

Koncepcja modułowego elektronicznego systemu przekształcania energii paneli fotowoltaicznych dla stacji wymiany akumulatorów trakcyjnych

mgr inż. PAWEŁ STANIAK¹, dr inż. GRZEGORZ IWAŃSKI¹, dr inż. WOJCIECH MOĆKO^{2,3}

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, ISEP, Warszawa

² Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa

³ Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa

Perspektywy rozwoju pojazdów elektrycznych prowadzą do jednoczesnego rozwoju infrastruktury odpowiadającej za ich ładowanie. W przeważającej części są to stacje ładowania bazujące na zasilaniu z sieci elektroenergetycznej. Niniejszy artykuł dotyczy koncepcji automatycznej stacji ładowania akumulatorów trakcyjnych dla pojazdów elektrycznych zasilanej w znacznym stopniu ze źródeł odnawialnych i przedstawia zaprojektowany system przekształtnikowy współpracujący ze źródłem odnawialnym, jakim są panele fotowoltaiczne.

System energoelektroniczny w stacji ładowania akumulatorów

Schemat blokowy systemu wykorzystanego w stacji ładowania akumulatorów trakcyjnych przedstawiono na rys. 1. Poszczególne grupy przekształtników cechują się różnymi topologiami, co wynika z odmienności zadań i funkcji w systemie.

Przekształtniki DC/DC współpracujące z ogniwami fotowoltaicznymi

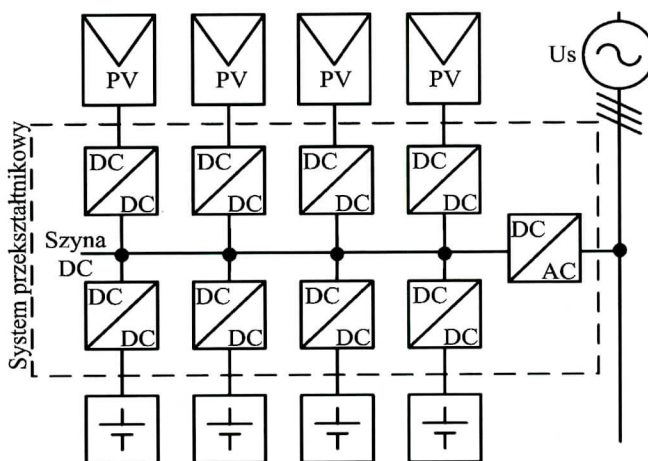
Jedną z podstawowych cech źródła fotowoltaicznego jest zależność mocy wytwarzanej od warunków atmosferycznych. Priorytetem jest uzyskiwanie maksymalnej energii przy danym poziomie nasłonecznienia oraz temperatury. Osiągane jest to przez stosowanie układu przekształtnikowego wraz z zaimplementowanym układem sterowania śledzącym punkt maksymalnej mocy ogniwa (ang. *Maximum Power Point Tracking*). Założono, że napięcie źródeł PV (ang. *PhotoVoltaic*) jest niższe od napięcia wspólnej szyny napięcia stałego DC, stąd przekształtniki impulsowe napięcia stałego DC/DC współpracujące z modułami PV będą miały strukturę układów podwyższających.

Przekształtniki DC/DC współpracujące z bateriami elektrochemicznymi

Celem systemu jest współpraca z bateriami elektrochemicznymi pracującymi, jako odbiorniki energii wykorzystywanej później do napędu pojazdów elektrycznych. Ze względu na różnorodność typów baterii oraz odrębne własności fizykochemiczne konieczne będzie dołączenie układów przekształtnikowych ładujących magazyn wg zadanej charakterystyki ładowania dla konkretnego modelu. Przekształtniki, pełniące rolę „inteligentnej ładowarki” zapewniającej odpowiednie zarządzanie rozdziałem energii między baterie, dołączone są do wspólnej szyny napięcia pośredniczącego. Założono, że baterie będą miały napięcie maksymalne niższe niż napięcie wspólnej szyny DC, stąd układy DC/DC odpowiedzialne za ładowanie magazynów będą miały strukturę przekształtników obniżających (ang. *buck converter*).

Przekształtnik DC/AC współpracujący z siecią elektroenergetyczną

Stacja ładowania akumulatorów może być wyposażona w energoelektroniczne układy typu DC/AC (falownik napięcia) sprzęgające wspólną szynę napięcia stałego z siecią energetyczną, co pozwala na oddawanie nadwyżek energii ze źródeł do systemu energetycznego i uzupełnianie niedoborów w czasie, gdy dostępna ze źródeł moc jest niewystarczająca do zaplanowanego ładowania baterii, np. w porze nocnej.



