

System nadzoru baterii ogniwoakumulatorowych (BMS)

Streszczenie

W artykule przedstawiono system nadzoru baterii ogniwoakumulatorów (BMS), zwiększający bezpieczeństwo pracy. Potrzeba jego stosowania wynika z zastosowania ogniwo nowej generacji, w szczególności litowych, bardzo wrażliwych na przeładowanie i zbyt głębokie rozładowanie. Umożliwia on zabezpieczenie baterii akumulatorów przed skutkami nierównomiernego doładowywania poszczególnych jej ogniwo, jak również przed przeładowaniem. Zaprezentowano możliwości zastosowania systemu w maszynach górniczych oraz określono jego podstawowe funkcje.

Summary

Battery pack management system (BMS), which improves work safety, is presented. Such a system is required, especially due to use of new generation cells, the lithium ones, which are very sensitive to overcharging and deep discharge. It also protects the battery pack against uneven recharging of each cell as well as against overcharging. Possibilities of using the system in mining machines are given and its main functions are specified.

Słowa kluczowe: baterie akumulatorów; baterie ogniwo; system nadzoru baterii; doładowywanie ogniwo, diagnostyka
Keywords: pack of batteries; cells; battery management system; recharging of cells, diagnostics

1. Wprowadzenie

W polskich kopalniach pracuje coraz więcej maszyn i urządzeń zasilanych z baterii ogniwoakumulatorów. W urządzeniach tych, jak do tej pory, nie stosuje się zabezpieczeń przed nierównomiernym doładowywaniem jej poszczególnych ogniwo. Nie dokonuje się również, w sposób ciągły, identyfikacji wartości napięcia na poszczególnych ogniwach oraz nie stosuje się zabezpieczeń przed ich przeładowaniem.

Monitoring i sterowanie procesem gromadzenia energii w zestawach ogniwo baterii powinien służyć temu, aby ogniwo mogły funkcjonować, jak najdłużej, były niezawodne i stabilne, charakteryzując się przy tym dużą sprawnością oraz wysokim poziomem bezpieczeństwa. Diagnostykę baterii ogniwo realizuje się stosując specjalizowane układy elektroniczne określane skrótem BMS (Battery Management System).

Zastosowanie systemu BMS może zapobiec uszkodzeniu akumulatora, na przykład w wyniku jego przeładowania, niedoładowania albo przegrzania. System może również pełnić funkcję miernika poziomu naładowania baterii, sprawdzać zgodność jej charakterystyki z wymaganiami odbiornika i optymalizować przebieg procesu ładowania ogniwo.

Opracowany w ITG KOMAG system nadzoru pracy baterii akumulatorów BMS przeznaczony jest dla akumulatorów stosowanych w górnictwie składających się z ogniwo bardzo wrażliwych na przeładowanie tj. ogniwo z grupy litowych.

2. Klasyfikacja systemów BMS

Systemy monitoringu i nadzoru pracy baterii można klasyfikować ze względu na pełnioną funkcję i miejsce stosowania.

System BMS instalowany w urządzeniu powinien mieć możliwość współpracy z baterią, jaka zostanie zamontowana w danym urządzeniu. Natomiast system BMS instalowany w pakiecie powinien być dostosowany do danego typu baterii, wraz z którą może być przenoszony między różnymi urządzeniami.

Systemy instalowane w urządzeniu są używane w aplikacjach, tj.: laptopy, palmtopy, telefony komórkowe.

Z kolei systemy montowane w module akumulatora sprawdzają się w przypadku, gdy bateria jest wyjmowana z urządzenia w celu jej naładowania lub jest przenoszona między urządzeniami.

Na rynku dostępne są systemy BMS przeznaczone dla baterii jednoogniwoowych oraz wieloogniwoowych, w różnych konfiguracjach [1]. Oferowany jest duży wybór zwłaszcza w zakresie rozwiązań akumulatorów jednoogniwoowych, stosowanych w przenośnych urządzeniach elektroniki użytkowej, ponieważ w połączeniu z przetwornicą pozwalają uzyskać wymagane wartości napięć do zasilania złożonych obwodów.

