

Akumulatory kwasowo-ołowiowe

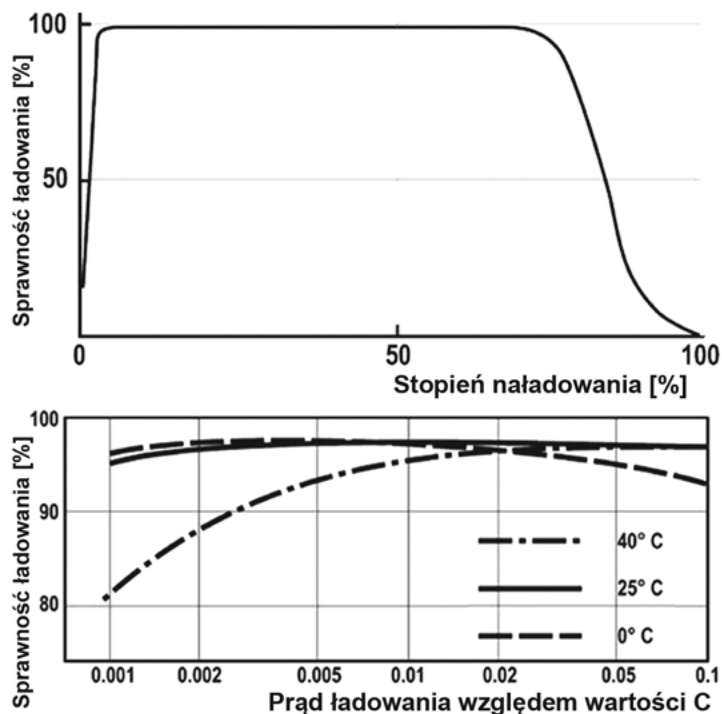
Akumulatory kwasowo-ołowiowe są najpopularniejsze i najtańsze wśród wszystkich akumulatorów. Wynaleziono ponad 150 lat temu (Gaston Planté, 1859), niezbyt dużo się przez ten długi czas zmieniły. Wprawdzie pojawiły się wersje tak zwane bezobsługowe, a także akumulatory AGM i żelowe, jednak zasada działania i podstawowe parametry elektryczne wszystkich są jednakowe. Warto o tym pamiętać wybierając akumulator do projektowanego przez siebie urządzenia.

Wprawdzie kluczowe właściwości akumulatorów kwasowo-ołowiowych są słabsze, niż większości innych akumulatorów, jednak niska cena powoduje, iż nadal są to akumulatory najbardziej popularne. Akumulatory ołowiowe są powszechnie wykorzystywane do napędu elektrycznych wózków widłowych, wózków golfowych, skuterów elektrycznych itp. W takich zastosowaniach pracują cyklicznie: na przemian są ładowane i rozładowywane. Akumulatory ołowiowe znajdują szerokie zastosowanie z urządzeniami bezprzerwowego zasilania, począwszy od małych domowych zasilaczy UPS do potężnych systemów w serwerowniach. W takich zastosowaniach akumulatory kwasowo-ołowiowe pracują w tak zwanym trybie buforowym: są na stałe podłączone do ładowarki, która utrzymuje na akumulatorze „napięcie buforowe” i jest on stale gotowy do oddania energii w przypadku zaniku napięcia w sieci energetycznej.

W pokrewny sposób akumulatory kwasowe pracują w samochodach. Podczas pracy silnika regulator alternatora utrzymuje na akumulatorze określone napięcie (14,4 V), zapewniając, że jest on w pełni naładowany.

Zasada działania

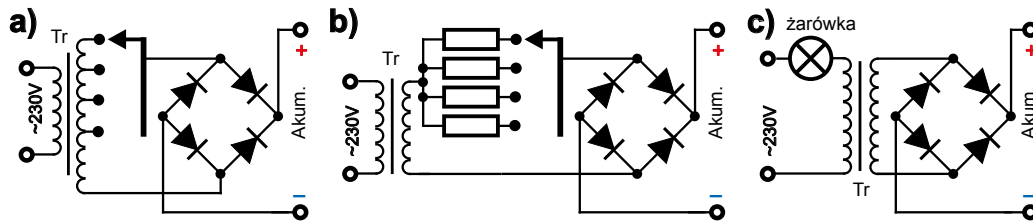
Przypomnijmy, że w akumulatorze kwasowo-ołowiowym podstawą magazynowania energii jest odwracalna zamiana metalicznego ołowiu (i tlenku ołowiu) w siarczan ołowiu ($PbSO_4$), co zachodzi przy udziale elektrolitu, którym jest dość mocny, bo 37-procentowy roztwór kwasu siarkowego (H_2SO_4).



Rysunek 1. Zależność sprawności ładowania od stopnia naładowania (góra) oraz prądu ładowania (dół)



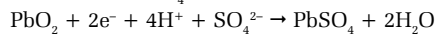
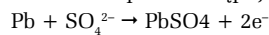
Fotografia 2. Akumulatory z korkami



Rysunek 3. Proste ładowarki do akumulatorów kwasowych

Najprościej mówiąc, w naładowanym w pełni akumulatorze elektrolit – kwas siarkowy ma maksymalną gęstość. W trakcie rozładowania akumulatora tworzy się siarczan ołowiu i stężenie kwasu w elektrolicie maleje. W całkowicie rozładowanym akumulatorze stężenie kwasu jest zerowe, a elektrolitem jest... woda (destylowana).

