

Koncepcja stanowiska badawczego z maszyną elektryczną zasilaną z układu wyposażonego w moduły PV

Krzysztof Piech, Andrzej Bień, Janusz Teneta, Jarosław Kozik

1. Wstęp

Systemy fotowoltaiczne wykorzystujące w swej pracy efekt fotoelektryczny, dzięki któremu możliwa jest konwersja energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną, stają się obecnie coraz bardziej powszechne w zastosowaniach indywidualnych, jak i komercyjnych. Naturalne jest upowszechnianie się tej formy wytwarzania energii elektrycznej, która jest dostępna lokalnie i nie grozi jej wyczerpanie się zasobu, którym jest Słońce. W tabeli znajdującej się na kolejnej stronie (tabela 1) przedstawiono moc osiągalną netto (w [MW]) źródeł wytwarzania energii elektrycznej w Polsce wg zastosowanej technologii w latach 2005–2040. Dane bazują na stanie rzeczywistym (do 2015 roku włącznie) i prognozach zawartych w drugim załączniku analitycznym do „Krajowego planu na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030” (KPEiK), opracowanym przez Ministerstwo Energii. Z poniższego zestawienia wynika, iż fotowoltaika w Polsce w najbliższych latach będzie się mocno rozwijała [2, 3].

Moc osiągalna netto źródeł wytwarzania energii elektrycznej z systemów wyposażonych w moduły fotowoltaiczne w 2015 roku w Polsce wynosiła 108 [MW], według szacunków wykonanych przez Ministerstwo Energii, w 2040 roku wyniesie ona aż 15 671 [MW], czyli będzie to największy i najbardziej dynamiczny wzrost wśród wszystkich źródeł wytwórczych dostępnych w naszym kraju. Taki stan wiąże się z koniecznością instalowania kolejnych źródeł PV, tych dużych, czyli elektrowni słonecznych, jak również mniejszych jednostek, dostępnych lokalnie przy gospodarstwach domowych czy zakładach pracy [5, 7, 8].

Zwiększona ilość instalacji PV w Polsce, jak również ogólnoświatowy wzrostowy trend branży fotowoltaicznej potwierdzają zasadność podejmowanych badań nad wykorzystaniem energii elektrycznej pochodzącej z promieniowania słonecznego w celu zasilania maszyn elektrycznych [1, 9, 10]. Proponowana koncepcja stanowiska badawczego wykorzystującego powyższe założenia została zaprezentowana w niniejszym artykule.

2. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko będzie się składać z około dziesięciu różnych modułów PV o łącznej mocy oscylującej w granicach 2500–3000 [Wp]. Instalacja modułów fotowoltaicznych odbędzie się w odpowiednim środowisku pomiarowym, aby możliwe było stworzenie dedykowanej infrastruktury przepływu i agregacji informacji. Funkcjonalność ta zostanie uzyskana dzięki zastosowaniu optyimizerów mocy dla każdego badanego modułu.

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję stanowiska badawczego z maszyną elektryczną zasilaną z układu wyposażonego w moduły PV. Stanowisko zakłada połączenie modułów fotowoltaicznych o łącznej mocy 2,5–3 kWp w specjalnie skonfigurowaną sieć. Do tego celu wykorzystane będą optyimizery mocy, które wraz z falownikiem stworzą indywidualny system pomiarowy. Na rynku dostępnych jest wiele rozwiązań konstrukcyjnych zarówno dla modułów fotowoltaicznych, jak i maszyn elektrycznych. Prowadzone badania będą miały na celu dobór optymalnie współpracujących ze sobą elementów systemu. Przewiduje się realizację następujących etapów prac: zestawienie kilku różnych technologicznie modułów PV w jeden system pomiarowy; podłączenie każdego modułu do optyimizera mocy i kolejno do falownika; skonstruowanie systemu pomiarowego umożliwiającego agregację danych i wgląd w pracę indywidualnych modułów poprzez stworzony w tym celu specjalny system online, umożliwiający ciągły dostęp i analizę pracy; pomiar parametrów i charakterystyki pracy maszyny elektrycznej zasilanej z proponowanego układu; porównanie uzysków energetycznych z poszczególnych modułów; zestawienie danych pomiarowych pracy maszyny elektrycznej i odniesienie ich do pracy tej samej maszyny zasilanej ze standardowej sieci elektroenergetycznej; analiza uzyskanych danych.

