

Rubryka ta powstała pod wpływem waszych listów. Okazało się, że nie wszystkie nadsyłane problemy i pytania uda się poruszyć w Poczcie, ponieważ niektóre wymagają szerszego omówienia i wyjaśnienia.

“Dodatnie sprężenie zwrotne” zawiera przede wszystkim materiał opisowy, wyjaśniający problemy techniczne, ale w jej ramach przedstawiane będą również projekty opracowane w redakcji niejako na Wasze zamówienie. W pierwszych dwóch odcinkach z serii “Dodatnie sprężenie zwrotne” zostały wyczerpująco omówione akumulatory ołowiowe, czyli kwasowe.

Najbliższe odcinki poświęcone będą pozostałym rodzajom akumulatorów.

Dla pełnego zrozumienia przedstawionych zagadnień konieczne może się okazać przypomnienie niektórych wiadomości podanych w poprzednich dwóch odcinkach.



W związku z wprowadzaniem na rynek nowych typów akumulatorów, w prasie technicznej przedstawia się nowoczesne sposoby ich ładowania. Często w opisach metod ładowania można napotkać wzory i określenia takie jak - U, dU/dt , dT/dt czy d^2U/dt^2 , przyprawiające o zawrót głowy nawet doświadczonego elektronika. Nic dziwnego, że do redakcji EdW napłynęło wiele listów z prośbami o przystępne wyjaśnienie tego tematu.

W rzeczywistości sprawa wcale nie jest trudna, należy tylko prześledzić zagadnienie od początku. Ponadto nie ma się czego bać, ponieważ przeciętnego

polskiego użytkownika problem... po prostu nie dotyczy.

A początki były takie: przed wielu laty powszechnie używane były akumulatory ołowiowe (kwasowe), rzadziej akumulatory niklowo-kadmowe, zwane potocznie zasadowymi i sporadycznie akumulatory srebrowo-cynkowe.

Dziś akumulatorów srebrowo-cynkowych się nie spotyka, natomiast do tej pory wielu hobbystów posiada pochodzące z demobilu akumulatory niklowo-kadmowe starszego typu. Akumulatory takie były i są jeszcze stosowane w lampach górniczych, lampach kolejowych oraz w telekomunikacji - przykłady można zobaczyć na **fotografii 1**.

Dostępne były też szczelnie zamknięte akumulatory guzikowe - w kraju najbardziej popularne były ogniwa KB 26/9 o pojemności 225mAh, pokazane na **fotografii 2**. Te akumulatory guzikowe były zmurą użytkowników, bowiem wydzielający się w wnętrzu biały osad, widoczny również na fotografii, skutecznie pogorszał kontakt elektryczny z sąsiednimi ogniwami i stykami kontaktowymi. Trzeba je było często czyścić, smarować gliceryną, a i to niewiele pomagało.

Obecnie w sprzęcie przenośnym powszechnie stosowane są szczelne akumulatory niklowo-kadmowe o wielkościach odpowiadających wymiarom popularnych baterii R6, R14 i R20. Coraz większy udział w rynku mają akumulatory



Fot. 1. Stare akumulatory zasadowe.



Fot. 2. Ogniwa guzikowe.

Dodatnie Sprężenie Zwrotne

ry nikielowo-wodorkowe, oznaczane w skrócie NiMH. Ostatnio do zasilania przenośnego sprzętu elektronicznego wyższej klasy (np. droższych kamer wideo) stosuje się akumulatory litowo-jonowe, oznaczane w skrócie Li-ion, a za oceanem i w zachodniej Europie spotyka się także ładowalne ogniwa alkaliczno-manganowe, które w sumie są odmianną znanych każdemu baterii alkalicznych (tyle, że do wielokrotnego użytku). Znane są też prototypowe opracowania jeszcze innych rodzajów akumulatorów (jak choćby litowo-polimerowe, o których wspomnieliśmy swego czasu w "Nowościach, ciekawostkach"), ale na razie nie mają one znaczenia na rynku.

Dla czytelnika Elektroniki dla Wszystkich najbardziej potrzebne będą informacje o akumulatorach CdNi oraz NiMH zastępujących baterie jednorazowe. Na razie niepotrzebne są szczegóły dotyczące akumulatorów litowo-polimerowych, ponieważ do tej pory są one stosowane do zasilania kamer, i każdy nabywca kamery może kupić oryginalną ładowarkę.

