

Wykorzystanie układów dedykowanych w śledzeniu optymalnego punktu pracy ogniw fotowoltaicznych

Streszczenie. Optymalne wykorzystanie paneli ogniw fotowoltaicznych wymaga ciągłego śledzenia punktu pracy i ciągłej regulacji tego punktu w celu uzyskania maksymalnej mocy wyjściowej zestawu ogniw w każdych warunkach. Niedawno pojawiły się scalone układy dedykowane realizacji tego zadania. W artykule omawiane są zagadnienia związane z problematyką śledzenia optymalnego punktu pracy ogniw fotowoltaicznych oraz z realizacją elektronicznych układów śledzących, bazujących na układach dedykowanych.

Abstract. Optimal utilization of photovoltaic panels requires special control algorithm with continuous maximum power point tracking for achieving maximum output power in all working conditions. Recently, new dedicated integrated circuits for MPPT algorithm utilization became available. Some technical aspects related to MPPT algorithm and utilization of dedicated ICs for MPPT are discussed in the paper. (*Utilization of dedicated MPPT ICs for maximum power point tracking*).

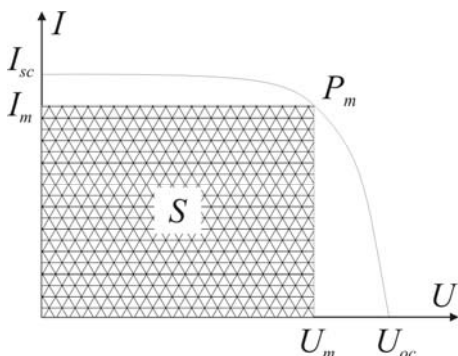
Keywords: MPPT, PV array, ARM, MPT612.

Słowa kluczowe: MPPT, panele PV, ARM, MPT612.

doi:10.12915/pe.2014.04.46

Wstęp

Pozyskiwanie energii słonecznej za pomocą ogniw fotowoltaicznych staje się ostatnio coraz bardziej istotną gałęzią energetyki, szczególnie w rozwiniętych krajach o dużym nasłonecznieniu. Energia słoneczna w obrębie kuli ziemskiej jest czysta, bezpieczna oraz praktycznie niewyczerpana. Aby wykorzystać w maksymalnym stopniu energię promieniowania słonecznego, potrzebny jest odpowiedni system wyposażony w ogniwa fotowoltaiczne, układy przekształcające energię (realizujące podwyższenie napięcia oraz konwersję DC / AC), zwane układami kondycjonowania energii (PCS) oraz układy sterowania uwzględniające algorytmy śledzenia mocy maksymalnej (algorytmy MPPT – Maximum Power Point Tracking) [6, 7]. Śledzenie punktu mocy maksymalnej związane jest z charakterystyką prądowo – napięciową ogniwa PV w danych warunkach nasłonecznienia i temperatury (rys. 1), na której występuje punkt pracy (punkt P_m , Rys. 1) w którym ogniwo dostarcza maksymalną moc wyjściową (pole „S” - rys. 1).



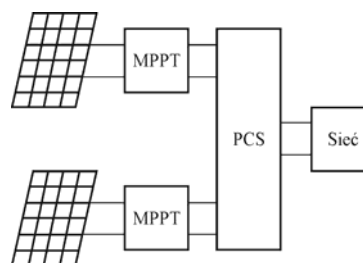
Rys. 1. Charakterystyka prądowo – napięciowa ogniwa fotowoltaicznego (I_{sc} – prąd zwarciaowy ogniwa PV, U_{oc} – napięcie rozwarzone ogniwa PV, U_m , I_m – napięcie i prąd w punkcie pracy o maksymalnej mocy wyjściowej)

W systemach wykorzystujących energię promieniowania słonecznego przydatny może być także magazyn energii np. w postaci baterii akumulatorów, umożliwiający magazynowanie nadmiaru energii pozyskanej w dobrych warunkach nasłonecznienia i następnie oddawanie zgromadzonej energii w czasie np. zachmurzenia lub w czasie gdy cena energii akurat zwiększa (prowadzone są prace badawcze związane z jak najlepszym gospodarowaniem zgromadzoną energią).

