

Niezależna od sieci elektroenergetycznej mobilna stacja ładowania pojazdów elektrycznych

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki prac B+R dotyczące opracowania mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych niezależnej od sieci elektroenergetycznej. Opisano zastosowane elementy mobilnej stacji ładowania wraz z ich podstawowymi parametrami. Opisano również przygotowany układ pomiarowy, który pozwolił na rejestrację parametrów eksploatacyjnych zaproponowanego rozwiązania. Wyniki badań eksperymentalnych dowodzą, że zaprojektowana mobilna stacja ładowania może pracować nieprzerwanie w trybie autonomicznym, cyklicznie ładując i rozładując zastosowany magazyn energii elektrycznej.

Abstract. This paper presents the results of R&D on a mobile charging station for electric vehicles, independent of the power grid. The components of the mobile charging station are described, along with their basic parameters. The prepared measurement set-up, which allowed for recording the operating parameters of the developed charger is also described. The results of tests prove that the built mobile charging station can operate non-interruptedly in autonomous mode, cyclically charging and discharging the applied electric energy storage. (**Grid-independent mobile charging station for electric vehicles**)

Słowa kluczowe: Pojazdy elektryczne, urządzenia mobilne, mobilna stacja ładowania, odnawialne źródła energii, magazyny energii
Keywords: Electric Vehicles, mobile devices, mobile charging station, renewable energy sources, energy storage

Wprowadzenie

Mobilne systemy ładowania są wytwarzane zarówno na potrzeby obsługi pojazdów elektrycznych (hulajnogę, rowery elektryczne, wózki inwalidzkie oraz samochody elektryczne typu plug-in), jak i urządzeń mobilnych (telefony komórkowe, laptopy, urządzenia ubieralne) [1-4]. Wykorzystują one jako źródła energii akumulatory wykonane w różnych technologiach [5, 6]. Akumulatory są coraz powszechniej wykorzystywane także w transporcie miejskim oraz wewnątrz zakładowym, np. w hulajnogach elektrycznych, czy autobusach elektrycznych oraz wózkach widlowych. Do pracy wymienionych urządzeń niezbędne są systemy ładowania akumulatorów. Typowo korzystają one z zasilania z sieci elektroenergetycznej [7-9].

Z drugiej strony, dynamicznie rozwijają się odnawialne źródła energii elektrycznej. Zastosowanie paneli fotowoltaicznych w systemach ładowania laptopów przedstawiono m.in. we wcześniejszych pracach autorów [3, 4, 10]. W pracach tych przedstawiono strukturę rozważanego systemu, wyniki jego badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych. Rozważany system zawierał jeden panel fotowoltaiczny o szczytowej mocy 240 Wp, akumulator kwasowo-ołowiowy i 2 przetwornice dc-dc typu buck oraz boost.

Celem pracy jest opis opracowanej przez autorów mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych niezależnej od sieci elektroenergetycznej oraz przedstawienie wyników badań eksperymentalnych potwierdzających poprawną pracę opracowanego urządzenia.

W rozdziale drugim przedstawiono wymagania techniczne jakie spełnia opracowana mobilna stacja ładowania pojazdów elektrycznych. W rozdziale trzecim przedstawiono opis poszczególnych elementów składowych wspomnianej mobilnej stacji ładowania, schemat blokowy omawianej stacji oraz przykładową wizualizację przewidywanego miejsca instalacji omawianej mobilnej stacji ładowania. W rozdziale czwartym przedstawiono schemat blokowy układu pomiarowego oraz opisano warunki w jakich były wykonywane badania laboratoryjne zaprojektowanej stacji. W rozdziale piątym przedstawiono wybrane wyniki badań eksperymentalnych.

Wymagania techniczne mobilnej stacji ładowania

W zaprojektowanej mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych ładowane będą tylko pojazdy elektryczne, w których pojemność akumulatorów nie przekracza 100 Ah oraz urządzenia mobilne. Należy również pamiętać, że ładowanie hybrydowych pojazdów elektrycznych typu plug-in uniemożliwi jednocześnie korzystanie ze stacji większej liczbie użytkowników, ponieważ akumulatory w nich stosowane przyjmują energię na poziomie 10 kWh.