Natomiast bateriom jednorazowym zostanie poświęcony jeden z następných odcinków.

Ponieważ dla amatora nadal cennym kąskim są starsze krajowe akumulatory zasadowe, zostaną one omówione w pierwszej kolejności.

Stare akumulatory zasadowe

Trzeba przyznać, że stare akumulatory zasadowe bywają bardzo trwałe - niektóre wytrzymują nawet ponad 20 lat pracy (oczywiście tracąc część pierwotnej pojemności). Dlatego dla wielu Czytelników stare, duże akumulatory zasadowe odkupione z zakładu pracy mogą być bardzo przydatne, na przykład do obwodów awaryjnego zasilania własnego domu.

Wiadomo, że akumulatory NiCd oraz NiMH mają napięcie nominalne równe 1,2V.

Mało którego czytelnika EdW zainteresują natomiast szczegółowe rozważania dotyczące fizycznych i chemicznych podstaw pracy akumulatorów zasadowych. Na pewno praktykowi nie jest konieczna wiedza na temat budowy i reakcji chemicznych występujących w szczelnych nierozbieralnych nowoczesnych akumulatorach. Wystarczy wiedzieć, że w akumulatorach nikielowo-kadmowych substancjami czynnymi są wodorotlenki nikielu i kadmu, natomiast elektrolitem - wodny roztwór wodorotlenku potasu. Elektrolit nie bierze udziału w reakcjach chemicznych, pełni jedynie rolę jonowego przewodnika łączącego obie elektrody. Trzeba koniecznie wiedzieć, że

w przeciwieństwie do akumulatorów kwasowych, gęstość elektrolitu praktycznie nie zależy tu od stopnia naładowania - pomiar gęstości elektrolitu nie daje więc żadnej informacji o stanie naładowania akumulatora zasadowego. Od gęstości elektrolitu zależy natomiast trwałość akumulatora i jego zdolność do pracy w temperaturach ujemnych.

O ile w akumulatorach kwasowych zwykle wystarczy uzupełniać ewentualne ubytki elektrolitu wodą destylowaną, o tyle w akumulatorach zasadowych zwykle dolewa się elektrolitu, a po kilku latach pracy należy wymienić elektrolit ze względu na zwiększenie ilości węglanów powstających wskutek reakcji elektrolitu z dwutlenkiem węgla zawartym w powietrzu.

Do starszych krajowych akumulatorów zasadowych (oznaczanych zwykle KPL, KPM lub KPH) należy przygotować elektrolit o gęstości 1,19...1,21g/cm³ (w temperaturze +20°C).

Aby uzyskać elektrolit, trzeba rozpuścić odpowiednią ilość wodorotlenku potasu (KOH) w wodzie destylowanej. Uwaga! Nie pomylić z wodorotlenkiem sodu NaOH! Granulki wodorotlenku potasu należy ostrożnie wsypywać do wody (a nie wodę do wodorotlenku). Ponieważ wodorotlenek potasu jest silnie żrący, należy zachować daleko posuniętą ostrożność i chronić oczy oraz skórę.

Zamiast mozolnie odważać i odmierzając ilości składników, gęstość należy zmierzyć aerometrem. Przy braku aerometru należy przygotować 20% roztwór wodorotlenku potasu (wagowo 20% KOH, 80% H₂O), co da gęstość około 1,19g/cm³. Dla zwiększenia trwałości akumulatora, do tak powstałego roztworu warto dodać niewielkie ilości jednowodnego wodorotlenku litu (10...20g LiOH na litr elektrolitu). Ale w ostatecz-

ności można stosować elektrolit nie zawierający wodorotlenku litu.

