

Innowacyjne ładowarki słoneczne – rozwiązania WITI

Streszczenie. Niniejsza praca dotyczy przedstawienia innowacyjnych rozwiązań WITI w zakresie konstrukcji ładowarek słonecznych. W pracy przedstawiono panoramę projektu pt.: Wydajne i lekkie układy zasilające złożone z ogniwa słonecznego i baterii litowo-jonowej oraz ogniwa słonecznego i superkondensatora przeznaczone do zastosowań specjalnych realizowanego w ramach Strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Nowoczesne technologie materiałowe”. Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBR).

Abstract. This paper concerns the presentation of innovative WITI solutions in the field of the construction of solar chargers. The paper presents a panorama of the project entitled: Efficient and lightweight power supply systems consisting of a solar cell and a lithium-ion battery as well as a solar cell and a supercapacitor for special applications implemented under the Strategic Program of Scientific Research and Development "Modern Materials Technologies". National Center for Research and Development (NCBR). (**Innovative solar chargers - WITI solutions**).

Słowa kluczowe: ładowarki słoneczne, ogniwa fotowoltaiczne, superkondensatory, baterie litowo-jonowe.

Keywords: solar chargers, photovoltaic cells, supercapacitors, lithium-ion batteries.

Wstęp: Panorama projektu

Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej (WITI) jest liderem projektu pt.: Wydajne i lekkie układy zasilające złożone z ogniwa słonecznego i baterii litowo-jonowej oraz ogniwa słonecznego i superkondensatora przeznaczone do zastosowań specjalnych realizowanego w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Nowoczesne technologie materiałowe”. Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBR). W skład konsorcjum realizującego projekt wchodzi: Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki i Wydział Chemii, Instytut Fizyki, PAN, Warszawa oraz firma ML System S.A., Zaczernie.

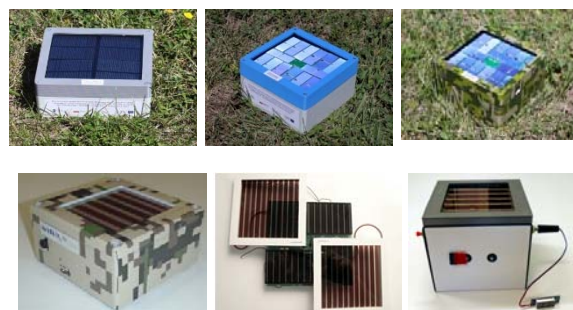
Celem finalnym projektu jest konstrukcja dwóch demonstratorów urządzenia zwanego ładowarką słoneczną, z których każdy jest złożony z ogniwa słonecznego i urządzenia magazynującego energię elektryczną. Zaplanowano konstrukcję i optymalizację trzech rodzajów ogniw słonecznych: organicznego, barwnikowego i krzemowego, dwóch kondensatorów oraz dwóch baterii litowych. Ładowarka ma służyć magazynowaniu energii światła słonecznego z możliwością wykorzystania jej przy braku nasłonecznienia. Jest przeznaczona dla użytkowników urządzeń elektronicznych, takich jak telefony komórkowe i tablety, oraz dla zastosowań specjalnych: nawigacji satelitarnej, noktowizorów i dalmierzy laserowych. Oprócz prac badawczo-rozwojowych w ramach projektu prowadzone są działania promocyjne i marketingowe w kierunku rozpowszechniania wiedzy o fotowoltaice i magazynach energii w społeczeństwie polskim oraz w kierunku transferu proponowanych rozwiązań do przemysłu. Proponowane rozwiązania ujmują zarówno innowacje naukowe jak i użytkowe.

Innowacyjne ładowarki słoneczne: ogniwa słoneczne i superkondensatory

Konstrukcję ładowarek słonecznych w WITI rozpoczęto od zaprojektowania odpowiedniego modelu, który spełniałby założenia początkowe związane z wymiarami przedmiotowej ładowarki nieprzekraczającymi 150 mm × 150 mm. Sumarycznie skonstruowano 8 ładowarek słonecznych zawierających bądź krzemowe (komercyjne) ogniwa słoneczne i superkondensatory komercyjne, krzemowe (komercyjne) ogniwa słoneczne i nowe superkondensatory dostarczone z UW WCh, barwnikowe (komercyjne) ogniwa słoneczne i superkondensatory z UW WCh, oraz nowe barwnikowe ogniwa słoneczne

dostarczone z ML System (skonstruowane w oparciu o elektrolit żelowy opracowany w WITI) i nowe superkondensatory dostarczone z UW WCh. Ponadto, w celu polepszenia parametrów elektrycznych ogniw barwnikowych skonstruowano 2 ładowarki słoneczne zawierające propozycje zastosowania hybrydowego połączenia barwnikowych i krzemowych ogniw słonecznych.

