

Demonstrator kontrolera procesu ładowania akumulatora bazującego na technologii LiFePO₄ dedykowanego dla autonomicznych instalacji fotowoltaicznych

Streszczenie. W artykule zaprezentowano demonstrator kontrolera procesu ładowania akumulatora bazującego na technologii LiFePO₄, który powstał w wyniku współpracy Instytutu Technologii Elektronowej Oddziału w Krakowie i firmy Zamel sp. z o.o. z Pszczyny, dedykowany dla autonomicznych instalacji fotowoltaicznych. Powstał on z myślą o instalacjach fotowoltaicznych wyposażonych w akumulatory bazujące na technologii LiFePO₄, ale z powodzeniem po niewielkich modyfikacjach może być stosowany do rozwiązań opartych o inne technologie. Główną zaletą kontrolera jest funkcja wyszukiwania rzeczywistego punktu mocy maksymalnej. Funkcja ta jest niezwykle istotna w przypadku współpracy z modułami częściowo przesłoniętymi. Zaprezentowano możliwość jego pracy w większych systemach. Przedstawiono koncepcję i schemat blokowy wspomaganej komputerem stanowiska badawczego, pozwalającego na przeprowadzenie licznych, w tym również długofalowych badań regulatora. Zaprezentowano i omówiono wyniki jego badań.

Abstract. The paper presents the demonstrator of the charging process controller based on LiFePO₄ technology. Developed in cooperation between the Institute of Electron Technology Division in Krakow and Zamel in Pszczyna is dedicated for use with autonomous photovoltaic systems. The controller was designed for the photovoltaic installations equipped with LiFePO₄ batteries. However, with minor modifications, it can be applied to other solutions. The main advantage of the controller is the actual maximum power point search capability. This feature is extremely important for cooperation with the partially shaded modules. The possibility of operation in larger systems has been discussed. The concept and schematic block diagram of a computer aided test bench that allows to perform numerous, including long-term, research of the controller has been presented. The results of research were also presented and discussed. (**Demonstrator of the charging process controller based on LiFePO₄ technology dedicated for standalone photovoltaic systems**).

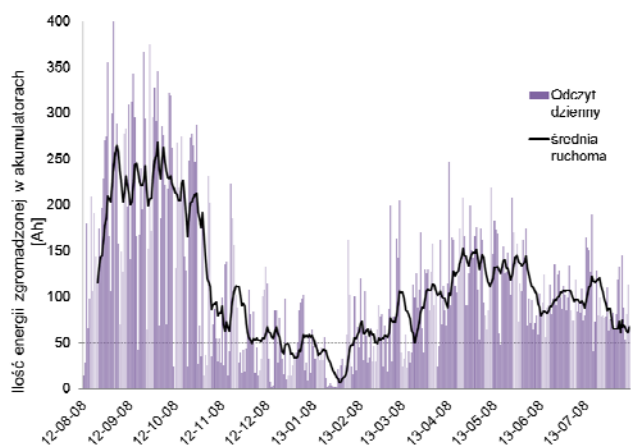
Słowa kluczowe: akumulator LiFePO₄, kontroler ładowania, ładowanie akumulatora, autonomiczna instalacja PV

Keywords: LiFePO₄ battery, charge controller, battery charging, autonomous PV installation.

doi:10.12915/pe.2014.09.09

Wstęp

Obecnie w systemach fotowoltaicznych do magazynowania energii elektrycznej stosuje się najczęściej akumulatory kwasowo-ołowiowe, które jednak wykazują szereg znaczących wad. Oprócz degradacji pojemności akumulatory kwasowo-ołowiowe charakteryzują się dużymi gabarytami i małą odpornością na ujemne temperatury. Na rysunku 1 przedstawiono wykres obrazujący ilość energii zgromadzonej w akumulatorach kwasowo-ołowiowych z elektrolitem żelowym. Już po 1 roku prowadzenia badań w warunkach rzeczywistej eksploatacji można zauważyć znaczącą degradację wydajności. Powyższe wady akumulatorów kwasowo-ołowiowych spowodowały wzrost zainteresowania technologiami litowo-jonowymi w instalacjach fotowoltaicznych.