Sumarycznie, te odwracalne procesy chemiczne można zapisać następująco:



Można powiedzieć, że podczas ładowania energia elektryczna powoduje „rozrywanie” siarczanu ołowiu (PbSO_4), przez co elektrolit zawiera coraz więcej kwasu siarkowego. Problem w tym, że gdy zostaną „rozerwane” wszystkie cząstki siarczanu ołowiu, czyli gdy akumulator zostanie całkowicie naładowany, dalsze dostarczanie energii elektrycznej powoduje „rozrywanie” cząstek wody (H_2O), w wyniku czego powstaje gazowy tlen i gazowy wodór. Taki proces nazywany **gazowaniem akumulatora**.

Nominalne napięcie jednego ogniwa kwasowo-ołowiowego wynosi 2 V. Akumulatory 6-woltowe składają się z trzech ogniw, nazywanych celami (ang. cell), a 12-woltowe – z 6 ogniw (ściślej biorąc, napięcie nominalne wynosi 2,1 V, stąd wzięło się napięcie żarzenia 6,3 V lamp elektronowych, żarzonych często z pomocą akumulatorów).

Rysunek 1 zawiera ważne dla głównego tematu artykułu informacje. Z dolnej części wynika, że w typowych warunkach sprawność ładowania przekracza 95%, czyli prawie cała włączona energia zostaje zgromadzona, a na ciepło zamienia się tylko kilka procent dostarczonej energii. Ważniejsze i niepokojące dane niesie górna część rysunku. Mianowicie sprawność spada, gdy

akumulator dochodzi do stanu całkowitego naładowania. W zasadzie to oczywiste, że gdy reakcji ulegnie cała masa czynna akumulatora, nie ma już czego ładować, a gdy prąd dalej płynie i dostarczana jest energia, to nie może ona być wykorzystana i po części zamienia się na ciepło, a po części powoduje elektrolizę wody, czyli gazowanie. Niepokojące jest to, że sprawność ładowania zaczyna się zmniejszać już przy naładowaniu do około 75%. A to oznacza, że szczególnie uwagę należy poświęcić właśnie końcowej fazie ładowania. Dotyczy to zwłaszcza wersji ze szczelną obudową.

Rodzaje akumulatorów kwasowych

W klasycznych akumulatorach każde ogniwo ma korek-zawór. Do dziś produkowane są akumulatory, tzw. suchoładowane, które przed pierwszym użyciem trzeba napełnić elektrolitem (o gęstości 1,28 g/cm³), a potem dolewać wody destylowanej, gdy poziom elektrolitu spadnie poniżej zaznaczonego minimum. **Fotografia 2** pokazuje akumulatory z korkami, pozwalającymi na dolewanie wody.

Podczas ładowania starych akumulatorów tego typu należało odkręcić korki, by umożliwić ulotnienie się z wnętrza powstających gazów. W nowszych odkręcanie korków nie jest potrzebne, bowiem wbudowane zawory wypuszczają nadmiar gazów. W każdym razie akumulatory wyposażone w korki nie wymagają szczególnych warunków ładowania. Gdy nastąpi ich przeładowanie i w procesie gazowania część wody zostanie zamieniona w tlen i wodór, można łatwo naprawić problem, dolewając wody destylowanej.

W dawnych akumulatorach kontrolowanie gęstości elektrolitu za pomocą areometru pozwalało określić stan naładowania (w całkowicie naładowanym 1,26...1,28 g/cm³, w rozładowanym blisko 1 g/cm³), a dolewanie wody było powszechną i konieczną praktyką. Do ładowania takich starych akumulatorów stosowano prymitywne prostowniki, zawierające tylko transformator i mostek prostowniczy. Akumulator był ładowany prądem tętniącym, a więc o dużej składowej zmiennej. Do regulacji prądu wykorzystywano albo odczepy transformatora, albo rezystory drutowe na stronie wtórnej, albo w najprostszym przypadku żarówkę włączoną w szereg z uzwojeniem pierwotnym – **rysunek 3**.

Takie stare akumulatory nie bały się przeładowania. Towarzyszące temu gazowanie nie uszkadzało akumulatora, a jedynie elektrolizę i ubytek wody. Wystarczyło co jakiś czas dolewać wody destylowanej.

Postęp techniczny, między innymi zastosowanie jako dodatków wapnia zamiast antymonu, pozwoliło stworzyć akumulatory, w których w *prawidłowych warunkach eksploatacji mają bardzo mały ubytek wody*. Powstały tak zwane **akumulatory bezobsługowe**. Samo określenie „bezobsługowy” oznacza tylko tyle, że ubytek wody jest mały i producent nie przewiduje potrzeby dolewania wody. Niemniej w wielu „bezobsługowych” jak najbardziej istnieje możliwość dolewania wody. Dostępne są też wersje całkowicie bezobsługowe, które nie mają korków do wlewania wody, a co najwyżej zawory ciśnieniowe lub jeden wspólny zawór, umożliwiający usunięcie nadmiaru gazów w przypadku przeładowania. Zawory te chronią przez wybuchem i uniemożliwiają wyciek elektrolitu przy przewróceniu akumulatora. Jednak w każdym silnie przeładowanym akumulatorze kwasowo-ołowiowym nastąpi oczywiście intensywne gazowanie i ubytek wody, której w całkowicie bezobsługowym nie można uzupełnić z powodu braku korków.

