

Poczynając od tego numeru, co jakiś czas w *Elektronice dla Wszystkich* pojawiać się będzie rubryka, zatytułowana właśnie "Dodatknie sprężenie zwrotne". 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 umówienia i wyjaśnienia.

Otrzymujemy także sporo próśb o opracowanie i zaprezentowanie na łamach *EdW* różnych układów elektronicznych.

Według naszych planów, rubryka "Dodatknie sprężenie zwrotne" będzie zawierać zarówno materiał opisowy, wyjaśniający problemy techniczne, jak też w jej ramach będziemy przedstawiać projekty opracowane w redakcji, niejako na Wasze zamówienie.

Pierwszym tematem, który bierzemy na warsztat, jest sprawa ładowania akumulatorów. Listy z prośbami dotyczącymi tego zagadnienia nadeszli ostatnio *Dariusz Stępień, Stanisław Opoka, Bogusław Łacki, Andrzej Adamczyk, Andrzej Hoć.*



W naszej codziennej praktyce spotykamy się z różnymi typami akumulatorów.

Od dawna znamy akumulatory ołowiane, stosowane powszechnie we wszelkich pojazdach samochodowych oraz w systemach alarmowych.

Do najróżniejszych przenośnych urządzeń elektronicznych wykorzystuje się powszechnie akumulatory kadmowo-niklowe (oznaczane w skrócie CdNi lub NiCd). Od kilku lat na rynek pomalą wchodzi akumulatory niklowo-wodorkowe, oznaczane w skrócie NiMH. Coraz więcej słyszymy też o akumulatorach litowo-jonowych (Li-Ion), a różne firmy prezentują kolejne rozwiązania, oparte na coraz to innych materiałach czynnych.

Obecnie najpopularniejsze są akumulatory ołowiane, dlatego zajmiemy się nimi na początku. W dalszej kolejności poznamy bliżej akumulatory CdNi i NiMH.

Akumulatory ołowiane

Przed laty dostępne były jedynie akumulatory ołowiane przeznaczone do pojazdów samochodowych. Po zakupieniu takiego akumulatora należało zalać go przygotowanym samodzielnie elektrolitem o odpowiedniej gęstości i przeprowadzić pierwsze ładowanie. Od tego pierwszego ładowania, zwanego formowaniem, zależały późniejsze parametry, między innymi pojemność. Elektrolitem był roztwór kwasu siarkowego w wodzie destylowanej - stąd potocznie akumulatory takie nazywa się kwasowymi.

Na stacjach benzynowych można było kupić aerometry - szklane przyrządy, które pozwalały sprawdzać gęstość elektrolitu (powinna wynosić 1,26...1,28 g/cm³). Przygotowanie elektrolitu wymagało sporo ostrożności ze względu na żrące właściwości kwasu siarkowego. Praw-

dopodobnie pamiętasz jeszcze z podstawówki starą chemiczną rymowankę: jeśli nie chcesz zrobić szkody, zapamiętaj: kwas do wody. Próba wlewania wody do dużo gęściejszego kwasu może się skończyć rozpryskiem kwasu i poparzeniem.

Obsługa takich akumulatorów była uciążliwa, bowiem należało kontrolować poziom elektrolitu w poszczególnych celach akumulatora i co jakiś czas dolewać wody destylowanej. Jedyną zaletą takich starych akumulatorów był fakt, że można było w prosty sposób sprawdzić stan naładowania akumulatora, mierząc aerometrem gęstość elektrolitu.

Spektakularnym objawem pełnego naładowania akumulatora kwasowego jest tak zwane gazowanie elektrolitu (elektroliza wody). Właśnie ono jest znakiem, że akumulator jest pełny i ładowanie należy przerwać.

Nie musisz znać i rozumieć reakcji chemicznych, jakie zachodzą w akumulatorze, musisz jednak pamiętać o pewnej podstawowej zasadzie: w pełni naładowany akumulator ma maksymalną (nominalną) gęstość elektrolitu. Podczas rozładowania gęstość elektrolitu maleje. Można powiedzieć, że w akumulatorze rozładowanym do granic możliwości, elektrolitem jest... woda. Powinieneś to zrozumieć i zapamiętać raz na zawsze.