Mniejszy wybór jest oferowany w zakresie systemów BMS przeznaczonych dla pakietów składających się z większej liczby ogniwo, stosowanych powszechnie

w samochodach elektrycznych i hybrydowych oraz w innych urządzeniach wyposażonych w silniki dużej mocy, wymagających zasilania napięciem rzędu setek woltów [1].

W takim przypadku najczęściej, stosuje się specjalistyczne, mikrokomputerowe systemy zarządzania bateriami. Są one projektowane i konstruowane pod kątem określonych wymagań, i w celu realizacji zaawansowanych funkcji ochronnych i kontrolnych [1].

3. Równoważenie ogniw

Systemy BMS oferowane w postaci różnych rozwiązań konstrukcyjnych można znaleźć w ofercie większości czołowych producentów elektroniki [1].

Przykładem może być sposób komunikacji między systemem BMS, a kontrolerem w zasilanym urządzeniu lub w ładowarce. W większości przypadków wykorzystywane są magistrale typu SMBus, I²C lub CAN.

Część producentów stosuje opatentowane przez siebie interfejsy, np. rozwiązanie firmy Maxim, która korzysta w swoich produktach z interfejsu 1-Wire. Innym przykładem jest łączenie ogniw w zestawy (baterie) wieloogniowe, w celu poprawy ich wydajności,

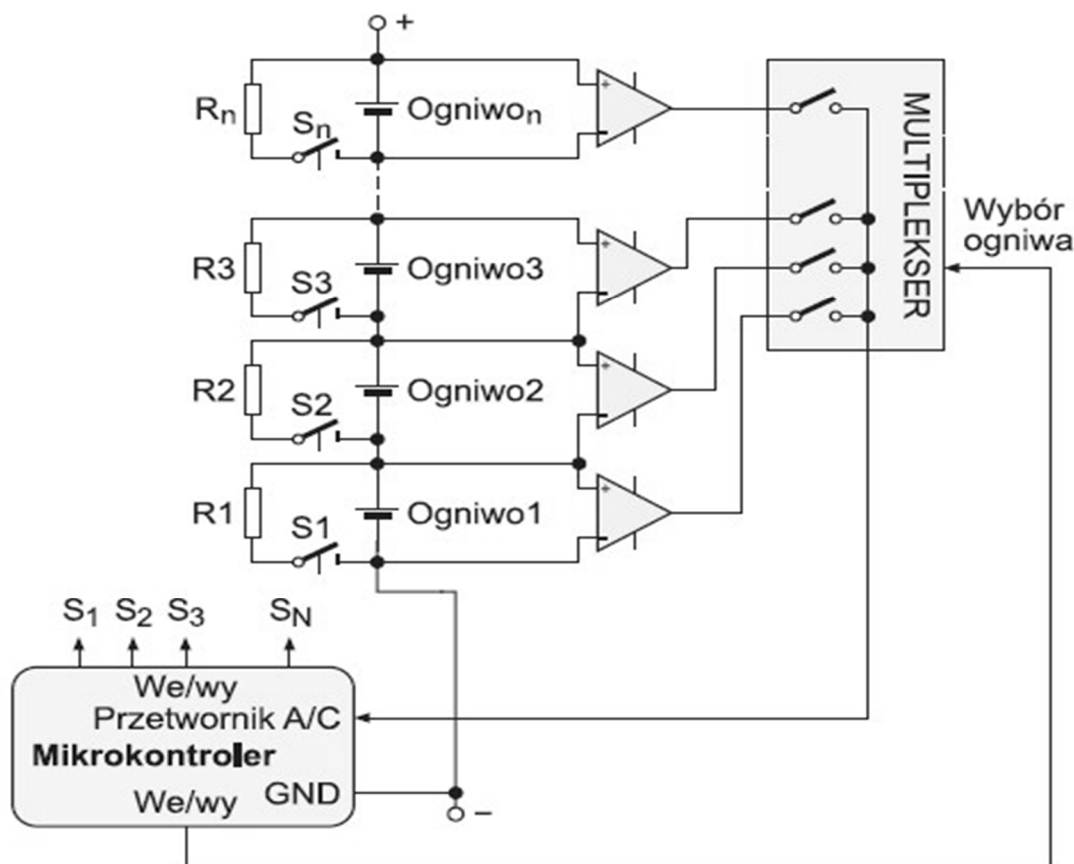
zwiększenia pojemności ogniw oraz zwiększenie żywotności. Jest to konieczne, ponieważ poszczególne ogniwa, nawet dostarczane przez tego samego producenta, mogą różnić się między sobą poziomem maksymalnej pojemności, impedancji czy charakterystyki temperaturowej.

