

Ładowarka Li-Ion z pomiarem pojemności



kit
3056
AVT

Urządzenie służy do ładowania i testowania akumulatorów typu Li-Ion 18650 lub innych, o pojemnościach z zakresu 0,4...5Ah i napięciu znamionowym 3,7V. Przedstawiona ładowarka oprócz zasadniczej funkcji ładowania ogniw, umożliwia pomiar ich pojemności oraz wykreślenie charakterystyk prądowo-napięciowych cykli ładowania i rozładowania.

W rękach hobbystów znajduje się obecnie wiele akumulatorów litowo-jonowych. Są to głównie ogniwa typu 18650. Hobbysci wykorzystują akumulatory Li-Ion w rozmaitych projektach, takich jak latarki, przenośne ładowarki mniejszych urządzeń, jako źródło zasilania modeli oraz większych pojazdów np. rowerów elektrycznych. Niezaprzeczalnymi zaletami akumulatorów litowo-jonowych jest ich bardzo korzystny stosunek pojemności do wagi i objętości, czyli duża gęstość energii.

W Internecie łatwo znaleźć liczne oferty sprzedaży tych ogniw, przy czym sprawne akumulatorki pochodzące z demontażu baterii (od laptopów, elektronarzędzi) można kupić w atrakcyjnych cenach, często nawet za 1/3 wartości sklepowej. Biorąc pod uwagę fakt, że bardzo często można tą drogą nabyć zupełnie nowe ogniwa (np. pozyskane przez sprzedawcę przez rozbiórkę baterii z uszkodzonej elektroniki) temat ich wykorzystania staje się jeszcze bardziej atrakcyjny. Należy jednak zwrócić uwagę, czy sprzedawane ogniwa nie były długo magazynowane, ponieważ akumulatory tego typu są bardzo czułe na długie i niewłaściwe



Fot. 1

przechowywanie. Widok ogniw 18650 pochodzących z demontażu fabrycznych pakietów przedstawia fotografia 1. Opisana dalej ładowarka może być bardzo pomocna przy budowie własnych pakietów ogniw, zwłaszcza że dobranie akumulatorów o zbliżonych parametrach ma tutaj kluczowe znaczenie. Ładowarka może ładować ogniwa prądami 0,2A, 0,5A i 1A. Jeśli wybrano tryb pomiaru pojemności to prąd rozładowania jest równy prądowi ładowania. Podczas pomiarów akumulatorów należy brać pod uwagę fakt, że niektóre ogniwa po dłuższym nieużywaniu mogą wykazywać przyrost pojemności podczas kolejnych cykli. Szczegółowe informacje dotyczące obsługi urządzenia zawarte są w dalszej części artykułu.

Parametry urządzenia:

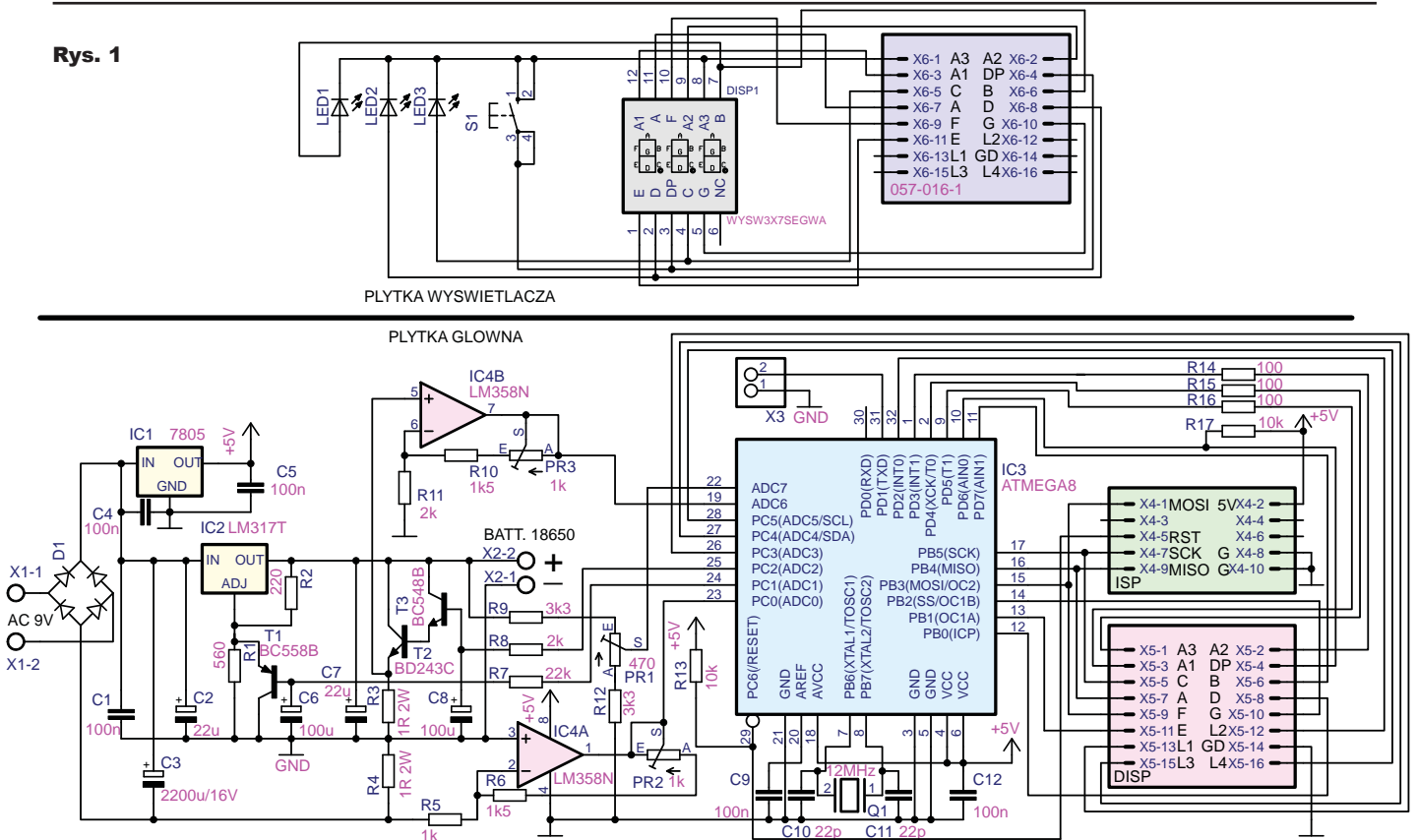
- Napięcie ładowania: 4,20V
- Prąd ładowania i rozładowania: 200mA, 500mA, 1000mA
- Napięcie końcowe rozładowania: 2,90V
- Prąd końcowy ładowania: 90mA (tryby 500mA, 1000mA), 30mA (tryb 200mA)
- Napięcie podtrzymania: 4,12V
- Pomiar pojemności, bieżący odczyt napięcia i prądu
- Możliwość przysyłania danych do komputera i tworzenia charakterystyk ogniw

Charakterystyka ogniw Li-Ion

Wyróżnia się kilka typów ogniw litowo-jonowych, w zależności od składu elektrolitu oraz materiału katody. Skład chemiczny ogniwa determinuje jego napięcie znamionowe. Najbardziej rozpowszechnione są akumulatory, które cechuje napięcie znamionowe 3,7V i właśnie pod kątem użytkowania tych akumulatorów powstało opisywane urządzenie. Metoda ładowania akumulatorów Li-Ion jest bardzo podobna do metody ładowania znanych od dawna ogniw kwasowo-ołowiowych. Ma tutaj zastosowanie proces zwany skrótowo CC/CV (constant current/constant volta-

