

Bartosz CERAN\*

## BADANIA MODELOWE OGNIW SŁONECZNYCH

W artykule przedstawiono model matematyczny modułu fotowoltaicznego. Model został zaimplementowany w środowisku Matlab/Simulink. Model pozwala na wyznaczenie charakterystyki napięciowo-prądowej modułu fotowoltaicznego, wyznaczenie krzywej mocy modułu oraz na zbadanie wpływu nasłonecznienia na obie charakterystyki.

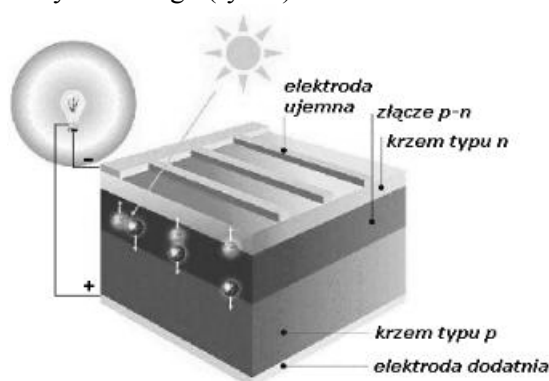
### 1. WSTĘP

Ogniwo fotowoltaiczne to element (krzemowa płytki półprzewodnikowa), który pod wpływem promieniowania świetlnego (naturalnego lub sztucznego) działa jak generator energii elektrycznej. Padające na ogniwo fotowoltaiczne światło ulega konwersji (zamianie) w energię elektryczną.

W ogólnym uproszczeniu cały proces można wyjaśnić następująco:

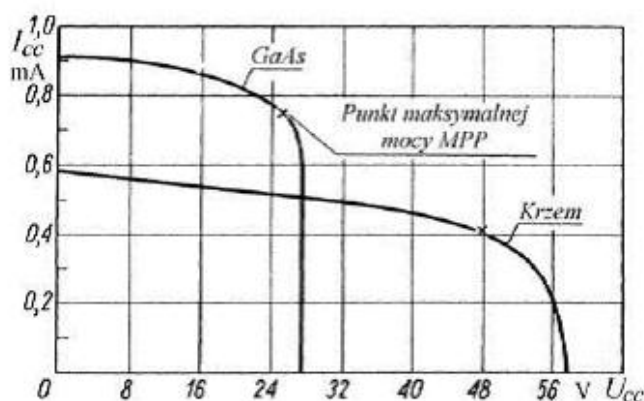
- absorpcja światła, powodująca przechodzenie elektronów do stanu wzbudzonego;
- lokalne rozdzielanie (separacja) dodatnich i ujemnych ładunków elektrycznych;
- przepływ ładunków elektrycznych do obwodu zewnętrznego.

Większość spotykanych współcześnie ogniw słonecznych wykonywana jest z dwóch płytek krzemu krystalicznego (rys. 1).



Rys. 1. Przekrój krzemowego, krystalicznego ogniwa słonecznego [3]

Na rysunku 2 pokazano przykładowe charakterystyki napięciowo-prądowe ogniw słonecznych wykonanych z arsenku galu i krzemu.



Rys. 2. Porównanie charakterystyk zewnętrznych ogniw słonecznych wykonanych z arsenku galu GaAs i krzemu Si

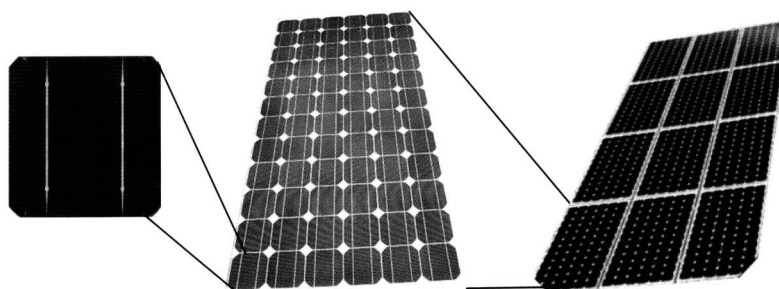
Sprawność ogniwa słonecznego jest stosunkiem maksymalnej mocy elektrycznej  $P_{el}$ , wydzielonej na obciążeniu, do padającej mocy promieniowania  $P_{rad}$ :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{el}}{P_{rad}} \quad (1)$$