Skutkuje to w efekcie końcowym różnym poziomem ich naładowania, co z kolei wpływa na wartość całkowitej pojemności baterii (część ogniw w nierównoważonej baterii może się rozładowywać lub ładować szybciej niż pozostałe). Równoważenie zestawu ogniw jest zatem zalecane już w przypadku baterii składających się z co najmniej trzech ogniw, zaś w przypadkach większej liczby, staje się koniecznością [1].

Równoważenie pakietu ogniw polega na zrównaniu poziomu ich naładowania, co realizuje się za pośrednictwem specjalnie w tym celu zaprojektowanego obwodu. W tym zakresie wyróżnia się dwa rozwiązania: konfigurację ze zrównoważeniem pasywnym lub aktywnym.

3.1. Pasywne równoważenie ogniw

Ideę pasywnego równoważenia ogniw przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Obwód pasywnego równoważenia ogniw [1]

Wartości napięć poszczególnych ogniw są monitorowane w mikrokontrolerze za pośrednictwem przetwornika A/C, na którego wejście, poprzez multiplexer, załączane są poszczególne ogniwa.

Jeżeli wartość napięcia któregoś z ogniw znacząco przekroczy napięcie pozostałych, zostaje zamknięty, odpowiedni klucz S. Skutkuje to rozładowaniem ogniwa, przez element obwodu równoważenia pasywnego – rezystor, połączony równolegle z każdym ogniwem i trwa do momentu, gdy napięcie ogniwa przeładowanego zrówna się z wartością napięcia pozostałych ogniw. Wówczas jest kontynuowane ładowanie pakietu. Równocześnie, kontrolowane są wartości napięć wszystkich pozostałych ogniw.

Pasywne równoważenie ogniw ma jednak wady. Jedną z nich jest mała sprawność, wynikająca z faktu, że nadwyżka energii zgromadzona w nierównoważonych ogniwach tracona jest w rezystorze na ciepło. Oprócz tego całkowita pojemność zestawu baterii jest ograniczona koniecznością dostosowania poziomu naładowania ogniw do pojemności "najłabszego" z nich.

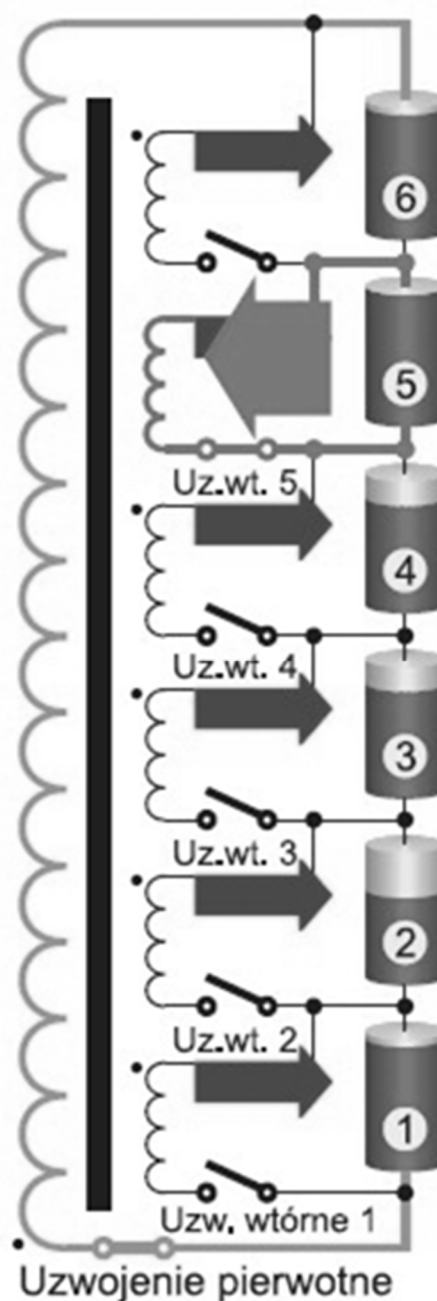
Równoważenie pasywne można przeprowadzać zatem wyłącznie w czasie trwania procesu ładowania ogniw. Nie można jednak w ten sposób zapobiec nierównoważeniu ogniw, które pojawia się w trakcie ich użytkowania, i które jest zwykle następstwem, ich samorozładowywania się [1].

