

Model inteligentnego systemu monitoringu i diagnostyki paneli fotowoltaicznych

Mariusz Woszczyński

1. Wprowadzenie

Panele fotowoltaiczne są wykorzystywane od ponad 20 lat do wytwarzania energii elektrycznej. Dotychczasowe doświadczenia wykazują, że podczas ich eksploatacji powstają uszkodzenia, takie jak: punktowe wypalenia – tzw. „hot spoty”, pęknięcia szkła, defekty złącz elektrycznych, wypalenie puszek przyłączeniowych, delaminacja, pęknięcia i mikropęknięcia ogniw czy brązowienie folii EVA [5], które wpływają na spadek ich wydajności lub są przyczyną ich niesprawności. W systemach fotowoltaicznych awaria pojedynczego panelu skutkuje jego „wyłączeniem” za pomocą diody *by pass*, co uniemożliwia wsteczny przepływ prądu przez moduł PV. Umożliwia to dalszą pracę systemu, jednak użytkownik nie ma informacji, co spowodowało spadek jego wydajności.

W przypadku dużych systemów wyłączenie kilku modułów może być niezauważalne, jednak w dłuższej perspektywie czasu, może powodować znaczne straty w wyniku spadku wydajności. Duże farmy fotowoltaiczne wyposażane są w systemy diagnostyczne, umożliwiające pomiar temperatury pracy ogniw fotowoltaicznych, której zwiększenie wpływa niekorzystnie na ich wydajność (im wyższa temperatura, tym niższa wydajność). Instalacja systemu diagnostyki wiąże się z dodatkowymi kosztami związanymi np. z zakupem kamer termowizyjnych oraz ich obsługą. Diagnostyka termowizyjna sprawdza się w przypadku niewielkich obszarowo farm. Jej istotną wadą jest brak możliwości prowadzenia diagnostyki w czasie rzeczywistym. Farmy rozległe wymagają diagnostyki ciągłej i stacjonarnej, którą mogą zapewnić jedynie monitoring wbudowany w system. Dodatkowo monitoring jakości pracy systemu powinien być prowadzony w sposób ciągły, z szybką analizą i sygnalizowaniem błędów. Kontrola parametrów pracy elektrowni powinna być w praktyce zautomatyzowana. Operator lub administrator systemu powinien niezwłocznie otrzymywać informacje o wszelkich nieprawidłowościach, wraz ze wskazówkami dotyczącymi dalszego postępowania. Należy podkreślić, że w przypadku instalacji fotowoltaicznych nie istnieje potrzeba dodatkowego zasilania układów diagnostycznych, ponieważ energia elektryczna dostarczana jest bezpośrednio z paneli PV.

Oceną jakości pracy systemu powinna być ponadto oparta na udokumentowanych danych, gromadzonych w sposób zgodny z zaleceniami normy: EN 61724 – Monitorowanie parametrów pracy systemu fotowoltaicznego – wskazówki dotyczące pomiarów, wymiany danych i ich analizy. Wiąże się to z koniecznością obowiązkowego monitoringu: natężenia promieniowania

Streszczenie: W publikacji zaprezentowano model systemu monitoringu i diagnostyki paneli fotowoltaicznych – SmartPV, który umożliwi prowadzenie diagnostyki online panelu fotowoltaicznego na podstawie złożonego procesu oceny jego temperatury, generowanego napięcia i natężenia prądu. Omówiono prawne aspekty oraz potrzeby skłaniające do budowy ww. systemu. Podstawową zaletą systemu jest możliwość monitorowania zarówno parametrów elektrycznych, charakteryzujących moduły PV, jak i parametrów środowiskowych, przy zastosowaniu odpowiednich czujników. Przedstawiono projekt strony www, na której można będzie prezentować wyniki pomiarów oraz stany ostrzegawcze i alarmowe.