Współczesne akumulatory samochodowe często mają wbudowane tzw. „magiczne oczko”, którego kolor z grubszą okładką określa stan akumulatora (zielony – OK, czarny – trzeba ładować, biały – uszkodzenie, niedobór elektrolitu). Dla ciekawości można wspomnieć, że nie jest to żaden układ elektroniczny, tylko prosty miernik gęstości i poziomu elektrolitu z... zieloną kulką. Na **fotografii 4** pokazano samochodowy akumulator bezobsługowy z „magicznym oczkiem” (Centra Futura).

GEL i AGM

W wielu zastosowaniach potrzebne są akumulatory bezpieczne w eksploatacji, całkowicie szczelne, w których na pewno nie nastąpi wyciek żrącego kwasu. Powstały akumulatory nazywane **VRLA battery** (valve-regulated lead-acid battery), czasem określane jako SLA (Sealed Lead-Acid). Tu podstawą jest nie tylko zastosowanie szczelnych zaworów, ale też uwięzienie elektrolitu w celach.

Znane są dwa typy akumulatorów VRLA, a mianowicie bardziej popularne AGM i znacznie rzadziej spotykane żelowe (GEL).

AGM to skrót „Absorbed Glass Mat”. W celach między płytami umieszczona jest



Fotografia 4. Samochodowy akumulator bezobsługowy z „magicznym oczkiem” (Centra Futura)



Fotografia 5. Przykładowe akumulatory AGM

wata (mata) szklana, w której uwieczony jest żrący elektrolit. Na **fotografii 5** pokazano różne akumulatory AGM. Natomiast w akumulatorach żelowych (**fotografia 6**) elektrolit ma postać żelu, a to dzięki dodatkowi krzemionki.

Przeciętny użytkownik nie dostrzeże „na oko” różnicy między AGM i żelowymi, ponieważ ich konstrukcja i obudowa mogą być jednakowe, czego przykład pokazuje **fotografia 7** (akumulatory brytyjskiej firmy Camden). Często oznaczenia AGM na akumulatorze nie ma; nie zawsze też na żelowych jest napis GEL. Takie szczelne akumulatory nazywane są niesłusznie „żelowymi”, choć najczęściej są to akumulatory AGM.

Różnice między akumulatorami AGM i żelowymi polegają głównie na trwałości oraz zalecanych warunkach ładowania i rozładowania. Ogólnie biorąc, większość żelowych nie może pracować przy dużych prądach, więc np. do UPS-ów powszechnie stosuje się akumulatory AGM. Natomiast żelowe mają zwykle większą trwałość, ale tylko w łagodniejszych warunkach pracy. Spotyka się jednak akumulatory żelowe do ciężkiej pracy cyklicznej i głębokiego rozładowania – przykład na **fotografii 8**.

Należy bardzo wyraźnie podkreślić, że z jednej strony zaletą akumulatorów AGM i żelowych jest szczelność i bezobsługowość,

a z drugiej wymagają one starannie dobranych warunków ładowania. Wprawdzie mają one zawory, jednak zadziałają one tylko w przypadku awarii, gdy nastąpi przeładowanie i silne gazowanie. Natomiast podczas prawidłowego ładowania wydzielają się wprawdzie pewne ilości gazów, rośnie ciśnienie, ale dzięki obecności katalizatora, następuje rekombinacja, czyli ponowna zamiana wodoru i tlenu w wodę. Zawory są zamknięte, a otworzą się tylko przy dużym wzroście ciśnienia, gdy nastąpi silne gazowanie wynikające z przeładowania.

Trzeba wiedzieć, że nawet jednokrotne silne przeładowanie jest zawsze bardzo



Fotografia 6. Przykładowe akumulatory żelowe



AGM

żelowe

Fotografia 7. Przeciętny użytkownik nie dostrzeże „na oko” różnicy między AGM i żelowymi, ponieważ ich konstrukcja i obudowa mogą być jednakowe



Fotografia 8. Akumulatory żelowe do ciężkiej pracy cyklicznej i głębokiego rozładowania

szkodliwe i może bezpowrotnie zmniejszyć pojemność akumulatora AGM i żelowego. O ile w przypadku starych, klasycznych, otwartych akumulatorów, gazowanie było dopuszczalne, o tyle nie wolno dopuścić do gazowania w akumulatorach AGM i żelowych.

Bardzo szkodliwe, zwłaszcza w akumulatorach AGM, jest też nadmierne rozładowanie. W grę wchodzi kilka niekorzystnych zjawisk, między innymi tzw. zasiarczenie, czyli wytworzenie wewnątrz akumulatora nieprzewodzącej warstewki kryształków nieprzewodzącego siarczanu ołowiu. Nawet jednokrotne „wyładowanie do zera woltów” może spowodować poważną trwałą utratę pojemności (tak wyładowany akumulator należy jak najszybciej naładować).

Jednakowo ważne jest więc, żeby ani nie przeładowywać, ani nadmiernie nie rozładowywać akumulatora. Jest to w sumie proste. Aby nie dopuścić do przeładowania wystarczy **ograniczyć napięcie ładowania do bezpiecznej wartości**. Aby nie dopuścić do nadmiernego rozładowania warto zastosować układ **sygnalizacji obniżenia napięcia**, a gdzie to możliwe (przy mniejszych prądach pracy) dodać układ automatycznego odłączania.

Sama idea jest prosta. Jednak optymalne wykorzystanie akumulatorów AGM i żelowych wymaga pewnej wiedzy i odpowiedniego sprzętu. Zanim przejdziemy do szczegółów, jeszcze jeden dość istotny szczegół.

Przeznaczenie...