Szczegóły dotyczące proponowanych rozwiązań opublikowano w [1-4]. Ponadto, każda ze skonstruowanych ładowarek słonecznych posiada opracowaną w WITI kartę produktu. Na rysunku 1 przedstawiono zdjęcia całej gamy skonstruowanych w WITI ładowarek słonecznych dla zastosowań cywilnych i wojskowych obejmujących także opracowanie odpowiednich wzorów kamuflażu.



Rys. 1. Przykładowe zdjęcia ładowarek słonecznych skonstruowanych w WITI na bazie superkondensatorów [1-4].

Skonstruowane ładowarki słoneczne ważą poniżej 2 kg i mieszczą się w damskiej torebce. Najlepsze użytkowe parametry elektryczne otrzymano dla ładowarek słonecznych skonstruowanych na bazie komercyjnych elementów składowych jak i nowych superkondensatorów dostarczonych z UW WCh [1-3]. Przykładowo, dla napięcia superkondensatorów w zakresie 5-5,4 V przy pojemności znamionowej 400 F lub 425 F teoretyczna ilość zmagazynowanej energii wynosiła 1,39-1,72 Wh. Czas pierwszego ładowania w zależności od modelu ładowarki wynosił 4 godziny 15 min – 5 godzin 45 minut przy sprawności układu 0,2 – 0,36, zaś możliwa energia do odzyskania wynosiła 0,23 – 0,57 Wh. Czas rozładowania do napięcia 2 V wynosił 720 – 900 s, przy dostarczonej energii do superkondensatora podczas doładowywania równej 0,22 – 0,61 Wh. Czas doładowania wynosił 1 godzinę 35 minut

lub 2 godziny 5 minut. Otrzymana sprawność podczas doładowywania superkondensatorów wynosiła 0,76 – 0,93 w zależności od modelu ładowarki słonecznej [1, 2].

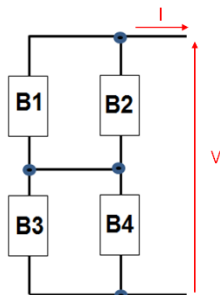
Wymogi dla ogniw barwnikowych (organicznych) w celu integracji z ładowarką słoneczną WITI: założenia wstępne i perspektywy rozwoju

Dla amorficznego ogniwa krzemowego na podłożu szklanym, przy napięciu 4 V, otrzymujemy 2 razy wyższą moc niż dla ogniw barwnikowych. W WITI opracowano założenia wstępne, co do parametrów elektrycznych i optycznych dla nowych ogniw barwnikowych, które mogłyby być wykorzystane w innowacyjnej ładowarce słonecznej WITI.

Reasumując ogniwa barwnikowe, które mogłyby współpracować z ładowarką słoneczną na bazie superkondensatorów opracowaną w WITI powinny charakteryzować się:

- gęstością mocy większą niż $E > 4 \text{ mW/cm}^2$;
- prądem zwarciovym, co najmniej $I_{sc} = 50 \text{ mA}$;
- napięciem obwodu otwartego większym niż $V_{oc} > 6 \text{ V}$;
- maksymalnym napięciem pracy, co najmniej $V_{max} = 4 \text{ V}$;
- maksymalnym prądem pracy, co najmniej $I_{max} = 45 \text{ mA}$.

Po spełnieniu ww. parametrów przez nowe ogniwa barwnikowe (organiczne), mogłyby być one w pełni integralną częścią ładowarki (na bazie superkondensatorów) opracowanej w WITI, która spełniałaby wymogi wymiarowe pola fotoczułego mniejszego niż $120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ przy zachowaniu wymiarów urządzenia $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$, gdzie pojedynczy moduł ogniwa barwnikowego powinien posiadać maksymalny wymiar pola fotoczułego nie większy niż $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$. Wówczas cały panel fotoelektryczny byłby zbudowany z czterech takich ogniw słonecznych pracujących w układzie szeregowo-równoległym (rys. 2).



Rys. 2. Schemat połączeń ogniw słonecznych dla ładowarki słonecznej WITI

Naszym zdaniem panel taki charakteryzowałby się następującymi parametrami:

- prądem zwarciovym, co najmniej $I_{sc} = 100 \text{ mA}$;
- napięciem obwodu otwartego większym niż $V_{oc} > 12 \text{ V}$;
- maksymalnym napięciem pracy, co najmniej $V_{max} = 8 \text{ V}$;
- maksymalnym prądem pracy, co najmniej $I_{max} = 90 \text{ mA}$.