Z powyższego równania wynika, że dla uzyskania maksymalnej sprawności zasadnicze znaczenie ma osiągnięcie maksymalnej mocy elektrycznej w danych warunkach oświetleniowych

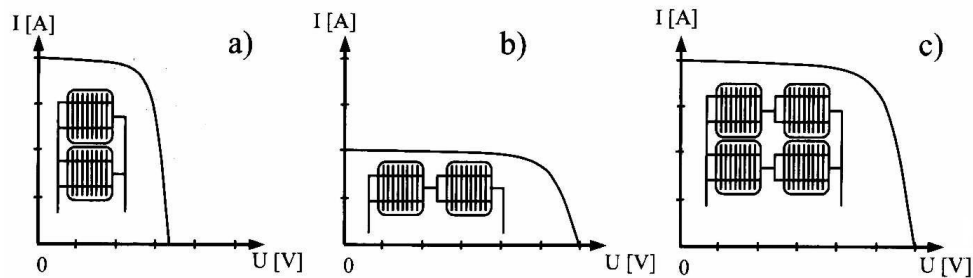
Najwyższa możliwa moc  $P_{max}$ , jaką może oddać ogniwo słoneczne, jest uzyskiwana w punkcie mocy maksymalnej MPP (ang. Maximum Power Point).

Ze względu na małą moc pojedynczych ogniw słonecznych łączy się je w tzw. moduły i panele rys. 3.



Rys. 3. Ogniwo fotowoltaiczne, moduł fotowoltaiczny, panel fotowoltaiczny [2]

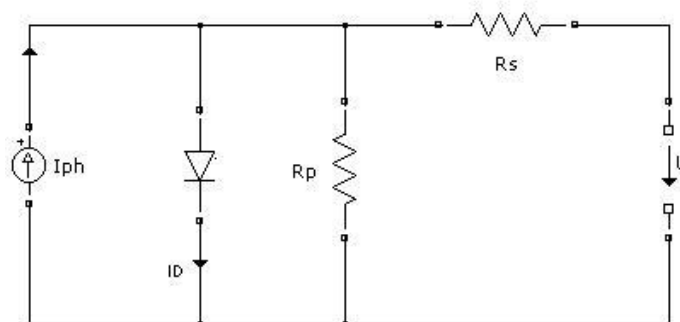
Równoległe połączenie pojedynczych ogniw pozwala na zwiększenie całkowitego prądu, natomiast połączenie szeregowe identycznych ogniw jednostkowych pozwala na zwiększenie całkowitego napięcia (rys. 4).



Rys. 4. Wpływ sposobu połączeń ogniw na ich charakterystyki zewnętrzne:  
a) połączenie równoległe, b) połączenie szeregowe, c) połączenie szeregowo-równoległe [2]

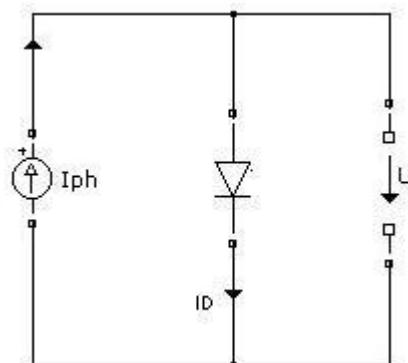
## 2. SCHEMAT ZASTĘPCZY OGNIWA FOTOWOLTAICZNEGO

Na rysunku 5 przedstawiono schemat zastępczy ogniwa fotowoltaicznego.



Rys. 5. Schemat zastępczy ogniwa fotowoltaicznego [2]

Idealne źródło prądu odwzorowuje zdolność ogniwa do wytwarzania prądu  $I_{ph}$  pod wpływem promieniowania słonecznego. Nieczuła na promieniowanie świetlne dioda odwzorowuje właściwość przepływu nośników większościowych przez złącze. Płyne przez nią prąd  $I_D$ . Rezystancje  $R_w$  i  $R_s$  powodują zmniejszenie sprawności ogniwa. Rezystancja  $R_s$  jest wynikiem rezystancji półprzewodnika, rezystancji metalowych kontaktów, rezystancji przejścia metal-półprzewodnik. Rezystancja  $R_p$  jest wynikiem defektów mechanicznych, struktur p i n, mechanicznych i nieszczelności złącza p-n, występowania zanieczyszczeń w obszarze złącza. Do celów modelowania ogniw słonecznych można przyjmować schemat uproszczony (rys. 6.).



