

Grażyna FRYDRYCHOWICZ-JASTRZĘBSKA *

OPTYMALIZACJA WSPÓŁPRACY BATERII SŁONECZNEJ I SILNIKA PRĄDU STAŁEGO

Rozważono przypadek współpracy baterii słonecznej i silnika prądu stałego obcowzbudnego napędzającego wentylator [6]. Aplikacja jest również popularna w niektórych lokalizacjach przy zasilaniu pomp [2, 12]. Wzajemne dopasowanie Punktu Mocy Maksymalnej (PMM) baterii i punktu pracy odbiornika, pozwala na zwiększenie sprawności układu.

W wyniku przeprowadzonych rozważań i symulacji komputerowej wyznaczono charakterystyki modułu, krzywą opisującą zmieniającą się lokalizację PMM na charakterystyce, z uwzględnieniem wpływu poziomów nasłonecznienia i temperatury na jego współrzędne, dla zmieniającego się współczynnika wzbudzenia i uśrednionego współczynnika optymalnego, dobranego dla określonego przedziału czasu oraz – sprawność dobową konwersji energii Słońca w elektryczną i dalej – w mechaniczną.

SŁOWA KLUCZOWE: bateria słoneczna, Punkt Mocy Maksymalnej, silnik prądu stałego, gęstość mocy promieniowania słonecznego, sprawność konwersji.

1. WPROWADZENIE

Jak wykazują wyniki badań [1-14], wzajemne dopasowanie Punktu Mocy Maksymalnej PMM (*MPP – Maksimum Power Point*) na charakterystyce modułu fotowoltaicznego i punktu pracy zasilanego odbiornika można uzyskać poprzez właściwe kształtowanie obciążenia baterii słonecznej, Pozwala to na zwiększenie sprawności układu napędowego na tym odcinku, zależnie od zastosowanej metody, o wartość 5-20%, a tym samym na optymalizację jego pracy [6, 14].

Lokalizację Punktu Mocy Maksymalnej baterii słonecznej wyznaczać należy na podstawie przebiegu jej charakterystyki prądowo-napięciowej. Lokalizacja PMM zmienia się, gdyż każdy poziom nasłonecznienia odpowiada za inną charakterystykę, odnotowuje się również zależność współrzędnych PMM od temperatury [5, 6, 7, 8, 11]. Zatem optymalizowany układ wymaga stałego monitoringu warunków atmosferycznych i bezpośredniej reakcji na obserwowane zmiany w tym zakresie.

* Politechnika Poznańska

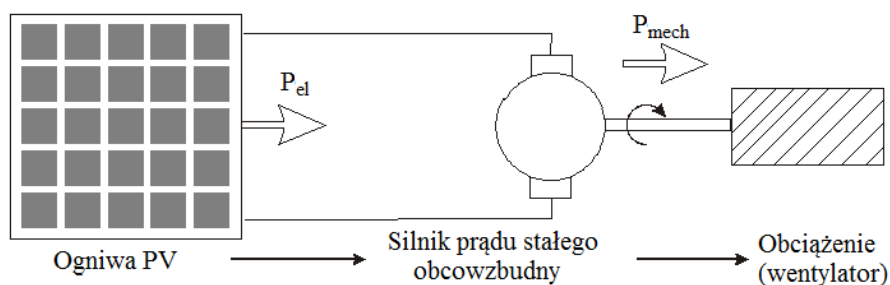
Właściwe ustalenie lokalizacji PMM na charakterystyce prądowo-napięciowej generatora fotowoltaicznego i ewentualną ingerencję w to położenie można zrealizować w wyniku zastosowania algorytmów śledzących i układów sterujących [14]. Są one wykorzystywane do maksymalizacji mocy wyjściowej PV, niezależnie od temperatury, poziomu gęstości mocy promieniowania i charakterystyki obciążenia elektrycznego we wszystkich warunkach klimatycznych, z uwzględnieniem zjawisk niepożądanych, jak np. zacienienie modułu [1, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 14]. Rolę takiego układu może pełnić falownik wyposażony w urządzenia pomiarowe i kontroler.

