

Artur BUGAŁA*
Grażyna FRYDRYCHOWICZ-JASTRZĘBSKA*

POZYCJONOWANIE MODUŁU FOTOWOLTAICZNEGO W JEDNOOSIOWYM UKŁADZIE NADAŻNYM

W pracy przedstawiono możliwości zwiększenia wydajności konwersji fotowoltaicznej w wyniku zastosowania elektromechanicznego układu jednoosiowej zmiany położenia modułu fotowoltaicznego, "śledzenia za Słońcem". Przedstawiono projekt oraz fizyczną realizację stanowiska badawczego. Porównano charakterystyki prądowo – napięciowe oraz charakterystyki mocy elektrycznej, wyznaczone w warunkach naturalnego oświetlenia, dla konfiguracji stacjonarnej z optymalnym całorocznym kątem pochylenia oraz nadażnej.

SŁOWA KLUCZOWE: układ nadażny, kąt pochylenia, zysk energii, fotowoltaika

1. WSTĘP

Współczynnik wydajności układu fotowoltaicznego charakteryzuje jego pracę poprzez porównanie zysku energetycznego osiągniętego, z analogicznym możliwym do osiągnięcia w tym układzie, w przyjętym przedziale czasu. Oprócz własności odbiornika PV, parametrem decydującym o możliwych zyskach jest dostępna gęstość mocy promieniowania słonecznego. Jest ona funkcją wielu zmiennych, zarówno intensywności promieniowania jak i współczynnika przezroczystości atmosfery oraz kąta padania promieni słonecznych na powierzchnię odbiornika, wynikającego z pozornego ruchu Słońca.

Dostosowanie kąta padania promieniowania ze względu na zysk, zapewnić można w wyniku zmian orientacji przestrzennej odbiornika (kąta β jego pochylenia do podłoża i kąta γ azymutu odchylenia od kierunku południowego). Dobre rezultaty zapewniają nawet zmiany w jednej osi.

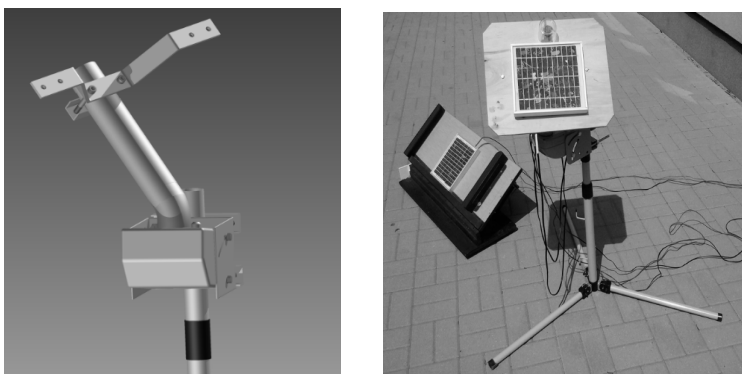
Stwierdza się, że stosowanie układów jednoosiowego pozycjonowania modułów fotowoltaicznych prowadzi do 25 % - 30 % wzrostu produkcji energii elektrycznej w cyklu rocznym, w zależności od szerokości geograficznej miejsca lokalizacji [1].

* Politechnika Poznańska.

Zagadnienie dotyczące jednoosiowej zmiany położenia modułów fotowoltaicznych analizowano w publikacjach [2-3][5-10], gdzie autorzy przedstawili projekty oraz fizyczne realizacje układów najczęściej wraz z krótkoterminową analizą ich pracy.

2. STANOWISKO POMIAROWE

Na rysunku 1 przedstawiono badany system zmiennopozycyjny. Pozycjonowanie odbiornika w jednoosiowym układzie sterowania (w osi wschód - zachód) umożliwia podążanie modułu PV za dzienną "wędrówką" Słońca po nieboskłonie (kąt $\gamma = \text{var}$). W układzie mechanicznym zastosowano obrotnicę z silnikiem DC, umożliwiającą zmianę ustawień w zakresie od 0 - 170°. Element detekcyjny stanowią 4 fotodiody w konfiguracji odwrotnie równoległej oraz fotorezystor do detekcji zmierzchu. Wbudowane gniazdo typu F umożliwia doprowadzenie sygnału z czujnika oświetlenia.



