

Sebastian **CHWIEDORUK**

UKŁAD DIAGNOSTYKI AKUMULATORÓW UDA

Streszczenie: Artykuł przedstawia konstrukcję układu diagnostyki akumulatorów UDA, wykonanego i przetestowanego w OBRUM. Przedstawiono potencjalne możliwości zastosowań opisanego rozwiązania. Opis urządzenia poprzedzony jest analizą wymagań i podstawowych rozwiązań tego typu układów.

1. WSTĘP

Coraz większa liczba systemów elektrycznych i elektronicznych we współczesnych pojazdach, zarówno cywilnych jak i wojskowych, powoduje, że zapotrzebowanie na energię staje się coraz większe. Akumulatory nie spełniają już tylko roli rozruchowych źródeł napięcia, ale służą także do zasilania wielu podsystemów, w tym krytycznych dla bezpieczeństwa pojazdu czy misji.

Zapewnienie bezpiecznej rezerwy energii lub większe zapotrzebowanie na nią, może skutkować koniecznością zwiększenia pojemności akumulatorów, a co zwykle za tym idzie, zwiększenie ich wymiarów i wagi. Większa pojemność akumulatorów oraz większe zapotrzebowanie energetyczne pojazdu, może wymagać zastosowania prądnicy lub alternatora o większej wydajności, co zwykle oznacza zwiększenie wymiarów podzespołu i kosztów instalacji. W celu optymalizacji pracy systemu zasilania energią, coraz częściej stosuje się złożone systemy zarządzania energią. Przynosi to wiele korzyści, do których należą między innymi:

- a) zmniejszenie awaryjności pojazdów spowodowanej brakiem zasilania elektrycznego,
- b) obniżenie kosztów serwisu i wymiany uszkodzonych akumulatorów, na skutek złej obsługi,
- c) wydłużenie czasu życia akumulatorów, poprzez stałą kontrolę stanu ich naładowania,
- d) optymalizacja pojemności akumulatorów dla danego systemu, w wyniku ekonomicznego wykorzystania energii,
- e) zmniejszenie potrzebnej wydajności alternatora (oszczędności ekonomiczne – mniejszy koszt urządzenia, mniejsze obciążenie silnika oraz mniejsze wymiary [9]),
- f) zmniejszenie zużycia paliwa (wiąże się z tym również zmniejszenie ilości emitowanych spalin) [9],
- g) możliwości utrzymywania pracy systemów krytycznych dla bezpieczeństwa w przypadku problemów z zasilaniem (może być to realizowane przez wyłączenie „energożernych” systemów, mniej istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa np. klimatyzacja),
- h) kontrola sparowania akumulatorów w układach wieloakumulatorowych (w przypadku połączenia akumulatorów szeregowo lub równolegle istotne jest aby sparowane akumulatory miały w miarę możliwości jak najbardziej zbliżone parametry oraz stopień naładowania),

Jeśli monitorowany jest stopień naładowania akumulatorów, możliwe jest efektywne sterowanie pracą alternatora lub prądnicy (oczywiście jeżeli w takie sterowanie są wyposażone). Poprzez sterowanie napięcia ładowania unika się między innymi przeładowania

akumulatorów. Utrzymywanie akumulatorów w stanie optymalnego naładowania (nie oznacza to pełnego naładowania) znacząco wydłuża ich żywotność. Również zbyt głębokie i długotrwałe rozładowanie, jest bardzo szkodliwe.

2. PARAMETRY OKREŚLAJĄCE STAN AKUMULATORA

Do celów diagnostyki akumulatorów definiuje się szereg obliczeniowych parametrów, z których najważniejsze to:

- *stan naładowania* (ang. *state-of-charge SOC*) – określa procentową ilość energii zgromadzonej w akumulatorze w stosunku do rzeczywistej pojemności całkowitej [1] lub do pojemności nominalnej [2],
- *stan zużycia* (ang. *state-of-health SOH*) – określa stopień wyeksploatowania akumulatora, wiąże się z tym spadek faktycznej pojemności danego akumulatora, w stosunku do nowego akumulatora (pojemności nominalnej) [1][3],

Te dwa parametry kontrolowane są przez niemal wszystkie systemy nadzorowania stanu akumulatorów. Definicje i sposoby obliczeń tych parametrów znacząco mogą różnić się w zależności od producenta, czy twórcy systemu.