2. SCHEMAT IDEOWY BADANEGO UKŁADU

Dla optymalnego zaprojektowania i konstrukcji odpowiedniego układu sterującego przygotować należy opis zależności parametrów eksploatacyjnych **modułu PV** od różnych warunków pracy. W tym celu przeprowadza się analizę pracy ogniwa na podstawie schematu zastępczego. W dalszym ciągu wyznacza się charakterystykę prądowo – napięciową oraz współrzędne punktu mocy maksymalnej (PMM).

Aktualnie istnieje szereg metod teoretycznych rozwiązania tego zagadnienia, zarówno na bazie jedno - [5, 8] jak i dwudiodowego [6, 8] schematu baterii PV, począwszy od procesu iteracyjnego Newtona – Raphstona drugiego rzędu po techniki maksymalnego śledzenia mocy PMM, na przykład Perturb i Observe, Neural Network [5, 8, 10].

Na rysunku 2 pokazano schemat ideowy układu. Składają się na niego trzy elementy: bateria słoneczna, silnik prądu stałego - obcowzbudny i wentylator.

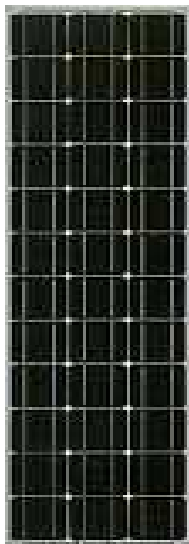


Rys. 2. Schemat badanego układu (bateria słoneczna – silnik – wentylator)

Z przedstawionych na rysunku 2 elementów, każdy ma inne charakterystyki pracy. Największą zmienność wykazują charakterystyki baterii ogniw słonecznych [7, 13].

Na potrzeby dalszej analizy i badań symulacyjnych przyjęto:

- Baterię słoneczną Siemens SM50-18 o przedstawionych dalej parametrach



- liczba ogniw 36,
- wymiary panelu 1,293 m x 0,329 m,
- $P_{\max}/P_{\min} = 50/45$ W,
- $I = 3,05$ mA,
- $V = 16,6$ V,
- $I_{SC} = 3,4$ A,
- $V_{OC} = 21,4$ V,
- rezystancja równoległa $R_R = 13 \Omega$,
- rezystancja szeregową $R_S = 13,81 \Omega$,
- stałe charakterystyczne ogniwa
odpowiednio $c_1 = 3,0600 \text{ m}^3/\text{V}$, $c_2 = 0,1790 \mu\text{m}^2/(\text{V}\cdot\text{K})$,
 $\alpha_{s1} = 170,8 \text{ A}\cdot\text{K}^{-3}$, $\alpha_{s2} = 18,8 \text{ mA}\cdot\text{K}^{-5/2}$,
- współczynniki korekcyjne, uwzględniające odchyłkę
od uproszczonej teorii złącza p-n, odpowiednio
 $m_1 = 1,00$, $m_2 = 2,00$.

- Silnik prądu stałego PZM644a:
 - moc znamionowa $P_n = 1500$ W,
 - napięcie znamionowe $U_n = 220$ V,
 - prąd znamionowy $I_n = 8,6$ A,
 - prędkość obrotowa znamionowa $n_n = 1500$ obr/min.
- Wentylator:
 - moc znamionowa $P_n = 750$ W,
 - stała wentylatora $B = 30 \cdot 10^{-6} \text{ Nms}^2$,
 - prędkość znamionowa $n_n = 2770$ obr/min.

3. MODEL MATEMATYCZNY BADANEGO UKŁADU

Charakterystykę prądowo – napięciową według modelu dwudiodowego opisano w [6], chociaż możliwa jest również interpretacja jednodiodowa przy zaopiniowaniu właściwej dokładności rozwiązania [4, 8].