Opracowany system do ładowania akumulatorów pojazdów o napędzie elektrycznym musi dostarczać energię o zróżnicowanej wartości zależnej od rodzaju ładowanego pojazdu. Szacunkowe wartości energii niezbędnej do pełnego naładowania akumulatorów w wybranych urządzeniach zebrano w Tabeli 1. W obliczeniach przyjęto arbitralnie, że sprawność energetyczna w procesie ładowania wynosi 90%.

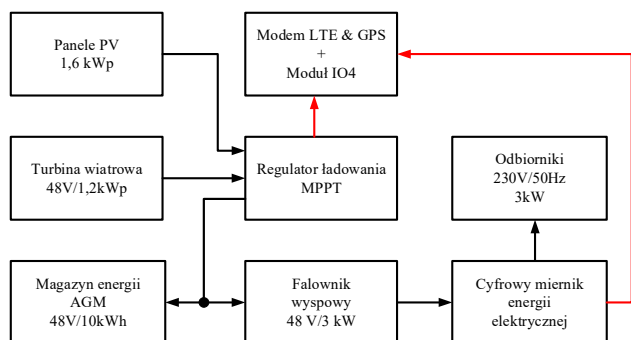
Tabela 1. Szacunkowe wartości energii niezbędnej do pełnego naładowania akumulatorów w wybranych pojazdach elektrycznych

Typ pojazdu	Pojemność akumulatorów [Ah]	Napięcie Ładowania Akumulatorów [V]	Energia niezbędna do naładowania [kWh]
Wózek inwalidzki	76	20	1,368
Hulajnoga elektryczna	10	42	0,378
Rower elektryczny	20	42,2	0,76
Samochód elektryczny	70 - 800	300 - 400	3,7 - 350

Jak widać, rozpiętość wartości energii niezbędnej do pełnego naładowania akumulatorów zawartych w rozważanych pojazdach elektrycznych mieści się w bardzo szerokim zakresie – od niespełna 400 Wh do 350 kWh. Aby było możliwe naładowanie rozważanych akumulatorów w akceptowalnym czasie niezbędne jest, aby energia uzyskiwana z paneli fotowoltaicznych zawartych w systemie była większa od energii niezbędnej do naładowania tych akumulatorów. Z tego powodu założono, że nie będzie możliwości ładowania samochodów elektrycznych, w których magazyn energii jest większy niż 10 kWh, co uniemożliwiłoby korzystanie ze stacji innym użytkownikom.

Konstrukcja mobilnej stacji ładowania

Schemat blokowy zaprojektowanej mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych w pełni niezależnej od sieci elektroenergetycznej został przedstawiony na Rysunku 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych

Opracowany mobilny system ładowania pojazdów elektrycznych zasilany jest z dwóch różnych odnawialnych źródeł energii (OZE). Pierwszym źródłem są cztery panele fotowoltaiczne JAM72S20-455/MR o mocy szczytowej 455 Wp każdy. Drugim źródłem OZE jest trójfazowa turbina wiatrowa o napięciu znamionowym 48 V oraz mocy szczytowej nie przekraczającej 1,2 kWp. Oba źródła OZE współpracują z regulatorem ładowania wykorzystującym topologię MPPT (Maximal Power Point Tracking) co pozwala na aktywne dopasowanie rezystancji obciążenia po stronie magazynu energii elektrycznej oraz maksymalne wykorzystanie mocy zastosowanych źródeł OZE. Układ regulatora ładowania może pracować z dwoma różnymi źródłami OZE o mocach 2 kWp (panele PV) oraz 1,5 kWp (turbina wiatrowa). Układ regulatora ładowania jest bezpośrednio połączony z magazynem energii elektrycznej o napięciu roboczym 48 V i pojemności 200 Ah, co pozwala na zmagazynowanie maksymalnej energii elektrycznej na poziomie 10 kWh. Wspomniany magazyn energii elektrycznej jest wykonany z czterech połączonych szeregowo ogniw akumulatorowych typu AGM o napięciu roboczym 12 V. Aby kontrolować proces ładowania i rozładowania magazynu energii elektrycznej zastosowano układy wyrównawcze (balancer-y) pozwalające na pomiar napięć na każdym ogniwie magazynu energii elektrycznej. Zastosowanie układów wyrównawczych jest konieczne ze względu na różne rezystancje wewnętrzne zastosowanych ogniw AGM.