3.2. Aktywne równoważenie ogniw

Alternatywą pasywnej metody jest aktywne równoważenie ogniw. Polega ono na przeniesieniu nadmiarowego ładunku z przeładowanego do niedoładowanego ogniwa (lub kilku ogniw). Zwykle wykorzystywane są do tego celu klucze tranzystorowe, podobnie jak w metodzie pasywnej, z tym, że zamiast rezystorów, do ogniwa jest włączona równolegle cewka indukcyjna, stanowiąca wtórną stronę transformatora.

Obniżanie wartości napięcia nadmiernie naładowanego ogniwa polega na jego chwilowym połączeniu z odpowiadającym mu uzwojeniem wtórnym układu zrównoważenia, co skutkuje indukowaniem się napięcia w uzwojeniu pierwotnym. Klucz ogniwa jest wówczas otwierany, natomiast klucz innego, niedoładowanego, jest zamykany. Dzięki temu energia ze strony pierwotnej transformatora jest przekazywana do uzwojenia wtórnego i w efekcie do ogniwa.

Metoda ta pozwala na przekazywanie energii pomiędzy ogniwami w czasie ich ładowania, rozładowywania lub, gdy nie są one wykorzystywane, ze sprawnością, około 85% [1]. Na rysunku 2 przedstawiono zasadę działania aktywnego równoważenia ogniw.



