

DOI: 10.5604/20830157.1121383

## METODY BALANSOWANIA OGNIW W TRAKCYJNYCH AKUMULATORACH LITOWO-JONOWYCH

Tomasz Rudnicki

Instytut Elektrotechniki w Warszawie, Zakład Systemów Pomiarowo-Diagnostycznych

**Streszczenie.** Akumulatory w technologii litowo-jonowej posiadają wiele zalet w porównaniu z tradycyjnymi akumulatorami kwasowo-olowiowymi. Wysoka energia i moc właściwa, możliwość szybkiego ładowania, szerszy zakres temperatur pracy to cechy szczególnie doceniane w zastosowaniach trakcyjnych. Jednak wymagają one współpracy układów zabezpieczających i sterujących ich pracą. Jedną z ważniejszych funkcji takiego układu jest funkcja balansowania, czyli wyrównywania poziomu naładowania poszczególnych ogniw. W niniejszym artykule wyjaśniono cel balansowania, opisano metody realizacji tego procesu z uwzględnieniem zalet i wad każdej z nich.

**Słowa kluczowe:** balansowanie ogniw, balansowanie aktywne, balansowanie pasywne, akumulatory litowo-jonowe, BMS

### BALANCING METHOD OF LITHIUM – ION TRACTION BATTERIES

**Abstract.** Batteries in lithium-ion technology have many advantages over traditional lead-acid batteries. High specific energy and power, quick-charging, wide operating temperature range are their main features particularly appreciated in traction applications. However, they require safety and control systems for their work. One of the major functions of such a system is a function of balancing, equalizing the charge level of individual cells. This paper presents balancing method of li-ion batteries.

**Keywords:** cell balancing, active balancing, passive balancing, li-ion battery, battery management system

### Wstęp

Nowoczesny litowo-jonowy akumulator trakcyjny, składający się często z ponad stu ogniw jest skomplikowanym urządzeniem. Akumulatory w tej technologii posiadają wiele zalet nad kwasowo-olowiowymi magazynami energii, lecz są bardzo wrażliwe na przeładowanie. Wymagają dokładnej kontroli napięcia podczas ładowania. W celu zapewnienia bezpieczeństwa i poprawnej pracy takiego urządzenia podczas przyjmowania i oddawania energii stosuje się system zarządzający baterią BMS (ang. Battery Management System). Jedną z ważniejszych funkcji systemu BMS jest funkcja balansowania ogniw. Odpowiada ona za zapewnienie równomiernego poziomu naładowania wszystkich ogniw w akumulatorze, a także niedopuszczenie do przeładowania żadnego z nich.

### 1. Balansowanie ogniw

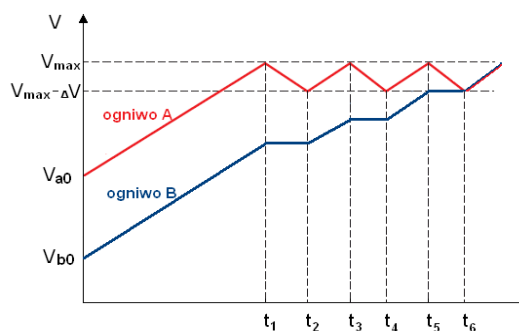
Proces balansowania ogniw polega na równoważeniu poziomu naładowania ogniw w akumulatorze. W każdym, nawet fabrycznie nowym akumulatorze występują minimalne różnice pomiędzy pojedynczymi ogniwami pod względem pojemności i rezystancji wewnętrznej. Te różnice mogą się pogłębiać w trakcie eksploatacji. Dodatkowym niekorzystnym czynnikiem może być praca poszczególnych ogniw w różnych temperaturach. Akumulatory kwasowe posiadają naturalny mechanizm samowyrównywania. Przeładowane ogniwa oddają energię w procesie gazowania (elektrolizy wody zawartej w elektrolicie na tlen i wodór), a w tym czasie słabsze ogniwa zostaną doładowane do pełnej pojemności. W przypadku baterii litowo-jonowych wymagane jest stosowanie elektronicznych układów balansujących. Akumulator zbalansowany pozwala na wykorzystywanie jego pełnej pojemności i utrzymanie jej przez cały okres eksploatacji.

