



Sławomir Andrzej Torbus, Karolina Mroczyńska, Paulina Bławat, Joanna Kreft

**ZOPTYMALIZOWANY ALGORYTM BADANIA OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH
WYKORZYSTYWANYCH W PANELACH SOLARNYCH
BAZUJĄCY NA INTERPOLACJI WIELOMIANOWEJ LAGRANGE'A
(OPTIMIZED ALGORITHM FOR TESTING PHOTOVOLTAIC CELLS
USED IN SOLAR PANELS BASED ON LAGRANGE POLINOMIAN INTERPOLATION)**

Słowa kluczowe:

energia słońca, ogniwo fotowoltaiczne, panel solarny, interpolacja wielomianowa Lagrange'a

Streszczenie

Słońce jest niewyczerpanym źródłem energii, która w sposób ekonomiczny i ekologiczny może być wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej i ciepłej, które służą człowiekowi. Fotowoltaika jest dziedziną nauki i techniki, która zajmuje się przetwarzaniem światła słonecznego w energię elektryczną. W niniejszym opracowaniu zaprezentowano, w jaki sposób przeprowadzać proces pomiarowy ogniw fotowoltaicznych, aby określić ich optymalne warunki pracy, które spowodują uzyskanie maksymalnych zysków energetycznych.

Charakterystyka zoptymalizowanego algorytmu badania ogniw fotowoltaicznych

Ogniwo fotowoltaicznym (ogniwem słonecznym, fotoogniwem) nazywamy urządzenie, które przetwarza promieniowanie słoneczne na energię elektryczną. Podstawą jego budowy jest półprzewodnikowe złącze p-n przedstawione na Rys. 1 a). Fotoogniwo jest przetwornikiem generacyjnym, co oznacza, że nie wymaga polaryzacji w kierunku przewodzenia bądź zaporowym [1,2]. Rzeczywistemu fotoogniwu można przyporządkować schemat zastępczy przedstawiony na Rys. 1 b).



Rys. 1. Ogniwo fotowoltaiczne [2,3]: a) budowa i idea działania, b) schemat zastępczy (R_i [Ω] – rezystancja złącza, R_s [Ω] – rezystancja półprzewodnika i doprowadzeń, R_o [Ω] – rezystancja obciążenia, C_i [F] – pojemność złącza)

Parametrami charakterystycznymi ogniw fotowoltaicznych są [1,2]: **rezystancja obciążenia**

$R_o = \frac{U_{wy}}{I_R}$ [Ω]; **moc czynna**, która wydzielą się na obciążeniu R_o , tj. $P_{R_o} = U_{wy} \cdot I_R$ [W], **sprawność ogniwa**

dla mocy maksymalnej czynnej $P_{max} = \sup \{P_{R_o}\}$, tj. $\eta \approx \frac{P_{max}}{M_e \cdot A} \cdot 100\%$ [%], gdzie: M_e – moc promieniowania słonecznego [W/m^2], A – powierzchnia fotoogniwa [m^2].

Podczas badania ogniw fotowoltaicznych wyznacza się charakterystykę napięciowo-prądową określającą zależność prądu I_R i napięcia U_{wy} od obciążenia R_o . Obecnie stosowana jest metoda pomiarowa „punkt po punkcie”, która jest czasochłonna. Wymaga ona od osoby mierzącej zgromadzenia dużej liczby wyników, na podstawie których, korzystając ze wzorów zamieszczonych w niniejszym opracowaniu, określa się optymalny punkt pracy – parę uporządkowaną (U_{wy} , I_R) – badanego ogniwa.

Jednakże proces ten można zoptymalizować, implementując w systemie komputerowym autorski algorytm badania ogniw fotowoltaicznych, wykorzystujący w swym działaniu interpolację wielomianową Lagrange'a [4]. Został on opracowany i przetestowany w Instytucie Matematyki Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Podczas określania poprawności działania zaproponowanego algorytmu, wykorzystano rzeczywiste wyniki pomiarów krzemowego ogniwa fotowoltaicznego o powierzchni $0,3 m^2$ i mocy promieniowania słonecznego $1000 W/m^2$, zawarte w Tablicy 1.



