

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ КОМІРКИ/МОДУЛІ/
МАСИВИ З ТЕГАМИ В MATLAB/SIMULINK

Коробка С. В., к.т.н., доцент, e-mail: korobkasv@ukr.net

Баранович С. М., к.т.н., доцент, e-mail: baranovich1977@ukr.net

Сиротюк С. В., к.т.н., доцент, e-mail: ssyr@ukr.net

Станицький Т. О., e-mail: stanytskyitaras@gmail.com

Актуальність дослідження. Фотоелектрична (PV) батарея, складаючись з модулів, є основним джерелом живлення у системі фотоелектричного генератора. Важко стверджувати, що ця батарея має неоднакові характеристики та вимагає значних зусиль та витрат часу для отримання робочих характеристик під різними умовами експлуатації. Для подолання цих труднощів інженери розробили і інтегрували звичайні та прості моделі сонячних панелей у програмне забезпечення Matlab/Simulink. Проте ці моделі не придатні для використання в гібридних енергетичних системах через їхню вимогу до гнучкої настройки параметрів системи, а також складність їх розуміння для звичайних користувачів. У цій роботі надається послідовний підхід до моделювання фотоелектричних сонячних комірок/модулів/масивів з використанням інструментів тегів у середовищі Matlab/Simulink. Для цього використовується сонячна панель DS-100M, як контрольна модель. В рамках дослідження також аналізуються характеристики фотоелектричних батарей за різних робочих умов та фізичних параметрів.

Мета дослідження. Доцільність у розробці комп'ютерних моделей з використанням доступних пакетів, які зазвичай існують у розпорядженні некомерційних дослідників. До них можна віднести пакети Matlab/Simulink тощо. Застосування зазначених програмних засобів дозволяє відносно швидко та точно виконати побудову моделей та їх дослідження, які однак будуть потребувати перевірки в реальних умовах.

Основні матеріали дослідження. Характеристики виходу моделі відповідають характеристикам сонячної панелі DS-100M. Зменшення сонячної радіації з 1000 до 100 Вт/м² призводить до зниження вихідної потужності, струму і напруги. Зменшення температури призводить до невеликого збільшення вихідної потужності і напруги, залишаючи вихідний струм практично сталим. Опір шунта має значний вплив на робочі характеристики сонячних фотоелектричних батарей і зниження його від 1000 Ом до 0,1 Ом призводить до помітного зменшення вихідної потужності.

Модель сонячної батареї, розроблена з використанням інструментів Tag у середовищі Simulink, обмежена лише двома аспектами (сонячне опромінення та температура) і не надає докладну послідовність для моделювання. Таким чином, запропоновані моделі не забезпечують достатньої інформації для вивчення всіх параметрів, які можуть суттєво впливати на вольт-амперні та потужнісні характеристики фотоелектричної батареї, включаючи фізичні параметри, такі як струм, коефіцієнт ідеальності, послідовний і шунтовий опір, а також врахування екологічних умов (сонячна інсоляція, температура й особливо затінення). Брак послідовної процедури моделювання ускладнює розуміння та виконання моделювання самостійно для читачів і дослідників.

Отже, у цьому дослідженні представлена надійна модель, побудована з використанням інструментів тегів у середовищі Simulink. Запропонована модель відзначається тим, що вона дозволяє ретельно досліджувати вплив всіх параметрів на функціонування фотоелектричних батарей. Крім того, унікальна послідовність моделювання надає читачам можливість навчитися і самостійно проводити симуляції для проведення власних досліджень. Математична модель перехідних процесів являє собою задачу Коші для систем нелінійних диференціальних рівнянь, які описують зміну струмів та напруг такими виразами:

а) вмикання

$$\frac{dU}{dt} = \frac{I_n - U_n / R_n}{C_n}, \quad \frac{dI_n}{dt} = \frac{U - U_n - R_n I_n}{L_n - L_n},$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{I_\phi - \frac{U}{R_{in}} - I_0 \left(\exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) - 1 \right) - I_n}{C_0 \left(1 - \frac{U}{U_k}\right)^{-1/2} + I_0 \tau_n \frac{q}{AkT} \exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) + U \frac{U_0}{2U_k} \left(1 - \frac{U}{U_k}\right)^{-3/2} + I_0 \tau_n \left(\frac{q}{AkT}\right)^2 \exp\left(\frac{qU}{AkT}\right)};$$

