

Systemy balansowania napięć, monitorowania i nadzoru dla potrzeb rozproszonych magazynów energii

Streszczenie. W artykule opisano wybrane zagadnienia związane z opracowaniem i praktyczną realizacją systemów wyrównywania napięć dwóch, czterech i ośmiu akumulatorów ołowiowych pracujących w połączeniu szeregowym rozbudowanych o funkcje monitorowania i nadzoru. Zaprezentowano komputerowo wspomaganie stanowisko badawczo-pomiarowe oraz wybrane wyniki badań. Przedyskutowano możliwości zastosowania systemów w magazynach energii dla potrzeb instalacji fotowoltaicznych bazujących na ogniach zbudowanych w oparciu o technologie li-ion, a pochodzących z baterii wycofanych z eksploatacji w samochodach elektrycznych.

Abstract. This article present selected issues related with development and practical realization of voltage equalization system with monitoring and supervision feature, designed for two, four and eight lead acid batteries connected in series. Computer aided test stand and selected research results are presented. Possibility of further application of described system for li-ion based photovoltaic energy storage assembled using partially worn out rechargeable batteries recovered from electrical vehicles is discussed. (**Voltage balancing, monitoring and supervision systems applied for distributed energy storage**).

Słowa kluczowe: balanser, wyrównywanie napięć, system monitorowania i nadzoru, magazyn energii.

Keywords: battery balancing, voltage equalization, monitoring and supervision system, energy storage.

Wstęp

Zależność efektywności działania ogniw fotowoltaicznych i turbin wiatrowych od pory dnia, roku i warunków atmosferycznych stwarza konieczność magazynowania wytworzonej energii w akumulatorach w celu wykorzystania jej w okresie przestoju w generacji prądu ze źródeł niekonwencjonalnych. Dotychczas tego typu magazyny energii realizowano najczęściej w oparciu o akumulatory ołowiowe pracujące w połączeniu szeregowym lub szeregowo równoległym. Ciekawą alternatywą dla tego rozwiązania jest zastosowanie do realizacji magazynów energii nadal sprawnych ogniów, wycofanych z eksploatacji w samochodach elektrycznych po spadku ich pojemności do poziomu 70 ÷ 80 % lub też pochodzących z samochodów powypadkowych. Jest to rozwiązanie tanie i przyjazne dla środowiska. Często może być ważne również dla zwiększenia lokalnego bezpieczeństwa energetycznego poprzez zapewnienie niezależnego zasilania podczas trwania awarii sieci energetycznej oraz wspomaganie wydajności sieci energetycznej dla potrzeb szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych. Zarówno akumulatory realizowane w technologiach ołowiowych jak i tych nowocześniejszych bazujących na przykład na technologiach li-ion wymagają stosowania systemów balansowania napięć, monitorowania i nadzoru. Zasadność stosowania systemów balansowania napięć szczegółowo omówiono w pozycjach literatury [1] do [5]. W niniejszym artykule szczególny nacisk położono na systemy wyrównywania napięć rozbudowanych o funkcje monitorowania i nadzoru.

Praktyczne realizacje projektu systemu

Dla potrzeb realizacji projektu systemu wyrównywania napięć na akumulatorach 12 woltowych pracujących w połączeniu szeregowym dokonano wyboru rozwiązania zbudowanego w oparciu o elementy dyskretne, których kluczowym elementem są transformatory nawinięte na rdzeniach toroidalnych typu NANOPERM powstających w procesie gwałtownego schładzania metalu i jednocześnie formowania w bardzo cienką taśmę. Materiał powstający w tym procesie charakteryzuje się drobną mikrostrukturą krystaliczną.

Typowe ziarno jest na poziomie 10 nm i dlatego materiał ten nazywamy nanokrystalicznym. Drobnozłazista struktura materiałowa jest cechą, która pozwala na osiągnięcie niezwykłych właściwości miękkie