Magazyn energii elektrycznej jest połączony z falownikiem wyspowym o napięciu zasilania równym 48 V oraz mocy maksymalnej równej 3 kW. Falownik ten nie ma możliwości współpracy z siecią elektroenergetyczną. Zastosowany falownik wyspowy jest połączony z odbiornikami energii elektrycznej poprzez zabezpieczenia różnicowo-prądowe oraz zabezpieczenia nadprądowe, a także cyfrowy miernik energii elektrycznej. Falownik zasila odbiorniki w postaci układów ładowania pojazdów elektrycznych za pomocą trzech zewnętrznych gniazd 230V/50Hz wykonanych w standardzie przemysłowym. Maksymalna moc odbiorników energii elektrycznej nie może przekraczać 3 kW. Mobilna stacja ładowania jest także wyposażona w układy ładowania urządzeń mobilnych wykonanych w standardzie Quick Charge 3.0.

System telemetryczny składa się z modemu LTE + GPS oraz modułu wejść/wyjść IO4. Układy te są połączone poprzez szynę komunikacyjną RS485 z cyfrowym miernikiem energii elektrycznej oraz z regulatorem

ładowania MPPT. Modem LTE+GPS wysyła co jedną minutę dane dotyczące pracy regulatora ładowania, wielkości elektryczne mierzone przez cyfrowy miernik energii elektrycznej oraz aktualną pozycję geograficzną na zdalny serwer z zainstalowaną bazą danych. Specjalnie przygotowana aplikacja mobilna pozwala na przeglądanie zapisanych danych oraz tworzenie pliku *.csv z tymi danymi. Pozwala to analizować dane w dłuższym przedziale czasu pracy mobilnej stacji ładowania.

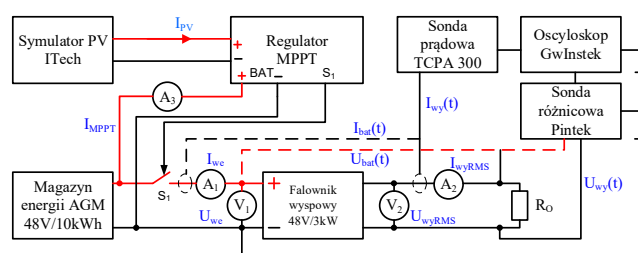
Cała aparatura kontrolno-pomiarowa oraz energoelektroniczna została zamontowana w konstrukcji mechanicznej przypominającej wieżę fotowoltaiczną wraz z dedykowaną ławeczką rekreacyjną dla potencjalnych użytkowników mobilnej stacji ładowania. Pełne zadaszenie wieży fotowoltaicznej ma powierzchnię równą około 9 m². Przykładowe wizualizacje przygotowanej mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych zostały przedstawione na Rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowa wizualizacja dotycząca umiejscowienia mobilnej stacji ładowania

Układ pomiarowy

W celu wykonania niezbędnych badań eksperymentalnych, potwierdzających poprawność pracy skonstruowanej mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych opracowano układ pomiarowy pokazany na Rysunku 3.



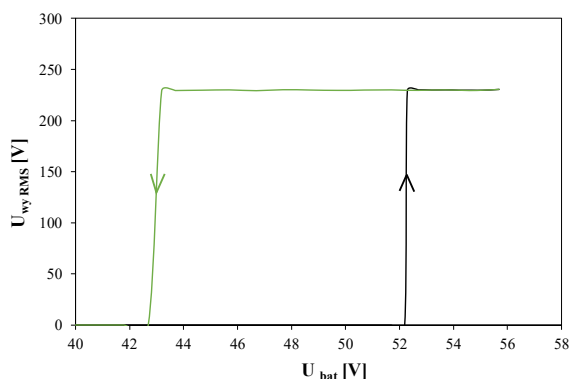
Rys. 3. Schemat układu pomiarowego mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych

Układ ten zasilany jest z symulatora instalacji fotowoltaicznej firmy ITech. Obciążenie instalacji stanowi rezystor mocy R_o , którego rezystancja może być zmieniana w zakresie od 5 do 110 Ω z krokiem ustalonym przez producenta, firmę SIMPAX. W rozważanym układzie pomiarowym mierzone są czasowe przebiegi napięcia $U_{we}(t)$ i prądu $I_{we}(t)$ wejściowego falownika, prądu I_{bat} płynącego przez magazyn energii elektrycznej oraz napięcia $U_{wy}(t)$ i prądu $I_{wy}(t)$ wyjściowego falownika. Podczas badań eksperymentalnych mierzona jest również wartość prądu I_{MPPT} generowanego przez regulator ładowania. Rejestrowane są wartości skuteczne tych

wielkości za pomocą multimetrów oraz wartości chwilowe napięcia i prądu wyjściowego falownika, za pomocą oscyloskopu z podłączoną różnicową sondą napięciową oraz aktywną sondą prądową.