Słowa kluczowe: fotowoltaika, monitoring, WiFi

MODEL OF INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING AND DIAGNOSTICS OF PHOTOVOLTAIC PANELS

Abstract: Hardware model of author's solution of the system for monitoring and diagnostics of photovoltaic panels – SmartPV, which would perform online diagnostics of each photovoltaic panel basing mainly on the complex process of assessing its temperature as well as on voltage and current generated by a single panel is presented. Also the legal aspects as well as issues encouraging to design such a system is discussed. Possibility of monitoring both electric parameters characterizing the PV modules and environmental parameters using the proper sensors is the main advantage of the system. The project's web-site, on which the measurement results as well as warnings and alarms will be given, is presented.

Keywords: photovoltaics, monitoring, WiFi

słonecznego, temperatury otoczenia, temperatury modułów PV oraz parametrów elektrycznych pracy systemu PV [3]. Norma PN-EN 61724:2002 zawiera ogólne wytyczne dotyczące monitorowania własności systemów fotowoltaicznych. Reguluje ona również procedury monitorowania energii wynikającej z charakterystyk systemu fotowoltaicznego (PV). Zadaniem monitoringu powinna być przede wszystkim analiza pracy systemu PV, w tym szybkie wykrywanie i sygnalizowanie błędów czy spadku wydajności systemu poniżej wartości oczekiwanej.

W tym celu centralny system monitorowania powinien zawierać procedury analityczne pozwalające na taką diagnostykę.

2. Budowa urządzenia SmartPV

Analiza rynku fotowoltaicznego w świetle zmieniających się aspektów prawnych potwierdziła zwiększenie zapotrzebowania na systemy ciągłego monitoringu systemów PV. W KOMAG-u opracowano urządzenie SmartPV w postaci indywidualnego interfejsu diagnostyki każdego modułu PV, połączonego z systemem bazodanowym za pomocą bezprzewodowego medium transmisji danych.

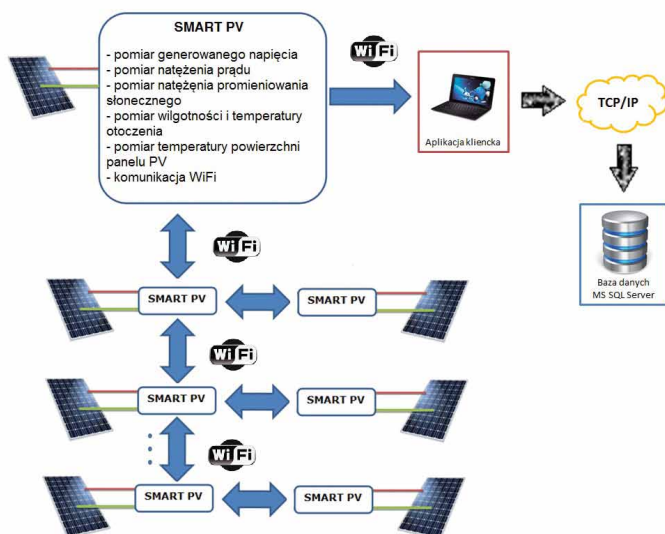
2.1. Struktura układu

Moduł jest zasilany bezpośrednio z modułu fotowoltaicznego, co umożliwia odczyt parametrów elektrycznych modułu PV oraz parametrów środowiskowych. Strukturę systemu PV, z wykorzystaniem SmartPV, przedstawiono na rysunku 1.

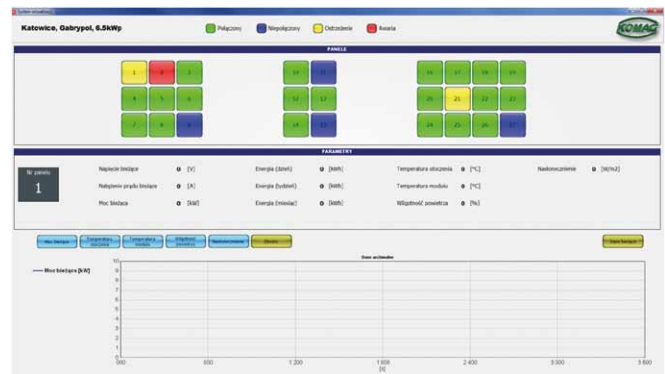
Jest to rozwiązanie innowacyjne, gdyż dotychczasowe moduły dokonują diagnostyki na poziomie stringów (dwa lub więcej modułów fotowoltaicznych, połączonych w jeden ciąg) lub całej instalacji. Rozwiązania umożliwiające częściowo indywidualny monitoring modułów PV – optyimizery lub mikroinwertery – są drogie.