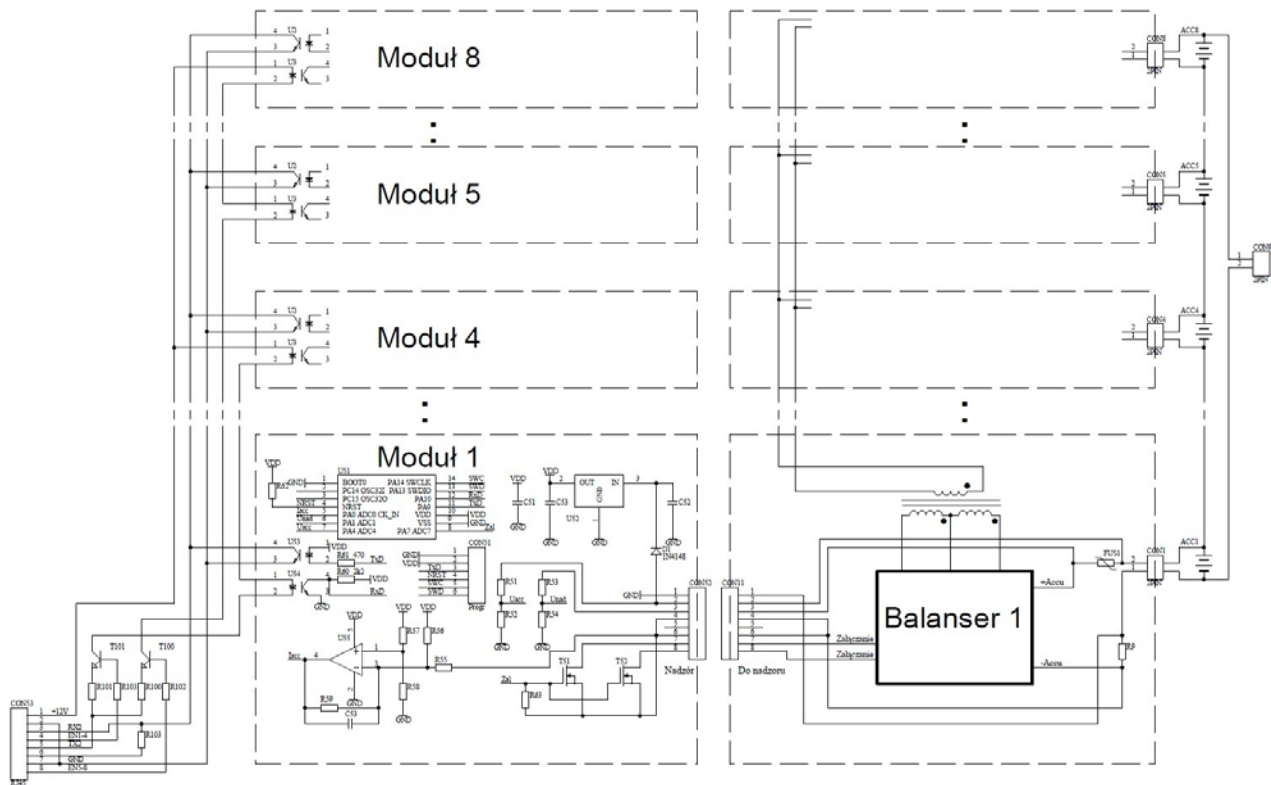
magnetycznych. Jest to materiał bezpostaciowy. Zastosowanie tych innowacyjnych rdzeni było zasadniczym kluczem do sukcesu w realizacji projektu. Koncepcja rozwiązania bazuje na transferze energii pomiędzy poszczególnymi akumulatorami. System taki rozpoczyna pracę, gdy wykryje różnicę napięć rzędu 10 mV i zaczyna wówczas wymuszać przepływ prądu z akumulatora o wyższym napięciu do akumulatora o niższym napięciu. Działa on w trybie ładowania, rozładowania i spoczynku. Ze względu na niski pobór mocy system może pracować non stop i utrzymywać równowagę napięć w całym zestawie akumulatorów. Rozwiązanie układowe na obecnym etapie realizacji projektu objęte jest klauzulą poufności. System rozbudowano dodatkowo w funkcję monitorowania i nadzoru, który zrealizowano w oparciu o technikę mikroprocesorową. Schemat tego rozbudowanego systemu przedstawiono na rysunku 1.

Na schemacie można wyodrębnić dwa systemy mogące pracować samodzielnie, prawa część schematu odpowiedzialna za wyrównywanie napięć oraz lewa część dołączany system monitorowania i nadzoru.

