітленості I_{r0} ; I_{s1}, I_{s2} – струми насичення першого та другого діодів відповідно;

k – стала Больцмана;

T – температура фотоелемента;

e – елементарний заряд;

N_1, N_2 – коефіцієнти неідеальності вольт-амперних характеристик першого та другого діодів відповідно;

U – напруга на фотоелементі.

Для дослідження процесів в сонячній батареї і побудови її характеристик в середовищі Simscare створена модель (рис. 3).

Інтенсивність сонячного світла з блоку Irradiance подається на вхідний порт "Ir" блоку Solar panel і та-

ким чином надходить до кожного фотоелемента. Також вона поступає на вхід блоку Thermal model, де формується відповідний їй тепловий потік, що надходить на вхідний порт "H" блоку Solar panel.

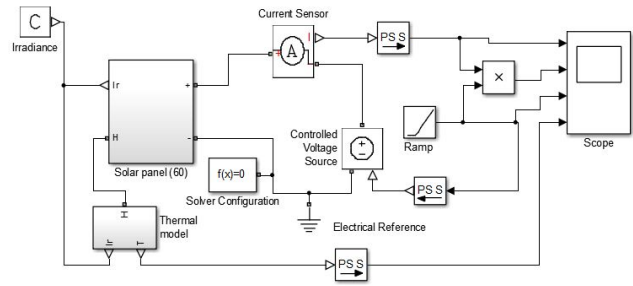


Рисунок 3 – Simscare-модель для дослідження панелі фотоелементів

Моделювання теплових процесів у фотоелементах відтворює блок Thermal model за схемою (рис. 4).

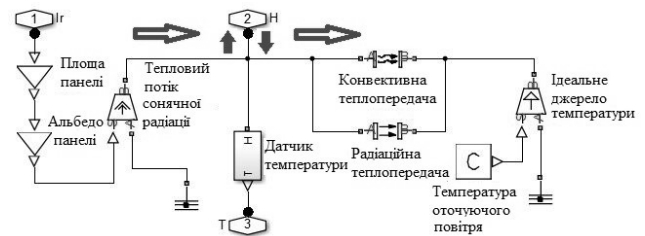


Рисунок 4 – Simscare-модель блоку Thermal model

Інтенсивність сонячного світла послідовно помножується на площу панелі фотоелементів і на її альбедо. Таким чином розраховується тепловий потік, що поступає на фотоелементи сонячної панелі і додається до внутрішнього тепла фотоелементів.

Температура фотоелементів вимірюється датчиком температури, покази якого подаються на вихідний порт "Т" блоку. Фотоелементи нагріваються і починають віддавати тепло навколишньому повітрю. Цей процес моделюється за рахунок блоків конвективної і радіаційної теплопередачі.

До електричних клем сонячної панелі підключене електричне коло, яке складається з амперметра Current Sensor та ідеального джерела напруги Controlled Voltage Source, керованого вхідним сигналом, що подається з блоку Ramp. Блок лінійної зміни сигналу Ramp формує сигнал у діапазоні від 0 до значення напруги холодного ходу сонячної панелі. Така схема дозволяє вимірювати вольт-амперні характеристики сонячної панелі, та визначати значення максимальної електричної потужності, генерованої панеллю.

Виміряне значення сили струму та сигнал з виходу блоку Ramp подаються на осцилограф Scope і блок множення сигналів, в якому розраховується значення електричної потужності сонячної панелі.

Перевірка роботи моделі відбувалася за відомими характеристиками полікристалічного фотомодулю AVi-Solar P60270-D, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики фотомодулю АВі-Solar P60270-D

Тип комірки	Полікристал 156×156 мм
Кількість комірок	60 (6×10)
Розміри (Д×В×Ш)	1640×991×35 мм
Потужність МРРТ (Pmax)	270 Вт
Струм короткого замикання (Isc)	9,15 А
Напруга холостого ходу (Voc)	38,3 В
Струм МРРТ (Impp)	8,66 А
Напруга МРРТ (Vmpp)	31,2 В

Результати моделювання показано на рис. 5. у вигляді графіків залежності струму, напруги, потужності, температури від інтервалу зміни часу.