Bardzo istotnym elementem systemu pozyskiwania energii słonecznej obok paneli ogniw fotowoltaicznych jest układ przekształtnika energoelektronicznego, mający znaczący wpływ na możliwą do uzyskania w danych warunkach moc wyjściową. Najczęściej znajduje tu zastosowanie falownik podwyższający napięcie oraz przekształcający prąd stały na prąd przemienny. Układ sterujący przekształtnikiem powinien realizować algorytm MPPT w celu optymalnego wykorzystania mocy wyjściowej panelu PV.

Ponieważ panele PV różnią się pomiędzy sobą nawet jeśli są tego samego typu, w niektórych rozwiązaniach proponowane są indywidualne układy MPPT dla każdej matrycy PV w systemie, pozwalające uzyskać wyższą sprawność przetwarzania energii słonecznej w systemie [2]. Schemat blokowy przykładowego systemu wyposażonego w indywidualne bloki MPPT dla każdej matrycy PV jest przedstawiony na Rys. 2. Schemat blokowy systemu wyposażonego w tylko jeden blok MPPT jest przedstawiony na rysunku 3.

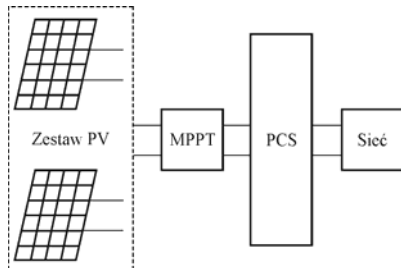
Niekorzystną cechą fotowoltaicznego systemu pozyskiwania energii jest zależność parametrów od warunków pogodowych, głównie od dostępności i intensywności promieniowania słonecznego oraz od temperatury. W uzasadnionych ekonomicznie przypadkach można stosować systemy dynamicznego pozycjonowania paneli fotowoltaicznych w celu uzyskania jak najlepszego nasłonecznienia w danym momencie.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu wyposażonego w indywidualne układy MPPT

Najbardziej rozpowszechniona metoda śledzenia punktu mocy maksymalnej (prawdopodobnie z powodu prostoty implementacji oraz zadowalających wyników), polega na porównywaniu mocy wyjściowej ogniwa (liczonej na bieżąco) z mocą ogniwa obliczoną w poprzedniej iteracji. W

kolejnych iteracjach zmieniany jest punkt pracy poprzez zmianę o jeden krok prądu wyjściowego. Dobór odpowiedniego kroku regulacji ma zasadniczy wpływ na szybkość osiągnięcia punktu MPP oraz na dokładność regulacji. Zmiana prądu pociąga za sobą zmianę napięcia wyjściowego i osiągnięty punkt pracy jest porównywany z poprzednim pod kątem uzyskanej mocy wyjściowej. Metoda ta jest zwana w literaturze anglojęzycznej metodą P&O (Perturbation and Observation).



Rys. 3. Schemat blokowy systemu wyposażonego w jeden układ MPPT

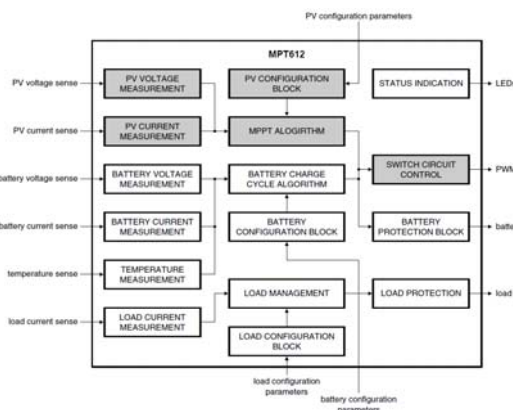
Istnieje wiele metod MPPT, spośród nich niektóre mają znaczenie główne teoretyczne, gdyż nie są stosowane w praktyce ze względów ekonomicznych. Pożądany jest dobry algorytm który jest tani w realizacji praktycznej, potrafi szybko znaleźć punkt mocy maksymalnej (bez niepotrzebnych skomplikowanych obliczeń) oraz szybko pozycjonować panele PV wyposażone w pozycjonery. Pewną alternatywą w stosunku do rozwiązań dyskretnych opartych na mikrokontrolerach uniwersalnych lub na układach programowalnych FPGA, mogą być dedykowane układy MPPT, dostępne od niedawna na rynku.