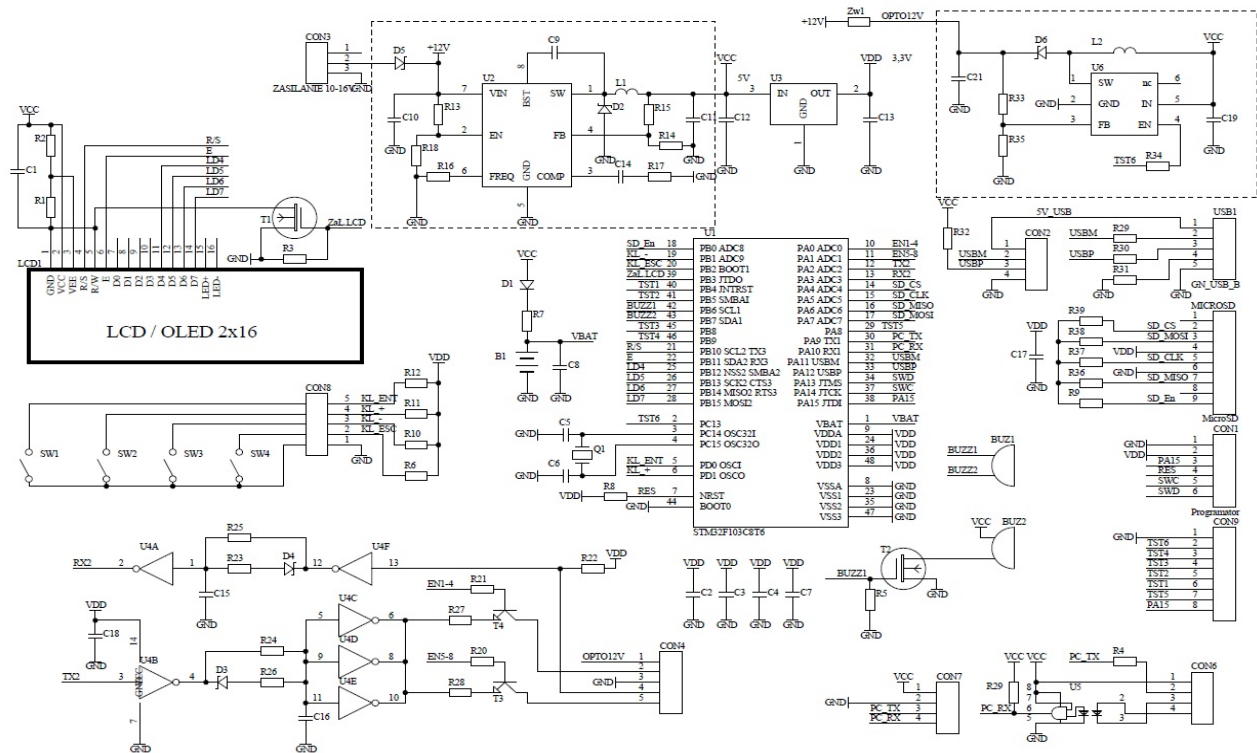
Część odpowiedzialna za realizację funkcji monitorowania i nadzoru składa się z dwóch do ośmiu energooszczędnych mikrokontrolerów typu STM32L030 z wbudowanym 12 bitowym przetwornikiem ADC mierzących napięcie akumulatora, napięcie za bezpiecznikiem polimerowym, prąd wpływający albo wypływający z modułu, oraz temperaturę mikrokontrolera, która w przybliżeniu równa jest temperaturze części odpowiedzialnej za wyrównywanie napięć. Daje też możliwość wyłączenia systemu wyrównywania, co pozwala na zmniejszenie poboru prądu każdego z modułów z ok. 18 mA na ok. 2 mA w czasie, gdy napięcie na wszystkich akumulatorach zostało wyrównane. Mikrokontroler nadrzędny komunikuje się z odseparowanymi galwanicznie mikrokontrolerami pomiarowymi przy pomocy protokołu MODBUS. Jego schemat ideowy przedstawiono na rysunku 2.

Moduł mikrokontrolera nadrzędnego monitorowania i nadzoru dodatkowo realizuje:

- Inicjację pomiarów w określonym odstępie czasowym.
- Wizualizację na wyświetlaczu LCD/ OLED wyników pomiarów i ich archiwizację na karcie SD.
- Komunikację z komputerem zewnętrznym.
- Funkcje wykrywania uszkodzeń baterii akumulatorów i systemu.
- Kalibrację mikrokontrolerów pomiarowych.