Ideą opracowanego rozwiązania jest monitoring parametrów modułów fotowoltaicznych, takich jak: napięcie i natężenie prądu, temperatura powierzchni modułu, natężenie promieniowania słonecznego przy module oraz temperatura i wilgotność otoczenia. Zebrane dane mogą być wysyłane do serwera, a następnie wyświetlane na stronie www (rys. 2).

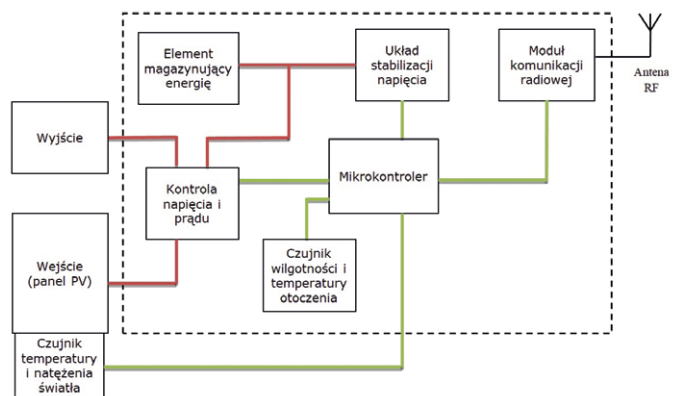
W docelowym rozwiązaniu przewiduje się zastosowanie sieci o topologii kraty (siatki, *mesh*) [1]. Biorąc pod uwagę liczbę modułów fotowoltaicznych zainstalowanych w elektrowniach, utworzona sieć bezprzewodowa będzie miała wysoce złożoną strukturę. W sieciach tego typu spotyka się coraz częściej implementacje protokołów trasowania (routingu), bazujących na technikach i metodach sztucznej inteligencji [2].



Rys. 1. Struktura systemu fotowoltaicznego z wykorzystaniem paneli SmartPV [4]



Rys. 2. Projekt strony z wizualizacją elektrowni [4]



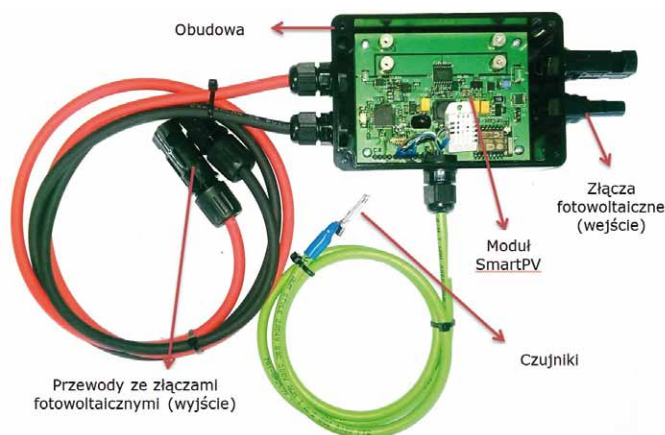
Rys. 3. Struktura wewnętrzna modelu [4]

Struktura układu elektronicznego (rys. 3) składa się z:

- mikrokontrolera, analizującego parametry systemu, układu stabilizacji napięcia i ochrony przeciwprzepięciowej, czujnika prądu, mającego za zadanie kontrolę wartości natężenia prądu płynącego w obwodzie panelu fotowoltaicznego, układu pomiaru napięcia w obwodzie panelu fotowoltaicznego i czujnika natężenia światła słonecznego;
- termohigrometru, mierzącego temperaturę otoczenia oraz wilgotność;
- czujnika temperatury powierzchni panelu fotowoltaicznego;
- modułu komunikacji radiowej, zapewniającego komunikację z mikrokontrolerem oraz przesyłanie danych w standardzie WiFi;
- magazynu energii elektrycznej (kondensator).