Rys.1. Ilość dziennej energii zgromadzonej w akumulatorach w ujęciu 1 roku (system fotowoltaiczny o mocy 4kWp z bankiem akumulatorów 8 x 200Ah – 4S2P, badania własne)

W pracach [1-4] przeprowadzono analizy i porównania technologii magazynowania energii. Wynika z nich, że

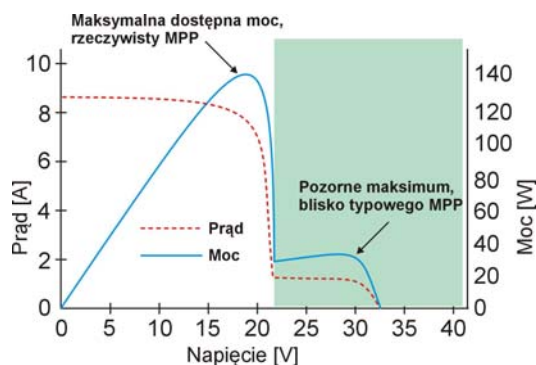
akumulatory litowo-jonowe charakteryzują się lepszymi właściwościami, a przy jednoczesnej prognozie obniżki ich cen mogą być za kilka lat wiodącym rozwiązaniem w komercyjnych systemach fotowoltaicznych.

W odróżnieniu od technologii kwasowo-ołowiowej akumulatory litowo-jonowe charakteryzują się znacznie dłuższym czasem życia. W pracy cyklicznej standardowe akumulatory żelowe już po około 300-600 cyklach ładowania/rozładowania wykazują znaczne zmniejszenie pojemności, przy takich samych warunkach, akumulatory litowo-jonowe wytrzymują około 1500-2000 cykli ładowania/rozładowania. W publikacji [4] przedstawiono ilości potencjalnych wymian akumulatorów w zależności od współczynnika jakościowego energii i w każdym przypadku akumulatory kwasowe zdecydowanie wykazują gorsze właściwości i ich niższa cena nie rekompensuje kosztów potencjalnych wymian.

W artykułach [5, 6] przedstawiono analizę i symulację układów PV współpracujących z akumulatorami litowo-jonowymi w systemie pracy buforowej. Wynika z nich, że dzięki dużej sprawności ładowania i rozładowania elektrownie fotowoltaiczne znacznie polepszyły stabilność i przewidywalność działania oraz poprawiły samokonsumpcję wyprodukowanej energii. Z punktu widzenia systemów fotowoltaicznych najbardziej obiecująca wydaje się być technologia LiFePO₄. W pracy [7] autorzy przedstawili możliwość zastosowania układu PV z akumulatorami LiFePO₄ w samochodach hybrydowo-elektrycznych.

Zasadniczą wadą technologii litowo-jonowej jest wrażliwość na procesy ładowania i rozładowania. Niekorzystne warunki mogą doprowadzić do znacznej degradacji pojemności, a nawet zapłonu i zniszczenia akumulatora. Stąd istotne jest zastosowanie odpowiedniego kontrolera. Pojawiające się na rynku nieliczne komercyjne kontrolery ładowania dedykowane do technologii LiFePO₄, nie pozwalają na wyszukiwanie punktu mocy maksymalnej w przypadku, gdy moduł jest częściowo przesłonięty,

poмимо, że taka sytuacja może często mieć miejsce. Problem ten ilustruje rysunek 2, a szczegółowo został omówiony w pozycji [8].

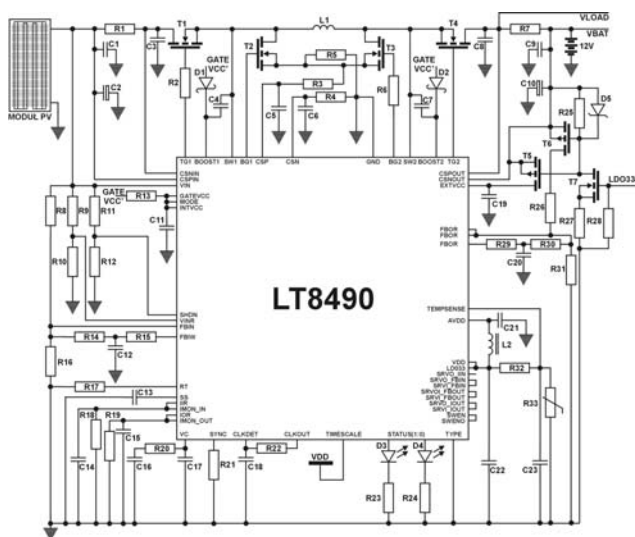


Rys.2. Charakterystyka I-V modułu częściowo przesłoniętego

Z rysunku tego wynika, że rzeczywista moc maksymalna może znacznie odbiegać od typowego punktu mocy maksymalnej i wtedy należy się liczyć z niepoprawnym wykorzystaniem energii elektrycznej wygenerowanej przez moduł fotowoltaiczny. Głównym celem, jaki sobie postawiono przy projektowaniu kontrolera jest rozwiązanie tego problemu. Dodatkowo na podstawie badań rynkowych postanowiono poszukiwać rozwiązania pozwalającego na współpracę z wieloma typami modułów PV również tymi, które są obecnie na etapie prac badawczo rozwojowych oraz pozwalających na zastosowanie ich w instalacjach wyposażonych w akumulatory bazujące na technologii LiFePO₄.

