

Akumulatory w praktyce elektronika

NiCd, NiMH, Li-Jon



Do Redakcji, a w szczególności do *Skrzynki porad*, napływają pytania w sprawie akumulatorów. Oto kilka przykładów:

Kupiłem ostatnio kilka akumulatorów znanej firmy, jednak bez jakichkolwiek oznaczeń dot. ładowania. (...) na dwóch akumulatorach (innych znanych firm) spotkałem takie czasy ładowania w trybie szybkim:

- na baterii 1600mAh: 5 godz. prądem 350mA (czyli włączono 1800mAh prądu)

- na baterii 800mAh: 5 godz. prądem 150mA (czyli włączono ledwie 750mAh prądu). I tu moje pytanie: jaki procent pojemności i jakim prądem należy włączać w akumulatory w trybie szybkiego ładowania? (...) Czy takie szybsze ładowanie ma duży wpływ na żywotność akumulatorów NiCd i czy jest dla nich bezpieczne (nie planuję ich przeladować - mam odpowiednie timery w ładowarce)?

Jakie napięcie musi mieć transformator, aby go zastosować jako prostownik do ładowania? Jakie diody użyć (prąd znamionowy)? PS. Serdecznie pozdrawiam elektroników.

(...) Bardzo prosiłbym o podanie wartości rezystora R17 dla akumulatora ołowiowego o pojemności 34A.

Mam problem dotyczący akumulatorów ołowiowych. A mianowicie mam takie akumulatory Pb 6V/1,2Ah, ale nie wiem, jak je ładować. Nie jestem pewien, czy dobrze to robiłem do tej pory, mianowicie podłączałem akumulator do zasilacza na kilkanaście godzin. Po tym czasie akumulator był już naładowany. Jeżeli są jakieś parametry dotyczące ładowania, to proszę o pomoc. Karol

Wydawałoby się, że elementy tak proste i wykorzystywane od lat nie powinny mieć przed użytkownikami tajemnic. Tymczasem te jakże popularne i niby dobrze znane źródła energii nieustannie przysparzają użytkownikom wątpliwości i kłopotów. Zalecenia firmowe dotyczące eksploatacji są proste i dotyczą sprawnych akumulatorów. Warto mieć

na uwadze, że hobbysci często mają do czynienia z akumulatorami niepełnowartościowymi, pochodzącymi z odzysku. Często szukają oni cudownych sposobów na reanimowanie uszkodzonych egzemplarzy i przywrócenie im pierwotnej pojemności. Zazwyczaj jest to niemożliwe. Nie można także usunąć skutków utraty pojemności niektórych ogniw zestawu. Łańcuch jest tak silny, jak jego najsłabsze ogniwo. Dokładnie tak samo jest z akumulatorami zawierającymi kilka ogniw. A ogniwa starzeją się i podlegają uszkodzeniom w sposób przypadkowy. Nie sposób zapobiec wszystkim uszkodzeniom, z których większość nie zależy od sposobu ładowania, tylko wynika z innych czynników, niezależnych od warunków eksploatacji.

Aby prawidłowo wykorzystywać akumulatory i uzyskać maksymalną żywotność, trzeba znać ich podstawowe właściwości i przestrzegać kilku prostych reguł, by nie popełnić grubych błędów. Najbardziej trzeba unikać zarówno przeladowania, jak i zbyt głębokiego rozładowania. Nie jest natomiast potrzebna obszerna wiedza akademicka o wszystkich szczegółach.

ności nominalnej C. Okazuje się to wyjątkowo wygodne i praktyczne. Prąd C (1C) to tak zwany prąd jednogodzinny – akumulator rozładowywany takim prądem powinien pracować jedną godzinę (w praktyce bywa nieco inaczej, ale to nieistotny szczegół). Przykładowo dla akumulatora o pojemności C=16Ah prąd 0,1C (czyli C/10) to prąd 1,6A, prąd C/4 to 4A, a C/3 to 5,33A. Dla akumulatora o pojemności 700mAh prąd 0,1C to 70mA, C/4 to 175mA, C/3 to 233mA.