THE CONCEPT OF TEST STAND WITH ELECTRIC MACHINE POWERED FROM A SYSTEM WITH A PV MODULES

Abstract: The article presents the concept of a test stand with an electric machine powered from a system equipped with PV modules. The stand assumes connecting PV modules with a total power of 2,5–3 kWp in a specially configured network. For this purpose, power optimizers will be used, which together with the inverter will create an individual measurement system. There are many construction solutions available on the market for both photovoltaic modules and electric machines. The conducted research will aim to select optimally cooperating elements of the system. The following stages of works are planned: combining several technologically different PV modules into one measuring system; connection of each module to the power optimizer and successively to the inverter; constructing a measurement system enabling aggregation of data with insight into the operation of individual modules with access to online system created for this purpose; measurement of parameters and characteristics of the operation of the electric machine fed from the proposed system; comparison of energy output from the individual modules; compilation of measurement data of the operation of the electric machine with comparison to the operation of the same machine supplied from the standard power grid; analysis of the obtained data.

Tabela 1. Moc osiągalna netto (podana w MW) źródeł wytwarzania energii elektrycznej wg zastosowanej technologii [3]

	2005	2015	2025	2040
EL_WB_Stare	8197	8643	7180	1030
EL_WB_Nowe	0	0	448	448
EL_WK_Stare	14 613	13 617	11 094	1744
EL_WK_Nowe	0	0	4434	4434
EL_Gaz	0	0	536	3561
EL_Jądrowe	0	0	0	5200
EL_Wodne	1064	964	1039	1289
EL_Pompowe	1256	1405	1405	1405
EC_Przemysłowe	6140	1925	1869	1959
EC_WK		4046	3973	3196
EC_Gaz	760	928	3177	4625
EL i EC_Biomasa	102	553	769	1572
EC_Biogaz		216	383	621
EL_Wiatr	121	4886	7822	11399
Fotowoltaika	0	108	3567	15 671
Turb.gaz./Zimna rez./Impor	0	0	0	4509
Razem	32 253	37 290	47 695	62 662

W celu analizy poszczególnych modułów PV każdy musi być wyposażony w jeden dedykowany optyimizer. Urządzenia te monitorują efektywność pracy poszczególnych paneli, dzięki ich zastosowaniu możliwe staje się pomiar parametrów elektrycznych na poziomie pojedynczego modułu. Łącząc poszczególne optyimizery, wykonalne będzie zbudowanie infrastruktury badawczej pozwalającej na prowadzenie kompleksowych pomiarów. Urządzenia te posłużą jako rozszerzenie do istniejącej już infrastruktury badawczej składającej się z sieci optyimizatorów i falowników, dzięki której możliwe będzie zbudowanie nowego, niezależnego stanowiska badawczego, wyposażonego w odpowiednio dobraną maszynę elektryczną.

Do realizacji zadań projektu wykorzystane będą moduły różniące się konstrukcją, materiałami, technologią wykonania, jak również parametrami elektrycznymi. W badaniach można uwzględnić m.in. moduły:

- monokrystaliczne;
- polikrystaliczne;
- posiadające białe i czarne backsheety;
- moduły dwustronne;
- PERC;
- wykonane z krzemu mikrokrystalicznego;
- barwnikowe;
- wielozłącznikowe;
- wykonane w technologii HIT.

Dywersyfikacja taka pozwoli na szeroką analizę parametrów energetycznych dostępnych aktualnie na rynku rozwiązań. Wśród producentów badanych modułów znajdują się firmy będące światowymi liderami w produkcji modułów fotowoltaicznych.