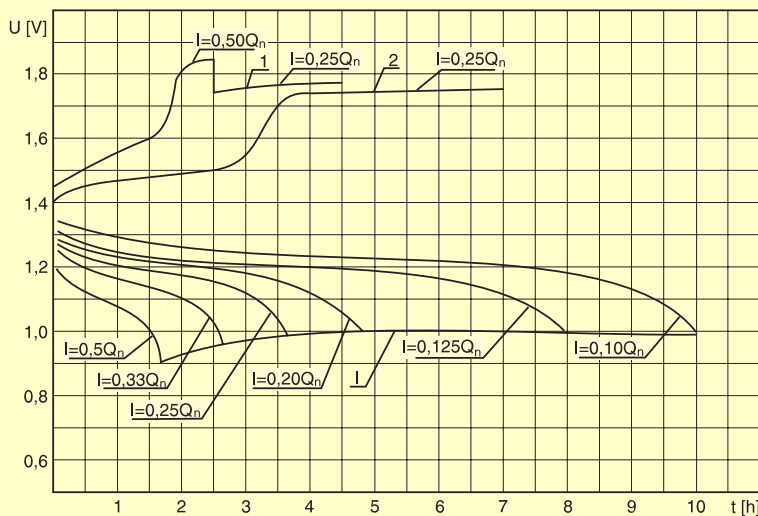
Akumulatory o pojemnościach rzędu 6...200Ah (np. takie jak pokazano na fotografii 1) można ładować różnymi sposobami.

Przy pracy cyklicznej można zastosować ładowanie prądem o stałej wartości (porównaj EdW 11/96 str. 64 rys. 9) $I = C/4$ przez 6 godzin, albo dłużej mniejszym prądem, tak by liczba władowanych amperogodzin wynosiła 1,5C. Napięcie na zaciskach akumulatora będzie przy tym wzrastać nawet do 1,75V/ogniwo, a przy temperaturze otoczenia poniżej zera - nawet do ponad 2V! Przy takiej metodzie należy ściśle przestrzegać czasu ładowania, ponieważ przeładowanie zmniejsza trwałość ogniwa.

Takie większe akumulatory można też ładować metodą stałego napięcia (porównaj EdW 11/96 str. 64 rys. 10). Należy wtedy ustawić napięcie wyjściowe prostownika (czyli napięcie na akumulatorze) równe 1,6...1,65V/ogniwo. Maksymalny prąd na początku ładowania nie może być większy niż 0,5C. Przy tej metodzie prąd ładowania będzie się z czasem zmniejszał, co wyeliminuje niebezpieczeństwo przeładowania. Tę metodę wykorzystuje się zawsze przy pracy buforowej (zasilacz, akumulator i odbiornik połączone równolegle).

Trzecią metodą, która na pewno nie doprowadzi do przeładowania, stosuje się do utrzymania akumulatora w stanie gotowości i pokrycia strat samowyladowania: wystarczy do tego pozostawienie akumulatora pod napięciem 1,45V/ogniwo. Prąd ładowania ustabilizuje się na niewielkiej wartości, zapewniającej pokrycie wspomnianych strat.

Akumulatory zasadowe mogą być rozładowywane prądami o wartości nie większej niż 0,5...1C do napięcia końco-



Rys. 1. Charakterystyki akumulatorów KPL.

wego 1,0...0,9V/ogniwo. Jak z tego widać, wydajność prądowa, inaczej mówiąc opór wewnętrzny akumulatorów zasadowych jest zdecydowanie większy niż akumulatorów kwasowych (które mogą dostarczać prądu rzędu 5...10C). Właśnie ze względu na opór wewnętrzny, akumulatory zasadowe nie nadają się do zasilania rozrusznika w samochodach. Na **rysunku 1** przedstawiono charakterystyki ładowania i wyładowania akumulatorów krajowych KPL o pojemnościach 10...100Ah.

W praktyce, nabywca zestawu akumulatorów zasadowych z demobilu (najprawdopodobniej 12-woltowych) o nominalnej pojemności kilkunastu- czy kiludziesięciu amperogodzin, powinien najpierw sprawdzić poziom elektrolitu w celach. Dobrze jest też sprawdzić aerometrem gęstość elektrolitu (1,19...1,21g/cm³). Najprawdopodobniej poszczególne ogniwa będą zużyte w różnym stopniu i niektóre nadawać się będą tylko na złom (ale można wykorzystać elektrolit z takich ogniw). Z kilku zestawów trzeba będzie złożyć jeden w miarę dobry - nie jest to trudne, bo zestawy dają się łatwo rozkręcać.

Najpierw jednak należy naładować zestaw akumulatorów, po czym kontrolnie go rozładować, mierząc co jakiś czas napięcia na poszczególnych ogniwach. Pozwoli to określić rzeczywistą pojemność ogniw, umożliwi też wybranie ogniw najlepszych.