Układ dedykowany MPPT

Obecnie dostępne są w handlu dedykowane układy scalone, przeznaczone do pracy w systemach wymagających śledzenia punktu pracy przy maksymalnej mocy wyjściowej - MPPT (Maximum Power Point Tracking). Takim dedykowanym układem MPPT jest mikrokontroler MPT612 firmy NXP. Może on być zastosowany we wszelkich aplikacjach w których występuje charakterystyka pracy wymagająca algorytmu MPPT. Zastosowany algorytm śledzenia punktu mocy maksymalnej nie jest w pełni opisywany przez producenta, jednak przedstawiane są wyniki badań eksperymentalnych potwierdzające konkurencyjne parametry zastosowanych mechanizmów śledzących. Producent dostarcza bibliotekę oprogramowania nastawioną na realizację algorytmu MPPT umożliwiającą szybsze wprowadzenie projektu do praktyki. Dołączone oprogramowanie posiada funkcje potrzebne przy obsłudze paneli fotowoltaicznych takie jak pomiar prądu, pomiar napięcia, konfiguracja programu w zależności od parametrów panelu PV jak i parametrów akumulatorów systemu magazynowania energii. Układ może pracować w systemach o różnej mocy wyjściowej ponieważ elementy kluczujące oraz drivery elementów kluczujących są dołączane na zewnątrz. Do obliczeń mocy wyjściowej podłączonych ogniw fotowoltaicznych prowadzonych na bieżąco wykorzystywane są wbudowane w układ MPT612 10 – bitowe przetworniki analogowo – cyfrowe o czasie maksymalnym konwersji 2,44 μ s / kanał (wejściowe kanały analogowe są multiplexowane). Dodatkową zaletą układu MPT612 jest dostępność interfejsów szeregowych do dowolnego wykorzystania w projekcie: 2 x UART, 2 x Fast I²C (do 400 kbit/s) oraz SPI. Daje to możliwość szybkiego i prostego wzbogacenia funkcjonalności aplikacji o połączenie z komputerem PC w celu wizualizacji bądź

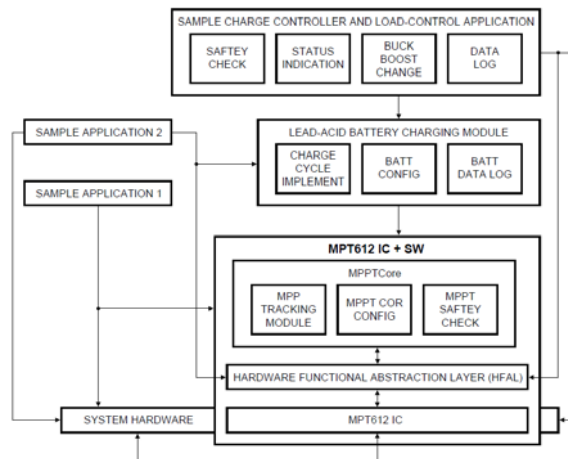
konfiguracji lub z terminalem operatorskim. We wszelkich zastosowaniach wymagających maksymalnej optymalizacji zużycia energii cenne są możliwości wyłączenia nieużywanych bloków funkcjonalnych (podobnie jak w innych mikrokontrolerach NXP z rdzeniem ARM7TDMI) oraz skalowanie sygnału taktującego dla konkretnych wbudowanych bloków funkcjonalnych.

Schemat blokowy układu MPT612 jest przedstawiony na rysunku 4. Widoczne są sygnały wejściowe wykorzystywane podczas obliczania punktu mocy maksymalnej takie jak napięcie na wyjściu ogniwa PV, prąd ogniwa PV, temperatura oraz pomocnicze do zarządzania całym systemem, takie jak napięcie baterii akumulatorów, prąd baterii akumulatorów oraz prąd obciążenia. Do realizacji algorytmu MPPT niezbędne konieczne są bloki zacięniowane na rysunku 4. Pozostałe bloki funkcjonalne mogą ale nie muszą być wykorzystane w projekcie systemu.