Opis modelu demonstratora systemu

Demonstrator kontrolera procesu ładowania akumulatora bazującego na technologii LiFePO₄ zbudowano w oparciu o dedykowany układ scalony typu LT 8490, którego podstawowy schemat aplikacyjny przedstawiony na rysunku 3, opracowano w oparciu o materiały udostępnione przez producenta.



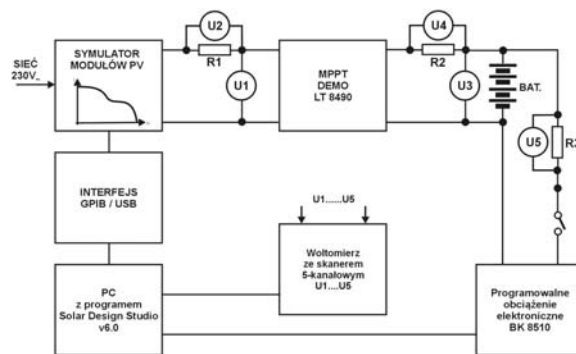
Rys.3. Podstawowy układ aplikacyjny układu LT8490

- Zastosowanie w projekcie układu LT 8490 pozwala na:
- uzyskanie szerokiego zakresu napięć wejściowych (6-80 V) i wyjściowych (1,3 – 80 V) dzięki zaimplementowanej w nim nowoczesnej przetwornicy DC/DC typu step-up/step-down,
 - uzyskanie wysokiej sprawności,

- wyszukiwanie rzeczywistego punktu mocy maksymalnej w przypadku częściowego przesłonięcia modułu (większość komercyjnych rozwiązań nie posiada tej funkcji),
- ładowanie według algorytmu CC/CV dostosowywanego do potrzeb akumulatorów LiFePO₄ albo ołowiowych,
- zastosowanie go do współpracy z innymi źródłami energii DC,
- automatyczną kompensację wpływu zmian temperatury otoczenia,
- możliwość jego pracy w większych systemach, w których wyjścia kontrolerów są połączone równolegle, a do każdego z wejść jest dołączony oddzielny moduł PV.

Opis stanowiska badawczego

Do przeprowadzenia badań zbudowano stanowisko pomiarowe przedstawione na rysunku 4.



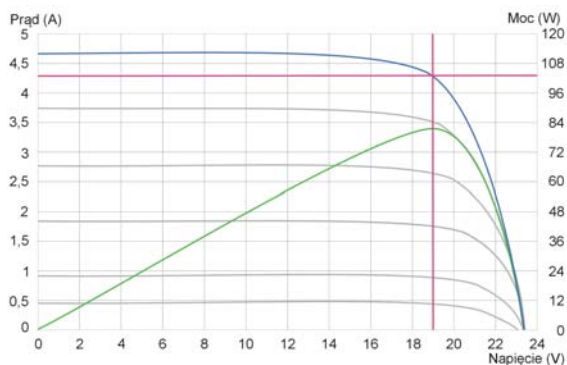
Rys.4. Schemat blokowy stanowiska badawczego

W stanowisku zastosowano:

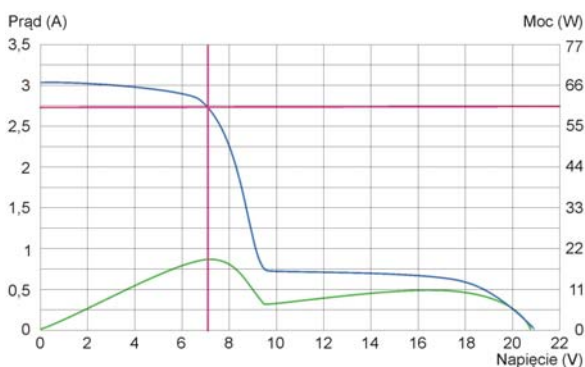
- symulator modułów fotowoltaicznych Agilent E 4350B/J03 10 A 480 W, z autorskim oprogramowaniem oraz komercyjnym programem Solar Design Studio v6.0,
 - multimetr cyfrowy Keithley model 2700 o rozdzielczości 6 1/2 cyfry, wyposażony w uniwersalną 20-kanalową kartę multiplexera typu Keithley 7700,
 - boczniak amperomierza 50 A, 0,001 Ohm, ±1%, Keithley model 1651,
 - programowane obciążenie elektroniczne typu BK 8510, pozwalające na zdejmowanie charakterystyk rozładowania w trybie ze stałym prądem (CC), stałym napięciem (CV), stałą mocą (CP) oraz stałą rezystancją (CR),
 - akumulator zrealizowany w technologii LiFePO₄, zbudowany z czterech szeregowo połączonych ogniw (konfiguracja 4S) typu SP-LFP40AHA oraz specjalizowanego modułu nadzoru typu PCM-L04S60-546,
 - do pomiaru temperatury poszczególnych elementów demonstratora zastosowano bezkontaktowy termometr THERMO-HUNTER model BS-02T o zakresie pomiarowym 0 ~ 500 °C i dokładności pomiaru ±1%.
- Program zarządzający został napisany w języku Delphi i dedykowany jest dla komputerów PC z systemem operacyjnym Windows XP i nowszym. Umożliwia on poprzez interfejs RS232 lub USB zdalne zarządzanie i monitorowanie pracy symulatora, obciążenia elektronicznego i multimetru ze skanerem. Przy pomocy tego programu można zrealizować dowolny eksperyment polegający na ładowaniu i rozładowaniu akumulatora oraz rejestracji napięć w funkcji czasu w pięciu punktach systemu.

Badanie demonstratora

Dla przeprowadzenia badania poprawności wyszukiwania MPP (Maximum Power Point) na wyjściu symulatora generowano kolejno charakterystyki jak na rysunkach 5 i 6.



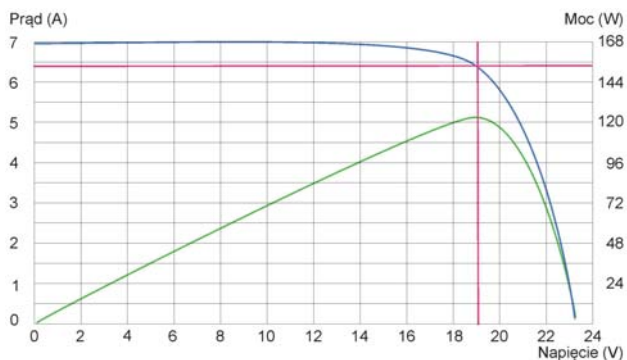
Rys.5. Rodzina charakterystyk wyjściowych modułu wykonanego z krzemu monokrystalicznego dla nasłonecznień 100, 200, 400, 600, 800 i 1000 W/m² i temperatury – 20°C wygenerowana przez symulator



Rys.6. Charakterystyka wyjściowa modułu częściowo zacienionego

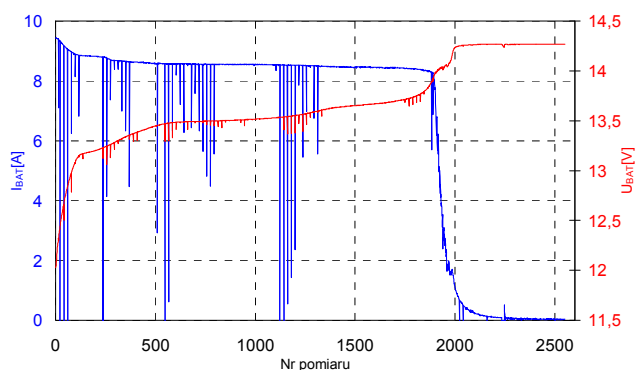
Krzyżujące się na rysunkach czerwone linie pokazują precyzję wyszukania MPP. Czas wyszukania MPP jest rzędu pojedynczych sekund. Analiza zachowania się demonstratora po podawaniu na jego wejście kolejnych symulacji charakterystyk wyjściowych modułu pozwala na stwierdzenie, że układ działa poprawnie i zgodnie z naszymi oczekiwaniami. Wyszukiwanie MPP jest szybkie, precyzyjne i również poprawne w przypadku modułu częściowo przesłoniętego (rys. 6). Wysoko również należy ocenić zachowanie się układu w przypadku niskiego nasłonecznienia modułu (100 W/m²).

Badanie procesu ładowania prowadzono podając na wejście demonstratora symulację charakterystyki wyjściowej modułu PV pokazanej na rysunku 7.