Nietrudno zauważyć, że akumulator samochodowy o danej pojemności jest zdecydowanie tańszy od „niesamochodowego” o tej samej pojemności. Wynika to przede wszystkim z faktu, że akumulator samochodowy jest przeznaczony do pracy w stosunkowo łagodnych warunkach. Wprawdzie zmiany temperatury podczas jego użytkowania są duże, od -20°C do ponad $+40^{\circ}\text{C}$, jednak w samochodzie jest on stale podładowywany przez alternator i regulator, utrzymywane na nim jest wtedy napięcie 14,4 V, a prąd oddaje niezbyt często, na pewno duży prąd przez kilka do kilkunastu sekund podczas

rozruchu oraz niewielkie prądy podczas postoju.

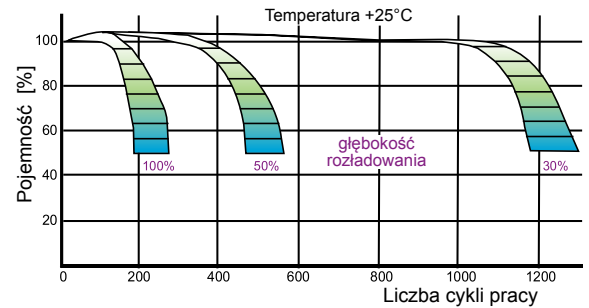
W związku z tym akumulatory samochodowe mają stosunkowo delikatną budowę i nie nadają się do ciężkiej pracy cyklicznej, gdy po naładowaniu są rozładowywane prawie całkowicie, więc nie nadają się, na przykład, do napędu elektrycznych wózków widlowych i golfowych ani do napędu elektrycznych silników do łodzi wędkarskich. Przy ciężkiej pracy cyklicznej (ładowanie/pełne rozładowanie), będą po prostu mieć żałośnie małą trwałość i stracą pojemność po niewielkiej liczbie cykli.

Do ciężkiej pracy cyklicznej, np. w wózkach widlowych czy golfowych, produkowane są tak zwane akumulatory (baterie) trakcyjne, które mają solidniejszą budowę, ale też są droższe. Nie ma tu jednak konkretnej granicy, a akumulator samochodowy o dużej pojemności, który nie będzie rozładowywany w pełni, tylko częściowo, też może zdać egzamin napędzając np. silnik łodzi wędkarskiej. Trwałość silnie zależy od głębokości rozładowania. Pojęcie o tym daje **rysunek 9**, dotyczący akumulatorów AGM. Jeżeli chcemy zwiększyć trwałość, powinniśmy zaopatrzyć się w akumulator o pojemności większej, niż wymagana i nigdy nie rozładowywać go w pełni.

Istnieje mnóstwo rodzajów „niesamochodowych” akumulatorów kwasowych (fotografie 5...8). Wszystkie nadają się do łagodnych warunków pracy buforowej. Ale nie wszystkie nadają się do ciężkiej pracy cyklicznej – tu należy stosować „wzmocnione” wersje przeznaczone do takiej pracy, które są oczywiście droższe. O ile na przykład 100-amperegodzinny akumulator samochodowy sensowniej firmy można kupić za znacznie mniej niż 500 zł, o tyle za akumulator głębokiego rozładowania (trakcyjny) 12 V/100 Ah trzeba zapłacić od 750 do ponad 1000 zł.

Jeżeli chodzi o najpopularniejsze szczelne akumulatory AGM, to wiele z nich przeznaczonych jest głównie do pracy w rezerwowych systemach zasilania w stosunkowo łagodnych warunkach. W kartach katalogowych można sprawdzić, czy dany typ nadaje się (jest zalecany) także do pracy cyklicznej.

Koniecznym jest także wiedzieć, że poszczególni producenci mają w ofercie kilka, a nawet kilkanaście serii (rodzin) akumulatorów



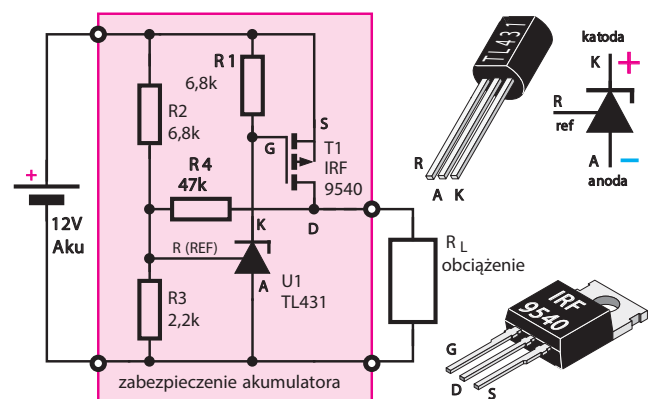
Rysunek 9. Zależność trwałości akumulatora od głębokości rozładowania

żelowych, różniących się m.in. własną zdolnością do pracy cyklicznej oraz żywotnością. I tak na przykład Yuasa oprócz serii podstawowej NP, ma też serię „długowieczną” NPL oraz serie NPC, YPC, En, ENL, UXF, FXH. Europower obok podstawowej serii EP oferuje serie EPL, EV, EH, EPS, UPS, EC i inne. MW Power obok MW ma serie MWL, MWS, MWH, LMRA, Akumulatory CSB dostępne są w serii GP, ale też GPL, HR, TPL, EVX, EVH... Warto zainteresować się też tymi mniej popularnymi, droższymi odmianami, które w trudniejszych warunkach eksploatacji mogą okazać się bardziej ekonomiczne. Wracamy do kwestii ładowania i rozładowania.

