

STANY PRZEJŚCIOWE W INFRASTRUKTURZE WYKORZYSTUJĄCEJ ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

Jarosław WIATER¹

1. Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny
ul. Wiejska 45d, 15-351 Białystok
tel.: 85 7469979, e-mail: jaroslawwiater@we.pb.edu.pl

Streszczenie: Na terenie kampusu Politechniki Białostockiej powstał hybrydowy system małej energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej. Wyjątkowy w skali kraju, jedyny w regionie modelowy system hybrydowego zasilania w energię elektryczną pozwala na analizę zachowania się systemu OZE w warunkach jego normalnej pracy. Celem prowadzonych badań jest obserwacja poziomów napięć i wartości płynących prądów w wybranych punktach pracującego systemu odnawialnej energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej sprzężonego z siecią elektroenergetyczną w terenie zurbanizowanym w regionie północno-wschodniej Polski. W artykule przedstawiono wyniki tych obserwacji ze szczególnym zwróceniem uwagi na pojawiające się stany nieustalone mogące skutkować niewłaściwą pracą systemu.

Słowa kluczowe: hybrydowy system energetyki, OZE, stany nieustalone.

1. WSTĘP

Na terenie kampusu Politechniki Białostockiej powstał hybrydowy system małej energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej. Hybrydowość systemu opiera się na wykorzystaniu energii wygenerowanej przez instalację fotowoltaiczną oraz instalację z generatorami wiatrowymi. Założono, że optymalny system do zasilania referencyjnego budynku będzie miał moc zainstalowaną 20 kW: turbiny wiatrowe 10 kW i system fotowoltaiczny 10 kWp. Zaprojektowany i zbudowany system może realizować pracę zarówno samodzielnie – wyspą (dostarczać energię do systemu energetycznego kampusu), jak też przekazywać energię do sieci w sposób całkowity lub na zasadach prosumenckich, tzn. wprowadzania nadwyżki wytworzonej energii do sieci, po jej konsumpcji na cele własne [1, 2].

Istotną cechą systemu wiatrowego jest fakt, że składa się on z dwóch turbin wiatrowych o odmiennej konstrukcji i w związku z tym o różnych parametrach ruchowych. Turbina wiatrowa o pionowej osi obrotu typu H-Darrieus trójłatawa o mocy 5 kW to innowacyjna polska konstrukcja, wyposażona w polskiej konstrukcji inwertery sieciowe współpracujące z siecią elektroenergetyczną niskiego napięcia w systemie on-grid. Elektrownia wiatrowa o poziomej osi obrotu marki Mark Wind 5000P z wirnikiem o średnicy ok. 5 m i mocy 5 kW jest umieszczona na sąsiednim maszcie [1, 2].

Elektrownia fotowoltaiczna jest zbudowana z trzech sekcji paneli fotowoltaicznych, które wykorzystują wysokosprawne moduły polikrystaliczne. Wyjątkowość rozwiązania polega na tym, że jest to układ modelowy, w którym analizuje się uzysk energii w różnych konfiguracjach. Są tu zatem konstrukcje fotowoltaiczne umieszczone na pionowych elewacjach budynku, zlokalizowanych od strony południowo-wschodniej i południowo-zachodniej. Każda sekcja paneli fasadowych ma moc 1,5 kWp. Dodatkowo występują jeszcze dwie sekcje paneli, każda o mocy 3 kWp. Jedna z nich umieszczona jest na układzie nadążnym (trackerze), który śledzi dwuosiowo ruch słońca. Jest to rozwiązanie nowatorskie, które powinno wykazać zwiększenie efektywności systemu fotowoltaicznego o ok. 30 do 40%, w stosunku do panela nieruchomego, umieszczonego na dachu lub ścianie budynku. Ostatnią częścią całego systemu fotowoltaicznego jest konstrukcja z ogniwami słonecznymi o mocy 3 kWp, która jest ustawiona optymalnie (pod kątem ok. 38 stopni do poziomu) do pracy całorocznej. Oprócz tego, sekcja do pracy optymalnej całorocznie charakteryzuje się nowatorskim rozwiązaniem konstrukcyjnym, gdyż ma możliwość regulacji kąta pochylenia, aby optymalizować zyski energetyczne w krótszych okresach czasu np. półrocze letnie i zimowe albo kwartalnie, zgodnie ze zmianami pór roku [1, 2].