Model urządzenia SmartPV (bez pokrywy), gotowy do podłączenia do panelu fotowoltaicznego, zaprezentowano na rysunku 4.

Urządzenie zaprojektowano w taki sposób, aby jego montaż nie utrudniał instalacji w systemie. Poprzez zastosowanie złącz MC4, które są stosowane w panelach fotowoltaicznych, montaż modułu SmartPV polega jedynie na wpięciu wtyczek, co znacznie ułatwia instalację w systemach już istniejących. Dodatkowo



Rys. 4. Widok zmontowanego modułu SmartPV z okablowaniem [4]

do zewnętrznej powierzchni panelu fotowoltaicznego można przytwierdzić moduł z czujnikiem temperatury oraz czujnikiem natężenia promieniowania słonecznego. Moduł SmartPV montowany jest do ramy, w tylnej części panelu fotowoltaicznego.

2.2. Układ zasilania

Moduł SmartPV może być eksploatowany razem z modułami fotowoltaicznymi. W związku z powyższym istnieje możliwość pojawienia się przepięć elektrostatycznych oraz przepięć wywołanych wyładowaniami atmosferycznymi.

Układ zasilania SmartPV wyposażono w trzyetapowy układ ochrony przed przepięciami – bezpiecznik polimerowy z iskrownikiem o napięciu zadziałania 90 V, tranzystor i dioda z cewką, zabezpieczającą moduł przed odwrotną polaryzacją zasilania, oraz dioda ograniczająca przepięcia stanów niestabilizatora napięciowego.

Układ zasilania dostarcza energię elektryczną o napięciu 5 V (1 A) oraz 3,3 V (500 mA), niezbędną do zasilania podzespołów układu elektronicznego.

2.3. Mikrokontroler

Ze względu na zasilanie układu pomiarowego z alternatywnego źródła energii wszystkie zastosowane rozwiązania układu elektronicznego powinny być w jak największym stopniu energooszczędne. W tym aspekcie istotny jest dobór mikrokontrolera. W module SmartPV zastosowano 8-bitowy *uC*, oparty o architekturę RISC (*Reduced Instruction Set Computing*). Mikrokontroler posiada 128 kb programowalnej pamięci FLASH, pracuje z szybkością 16 MHz i zasilany jest napięciem 5 V. Maksymalny pobór prądu przez mikrokontroler, w trybie aktywnym, to 12 mA. Mikrokontroler nie musi pracować aktywnie przez cały czas, więc wykorzystuje tryb uśpienia.

2.4. Moduł pomiaru napięcia i natężenia prądu

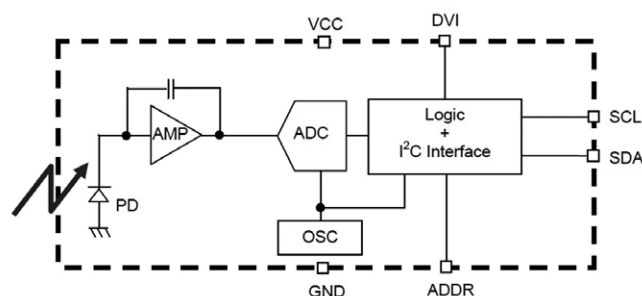
Wartość natężenia prądu płynącego przez panel fotowoltaiczny monitorowana jest na bieżąco przez czujnik Halla, zintegrowany w obudowie SOIC16. Zastosowany układ dedykowany jest do pomiaru natężenia prądu o maksymalnej wartości 12,5 A. Czułość układu wynosi 56 m V/A, natomiast sygnał wyjściowy