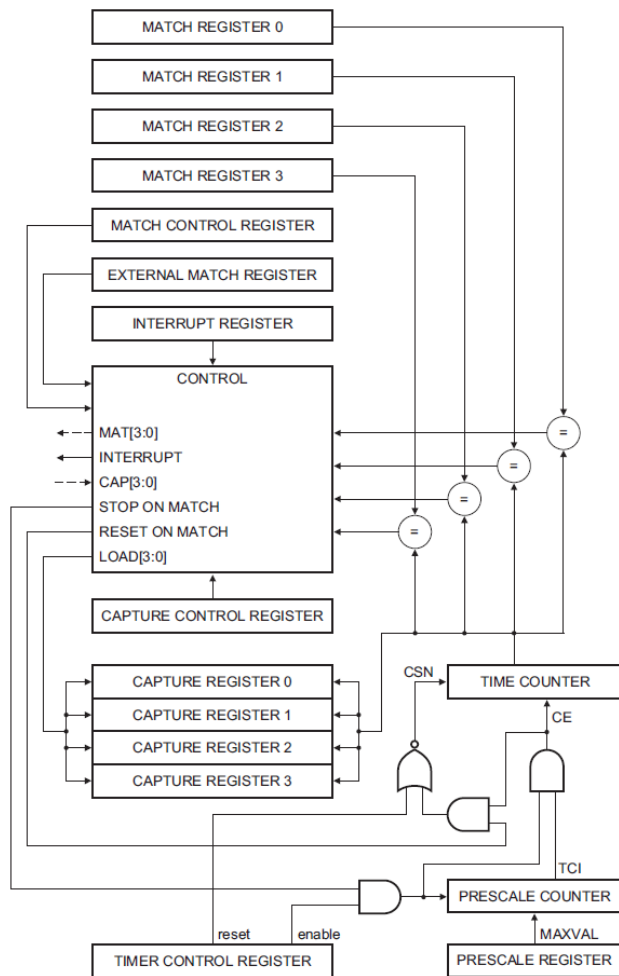
Rys. 4. Schemat blokowy dedykowanego układu MPPT typu MPT612 [3]

Oprogramowanie dostarczane przez producenta układu (firmę NXP Semiconductors) zawiera kilka użytecznych modułów. Schemat blokowy, przedstawiający architekturę oprogramowania firmowego układu MPPT, jest przedstawiony na rysunku 5. Do modułu dołączona jest biblioteka funkcji API ułatwiająca korzystanie z oprogramowania systemowego MPT612. Moduł MPPT można konfigurować w celu najlepszego dostosowania do używanego panelu bądź paneli fotowoltaicznych. Po zainstalowaniu modułów producenta, na aplikacji użytkownika zostaje jeszcze maksymalnie 15 kB pamięci programu FLASH.



Rys. 5. Schemat blokowy architektury oprogramowania firmowego układu MPPT typu MPT612 [3]

Aby wykorzystać w swojej aplikacji układ MPT612, projektant musi znać architekturę 32 bitowego rdzenia ARM typu ARM7TDMI-S. Oprogramowanie tego rdzenia jest bardziej złożone niż w przypadku prostszych mikrokontrolerów 8 bitowych jak chociażby rodziny AVR firmy ATMEL. Wymusza to większe nakłady pracy projektanta aplikacji, jednak w zamian uzyskuje się moc obliczeniową zdecydowanie większą i pozwalającą na szybkie wykonywanie złożonych algorytmów przetwarzania danych. Do aplikacji MPT przydatny jest wbudowany w układ przetwornik analogowo – cyfrowy działający metodą kolejnych przybliżeń, o minimalnym czasie konwersji 2,44us. Maksymalna częstotliwość taktowania bloku przetwornika, którą trzeba ustawić za pomocą wbudowanego dzielnika to 4,5MHz, natomiast konwersja z pełną dokładnością zabiera 11 cykli zegara taktującego.



Rys. 6. Schemat blokowy licznika Timer1 [3]

Część specjalizowanych bloków sprzętowych MPT612 można obsługiwać wyłącznie za pomocą dostarczonych przez producenta funkcji API. Zatem nie jest to do końca układ kompatybilny z typowym procesorem ARM, część funkcji jest częściowo utajnionych i do końca nie podano algorytmu ich działania.