Ochrona przed rozładowaniem

Jeśli chodzi o ochronę przed nadmiernym rozładowaniem, to w katalogach zawarte są krzywe rozładowania i pokazane są minimalne napięcia rozładowania. Powszechnie przyjmuje się dopuszczalną granicę rozładowania 1,75 V/celę, czyli 10,5 V dla akumulatora 12 V.

Na rynku dostępne są sygnalizatory dźwiękowe, ostrzegające przy rozładowaniu poniżej napięcia 10,5 V oraz różne układy zabezpieczające z przełącznikami lub MOSFET-ami, odłączające obciążenie przy nadmiernym spadku napięcia. Są to zwykle bardzo proste układy i można je wykonać we własnym zakresie nieporównanie taniej. Proste rozwiązanie z MOSFET-em P przedstawione było w EdW – kit AVT-772. Schemat na **rysunku 10b**. Po zmianie tranzystora



Rysunek 10. Proste rozwiązanie zabezpieczające akumulator (AVT-772)

(koniecznie MOSFET-a P) na typ o mniejszej rezystancji, prąd maksymalny będzie odpowiednio większy. Można na przykład wykorzystać tani i popularny IRF4905 o prądzie maksymalnym ponad 70 A i rezystancji R_{DSon} 20 miliomów.

W jednym z pierwszych numerów EdW (4/1996) przedstawiony był bardzo prosty układ zabezpieczenia akumulatora z wykorzystaniem dużo popularniejszego tranzystora MOSFET N. Do tego pożytecznego schematu jeszcze wrócimy.

Ochrona przed przeładowaniem

Zasadniczo sprawa jest bardzo prosta, ponieważ akumulatory kwasowe mają tę bardzo ważną zaletę, że napięcie odzwierciedla stan naładowania. **Aby uniknąć przeładowania po prostu nie należy przekraczać określonego napięcia.**

Prąd ładowania zawiera się zwykle w granicach 0,1 C...0,3 C (w nielicznych do 0,4 C), czyli jest liczbowo równy 10%...30% pojemności akumulatora (C) wyrażonej w amperogodzinach. Przykładowo dla akumulatora o pojemności C=7 Ah prąd 0,1 C wynosi 0,7 A, a 0,4 C to 2,8 A.

Zwykle w karcie katalogowej podany jest maksymalny prąd ładowania danego akumulatora – przykład na **rysunku 11**, dotyczy popularnych akumulatorów AGM Europower serii podstawowej EP. Przykładowo maksymalny prąd ładowania akumulatorów 12-amperegodzinnych wynosi 3,6 A, więc jest to prąd 0,3 C (30% liczbowej wartości pojemności).

Ładowanie prądem 0,3 C przez 3 godziny i 20 minut godziny dostarczyłoby do akumulatora ładunek równy nominalnemu (C). Ze względu na niedoskonałą sprawność akumulatora (rysunek 1), dostarczony ładunek musi być większy niż C.

Ładowanie niezmiennym prądem przez określony czas, by włączyć określoną ilość ładunku (120% pojemności nominalnej) jest zalecane w przypadku niektórych innych akumulatorów, np. NiCd czy NiMH, jednak jest praktycznie niedopuszczalne dla akumulatorów AGM i żelowych (chyba, że do kontrolowanego podładowania podczas długiego przechowywania). Ładowanie przy stałym prądzie przez odmierzony czas byłoby ewentualnie dopuszczalne przy małym prądzie ładowania, znacznie poniżej 0,1 C (10% liczbowej wartości pojemności). Jednak to też niesłoby ryzyko gazowania. Problem w tym, że napięcie akumulatora ołowiowego rośnie i przy znacznym prądzie przekroczyłoby dopuszczalny poziom, a to spowodowałoby intensywne gazowanie.

Teoretycznie można byłoby wykorzystać jakkolwiek prymitywny prostownik według rysunku 3, kontrolować woltmierzem napięcie i wyłączyć ładowanie, gdy napięcie wzrośnie do wartości granicznej. W praktyce

taki sposób kontroli nie zda egzaminu. Trzeba wyeliminować udział człowieka. Ponadto wielu producentów podaje, że akumulatory AGM i żelowe powinny być ładowane „ładkim” prądem stałym o jak najmniejszej zawartości tętnień.

Dlatego do współpracy z akumulatorami żelowymi i AGM stosuje się ładowarki, które w istocie są stabilizatorami o określonym napięciu, zwykle zawierającymi też obwód ogranicznika prądu.

Schemat ładowarki z ogranicznikiem prądu pokazuje **rysunek 12**. W początkowej fazie ładowania akumulator ładowany jest stałym prądem, wyznaczonym przez wartość rezystora R3 ($I \sim 0,7 V/R3$). Gdy spadek napięcia na R3 zbliża się do 0,7 V, zaczyna się otwierać tranzystor T1 i napięcie jest obniżane na tyle, żeby utrzymać niezmienny prąd. W tej początkowej fazie w ładowarce działa ogranicznik prądu, a napięcie stopniowo rośnie. Gdy napięcie dojdzie do wartości wyznaczonej przez R1 oraz R2+P1, ładowarka zaczyna pracować jako zwykły stabilizator napięcia z kostką LM317 w najprostszej aplikacji. Napięcie już nie rośnie, a to powoduje, że w bliskim pełnego naładowania akumulatorze prąd samoczynnie zaczyna się płynnie zmniejszać, praktycznie do zera.