Jednym z możliwych parametrów służących do określenia SOC jest rezystancja (lub konduktancja) wewnętrzna akumulatora.

Jak wynika z wielu opracowań, zdolność dostarczania prądu przez akumulator jest liniowo zależna od mierzonej konduktancji akumulatora. Spadek konduktancji w czasie eksploatacji lub na skutek uszkodzeń, daje informację o aktualnej zdolności akumulatora do osiągnięcia danego stopnia naładowania. Jest to ważne, ponieważ pozwala określić stan akumulatora bez potrzeby przeprowadzania pełnego cyklu ładowania i rozładowania.

W praktyce SOC można określać między innymi następującymi metodami:

- pomiar rezystancji wewnętrznej (stałoprądowy) – prosta metoda polegająca na pomiarze spadku napięcia akumulatora obciążonego określonym prądem względem akumulatora nie obciążonego.
- Metoda zwana „Coulomb counting” - polega na zliczaniu aktualnej ilości energii zgromadzonej w akumulatorze, na podstawie ciągłego pomiaru prądu, zarówno podczas ładowania jak i rozładowania. Metoda jest dość skuteczna, wymaga jednak dokładnego pomiaru prądu, oraz dość częstej kalibracji korygującej stan faktyczny. Nie uwzględnia prądu samorozładowania akumulatora.

W celu określenia stanu akumulatora, niezbędny jest pomiar co najmniej trzech parametrów:

- napięcia akumulatora,
- prądu pobieranego/wydawanego przez akumulator,
- temperatury akumulatora.

Napięcia akumulatora jest podstawowym parametrem mierzonym. Na tej podstawie szacuje się stopień naładowania akumulatora (napięcie sprawnego, rozładowanego akumulatora jest niższe niż naładowanego). Pomiar taki daje jednak wiarygodne wyniki jeśli wykonany jest na nieobciążonym akumulatorze, po określonym czasie od zakończenia ładowania. Jednakże nie można na tej podstawie określić faktycznej pojemności. Pomiar napięcia na akumulatorze podłączonym do instalacji pozwala nadzorować napięcie ładowania, które powinno mieścić się w ściśle określonym zakresie. Zarówno za niskie jak i za wysokie napięcie ładowania może doprowadzić do uszkodzenia lub znaczącej utraty pojemności, a co za tym idzie, skrócenie żywotności akumulatora.

Pomiar prądu pobranego (wydawanego) przez akumulator może być zrealizowany przy użyciu bocznika prądu lub przez użycie czujnika opartego o efekt Halla. Najczęściej stosuje się boczniki o rezystancji rzędu $100 \div 250 \mu\Omega$.

Ze względu na wymagany szeroki zakres pomiarowy prądu, celowe może być podzielenie całego zakresu pomiarowego na podzakresy:

- niskoprądowy - zakres +/- 1 A z rozdzielczością co najmniej 10mA,
- operacyjny - zakres +/- 300 A z rozdzielczością co najmniej 100mA,
- rozruchowy - zakres +/- 1000 A z rozdzielczością co najmniej 500mA.

W przypadku pomiaru prądu za pomocą czujników opartych o efekt Halla, pomiar jest nieinwazyjny - zapewniona jest galwaniczna izolacja czujnika od przewodu, w którym mierzony jest prąd. Szerokie zakresy pomiarowe i wysoka dokładność, czynią je skuteczną alternatywą dla rozwiązań pomiarowych opartych na bocznikach.

Ponieważ parametry definiujące stan akumulatora silnie zależą od jego temperatury, do poprawnej oceny jego stanu niezbędna jest znajomość temperatury akumulatora. Ponadto nadmierne nagrzanie się akumulatora podczas eksploatacji może spowodować jego uszkodzenie elektryczne, a nawet mechaniczne (na skutek nadmiernego wydzielania się gazów). Najlepszym rozwiązaniem wydaje się być czujnik temperatury zabudowany w akumulatorze. W praktyce, takie rozwiązania są jednak rzadko stosowane.

3. OPIS PROTOTYPU

Układ diagnostyczny akumulatorów UDA przeznaczony jest do monitorowania trybu pracy oraz stanu naładowania zestawu dwóch akumulatorów. Wyposażony jest w dwa wejścia analogowe do pomiaru napięcia w zakresie od 0V do 40V, czujnik prądu w zakresie od 0 do 800A, oraz dwa wejścia do pomiaru temperatury za pomocą czujników z wyjściem cyfrowym 1-wire.