Tablica 1. Zależność napięcia i prądu fotoogniwa od obciążenia R_o [1]

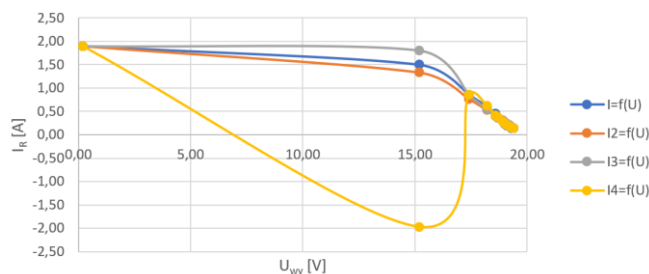
| U_{wy} [V] | 0,20 | 15,2 | 17,4 | 18,2 | 18,6 | 18,7 | 18,9 | 19,0 | 19,0 | 19,1 | 19,2 | 19,3 | 19,4 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I_R [A] | 1,90 | 1,50 | 0,86 | 0,60 | 0,45 | 0,37 | 0,30 | 0,26 | 0,24 | 0,20 | 0,19 | 0,15 | 0,14 |

W celu określenia przydatności autorskiego algorytmu przedstawiono wyniki obliczeń matematycznych (wielomiany interpolacyjne Lagrange'a) oraz ich graficzne reprezentacje (Rys. 2).

$$I_2(U) = -12,806 \cdot 10^{-3} \cdot U^2 + 1,593 \cdot 10^{-1} \cdot U + 1,869$$

$$I_3(U) = 2,150 \cdot 10^{-3} \cdot U^3 - 9,515 \cdot 10^{-2} \cdot U^2 + 9,557 \cdot 10^{-1} \cdot U + 1,713$$

$$I_4(U) = 7,789 \cdot U^4 - 4,318 \cdot 10^{-1} \cdot U^3 + 7,980 \cdot U^2 - 49,808 \cdot U + 11,546$$



Rys. 2. Interpolowana charakterystyka napięciowo-prądowa fotoogniwa:
 $I=f(U)$ – rzeczywista, $I_2=f(U)$ – interpolowana 2-go stopnia,
 $I_3=f(U)$ – interpolowana 3-go stopnia, $I_4=f(U)$ – interpolowana 4-go stopnia

Wnioski

W niniejszym opracowaniu zaprezentowano autorski algorytm badania fotoogniw, który można wykorzystać podczas określania optymalnych warunków pracy, powodujących uzyskanie maksymalnych zysków energetycznych. Wykorzystuje on interpolację wielomianową Lagrange'a, dzięki czemu jest dużo bardziej efektywny w porównaniu z czasochłonnymi metodami stosowanymi obecnie.

Wyznaczono wielomiany interpolacyjne 2-go, 3-go i 4-go stopnia, a następnie wykazano, że wielomian 2-go stopnia jest najlepszą aproksymacją rzeczywistych wyników pomiarów. W tym celu wykorzystano klasyczną teorię błędów pomiarowych. Dodatkowo stwierdzono, że błąd względny algorytmu – w punkcie maksymalnej mocy czynnej – nie przekracza co do wartości bezwzględnej 11,2%. Dla tego właśnie wielomianu interpolacyjnego wyliczono, że moc czynna osiąga wartość maksymalną $P_{max} = 20,22$ W dla rezystancji $R_o = 11,43 \Omega$ i sprawności ogniwa $\eta = 6,7\%$. Wyniki te znacząco nie odbiegają od rzeczywistych, które wynoszą odpowiednio $P_{max} = 22,80$ W, $R_o = 10,13 \Omega$ i $\eta = 7,6\%$.

Dzięki realizacji niniejszego tematu zdobyto kompetencje w zakresie zastosowań matematyki we współczesnych problemach związanych z energetyką odnawialną.

Piśmiennictwo

- [1] Tytko R.: *Odnawialne źródła energii*. OWG, Warszawa 2009
- [2] Jastrzębska G.: *Ogniwa słoneczne. Budowa, technologia i zastosowanie*. WKŁ, Warszawa 2013
- [3] <https://www.zielona-firma.biz/fotowoltaika/ogniwo-sloneczne/>
- [4] Fortuna Z., Macukow B., Wąsowski J.: *Metody numeryczne*. PWN, Warszawa 2021

Abstract

The sun is an inexhaustible source of energy that can be economically and ecologically used to produce electricity and warmer that serves people. Photovoltaics is a branch of science and technology that deals with the conversion of sunlight into electricity. This study presents how to carry out the measurement process of photovoltaic cells to determine their optimal working conditions, which will result in obtaining maximum energy gains.

Informacja

Opiekun naukowy: dr inż. Karolina Mroczńska; adiunkt; Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy; Instytut Matematyki; Zakład Dydaktyki
Paulina Bławat; studentka studiów stacjonarnych pierwszego stopnia na kierunku Matematyka; Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy; Instytut Matematyki
Joanna Kreft; studentka studiów stacjonarnych pierwszego stopnia na kierunku Matematyka; Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy; Instytut Matematyki
Konsultacja merytoryczna: dr inż. Sławomir Andrzej Torbus, prof. uczelni, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego; Instytut Matematyki; Katedra Funkcji Rzeczywistych i Algebry