Rys. 1. Schemat energoelektronicznego systemu stacji ładowania akumulatorów zasilanej z paneli PV
Fig. 1. Scheme of the power electronics system of battery charging plant supplied from PV panels

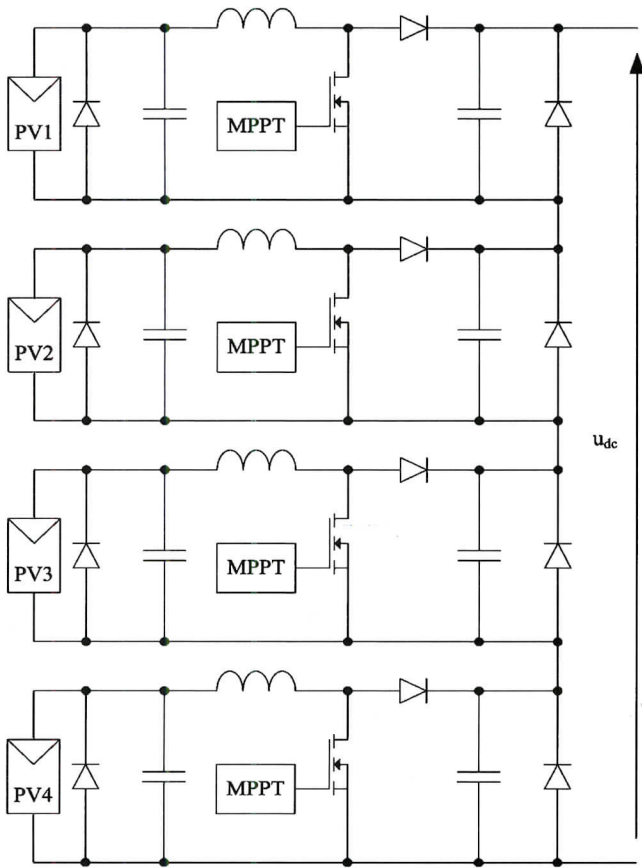
Przekształtniki współpracujące z ogniwami fotowoltaicznymi

Wybór przekształtnika oraz układu sterowania

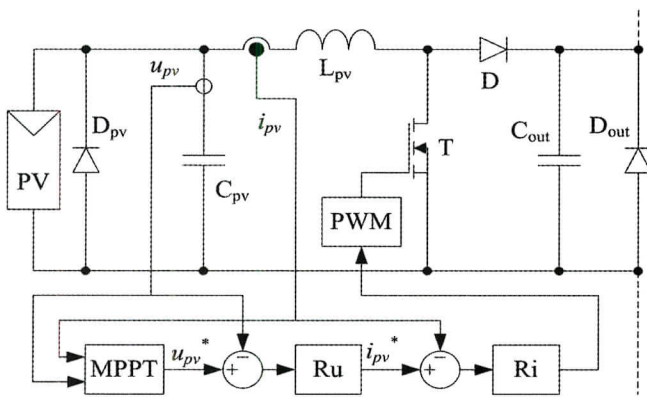
W literaturze znaleźć można wiele topologii i rozwiązań przekształtników współpracujących z ogniwami fotowoltaicznymi [1–3]. Najnowsze rozwiązania układów przekształtnikowych dedykowanych dla źródeł typu PV koncentrują się na zmniejszeniu liczby modułów PV obsługiwanych przez jeden przekształtnik. Ma to na celu osiągnięcie następujących cech układu przekształcania energii:

1. Lepsze wykorzystanie oraz zwiększenie niezawodności paneli PV – wyższa sprawność wytwarzania energii elektrycznej przez dobór punktu pracy każdego z paneli (lub niewielkiej grupy paneli) z osobna. Nawet przy uszkodzeniu jednego z paneli odbieranie energii z pozostałych paneli jest możliwe.
2. Zwiększenie niezawodności systemu energoelektronicznego – uszkodzenie jednego z układów przekształtnikowych nie ma wpływu na pracę innych przekształtników pracujących w tym samym systemie. W analizowanym systemie zaproponowano przekształtnik wielowejściowy podwyższający napięcie. Strukturę układu przedstawiono na rys. 2. Dzięki takiej strukturze uzyskano zmniejszenie liczby paneli obsługiwanych przez pojedynczy moduł przekształtnika DC/DC a jednocześnie zapewniono osiągnięcie odpowiedniego poziomu napięcia na wyjściu przekształtnika (na wspólnej szynie DC) bez stosowania układów transformatorowych o niższej sprawności.