Cały układ wyposażony będzie dodatkowo w pyranometr, czyli instrument służący do pomiaru hemisferycznego

promieniowania całkowitego, rozproszonego i odbitego, czyli całego widma światła słonecznego. Pyranometr mierzy irradancję, tj. strumień przychodzącej energii słonecznej podawany w watach na metr kwadratowy. Urządzenia te wymagają cyklicznej kalibracji. Jest ona potrzebna ze względu na stopień wiarygodności dokonywanych pomiarów pracy modułów PV. W celu przeprowadzenia rzetelnej agregacji danych w projektach badawczych wymaga się kalibracji co dwa lata.

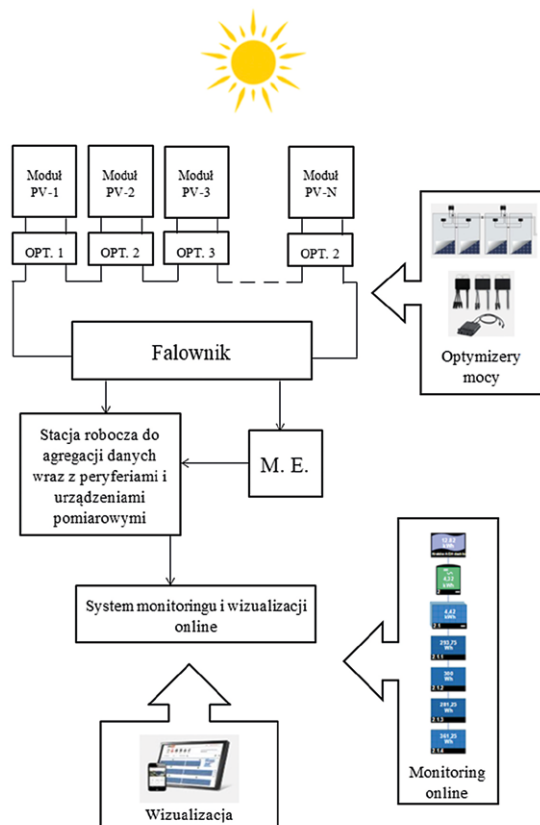
W pracach przewiduje się również zbudowanie systemu akwizycji danych, umożliwiającego zdalny pomiar parametrów pracy każdego modułu PV z osobna, jak również ciągły podgląd parametrów pracy badanej maszyny elektrycznej.

3. Metodyka badawcza

Trwają prace przygotowawcze, mające na celu zbudowanie stanowiska pomiarowego do badania wpływu zasilania maszyn elektrycznych energią elektryczną, pochodzącą z układu fotowoltaicznego zdywersyfikowanego pod kątem różnych rozwiązań technologicznych modułów PV. Uproszczony schemat ideowo-blokowy został przedstawiony na rysunku 1. Metodyka badawcza zakłada zestawienie kilku modułów fotowoltaicznych różniących się od siebie technologią wykonania, konstrukcją, jak również parametrami elektrycznymi [6, 8]. Każdy moduł wystawiony będzie na promieniowanie słoneczne w tym samym czasie i w tej samej lokalizacji.

W przeprowadzaniu badań uwzględnia się następujące kroki:

- zestawienie kilku różnych technologicznie modułów PV w jeden system pomiarowy;
- podłączenie każdego modułu do optyimizera mocy i kolejno do falownika;
- dzięki zastosowaniu sieci połączeń modułów opartych o optyimizery mocy możliwe będzie skonstruowanie systemu pomiarowego umożliwiającego agregację danych i wgląd



Rys. 1. Uproszczony schemat ideowo-blokowy stanowiska badawczego
 Moduł PV – moduł fotowoltaiczny; M.E. – maszyna elektryczna;
 OPT. – optymizer mocy

w pracę indywidualnie dla każdego modułu działającego w obrębie zbudowanej architektury;