ge) polegający na ładowaniu akumulatora w dwóch etapach: pierwszym, z ograniczeniem prądu do wartości dopuszczalnej dla danego ogniwa aż do osiągnięcia przez akumulator napięcia 4,2V, oraz drugim, kiedy to prąd akumulatora samoistnie spada, a zadaniem ładowarki jest stabilizacja napięcia 4,2V na jego zaciskach. Istotna jest przy tym dość dokładna stabilizacja napięcia: producenci ogniw podają z reguły dopuszczalną tolerancję 0,05V. Kiedy w drugiej fazie ładowania prąd ogniwa spadnie poniżej 0,04...0,05C, proces ładowania należy uznać za zakończony. Podczas użytkowania akumulatorów należy monitorować ich napięcie i jeśli spadnie ono poniżej 3V, trzeba przerwać pobór prądu. Deklarowana przez producentów trwałość ogniw mieści się w przedziale 1000...2000 cykli, choć powszechnie wiadomo, że każdy producent lubi być optymistyczny w kwestii parametrów swoich produktów. Jeśli zależy nam na przedłużeniu żywotności ogniwa, to warto wiedzieć, że praca w tzw. małym oknie pojemności pozwala znacznie przedłużyć czas życia akumulatora (zwiększona zostaje liczba cykli pracy). O ile w przypadku akumulatorów kwasowych korzystna jest praca w pobliżu pełnego naładowania, to w przypadku ogniw litowo-jonowych należy zalecić korzystanie ze środkowego zakresu charakterystyki, czyli nie ładować ich do pełna ani też nie wyładowywać do końca. W tym celu ładowanie warto przerwać w momencie, gdy akumulator osiągnie 4,20V, nie czekając na spadek prądu. Ładunek zgromadzony w akumulatorze wyniesie wtedy około 80% jego całkowitej pojemności. Podczas rozładowania należy zadbać o to, by napięcie nie spadło poniżej 3,3V. Co prawda uniemożliwi to wykorzystanie całej pojemności ogniwa, lecz znacznie podniesie jego trwałość. Ogniwa, które mają być długo przechowywane, powinny być naładowane w granicach 30...50% i magazynowane w możliwie niskich temperaturach. Należy dodatkowo nadmienić, że zawsze warto zwrócić do not

Rys. 1



katalogowych rozmaitych akumulatorów Li-Ion, ponieważ są tam podane cenne informacje dotyczące ich eksploatacji oraz szczegółowe parametry. Godna polecenia jest również strona internetowa: <http://batteryuniversity.com>.

Opis układu

Schemat ideowy układu przedstawiony jest na rysunku 1. Mikrokontroler za pośrednictwem dołączonych do niego elementów ma pełną „władzę” nad tym, co się dzieje w układzie. Może on sterować napięciem ładowania (a więc zarazem prądem płynącym przez ogniwo) oraz prądem rozładowania, opierając się na pomiarach rzeczywistych wartości tych parametrów poprzez wbudowane wewnątrz przetworniki A/C. Układ pomiaru prądu ładowania oraz rozładowania zrealizowałem na dwóch wzmacniaczach operacyjnych wchodzących w skład układu scalonego IC4 LM358. Prąd ładowania badany jest poprzez pomiar spadku napięcia na rezystorze R4, który to spadek wzmocniony przez IC4A podawany jest na wejście przetwornika A/C mikrokontrolera IC3. Wzmacniacz pracuje w konfiguracji odwracającej, aby odkładając się na R4 ujemne względem masy napięcie zostało przekształcone w dodatnie. Wnikliwi Czytelnicy zauważą, że przez R4 płynie również prąd zasilania układów ładowarki. Nie stanowi to problemu, ponieważ jest on programowo odliczany od zmierzonej wartości. Podobny układ z rezystorami R11,