Rodzaje

Obecnie trzeba rozróżniać trzy podstawowe grupy akumulatorów:

- kwasowo-ołowiowe (samochodowe i żelowe)
- zasadowe (NiCd i NiMH)
- litowo-jonowe (LiJon i Li-Metal).

Dawniej wykorzystywano w niektórych zastosowaniach akumulatory żelazowo-cynkowe lub srebrowo-cynkowe. Nie są one stosowane przez hobbystów. Tabela 1 pozwala porównać najważniejsze właściwości różnych typów akumulatorów.

Tabela 1

		PB żelowe	Ni-Cd	NiMH	Li-Jon	Li-Metal
Napięcie nominalne	Unom [V]	2	1,2	1,25	3,6	3,0
Gęstość energii	Wh/kg	30	45	55	100	140
Względny koszt		1...2	3...6	6...12	10...14	6...12
Samorozładowanie	%/miesiąc	5...15	25...50	25...50	8...10	1...2
Prąd maksymalny		<5C	>10C	>5C	<2C	<2C
Trwałość	liczba cykli	500	1000	800	1000	1000

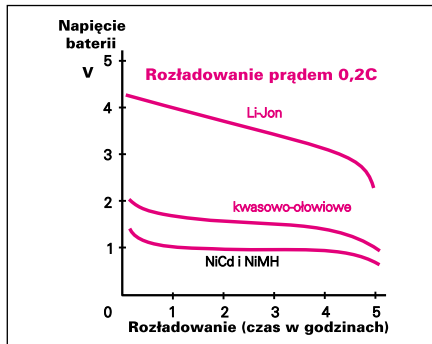
C – pojemność czy prąd?

Głównymi parametrami akumulatora są napięcie nominalne oraz pojemność znamionowa. Pojemność akumulatora oznacza się dużą literą C i wyraża w amperogodzinach (Ah) lub miliamperogodzinach (mAh). Także przy opisie prądów ładowania i rozładowania, zamiast podawać je w wartościach bezwzględnych, czyli w amperach i miliamperach, wyraża się je jako ułamek... pojem-

Akumulatory litowe

Najnowocześniejsze akumulatory litowo-metalowe dopiero zdobywają popularność i hobbysta raczej ich nie spotka. Nowoczesne akumulatory litowo-jonowe, znane od kilkunastu lat, współpracują z nowoczesnymi telefonami komórkowymi, kamerami, itp. Akumulatory te są, na razie, dość drogie. Mają wyjątkowo korzystne właściwości. Ich napięcie jest proporcjonalne do zgromadzonego

ładunku, co pozwala łatwo i precyzyjnie określić aktualny stan akumulatora, a także określić początek i koniec cyklu ładowania. **Rysunek 1** pokazuje zależność napięcia od czasu rozładowania (prądem o niezmiennych wartościach). Podobna zależność obowiązuje przy ładowaniu.



Rys. 1

Całkowitemu rozładowaniu akumulatorów jonowych zapobiegają obwody umieszczone we współpracującym sprzęcie. Przy ładowaniu akumulatorów litowo-jonowych trzeba zachować precyzyjnie warunki podane przez producenta (np. końcowe napięcie na w pełni naładowanym akumulatorze musi wynosić $4,2V \pm 50mV$). Zakończenie ładowania przy napięciu tylko o 2,5% niższym, czyli 4,1V, oznacza niedoładowanie – wykorzystanie tylko 90% dostępnej pojemności. Z kolei przeładowanie, nawet niewielkie, o 10 czy 15% może mieć fatalne następstwa: utratę pojemności, rozszczelnienie, a nawet wybuch. Akumulator Li-Jon, zawierający dwa lub więcej ogniw połączonych w szereg, musi mieć wbudowane obwody monitorujące napięcie każdego ogniwa, pozwalające na indywidualną kontrolę, w tym przepuszczenie prądu „obok” naładowanego już ogniwa. Dlatego do ładowania akumulatorów litowo-jonowych wykorzystuje się polecane, fabryczne ładowarki, mające parametry dostosowane ściśle do danego typu akumulatora. Profesjonalni konstruktorzy takich ładowarek wykorzystują specjalizowane układy scalone i uwzględniają wskazania producentów danego typu akumulatora. Na razie akumulatory takie są poza zasięgiem zainteresowania amatorów, a samodzielna budowa wymaganych dla nich precyzyjnych ładowarek byłaby ryzykowna.