Rys.7. Charakterystyka wyjściowa na wyjściu symulatora stosowana w badaniu procesu ładowania

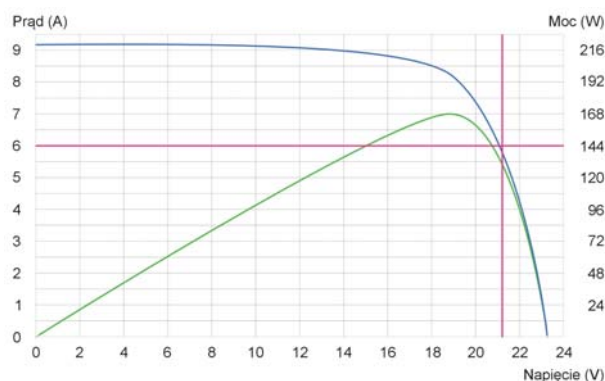
Pomiary wykonywano co 10 s. Charakterystykę ładowania przedstawiono na rysunku 8.



Rys.8. Charakterystyka ładowania

W czasie prowadzenia procesu ładowania wielokrotnie dokonywano pomiaru temperatury układu LT 8490, induktora, elementów mocy oraz wybranych punktów płytki drukowanej. Temperatury te nie przekraczały 42°C przy temperaturze otoczenia ok. 20°C.

Badanie poprawności działania układu ograniczenia prądu wyjściowego prowadzono podając na wejście demonstratora symulację charakterystyki wyjściowej modułu PV.



Rys.9. Charakterystyka wyjściowa na wyjściu symulatora stosowana w badaniu poprawności działania układu ograniczenia prądu wyjściowego

Ze względu na działanie systemu ograniczenia prądu wyjściowego na poziomie 8,8 do 9,3 A układ pracuje poza MPP, co widać na rysunku 9. Jest to poprawne zachowanie układu. Temperatura żadnego elementu nie przekroczyła 43°C.

Wnioski i uwagi końcowe

Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że opracowany demonstrator zbudowany w oparciu o układ scalony LT 8490 jest obecnie najciekawszym ze znanych nam rozwiązań. Działa poprawnie i zgodnie z naszymi oczekiwaniami. Wyszukiwanie MPP jest szybkie, precyzyjne i również poprawne w przypadku modułu częściowo przesłoniętego. Wysoko oceniono również zachowanie się układu w przypadku niskiego nasłonecznienia modułu (100 W/m²). Poszczególne elementy systemu mają niską temperaturę pracy, a jego sprawność jest bardzo wysoka.

LITERATURA

- [1] Rydh C.J., Sanden B.A., Energy analysis of batteries in photovoltaic systems. Part I: Performance and energy requirements, *Energy Conversion and Management* 46 (2005), 1957-1979
- [2] Rydh C.J., Sanden B.A., Energy analysis of batteries in photovoltaic systems. Part II: Energy return factors and overall battery efficiencies, *Energy Conversion and Management* 46 (2005), 1980-2000
- [3] Divya K.C., Ostergaard J., Battery energy storage technology for power systems – An overview, *Electric Power Systems Research* 79 (2009), 511-520
- [4] Thiaux Y., Schmerber L., Seigneurbieux J., Multon B., Ahmed H.B., Ker-lann C.D., Comparison between Lead-Acid and Li-Ion accumulators in Stand-Alone Photovoltaic System using the Gross Energy Requirement Criteria, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 21-25 September 2009, Hamburg, Germany, 21-25
- [5] Schmiegel A.U., Knaup P., Meisser A., Jehoulet C., Schuh H., Landau M., Braun M., Sauer D.U., The Sol-ion system: a stationary PV battery system, 5th International Renewable Energy Storage Conference (2010)
- [6] Beltran H., Swierczynski M., Luna A., Vazquez G., Belenguer E., Photovoltaic Plants Generation Improvement using Li-Ion Batteries as Energy Buffer, *Industrial Electronics (ISIE)*, 2011 IEEE International Symposium, 2063-2069
- [7] Gibson T.L., Kelly N.A., Solar photovoltaic charging of lithium-ion batteries, *Journal of Power Sources* 195 (2010), 3928-3932
- [8] Radziemska E., Piekarska K., Grzesiak W., Badania eksperymentalne wpływu częściowego zacienienia modułu fotowoltaicznego na generowaną moc elektryczną, *Elektronika* 6/2010, 175-177

Autorzy: dr inż. Wojciech Grzesiak, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: grzesiak@ite.waw.pl; lic. Piotr Maćków, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: pmackow@ite.waw.pl; mgr Tomasz Maj, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: maj@ite.waw.pl; mgr inż. Szymon Zawora, Zamel sp. z o.o., ul. Zielona 27, 43-200 Pszczyna, E-mail: szymon.zawora@zamel.pl; mgr inż. Paweł Grzesiak, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, ul. Rakowicka 27, 31-510 Kraków, E-mail: pawel@grzesiak.com.pl.