Dodatkowo, cały układ hybrydowy współpracuje ze specjalnie opracowanym na Uczelni systemem pomiarowym wszystkich istotnych parametrów pracy elektrowni wiatrowych, paneli fotowoltaicznych, inwerterów oraz wybranych instalacji elektrycznych w budynku referencyjnym. System akwizycji, archiwizacji, obróbki i wizualizacji danych pomiarowych gromadzi i przetwarza informacje o warunkach pogodowych, w tym parametrach wiatru i słońca, temperaturze poszczególnych modułów fotowoltaicznych tworzących sekcje paneli oraz rejestruje hałas, jaki generują turbiny wiatrowe. Zmierzone wielkości elektryczne i nieelektryczne gromadzone będą na serwerze, zaś bieżąca praca elektrowni hybrydowej prezentowana będzie na ekranach synoptycznych i na opracowywanej stronie internetowej. Wybrane parametry środowiskowe i związane z pracą systemu hybrydowego są upublicznione i możliwe do wykorzystania przy projektowaniu instalacji z

OZE na Podlasiu. Planowane jest również udostępnienie danych samorządowcom i przedsiębiorcom, m.in. zrzeszonym w Północno-Wschodnim Kłastrze Ekoenergetycznym [1, 2].

Celem naukowym przedsięwzięcia jest przeprowadzenie wszechstronnych prac badawczych hybrydowego systemu wytwórczego energii elektrycznej oraz opracowanie pogłębionych analiz techniczno-ekonomicznych i raportów z przeprowadzonych badań, obejmujących przede wszystkim [1, 2]:

- analizę opłacalności inwestycji w prosumenckie systemy wytwarzania energii elektrycznej bazujące na elektrowniach wiatrowych małej mocy (o pionowej i poziomej osi obrotu) i panelach fotowoltaicznych (o różnych konfiguracjach pozycji pracy) w terenie zurbanizowanym na przykładzie kampusu PB,
- analizę wskaźników technicznych wykorzystania odnawialnych źródeł energii elektrycznej w instalacjach elektrycznych budynku referencyjnego znajdującego się na terenie kampusu PB, uwzględniając lokalne warunki klimatyczne i wymagania jakościowe energii elektrycznej,
- analizę przepięć powstających obwodach elektrycznych odnawialnych źródeł energii oraz w instalacjach elektrycznych budynku dydaktyczno-badawczego Wydziału Elektrycznego znajdującego się na terenie kampusu Politechniki Białostockiej.



Rys. 1. Elektrownia hybrydowa na terenie kampusu Politechniki Białostockiej

2. METODY BADAŃ

W chwili obecnej słabo rozpoznany zagadnieniem jest dokładna oraz kompleksowa ocena zagrożenia przepięciowego urządzeń i systemów elektronicznych działających w ramach systemów odnawialnej energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej. Prowadzone dotychczas badania rzadko kiedy były możliwe w rzeczywistych warunkach, na rzeczywistych urządzeniach. Ze względu na losowy charakter zdarzeń obserwacje takie wymagają bardzo długiego czasokresu i nie zawsze gwarantują wychwycenie

wszystkich zjawisk mających istotne znaczenie dla niezawodności funkcjonowania systemu.

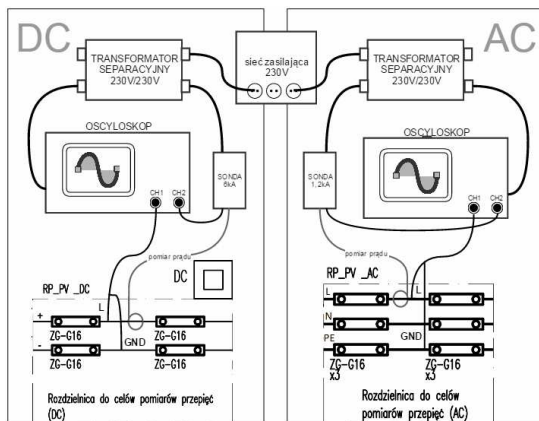
Powstały hybrydowy system wytwórczy energii elektrycznej umożliwił prowadzenie:

- rejestracji poziomów napięć wejściowych i wyjściowych falowników podłączonych do systemu energetyki fotowoltaicznej oraz wiatrowej,
- rejestracji wartości prądów wejściowych i wyjściowych falowników podłączonych do systemu energetyki fotowoltaicznej oraz wiatrowej,
- rejestracji poziomów napięć i wartości prądów w innych punktach, w których ze względów ruchowych istniała taka konieczność.