R10, PR3 oraz wzmacniaczem IC4B ma za zadanie umożliwienie pomiaru prądu rozładowania i nie sądzę, by wymagał on szerzego omawiania. Układ pomiaru napięcia ładowania jest jeszcze prostszy – tworzą go rezystory R9, R12, PR1. Regulacja napięcia, a zarazem prądu ładowania, odbywa się za pomocą zmiany stałego potencjału na kondensatorze C6, który za pośrednictwem tranzystora T1 wpływa na napięcie na końcówce ADJ stabilizatora IC2 LM317T. Najwyższe, możliwe do uzyskania napięcie stabilizatora narzuca dzielnik R2 i R1. W warunkach normalnej pracy zawsze R1 jest częściowo bocznikowany przez tranzystor T1. Napięcie na C6 uzyskiwane jest drogą modulacji PWM. Mikrokontroler generuje na nóżce 24 sygnał prostokątny o zmiennym współczynniku wypełnienia. Rezystor R7 i kondensator C6 tworzą układ całkujący (uśredniający) przebieg prostokątny na napięcie stałe. Metodą prób ustaliłem, że minimalna rozdzielczość PWM, dająca wystarczająco precyzyjną regulację, to 9 bitów (czyli 512 możliwych poziomów napięcia). Uwarunkowania związane z programową generacją tego sygnału narzucały częstotliwość PWM w granicach 300Hz. Podczas testów okazało się, że pojemność C6 musi być dość duża, ponieważ nawet niewielkie pulsacje napięcia ładowania powodowały znaczne wahania prądu ogniwa, co mocno utrudniało jego stabilizację. Wynika to z małej rezystancji wewnętrznej akumulatora.

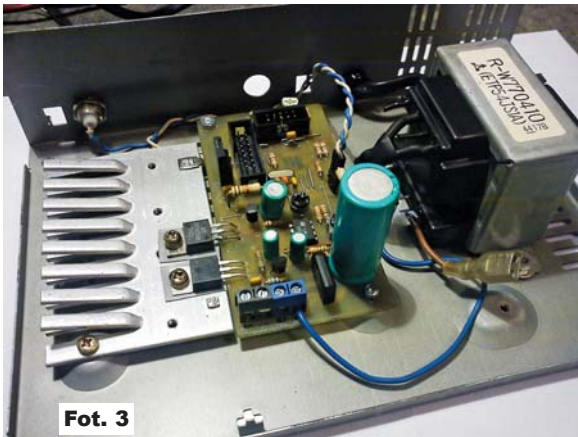
Układ regulacji prądu rozładowania jest nieco prostszy i zawiera wtórnik emiterowy na tranzystorach w układzie Darlingtona (T2, T3), pracujących jako źródło prądowe. W zależności od napięcia na kondensatorze C8 zmienia się prąd rozładowania akumulatora płynący przez R3. Również i tutaj regulacja napięcia sterującego źródłem prądowym odbywa się z wykorzystaniem metody PWM. Reszta układu jest standardowa i zawiera m.in. pomocniczy stabilizator IC1 zasilający część cyfrową układu. Na oddzielnej płytce umieściłem część odpowiedzialną za komunikację z użytkownikiem, czyli wyświetlacze oraz przycisk S1. Płytkę tą dołączoną jest 16-żyłowym przewodem taśmowym do płytki głównej. Wystarczyłyby przewód 14-żyłowy, ale ze względu na spójność z innymi moimi konstrukcjami został użyty szerszy przewód. Potrójny wyświetlacz 7-segmentowy dołączony jest w mój ulubiony ostatnio sposób, polegający na zastosowaniu rezystorów wyłącznie w anodach każdej cyfry i sterowaniu całości poprzez 24-cyklowe multipleksowanie. Z tego względu wymagane jest zastosowanie wyświetlacza o podwyższonej jasności. Szerzej omówiłem to zagadnienie w poprzednim artykule „Switch DMX” (EdW 12/2012), gdzie pracował identyczny wyświetlacz. Obok wyświetlacza znajdują się jeszcze 3 diody LED, określające swoim świeceniem jednostki, w jakich odbywa się odczyt cyfrowy (napięcie V – LED1, prąd