zmienia się proporcjonalnie do wartości płynącego prądu, od wartości $0,5 \cdot V_{CC}$ (napięcie zasilania), które w układzie SmartPV wynosi 5 V. Przy założeniu pomiaru natężenia prądu w zakresie 0–8 A wartość sygnału wyjściowego zawiera się w granicach 2,5–3 V. Jest to zbyt mała różnica wartości napięcia, żeby można było przeprowadzić dokładny pomiar za pomocą mikrokontrolera. Na wejście *uC* można podać sygnał analogowy w zakresie 0–5 V. W tym celu przystosowano sygnał wyjściowy z czujnika prądu do możliwości *uC*, wykorzystując przetwornik pomiarowy, zbudowany z wykorzystaniem wzmacniacza operacyjnego. Przetwornik składa się z dwóch torów sygnałowych. Pierwszy odpowiada za przetworzenie sygnału z czujnika prądu na sygnał 0–5 V, drugi służy do dopasowania napięcia z panelu PV do wejścia *uC* (0–5 V).

2.5. Czujnik natężenia promieniowania słonecznego

Do pomiaru natężenia promieniowania słonecznego zastosowano czujnik przetwarzający natężenie światła o długości fali z zakresu 320–1050 nm, na mierzalną, proporcjonalną częstotliwość. Strukturę czujnika zaprezentowano na rysunku 5.

Cyfrowy czujnik natężenia światła działa w zakresie 1–65535 lx, z rozdzielczością 1 lub 4 lx w zależności od wybranego trybu pracy. Komunikuje się on poprzez interfejs I2C, czyli dwie linie: danych – SDA i zegarową SCL. Pozwala to na łatwe podłączenie go do mikrokontrolera z zastosowaniem jedynie czterech przewodów.

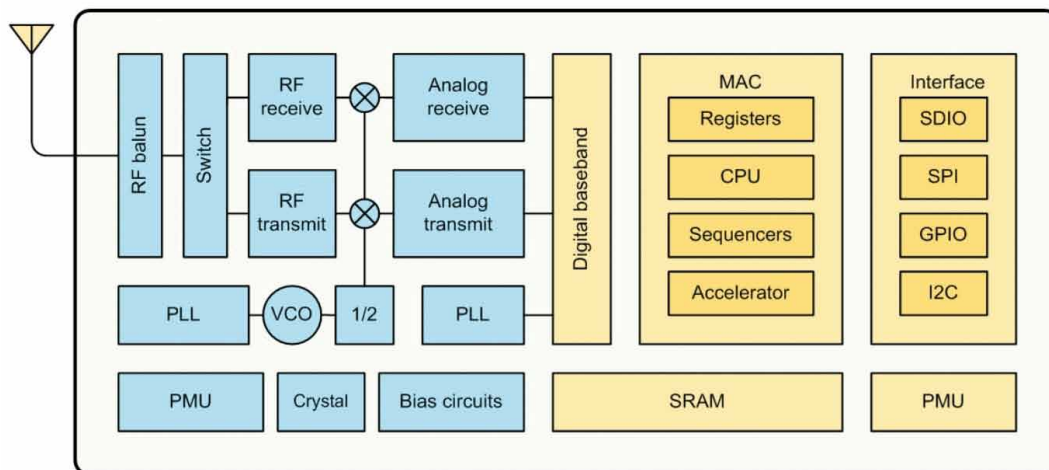


Rys. 5. Struktura wewnętrzna czujnika natężenia światła [4]

2.6. Pomiar temperatury powierzchni panelu i parametrów środowiskowych

Wzrost promieniowania słonecznego wpływa na wydajność układów fotowoltaicznych (spadek o $-0,45\%/^{\circ}\text{C}$). W przypadku dużych systemów zmiany te mają znaczny wpływ na ilość wytworzonej energii elektrycznej. Do monitorowania zmian wartości temperatury zastosowano czujniki termoelektryczne.