Pomiar prądu realizowany jest metodą nieinwazyjną, na przewodzie z akumulatora przechodzącym przez otwór w obudowie UDA.

Zakresy i rozdzielczości pomiarowe dla mierzonych parametrów przedstawiono w tabelicy 1.

Tablica 1. Zakresy i rozdzielczości pomiarowe UDA

Parametr	Zakres	Rozdzielczość
Natężenie prądu	+/- 800A	0,4 A
Napięcie	0 do 40 V	15 mV
Temperatura	- 40°C do + 85°C	1 °C

Na podstawie pomiarów, określone są parametry oraz stan naładowania akumulatora (zestawu dwóch akumulatorów).

Urządzenie wyposażono w interfejs w standardzie magistrali cyfrowej CAN zgodnej z normą ISO11898-2, z protokołem CANopen. Poprzez tą magistralę możliwa jest kalibracja, wprowadzanie parametrów pracy, oraz komunikacja z systemem nadrzędnym (np. sterownik PLC, wyświetlacz).

Podstawowe dane techniczne UDA:

Napięcie zasilania	: 27VDC (12÷36 VDC)
Pobór prądu	: < 100mA
Izolacja galwaniczna sieci CAN	: 1kVDC
Zakres temperaturowy pracy	: -40°C ÷ +50°C
Zakres temperaturowy przechowywania	: -50°C ÷ +65°C
Interfejs sygnałowy	: CANbus zgodny z ISO11898-2
Protokół	: CANopen, norma nr CiA-DS 418

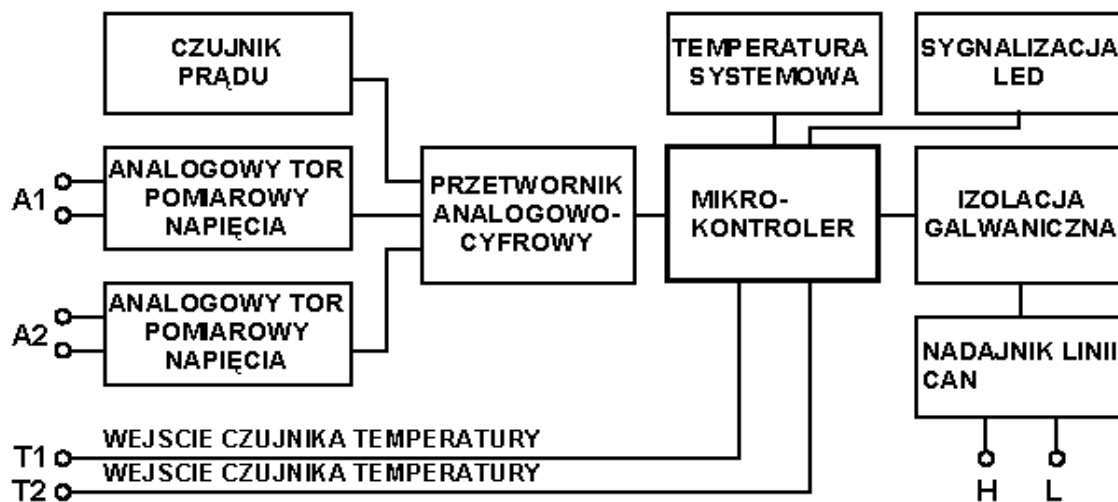
Parametry konfiguracyjne UDA (ustawiane poprzez magistralę CAN) są następujące:

- typ akumulatora,
- pojemność katalogowa akumulatora,
- maksymalny prąd ładowania,
- liczba cel akumulatora.

Parametry określone (wyliczone) przez UDA to:

- rezystancja wewnętrzna akumulatora,
- zakończenie procesu doładowywania akumulatorów prądnicą,
- ładunek akumulatora w Ah dla pracy bez prądnicy,
- wykrywanie braku sparowania akumulatorów,
- wykrywanie uszkodzenia akumulatora.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy układu elektronicznego UDA.