Rys. 6. Uproszczony schemat zastępczy ogniwa fotowoltaicznego [2]

Na podstawie schematu zastępczego wyznacza się równanie opisujące w sposób analityczny działanie ogniwa słonecznego:

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{kU_d}{qT}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

gdzie:  $I_{ph}$ - prąd płynący w ogniwie oświetlonym,  $q$  - ładunek elektronu,  $k$  – stała Boltzmann,  $T$  – temperatura bezwzględna,  $I_D$  – prąd diody,  $U_d$  – napięcie diody.

Z równania (2) można wyznaczyć zależności opisujące napięcie jałowe ogniwa i prąd zwarcia [2]:

$$U_{oc} = k \frac{T}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) \text{ dla } I=0 \quad (3)$$

$$I_{sc} = I_{ph} = I \text{ dla } U=0 \quad (4)$$

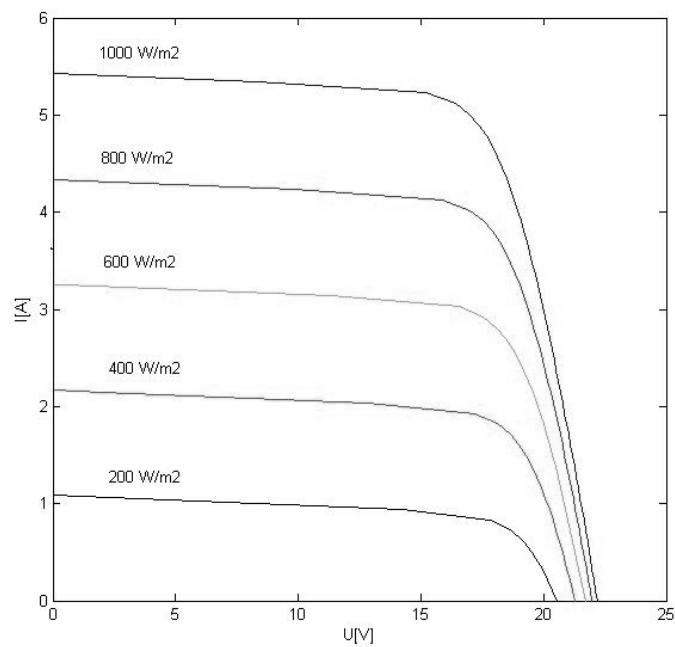
### 3. SYMULACJE W ŚRODOWISKU MATLAB/SIMULINK

Biblioteka SimPowerSystems programu Matlab/Simulink pozwala na budowanie modeli ogniw słonecznych, dzięki którym można badać podstawowe ich właściwości.

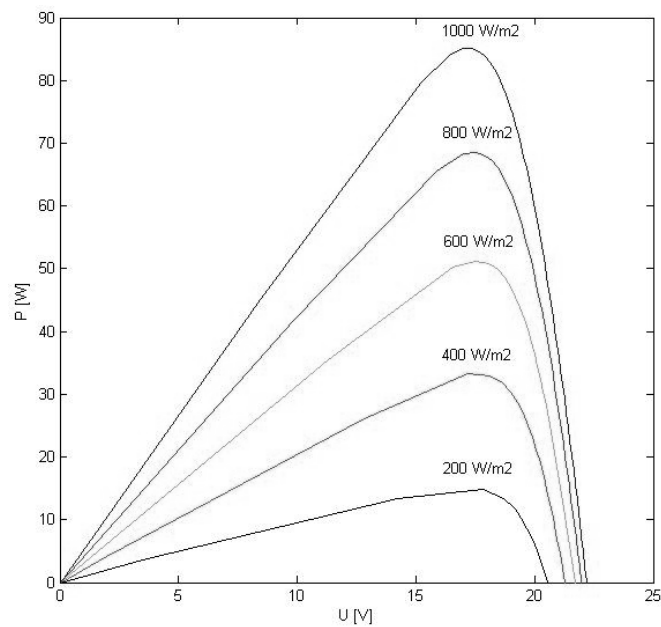
W środowisku tym zasymulowano moduł fotowoltaiczny o następujących parametrach:

- napięcie jałowe modułu 22.2 V,
- prąd zwarcia modułu 5.45 A,
- napięcie w punkcie mocy maksymalnej 17.1 V,
- prąd w punkcie mocy maksymalnej 4.94 A.