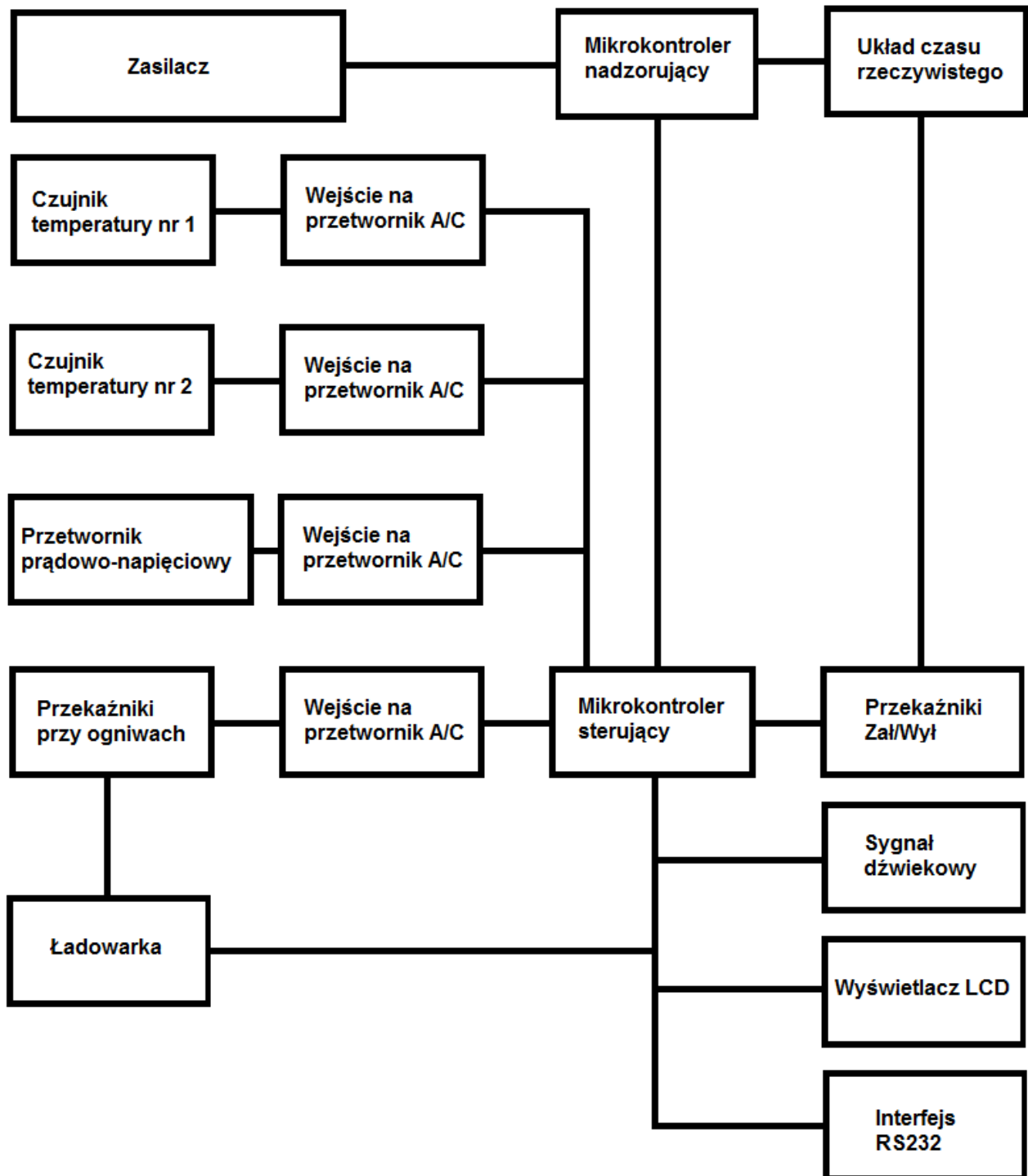
Rys. 2. Obwód aktywnego równoważenia ogniw [1]

4. Funkcje systemu BMS

Działanie systemu BMS polega na ciągłym pomiarze wartości napięcia każdego z zastosowanych ogniw i doładowywania najłabszego z nich.

Elektroniczny układ systemu, służy do:

- ochrony akumulatora (ogniw w baterii) przed uszkodzeniem,
- wydłużenia żywotności ogniw w baterii,
- utrzymania pożądanego stanu naładowania baterii,
- współdziałania z oprogramowaniem zewnętrznym.



Rys.3. Schemat systemu nadzoru baterii ogniwo (BMS).
[Źródło: opracowanie własne]

System BMS przeznaczony dla maszyn górniczych, zostanie umieszczony w komorze ognioszczelnej maszyny lub urządzenia elektrycznego wyposażonego w baterię ogniw oraz będzie zasilany z zasilacza umieszczonego również wewnątrz obudowy ognioszczelnej i będzie się składał z:

- wyświetlacza LCD,
- ładowarki,
- zasilacza wewnętrznego,
- przetwornika prądowo – napięciowego,
- czujników do pomiaru temperatury,
- układu pomiarowego,
- przekaźników ogniw,
- przekaźników sygnałowych,
- mikrokontrolera sterującego,
- mikrokontrolera nadzorującego,
- układu czasu rzeczywistego RTC,
- interfejsu do transmisji danych typu RS232.