Przebieg tej najpopularniejszej procedury ładowania, zwanej CCCV (*constant current, constant voltage*), przedstawiony jest na **rysunku 13**. Niedopuszczenie do nadmiernego wzrostu napięcia skutecznie zapobiega gazowaniu. Metodą CCCV ładowane są też akumulatory litowe (Li-Ion, LiPo, LiFePO4), tylko różne są dopuszczalne prądy i napięcia.

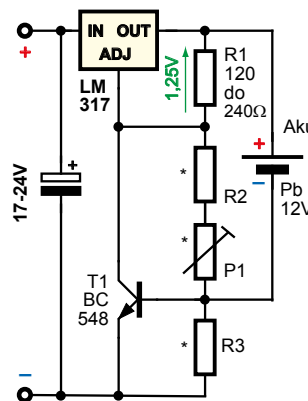
W zasadzie kwestia maksymalnego prądu ładowania została omówiona. Warto jednak zauważyć, że w katalogach podawane są charakterystyki takiego ładowania przy stosunkowo małym prądzie 0,1 C. Przykład na **rysunku 14**. Przy takim prądzie czas ładowania wynosi 15...20 godzin, co w wielu przypadkach byłoby czasem niedopuszczalnie długim. Można skrócić czas ładowania, zwiększając prąd do katalogowej wartości maksymalnej. Także i wtedy czas ładowania będzie 1,5...2 razy dłuższy, niż wynikałoby z podzielenia

Szczelne, bezobsługowe akumulatory ołowiowo-kwasowe

EUROPOWER serii EP

Typ akumulat.	Un [V]	Pojemność [Ah]				Waga [kg]	Rezyst. wewn. [mΩ]	Maks. prąd ładow. [A]
		20[h]	10[h]	5 [h]	1 [h]			
EP 1,2 - 6	1,2	1,14	1,02	0,72	0,30	65	0,36	
EP 3 - 6	3,0	2,85	2,55	1,8	0,65	30	0,9	
EP 4,5 - 6	6	4,5	4,28	3,83	2,7	0,91	1,35	
EP 7 - 6	7,0	6,65	5,95	4,2	1,30	16	2,1	
EP 12 - 6	12,0	11,4	10,2	7,2	2,05	10	3,6	
EP 1,2 - 12	1,2	1,14	1,02	0,72	0,59	120	0,36	
EP 2,3 - 12	2,3	2,19	1,96	1,38	0,94	75	0,69	
EP 3,6 - 12	3,6	3,42	3,06	2,16	1,35	50	1,08	
EP 5 - 12	5,0	4,75	4,25	3,0	1,92	27	1,5	
EP 7,2 - 12	7,2	6,84	6,12	4,32	2,54	25	2,16	
EP 12 - 12	12	11,4	10,2	7,2	4,03	18	3,6	
EP 17 - 12	17	16,15	14,45	10,2	6,15	16	5,1	
EP 28 - 12	28	26,6	23,8	16,8	9,60	10	8,4	
EP 33 - 12	33	31,4	28,1	19,8	11,75	9	9,9	

Rysunek 11. Maksymalny prąd ładowania akumulatora (fragment karty katalogowej)

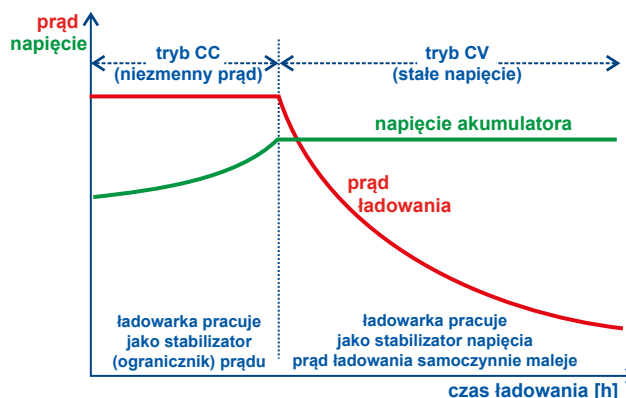


Rysunek 12. Schemat ładowarki z ogranicznikiem prądu

pojemności nominalnej C przez prąd ładowania (ogranicznika). Jak widać, podstawowe układy elektroniczne ładowarek mogą być i są proste. Pozostaje jednak problem napięcia.

Praca cykliczna i buforowa

Na niektórych akumulatorach na obudowie podany jest maksymalny prąd ładowania oraz dwa napięcia, a właściwie dwa zakresy napięć. Przykład na **fotografii 15**.



Rysunek 13. Przebieg najpopularniejszej procedury ładowania CCCV (constant current, constant voltage)

EUROPOWER®

akumulacja jakości



Akumulatory EUROPOWER® to ponad **80 modeli** o pojemności od **1,2 do 230 Ah**, napięciu **6 i 12 V**; żywotności projektowanej - przy pracy buforowej - od **5 do 12 lat** oraz przy pracy cyklicznej - do **1800** cykli rozładowania/ładowania.

Niezawodność, wysoka powtarzalność parametrów oraz długa żywotność rzeczywista gwarantują niskie koszty eksploatacji i bezpieczeństwo pracy Twoich urządzeń.