Rys.1. Schemat systemu wyrównywania napięć na ośmiu szeregowo połączonych akumulatorach ołowiowych bazujący na elementach dyskretnych wyposażonego w mikroprocesorową funkcję monitorowania i nadzoru



Rys.2. Schemat mikrokontrolera nadzornego monitorowania i nadzoru nad systemami wyrównywania napięć na dwóch do ośmiu 12 V akumulatorach ołowiowych pracujących w połączeniu szeregowym (bloki mikrokontrolera, zasilania, wyświetlacza, pamięci SD i sterowania)

Praktyczną realizację prototypu systemu wyrównywania napięć na ośmiu 12 V akumulatorach ołowiowych pracujących w połączeniu szeregowym typu SWN-01/8M w

wersji wyposażonej w mikroprocesorową funkcję monitorowania i nadzoru pokazano na rysunku 3.

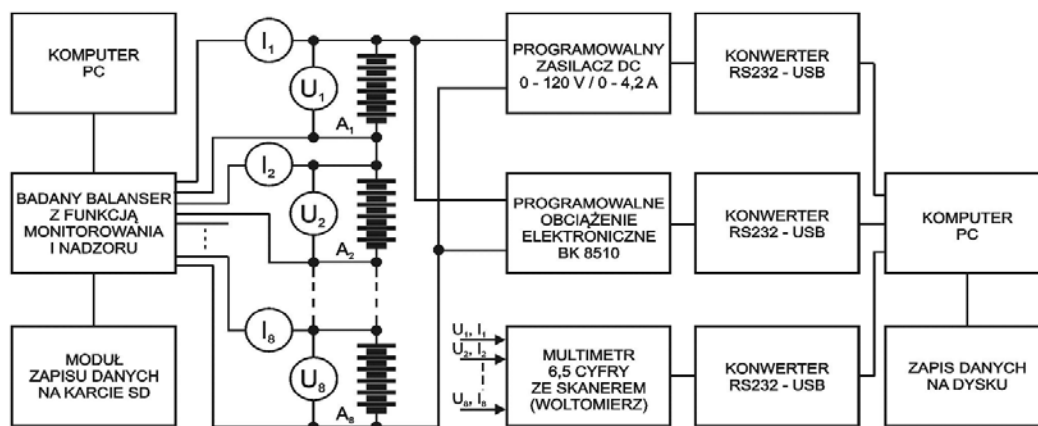


Rys.3. Praktyczna realizacja prototypu systemu wyrównywania napięć na ośmiu 12 V akumulatorach ołowiowych pracujących w połączeniu szeregowym typu SWN-01/8M w wersji wyposażonej w mikroprocesorową funkcję monitorowania i nadzoru.

Część eksperymentalna projektu

Modele systemów zostały pomierzone i przebadane długofalowo z wykorzystaniem komputerowo wspomaganego stanowiska badawczego-pomiarowego, którego uproszczony schemat blokowy pokazano na rysunku 4. Daje ono możliwość obserwacji przepływów energii, prowadzenie badań zwłaszcza długofalowych jak i możliwość badań systemów rozbudowanych o funkcje zdalnego monitorowania i nadzoru.

W stanowisku zastosowano osiem akumulatorów VRLA AGM firmy HAZE typu HZB 12-80 (12 V, 91,2 Ah). Do pomiarów napięć na akumulatorach i prądów wpływających i wypływających zastosowano multimetr 6,5 cyfry typu Keithley model 2700, wyposażony w moduł dwudziesto kanałowego multipleksera Keithley model 7700. Do pomiaru prądów dodatkowo zastosowano boczniki amperomierza Keithley model 1651, pozwalające na pomiary prądów do 50 A. Do prowadzenia badań w reżimie ładowania akumulatorów wykorzystano programowalny zasilacz DC typu ARRAY model 3664 A, pozwalający na uzyskanie napięć ładowania w zakresie $0 \div 120$ V i prądów $0 \div 4,2$ A. Dla potrzeb badań w trybie rozładowania akumulatorów zastosowano obciążenie elektroniczne BK PRECISION model 8510 o mocy maksymalnej 600 W, prądzie maksymalnym 30 A i napięciu maksymalnym 120 V. Ponieważ powyższe urządzenia są wyposażone w złącza komunikacyjne typu RS 232 niezbędnym do komunikacji ich z komputerem zarządzającym było dodatkowe zastosowanie konwerterów RS 232 – USB. Dla potrzeb automatyzacji pomiarów i archiwizacji ich wyników zastosowano dedykowany przez firmę Keithley software ExcelLIX-1A wersja C06 pozwalający na bezpośredni eksport wyników pomiarów do arkusza kalkulacyjnego Excel.