W przypadku akumulatorów o niezna-nej pojemności można z grubsza oszacować pojemność nominalną, natomiast aby uniknąć przeładowania wystarczy wybrać metodę ładowania ze stałym napięciem 1,6...1,65V/ogniwo.

Współczesne akumulatory

Znane od dawna akumulatory kwasowe i równie niebezpieczne akumulatory zasadowe z płynnym elektrolitem nie bardzo nadawały się do sprzętu przenośnego. Tymczasem gwałtowna miniaturyzacja wywołała ogromny popyt na wszelkie chemiczne źródła energii - zarówno baterie jednorazowe, jak i akumulatory. Wyprodukowano więc małe akumulatory zasadowe w szczelnej obudowie, zgodnej wymiarowo z bateriami jednorazowymi, które nie stwarzały niebezpieczeństwa wylania elektrolitu. Wprawdzie skonstruowano także małe, szczelne akumulatory ołowiowe, ale nie przyjęły się one na rynku; są stosowane tylko w sprzęcie specjalistycznym. Jedną z przyczyn była zapewne sprawa wymienności klasycznych baterii jednorazowych i akumulatorów. Napięcie jednego ogniwa akumulatora kwasowego wynosi około 2V i niewiele zmniejsza się w czasie wyładowania. Tymczasem aku-



Fot. 3. Akumulatory miniaturowe

mulatory niklo-kadmowe z napięciem nominalnym 1,2V, i stosunkowo małym oporem wewnętrznym, w wielu sytuacjach zachowują się podobnie jak baterie jednorazowe. Wydawało się, że znalazłoby się doskonałe źródło zasilania urządzeń przenośnych powszechnego użytku - pomimo wyższej ceny zakupu, koszty eksploatacji szczelnych akumulatorów NiCd są bardzo niskie, biorąc pod uwagę dużą liczbę cykli pracy, rzędu kilkuset. Pieniądze wydane na zakup akumulatorów powinny się zwrócić bardzo szybko.

Nie ma jednak róży bez kolców - do niektórych zastosowań zdecydowanie lepsze i ekonomiczniejsze są nadal baterie jednorazowe, zwłaszcza alkaliczne. Szczegóły zostaną omówione w jednym z następnych odcinków. Ogólnie można powiedzieć, że opłaca się zastąpić jednorazowe baterie akumulatorami tylko w urządzeniach pobierających znaczną ilość energii, gdzie wymiana baterii lub ładowanie akumulatorów następuje nie rzadziej niż co miesiąc.

W każdym razie na rynku pojawiły się zarówno małe akumulatory guzikowe przeznaczone na przykład do aparatów słuchowych, jak i akumulatory o kształtach i wymiarach popularnych baterii (R6, R14, R20, 6F22). Niektóre takie akumulatory pokazano na **fotografii 3**.

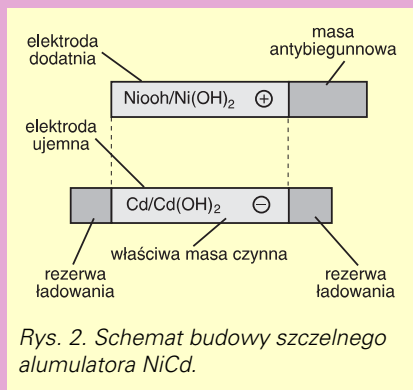
Wskutek wyścigu cenowego i konkurencji na rynku, pojemność najpopularniejszych akumulatorów, odpowiedników baterii R6, od początkowych 400...500mAh zaczęła rosnąć do 1000mAh. Spadała też cena. Dziś można kupić tanie akumulatory o wymiarach R6 w cenie od 3 zł za sztukę (co nie znaczy, że warto kupować niemarkowe, najtańsze wyroby z dalekiego wschodu). Obecnie standardem są ogniwa o po-

jemności rzędu 700...800mAh i trwałości około 700...1000 cykli ładowania/rozładowania.