Proponowany w SmartPV czujnik temperatury to popularny cyfrowy termometr, wyposażony w interfejs komunikacyjny 1-wire, który jest rodzajem interfejsu elektronicznego, jak również i protokołu komunikacyjnego pomiędzy dwoma (lub więcej) urządzeniami. Dodatkowo odbiornik może być zasilany bezpośrednio z linii danych. Odbiornik wyposażono w kondensator o pojemności 800 pF, który jest ładowany bezpośrednio z linii danych – następnie zgromadzona w nim energia zużywana jest do zasilania odbiornika.



Rys. 6. Struktura układu ESP8266 [4]

Do pomiaru wilgotności i temperatury otoczenia zastosowano zintegrowany 8-bitowy czujnik temperatury i wilgotności, z interfejsem 1-wire. Podłączenie czujnika wymaga podania zasilania 5 V oraz doprowadzenia sygnału do mikrokontrolera. Odczyt temperatury i wilgotności odbywa się tak, jak w przypadku czujnika temperatury z interfejsem 1-wire.

2.7. Moduł komunikacji bezprzewodowej

W układzie SmartPV zastosowano miniaturowy moduł bezprzewodowej komunikacji radiowej WiFi, którego strukturę wewnętrzną zaprezentowano na rysunku 6. Działa on w standardzie Wi-Fi 802.11 b/g/n na częstotliwości 2,4 GHz. Układ wyposażono w 16 wyprowadzeń o rastrze 2,54 mm, z czego 9 wyprowadzeń może być wykorzystane jako porty wejścia/wyjścia (GPIO).

Układ posiada wbudowaną pamięć typu Flash 512 kB, ceramiczną antenę nadawczą oraz możliwość podłączenia zewnętrznej anteny, co pozwala na zwiększenie zasięgu działania. Maksymalna moc nadajnika wynosi 19 dBm. Układ umożliwia odciążenie pracy procesora poprzez realizację obsługi stosu Wi-Fi wewnątrz układu. Procesor może komunikować się z układem Wi-Fi poprzez magistralę UART, SPI, I2C. Maksymalna moc pobierana przez układ to ok. 200 mW.

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza rynku paneli fotowoltaicznych potwierdziła brak nowoczesnego i niedrogiego urządzenia, mierzącego wymagane normą parametry pracy instalacji fotowoltaicznej w czasie rzeczywistym. Główną zaletą opracowanego interfejsu SmartPV jest monitoring bezpośredni – na poziomie modułów PV. Kolejnym ważnym aspektem rozwiązania jest znaczne ograniczenie kosztów związanych z diagnostyką okresową (np. kamera termowizyjna).

System zarządzania danymi na bieżąco może informować użytkownika o potencjalnych stanach awaryjnych, występujących podczas eksploatacji. Układ przetwarzania oraz

archiwizacji danych, wraz z czujnikami, jest montowany bezpośrednio na panelu fotowoltaicznym, z wykorzystaniem standardowych złącz MC4. System nie wymaga dodatkowego zasilania, ponieważ wykorzystuje energię pochodzącą bezpośrednio z paneli fotowoltaicznych.

Literatura

- [1] STANKIEWICZ K.: *Koncepcja metody samoorganizacji złożonego systemu komunikacyjnego do zastosowań w górnictwie*. KOMTECH 2012, Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo – Efektywność – Niezawodność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012, s. 329–337.
- [2] STANKIEWICZ K.: *Koncepcja środowiska symulacyjnego do oceny samoorganizacji trasowania w sieci sensorycznej*. „Maszyny Górnicze” 2/2015, s. 3–8.
- [3] Polska Norma PN-EN 61724, marzec 2002, Monitorowanie własności systemu fotowoltaicznego. Wytyczne pomiaru, wymiany danych i analizy.
- [4] Praca statutowa ITG KOMAG – Inteligentne panele fotowoltaiczne (praca niepublikowana), 2016.
- [5] Typowe wady modułów fotowoltaicznych: <http://www.sklep.asat.pl/pl/i/Typowe-wady-i-mozliwe-uszkodzenia-modulow-fotowoltaicznych/21>

Artykuł był publikowany w czasopiśmie „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 114/2017