Akumulatory zasadowe

Akumulatory nikielowo-kadmowe (NiCd) są wykorzystywane od prawie czterdziestu lat. Obecnie bardzo popularne są wersje o wymiarach klasycznych baterii, mające godną uwagi pojemność (R6: 600...1000mAh, R14 do 2Ah, R20 do 5Ah). Akumulator NiCd może dostarczać zadziwiająco duże prądy, rzędu nawet 10C (co przykładowo dla akumulatora wielkości „paluszka” R6 o pojemności

800mAh daje prąd 8A). Ich wadami są: znaczne samorozładowanie, tak zwany efekt pamięciowy (memory effect) oraz zawartość substancji szkodliwych dla zdrowia (kadmu).

Efekt pamięciowy występuje rzadko i tylko w ogniwach, które zawsze nie są do końca rozładowywane. Bateria niejako zapamiętuje, ile pobiera się z niej energii w jednym cyklu i z czasem wykazuje utratę pojemności. Aby uniknąć tego zjawiska, wystarczy co kilka (5...6) cykli niepełnego rozładowania przeprowadzić cykl konserwujący polegający na pełnym naładowaniu i pełnym rozładowaniu kontrolnym, przy czym pełne rozładowanie to nie rozładowanie „do zera”, tylko do napięcia około 1V (nie mniej niż 0,8V na ogniwo). W większości przypadków efekt pamięciowy jest odwracalny. Po stwierdzeniu go trzeba przynajmniej trzykrotnie w pełni naładować i rozładować akumulatora do napięcia 0,8...0,9V.

Bardzo często występuje tu mylna kwalifikacja – zazwyczaj utrata pojemności jest spowodowana innymi przyczynami, w tym słabą jakością ogniw, a całą winę zrzuca się na efekt pamięciowy, co jest na pewno wygodne dla producentów.

Akumulatorki nikielowo-wodorkowe (NiMH), zwane potocznie wodorkami, zdobywają popularność od kilkunastu lat. Ich ważnymi zaletami są: brak substancji szkodliwych dla zdrowia oraz brak efektu pamięciowego. Pojemność jest większa, niż akumulatorów NiCd o tych samych wymiarach. Zdecydowanie wyższa jest ich cena, a możliwości oddawania dużych prądów nieco mniejsze (rezystancja wewnętrzna jest 1,2...2 razy większa niż analogicznych akumulatorów NiCd).

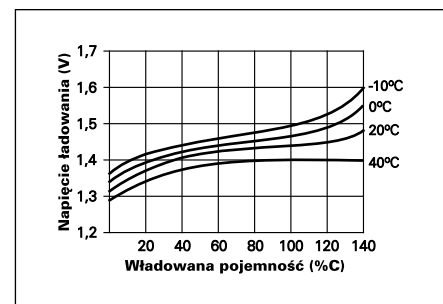
Ładowanie. Z ładowaniem popularnych akumulatorów zasadowych (NiCd i NiMH) sprawa jest inna niż z akumulatorami litowymi. Niestety, napięcie akumulatora nie świadczy o stanie naładowania – udowadnia to **rysunek 2**, gdzie pokazana jest zależność napięcia na akumulatorze od wdrożonej energii przy różnych temperaturach (prąd ładowania=0,1C). Wykresy dotyczą NiCd, ale analogiczne charakterystyki NiMH są podobne. Widać tu silną zależność od temperatury, a przy temperaturze akumulatora +40°C napięcie w końcowej fazie ładowania praktycznie się nie zmienia.