Mówiąc w dużym uproszczeniu, podczas rozładowania siarka z kwasu przechodzi na płyty, a podczas ładowania wraca z powrotem do elektrolitu. Można to ująć nieco dokładniej - w czasie rozładowania na płytach tworzy się siarczan ołowiu, słabo przewodzący prąd. Podczas ładowania siarczan w wyniku reakcji chemicznych zamienia się w kwas siarkowy. Gdy "cała siarka" przejdzie do elektrolitu, akumulator jest w pełni naładowany i dalsze przepuszczanie przez

niego prądu powoduje już tylko elektrolizę wody (gazowanie akumulatora).

W zasadzie proces tworzenia siarczanu ołowiu jest odwracalny, ale wyobraź sobie, że przy totalnym wyładowaniu "elektrolit" to w rzeczywistości woda destylowana, a płyty pokryte są siarczanem ołowiu. Co się stanie przy próbie naładowania takiego zupełnie rozładowanego akumulatora? Dołączysz napięcie, nawet znacznie wyższe od nominalnego napięcia akumulatora, a prąd przez akumulator (czytaj: wodę destylowaną) wcale nie chce płynąć - praktycy mówią, że głęboko wyładowany akumulator nie chce ruszyć. Prąd płynący przez głęboko rozładowany akumulator z początku rzeczywiście ma znikomą wartość, rzędu mikroamperów, ale z czasem zacznie się pomatu zwiększać i niekiedy dopiero po kilku godzinach, czy nawet dniach, uzyska sensowną wartość. Nie znaczy to jednak, że po takim nietypowym, długim ładowaniu, akumulator odzyska pierwotną pojemność. Na pewno słyszałeś, że płyty ulegają zsiarczeniu, przez co akumulator przestaje spełniać swoją rolę. Rzeczywiście, część siarczanu ołowiu, o krystalicznej, zwartej budowie, po prostu nie da się w czasie ładowania "wyrwać" z płyt i w konsekwencji następuje stopniowe pogorszenie właściwości akumulatora. Musisz wiedzieć, że proces zsiarczenia zachodzi we wszystkich akumulatorach kwasowych, a jego szybkość zależy od warunków pracy i ładowania: między innymi od temperatury, stopnia rozładowywania itd. Szczegóły w dalszej części artykułu.

Informacje na temat akumulatorów ołowiowych nie są użyteczne dla użytkowników innych typów akumulatorów.

Popularne akumulatory kadmowo-nikłowe pracują na zupełnie innej zasadzie, mają inne charakterystyki i wymagają odmiennych sposobów ładowania.

Teraz już znasz podstawy działania akumulatora ołowiowego. Powróćmy do historii. Kolejnym krokiem w rozwoju było wyprodukowanie tzw. akumulatorów suchoładowanych, których po wlaniu elektrolitu nie trzeba było specjalnie formować. Ale dopiero pojawienie się tzw. akumulatorów bezobsługowych oznaczało duży postęp. W sumie ich bezobsługowość polega na tym, że w przepisanych warunkach pracy, ubytek wody wskutek gazowania jest na tyle niewielki, iż nie trzeba ustawicznie kontrolować poziomu elektrolitu i dolewać wody.

Z czasem okazało się, iż stosunkowo tanie akumulatory ołowiowe można byłoby stosować o wiele szerzej, gdyby nie istniała groźba wylania żrącego elektrolitu. Powstały więc nowe konstrukcje,

w których płynny elektrolit niejako uwięziono, wypełniając wnętrze akumulatora odpowiednim materiałem włóknistym. Innym sposobem było dodanie do płynnego elektrolitu pewnych substancji, które zamieniły go w swego rodzaju galarete - żel. Tak oto doszliśmy do akumulatorów żelowych.

Obie ostatnie grupy to akumulatory szczelne (ang. sealed), nie grożące wylaniem elektrolitu. Niektóre mogą pracować w dowolnej pozycji. Takie akumulatory powszechnie stosuje się w rezerwowych źródłach zasilania, na przykład w systemach alarmowych czy komputerowych UPS-ach.