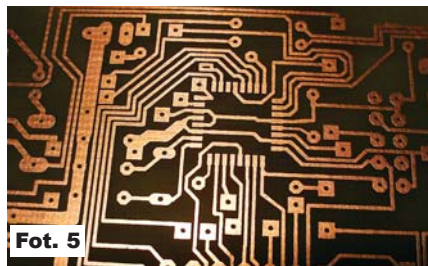
Fot. 2



Fot. 4



Fot. 3



Fot. 5

A – LED2 oraz pojemność Ah – LED3). Diody te pracują z jeszcze mniejszym średnim prądem niż wyświetlacz, tak więc jest tu bezwzględnie wymagane użycie diod superjasnych. Podłączone są one równoległe z wyświetlaczem 7-segmentowym, lecz przeciwnie do zawartych w nim diod. Umożliwiło to ich niezależne sterowanie. Przycisk odczytywany jest w podobny sposób: badając jego stan, próbując przepędzić przez niego prąd w kierunku od katody do

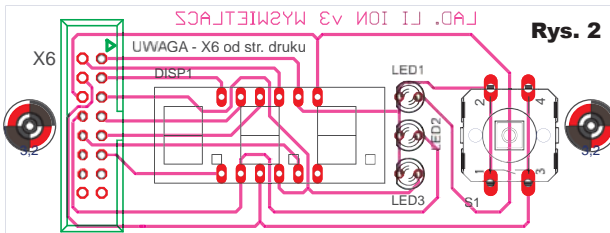
anody jednej z diod wyświetlacza LED. Nie zakłóca to dzięki temu pracy wyświetlacza. Opornik R17 podciągający jeden z biegunów przycisku ma stosunkowo dużą wartość, by nie powodował rozświetlania niektórych segmentów wyświetlacza, gdy S1 jest wciśnięty.

Montaż i uruchomienie

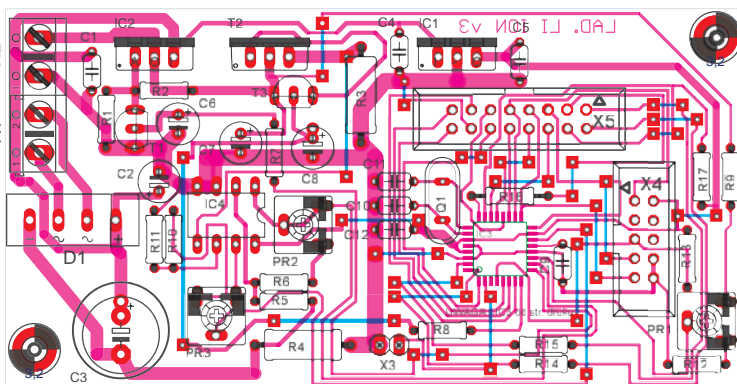
Autorski model pokazany jest na **fotografiach 2...4**. Układ można zmontować, korzystając z przygotowanych projektów płytek drukowanych. Płytkę główną może być jednostronna lub dwustronna. Celowo piszę *lub*, gdyż łatwiejsza do wykonania w warunkach amatorskich jest płytka jednostronna. Będzie ona jednak niestety zawierała sporą liczbę zwór. Projekt płytki jest tak przygotowany, że

wszystkie ścieżki na warstwie top można z powodzeniem zastąpić zworami. Schemat montażowy płytki widoczny jest na **rysunku 2**. **Fotografia 5** przedstawia płytkę drukowaną wykonaną w własnym zakresie.