Co ważne, wszystkie akumulatorki NiCd oraz NiMH można bez obawy ładować prądem 0,1C przez czas 14...16 godzin. Ogniwa można przy tym łączyć w szereg. Ładowarka jest wtedy prostym ukła-

dem, który dostarcza prądu o niezmiennych wartościach, niezależnych od stopnia naładowania (i napięcia ogniwa). Jest to ładowanie standardowe, stosowane do dziś w najtańszych ładowarkach. Przy takim trybie nie ma potrzeby sprawdzania napięcia na poszczególnych ogniwach, zresztą jak pokazuje **rysunek 2**, napięcie nie świadczy tu o stopniu naładowania. Trzeba się liczyć, że napięcie na ogniwie pod koniec ładowania będzie rzędu 1,5V.

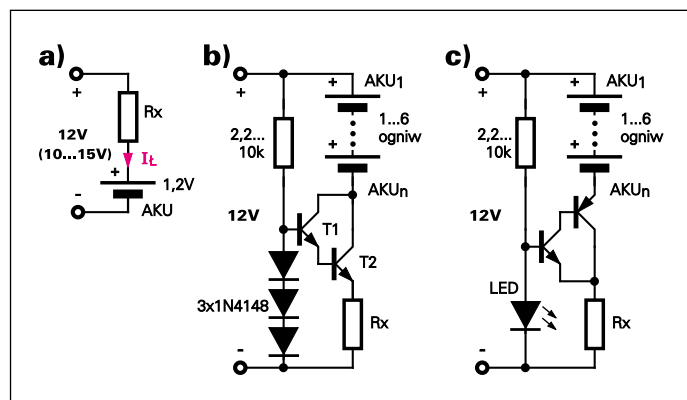
Rysunek 3 pokazuje przykłady najprostszych ładowarek ogniwa NiCd i NiMH. We wszystkich przypadkach potrzebny prąd ustawia się, dobierając wartość Rx.

Uwaga! Ładowanie akumulatorów NiCd prądem 0,1C przez długi czas niczym nie grozi i nie zmniejsza ich żywotności. Oznacza to, że mając akumulatorki NiCd o niewiadomym stanie rozładowania, można je śmiało naładować według standardowej procedury (0,1C, 14...16h). Jest to cenny przykład popularnych akumulatorów NiCd. Niektórzy producenci akumulatorów NiMH nie zalecają przekraczania czasu ładowania 16 godzin; podają, że akumulatory NiMH mogą być dowolnie długo ładowane, ale nie prądem 0,1C, tylko prądem trzykrotnie mniejszym – 0,03C. Przykładowo dla pojemności C=1500mAh dopuszczalny prąd ciągły wynosiłby 45mA. Stąd nawet w niektórych prostych ładowarkach z prądem 0,1C, przeznaczonych do akumulatorów NiMH, stosowane są układy czasowe wyłączające lub zmniejszające prąd ładowania po upływie określonego czasu.

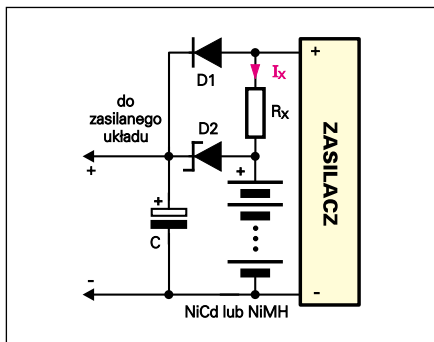


Rys. 2

Rys. 3



Z podanych wiadomości wynika ważny wniosek praktyczny: jeśli w jakimś układzie rolę baterii rezerwowej pełnią akumulatorki NiCd lub NiMH, a napięcie zasilacza jest przynajmniej o 4...5V większe od napięcia zestawu akumulatorów, można stosować prosty układ pracy według **rysunku 4**, gdzie wartość rezystora Rx należy dobrać stosownie do pojemności akumulatora oraz różnicy napięć akumulatora U_A i napięcia zasilacza (U_1). W takim układzie pracy napięcie zasilacza sieciowego musi być wyższe od napięcia naładowanego akumulatora i cały czas akumulator jest podładowywany niewielkim prądem. Rezystor powinien mieć taką wartość, by prąd ładowania (tak zwany prąd konserwujący) nie przekroczył zalecanej wartości: dla NiCd 0,05C, dla NiMH 0,03C. Nie ma tu zgodności: jedne źródła podają, że prąd takiego konserwacyjnego ładowania powinien wynosić 0,001...0,002C (1mA/1Ah...2mA/1Ah), inne 0,03...0,05C. W razie potrzeby należy szukać informacji u producenta konkretnego akumulatora. Bezpieczną wartością wydaje się prąd 0,01C i Rx trzeba tak dobrać, by ją uzyskać. Zaleca się też impulsowe sposoby „konserwowania” akumulatora rezerwowego, na przykład raz na dobę przez 30...40 minut ładować prądem 0,15...0,2C albo co godzinę 3...5 minut prądem 0,1C, byle nie władować więcej niż 10% pojemności nominalnej. Z zapasem pokryje to straty samowyladowania i zapewni nieustanną gotowość do pracy.