A teraz przechodzimy do analizy parametrów akumulatorów kwasowych.

Na początek dwie uwagi. Po pierwsze, podane dalej informacje bazują na

materiałach firmowych dostarczonych przez zagraniczne firmy, i dotyczą akumulatorów nowoczesnych, szczelnych. Niestety, nie udało mi się zdobyć sensownych informacji od krajowych producentów, a dzwoniłem tak do Piastowa, jak i Poznań - po prostu trafiłem na osoby niekompetentne, nie umiejące odpowiedzieć na zadane pytania techniczne, zalecające mi lekturę starych książek; odsyłano mnie od Annasza do Kajfasza, a jeden rozmówca twierdził nawet, że nie może mi udzielić żadnych informacji bez zgody dyrektora naczelnego. Przy takim podejściu do odbiorcy i takich kwalifikacjach personelu czarno widzę przyszłość rodzimego przemysłu.

Po drugie, z podanych informacji należy wyciągnąć ogólne wnioski i zrozumieć istotę problemu, a nie oczekiwać szczegółowych odpowiedzi typu: "jaką maksymalną temperaturę może osiągnąć elektrolit?".

A teraz parę słów o najważniejszych parametrach.

Definicje

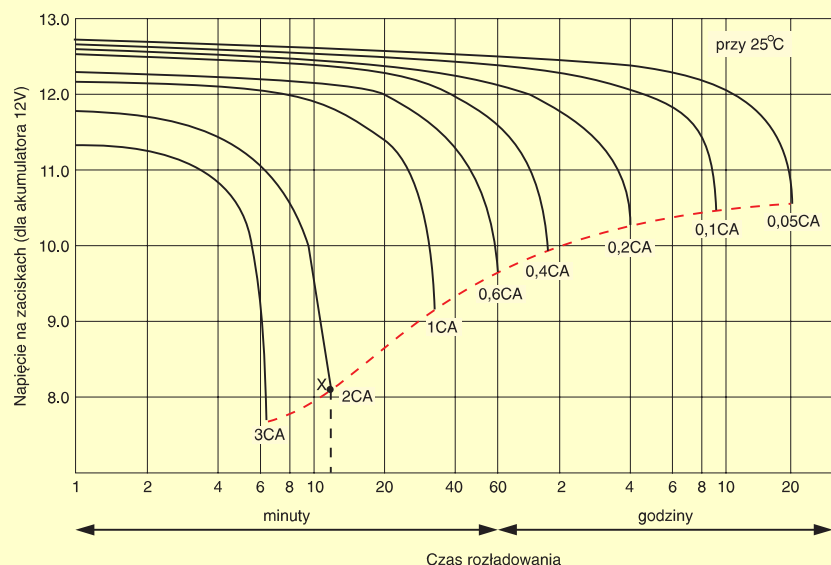
Najważniejszy parametr to pojemność akumulatora, oznaczana literą C. Otrzymujemy ją mnożąc prąd rozładowania I przez czas rozładowania t:

$$C = I_{rozł} \times t_{rozł}$$

Prąd wyraża się w amperach, czas w godzinach (ang. hour), stąd pojemność podawana jest w amperogodzinach (Ah) lub miliamperogodzinach (mAh).