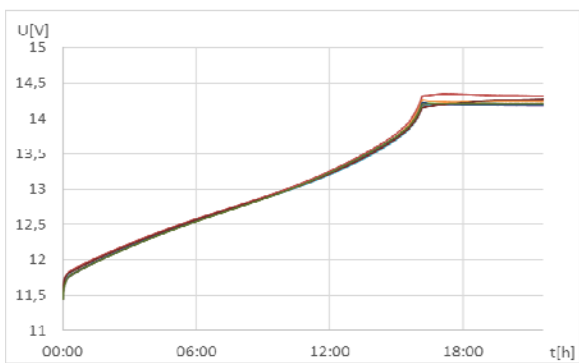
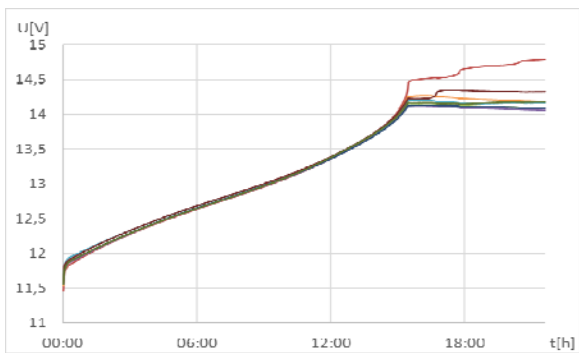


Rys.4. Uproszczony schemat blokowy komputerowo wspomaganego stanowiska do prowadzenia pomiarów i badań zwłaszcza długofalowych systemów rozbudowanych o funkcje monitorowania i nadzoru.

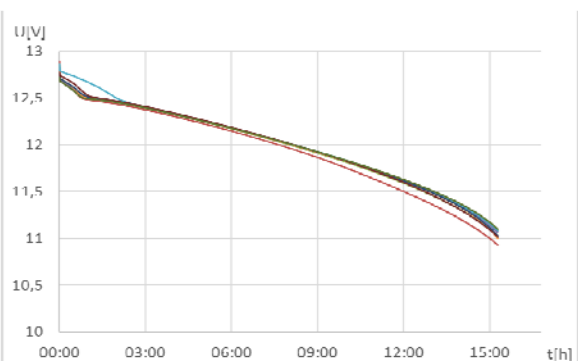
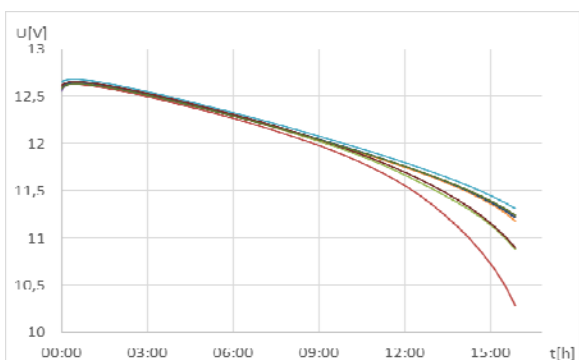
Opracowany w ramach projektu program zarządzający systemem „Nadzór.exe” został napisany w języku Delphi i dedykowany jest dla komputerów PC z systemem operacyjnym Windows. Umożliwia on poprzez interfejs RS232/USB zdalne zarządzanie i monitorowanie systemu balansowania i nadzoru baterii akumulatorów. Zaimplementowane oprogramowanie poza zarządzaniem systemem pozwala na monitorowanie stanu akumulatorów oraz umożliwia podjęcie decyzji dotyczących ewentualnej ich wymiany. Zaprojektowane i praktycznie zrealizowane powyższe stanowisko, pozwoliło między innymi na porównanie krzywych ładowania przedstawionych na rysunku 5, krzywych rozładowania pokazanych na rysunku

6, baterii ośmiu 12 V akumulatorów ołowiowych pracujących w połączeniu szeregowym bez systemu wyrównywania napięć (wykres górny) oraz z systemem (wykres dolny).

Równoległe badania były prowadzone w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych w kilkunastu systemach zasilania awaryjnego urządzeń diagnozujących tabor kolejowy PKP. Systemy te składają się z zasilacza awaryjnego typu UPS model COVER HP930C i baterii ośmiu akumulatorów SHL-100 (12 V, 100 Ah). Badania te polegały na okresowych pomiarach napięć na poszczególnych akumulatorach.