Dawniej zasadą było, że wszelkie miniaturowe akumulatory ładowano prądem równym 0,1C przez 14...16 godzin, czyli dostarczano ładunek około 1,5 razy większy, niż pojemność znamionowa. Jeśli dodatkowo weźmie się pod uwagę różnicę napięć akumulatora podczas ładowania i rozładowania, to okaze się iż sprawność energetyczna, czyli stosunek energii pobieranej z akumulatora i energii dostarczanej podczas ładowania, wynosi około 50%. Tu przy okazji widać, że sprawność energetyczna akumulatorów zasadowych jest znacznie niższa, niż kwasowych.

Wspomniany wyścig producentów, a także oczekiwania odbiorców, chcących jak najszybciej naładować akumulator, zaowocowały pojawieniem się akumulatorów, które mogły być ładowane większym prądem w krótszym czasie. Tylko na pierwszy rzut oka wydaje się to sprawą naturalną. Problem polega na niebezpieczeństwie przeładowania. Próba wladowania do akumulatora większego ładunku, niż może on przyjąć i zmagazynować, skończy się tym, że nadmierna część energii zamieni się na ciepło, a co gorsza zaczną się wydzielać gazy. W dużych, stacjonarnych akumulatorach nie stanowi to aż tak wielkiego problemu (choć każde przeładowanie jest niekorzystne), bowiem zawierają one niezbędne zawory, nie dopuszczające do rozrwania akumulatora wskutek wytwarzania gazów w przypadku przeładowania. Natomiast akumulatory szczelnie zamknięte, choćby ze względu na wymiary i konstrukcję, nie mogą zawierać jakichkolwiek zaworów zapobiegających wy-

Dodatnie Sprężenie Zwrotne



buchowi. W takich małych akumulatorach zastosowano sprytnie zabezpieczenie, którego ideę pokazano na **rysunku 2**. Najogólniej rzecz biorąc, elektroda ujemna zawiera więcej substancji czynnej, niż elektroda dodatnia. Ten nadmiar materiału czynnego wiąże powstający tlen i zapobiega powstawaniu wodoru, przez co stanowi zabezpieczenie i rezerwę zarówno przy przeładowaniu, jak i nadmiernym rozładowaniu. W małych akumulatorkach stosuje się dodatkowo zabezpieczenie na wypadek przebiegunowania. Przebiegunowanie w praktyce zdarza się często, gdy kilka ogniw o różnej pojemności połączonych jest szeregowo - po pewnym czasie pracy, wskutek przepływu prądu, ogniwa najsłabsze szybko tracą napięcie, a potem ulegają przebiegunowaniu, bo już nie pracują jako źródło, tylko jako odbiornik energii. W uproszczeniu można to sobie wyobrazić, że wyczerpane ogniwa są niejako ładowane przez płynący prąd, tyle, że biegunowość podczas tego "ładowania" jest odwrotna niż normalnie. Aby przebiegunowanie nie uszkodziło akumulatora, elektroda dodatnia zawiera dodatkową masę antybiegunową. Nie bierze ona udziału i nie przeszkadza w normalnej pracy, a okazuje się dobrodziejstwem w razie przebiegunowania.

Z tej części rozważań wynika jasno, że małe akumulatorki NiCd są dopracowane technologicznie i zabezpieczone przed uszkodzeniami. Rzeczywiście tak jest, ale tylko przy niewielkich prądach ładowania i rozładowania. Jak powiedziano, przed laty standardowo ładowano akumulatorki prądem 0,1C przez kilkanaście godzin. Uwaga! To trzeba wiedzieć: dzięki zastosowanym zabezpieczeniom, przy takim prądzie akumulatorki NiCd nie ulegną uszkodzeniu, nawet gdy będą ładowane 24 godziny czy nawet dłużej.

Dzięki zastosowanym zabezpieczeniom, przy prądzie ładowania rzędu 0,1C miniaturowe akumulatorki NiCd nie ulegną uszkodzeniu, nawet gdy będą ładowane 24 godziny czy nawet dłużej.

Tu widać zaletę takiego powolnego, ale bezpiecznego ładowania: można stosować bardzo proste i tanie ładowarki wykorzystujące metodę ładowania stałym prądem 0,1C lub nieco mniejszym. Omyłkowe pozostawienie akumulatorów we włączonej ładowarce nawet na kilka dni, nie spowoduje ich zniszczenia.