Za pomocą funkcji API można programować wbudowany generator PWM, potrzebny do generacji przebiegów sterujących półprzewodnikowymi kluczami mocy przekształtnika energii pobieranej z panelu fotowoltaicznego. Zasada działania wbudowanego generatora PWM opiera się o klasyczną metodę wykorzystującą licznik do odmierzenia czasu trwania impulsów. Metoda ta jest prosta w implementacji, jednak

przy dużej rozdzielczości sygnału PWM trudno jest uzyskać wysoką częstotliwość. Trzeba zdecydować, czy bardziej istotna w danej aplikacji jest szybkość przełączania tranzystorów (co daje możliwość miniaturyzacji układu) czy wysoka dokładność przetwarzania (wysoka rozdzielczość PWM umożliwia uzyskanie wysokiej jakości przebiegów wyjściowych).

Częstotliwość wyjściowego sygnału PWM można obliczyć z równania:

$$(1) \quad f_{SW} = \frac{f_{AHB}}{2^n}$$

gdzie: f_{SW} – częstotliwość sygnału PWM, f_{AHB} – częstotliwość taktowania bloku PWM, n – rozdzielczość w bitach generowanego sygnału PWM.

Podsumowanie

Do wykorzystania energii promieniowania słonecznego potrzebne są złożone systemy wyposażone w panele fotowoltaiczne, przekształtniki energii realizujące algorytmy MPPT oraz najczęściej elementy magazynujące energię. Obecnie znanych jest wiele algorytmów MPPT, z których nie wszystkie nadają się do realizacji praktycznej ze względów ekonomicznych. Ostatnio pojawiła się możliwość stosowania dedykowanych układów scalonych do śledzenia punktu mocy maksymalnej. Przykład takiego rozwiązania – układ MPT612 firmy NXP, bazujący na 32-bitowym mikrokontrolerze z dobrze znanym rdzeniem ARM7TDMI, został skrótowo przedstawiony w artykule. Układ MPT612 może być programowany przy pomocy dedykowanej biblioteki funkcji API co upraszcza i przyspiesza proces projektowania systemu pozyskiwania energii. Rozwój układów dedykowanych MPPT może przyczynić się do znaczącego obniżenia kosztów realizacji systemów pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego oraz innych źródeł odnawialnych o charakterystyce narzucającej konieczność śledzenia punktu mocy maksymalnej.

Zrealizowano w ramach pracy statutowej SWE/1/11.

REFERENCES

- [1] Barchowsky A., Parvin J.P., Reed G.F. Korytowski M.J., Grainger G.M.: A Comparative Study of MPPT Methods for Distributed Photovoltaic Generation. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6175798>
- [2] Lei M., Yaojie S., Yandan L., Zhifeng B., Liqin T., Jieqiong S.: A High Performance MPPT Control Method. Materials for Renewable Energy & Environment (ICMREE), 2011 International Conference on, Volume 1, pp. 195-199.
- [3] NXP Semiconductors: MPT612 Maximum power point tracking IC. Objective data sheet, 2010.
- [4] Patel H., Agarwal V.: MPPT Scheme for a PV-Fed Single-Phase Single-Stage Grid-Connected Inverter Operating in CCM With Only One Current Sensor. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 24, No. 1, March 2009, pp.256-263.
- [5] Wu H., Tao X.: Three Phase Photovoltaic Grid-connected Generation Technology with MPPT Function and Voltage Control. PEDS2009, pp. 1295-1300.
- [6] Grzesiak W.: Implementacja techniki MPPT w regulatorach ładowania autonomicznych systemów fotowoltaicznych, Przegląd Elektrotechniczny 2010-11a.
- [7] Younis M. A., Khatib T., Najeeb M., Ariffin M.: An Improved Maximum Power Point Tracking Controller for PV Systems Using Artificial Neural Network, Przegląd Elektrotechniczny, R. 88 Nr 3b/2012.

Autor:

dr inż. Wojciech Wojtkowski, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Katedra Automatyki i Elektroniki, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: w.wojtkowski@pb.edu.pl;