Układ regulacji dla pojedynczego modułu przekształtnika przedstawiono na rys. 3. Przedstawiony blok MPPT odpowiedzialny jest za śledzenie punktu mocy maksymalnej, czyli odbiór maksymalnej możliwej mocy ze źródła w danych warunkach promieniowania słonecznego.



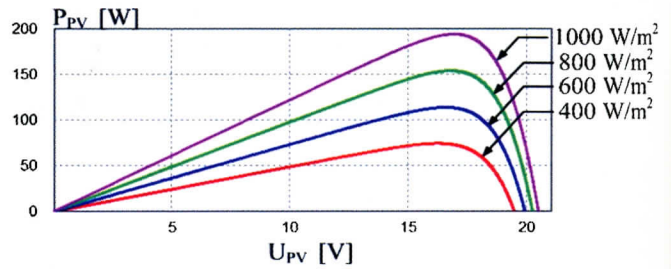
Rys. 2. Struktura wielow wejściowego układu DC/DC dedykowanego dla paneli fotowoltaicznych
 Fig. 2. Structure of the multi-input DC/DC converter dedicated for photovoltaic panels



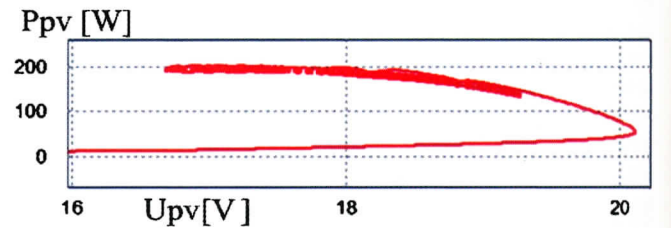
Rys. 3. Schemat układu regulacji dla pojedynczego przekształtnika DC/DC
 Fig. 3. Diagram of the control method for individual DC/DC converter

Wyniki symulacyjne badań

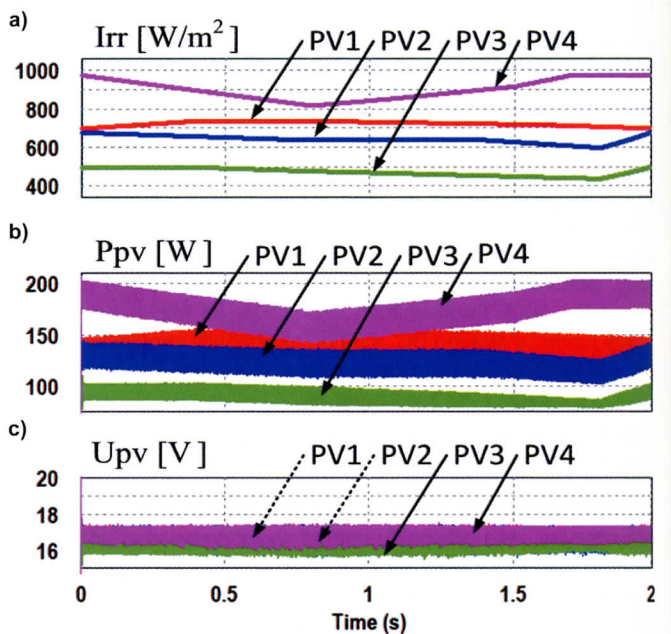
Wyniki implementacji modelu modułu fotowoltaicznego przedstawiono na rys. 4. Zaprezentowano charakterystykę mocy w funkcji napięcia modułu zakładając stałą temperaturę otoczenia oraz zmienne nasłonecznienie. Przedstawiona charakterystyka stanowi podstawowy element oceny fotoogniwa oraz stanowi bazę dla wyznaczenia maksymalnej możliwej mocy do uzyskania z ogniwa (poszukiwanie ekstremów funkcji przedstawionych na rys. 4). Układ sterowania pojedynczego przekształtnika współpracującego z panelem PV wyposażony jest w algorytm śledzący ekstremum funkcji z rys. 4 – punkt mocy maksymalnej. Praca