Taki panel słoneczny zbudowany z ogniw barwnikowych (organicznych) byłby w pełni zamiennym elementem panelu zbudowanego z ogniw krzemowych zastosowanego w ładowarce WITI i mógłby z powodzeniem służyć jako podręczne przenośne urządzenie zasilające zapewniające dostęp do energii elektrycznej niewielkim urządzeniom np. tabletom, smartfonom, odbiornikom GPS, lub podręcznym systemom łączności, nadajnikom SOS w sytuacjach wyjątkowych i w warunkach polowych.

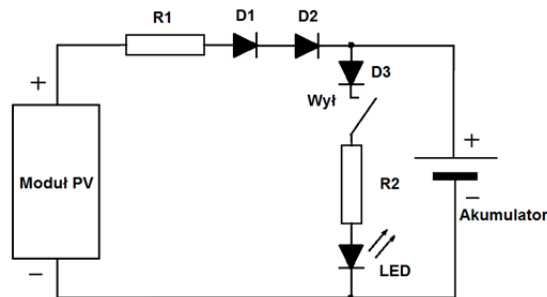
Innowacyjne ładowarki słoneczne: ogniwa słoneczne i baterie litowo-jonowe

Kolejnym krokiem prowadzonych prac badawczych w ramach projektu było skonstruowanie ładowarek słonecznych na bazie baterii litowo-jonowych i ogniw słonecznych. Prace nad tego typu ładowarkami obejmowały z jednej strony konstrukcje opartą o rozwiązania opracowane dla ładowarek na bazie superkondensatorów (omówione powyżej), gdzie magazynem energii był guzikowy akumulator litowo-jonowy dostarczony od Partnera z UW WCh. lub komercyjne baterie litowo-jonowe. Ponadto skonstruowano innowacyjne ładowarki słoneczne o architekturze przedstawionej na rys. 3 gdzie zastosowano komercyjny cylindryczny lub pryzmatyczny akumulator litowy, układ BMS (Battery Management System) oraz krzemowy moduł fotowoltaiczny opracowany w IMIM PAN. Szczegóły dotyczące proponowanych rozwiązań opublikowano w [5] oraz opracowano kartę produktu. Dla skonstruowanych ładowarek przeprowadzono zarówno badania laboratoryjne jak i środowiskowe. Dodatkowo na bazie guzikowego akumulatora litowo-jonowego dostarczonego od Partnera z UW WCh i komercyjnych, krzemowych ogniw fotowoltaicznych skonstruowano lekką ładowarkę słoneczną (rys. 3).



Rys. 3. Przykładowe zdjęcia ładowarek słonecznych skonstruowanych w WITI na bazie baterii litowo-jonowych [5].

Skonstruowana ładowarka na bazie pryzmatycznego akumulatora litowego wykazywała napięcie wyjściowe 3,7 V i pojemność w zakresie 20 – 24 Ah. Waga ładowarki słonecznej skonstruowanej w WITI w oparciu o baterie litowo-jonowe guzikowe dostarczone z UW WCh nie przekraczała 50 gramów i charakteryzowała się napięciem 3,2 V – 4,2 V, pojemnością akumulatora 1,65 mAh oraz możliwością pomiaru stanu naładowania akumulatora i możliwością łatwej wymiany akumulatora, co jest istotne ze względów użytkowych. Ładowarkę wyposażono dodatkowo w system kontroli stanu naładowania akumulatora instalując „niebieską” diodę LED, której napięcie „zapłonu” wynosi ok. 2,3 V. Wartość ta jest jeszcze za mała (niezbędne jest napięcie o wartości ok. 3 V), dlatego układ uzupełniono szeregową diodą krzemową. Schemat zastępczy skonstruowanej ładowarki słonecznej przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat zastępczy skonstruowanej ładowarki słonecznej na bazie guzikowej baterii litowo-jonowej.

Innowacyjne ładowarki słoneczne: ogniwa słoneczne, baterie litowo-jonowe i superkondensatory – założenia wstępne i perspektywy rozwoju

Mając na względzie dalszy rozwój przedstawionych powyżej rozwiązań opracowano koncepcję wykonania ładowarki słonecznej z podwójnym systemem magazynowania energii w oparciu o baterie litowo-jonowe jak i superkondensatory. Ładowarka ta dzięki wyposażeniu jej w superkondensator, umożliwi chwilowe pobory dużych prądów (większych niż dopuszczalne prądy akumulatora). Taki układ może mieć zastosowanie w zasilaniu odbiorników w których występują duże prądy startowe np. niektóre typy silników elektrycznych.

Zaproponowaliśmy następujące założenia wstępne dotyczące ładowarki z hybrydowym systemem magazynowania energii :

- napięcie wyjściowe w zakresie 6,4 V – 8,4 V (znamionowe 7,4 V),
- możliwość doładowywania z modułu fotowoltaicznego ok. 0,3 A,
- duża wartość chwilowego prądu rozładowania min. ok. 30 A - 50A przez 1,5 s,
- możliwie najmniejsza masa i wymiary.