W pracach [4, 6] wyznaczono charakterystyki prądowo – napięciowe modułu słonecznego, dla poszczególnych wartości nasłonecznienia, dla rekomendowanych dni roku, wybranej szerokości geograficznej i odpowiadające im punkty mocy maksymalnej (PMM).

Zmiany nasłonecznienia implikują zmiany energii słonecznej docierającej do ogniwa, w wyniku czego PMM zmienia swoje położenie na charakterystyce [1, 3, 5, 6, 11].

Model matematyczny układu opisano za pomocą równań (1) - (16).

Przy pominięciu oddziaływania twornika i spadku napięcia pod szczotkami, równanie napięciowe silnika prądu stałego obcowzbudnego ma postać [6]:

$$U = E + R_t I \quad (1)$$

gdzie:

U – przyłożone napięcie,

E – siła elektromotoryczna indukowana w silniku,

R_t – rezystancja twornika, I – prąd.

Występująca w równaniu siła elektromotoryczna jest funkcją prędkości obrotowej ω silnika i współczynnika c wzbudzenia, który jest jednocześnie współczynnikiem „dopasowania” odbiornika do źródła, tzn. odpowiada za zapewnienie pracy układu w pobliżu kolejnych punktów mocy maksymalnej (PMM) ogniwa. Wielkość c jest jednocześnie stałą napięciową (funkcja parametrów konstrukcyjnych silnika i strumienia wzbudzenia) [6]:

$$E_0 = c\omega \quad (2)$$

ω – prędkość kątowna silnika

Przy ograniczeniu strat w silniku wyłącznie do tych wynikających z przepływu prądu przez rezystancję uzwojenia twornika, zależność na moc silnika można zapisać:

$$P_m = U \cdot I - I^2 R_t \quad (3)$$

Moment obrotowy T wentylatora opisany jest równaniem:

$$T = B \cdot \omega^2 \quad (4)$$

przy czym: B – stała obciążenia wentylatora.

Korzystając z modelu dwudiodowego opisano równaniami charakterystyki prądowo - napięciową i mocy [6].

Dla charakterystyki prądowo - napięciowej określono PMM. Krzywą łączącą zbiór kolejnych takich punktów w ciągu rozpatrywanego czasookresu dnia opisano równaniem aproksymującym:

$$U_{PMM} = k \cdot I_{PMM}^\alpha \quad (5)$$

gdzie:

U_{PMM} , I_{PMM} – współrzędne punktu mocy maksymalnej na charakterystyce prądowo-napięciowej,

k i α – współczynniki aproksymacji, dobrane w taki sposób, aby równanie (5) opisywało kolejne położenia rozpatrywanego punktu,

α , k – współczynniki te dobierane są dla każdego modułu,

gdzie:

U_{PMM} , I_{PMM} – współrzędne punktu mocy maksymalnej na charakterystyce prądowo - napięciowej.

W dalszym ciągu, poprzez przyrównanie pochodnej mocy silnika względem współrzędnej prądowej do zera, wyznaczono wartość natężenia prądu odpowiadającą maksimum mocy:

$$\frac{dP_m}{dI} = 0 \quad (6)$$

Stąd wartość prądu wynosi:

$$I = \frac{U}{2 \cdot R_t - U'} \quad (7)$$

Jeżeli w równaniu (7) przyjmując założenie, że $R_t = 0$, to:

$$I = \left(\frac{U}{-U'} \right) \quad (8)$$

W tym wypadku dla dowolnego punktu charakterystyki, włączając PMM, można zapisać:

$$(-U')_{PMM} = \left(\frac{U_{PMM}}{I_{PMM}} \right) \quad (9)$$

Przy uwzględnieniu $(-U') \approx (-U')_{PMM}$:

$$I = I_{PMM} + \Delta I \quad (10)$$

uzyskano:

$$I = \frac{U}{2 \cdot R_t + \frac{U_{PMM}}{I_{PMM}}} \quad (11)$$

$$U = U_{PMM} + \Delta U \quad (12)$$

gdzie:

$$\Delta U = U' \Delta I = \frac{-U_{PMM}}{I_{PMM}} \Delta I \quad (13)$$

Reasumując, wyznaczono i opisano równaniami (14) i (15) wartości prądu i napięcia, nadążające za zmianami parametrów zasilania silnika przez baterię słoneczną [6]:

$$I = \frac{k \cdot I_{PMM}^\alpha}{R_t + k I_{PMM}^{\alpha-1}} \quad (14)$$

oraz:

$$U = U_{PMM} \frac{2 \cdot R_t + k \cdot I_{PMM}^{\alpha-1}}{R_t + k \cdot I_{PMM}^{\alpha-1}} \quad (15)$$

Współczynnik c określono w taki sposób, aby moc P_m przyjmowała wartości możliwie zbliżone do wartości mocy w PMM. Pozwala to dobrać optymalne warunki pracy silnika obcowzbudnego prądu stałego, napędzającego wentylator. W celu jak najlepszego wykorzystania energii słonecznej, wartość mocy dostarczanej do silnika powinna być jak najbardziej zbliżona do mocy uzyskiwanej w punkcie mocy maksymalnej ogniwa słonecznego. Ponieważ na każdej kolejnej charakterystyce prądowo – napięciowej wartość ta jest inna krzywa (1) na

rysunku 3, tak należy „sterować” stałą c z równania (16), aby uzyskać możliwie daleko idącą zgodność charakterystyki prądowo – napięciowej silnika i krzywej opisującej kolejne położenia PMM.

Wyznaczona na podstawie powyższych zależności wartość c dla silnika prądu stałego obcowzbudnego przyjmuje wartość opisaną równaniem (16):

$$c = B^{1/3} k^{2/3} I_{PMM}^{(2\alpha-1)/3} \quad (16)$$

Zgodnie z tym równaniem, zmiany wzbudzenia silnika obcowzbudnego opisane są z jednej strony poprzez parametry ogniwa, z drugiej strony obciążeniem.

Na podstawie przeprowadzonej analizy dobrano współczynnik wzbudzenia i optymalne wartości U i I , które „nadażają” za zmianami parametrów zasilania silnika przez moduł PV [6]. Wyznaczone wartości są zarówno funkcjami stałych k i α jak i współrzędnych punktu mocy maksymalnej U_{PMM} , I_{PMM} i rezystancji wirnika R_t .

Współczynnik c , określony wzorem (16) pozwala na określenie wartości napięcia i prądu w warunkach optymalnej pracy silnika.

Warunki nasłonecznienia zmieniają się w każdej chwili [7,13], stąd nie jest możliwa optymalna praca silnika pracował przez cały dzień bez odpowiedniego trackera ze śledzeniem nadażnym, a to zwiększa koszty inwestycji. W prostych systemach, w praktyce, wyznacza się zatem wartość wzbudzenia uśrednioną (średnią ważoną) dla określonego przedziału czasowego. Taki dobór współczynnika z reguły zapewnia wymaganą dokładność i optymalizację pracy, przy jednoczesnym ograniczeniu liczby zmian współczynnika wzbudzenia.

Średni współczynnik wzbudzenia dla przedziału czasu (średnia ważona):

$$c_{opt} = \frac{\sum_1^n c_i \cdot P_i}{\sum_1^n P_i} \quad (17)$$

gdzie:

c_i – współczynnik optymalny c dla możliwych w danej chwili warunków zasilania z modułu fotowoltaicznego,

P_i – moc mechaniczna, odpowiadająca tym warunkom.

Systemy bardziej skomplikowane wyposażone są w mniej lub bardziej rozbudowane układy sterujące [14].

4. WYNIKI SYMULACJI

Na podstawie rozważań teoretycznych i wyprowadzonych zależności przeprowadzono symulację komputerową optymalizacji pracy układu bateria PV – silnik obcowzbudny prądu stałego wentylator. Warunki pracy układu powinny

być tak dobrane, aby układ pracował w pobliżu lokalizacji PMM na charakterystyce prądowo – napięciowej.