Układ IC2 w obudowie SMD montuje się od spodu płytki. Sposób lutowania tego typu układów przedstawiłem przy okazji artykułu „Switch DMX” (EdW 12/2012). Oporniki R3 i R4 warto włutować w odległości około 1cm od płytki, ze względu na ich nagrzewanie się. Elementy IC2 i T2 należy umieścić na radiatorze o powierzchni około 70cm². Z powodzeniem można tu zastosować radiator z demobilu, pochodzący z zasilaczy komputerowych. Należy pamiętać o odizolowaniu wkładek radiatorowych tych elementów, używając do tego celu np. przekładek silikonowych i odpowiednich podkładek. Odpowiednie do tego celu elementy Czytnicy z pewnością znajdą choćby w starym zasilaczu ATX, który jest bardzo popularnym „dawcą”, ze względu na ogromne ilości złomu komputerowego. Do obsadzenia pozostaje jeszcze płytka wyświetlacza. Należy pamiętać, że znajdujące się na niej złącze X6 należy włutować od strony druku. Może to być nieco kłopotliwe, lecz po lekkim wysunięciu pinów z plastikowej ramki złącza lutowanie nie powinno nastęrczać problemów. Wyświetlacz należy podłączyć płaskim przewodem 16-żyłowym, zakończonym odpowiednimi gniazdami. Złączem X3 wyprowadzone są dane dla komputera. Jeśli chcemy korzystać z możliwości tworzenia charakterystyk, należy sygnał z tego złącza wyprowadzić na zewnątrz obudowy, stosując dowolne gniazdo. Szczegóły podłączenia do komputera omówiłem na końcu artykułu. Pozostaje jeszcze dołączenie transformatora. Powinien on dawać napięcie zmienne w granicach 9V i mieć moc minimum 10W. W modelu zastosowałem transformator z radiomagnetofonu. Po złożeniu całego urządzenia należy jeszcze zaprogramować mikrokontroler



Rys. 2



odpowiednim wsadem znajdującym się na Elportalu wśród materiałów dodatkowych do tego numeru EdW. Prawidłowe ustawienie fusebitów to:

Fusebit: 3F (BOD 4.0V, ExtCrystal/HighFreq)
Fusebit high: D9

Złącze do programowania X4 w standardzie KANDA znajduje się na płycie głównej. Egzemplarz modelowy wyposażylem, oprócz wykonanego z laminatu koszyka na ogniwo 18650, w gniazda bananowe przeznaczone do podłączenia innych ogniwi. W celu zabezpieczenia dodałem równolegle do wyjścia, niewidoczną na schemacie, włączoną rewersyjnie diodę o prądzie kilku amperów. Ma ona zabezpieczać układ przed niewłaściwym podłączeniem biegunów akumulatora, choć dla samego ogniwa będzie to niebezpieczne. Należy się mieć na baczności, ponieważ zwarcia ogniwi litowo-jonowych mogą się skończyć nieprzyjemnie ze względu na ich dużą gęstość energii i duży prąd zwarcia.

Osoby pragnące dostosować poszczególne parametry (prądy i napięcia) mogą samodzielnie skompilować program, uprzednio zmieniając wartości odpowiednich stałych w kodzie źródłowym. Stałe są opatrzone stosownymi komentarzami. Program mikrokontrolera przygotowałem w środowisku AVR Studio, korzystając z kompilatora AVR-GCC.

Kalibracja

Po zmontowaniu urządzenia należy przeprowadzić kalibrację, by wartości prądów i napięć mierzone przez mikrokontroler pokrywały się ze stanem faktycznym. Kalibracja polega na ustawieniu trzech potencjometrów montażowych. Oto kolejne kroki:

- Do wyjścia ładowarki podłączyć połączone szeregowo rezystor 6,8Ω 2W i amperomierz
- Włączyć urządzenie i przyciskiem wybrać tryb „C0.5”
- Poczekać na ustabilizowanie się prądu wskazywanego przez amperomierz
- Potencjometrem montażowym PR2 ustawić tak, by prąd wyniósł 0,5A
- Odłączyć amperomierz oraz rezystor
- Poczekać, aż na wyświetlaczu pojawi się napis „Err”
- Do wyjścia podłączyć woltomierz i regulując PR1, spowodować, by napięcie na wyjściu wynosiło 4,12V ±0,01V. Uwaga – zmiany napięcia są powolne.
- Wyłączyć urządzenie i włączyć ponownie, przytrzymując jednocześnie przycisk – ładowarka wejdzie w tryb testowy.
- Naciskając przycisk odpowiednią liczbę razy, doprowadzić do świecenia się diody LED2 („I”). Odczytać wartość z wyświetlacza i ponownie naciskać przycisk, aż zaświecą się jednocześnie diody LED1

i LED2. Wyświetlacz wskaże drugą wartość. Potencjometrem montażowym PR3 doprowadzić do zrównania obydwu tych wartości, sprawdzając na bieżąco jedną i drugą (będą wykazywać współbieżny dryft temperaturowy). Dwie odczytywane wartości to prąd płynący przez obydwie rezystory pomiarowe 1Ω przy stałej wartości PWM. Wskazywana przez wyświetlacz wielkość powinna mieścić się w przedziale 50...80 (x 10mA)

- Pozostając w trybie testowym, naciskać przycisk, by doprowadzić do zaświecenia się diody LED1. Odczytywana wartość powinna mieścić się w przedziale 430..450. Jest to maksymalne możliwe do osiągnięcia napięcie wyjściowe stabilizatora (x 10mV).