EMU Sp. z o.o. Sp. k.

ul. Twarda 12, Gdańsk, tel. 58 344 04 01÷03

info@emu.com.pl, www.emu.com.pl

Dopuszczalne napięcie *Cycle use* dotyczy *pracy cyklicznej*, czyli takiej, gdy akumulator jest w ciągu kilku do kilkunastu godzin ładowany, a potem w dłuższym lub krótszym czasie rozładowany. Przykładem jest akumulator od elektrycznego skutera, który pracuje cyklicznie.

Natomiast *Standby use* to tzw. praca buforowa, gdy akumulator jest cały czas pod napięciem, gotowy do pracy. Typowym przykładem jest UPS. Inny przykład do rezerwowe źródło zasilania domowego systemu alarmowego. Wtedy przez cały czas akumulator dołączony jest do ładowarki-zasilacza, więc nic dziwnego, że napięcie jest niższe, niż przy pracy cyklicznej. Jak widać na fotografii 15, napięcie przy pracy buforowej ma wynosić 13,5...13,8 V, przy pracy cyklicznej końcowe napięcie ładowania może wynosić 14,4...15,0 V. Ponieważ akumulator 12-woltowy ma sześć cel, daje to w trybie buforowym 2,25...2,30 V/celę, a w trybie cyklicznym 2,4...2,5 V/celę.

Problem temperatury

Podane zakresy napięcia końcowego zasadniczo dotyczą temperatury 20°C. Gdy natomiast temperatura akumulatora jest inna, należy dostosować napięcie ładowania. I u zaczyna się kłopot. Różne firmy podają nieco inne dane na temat kompensacji wpływu temperatury. W różnych źródłach można spotkać informacje, że w ładowanym akumulatorze napięcie każdej celi należy zmieniać ze współczynnikiem od -3 do -6 miliwoltów na stopień Celsjusza. Oznacza to, że w niższych temperaturach napięcie ładowania ma być wyższe, bo inaczej akumulator nie naładuje się w pełni. Przy wyższych temperaturach napięcie ładowania należy obniżyć, bo wzrost temperatury obniża próg gazowania i pojawia się ryzyko tzw. przebiecia termicznego (*thermal runaway*). Otóż sytuacja jest podobna jak w diodzie półprzewodnikowej, w której przy niezmiennym napięciu przewodzenia, prąd przewodzenia rośnie wraz ze wzrostem temperatury. Dla diody 1N4148 ilustruje to **rysunek 16**: przy niezmiennym napięciu 0,6 V na diodzie, w temperaturze -25°C prąd wyniesie około 0,15 mA, w temperaturze +25°C wzrośnie do ponad 1 mA, a w temperaturze +125°C przekroczy 20 mA. Gdy prąd rośnie, rośnie też moc strat i ilość wydzielanego ciepła, co dodatkowo podwyższa temperaturę złącza. Wyższa temperatura złącza jeszcze bardziej zwiększa płynący prąd. Przy większych prądach następuje dodatnie sprzężenie zwrotne, które może doprowadzić do nadmiernego wzrostu temperatury i uszkodzenia. Podobnie jest w akumulatorze kwasowym. W diodach i tranzystorach bipolarnych problem ten występuje przy równoległym ich łączeniu, natomiast w akumulatorach kwasowych problem przebiecia termicznego może wystąpić nawet przy ładowarce z ograniczeniem napięcia, o ile temperatura będzie za wysoka a prąd ładowania duży. W praktyce dotyczy to głównie pracy cyklicznej, gdzie chcąc

jak najszybciej naładować akumulator pracujemy z możliwie dużymi, maksymalnymi dopuszczalnymi prądami ładowania, rzędu 0,2...0,3 C. Przy pracy buforowej problem występuje rzadko, bo zwykle temperatury pracy są niższe, a prądy ładowania mniejsze, często 0,1 C lub mniej.

W każdym razie problem przebiecia termicznego szczelnych akumulatorów żelowych i AGM przy pracy cyklicznej jest istotnym zagrożeniem, którego nie należy lekceważyć.

W niektórych kartach katalogowych podaje się wartości współczynnika cieplnego, najczęściej -3 mV/°C na celę dla pracy buforowej oraz -5 mV/°C na celę dla pracy cyklicznej. Dla akumulatora 12-woltowego daje to odpowiednio -18 V/°C oraz -30 mV/°C. Można trafić na informację, że współczynnik cieplny powinien być dostosowany nie tylko do trybu pracy (cykliczna/buforowa), ale też... temperatury. W niższych temperaturach korekcyjny współczynnik cieplny powinien być większy. W jeszcze innych kartach katalogowych można znaleźć wykresy, a ich nieliniowy przebieg wskazuje, iż kwestia kompensacji cieplnej jest dość złożona. Przykład masz na **rysunku 17**.

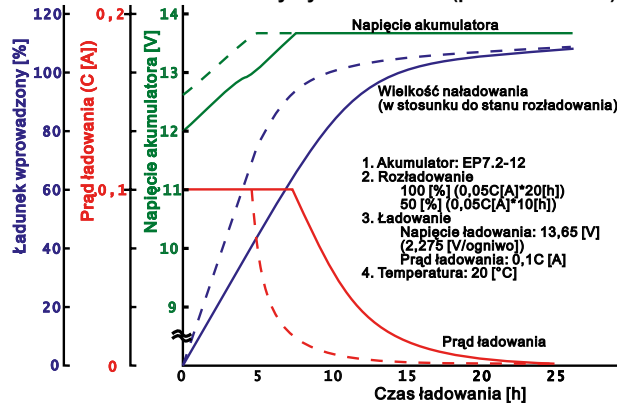
Nie zawsze jednak ładowarka musi mieć obwód czujnika temperatury, korygującego napięcie ładowania. Przykładowo, jeżeli akumulator będzie pracował buforowo w systemie alarmowym w mieszkaniu, to można założyć, iż zakres spodziewanych zmian temperatury otoczenia i akumulatora wyniesie 15°C, od +15°C do +30°C, czyli inaczej mówiąc 22,5°C ± 7,5°C.