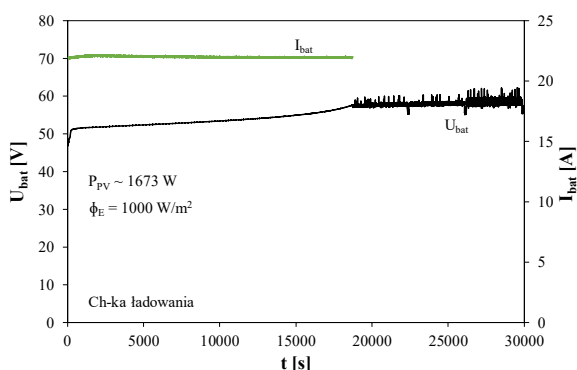
Wyniki pomiarów

Na Rysunku 4 przedstawiono zależność wartości skutecznej napięcia wyjściowego falownika U_{wyRMS} od wartości napięcia U_{bat} na magazynie energii elektrycznej. Jak można zauważyć, rozważana charakterystyka posiada histerezę o szerokości ponad 9 V. Do poprawnej pracy falownika wymagane jest napięcie na magazynie energii powyżej 43 V. Jednak w przypadku, gdy zmaleje ono poniżej tej wartości, ponowne załączenie falownika wymaga wzrostu napięcia na magazynie energii powyżej 52 V. A zatem, niezbędne jest naładowanie akumulatorów w magazynie energii elektrycznej.



Rys. 4. Zmierzona charakterystyka histerezy układu awaryjnego odłączania magazynu energii elektrycznej od falownika

Uzyskane napięcia w pętli histerezy odpowiadają pojemności magazynu energii elektrycznej w zakresie od 20 do 80 %. Praca magazynu energii w takim zakresie pojemności powoduje wzrost dostępnej liczby cykli pracy zastosowanych ogniw AGM, co służy dłuższej bezawaryjnej pracy magazynu energii elektrycznej [6]. W celu uzyskania histerezy o szerokości ponad 9 V wykorzystano możliwość zaprogramowania odpowiednich poziomów napięć w regulatorze ładowania MPPT. Styki pomocnicze zastosowane w regulatorze ładowania pozwoliły na sterowanie zewnętrznym stycznikiem S_1 i odłączanie magazynu energii elektrycznej od falownika wyspowego, aby nie występowały stany awaryjne oraz aby nie dochodziło do zbyt głębokiego rozładowania magazynu energii elektrycznej, a także jego przeładowania.

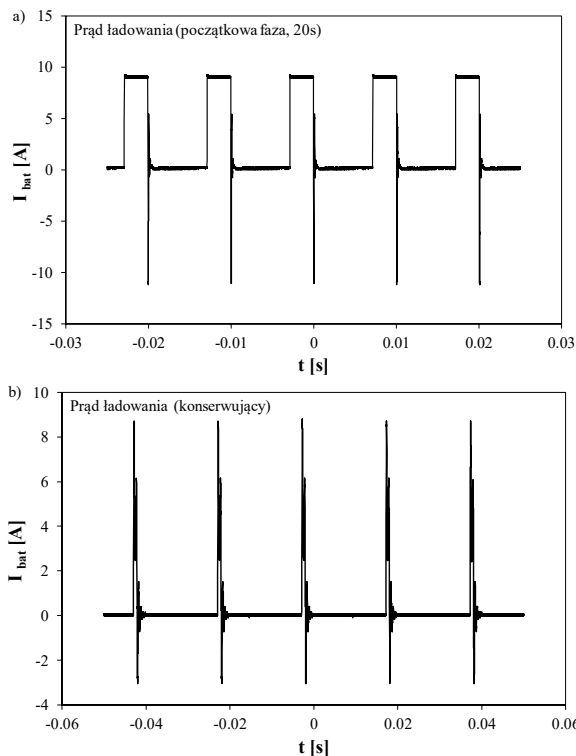


Rys. 5. Zmierzone czasowe przebiegi napięcia U_{bat} i prądu I_{bat} podczas cyklu ładowania magazynu energii