Obsługa urządzenia

Po włączeniu zasilania, ładowarka domyślnie wchodzi w tryb ładowania prądem 0,2A. Tryb można w dowolnej chwili zmienić, korzystając z przycisku S1. Tryby ładowania oznaczone są literą C z podaną po niej wartością prądu („C0.2”, „C0.5”, „C1.0”). Tryby testowania oznaczone są w identyczny sposób, tyle że zamiast litery „C” na wyświetlaczu widnieje „I”. Podczas ładowania urządzenie na bieżąco wyświetla wartości napięcia i prądu. Spadek prądu do 90mA (tryby 500mA, 1000mA) lub 30mA (tryb 200mA) traktowany jest jako koniec ładowania i zostaje wyświetlony napis „End”. Ładowarka zmniejsza wtedy utrzymywane na ogniwie napięcie z 4,20V na 4,12V. Jeśli ogniwo się odłączy lub przestanie kontaktować na pewien czas (co spowoduje nagły spadek prądu poniżej 10mA), urządzenie wykryje ten fakt i wyświetli napis „Err”. W tym przypadku napięcie również zostanie zmniejszone do 4,12V, a prąd ograniczony do 200mA. W trybie testowania ogniwi wykonywane są kolejne następujące cykle: Ładowanie > Rozładowanie > Ładowanie. Podczas rozładowania wyświetlacz ukazuje napięcie, prąd oraz w pulsujący sposób wyładowaną do tej chwili pojemność (Ah). W chwili osiągnięcia przez ogniwo napięcia 2,9V wskazywana wartość pojemności przestaje

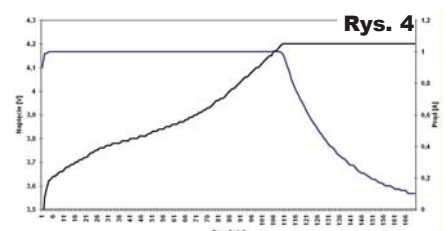
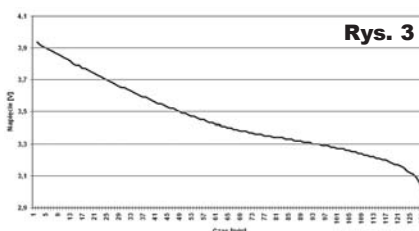
pulsować i rozpoczyna się ponowne ładowanie. Jest to znakiem dla użytkownika, że na wyświetlaczu ukazana jest już całkowita zmierzona pojemność.

Dodatkowa opcja – zdejmowanie charakterystyk ogniwa

Jak wspomniałem, ładowarka umożliwia wykreślenie charakterystyk ogniwa. Do tego celu wymagane jest podłączenie urządzenia do komputera. Dane z ładowarki wysyłane są za pomocą interfejsu UART mikrokontrolera (9600bps/8/N/1). Poziomy logiczne z układu UART wynoszą 0 i 5V, co uniemożliwia bezpośrednie podłączenie do portu RS-232C (należałoby użyć układu MAX232). Nie stanowi to jednak większego problemu, zwłaszcza że przy tego typu połączeniach hobbyści wykorzystują przeważnie przejściówki UART-USB. Gotowe kable występują bardzo często pod postacią przewodów do telefonów komórkowych oraz jako interfejsy diagnostyczne do instalacji LPG. Z reguły są to proste układy tworzące w komputerze wirtualny port COM, a na swoim wejściu akceptują poziomy 0...5V. Jeśli chcemy korzystać z portu USB, potrzebną przejściówkę możemy wykonać też samodzielnie w oparciu o popularne układy firm Prolific lub FTDI. W Internecie temat takich przejściówek jest bardzo szeroko opisany. Zakładając, że mamy już ładowarkę podłączoną do komputera, kolejnym krokiem jest uruchomienie programu terminalowego i otwarcie odpowiedniego portu COM. W terminalu należy ustawić parametry transmisji na: 9600bps, 8 bitów, brak parzystości, bity stopu: 1.