Schemat blokowy innowacyjnej ładowarki słonecznej o dużej wydajności prądowej przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat blokowy skonstruowanej ładowarki słonecznej w WITI na bazie hybrydowych magazynów energii.

Proponowane rozwiązanie jest obecnie przedmiotem szczegółowych analiz w WITI.

Podsumowanie

Rozwiązania zaproponowane w ramach realizacji projektu wpisują się w nurt najnowszych badań prowadzonych na świecie i obejmują konstrukcje ładowarek słonecznych w oparciu o polską, innowacyjną myśl technologiczno-inżynierską opracowaną w WITI. Bezwzględnie optymalizacja komponentów składowych ładowarek słonecznych jest elementem kluczowym w celu konstrukcji wydajnych i przyjaznych środowiskowo urządzeń zarówno dla zastosowań cywilnych jak i wojskowych. Proponowane rozwiązania mają duży potencjał aplikacyjny i są realizowane w myśl zasad Zielonej Chemii i zrównoważonego rozwoju dla szeroko pojętego bezpieczeństwa energetycznego i ekologicznego.

Podziękowania dla Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) za wsparcie finansowe projektu „Wydajne i lekkie układy zasilające złożone z ogniwa słonecznego i baterii litowo-jonowej oraz ogniwa słonecznego i superkondensatora przeznaczone do zastosowań specjalnych” otrzymane w ramach Strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Nowoczesne technologie materiałowe”. (Nr TECHMATSTRATEG1/347431/14/NCBR/2018).

Podziękowania dla firmy ML System za współpracę i dostarczenie barwnikowych ogniw słonecznych do konstrukcji ładowarki słonecznej.

Podziękowania dla UW WCh (dr M. Skunik-Nuckowska, prof. P. Kulesza) za współpracę i dostarczenie superkondensatorów do konstrukcji ładowarki słonecznej.

Podziękowania dla UW WCh (dr B. Hamankiewicz, prof. A. Czerwiński) za współpracę i dostarczenie baterii litowo-jonowych do konstrukcji ładowarki słonecznej.

Podziękowania dla IMIM PAN (dr hab. K. Drabczyk) za współpracę i dostarczenie krzemowych ogniw słonecznych do konstrukcji ładowarki słonecznej.

Podziękowania dla Partnerów projektu (prof. M. Kamińska, prof. T. Szoplik, prof. M. Godlewski, prof. M. Skompska, prof. A. Kaim) za harmonijną współpracę.

Autorzy: prof. dr hab. Agnieszka IWAN, Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, E-mail: iwan@witi.wroc.pl; mgr inż. Ireneusz PLEBANKIEWICZ, Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, E-mail: plebankiewicz@witi.wroc.pl; dr inż. Stanisław MALECZEK, Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, e-mail: maleczek@witi.wroc.pl; mgr inż. Wojciech PRZYBYŁ, Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, e-mail: przybyl@witi.wroc.pl; dr Krzysztof A. BOGDANOWICZ, Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, e-mail: bogdanowicz@witi.wroc.pl

LITERATURA

- [1] Plebankiewicz I., Bogdanowicz K.A., Iwan A. Photo-Rechargeable Electric Energy Storage Systems Based on Silicon Solar Cells and Supercapacitor-Engineering Concept , Energies, 13 (2020) 3867.
- [2] Plebankiewicz, I.; Bogdanowicz, K.A.; Iwan, A. Electronic System for Charger of Supercapacitors from Solar Cells. Polish Patent Application P.32868, 2020.
- [3] Skunik-Nuckowska M., Raczka P., Lubera J., Mroziewicz A.A., Kulesza P.J., Plebankiewicz I., Bogdanowicz K., Iwan A., Iodide electrolyte-based hybrid supercapacitor for compact photo-rechargeable Energy storage system utilizing silicon solar cells, Energies 14 (2021) 2708
- [4] Bogdanowicz, K.A.; Augustowski, D.; Dziedzic, J.; Kwaśnicki, P.; Malej, W.; Iwan, A., Preparation and characterization of novel polymer-based gel electrolyte for dye-sensitized solar cells based on poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) and poly(acrylonitrile-co-butadiene) or poly(dimethylsiloxane) bis(3-aminopropyl) copolymers, Materials 13 (2020) 2721.
- [5] Maleczek, S.; Drabczyk, K.; Bogdanowicz, K.A.; Iwan, A. Engineering Concept of Energy Storage Systems Based on New Type of Silicon Photovoltaic Module and Lithium Ion Batteries, Energies 13 (2020) 3701