з такими початковими умовами:

$$U(0) = U_{xx}; U_n(0) = U_{xx}; I_n(0) = 0;$$

б) вимкнення

$$\frac{dU_n}{dt} = \frac{I_n}{C_n},$$

$$\frac{dI_n}{dt} = \frac{U - U_n - R_n I_n}{L_n - L_n},$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{I_\phi - \frac{U}{R_{in}} - I_0 \left(\exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) - 1 \right) - I_n}{C_0 \left(1 - \frac{U}{U_k}\right)^{-1/2} + I_0 \tau_n \frac{q}{AkT} \exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) + U \frac{U_0}{2U_k} \left(1 - \frac{U}{U_k}\right)^{-3/2} + I_0 \tau_n \left(\frac{q}{AkT}\right)^2 \exp\left(\frac{qU}{AkT}\right)},$$

з такими кінцевими умовами:

$$U(0) = U_{стац}; U_k(0) = U_{н стац}; I_k(0) = 0.$$

де I_n – зворотній струм, А; q – заряд електрона, Кл; U_n ; U_0 ; U_k – відповідно напруги розімкненого і замкнутого кола, В; k – стала Больцмана, Дж/°К; A – коефіцієнт ідеальності діода; T – температура фотоелектричної панелі, °К.

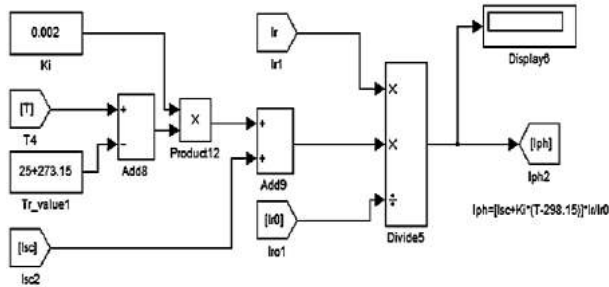


Рисунок 1 – Імітаційна модель сонячної фотоелектричної батареї

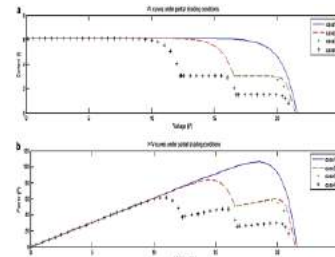


Рисунок 2 – а Криві I–V криві в умовах часткового затінення. б Криві P–V в умовах часткового затінення

Поступовий процес моделювання фотоелектричної системи з використанням блоків бібліотеки Simulink у Matlab створює зручну інтерактивну інструментовану платформу з інтуїтивно зрозумілими піктограмами та діалогами. Ця процедура допомагає людям отримати краще уявлення про робочі характеристики фотоелектричних модулів, зокрема їх вольт-амперних і потужнісних характеристик. Крім того, вона може бути корисною для передбачення поведінки сонячних фотоелементів, модулів і масивів в різних умовах навколишнього середовища, таких як температура, опромінення і можливість часткового затінення, а також фізичних параметрів, а саме послідовний опір, шунтовий опір, коефіцієнт ідеальності тощо. Ця дослідницька робота є першим кроком у вивченні гібридних систем, де фотоелектрична генерація енергії інтегрується з іншими джерелами відновлюваної енергії, такими як вітер.

Висновок. Запропонована методика гарантує точність, надійність і легкість налаштування моделі сонячного фотоелектричного масиву. Крім того, вона надає суттєву перевагу при вивченні функціонування сонячних фотоелектричних батарей з різними фізичними параметрами, такими як послідовний опір, шунтовий опір, коефіцієнт ідеальності тощо, і в різних умовах експлуатації, включаючи зміну температури, рівень опромінення і особливо врахування ефектів часткової тіні.