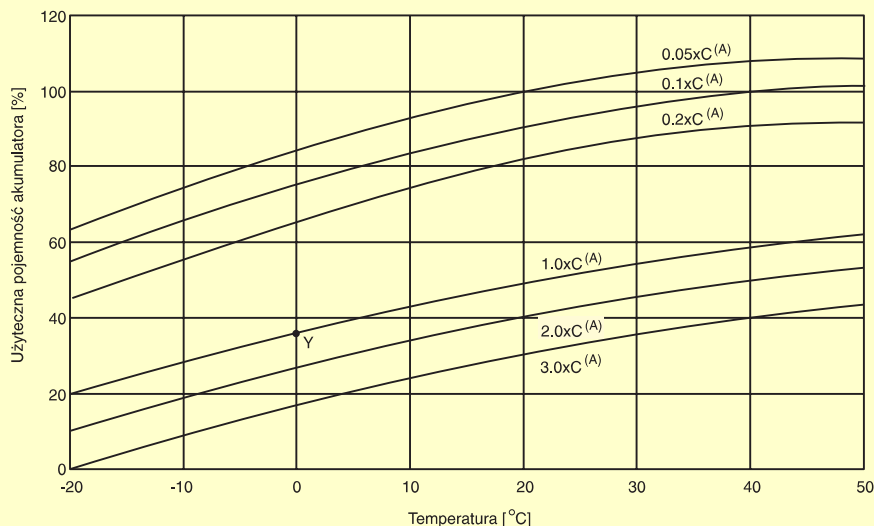
Jak się za chwilę okaże, pojemność akumulatora nie jest stała (!), zależy bowiem od prądu rozładowania. Żeby łatwo porównać różne akumulatory, przyjęto określać pojemność nominalną przy rozładowywaniu takim prądem, aby pełne rozładowanie trwało 10 godzin (akumulatory samochodowe), lub 20 godzin (mniejsze akumulatory). Można więc powiedzieć, że podawana w katalogach nominalna pojemność akumulatora C jest pojemnością dziesięciogodzinną (albo dwudziestogodzinną).

Dla ułatwienia, prądy ładowania i rozładowania podawane są nie wprost w amperach, tylko w odniesieniu do pojemności nominalnej C. Na przykład napotykamy zdanie: ładować przez 14 godzin prądem 0,1C. Nie wiemy jaką wartość ma mieć prąd ładowania, dopóki nie dowiemy się, jaka jest pojemność nominalna C takiego akumulatora. Gdy pojemność nominalna C wynosi, powiedzmy, 20Ah, prąd 0,1C wynosi $0,1 \times 20 = 2A$.



Rys. 1. Charakterystyki rozładowania.

Dodatnie Sprężenie Zwrotne



Rys. 2. Zależność pojemności od temperatury.

Charakterystyki

Wszystkie zamieszczone dalej rysunki dotyczą nowoczesnych akumulatorów ołowiowych brytyjskiej firmy Yuasa, które sprzedawane są w sieci firmowej AVT. Bardzo podobne parametry mają akumulatory ołowiowe innych dobrych firm. Natomiast podane wiadomości są zupełnie nieprzydatne użytkownikom akumulatorów kadmowo-niklowych.

Na pewno wiesz, że nominalne napięcie jednego ogniwa, lub jak częściej mówimy - jednej celi - wynosi 2V. Akumulator 12-woltowy składa się z sześciu cel.

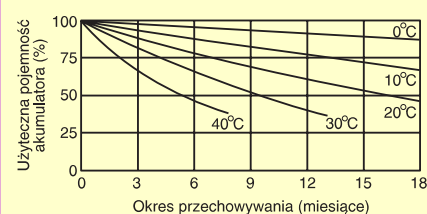
Na **rysunku 1** przedstawiono charakterystyki rozładowania. Z rysunku można odczytać szereg cennych informacji. Po pierwsze zauważ, że nominalną pojemność uzyskuje się przy rozładowaniu prądem dwudziestogodzinnym (0,05C) do napięcia końcowego 10,5V, czyli 1,75V/ogniwo. Ale przy większych prądach rozładowania użyteczna pojemność jest zdecydowanie mniejsza. Znajdź na rysunku 1 punkt X; przy prądzie 2C pojemność wynosi tylko $2C \times 12\text{minut} = 2C \times 0,2\text{h} = 0,4C$, czyli rzeczywista pojemność wynosi w tych warunkach tylko 40% pojemności nominalnej, i to przy rozładowaniu do napięcia 1,36V/ogniwo!

Po drugie, z rysunku 1 można odczytać, do jakiego napięcia końcowego można rozładowywać akumulator - granicę tę zaznaczono czerwoną linią przerywaną. Przy mniejszych prądach jest to napięcie 1,75V/ogniwo, przy większych prądach może być mniejsze, nawet do 1,3V/ogniwo.