Na Rysunku 5 przedstawiono proces ładowania magazynu energii elektrycznej przy zasilaniu urządzenia z symulatora instalacji fotowoltaicznej firmy ITECH pracującego przy gęstości mocy promieniowania świetlnego równego 1000

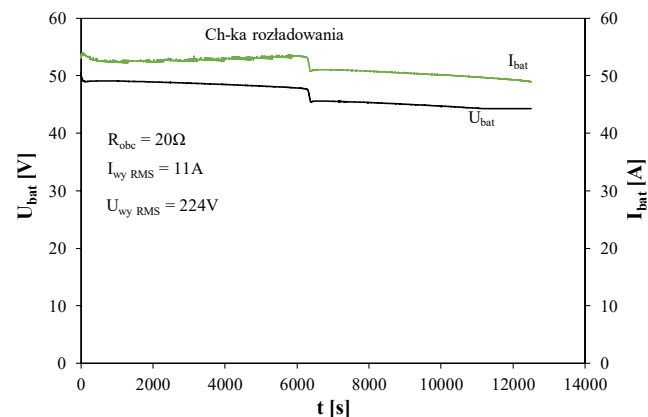
W/m^2 , co odpowiada mocy generowanej przez tę instalację równej 1673 W. Przy takich warunkach pracy magazyn energii potrzebuje około 6 h do pełnego naładowania. Prąd ładowania wynosi około 23 A.

Prąd ładowania nie jest stały, lecz ma kształt ciągu impulsów prostokątnych. Przebieg tego prądu w wybranych fazach ładowania pokazano na Rysunku 6. Jak można zauważyć na Rysunku 6a, w początkowej fazie ładowania prąd ma współczynnik wypełnienia bliski 0,33, natomiast pod koniec procesu ładowania (Rysunek 6b) współczynnik wypełnienia nie przekracza 0,1.



Rys. 6. Zmierzone czasowe przebiegi prądu ładowania magazynu energii podczas początkowej (a) oraz końcowej fazy cyklu (b)

Na Rysunku 7 przedstawiono proces rozładowania magazynu energii elektrycznej przy obciążeniu falownika rezystorem mocy o rezystancji $R_0 = 20 \Omega$. Przy takim obciążeniu energia elektryczna zgromadzona w akumulatorach pozwala na pracę mobilnej stacji ładowania tylko przez około 3,5 h.

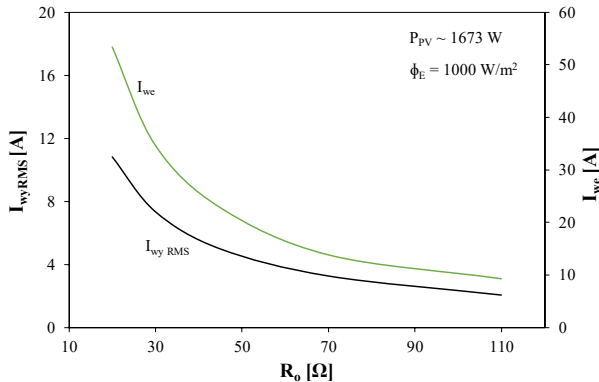


Rys. 7. Zmierzone czasowe przebiegi cyklu rozładowania magazynu energii przy obciążeniu $R_0 = 20 \Omega$

Na Rysunku 8 pokazano zależność prądu wejściowego I_{we} oraz wartości skutecznej prądu wyjściowego I_{wyRMS}

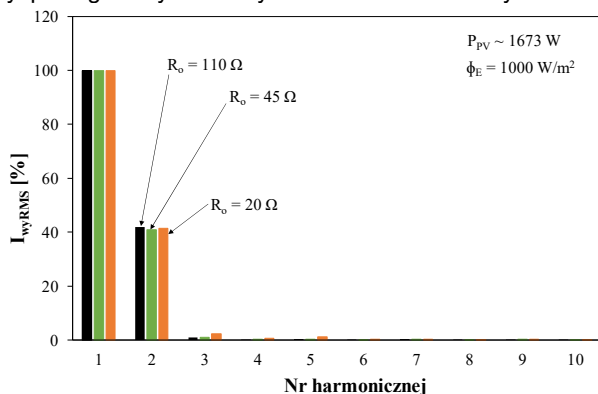
falownika wyspowego od rezystancji obciążenia R_0 . Pomiar wykonano dla mocy symulatora farmy fotowoltaicznej $P_{PV} = 1673 \text{ W}$ oraz gęstości mocy optycznej $\Phi_E = 1000 \text{ W/m}^2$.