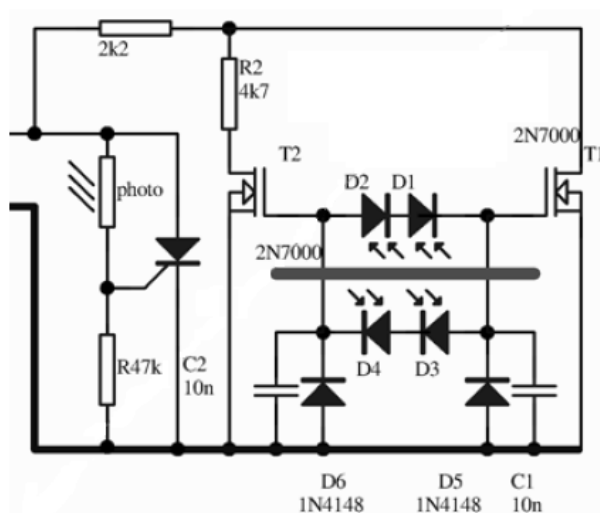
Rys. 1. Projekt oraz fizyczna realizacja układu do jednoosiowej zmiany orientacji modułu fotowoltaicznego

Wymusza to przyjęcie odpowiedniego, zgodnie z porą roku, kąta pochylenia odbiornika do podłoża ($\beta = \text{const}$). Do badań przyjęto kąt $\beta = 37^\circ$ traktowany jako optymalny w skali całego roku, wyznaczony zgodnie z algorytmem przedstawionym na rysunku 4 oraz zaimplementowanym w przygotowanym programie w środowisku Microsoft C#.

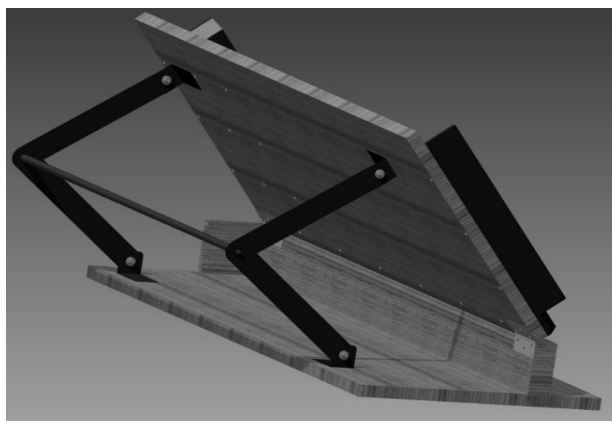
Schemat elektryczny czujnika, wraz z przegrodą optyczną, generującego sygnały o położeniu źródła promieniowania do jednostki mikroprocesorowej Atmega przedstawiono na rysunku 2.

Moduł fotowoltaiczny o tożsamy parametrach elektrycznych oraz wykonany w tej samej technologii zainstalowano w przygotowanym układzie stacjonarnym. Zmiana ustawienia płaszczyzny roboczej względem płaszczyzny horyzontalnej realizowana jest za pomocą przegubu sworzniowego. Zacisk o

zmiennej średnicy umożliwia zablokowanie położenia płaszczyzny w wybranej pozycji kątowej w zakresie $0^\circ - 90^\circ$.



Rys. 2. Schemat elektryczny fotodiodowego czujnika promieniowania słonecznego układu nadążnego jednoosiowego