Po trzecie z charakterystyk można się dowiedzieć, jak w czasie rozładowania obniża się napięcie akumulatora. Jest to istotne, gdyby akumulator miał współpracować ze stabilizatorem lub bezpośrednio zasilać układ czuły na zmiany napięcia zasilającego.

A teraz przeanalizujemy **rysunek 2**, przedstawiający zależność pojemności akumulatora od temperatury pracy. W wyższej temperaturze reakcje chemiczne przebiegają szybciej i powoduje to wzrost pojemności akumulatora. W niższych temperaturach pojemność radykalnie maleje - znajdź na rysunku 2 punkt Y. Przy rozładowaniu prądem 1C w temperaturze 0°C rzeczywista pojemność wyniesie tylko 35% pojemności nominalnej! Teraz rozumiesz kłopoty z rozruchem samochodu zimą, gdy w temperaturze -20°C pobieramy z akumulatora prąd rzędu 5...10C.

Przed chwilą cieszyliśmy się, że w wyższych temperaturach akumulator ma większą pojemność. Nie ma się z czego cieszyć - popatrz na **rysunek 3**. Pokazuje on zależność szybkości samo-



Rys. 3. Krzywe samorozładowania.

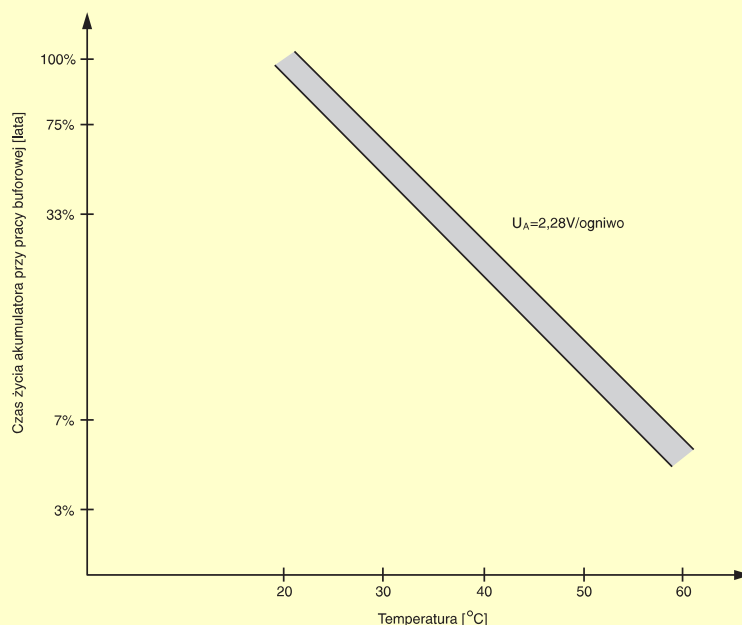
rozładowania od temperatury. W wyższej temperaturze akumulator szybko traci swoją energię - po sześciu miesiącach przechowywania w temperaturze +40°C w pełni naładowanego akumulatora, pozostanie w nim jedynie 45% pierwotnej energii.

Ale to nie jest najgorsze, bo przecież rozładowany akumulator można zawsze podładować. Popatrz na **rysunek 4**. Pokazuje on przybliżoną zależność czasu pracy od temperatury. O ile akumulator mógłby pracować w temperaturze +20°C kilka lat, o tyle w temperaturze +60°C straci pojemność już po kilku miesiącach! Nie pytaj więc drobiazgowo o szczegóły - zapamiętaj, że wysokie temperatury pracy są dla akumulatora ołowiowego wręcz zabójcze.

Masz więc częściową odpowiedź na pytanie, jaka może być maksymalna temperatura elektrolitu: w miarę możliwości należy unikać wysokiej temperatury, a także dużych prądów ładowania, które powodowałyby znaczny wzrost temperatury akumulatora.

I oto doszliśmy do metod ładowania. Tematem tym zajmujemy się szczegółowo za miesiąc.

(red)



Rys. 4. Zależność trwałości od temperatury.