Rys. 4. Charakterystyki mocy panelu PV uzyskane na bazie modelu matematycznego
 Fig. 4. Power characteristics of the PV panel obtained on the basis of mathematical model



Rys. 5. Przebieg poszukiwania punktu mocy maksymalnej przy wykorzystaniu algorytmu P&O
 Fig. 5. Maximum power point tracking based on the P&O method



Rys. 6. Przebiegi czasowe: a) nasłonecznienia, b) mocy wyjściowej oraz c) napięcia na panelach fotowoltaicznych w układzie z przekształtnikiem wielow wejściowym
 Fig. 6. Waveforms of a) solar radiation, b) output power and c) voltage of the PV panels equipped with multi-input power electronics converter

w pobliżu tego punktu zapewnia najwyższą sprawność przetwarzania energii słonecznej przez moduł fotowoltaiczny, przy czym ze względu na możliwy różny stopień zaciemnienia każdego z paneli, mogą one pracować w danej chwili z inną mocą maksymalną. Szczegółowy opis modelu matematycznego źródła PV, który wykorzystano do budowy modelu symulacyjnego opisano w [4]. Model oparty został na ekwiwalencie elektrycznym ogniwa fotoelektrycznego oraz równaniach fizycznych opisujących zależność napięcia ogniwa od generowanego prądu dla zadanych warunków początkowych temperatury oraz nasłonecznienia.

Na rysunku 5 przedstawiono działanie układu z zaimplementowanym algorytmem śledzenia punktu mocy maksymalnej typu „zaburz i obserwuj” (ang. P&O). Algorytm ze względu na prostotę implementacji jest powszechnie stosowany w większości aplikacji oraz szczegółowo opisany w literaturze [5, 6], dlatego też w niniejszym artykule nie będzie szczegółowo omawiany. Rysunek 5 pokazuje wyniki symulacji pracy pojedynczego układu przekształtnikowego dołączonego do panelu fotowoltaicznego o parametrach $P_{MPP} = 200 \text{ W}$, $U_{MPP} = 17,1 \text{ V}$, w którym zaimplementowano algorytm śledzący punkt maksymalny ogniwa. Widoczne jest na rys. 5 jak punkt pracy układu podąża do wartości bliskiej mocy maksymalnej źródła fotowoltaicznego. Symulację działania układu z pojedynczym panelem przeprowadzono zakładając stałe nasłonecznienie oraz temperaturę.

Działanie kaskady przekształtników DC/DC współpracujących z modułami PV przedstawiono na rys. 6. Symulacje zakładały zaimplementowanie różnych zmian wartości nasłonecznienia (rys. 6a) oraz analizę pracy układów przekształtnikowych wraz z układami sterowania przez obserwację mocy pobieranej ze źródła (rys. 6b) oraz zmian napięcia wejściowego (rys. 6c). Analizując przebiegi z rys. 6 dowieść można, że każdy z przekształtników działa niezależnie odbierając maksymalną moc z źródła. W przypadku wzrostu natężenia światła padającego (rys. 6a) wzrasta ilość odebranej energii ze źródła przez przekształtnik (rys. 6b). Jednocześnie przedstawione napięcie na wejściu przekształtnika (rys. 6c) potwierdza niewielką zależność napięcia ogniwa fotoelektrycznego od zmian natężenia oświetlenia. Potwierdza to prawidłowe działanie modelu fotoodbiornika.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono założenia pracy systemu, w tym możliwość współpracy z siecią oraz opisano funkcje poszczególnych przekształtników energoelektronicznych. W artykule skoncentrowano się na pracy i sterowaniu przekształtników dołączonych do źródeł PV z uwzględnieniem algorytmu poszukiwania mocy maksymalnej zespołu paneli. Przedstawiono symulacje ich pracy w programie symulacyjnym PSIM, koncentrując się na pokazaniu niezależności działania układów sterowania i samych przekształtników. Na podstawie przeprowadzonych analiz zaprojektowano i wykonano model systemu, który jest obecnie w fazie badań laboratoryjnych.