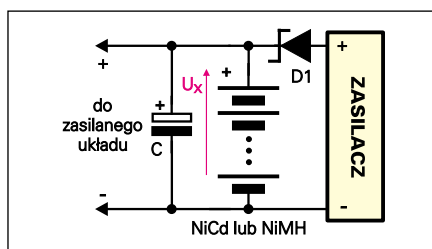


Rys. 4

Trzeba jednak pamiętać, że chodzi tu tylko o pokrycie strat samowyladowania. Po wyladowaniu akumulatora w jego układzie pracy ponowne naładowanie go tak małym prądem konserwującym jest możliwe, ale trwałoby bardzo długo (przy zużytych, starych akumulatorach może być niemożliwe). Jeśli przewiduje się możliwość głębokiego rozładowania tak pracującego akumulatora, trzeba przewidzieć możliwość ręcznego lub automatycznego naładowania go większym prądem, np. 0,1C.

Tylko nieliczne, stare źródła podają, że akumulatory zasadowe mogą pracować w trybie buforowym przy stałym napięciu, podłączone do wyjścia zasilacza według

rysunku 5 (przy czym maksymalny prąd ładowania z zasilacza przy pustym akumulatorze nie może przekroczyć wartości 0,5C). Napięcie na akumulatorze miałyby wtedy wynosić 1,45...1,50V na ogniwo, co ma zapewnić pełne naładowanie i stałą gotowość akumulatora do pracy. Różnica w stosunku do rysunku 4 polega na tym, że teraz napięcie zasilacza jest minimalnie większe od napięcia w pełni naładowanego akumulatora (o spadek napięcia na D1) i gdy napięcie akumulatora się z nim zrówna, prąd ładowania przestanie płynąć - w praktyce zmniejszy się do znikomej wartości. Choć sposób z rysunku 5 wygląda sensownie, niektóre źródła ostrzegają, że akumulatory mogą się przeformować i na pewno przy napięciu 1,4...1,45C/na ogniwo użyteczna pojemność z czasem okaże się dużo niższa od pojemności znamionowej. Wskazuje na to też rysunek 2. Z uwagi na możliwe różnice między poszczególnymi odmianami akumulatorów zasadowych zdecydowanie bezpieczniejszy jest sposób z rysunku 4, gdzie akumulator cały czas jest podładowywany niewielkim prądem.



Rys. 5

Szybkie ładowanie

Podany sposób ładowania standardowego prądem 0,1C przez 16 godzin jest bezpieczny, ale dla wielu użytkowników uciążliwy. Chcieliby oni ładować akumulatory jak najszybciej, najlepiej natychmiast, jak się tankuje paliwo w stacji benzynowej. Błyskawiczne ładowanie akumulatorów zasadowych w czasie 15...20 minut jest możliwe tylko w przypadku nielicznych akumulatorów specjalnej konstrukcji. Natomiast praktycznie każdy współczesny akumulator NiCd i NiMH można ładować ekspresowo w czasie 1...1,5 godziny. Bardziej skrócić czasu nie można, a ograniczeniem jest szybkość reakcji chemicznych zachodzących podczas ładowania wewnątrz akumulatora.

Zarówno ogniwa NiCd, jak i NiMH można też ładować w trybie przyspieszonym, prądem 0,2C...0,35C, ale trzeba przy tym kontrolować czas ładowania. Niekiedy na obudowie baterii podany jest zalecany prąd i czas ładowania w trybie standardowym oraz przyspieszonym. Gdy ich nie ma, można zwiększać prąd i proporcjonalnie zmniejszać czas ładowania, by zachować tę samą liczbę ładunku (iloczynu czasu i prądu ładowania, potocznie – władowanych amperogodzin).