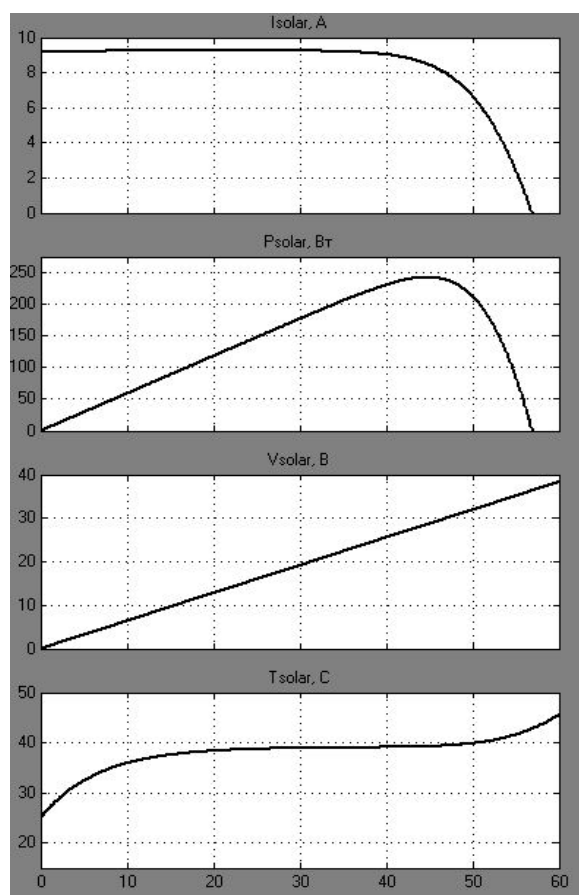


Рисунок 5 – Графіки результатів моделювання процесів роботи сонячних панелей в середовищі MATLAB/Simulink/Simscape

З аналізу результатів моделювання можна зробити висновок, що використовувана Simscape-модель адекватно відтворює процеси, що відбуваються в фотоелектричних системах.

Широкі можливості з моделювання фізичних процесів, закладені в основу бібліотеки Simscape дозволяють проводити всебічне дослідження ефективності роботи фотоелектричних систем.

Висновки. Запропоновані підходи до моделювання фізичних процесів роботи сонячних фото-

вольтаничних батарей у середовищі MATLAB/Simulink/Simscape дозволяють зв'язати електричні параметри фотоелементів з рівнем освітленості, температурою середовища та геометричними розмірами поверхні.

В результаті впровадження інформаційних технологій на основі розглянутих методик, спрощується розрахунок параметрів на вході та виході фотоелектричних модулів, що дозволяє підвищити точність оцінки ефективності запропонованих рішень.

Список використаних джерел

1. Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays, IEEE Transactions on Power Electronics. MAY 2009. Vol. 24. № 5. P. 1198-1208.

2. J. Surya Kumari and Ch. Sai Babu. Mathematical Modelling and Simulation of Photovoltaic Cell Using MATLAB/Simulink Environment and PLECS Blockset, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). February 2012. Vol. 2, № 1. P. 26-34.

3. Tarak Salmi, Mounir Bouzguenda, Adel Gastli, Ahmed Masmoudi. MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell. International Journal Of Renewable Energy Research. 2012. Vol. 2. № 2. P. 213-218.

4. Дьяконов В. П. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения. Изд-е 2-е, перераб. и доп. Библиотека профессионала. Москва: "Солон-Пресс", 2008. С. 800. ISBN 978-5-91359-042-8.

5. Мерганов А. М., Курбанов Ф. М. Математическая модель оценки экономической эффективности солнечных панелей. Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2017. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2017/07/15167> (дата обращения: 08.02.2019).

Аннотация

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ

Васюченко П. В., Руденко Д. В.,
Кононова Т. Г.

В статье исследуется метод моделирования и симуляции фотоэлектрических солнечных батарей в среде моделирования MATLAB/Simulink/Simscape.

Abstract

FEATURES MODELING OF PHYSICAL PROCESSES OF SOLAR PHOTOVOLTAIC CELLS

P. Vasyuchenko, D. Rudenko, T. Kononova

The article investigates the method of modeling and simulation of photovoltaic solar cells in the simulation environment MATLAB/Simulink/Simscape.