Rys. 1. Schemat blokowy UDA

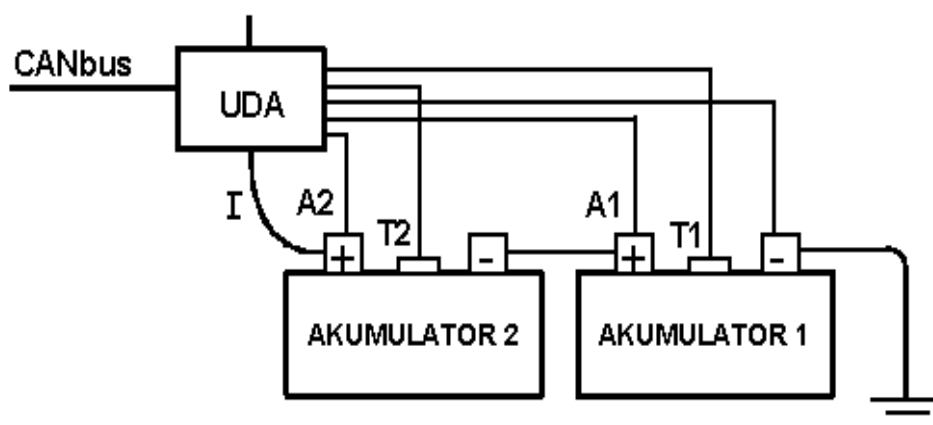
Na obudowie układu diagnostycznego znajdują się trzy diody LED: zielona, żółta i czerwona. Pozwalają one sygnalizować stan akumulatorów, jeśli układ diagnostyczny nie jest podłączony do urządzenia nadrzędnego za pomocą magistali CAN.

Diody wskazują stan akumulatorów zgodnie z systemem przedstawionym w tabelicy 2.

Tablica 2. Stany sygnalizacji diodowej UDA.

Sygnalizacja na diodach	Stan sygnalizowany	Działania proponowane
Zielona – nie świeci się Żółta – nie świeci się Czerwona – nie świeci się	Brak napięcia zasilania lub uszkodzenie UDA	Poprawna instalacja lub wymiana UDA
Zielona – świeci się lub pulsuje Żółta – nie świeci się Czerwona – nie świeci się	Akumulatory sprawne	Nie są wymagane żadne czynności obsługowe
Zielona – świeci się lub pulsuje Żółta – świeci się Czerwona – nie świeci się	Akumulatory rozładowane lub przeładowane lub nie sparowane	Jeżeli dioda żółta zapaliła się przy rozruchu należy naładować akumulator(y). Jeżeli dioda żółta świeci się przy ładowaniu należy sprawdzić napięcie ładowania. Sprawdzić stan i sparowanie akumulatorów.
Zielona – świeci się lub pulsuje Żółta – nie świeci się Czerwona – świeci się	Akumulatory lub system ładowania uszkodzone	Należy dokonać czynności serwisowych/naprawczych akumulatorów i systemu ładowania.

Proponowany sposób montażu UDA dla pary szeregowo połączonych akumulatorów przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Podstawowa aplikacja UDA dla dwóch połączonych szeregowo akumulatorów