Przykładowo zamiast ładować prądem dziesięciogodzinnym 0,1C przez 16 godzin, można byłoby ładować prądem 0,2C przez 8 godzin albo prądem 0,4C przez 4 godziny (ewentualnie też prądem 0,05C przez 32 godziny). We wszystkich przypadkach daje to 160% pojemności akumulatora. Taka zasada może być wykorzystana w przypadku akumulatorów **NiCd**. Niektóre źródła podają jednak, iż przy większych prądach wystarczy władować 140...150% pojemności nominalnej (1,4...1,5C).

Sprawność energetyczna akumulatorów NiMH jest większa od NiCd, niemniej zalecenia poszczególnych producentów oraz publikacji dotyczące ładowania przyspieszonego nieco się różnią. Dla akumulatorów NiMH podaje się, iż przy takich prądach (0,2...0,35C) należałoby władować około 110%...130% pojemności nominalnej. Niektóre źródła podają, że dla NiMH władowanie więcej niż 110% pojemności nominalnej nie zwiększa, ale zmniejsza dysponowaną pojemność.

Zawsze można władować mniej ładunku, np. 110% - wtedy co najwyżej dostępna pojemność nie będzie wykorzystana w pełni.

Wątpliwości można wyjaśnić po kilku kontrolowanych cyklach pracy, ładując ogniwo i rozładowując je kontrolnie.

Sposoby przyspieszonego ładowania w czasie 3...6 godzin prądem ładowania 0,2...0,35C, z wyłącznikiem czasowym (aby władować 110...160% pojemności C) wyglądają na bezpieczne. Choć przy uwzględnieniu różnej sprawności energetycznej mogą być stosowane do wszystkich akumulatorów NiCd i NiMH, są wykorzystywane stosunkowo rzadko i, co może zaskoczyć, nie są zalecane przez producentów akumulatorów. Chodzi głównie o to, że ktoś może poddać cyklowi ładowania akumulatorki tylko trochę rozładowane, a poza tym akumulatory z czasem mogą stracić pojemność, a wtedy przy większych prądach łatwo o przeładowanie i nadmierny wzrost temperatury. A temperatura jest zabolczo szkodliwa: zalecana górna granica dla ogniwa NiCd wynosi tylko +45°C, dla NiMH +60°C. Tylko przy prądzie 0,05...0,1C w akumulatory NiCd i NiMH można bez obawy władować do 160% ich pojemności nominalnej, niezależnie od stanu naładowania. Przy prądach znacznie większych niż 0,1C nawet jednorazowe przeładowanie, np. omyłkowe ładowanie przez całą noc, znacznie skraca żywotność, a nawet może prowadzić do uszkodzenia ogniwa. Skuteczna eliminacja ryzyka daje każdorazowe rozładowanie wszystkich ogniwa do napięcia 0,8...1V i dopiero wtedy zaplikowanie cyklu przyspieszonego ładowania. Ze względu na większy prąd, konieczne jest wtedy zastosowanie tajmera wyłączającego ładowanie po ustalonym czasie. Podczas ładowania prądami większymi niż 0,1C warto co jakiś czas kontrolować temperaturę ładowanych

ogni. Szybszy wzrost temperatury jest sygnałem, że ładowanie trzeba zakończyć. Nie można natomiast sprawdzać stanu naładowania przez sprawdzanie wartości napięcia akumulatora – taka kontrola daje dobre efekty tylko w przypadku akumulatorów litowych i kwasowo-ołowiowych.