Realizacja założonego celu wymagała uruchomienia mobilnego stanowiska do pomiarów poziomów napięć i prądów. Zbudowano sześć mobilnych stanowisk pomiarowych. Każde stanowisko składa się z dwukanałowego oscyloskopu cyfrowego dodatkowo wyposażonego w sondę wysokonapięciową $U_{\max}=4$ kV oraz cewkę Rogowskiego $I_{\max}=6$ kA.

Docelowo mobilne stanowisko pomiarowe było przygotowane do rejestracji przepięć powstających podczas doziemnych wyładowań piorunowych, stąd też wybór cewek Rogowskiego o prądzie znamionowym wielokrotnie przekraczającym prąd znamionowy elektrowni hybrydowej. Charakter zjawisk wymagał przygotowania sprzętu do rejestracji przebiegów o potencjalnie dużych wartościach płynących prądów udarowych. Takie założenie ogranicza dokładność prowadzonych obserwacji nie mniej jednak gwarantuje wychwycenie jednostkowych zdarzeń o wartościach prądów powyżej wartości znamionowych.

Każdy oscyloskop posiada wyjście LAN, do którego podłączono bezprzewodowy Router umożliwiając komunikację z oscyloskopem. W celu wyeliminowania negatywnego wpływu sprzężeń galwanicznych każde stanowisko do sieci zasilającej zostało podłączone za pośrednictwem transformatora separacyjnego. Z racji powierzonych funkcji stanowiska pomiarowe mają możliwość szybkiej zmiany lokalizacji punktów pomiarowych. Oscyloskopy cyfrowe zostały sprzężone za pośrednictwem wewnętrznej sieci LAN z serwerem. Specjalnie przygotowane oprogramowanie umożliwia zdalny odczyt wyników pomiarów oraz ponowne przełączenie oscyloskopu z stanu stop, na stan wyczekiwania. Ze względu na losowy charakter prowadzonych pomiarów wyzwalanie oscyloskopów zostało ustawione w tryb wyczekiwania. Jako źródło pobudzenia oscyloskopów stosowano następujące tryby pracy: wyzwalanie poziomem napięcia, wyzwalanie z boczem narastającym/opadającym, wyzwalanie szybkością narastania przebiegu napięcia lub prądu, wyzwalanie predefiniowaną maską stanowiącą odzwierciedlenie wzorowego przebiegu z zadany marginesem po przekroczeniu, którego następowało pobudzenie. Ze względu na zastosowaną sondę wysokonapięciową możliwe było rejestrowanie przebiegów o wartości szczytowej do 4 kV. Próg 4 kV bezpośrednio przekładał się na poziom wytrzymałości udarowej badanej instalacji dla przyjętych rozwiązań chroniących przed przepięciami.



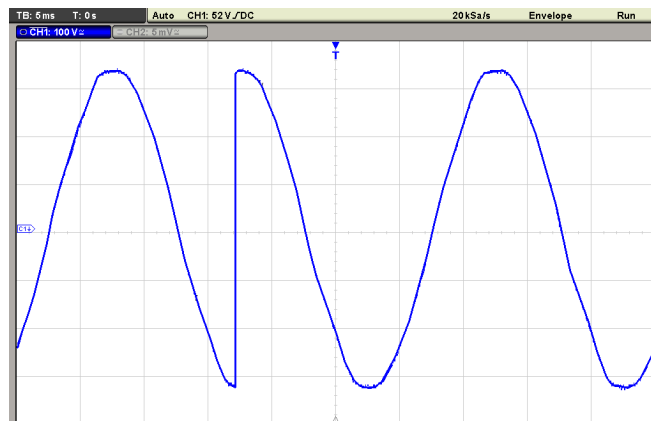
Rys. 2. Przykładowy schemat połączenia podzespołów pomiarowych do rozdzielnic



Rys. 3. Widok stanowiska pomiarowego

3. WYNIKI POMIARÓW

Poniżej na rysunkach 4-6 przedstawiono wybrane przebiegi napięć i prądów w analizowanym hybrydowym systemie odnawialnej energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej w terenie zurbanizowanym w regionie północno-wschodniej Polski.