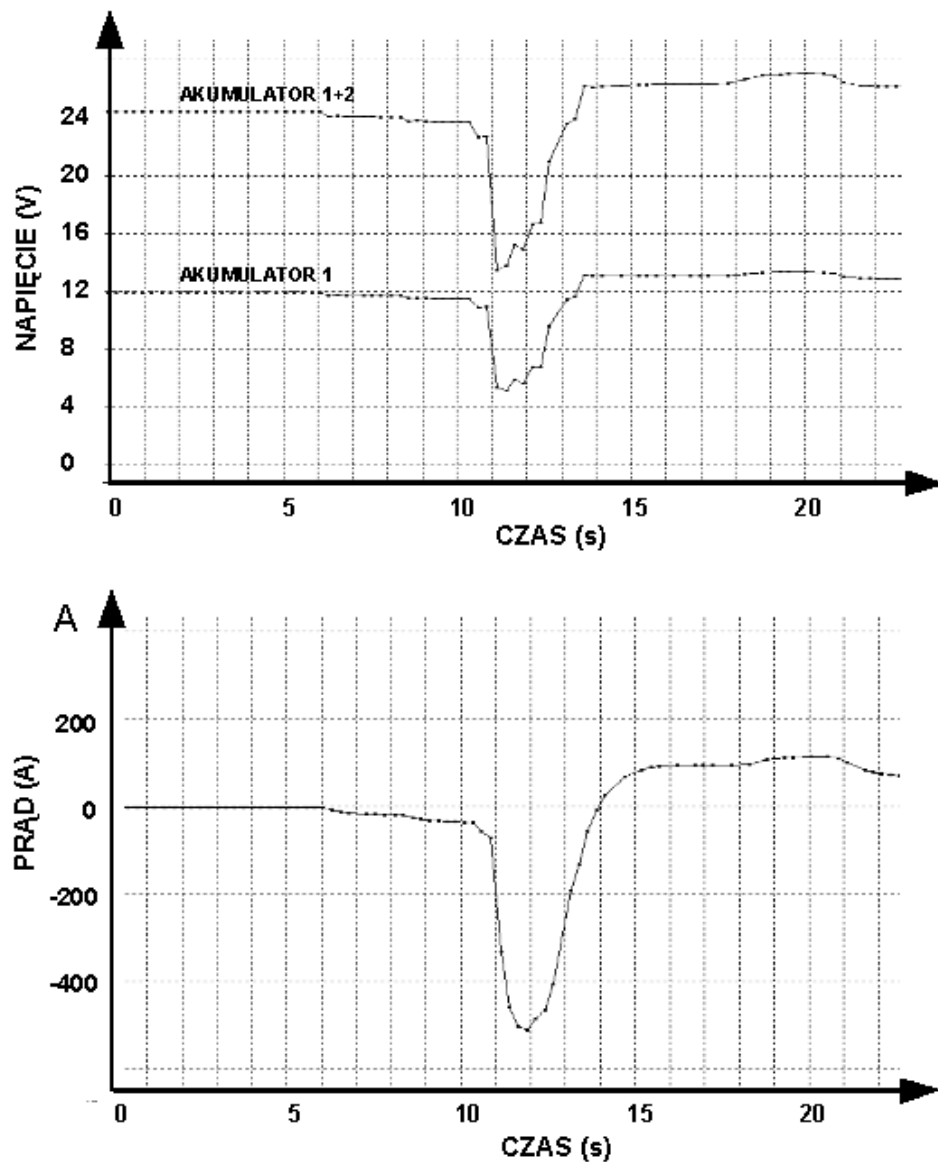
W tym układzie mierzone jest napięcie jednego akumulatora oraz całkowite napięcie na akumulatorach. Napięcie drugiego akumulatora określone jest jako różnica napięcia całkowitego i napięcia pierwszego akumulatora. Prąd mierzony jest na przewodzie prądowym podłączonym do zacisku dodatniego drugiego akumulatora. Dodatkowo mierzona jest

temperatura na powierzchni każdego z akumulatorów (miejsce pomiaru zależy od możliwości technicznych i typu akumulatorów).

4. OPIS BADAŃ I WYNIKI POMIARÓW

Układ diagnostyki akumulatorów UDA poddano próbom na stanowisku testowym, umożliwiającym ładowanie i rozładowywanie pary akumulatorów kwasowych połączonych szeregowo. Na stanowisku testowano między innymi działanie algorytmu obliczeniowego.

W drugim etapie UDA zamontowano na pojeździe gdzie użyto go do monitorowania stanu pary akumulatorów oraz systemu ładowania. Przeprowadzono próby podczas rozruchu elektrycznego silnika pojazdu oraz pracy elementów sterowanych elektrycznie. Przykładowe przebiegi napięcia i prądu podczas rozruchu przedstawia rysunek 3.



Rys.3. Przebieg napięcia i prądu podczas rozruchu elektrycznego silnika pojazdu

5. WNIOSKI

- Parametry obliczane przez algorytm pomiarowy były poprawne i zgodne ze stanem faktycznym.
- Sygnalizacja diodowa pokazywała stany awaryjne zgodnie z założonymi progami.
- Otrzymane wyniki pomiarów potwierdziły przydatność opracowanego systemu do monitorowania akumulatorów.

6. MOŻLIWOŚCI ROZWOJOWE KONSTRUKCJI

Opracowany prototyp daje możliwość użycia go po drobnych modyfikacjach jako wyrobu gotowego. Ideą projektu na tym etapie było stworzenie w pełni funkcjonalnego urządzenia, dającego możliwość montażu na istniejących wyrobach, minimalizując konieczne przeróbki i modyfikacje. Dlatego było możliwe przetestowanie UDA na pojeździe gaśnicowym, podczas rozruchów elektrycznych oraz przy obciążeniach spowodowanych pracą urządzeń pokładowych.