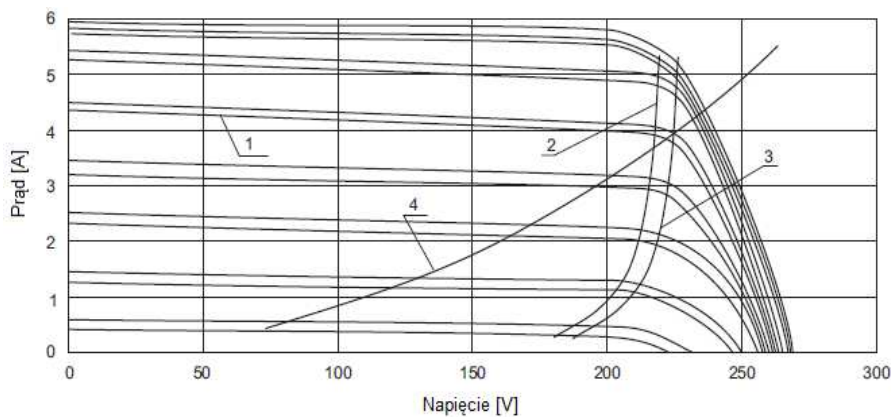
W symulacji komputerowej uwzględniono dwa warianty rozwiązania, dla:

- zmieniającego się współczynnika wzbudzenia,
- dla współczynnika optymalnego, dobranego dla określonego przedziału czasu.

Wyznaczono dla nich sumy dzienne energii promieniowania słonecznego.

Symulację przeprowadzono dla szerokości geograficznej lokalizacji Warszawy, uwzględniono nasłonecznienie, różne kąty: deklinacji, czasowy, kąt azymutu i pochylenia odbiornika energii słonecznej, a także różne czasokresy działania układu. Na tej podstawie wyznaczono charakterystyki ogniwa, krzywą opisującą kolejne położenia PMM, a także sprawność dobową konwersji energii słonecznej w elektryczną i dalej w mechaniczną (pominięto straty w silniku). Jak widać, osiągnięta sprawność jest wysoka, szczególnie dla zmieniającego się z każdym poziomem nasłonecznienia (var) współczynnika wzbudzenia (17).

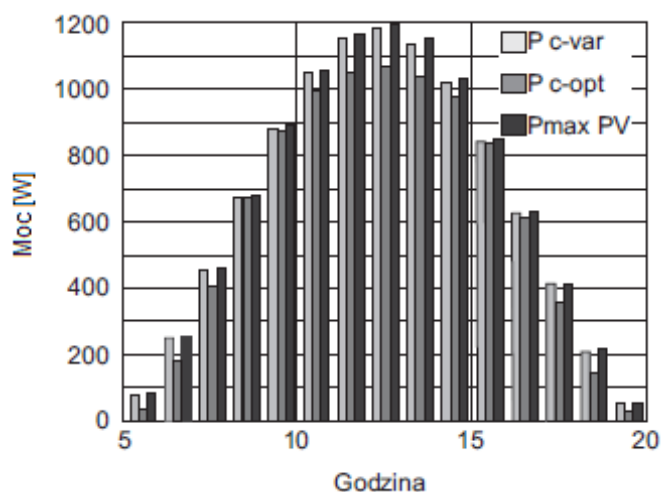
Na rys. 3 przedstawiono graficznie przykładowe wyniki symulacji dla modułu SM 50, w wybranym dniu rekomendowanym 11 czerwca, dla lokalizacji miasta Warszawa, optymalnego kąta pochylenia odbiornika dla rozpatrywanego dnia, przy kącie azymutu $\gamma = 0^\circ$. Przyjęto godziny współpracy elementów układu na zakres czasowy od godz. 5 do 20. Wartość uśrednionego współczynnika w tym dniu wynosi $c_{sr} = 0,726$.