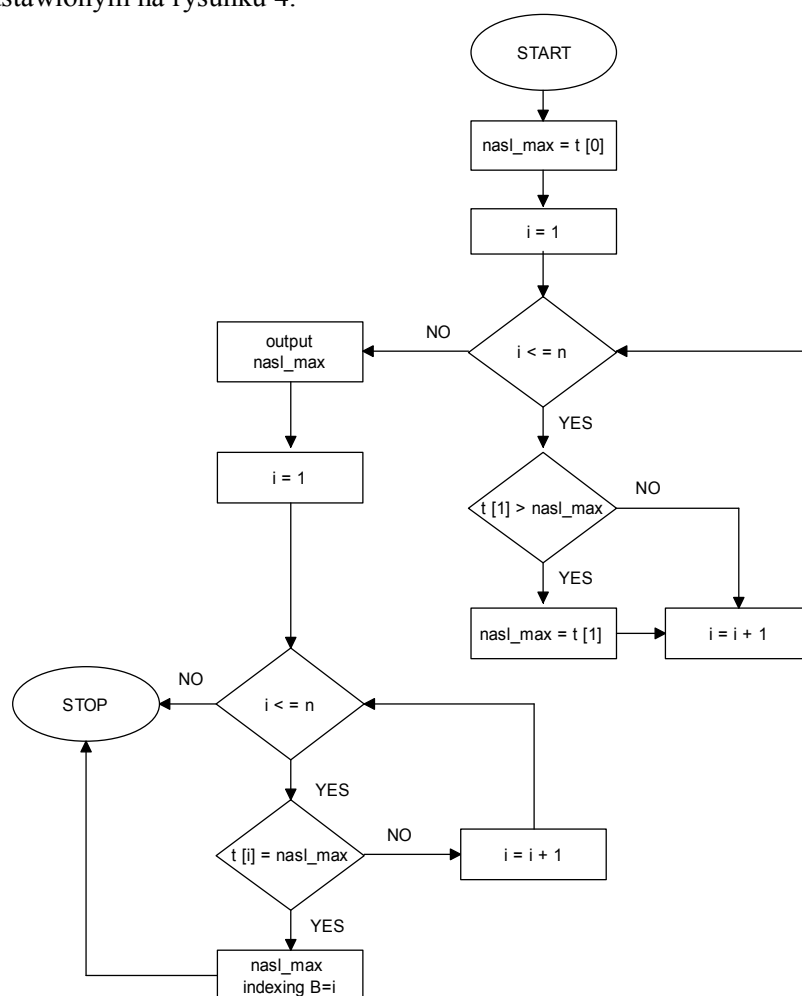


Rys. 3. Projekt konstrukcji do stacjonarnej pracy badanego modułu fotowoltaicznego

Do obliczeń energetycznych oraz przy wyznaczaniu kąta pochylenia płaszczyzny modułu w cyklu rocznym wykorzystano ciąg danych meteorologicznych stanowiący 12 - miesięczny zbiór danych, utworzony na podstawie 30 - letnich obserwacji dla analizowanej lokalizacji (Poznań, $52^\circ 25' N$, $16^\circ 51' E$). Kolejne miesiące wybierane są na podstawie porównania statystycznego pojedynczego miesiąca z wartościami wieloletnimi [4].

Wykorzystane dane zawierają między innymi sumy całkowitego, bezpośredniego i rozproszonego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchni poziomej oraz na powierzchni o orientacji północnej, wschodniej, południowej, południowo - wschodniej oraz południowo - zachodniej.

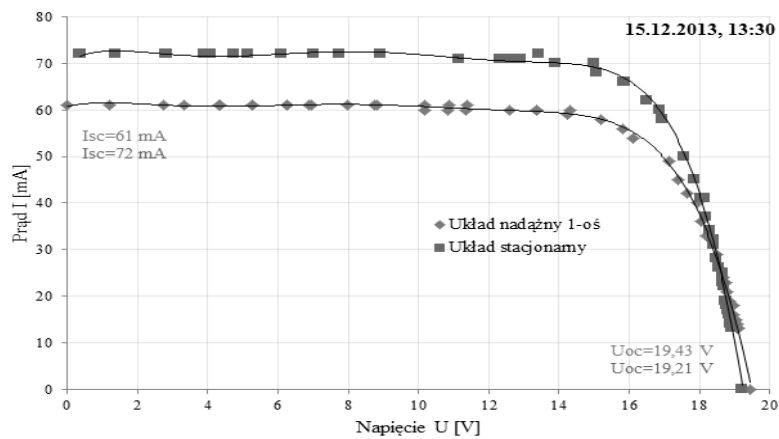
Na podstawie izotropowego modelu Liu – Jordana, opisu promieniowania słonecznego na dowolnie zorientowanej kątowno płaszczyźnie oraz danych meteorologicznych, wyznaczono wartość kąta pochylenia płaszczyzny polikrystalicznego modułu fotowoltaicznego zgodnie z algorytmem przedstawionym na rysunku 4.



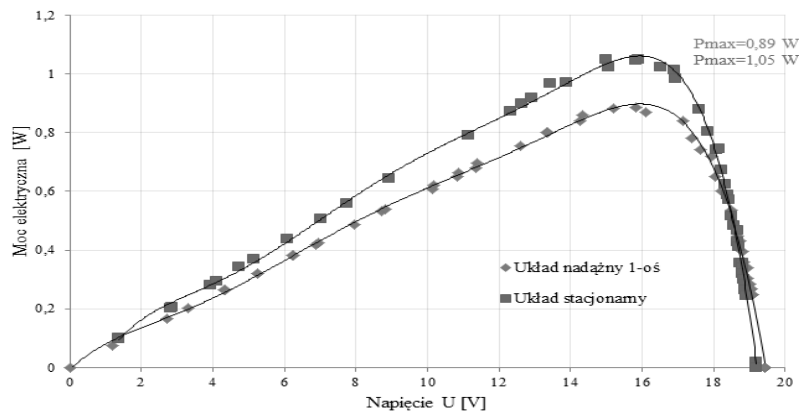
Rys. 4. Algorytm wyznaczania kąta pochylenia płaszczyzny modułu fotowoltaicznego dla danego okresu pomiarowego