- pobieranie danych oddzielnie dla każdego modułu poprzez stworzony w tym celu specjalny system online, umożliwiający ciągły dostęp i analizę pracy;
- pomiar parametrów i charakterystyki pracy maszyny elektrycznej zasilanej z proponowanego układu wyposażonego w moduły PV;
- porównanie uzysków energetycznych z poszczególnych modułów w odniesieniu do jakości dostawy energii elektrycznej [4, 5, 6];
- odniesienie wyników pomiarów do wskazań pyranometrów mierzących irradancję, czyli strumień przychodzącej energii słonecznej (podawaną w watach na metr kwadratowy);
- porównanie warunków pracy poszczególnych modułów z uwzględnieniem danych pochodzących z pyranometrów obrazujących tło pogodowe;
- zestawienie danych pomiarowych z pracy maszyny elektrycznej i odniesienie ich do pracy tej samej maszyny zasilanej ze standardowej sieci elektroenergetycznej;
- przeprowadzenie obliczeń w środowiskach Matlab i Microsoft Office w celu analizy danych pomiarowych, jak również ich graficznej reprezentacji.

4. Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono koncepcję stanowiska badawczego z maszyną elektryczną zasilaną z układu wyposażonego w moduły PV. Energia elektryczna pochodząca z ogniw

fotowoltaicznych jest jedną z kluczowych kwestii rozwoju nowoczesnej energetyki opartej na zrównoważonym poszanowaniu energii. Stan ten został zobrazowany w przytoczonych opracowaniach Ministerstwa Energii [2, 3] zawierających analizę oddziaływania polityk i środków, które wskazują, w jaki sposób i z jakimi skutkami zrealizowane zostaną cele w pięciu wymiarach unii energetycznej, w tym tzw. cele klimatyczno-energetyczne. Z dokumentów wynika, iż w najbliższych latach w Polsce należy spodziewać się mocnego wzrostu ilości energii elektrycznej produkowanej przez instalacje fotowoltaiczne. Konsekwencją takiego założenia jest nieunikniony wzrost liczby instalacji PV dostępnych w naszym kraju. Prognozy takie stwarzają szansę dla rozwoju rynku maszyn elektrycznych z uwzględnieniem ich pracy w systemach opartych o zasilanie energią elektryczną z układów wyposażonych w moduły PV. Wobec tego zasadne jest prowadzenie badań naukowych w kierunku optymalizacji konstrukcji i technologii wykorzystywanych do produkcji zarówno modułów PV, jak i maszyn elektrycznych.

Literatura

- [1] NIECHAJ M.: *Aspekty współpracy maszyn elektrycznych i generatorów fotowoltaicznych*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 75/2006.
- [2] Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030. *PROJEKT* – w. 3.1 z 04.01.2019. Ministerstwo Energii, 2019.
- [3] Ocena skutków planowanych polityk i środków. Załącznik 2. do Krajowego planu na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030. *PROJEKT* – w. 3.1 z 04.01.2019. Ministerstwo Energii, 2019.
- [4] HANZELKA Z.: *Jakość dostawy energii elektrycznej. Zaburzenia wartości skutecznej napięcia*. Wydawnictwo AGH, Kraków 2013.
- [5] HANZELKA Z., FIRLIT A.: *Elektrownie ze źródłami odnawialnymi: zagadnienia wybrane*. Wydawnictwo AGH, Kraków 2015.
- [6] WASIAK I., PAWEŁEK R.: *Jakość zasilania w sieciach z generacją rozproszoną*. PWN, Warszawa 2015.
- [7] BO Z., CAISHENG W., XUESONG Z.: *Grid-Integrated and standalone photovoltaic distributed generation systems. Analysis, design, and control*. Wiley, 2015.
- [8] SINKE W.C.: *Development of photovoltaic technologies for global impact*. „Renewable Energy” 138/2019.
- [9] NIECHAJ M.: *Autonomiczny fotowoltaiczny system napędowy bez elektrycznego źródła buforowego z silnikiem indukcyjnym jednofazowym*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 1/2013.
- [10] NIECHAJ M.: *Optymalizacja pracy maszyny elektrycznej w fotowoltaicznym systemie napędowym*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 77/2007.
- [11] <https://www.solaredge.com/us/products/power-optimizer/#/>
- [12] https://pl.wikipedia.org/wiki/Pyranometr#/media/File:SR20_pyranometer_1.jpg

✉ Krzysztof Piech, Andrzej Bień, Jarosław Kozik – Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii; Janusz Teneta – Katedra Automatyki i Robotyki Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie