

УДК 620.91

Максим Слободян, магістр, Валерій Мартинюк, д.т.н., професор  
Хмельницький національний університет

### МОДЕЛЬ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ В СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK

В даній роботі представлена спрощена модель фотоелемента сонячної батареї, побудована в середовищі MATLAB/Simulink. Дана модель може бути використана при імітаційному моделюванні систем сонячної енергетики.

Ключові слова: відновлювальні джерела, сонячна енергетика, фотоелемент, сонячна батарея.

#### Maxim Slobodian, Veleriy Martynyuk A SIMULINK-MODEL OF SOLAR CELL

This paper introduces simple model of single photovoltaic cell developed in MATLAB/Simulink. This model could be used to analyze and simulation of solar systems.

Keywords: renewable resourced, solar energy, photovoltaic, PV-panel.

З кожним роком проблема нестачі енергії та її високої вартості все більше загострюється. Це обумовлено в першу чергу вичерпністю паливних ресурсів та зростанням потреб людства. Використання відновлювальних джерел енергії, зокрема систем сонячної енергетики, покликане вирішити дану проблему.

В основі засобів сонячної енергетики лежить принцип перетворення енергії сонячного випромінювання в інші види енергії, такі як теплова та електрична. Основним елементом таких систем є сонячна панель (батарея), яка складається із набору фотоелементів, з'єднаних послідовно та паралельно.

Сонячний елемент із деяким наближенням може бути представлений еквівалентною схемою:

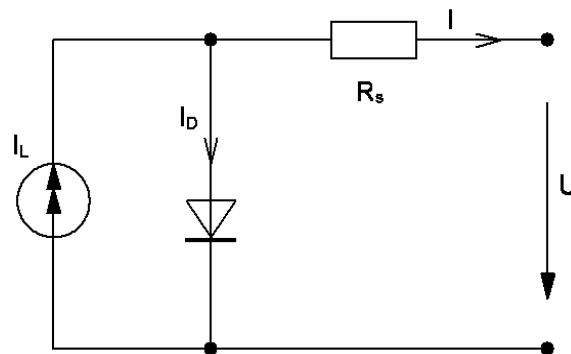


Рис. 1. Еквівалентна схема фотоелемента

$$I = I_L - I_D = I_L - I_0 \left( e^{\frac{q(U - IR_s)}{kT}} - 1 \right) \quad (1)$$

де,  $I$  та  $U$  – струм і напруга на виході сонячної панелі;

$I_L$  – фотострум, що залежить від сонячного випромінювання;

$I_D$  – струм, що тече через діод;

$I_0$  – зворотний струм насичення діода (reverse saturation current);

$q$  – елементарний заряд ( $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл);

$k$  – постійна Больцмана ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);

$T$  – температура в градусах Кельвіна;

$R_s$  – послідовний опір сонячного елемента

На рисунку 2 зображені типові криві, що відображають залежності струму (ВАХ) та потужності на виході фотоелемента від його напруги.

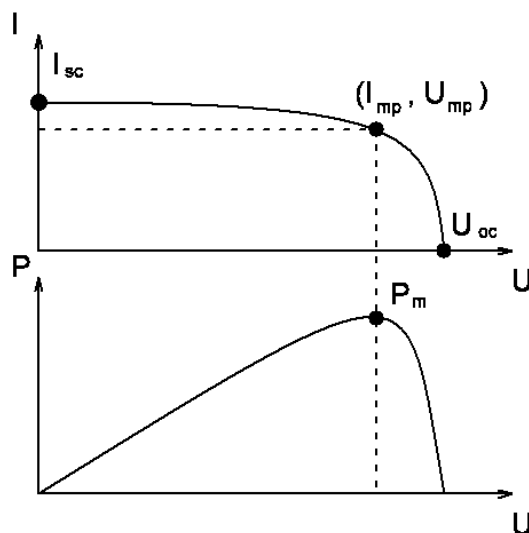


Рис. 2. Графіки залежностей струму та потужності від напруги на виході фотоелемента

Основними характеристиками фотоелементу є струм короткого замикання (short circuit current,  $I_{sc}$ ), напруга холостого ходу (opencircuitvoltage,  $U_{oc}$ ), точка максимальної потужності (maximumpowerpoint,  $P_m$ ), максимальна ефективність ( $\eta$ ) та коефіцієнт заповнення (fill factor,  $f$ ) [1].

Струм  $I_{sc}$  – максимально можливе значення струму на виході фотоелемента, що досягається при короткому замиканні ( $U = 0$ ); наближено рівне фотоструму  $I_L$ :

$$I_{sc} \approx I_L \quad (2)$$

Значення напруги холостого ходу можна отримати із виразу (1) поклавши  $I = 0$  та знехтувавши опором  $R_s$ :

$$\frac{U_{oc} \approx \frac{kT}{q} \ln I_L}{I_0} \quad (3)$$

Максимальна потужність, яку може виділити фотоелемент досягається в точці ВАХ, де добуток значень  $I \cdot U$  є максимальним (див. рис. 2).

$$P_m = I_{mp} \cdot U_{mp} \quad (4)$$

Точка максимальної потужності змінюється в залежності від потужності сонячного випромінювання (solar irradiance) та температури фотоелемента. На сьогоднішній день існує багато способів відслідковування точки максимальної потужності (maximum power point tracking, MPPT). Одним із найбільш популярних є метод відхилень та спостережень (Perturb and Observe, P&O) [2].

На рисунку 3 зображена імітаційна модель, побудована в середовищі Simulink, яка реалізує ВАХ фотоелемента, визначено рівнянням [1]. Результати моделювання для трьох різних значень сонячного випромінювання ( $200, 600$  і  $1000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ).

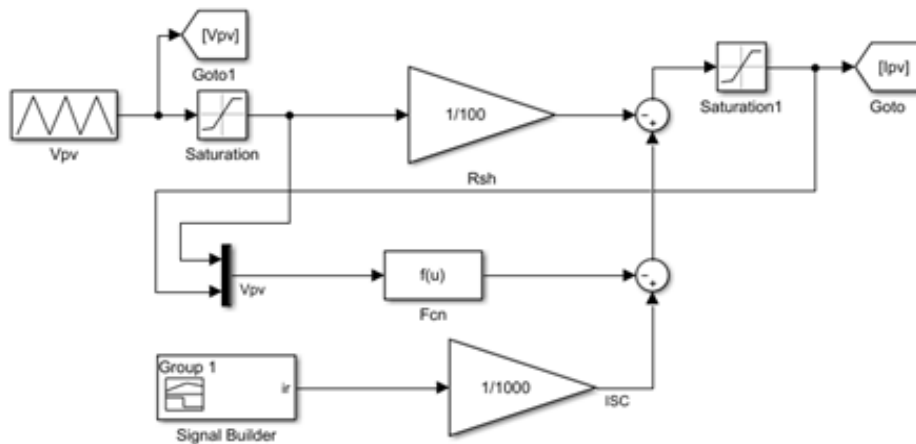


Рис. 3. Модель фотоелемента

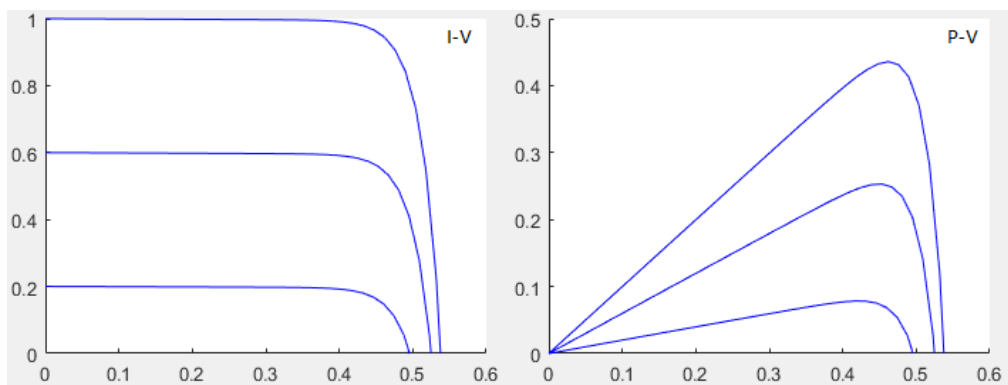


Рис. 4. Результати моделювання: вольт-амперна та вольт-ватна характеристики фотоелемента

Представлена модель може бути використана примодельювання систем сонячної енергетики, наприклад для проектуванні алгоритмів МРРТв середовищі MATLAB/Simulink.

### Література

1. Hansen, A. D., Sørensen, P. E., Hansen, L. H., & Bindner, H. W. (2001). Models for a stand-alone PV system. (Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R; No. 1219(EN)).
2. S. Sumathi, L. Ashok Kumar, P. Surekha. Solar PV and Wind Energy Conversion Systems. Springer International Publishing Switzerland 2015.
3. Aryuanto Soetedjo, Abraham Lomi, Yusuf Ismail Nakhoda, Awan Uji Krismanto. Modeling of Maximum Power Point Tracking Controller for Solar Power System. TELKOMNIKA, Vol.10, No.3, July 2012, pp. 419~430.