3. WYNIKI POMIARÓW

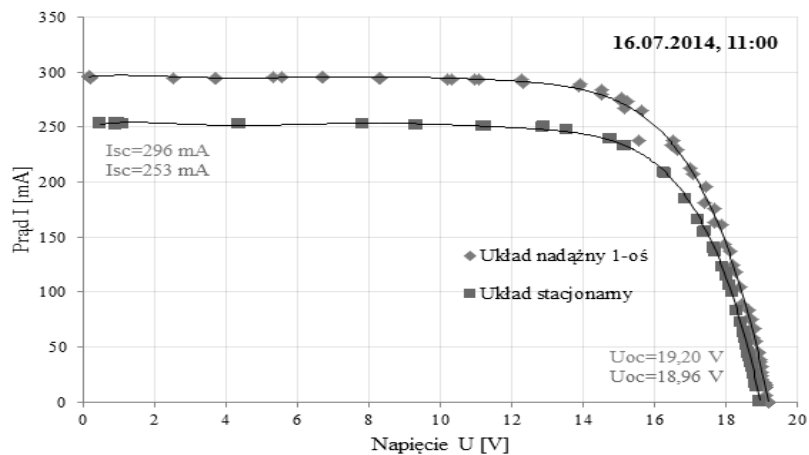
Pomiary właściwe zostały przeprowadzone w okresie od czerwca 2013 roku do lipca 2014 roku. Na podstawie uzyskanych wartości napięć i prądów dla dwóch polikrystalicznych modułów fotowoltaicznych SL005-12 o jednostkowej mocy maksymalnej $5 W_p$ wykreślono charakterystyki prądowo - napięciowe oraz charakterystyki mocy przedstawione na rysunkach 5 – 8, w warunkach silnego zachmurzenia (dzień zimowy) oraz niewielkiego pokrycia nieba chmurami (dzień letni).



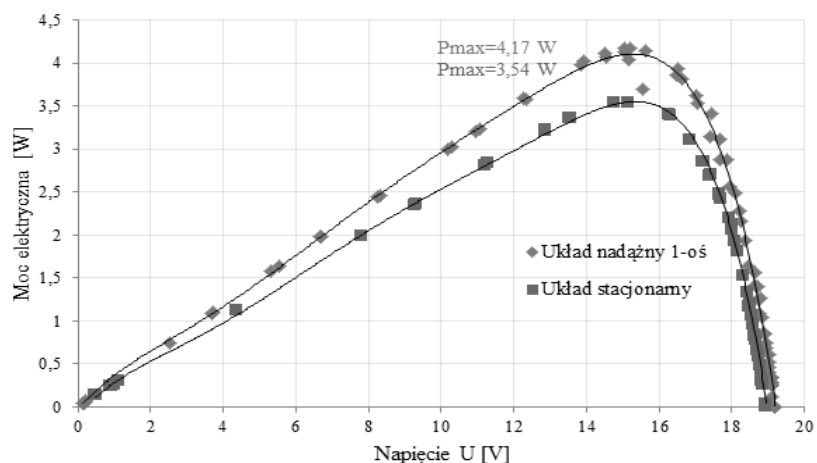
Rys. 5. Porównanie charakterystyk prądowo – napięciowych dla polikrystalicznego modułu fotowoltaicznego o mocy maksymalnej $5 W_p$ zainstalowanego stacjonarnie i nadążnie jednoosiowo, grudzień 2013 roku



Rys. 6. Porównanie charakterystyk mocy elektrycznej dla polikrystalicznego modułu fotowoltaicznego o mocy maksymalnej $5 W_p$ zainstalowanego stacjonarnie i nadążnie jednoosiowo, grudzień 2013 roku



Rys. 7. Porównanie charakterystyk prądowo – napięciowych dla polikrystalicznego modułu fotowoltaicznego o mocy maksymalnej $5 W_p$ zainstalowanego stacjonarnie i nadążnie jednoosiowo, lipiec 2014 roku



Rys. 8. Porównanie charakterystyk mocy elektrycznej dla polikrystalicznego modułu fotowoltaicznego o mocy maksymalnej $5 W_p$ zainstalowanego stacjonarnie i nadążnie jednoosiowo, lipiec 2014 roku

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie badań przeprowadzonych na specjalnie skonstruowanym stanowisku i analizy stwierdzono, że:

- Układy fotowoltaiczne w konfiguracji nadążnej umożliwiają osiągnięcie zysku energii elektrycznej, ograniczając niekorzystne czynniki jak: straty wynikające z padania promieniowania słonecznego na płaszczyznę

odbiornika pod kątem $\beta \neq 90^\circ$, osadzanie się zanieczyszczeń i kurzu, prowadzące do częściowego zacinienia ogniw, wzrost temperatury realizując zmianę położenia i zapewniając dzięki temu dodatkową wentylację.