Przedstawione prace zostały wykonane w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr NR10 0020 10 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Literatura

- [1] Wuhua Li: Review of Nonisolated High-Step-Up DC/DC Converters In Photovoltaic Grid-Connected Applications, INDUSTRIAL ELECTRONICS (ISIE), vol. 58, no. 4, April 2011, p. 1239–1250.
- [2] Chuan Yao.: Isolated Buck-Boost DC/DC Converter for PV Grid-Connected System, INDUSTRIAL ELECTRONICS (ISIE), July 2010, s. 889–894.
- [3] Weidong Xiao i in.: Topology Study o Photovoltaic Interface for Maximum Power Point Tracking, INDUSTRIAL ELECTRONICS (ISIE), vol. 54, no. 3, June 2007, p. 1696–1704.
- [4] Huan Liang Tsai i in.: Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK, World Congress on Engineering and Computer Science, 2008 r.
- [5] Salas V. i in.: Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems, Solar Energy Materials & Solar Cells, 2006, p. 1555–1678.
- [6] Ting-Chung Yu, Yu-Cheng: A Study on Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Systems, 2010.

Plazmonika w fotowoltaice – próby aplikacji

mgr inż. ZBIGNIEW STAROWICZ, dr MAREK LIPIŃSKI

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie

Fotowoltaika jest dynamicznie rozwijającą się dziedziną nauki i przemysłu o ogromnym potencjale. Aby fotowoltaika stała się powszechnym i opłacalnym źródłem energii elektrycznej, potrzebna jest wysoka sprawność ogniw słonecznych oraz redukcja jej kosztów pozyskania – np. koszty materiałowe. Potrzeba znacznej redukcji grubości ogniw doprowadziła do rozwoju technologii cienkowarstwowych ogniw, które mają nieco niższą sprawność niż „grube” ogniwa krzemowe. W przypadku ogniw cienkowarstwowych nie ma możliwości wytworzenia tekstury w celu lepszego pułapkowania światła, gdyż geometryczne rozmiary charakterystycznych piramid przekraczają całkowitą grubość ogniwa. Dlatego też duże nadzieje związane są z plazmoniką, która dostarcza odpowiednich metod pozwalających uzyskać zwiększenie absorpcji światła w półprzewodniku. Plazmonika to stosunkowo nowa dziedzina nauki i techniki zajmująca się związaniem światła, w strukturach metalicznych w skali nano. Zachodzi tu wiele ciekawych zjawisk, które mogą być z aplikowane w wielu różnych dziedzinach. W przypadku fotowoltaiki nanocząstki metali reagując ze światłem mogą powodować rozpraszanie go w kierunku podłoża pod różnymi kątami wydłużając przy tym długość drogi optycznej lub wspomagać generację nośników, dzięki oddziaływaniu bliskiego pola wokół cząstek [1]. Ich właściwości zmieniają się w szerokim zakresie, co pozwala dostosować je do każdego rodzaju ogniw [2]. Poszukuje się także nowych łatwiejszych i tańszych metod otrzymywania pożądaných nanostruktur. Prezentowane doświadczenia i wyniki te mają charakter wstępny, z uwagi na niedawno rozpoczęte prace badawcze w tej dziedzinie.

Podstawy fizyczne

Zjawisko to jest ściśle powiązane z budową wewnętrzną metali. Nieruchome rdzenie atomowe tworzą węzły sieć krystalicznej, pozostałą przestrzeń wypełnia gaz elektronowy. Gdy na mały obiekt metalowy działa pole elektryczne, swobodne elektrony przemieszczają względem dodatnio naładowanych rdzeni zgodnie z kierunkiem pola tworząc dipol. Drgające pole elektryczne powoduje oscylację gazu elektronowego. Taka sytuacja ma miejsce, gdy fala elektromagnetyczna pada cząstki mniejsze od jej długości. Fala o częstotliwości zbliżonej do częstotliwości plazmowej metalu powoduje, iż oscylacje te mają charakter rezonansowy. Do zastosowań w plazmonice jednymi z najlepiej nadającymi się pierwiastkami są aluminium i srebro [4], ze względu na dużą koncentrację elektronów oraz złoto i miedź, których rezonans znajduje się w paśmie widzialnym. Jak zostało już wspomniane zastosowanie nanocząstek plazminicznych do ogniw fotowoltaicznych może być dwójakiego rodzaju w zależności od koncepcji i architektury ogniwa. W niniejszej pracy skupimy się wyłącznie na własnościach rozpraszających, umożliwiających także pułapkowanie światła w ogniwie. Podstawowym własnością jest zdolność do rozpraszania i absorpcji światła, które zamieniane jest na bezużyteczne ciepło:

$$C_{Scat} = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 |\alpha|^2 \quad (1)$$

$$C_{Abs} = \frac{2\pi}{\lambda} \text{Im}[\alpha] \quad (2)$$