Rys. 4. Zarejestrowany stan przejściowy na wyjściu falownika PV w rozdzielnicy RP_PV2b_AC 1/2 (CH1 – 100V/div, 5 ms/div)

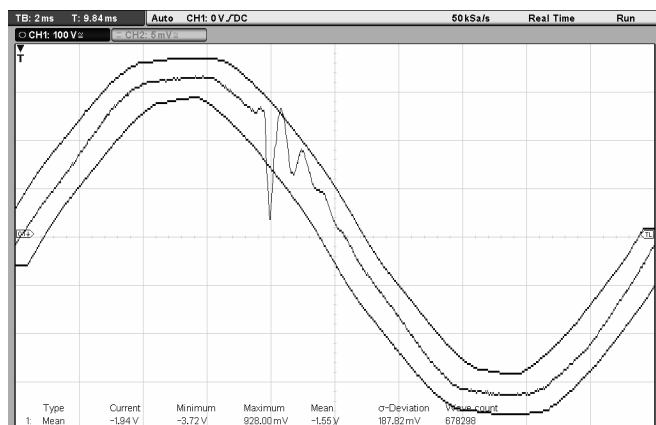
4. DYSKUSJA

Prowadzone obserwacje w trybie wyczekującym uwiarydliwiły jedno bardzo niepojęte zjawisko. Podczas obserwacji przebiegu wyjściowego napięcia w pewnym momencie nastąpiła zmiana kąta fazowego napięcia na wyjściu falownika współpracującego z siecią elektroenergetyczną (rys. 4). Początkowo prowadzone obserwacje wykazywały takie zjawisko, ale było ono tłumaczone jako błąd w synchronizacji oscyloskopu. Nie mniej jednak dopiero po zmianie podstawy czasu uwiarydliwił się problem w całej okazałości – prawidłowa praca falownika i nagle (skokowa) zmiana kąta fazowego w przybliżeniu o blisko 1/4 okresu. Trudno jest jednoznacznie określić przyczynę powstania takiego zaburzenia. Bardzo często chwilowe zwarcie po stronie SN i związany z tym chwilowy zanik lub zapad napięcia przenoszony jest do pozostałych części systemu elektroenergetycznego.

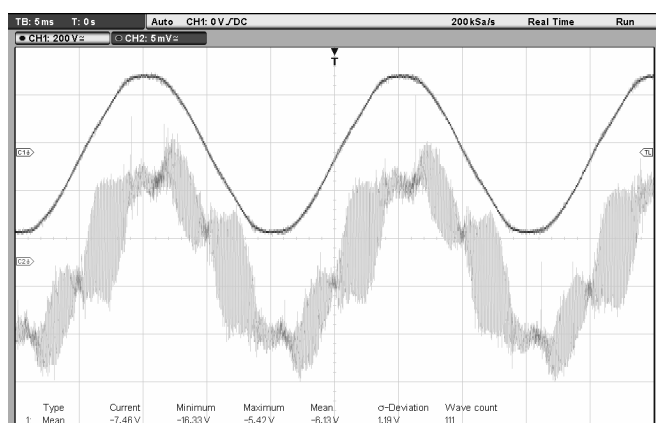
Pozostałe obserwowane zjawiska nie miały większego znaczenia z punktu widzenia niezawodności całego systemu. Obserwowano zaniki i zapady napięcia. Na rysunku 5 przedstawiono zarejestrowany zapad napięcia w rozdzielnicy PV. Trudno jest wyjaśnić bezpośrednią przyczynę powstania tego zapadu. Należy jednak przypuszczać, iż powstał on w wyniku załączania urządzenia o charakterze indukcyjno-pojemnościowym.