- Wzrost generowanej mocy elektrycznej przez moduły fotowoltaiczne skutkuje także wzrostem sprawności inwerterów, które pracują najefektywniej w górnym zakresie obciążenia [11].
- Efektywność pracy układu orientowanego zależy między innymi od rodzaju pozycjonowania i sposobu detekcji źródła promieniowania, częstotliwości poruszania obiektem PV czy kąтового zakresu pracy.
- Zastosowanie algorytmu czujnikowego do detekcji kierunku promieniowania słonecznego umożliwia dokładne śledzenie położenia Słońca na niebie, jednak należy uwzględnić następujące problemy: udział promieniowania dyfuzyjnego (rozproszonego i odbitego) w całkowitym promieniowaniu słonecznym dochodzący w okresie zimowym nawet do 70 %, dla analizowanej szerokości geograficznej, niezamierzone oświetlenie wyłącznie powierzchni czujnika światłem odbitym od obiektów otoczenia, częściowe zachmurzenie powodujące załączanie elementu wykonawczego i dodatkowe zużycie energii elektrycznej.
- Stosowanie układów nadążnych w przypadku silnego zachmurzenia nieba może prowadzić do efektu „błądzenia” za Słońcem ograniczając chwilową moc elektryczną, co przedstawiono na rysunku 5 – 6, gdzie maksymalna jej wartość dla układu stacjonarnego, wynosząca 1,05 W, jest o 18 % wyższa niż analogiczna dla jednostki zmiennopozycyjnej.
- W sytuacji nieznacznego zachmurzenia nieba, pozycjonowanie w jednej osi prowadzi do sytuacji odwrotnej (Rys.7 - 8) lub nawet 23 % wzrostu chwilowej mocy elektrycznej w sytuacji czystego nieba.

LITERATURA

- [1] Dhanabal R., Bharathi V., Ranjitha R., Ponni A., Deepthi S., Mageshkannan P.: Comparison of efficiencies of solar tracker systems with static panel single - axis tracking system and dual - axis tracking system with fixed mount, International Journal of Engineering and Technology (IJET), Vol.5, No.2, 2013, 1925 – 1932.
- [2] Kais A.: A low cost single - axis sun tracker system using PIC microcontroller, Diyala Journal of Engineering Sciences, 5, 2012, 65 – 78.
- [3] Khatib T., Mohamed A., Khan R., Amin N.: A Novel Active Sun Tracking Controller for Photovoltaic Panels, Journal of Applied Sciences, 9, 2009, 4050 – 4055.
- [4] Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju. Dostępne internetowo: <https://cms.transport.gov.pl> (dostęp 20 kwietnia 2014 r.).

- [5] Poulek V., Libra M.: A very simple solar tracker for space and terrestrial applications, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 60, 2000, 99 – 103.
- [6] Poulek V., et al.: New Solar Tracker, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 51, 1998, 113 – 120.
- [7] Rokunuzzaman M., Islam M., Hossain M.: A stand-alone single axis offline PV tracker using low cost CMOS circuitry, *Proceedings of the 3rd BSME - ASME International Conference on Thermal Engineering*, 2006, 20 – 22.
- [8] Sefa I., Demirtas M., Colak I.: Application of one - axis tracking system, *Energy Conversion and Management*, 50, 2009, 2709 – 2718.
- [9] Tatu N., Alexandru C.: Mono - axis vs bi - axis tracking for a string of photovoltaic modules, *Department of Renewable Energy Systems and Recycling, International Conference of Renewable Energy and Power Quality*, 2011.
- [10] Tudorache T., Kreindler L.: Design of a solar tracker system for PV power plants, *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol.7, No.1, 23 – 29.
- [11] <http://www.freelight.eu> [dostęp 08.01.2015 r.]

OPTIMIZATION OF PHOTOVOLTAIC MODULE WORK AS A RESULT OF ONE – AXIS POSITIONING

The paper presents a discussion on increasing the efficiency of obtaining solar energy using one - axis electromechanical tracking system changing the position of the photovoltaic module according to the Sun movement. A design and implementation of a prepared stand are presented. The current - voltage and power – voltage characteristics are compared for measurements in real conditions, for fixed configuration with optimal annual tilt angle and for tracking unit.