Rys.5. Krzywe ładowania baterii ośmiu 12 V akumulatorów ołowiowych pracujących w połączeniu szeregowym bez systemu wyrównywania napięć (wykres górny) oraz z systemem (wykres dolny).



Rys.6. Krzywe rozładowania baterii ośmiu 12 V akumulatorów ołowiowych pracujących w połączeniu szeregowym bez systemu wyrównywania napięć (wykres górny) oraz z systemem (wykres dolny).

Wnioski końcowe

- Analiza rynku komercyjnych systemów wyrównywania napięć na akumulatorach pracujących w połączeniu szeregowym pozwala na stwierdzenie, że działanie większości z nich polega na obniżeniu napięcia na wybranych akumulatorach poprzez zamianę nadmiaru

energii akumulatora na energię ciepłą. Tego typu systemy nagrzewają się i dlatego muszą być wyposażane w radiatory, w których nadmiar energii jest bezpowrotnie wytracany.

- Zastosowanie systemów zaprezentowanych w artykule pozwala na optymalizację procesu ładowania i rozładowania baterii akumulatorów pracujących w połączeniu szeregowych, a co za tym idzie znacznym wydłużeniem czasu ich eksploatacji.
- Z przeprowadzonych pomiarów i badań wynika, że zastosowanie systemu pozwoliło na uzyskanie rozrzutów napięć na poszczególnych akumulatorach mniejszych niż 20 mV.
- Przeprowadzona z wykorzystaniem oprogramowania LT SPICE analiza pracy systemów potwierdzona w realizacji praktycznej pozwala na stwierdzenie, że systemy mogą być stosowane również w instalacjach zbudowanych w oparciu o ogniwa/pakiety bazujące na technologiach li-ion.
- Planuje się kontynuację projektu poszerzoną o tematykę nadania „drugiego życia” bateriom wycofanym z użytkowania w samochodach elektrycznych. Ponieważ baterie wycofane z użytkowania w samochodach elektrycznych będą stanowić wielki problem dla środowiska, znaczne wydłużenie czasu ich eksploatacji oprócz korzyści ekonomicznych przyniesie odsunięcie w czasie przekazania ich, jako odpadów do końcowego recyklingu.
- Analiza informacji prasowych i tych dostępnych w sieci internetowej pozwala na stwierdzenie, że tematyka nadania „drugiego życia” bateriom i wydłużenia czasu ich eksploatacji jest przedmiotem zainteresowania naukowców i przedsiębiorców w wielu krajach wysokorozwiniętych.

Autorzy: mgr Piotr Maćków, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Elektronowej oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: piotr.mackow@ite.lukasiewicz.gov.pl; dr inż. Piotr Guzdek, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Elektronowej oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: piotr.guzdek@ite.lukasiewicz.gov.pl; mgr inż. Grzegorz Kołasczyński, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Elektronowej oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: grzegorz.kolasczynski@ite.lukasiewicz.gov.pl; Artur Polak, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Elektronowej oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: artur.polak@ite.lukasiewicz.gov.pl; dr inż. Wojciech Grzesiak, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Elektronowej oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: wojciech.grzesiak@ite.lukasiewicz.gov.pl

LITERATURA

- [1] Wojciech Grzesiak, Piotr Guzdek, Grzegorz Kołasczyński, Piotr Maćków, Tomasz Maj, Artur Polak, Ewa Klugmann - Radziemska, Szymon Zawora, „Innowacyjne systemy wyrównywania napięć na 12-woltowych akumulatorach ołowiowych pracujących w połączeniu szeregowym”, Elektronika 10/2016 str. 13-16.
- [2] Sean West, Philip T. Krein, "Equalization of Valve-Regulated Lead-Acid Batteries: Issues and Life Test Results", Telecommunications Energy Conf., 2000. INTELEC. Twenty-second International, pp.439-446.
- [3] Philip T. Krein, Robert S. Balog, "Life Extension Through Charge Equalization of Lead-Acid Batteries", Telecommunications Energy Conference, 2002. INTELEC. 24th Annual International, pp.1-8.
- [4] Jonathan W. Kimball, Brian T. Kuhn, Philip T. Krein, "Increased Performance of Battery Packs by Active Equalization", Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IDEE, pp.323-327.
- [5] Aspiyan Gazder, "Balancing lead-acid batteries", https://www.powersystemsdesign.com/print-archives-dir/1444343234-psdna_oct15.pdf. Dostęp luty 2020.