Jednak wspomniana presja rynku i walka o klienta spowodowały, że konieczne stało się skrócenie czasu ładowania. Szybko skonstruowano akumulatory, które można było naładować odpowiednio większym prądem przez 5, 3, 1 godzinę, a ostatnio reklamowane są typy, które mogą być ładowane przez pół godziny.

A teraz inna sprawa. Podczas eksploatacji akumulatorów NiCd zauważono, że mają one nieprzyjemną właściwość: gdy po pełnym naładowaniu rozładowuje się je tylko częściowo, niejako zapamiętują, ile ładunku się z nich pobiera i potem przy próbie pobrania z nich większej ilości energii zachowują się jak rozładowane. Z tego wynika, że dla utrzymania akumulatorów w dobrej kondycji trzeba je rozładowywać w pełni (ale nie do zera, tylko do napięcia 0,9...1V/ogniwo), w przeciwnym wypadku może dać o sobie znać szkodliwy efekt pamięciowy.

W praktyce, według zaleceń firmowych, wystarczy rozładowywać akumulatorki NiCd w pełni co 4...5 cykli pracy.

Tu wnikliwi czytelnicy zapytają, czy w ogóle akumulatory zasadowe można stosować w roli baterii rezerwowej, utrzymywanej stale pod napięciem? Odpowiedź jest prosta: można, ale zdecydowanie lepsze wyniki uzyskuje się stosując w takich warunkach akumulatory kwasowe.

A oto dalsze ważne wiadomości.

Małe akumulatorki NiCd okazują się przydatne i ekonomiczne w wielu zastosowaniach. Ich zaletą jest spora pojemność, możliwość oddawania znacznych

prądów (nawet powyżej 1C), duża trwałość. Przy ładowaniu małymi prądami (nawet do 0,2C) są odporne na przeładowanie, są też względnie odporne na głębokie wyładowanie i przebiegunowanie.

Mają one jednak poważne wady: zawierają bardzo szkodliwy dla zdrowia kadm (dlatego w wielu krajach nie wolno

ich wyrzucać do śmieci; zbiera się je i poddaje procesowi ponownego przetwarzania).

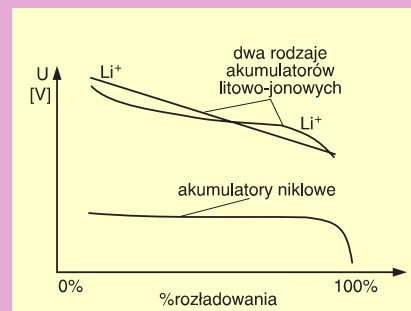
Wspomiane wady, oraz ciągły wyścig technologiczny, doprowadziły do powstania akumulatorów niklowo-wodorowych (oznaczonych NiMH). Śmiercionośny kadm zastąpiono substancjami obojętnymi dla zdrowia. Uzyskano też znacznie (o około 50%) większą pojemność przy tej samej masie i objętości. Akumulatory wodorkowe nie wykazują wspomnianego efektu pamięciowego. Zazwyczaj można je ładować dużymi prądami w krótkim czasie.

Niestety akumulatory te również nie są doskonale i mają istotne wady: są zdecydowanie droższe od niklowo-kadmowych, są mniej odporne na przeładowanie - wymagają staranniejszego dobrania parametrów ładowania.

Dalszym postępowaniem było opracowanie akumulatorów litowo-jonowych. Nie ma jednak i nie będzie litowo-jonowych "paluszków R6", ponieważ ogniwa tego systemu mają napięcie nominalne rzędu 3V. Akumulatory litowe wykazują wiele zalet. Mają przy danej objętości i masie pojemność największą spośród omówionych dotychczas typów akumulatorów.

Dużą zaletą jest fakt, że napięcie akumulatora litowego zmniejsza się jednostajnie podczas rozładowania, co wykorzystuje się do prostego określenia, ile ładunku pozostaje jeszcze do dyspozycji. Charakterystyki rozładowania akumulatora litowo-jonowego pokazano na **rysunku 3**. Niestety, do tej pory te dobre akumulatory są kilkakrotnie droższe od akumulatorów NiCd, a ponadto są dostępne tylko w postaci gotowych zestawów do zasilania droższych kamer wideo, przenośnych komputerów i telefonów komórkowych.

Piotr Górecki



Rys. 3. Charakterystyka ładowalnych ogniw alkalicznych.