Jak można zaobserwować, jest to zależność monotonicznie malejąca w całym zakresie zmian rezystancji obciążenia R_0 . Można również zauważyć, że największe wartości prądów uzyskujemy dla rezystancji obciążenia $R_0 = 20 \Omega$ i wynoszą one $I_{we} = 53,4 \text{ A}$ oraz $I_{wyRMS} = 10,83 \text{ A}$.



Rys. 8. Zmierzona zależność prądu wejściowego I_{we} oraz wartości skutecznej prądu wyjściowego I_{wyRMS} falownika wyspowego od rezystancji obciążenia R_0

Dla wybranych wartości rezystancji obciążenia R_0 wyznaczono widmo prądu wyjściowego falownika wyspowego. Uzyskane wyniki zilustrowano na Rysunku 9.



Rys. 9. Zmierzone widma prądu wyjściowego (I_{wyRMS}) falownika dla wybranych wartości rezystancji obciążenia R_0

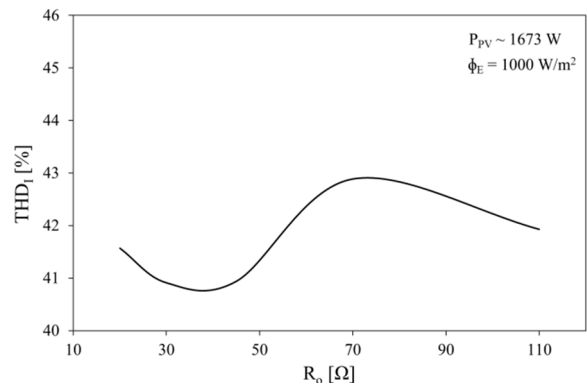
Można zauważyć, że w widmie badanego prądu dominuje składowa podstawowa o częstotliwości równej 50 Hz, a wartość skuteczna tego prądu jest największa dla rezystancji obciążenia $R_0 = 20 \Omega$ i wynosi 10,8 A. W widmie prądu wyjściowego $I_{wy}(t)$ falownika wyspowego występuje tylko pięć kolejnych znaczących harmonicznych, dlatego ograniczono przedstawione widmo do 10 – harmonicznej. Występowanie tylko pięciu znaczących harmonicznych jest spowodowane zastosowaniem dobrze opracowanego dolnoprzepustowego filtra wyjściowego zastosowanego falownika.

Można również zauważyć, że druga harmoniczna niezależnie od wartości rezystancji obciążenia przyjmuje wartość skuteczną około 40 % harmonicznej podstawowej. Wartość skuteczna kolejnej trzeciej harmonicznej nie przekracza 2,5 %. Zastosowany oscyloskop i połączona z nim aktywna sonda prądowa pozwoliły na pomiar trzydziestu harmonicznych w widmie prądu wyjściowego $I_{wy}(t)$ falownika wyspowego.

Na Rysunku 10 przedstawiono obliczone wartości współczynnika zawartości harmonicznych prądu

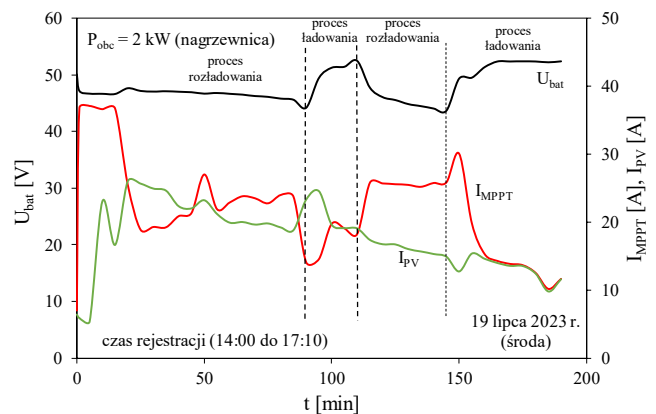
wyjściowego I_{wyRMS} falownika THD_I dla kilku wartości rezystancji obciążenia R_0 mieszczących się w zakresie od 20 do 110 Ω . Przedstawiona zależność posiada swoje maksimum dla rezystancji obciążenia $R_0 = 70 \Omega$, $\text{aTHD}_I = 42,89 \%$. Najmniejszą obliczoną wartość współczynnika zawartości harmonicznych prądu THD_I uzyskano dla $R_0 = 30 \Omega$ i wynosił on 40,91 %.