Prąd wyjściowy falowników zawierał bardzo dużą liczbę harmonicznych, które negatywnie wpływają na jakość energii elektrycznej (rys. 6). Charakter prowadzonych obserwacji nie miał na celu prowadzenie ilościowej analizy zawartości harmonicznych, a jedynie ukazanie stanu faktycznego w formie przebiegu prądu w układzie, który występuje w działającym hybrydowym systemie.

Podczas badań nie zaobserwowano bezpośrednich jak i pobliskich doziemnych wyładowań piorunowych w okolicach badanego systemu. Charakter tych zjawisk i małe prawdopodobieństwo w połączeniu z dość krótkim czasem obserwacji zjawisk tłumaczy brak rejestracji.



Rys. 5. Zarejestrowane odkształcenie napięcia wyjściowego w rozdzielnic RP_PV2b_AC 2/2 (CH1 – 100V/div, 2 ms/div)



Rys. 6. Zarejestrowane napięcie (CH1 - 200V/div, 2 ms/div) i prąd na wyjściu rozdzielnic (CH2 – 5A/div, 2 ms/div) RP_PV3_AC 2/2

4. WNIOSKI KOŃCOWE

W wyniku prowadzonych prac udało się:

- praktycznie przetestować i wdrożyć koncepcję badań stanów nieustalonych z wykorzystaniem oscyloskopów pracujących w trybie wyczekującym,

- wykryć problem skokowej zmiany kąta fazowego napięcia na wyjściu falowników sprzężonych z modułami PV,
- uruchomić system zdalnego odczytu danych z kilku oscyloskopów jednocześnie,
- zweryfikować skuteczność różnych metod wyzwalania oscyloskopów z punktu widzenia jakości otrzymywanych pomiarów, zbędnych oraz całkowicie błędnych pobudzeń układu TRIGGER,
- określić możliwość pracy stanowiska przy braku łączności w ramach wewnętrznej sieci LAN z wykorzystaniem przenośnych pamięci podłączanych do portu USB oscyloskopów.

W okresie letnim występują zjawiska wyładowań piorunowych, które to w największym stopniu są odpowiedzialne za pojawiające się przepięcia o charakterze potencjalnie niszczącym. W dalszym ciągu będzie prowadzony monitoring poziomu przepięć w analizowanej hybrydowej elektrowni ze względu na losowy i nieprzewidywalny charakter zjawisk.

Alternatywne źródła energii elektrycznej ze względu na swoją lokalizację są w bardzo dużym stopniu narażone na negatywne skutki wyładowań piorunowych. Niniejszy projekt stwarza unikatową możliwość obserwacji w warunkach rzeczywistych zjawisk będących następstwem wyładowań piorunowych bezpośrednich jak i sąsiedztwie analizowanego obiektu.

5. BIBLIOGRAFIA

1. <http://elektrownia.pb.edu.pl>
2. <http://gramwzielone.pl/trendy/13276/na-politechnice-bialostockiej-powstal-hybrydowy-system-energetyki-wiatrowej-i-fotowoltaicznej>

Artykuł został zrealizowany w ramach projektu WND-RPPD.05.02.00-20-034/12, pt. „Poprawa efektywności energetycznej infrastruktury Politechniki Białostockiej z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii.” oraz WND-RPPD.01.01.00-20-015/12, pt. „Badanie skuteczności aktywnych i pasywnych metod poprawy efektywności energetycznej infrastruktury z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii”

TRANSIENT STATES AT RENEWABLE ENERGY POWER PLANT

On Białystok University of Technology campus area small hybrid system power plant was created. It consist of small wind and photovoltaic energy sources. Unique in the country, the only one in the region a real model system of a hybrid power supply allows to analyse the behaviour of the renewable energy system under normal operation conditions. The aim of the research is to monitor the levels of voltages and currents at selected points of system. The results of these observations was presented in paper with particular attention to transients that can cause malfunction of the system. During normal operation renewable wind energy and photovoltaic was coupled to the power grid in urban areas in north-eastern part of Poland.

Keywords: hybrid energy system, renewable energy system, transient states.