ciąg dalszy na stronie 33

Wybrano tryb: Testuj 1000mA		Listing 1	
U koncowe rozladowania: 2.90V			
I Rozladowania: 1000mA			
U Ladowania: 4.20V			
I Ladowania: 1000mA			
I koncowy ladowania: 90mA			
U Podtrzymania: 4.12V			
Fazy pracy: Ladowanie > Rozladowanie > Ladowanie			
Ponizej beda podawane parametry w tabeli			
Czas[min]	Napiecie[V]	Prad[A]	
1	3.61	0.78	
2	3.91	1.00	
3	3.92	1.00	
Poczetek rozladowania - - - - -			
1	3.90	0.93	
2	3.94	1.00	
3	3.92	1.00	



Ciąg dalszy ze strony 24

Po uruchomieniu ładowarki w dowolnym trybie będzie ona wysyłała do terminalu dane o parametrach procesu oraz aktual-

nym jego stanie, czyli płynącym prądzie, napięciu oraz czasie (w minutach), który upłynął od początku aktualnej fazy pracy (ładowanie lub rozładowanie). Dane są przesyłane w formie tekstowej i można je

łatwo zaimportować, np. do programu Excel w celu przedstawienia procesu w formie graficznej. Na **listingu 1** przedstawiono przykład danych wysyłanych przez ładowarkę, a **rysunki 3 i 4** prezentują uzyskane wykresy.

Niedokładne wartości dla pierwszej minuty pracy wynikają z dużych stałych czasowych programowego filtrowania mierzonych wartości i w praktyce nie mają znaczenia.

Nawet bez opcjonalnej komunikacji z komputerem i bez zdejmowania indywidualnych charakterystyk ogniw, urządzenie jest bardzo przydatne dla każdego, kto ma do czynienia z akumulatorem Li-Ion, zwłaszcza używanymi.



Grzegorz Pietrzyk
djfarad@djfarad.net

Wykaz elementów

R1	560Ω 5%
R2	220Ω 5%
R3, R4	1Ω 2W 5%
R5	1kΩ 5%
R6, R10	1,5kΩ 5%
R7	22kΩ 5%
R8, R11	2kΩ 5%
R9, R12	3,3kΩ 5%
R13, R17	10kΩ 5%
R14, R15, R16	100Ω 5%
PR1	montażowy leżący 470Ω
PR2, PR3	montażowy leżący 1kΩ
C1, C4, C5, C9, C12	100nF cer.
C2, C7	22uF/16V
C3	2200uF/16V
C6, C8	100uF/10V
C10, C11	22pF cer.
T1	BC548B
T2	BD243B lub C

T3	BC548B
IC1	LM7805 TO-220
IC2	LM317T TO-220
IC3	ATMEGA8 (lub 8A) SMD TQFP32
IC4	LM358 DIP8
DISP1	wyśw. 3 cyfry LED czerwony, anoda o podwyższonej jasności (np. E30392-I1, AT5636BMR)
LED1, LED2, LED3	diody LED superjasne czerwone, 2mm lub 3mm
D1	mostek prostowniczy 2A
Q1	Kwarc 12MHz
S1	mikroprzełącznik TACT 12x12
X1, X2	złącze śrubowe ARK
X3	listwa goldpin 1x2
X4	złącze dwurzędowe IDC 2x5
X5, X6	złącze dwurzędowe IDC 2x8
	transformator 230/9V AC 10W
	przewód płaski 16-żyłowy (ok. 20cm)

Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3056.