System BMS będzie składał się z układu pomiarowego (przetwornika analogowo-cyfrowego współpracującego z mikrokontrolerem sterującym), który będzie analizował stan naładowania poszczególnych ogniw baterii. Czujniki temperatury i przetwornik prądowo-napięciowy będzie mierzył temperaturę ogniw, a także prąd ładowania i rozładowania. Mikrokontroler będzie sterował zespołem tranzystorów, przekazujących energię z ładowarki wewnętrznej do ogniwa o najniższym napięciu, w określonym czasie. Po doładowaniu ogniwa nastąpi wyłączenie procesu doładowania i ponowny pomiar oraz analiza stanu wszystkich ogniw, a następnie ewentualne doładowanie ogniwa o najniższym napięciu. Aktualne dane dotyczące baterii będą przekazywane na wyświetlacz LCD. W przypadku możliwości wystąpienia stanów awaryjnych uruchamiany zostanie sygnał dźwiękowy z zewnętrznego sygnalizatora akustycznego, i nastąpi zadziałanie przekaźnika bezpieczeństwa powodujące wyłączenie baterii. Wszystkie dane będą przesyłane do zewnętrznych urządzeń za pomocą interfejsu typu RS232 [2].

4.1. Funkcja doładowania najsłabszego ogniwa

Wartość napięcia poszczególnych ogniw będzie kontrolowana za pomocą mikrokontrolera i przetwornika analogowo-cyfrowego. Jeżeli napięcie na określonym ogniwie będzie niższe od wartości napięcia na pozostałych ogniwach lub będzie niższe od napięcia znamionowego, zostanie do niego podłączona ładowarka.

Doładowanie ogniwa będzie trwało do momentu, w którym napięcie na nim zrówna się z wartością napięć, na pozostałych ogniwach baterii.

4.2. Funkcja zabezpieczająca

W momencie przekroczenia dopuszczalnych wartości napięcia (na ogniwach) system BMS będzie mógł wysłać ostrzeżenie do urządzenia zasilanego lub wyłączyć całą baterię. Zapobiegnie w ten sposób jej uszkodzeniu w wyniku ewentualnego przeładowania, niedoładowania albo przegrzania. System BMS będzie pełnił również funkcję miernika poziomu naładowania baterii, optymalizować przebieg procesu ładowania wszystkich ogniw oraz zrównoważyć je.

System zostanie wyposażony w mikrokontroler nadzorujący, sprawdzający poprawność działania mikrokontrolera sterującego całym systemem BMS. W przypadku wykrycia nieprawidłowości jego pracy odłączy baterię akumulatorów od urządzenia. W ten sposób zapobiegnie ewentualnym awariom związanym z nieprawidłowym działaniem mikrokontrolera sterującego.

4.3. Pomiar natężenia prądu ładowania

Prąd ładowania ogniw tworzących baterię będzie mierzony przez przetwornik prądowo – napięciowy. W chwili, gdy napięcie na pojedynczym ogniwie przekroczy maksymalną wartość napięcia podaną przez producenta, ładowanie ogniwa zostanie przerwane.

4.4. Komunikacja

System BMS będzie informować o parametrach technicznych baterii ogniw, takich jak: pojemność (poziom energii), napięcie, temperatura, pobór prądu, lub przekazywanie ostrzeżenia, za pośrednictwem interfejsu transmisji danych typu RS232 [3].

5. Zastosowanie systemu nadzoru BMS w maszynach górniczych

Maszyny i urządzenia dla górnictwa podziemnego, zasilane z baterii ogniw, powinny być wyposażone w system nadzoru BMS.

Dotychczas w górnictwie stosowano przede wszystkim akumulatory kwasowo-ołowiowe.

Z dostępnych na rynku akumulatorów obecnie można stosować nowoczesne ogniwa litowe. Znalazły one zastosowanie, między innymi, w ciągnikach podwieszonych akumulatorowych PCA-1 oraz GAD-1 konstrukcji ITG KOMAG.