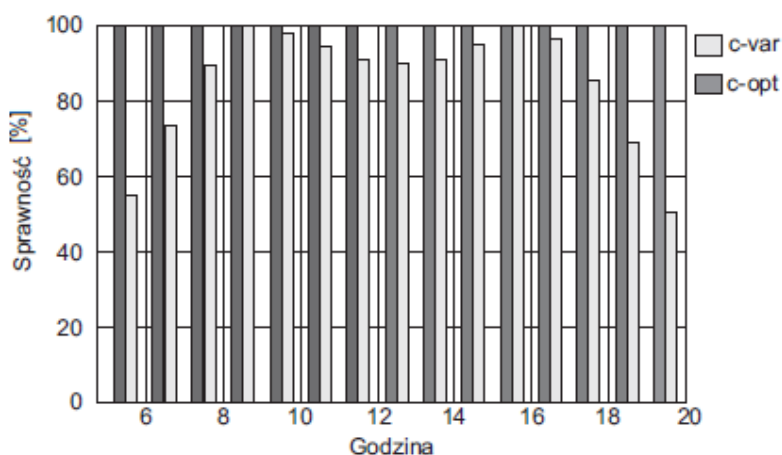
Rys. 3. Charakterystyki prądowo – napięciowe modułu SM 50 dla różnych wartości nasłonecznienia (1), krzywa opisująca kolejne położenie PMM (2), charakterystyka silnika dla zmieniającego się współczynnika c wzbudzenia (3), charakterystyka silnika dla stałego współczynnika c_{opt} wzbudzenia (optymalnego) (4), dla rekomendowanego dnia czerwca w Warszawie

Na rysunku 4 zamieszczono diagramy słupkowe mocy silnika przy uwzględnieniu współczynnika zmieniającego się, współczynnika uśrednionego optymalnego i porównano z mocą maksymalną.

Rysunek 5 przedstawia odpowiadające wartościom mocy z rysunku 4 sprawności konwersji energii elektrycznej w mechaniczną w funkcji godzin dnia.



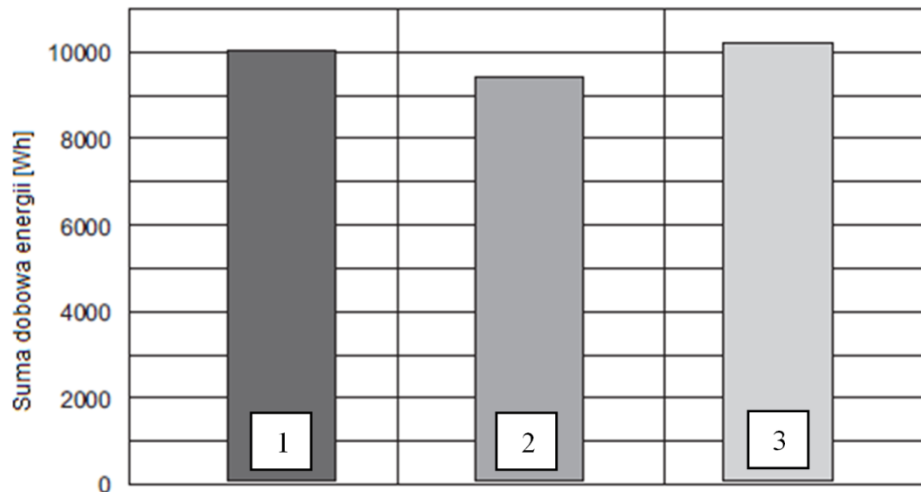
Rys. 4. Moc silnika w funkcji godzin dnia



Rys. 5. Sprawność konwersji energii elektrycznej w mechaniczną w funkcji godzin dnia

Sumy dziennej energii, w przypadku zmieniającego się współczynnika wzbudzenia c i dobranej optymalnie uśrednionej dla ustalonego przedziału czasu w stosunku do sumy dziennej energii możliwej do pozyskania z danego modułu (Siemens SM 50) w danych warunkach i w rozpatrywanym dniu rekomendowanym zilustrowano porównawczo na rysunku 6.