### 2. Podział metod balansowania

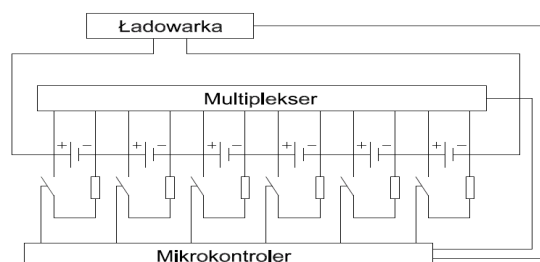
Istnieją różnorodne metody prowadzące do zrównoważenia poziomu naładowania ogniw w akumulatorze. Można je podzielić na metody pasywne i aktywne. Balansowanie pasywne polega na rozpraszaniu nadmiarowej energii na ciepło za pomocą rezystorów. Balansowanie aktywne (nierozpraszające) wykorzystuje energię z przeładowanych ogniw, przekazując ją do ogniw niedoładowanych. W metodach aktywnych przekazywanie energii realizuje się za pośrednictwem kondensatora, lub transformatora.

### 3. Balansowanie pasywne

Najważniejszymi elementami wchodzącymi w skład układu balansowania pasywnego są: mikrokontroler, multiplexer i rezystory rozpraszające energię. Podczas ładowania napięcia poszczególnych ogniw są na bieżąco monitorowane. Napięcie jest mierzone w mikrokontrolerze kolejno na każdym ogniwie, przełączanym za pomocą multiplexera. Kiedy napięcie w którymś z ogniw zacznie przekraczać poziom pozostałych, ładowanie zostaje zatrzymane, a wykryte ogniwo zostaje obciążone rezystorem, do czasu zrównania poziomu naładowania z innymi ogniwami. Ładowanie zostaje kontynuowane i trwa do czasu wykrycia kolejnego przeładowania. Taki cykl jest powtarzany do osiągnięcia przez wszystkie ogniwa jednakowego poziomu pełnego naładowania.



Rys. 1. Charakterystyka procesu balansowania pasywnego



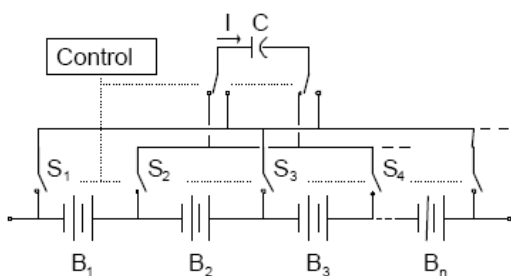
Rys. 2. Układ balansowania pasywnego

#### 4. Balansowanie aktywne

Balansowanie aktywne ma za zadanie zwiększyć efektywność procesu wyrównywania energii w ogniwach, poprzez odzyskiwanie energii z przeladowanych ogniw i dostarczaniu jej do niedoladowanych. Działanie tej metody oparte jest na zastosowaniu dodatkowego elementu pojemnościowego lub indukcyjnego, który może przyjmować i oddawać energię. Można wyróżnić dwie główne odmiany balansowania aktywnego: metoda kondensatorowa i transformatorowa.

#### 5. Metoda przelączalnego kondensatora

Układ przelączalnego kondensatora (*ang. Flying capacitor*) składa się z elementu magazynującego energię (kondensatora), elementów łączeniowych, oraz elektroniki sterującej. Istotą działania tego układu jest odbieranie porcji energii z jednego ogniwa, chwilowym przechowaniem jej w kondensatorze, a następnie oddaniu jej do kolejnego ogniwa. Układ sterowania łączy kondensator kolejno z każdym ogniwem za pośrednictwem kluczy tranzystorowych. W zależności od różnicy potencjałów pomiędzy ogniwami, kondensator oddaje lub przyjmuje energię. Następują kolejne przelączania, aż do ostatniego ogniwa, a następnie cykl jest powtarzany do czasu zbalansowania baterii. Kondensator uśrednia napięcia pomiędzy ogniwami. Ta metoda jest mało wydajna, ponieważ różnice napięć pomiędzy ogniwami w akumulatorze są minimalne (rzędu miliwoltów). Jej zastosowanie ogranicza się do akumulatorów o niewielkiej liczbie ogniw i małej pojemności.