5.1. Podwieszany ciągnik akumulatorowy PCA-1

Źródłem zasilania podwieszoności ciągnika akumulatorowego PCA-1 jest bateria litowo-jonowa, składająca się z 15 ogniw połączonych ze sobą szeregowo, o napięciu znamionowym 48V DC. Zespoły czterech baterii o łącznej energii 150 kWh umieszczone

są we wnętrzu specjalnej skrzyni. Każdy z czterech zestawów zespołów bateryjnych stanowi niezależne źródło zasilania dla jednego wózka napędowego [5]. Parametry pojedynczego ogniwa litowego przedstawiono w tabeli 1.

**Parametry ogniwa litowego typu LiFePO4
LITHIUM-ION BATTERY PACK ciągnika PCA-1**

Tabela 1

Pojemność	100 Ah
Napięcie znamionowe	3,2 V
Napięcie rozładowania	2,0 V
Max. napięcie naładowania	3,65 V
Max. ciągły prąd ładowania	100 A
Max. ciągły prąd rozładowania	300 A
Masa	3,5 kg

5.2. Ciągnik akumulatorowy podwieszony GAD-1

Źródłem zasilania ciągnika podwieszony GAD-1 są cztery zespoły baterii litowo-jonowych, składających się z 68 ogniw połączonych szeregowo i dających napięcie 250 V DC. Zespoły czterech baterii o łącznej energii 150 kWh umieszczone są we wnętrzu specjalnej skrzyni. Każdy z czterech zestawów bateryjnych stanowi niezależne źródło zasilania dla jednego wózka napędowego. Parametry pojedynczego ogniwa litowego przedstawiono w tabeli 2.

**Parametry ogniwa litowego typu SLPB 150 Ah
ciągnika GAD-1 [4]**

Tabela 2

Pojemność	150 Ah
Napięcie znamionowe	3,7 V
Napięcie rozładowania	3,0 V
Max. napięcie naładowania	4,15 V
Max. ciągły prąd ładowania	150 A
Max. ciągły prąd rozładowania	300 A
Masa	3,2 kg

6. Podsumowanie

Bezpieczne i niezawodne użytkowanie baterii ogniw stosowanych do zasilania maszyn górniczych wymaga ich nadzorowania. Służy do tego system nadzoru BMS

opracowany w ITG KOMAG. Jego zadaniem jest ciągłe doładowywanie „najłabszego” ogniwa w baterii.

W porównaniu do dotychczasowych rozwiązań, które rozładują ogniwa o największej pojemności, jest to rozwiązanie nowatorskie.

Wyrównywanie pojemności poszczególnych ogniw ogranicza możliwość przeładowania ogniwa i przedłuża jego żywotność.

System BMS może być szczególnie przydatny w bateriach, w których ogniwa są bardzo wrażliwe na przeładowanie np. ogniwa z grupy litowych i służyć będzie ich zabezpieczeniu przed skutkami nierównomiernego doładowywania poszczególnych ogniw, jak również przed przeładowaniem i ewentualnym uszkodzeniem.

Literatura

1. Jaworowska M.: Specjalizowane układy elektroniczne do diagnostyki pakietów ogniw. *Elektronik* 2012 nr 7.
2. Kurpiel W.: System nadzorujący baterie akumulatorów BMS. ITG KOMAG Gliwice 2014 (materiały nie publikowane).
3. Kurpiel W., Polnik B., Miedziński B.: System nadzorujący pracę baterii akumulatorów (BMS) w celu zwiększenia bezpieczeństwa ich funkcjonowania i żywotności stosowanych ogniw. *Mech. Autom. Gór.* 2014 nr 5.
4. Polnik B., Budzyński Z., Drwięga A., Czerniak D., Mróz J., Skupień K., Dukalski P., Brymora L.: Gentle accumulator drive (GAD) – new directions of development for the mining industry. *Przegląd Elektrotechniczny.* 2013 nr 6 s. 205-209, ISSN 0033-2097
5. Konsek R.: Nowoczesny napęd akumulatorowy ciągnika PCA-1 jako alternatywa dla obecnie stosowanych napędów w ciągnikach transportowych. *Maszyny Elektryczne, Zeszyty Problemowe* 2012 nr 95.

Artykuł wpłynął do redakcji w listopadzie 2015 r.