Bateria słoneczna może też współpracować z silnikiem indukcyjnym, w układzie musi jednak znajdować się falownik. Przypadki takiego współdziałania dla różnych układów napędowych opisano w pracy [9].



Rys. 6. Zestawienie porównawcze energii Słońca, docierającej do odbiornika w ciągu doby; objaśnienia: suma energii w przypadku zmieniającego się współczynnika c (1), suma energii dla dobraneo optymalnie współczynnika c o wartości uśrednionej $c_{sr} = 0,726$. (2) i możliwa do pozyskania, dla ustalonego przedziału czasu, energia z danego modułu (Siemens SM 50) w danych warunkach i w rozpatrywanym dniu rekomendowanym (3)

5. PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych rozważań i symulacji komputerowej stwierdzono, jak poniżej.

W rozpatrywanym układzie możliwe byłoby osiągnięcie sprawności nawet rzędu 99%, przy zastosowaniu układu regulacji wzbudzenia, umożliwiającego sterowanie pracą silnika w taki sposób, aby zmiana wzbudzenia następowała każdorazowo w następstwie zmiany gęstości mocy promieniowania. Praca odbywałaby się w swego rodzaju "układzie nadążnym". Łatwiejszy do realizacji system (bez ciągłego dopasowywania zmian wzbudzenia) nie pozwala na osiągnięcie tak dużej sprawności współpracy baterii i silnika.

W praktyce stosuje się układy z uśrednianiem współczynnika wzbudzenia silnika w zakresie nawet kilku miesięcy. W takim przypadku (c_{opt}) sprawność układu osiąga najwyższe wartości w godzinach charakteryzujących się średnim nasłonecznieniem w ciągu dnia.

Wartości współczynnika wzbudzenia są mniejsze dla godzin charakteryzujących się większą gęstością mocy promieniowania słonecznego, docierającego do

odbiornika, należy przy tym uwzględnić wpływ temperatury modułów na ich pracę.

W przypadku ograniczenia czasu pracy rozpatrywanego układu do przykładowo zakresu godzin 8-14 (mniejsze zróżnicowanie nasłonecznienia), sprawność w funkcji optymalnego współczynnika wzbudzenia osiągnie wartość zbliżoną do analogicznej przy dopasowywaniu współczynnika dla każdej godziny. Podobnie jest również w przypadku skrócenia zakresu czasowego w skali roku.

Gdy poszczególne moduły, z powodu np. defektów technologicznych (rozbieżności tego rodzaju mogą stanowić od -0,9% do +1,25%), względnie zaciemnienia, nie pracują w PMM i pojawia się niedopasowanie, całkowita moc maksymalna dostarczana przez **generator fotowoltaiczny** będzie zawsze mniejsza od sumy maksymalnych mocy poszczególnych modułów, ponieważ niektóre z nich będą pracować poniżej swoich punktów mocy maksymalnej. Wymagany jest wówczas odrębny monitoring każdego z modułów.

Realizację śledzenia PMM korzystnie jest prowadzić przy użyciu mikrokontrolera.

Korzyści będące efektem monitoringu i sterowania szacować można wyłącznie w aspekcie energetycznym. Oszczędności wynoszą od 3-7% całkowitej produkcji energii modułu. Należy je jednak pomniejszyć o koszt elektroniki zintegrowanej z instalacją PV.

Jak podają przedstawiciele Texas Instruments, upowszechnienie opisanego rozwiązania może nastąpić wówczas, kiedy koszt monitoringu i sterowania zintegrowanego z modułem nie przekroczy ceny 30 dolarów.