Zbadano wpływ gęstość mocy promieniowania na charakterystykę napięciowo – prądową modułu słonecznego. Wyniki przedstawiono na poniższych rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Wpływ nasłonecznienia na charakterystykę napięciowo-prądową modułu fotowoltaicznego



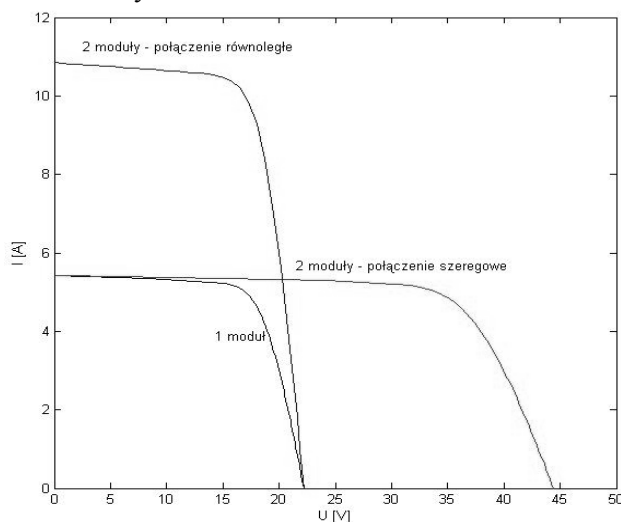
Rys. 8. Wpływ nasłonecznienia na krzywą mocy modułu fotowoltaicznego

Zmienny strumień promieniowania słonecznego istotnie wpływa na charakterystykę napięciowo - prądową modułu i krzywą mocy.

Z przeprowadzonych symulacji wynikają następujące wnioski:

- prąd zwarcia ogniwa fotowoltaicznego zmienia się proporcjonalnie do gęstości mocy promieniowania,
- napięcie biegu jałowego  $U_{oc}$  jest w niewielkim stopniu zależy od natężenia promieniowania słonecznego,
- przy spadku gęstości mocy promieniowania maksymalna moc generowana przez fotoogniwo maleje.

Następnie zbadano wpływ sposobu połączenia modułów na charakterystykę  $I = f(U)$ , co pokazano na rys. 9.



Rys. 9. Wpływ sposobu połączenia modułów na charakterystykę  $I = f(U)$

Zgodnie z teorią równoległe połączenie dwóch modułów skutkuje dwukrotnym zwiększeniem całkowitego prądu, natomiast połączenie szeregowe dwóch modułów powoduje dwukrotne zwiększenie napięcia jałowego. Model działa poprawnie.

#### 4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono model modułu fotowoltaicznego zaimplementowany w środowisku Matlab/Simulink. Omówiono charakterystykę napięciowo-prądową ogniwa oraz pokazano wpływ zmiany gęstości mocy promieniowania (irradiacji) na jej przebieg. W dalszych publikacjach autor przedstawi możliwości wykorzystania paneli fotowoltaicznych jako źródeł energii elektrycznej w generacji rozproszonej.

## LITERATURA

- [1] Paska J., Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła – Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2010, s. 88-95.
- [2] Chojnacki J., Fotowoltaika, Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii: Poradnik Kraków: Tarbonus 2008 s. 105-110.
- [3] <http://www.solarbin.pl/?c=mdTresc-cmPokaz-38>

## MODELLING STUDIES OF A SOLAR CELLS

In this article the model of a solar cell implemented in the Matlab/Simulink environment has been presented. A voltage - current characteristic of a solar cell and curve of power has been presented. The influence of irradiance of a working cell on has been studied.