Rys. 3. Układ przelączalnego transformatora [2]

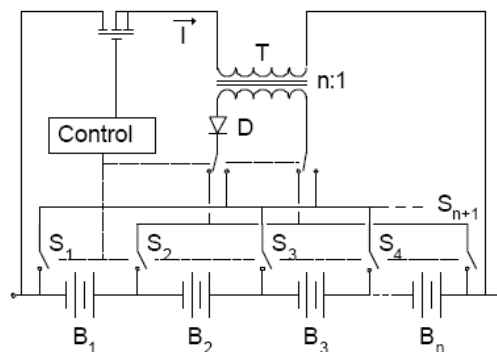
Bardziej rozwiniętą wersją tej metody jest inteligentne wyszukiwanie ogniw do balansowania. Kondensator zostaje naładowany z ogniwa najbardziej naładowanego, a rozładowany na ogniwo najmniej naładowanym. Ta metoda znacznie przyspiesza proces balansowania, lecz wymaga dużej ilości łączników i bardziej skomplikowanej elektroniki, przez co staje się bardziej kosztowna.

#### 6. Transformator z przelączalnym uzwojeniem wtórnym

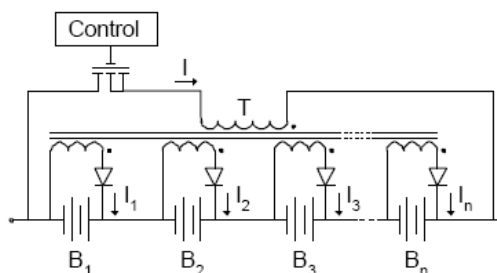
Głównym elementem tego układu jest transformator, którego uzwojenie pierwotne jest podłączone do całego pakietu ogniw, a uzwojenie wtórne poprzez prostownik za pomocą kluczy tranzystorowych do ogniwa wybranego przez sterownik. Energia przekazywana jest w postaci krótkich impulsów. Ta metoda pozwala na szybkie wyrównywanie poziomu naładowania poszczególnych ogniw, lecz jej sprawność jest niska z powodu strat przelączeniowych i magnetycznych.

#### 7. Transformator wielouzwojeniowy

Transformator posiada wspólny rdzeń pomiędzy uzwojeniem pierwotnym, a uzwojeniami wtórnymi. Liczba uzwojeń wtórnych jest równa liczbie ogniw w baterii. Uzwojenie pierwotne jest przyłączane do całej baterii ogniw, napięcie na uzwojeniach wtórnych jest średnią arytmetyczną napięć wszystkich ogniw.



Rys. 4. Transformator z przelączalnym uzwojeniem wtórnym [2]



Rys. 5. Transformator wielouzwojeniowy [2]

Tą metodą można szybko zbalansować akumulator z dużą liczbą ogniw, przy minimalnych stratach. Wadami tej metody jest potrzeba zastosowania skomplikowanego transformatora oraz dużej liczby prostowników (dla każdego ogniwa).

#### 8. Posumowanie

Istnieje wiele odmian układów balansujących, mogących współpracować z akumulatorami trakcyjnymi. Wybór takiego układu powinien być dopasowany do konkretnego zastosowania. Układy pasywne są najtańsze ale i najmniej efektywne. Używa się ich w akumulatorach o małej liczbie ogniw. W zastosowaniach trakcyjnych, gdzie liczy się wysoka sprawność układu zasilania stosuje się najczęściej układy nierozpraszcujące – aktywne.

#### Literatura

- [1] Marcinkowski J.: Large Li-ion battery packs: Active balancing improves many parameters, [www.automotive-eetimes.com](http://www.automotive-eetimes.com), 2010.
- [2] Moore S., Schneider P.: A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems, Proceedings of the SAE 2001 World Congress, Warrendale, PA, Detroit, MI, 2001.
- [3] Reynaud J. F. et al.: Active balancing circuit for advanced lithium-ion batteries used in photovoltaic application, Proceedings of International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, 2010.

Mgr inż. Tomasz Rudnicki  
e-mail: [trudnicki@iel.waw.pl](mailto:trudnicki@iel.waw.pl)

Ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej o specjalności Maszyny Elektryczne w 2011r. Jest pracownikiem w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie, gdzie zajmuje się tematyką zasilania pojazdów elektrycznych. Prowadzi badania ogniw litowo-jonowych, superkondensatorów i układów sterujących pracą magazynów energii.



otrzymano/received: 23.10.2013

przyjęto do druku/accepted: 03.01.2014