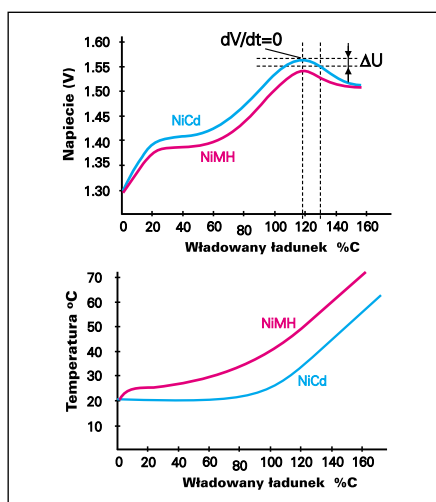
Obecnie coraz częściej stosowane są ekspresowe ładowarki, ładujące akumulatory NiCd i NiMH jeszcze szybciej, na przykład prądem 1C przez czas około 1...1,5 godziny. Przy tak dużym prądzie ładowania trzeba wyjątkowo starannie kontrolować stan ogni. Teoretycznie można byłoby zastosować prosty układ gwarantujący stały prąd równy 1C i wyłącznik czasowy (60...90minut). Jeśli ktoś ma ochotę wypróbować taki prosty sposób, może to zrobić. Trzeba jednak pamiętać, żeby zawsze **wstępnie rozładować akumulatory** oraz że z czasem mogą one stracić pojemność... a przy tak dużym prądzie jakiegokolwiek niedopatrzanie i błąd mogą nie tylko trwale zmniejszyć pojemność i trwałość, ale nawet spowodować niebezpieczny wybuch. Śmiertelnym wrogiem akumulatorów zasadowych, zwłaszcza NiMH jest temperatura - przekroczenie dopuszczalnej granicy powoduje tu nieodwracalną degradację materiału, który ma absorbować wydzielający się podczas ładowania wodór. Dlatego w ekspresowych ładowarkach stosowane są dość skomplikowane systemy kontroli stanu naładowania. **Rysunek 6** pokazuje przebieg zmian napięcia i temperatury akumulatorów NiCd i NiMH podczas ekspresowego ładowania prądem 1C. Dla obydwu typów, gdy akumulator jest bliski pełnego naładowania, charakterystyczne są dwa zjawiska:

- następuje szybki wzrost temperatury,
- występuje spadek napięcia akumulatora.

Zjawiska te mogą być kryterium wyznaczającym koniec ekspresowego ładowania. Możliwości jest naprawdę dużo. Oto niektóre:

Choć **wartość napięcia akumulatora nie jest dobrym wskaźnikiem stanu naładowania**

Rys. 6



nia, przy ekspresowym ładowaniu prądem 1C takim wskaźnikiem często są **zmiany napięcia** (dV/dt). Ponieważ dziś w ładowarkach stosowane są mikroprocesory (z przetwornikami cyfrowo-analogowymi) lub specjalizowane układy scalone, stosunkowo łatwo można wykryć fakt, że napięcie akumulatora NiCd przestaje rosnąć ($dV/dt=0$). Nie powinno to jednak kończyć ładowania, bo akumulator nie jest jeszcze pełny. Po wykryciu tego faktu można jeszcze ładować akumulator przez ustalony, niewielki okres (np. przez 20 minut prądem 0,1C). W praktyce stosuje się też układy wyłączające prąd po spadku napięcia o 10...20mV poniżej napięcia szczytowego – taka metoda ładowania akumulatorów NiCd bywa oznaczana $-\Delta V$. Niestety, ten sposób jest trochę niebezpieczny w przypadku akumulatorów NiMH - metoda $-\Delta V$ nie jest stosowana do ich ładowania. Ich charakterystyka napięciowa jest znacznie bardziej płaska – patrz rysunek 6. Choć trochę trudniejsze jest wykrycie wierzchołka (gdy $dV/dt=0$), kryterium końca ładowania bywa początek zmniejszania się napięcia.

Dla NiMH i NiCd dobrym kryterium końca ładowania jest temperatura. Można wprost mierzyć temperaturę ogniwa i wyłączyć ładowanie **po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury** (T_{max}). Lepiej byłoby mierzyć zarówno temperaturę otoczenia, jak i akumulatora, a proces ładowania kończyć po osiągnięciu założonej **różnicy temperatur** (ΔT). W praktyce stosuje się pomiar **szybkości wzrostu temperatury** (dT/dt). Proces ładowania kończy się, gdy temperatura zaczyna szybko wzrastać (gdy dT/dt wzrośnie do ustalonej wartości).