Dalsze prace rozwojowe UDA powinny „upraktyczyć” urządzenie, poprzez zmniejszenie gabarytów oraz opracowanie sposobów podłączenia do innych istniejących wyrobów.

Złożoność problemu z punktu widzenia zastosowania odpowiednich algorytmów pomiarowych powoduje, że jest to czynnik decydujący o jakości tego typu systemu pomiarowego. Twórcy systemów stosują bardzo złożone metody obliczeniowe oparte np. na logice rozmytej (Fuzzy Logic), filtry Kalmana czy też sieciach neuronowych [2], [4]. Metody te stanowiące „serce” układów, które z punktu widzenia sprzętowego nie są mocno skomplikowane, zazwyczaj są obwarowane patentami lub ściśle strzeżonymi tajemnicami rozwiązań.

Dlatego też poprawa dokładności i niezawodności układu UDA, pomimo zadowalających efektów dotychczasowych prac, wiąże się z koniecznością dalszych badań i analiz, w celu opracowania najskuteczniejszych metod matematycznych obliczeń stanu akumulatorów.

Interfejs CAN daje możliwość integracji UDA z nową tablicą sterowania pojazdu na bazie T72, a co za tym idzie, integracją całego systemu ładowania i zasilania pojazdu. Sterowanie alternatorem jest możliwe po zmodyfikowaniu istniejącego alternatora i wprowadzeniu systemu regulacji napięcia np. w oparciu o magistralę CAN.

Zastosowanie układu diagnostyki akumulatorów wydaje się być konieczne w przypadku stosowania akumulatorów z elektrolitem stałym. Tego typu akumulatory są bardziej podatne na zniszczenie spowodowane głębokim rozładowaniem lub przeładowaniem.

System diagnostyczny daje możliwość ciągłej kontroli stanu naładowania i stanu ogólnego akumulatorów w pojeździe, a także samego układu ładowania, co wiąże się z trudnym do przecenienia przewidywanym spadkiem awarii pojazdów związanych z zasilaniem i brakiem należytej obsługi okresowej.

Należy nadmienić, że tego typu systemy będą wprowadzone do samochodów osobowych w ciągu najbliższych lat. Najwięksi producenci systemów elektronicznych do pojazdów, znając wagę problemu, posiadają już w swoich ofertach tego typu urządzenia, wysyłające dane do komputera centralnego poprzez magistralę LIN lub CAN. Przy dużym zapotrzebowaniu energetycznym współczesnego samochodu, i dużej liczbie systemów elektronicznych, także krytycznych dla bezpieczeństwa pojazdu, takie podejście jest konieczne i daje wymierne efekty ekonomiczne i jakościowe.

Analogiczny tor rozumowania i przewidywania przyszłych zapotrzebowań dla pojazdów wojskowych i specjalnych, wydaje się być słuszny.

7. LITERATURA

- [1] COX M., BERTNESS K.: Vehicle-Integrated Battery and Power System Management based on Conductance Technology to Enable Intelligent Generating Systems (inGEN). Midtronics, Inc. Society of Automotive Engineers 2002.
- [2] <http://www.mpoweruk.com/soc.htm>: State of Charge (SOC) Determination.
- [3] <http://www.mpoweruk.com/soh.htm>: State of Health (SOH) Determination”
- [4] POP V., BERVELD H. J., NOTTEN P. H. L., REGTIEN P. P. L.: State-of-the-art of battery state-of-charge determination. Measurement Science and Technology 16 2005 (R93-R110)
- [5] Karta informacyjna : Układ Diagnostyczny Akumulatorów. OBRUM-Gliwice.
- [6] HELLA : Power Management, The Intelligent Battery Sensor (IBS)
- [7] DELPHI : Delphi IVT Battery Sensor
- [8] SIEMENS VDO : Battery Monitoring Algorithm (BatMon)
- [9] www.motorage.com: TECH FOCUS: Make Battery Health a Part of your Business.

BATTERY MONITORING DEVICE UDA

Abstract: The paper describes design of Battery Monitoring Device UDA, which has been developed and tested in OBRUM. Potential applications are described. Device description is based on prior requirements and basic concepts analyze this kind of devices.

Recenzent: dr inż. Zbigniew RACZYŃSKI