LITERATURA

- [1] Bimenyimana S., Asemota G.N.O., Lingling L., Maximum Power Point Performance Tracking Comparison between Incremental Conductance with Perturb and Observe Algorithms in Photovoltaic Power Systems, 2nd Intern. Conference on Power and Renewable Energy pp. 31–36, 2017.
- [2] Dursun M., Yilmaz E., Design and Application of Internet Based Solar Pump and Monitoring System. Journal of Applied Sciences Volume 8, Issue 16, pp.2859-2866, ISSN 1812-5662, 2008.
- [3] Gupta A., Chauhan Y.K., A comparative investigation of maximum power point tracking methods for solar PV system, Solar Energy, Volume 136, pp. 236–253, ISSN 0038-092X, 2016.
- [4] Husain, M.A., Tariq, A., Hameed, S., Arif, M.S.B. and Jain, A., Comparative assessment of maximum power point tracking procedures for photovoltaic systems. Green Energy & Environment, pp.1–13, ISSN 2468- 0257, 2016.
- [5] Islam H., Mekhilef S., Shah N.B.M., Soon T.K., Seyedmahmousian M., Horan B., Stojcevski A., Review Performance Evaluation of Maximum Power Point Tracking Approaches and Photovoltaic Systems, Energies 11, Volume 365; pp. 1–24, ISSN 1996-1073, 2018.

- [6] Jastrzębska G., Ogniwa słoneczne. Budowa, technologia i zastosowanie, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, wydanie 1, ISBN 978-83-206-1847-1, Warszawa, 2013.
- [7] Jastrzębska G., Energia ze źródeł odnawialnych I jej wykorzystanie, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, wydanie 1, ISBN 978-83-206-1983-6, Warszawa, 2017.
- [8] Jordehi R. A., Maximum power point tracking in photovoltaic (PV) systems: A review of different approaches, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 65, pp. 1127–1138, ISSN: 1364-0321, 2016.
- [9] Kolano K., Kolano J., Problemy rozruchu układów napędowych prądu przemiennego zasilanych z baterii ogniw fotowoltaicznych, *Zeszyty Problemowe, Maszyny Elektryczne*, Volume 82, s. 1–6, ISSN 0239-3646, 2009.
- [10] Ram, J.P., Babu, T.S. and Rajasekar, N., A comprehensive review on solar PV maximum power point tracking techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 67, pp. 826–847, ISSN 1364-0321, 2017.
- [11] Sona P., T. Ramachandran T., Solar PV Analysis with MPPT and DC Motor Application, *Journal of Engineering Research and Application*, Volume 8, Issue 7 (Part -III), pp. 35–39, ISSN 2248-9622, 2018.
- [12] Jucá S. C. S., Carvalho P.C.M., Brito F.T., A Low Cost Concept for Data Acquisition Systems Applied to Decentralized Renewable Energy Plants, *Sensors*, Volume 11, pp. 743–756, ISSN 1424-8220, 2011.
- [13] Stapiński T. i inni, Materiały i metody optymalizacji budowy ogniw i paneli fotowoltaicznych, Agencja TOP, Redakcja cyfrowa, ISBN 978-83-63179-17-5, Kraków 2014.
- [14] Trzmiel G., Układy śledzące punkt maksymalnej mocy w inwerterach stosowanych w instalacjach fotowoltaicznych, Poznań, University of Technology Academic Journals *Electrical Engineering* N^o 87, ss. 23–35, 2016.

OPTIMIZATION OF SOLAR BATTERY AND DC MOTOR COOPERATION

A case of solar battery and DC motor cooperation has been considered. The application is also popular for powering the pumps. Mutual adaptation of the Maximum Power Point (MPP) of the battery and the operating point of the receiver allows to increase the efficiency of the system.

The complex analysis and computer simulations allowed to determine the PV module characteristics, and the curve describing the changing location of PMM on the characteristic, taking into account the influence of sunlit levels and temperature on its coordinates, for the changing excitation coefficient and the average optimal coefficient chosen for a given time interval, and - daily efficiency Conversion of solar energy into electric and further - into mechanical energy.

(Received: 28.01.2019, revised: 05.03.2019)