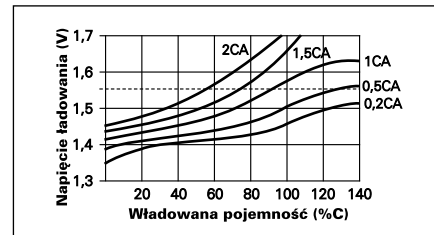
We wszystkich omówionych przypadkach próba ładowania naładowanych ogni nie grozi katastrofą – kryterium końca ładowania wystąpi po prostu wcześniej i prąd zostanie wyłączony.

Uwaga! Zależność z rysunku 3 jest prawdziwa tylko przy ekspresowym ładowaniu prądem rzędu 1C. Przy małych prądach ładowania zmiany napięcia i temperatury są inne i nie mogą służyć do wyznaczenia końca procesu ładowania.

Ilustruje to **rysunek 7**, pokazujący zmiany napięcia przy różnych prądach ładowania. Z uwagi na duży prąd podczas szybkiego ładowania i związane z tym poważne zagrożenia, w takich ekspresowych ładowarkach powinien być dodatkowy obwód, który zapobiegnie przeładowaniu w przypadku, gdyby z jakichś powodów ładowanie nie zostało zakończone. W ładowarkach NiCd i NiMH takie podwójne zabezpieczenie może zapewniać wyłącznik termiczny działający po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury albo układ czasowy.

Należy mieć na względzie, że prąd ekspresowego ładowania musi być dostosowany do pojemności ładowanych akumulatorów – zwykle jest to prąd 1C. Czujnik w każdym

przypadku musi mierzyć rzeczywistą temperaturę akumulatora. Przy ekspresowym ładowaniu kilku ogni ze względu na nieuniknione rozrzuty parametrów nie powinno się łączyć szeregowo, tylko ładować oddzielnie i oddzielnie mierzyć temperaturę każdego.



Rys. 7

Praktyka

W literaturze można znaleźć liczne schematy ekspresowych ładowarek NiCd i NiMH. Łatwo dostępne są też karty katalogowe oraz opisane w nich specjalizowane układy scalone. W wielu z nich cykl ładowania jest znacznie bardziej złożony, niż podano w artykule.

Praktyczna wartość ekspresowej ładowarki własnej konstrukcji i jej niezawodność zależą w ogromnej mierze od konstrukcji mechanicznej i kontaktu cieplnego między ładowanym akumulatorem a czujnikiem temperatury. Z tego powodu nie są to projekty odpowiednie dla początkujących, a nawet średnio zaawansowanych. Samodzielnej budowy ekspresowych ładowarek powinni się podejmować tylko doświadczeni elektronicy, dobrze rozumiejący temat i potrafiący dostosować ładowarkę do posiadanych akumulatorów. Pozostali do ekspresowego ładowania powinni raczej wykorzystywać urządzenia fabryczne, najlepiej rekomendowane przez producenta akumulatorów. Niedopracowana ekspresowa ładowarka-samoróbka może radykalnie zmniejszyć trwałość ogni, a nawet doprowadzić do ich wybuchu – ze wzrostem temperatury silnie wzrasta wewnętrzne ciśnienie gazów.

Każdy akumulator NiCd i NiMH można też ładować w czasie 3...5 godzin prądem odpowiednio większym, by władować 110...160% pojemności nominalnej akumulatora, stosownie do zaleceń producenta i wskazówek z artykułu. Wystarczy do tego prosty układ zapewniający prąd o niezmiennych wartościach oraz wyłącznik czasowy, trzeba jednak znać rzeczywistą pojemność ładowanych akumulatorów i koniecznie rozładowywać je wstępnie przed ładowaniem.

Bezpieczną, prostą i polecaną pozostaje stara, sprawdzona, standardowa metoda ładowania prądem 0,1C przez 14...16 godzin, przy czym w przypadku akumulatorów NiMH warto zastosować wyłącznik czasowy.

Za miesiąc przedstawione zostaną informacje dotyczące akumulatorów kwasowo-ołowiowych.

Jerzy Częstochowski