Tak wysokie wartości współczynnika zawartości harmonicznych są spowodowane dużym poziomem drugiej harmonicznej w stosunku do podstawowej harmonicznej, który jest równy około 40 % bez względu na wartość rezystancji obciążenia R_0 oraz pomijalnie małym poziomem amplitudy kolejnych harmonicznych.



Rys. 10. Zmierzona zależność współczynnika zawartości harmonicznych (THD_I) falownika od rezystancji obciążenia R_0

W celu zobrazowania rzeczywistej pracy mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych na Rysunku 11 zostały przedstawione przebiegi czasowe wartości wybranych wielkości elektrycznych na magazynie energii elektrycznej zarejestrowane za pomocą regulatora ładowania MPPT, a które to wartości zostały przesłane do mobilnej aplikacji klienckiej za pomocą modemu LTE+GPS.



Rys. 11. Zmierzone przebiegi czasowe napięcia na magazynie energii elektrycznej (U_{bat}), prądu paneli fotowoltaicznych (I_{PV}) oraz prądu regulatora ładowania MPPT (I_{MPPT})

Przykładowa rejestracja parametrów została wykonana 19 lipca 2023 roku. W tym dniu niebo było lekko zachmurzone ze znaczącymi przejaśnieniami. Czas rejestracji mierzonych parametrów elektrycznych mobilnej stacji ładowania był równy 190 minut, a przeprowadzony był pomiędzy godziną 14:00 a 17:10. Przedstawiony czas rejestracji zawierał cztery pełne cykle pracy mobilnej stacji ładowania, zawierające dwa cykle ładowania oraz dwa cykle rozładowania. Falownik wyspowy podczas badań eksploatacyjnych był obciążony nagrzewnicą o mocy znamionowej $P_{obc} = 2 \text{ kW}$.

Analizując przedstawiony przebieg czasowy można zauważyć, że pomiędzy godziną 16:25 a 17:10 nastąpił przyrost napięcia na magazynie energii elektrycznej aż o 8,71 V, co daje nam przyrost poziomu naładowania magazynu energii aż o 60 %. Analizując pełen czas rejestracji wybranych parametrów elektrycznych można zauważyć, że prąd regulatora ładowania I_{MPPT} zmieniał się w zakresie od 10,2 A do 36,8 A, natomiast prąd I_{PV} płynący przez panele fotowoltaiczne zmieniał się w zakresie od 5,38 A do 26 A.

W przypadku zaprojektowanego mobilnego systemu ładowania pojazdów elektrycznych powierzchnia zajmowana przez panele fotowoltaiczne nie powinna przekraczać 9 m², aby system mógł być mobilny. Uwzględniając fakt planowanej powierzchni zadaszenia, zastosowano cztery panele o powierzchni 2,22 m² i mocy szczytowej 455 Wp każdy, a ich sumaryczna szczytowa moc znamionowa wyniosła około 1,82 kWp. Przy uwzględnieniu dobowych i sezonowych zmian produktywności instalacji fotowoltaicznej wartość maksymalna energii produkowanej dziennie przez nową instalację może zmieniać się w zakresie od 3,8 kWh w zimie do 11,33 kWh w okresie od kwietnia do października. Uwzględniając wartości energii niezbędnej do naładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych podane w Tabeli 1 widać, że zaprojektowany system ładowania będzie umożliwiał dziennie, przy bezchmurnej pogodzie, naładowanie akumulatorów wózków inwalidzkich (3 zimą i 8 latem), hulajnóg elektrycznych (10 zimą i 30 latem), rowerów elektrycznych (5 zimą i 15 latem) lub częściowe naładowanie samochodów elektrycznych z instalacją typu Plug-In.

Podsumowanie

Zaprojektowana mobilna stacja ładowania pojazdów elektrycznych jest całkowicie niezależna od sieci elektroenergetycznej. Zastosowane układy energoelektroniczne, odpowiedni magazyn energii, ustalona liczba paneli fotowoltaicznych, mała turbina wiatrowa o mocy szczytowej równej 1,2 kWp oraz zastosowane układy telemetryczne pozwalają na zmagazynowanie energii produkowanej przez cały dzień i kontrolę nad pracą zaprojektowanego urządzenia w czasie rzeczywistym.

Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych również dowodzą, że zaprojektowana mobilna stacja ładowania pojazdów elektrycznych może pracować bez podłączenia do sieci elektroenergetycznej. Zmierzone wartości prądów wejściowych I_{we} oraz wyjściowych I_{wyRMS} nie przekraczają wartości znamionowych zastosowanych zabezpieczeń nadprądowych.

Zmierzona charakterystyka pętli histerezy dla falownika pokazuje, że zaprojektowany układ zabezpieczeń falownika działa prawidłowo, a falownik wyspowy po zadziałaniu zabezpieczenia nie wchodzi w stany awaryjne tylko jest odłączany od magazynu energii elektrycznej. Powtórne załączenie magazynu energii elektrycznej do falownika wyspowego następuje po naładowaniu akumulatorów do 80% całkowitej ich pojemności. Takie działanie systemu zabezpieczeń zwiększa poziom bezawaryjności oraz powoduje, że zabezpieczenie jest bezobsługowe i działa autonomicznie.

Warto podkreślić, że niska temperatura w okresie

zimowym może być szkodliwa dla akumulatorów wykorzystywanych do magazynowania energii. Jeżeli użytkowanie mobilnego systemu ładowania pojazdów elektrycznych zostanie ograniczone do okresu od kwietnia do października, gdy nie występują mroźne dni, akumulatory stanowiące magazyn energii elektrycznej nie będą narażone na przyspieszone starzenie i utratę pojemności elektrycznej.

Planuje się dalsze prace rozwojowe nad mobilną stacją ładowania pojazdów elektrycznych dotyczące wyposażenia stacji w trzecie niezależne źródło OZE w postaci ogniwa paliwowego oraz dodatkowego magazynu chemicznego w postaci zbiornika wodoru lub metanolu.

Podziękowania: Autorzy dziękują za umożliwienie publikacji wyników prac B+R dotyczących budowy mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych oraz urządzeń mobilnych firmie Domat Consulting Sp. z o.o. z siedzibą w Kielcach przy ul. Karola Olszewskiego 20. Prace B+R zostały sfinansowane w ramach Bonu na Innowacje dla MŚP (POIR.02.03.02-26-0027/20) przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP). Budżet projektu: 363 888,56 PLN.

Autorzy: dr hab. inż. Przemysław Ptak, prof. UMG, prof. dr hab. inż. Krzysztof Górecki, dr hab. inż. Paweł Górecki, prof. UMG, mgr inż. Emilian Switalski, Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroniki Morskiej, Morska 81-87, 81-225 Gdynia, e-mail: p.ptak@we.umg.edu.pl, k.gorecki@we.umg.edu.pl, p.gorecki@we.umg.edu.pl, e.switalski@we.umg.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Michaelides E. E., *Alternative Energy Sources*, Springer, Worth, TX, USA, 2012.
- [2] Sumanthi S., Ashok Kumar L., Surekha P., *Solar PV and Wind Energy Conversion Systems*, Springer, Coimbatore, Tamil Nadu, India, 2015.
- [3] Górecki P., Voltage Regulators for the Laptop's Power Supply Station with Photovoltaic Modules. *Proceedings of 22nd International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems MIXDES*, Toruń, 2015, 571-575, oi: 10.1109/MIXDES.2015.7208588.
- [4] Górecki P., Górecki K., Krac E., Zarębski J., The use of photo-voltaic panels to charge mobile electronic devices. *3rd International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2015)*, Springer Proceedings in Energy, 2017, 229-234, doi: 10.1007/978-3-319-45677-5_28.
- [5] Plett G. L., *Battery Management Systems: Battery Modeling*, Artech House, Norwood, MA, USA, 2015.
- [6] Rufer A., *Energy Storage: Systems and Components*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2018.
- [7] Rashid M. H., *Power Electronics Handbook*, 3rd edition, Elsevier, 2011.
- [8] Harik H. C., Design and Implementation of an Autonomous Charging Station for Agricultural Electrical Vehicles. *Applied Sciences*, 11 (2021), 6168, doi: 10.3390/app11136168.
- [9] Huang S., He L., Gu Y., Wood K., Benjaafar S., Design of a Mobile Charging Service for Electric Vehicles in an Urban Environment. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16 (2015), No. 2, 787-798, doi: 10.1109/TITS.2014.2341695.
- [10] Górecki K., Górecki P., Krac E., Modelling simple photovoltaic systems with thermal phenomena taken into account. *Proceedings of 23rd International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems MIXDES*, Łódź, 2016, 276-281, doi: 10.1109/MIXDES.2016.7529747.