Przyjmując dla trybu buforowego akumulatora 12 V współczynnik cieplny -18 mV/°C, przy zmianach temperatury o 15 stopni powinniśmy zmieniać napięcie akumulatora o 270 mV (0,27 V). Tymczasem jak widzimy na fotografii 15, zalecany zakres napięcia przy pracy buforowej wynosi 13,5...13,8 V, czyli margines 300 mV jest większy, niż wyliczona kompensacja. Oznacza to, że można uprościć układ ładowarki buforowej i ustawić w temperaturze 22°C niezmiennie napięcie buforowe około 13,6...13,65 V.

Przy pracy buforowej w zakresie temperatur +15°C...+35 nie ma konieczności do dawania obwodu kompensacji temperatury – wystarczy w temperaturze pokojowej ustawić napięcie buforowe 13,65 V, czyli 2,275 V/ogniwo.

Inaczej jest przy pracy cyklicznej. Rozważmy teraz przykład akumulatora AGM do łódki wędkarskiej przy znacznym prądzie ładowania. Załóżmy, że jest to stosunkowo mały akumulator 40 Ah, który ładujemy w domu letniskowym dużą ładowarką prądem 10 A. Należy założyć, że podczas upalnego lata otoczenie

EUROPOWER EP charakterystyka ładowania (praca buforowa)

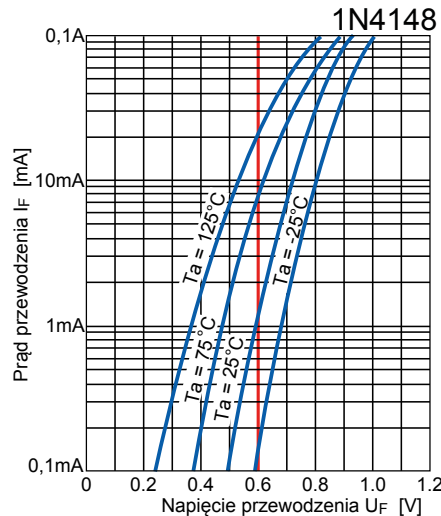


Rysunek 14. Charakterystyka ładowania

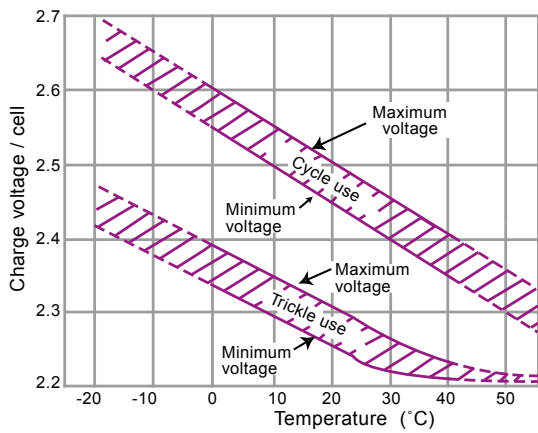


Fotografia 15. Na obudowach niektórych akumulatorów jest podany maksymalny prąd ładowania oraz dwa zakresy napięcia

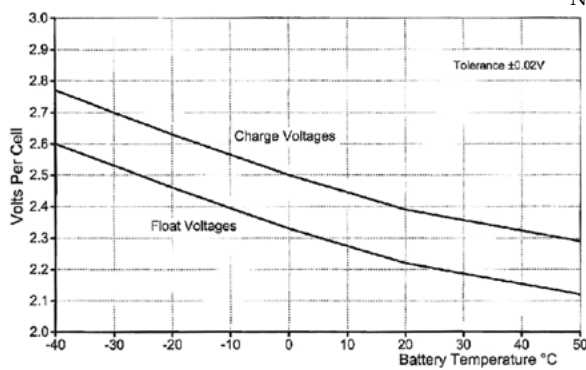
może mieć nawet +35°C, a przy prądzie ładowania 10 A dojdzie do tego podgrzewanie wnętrza akumulatora, więc możemy przyjąć maksymalną temperaturę akumulatora +55°C. Z kolei temperatura wiosną i jesienią może spaść nawet poniżej 0 stopni i wewnątrz dobrze chłodzonego akumulatora będzie miało około zera stopni. Jeżeli założymy zakres temperatur pracy od 0



Rysunek 16. Charakterystyka przejściowa diody 1N4148



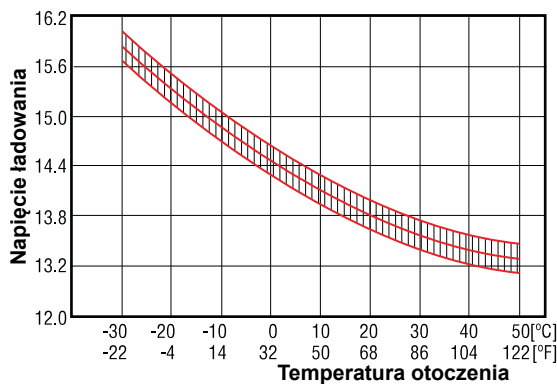
Rysunek 17. Zależność napięcia ładowania od temperatury



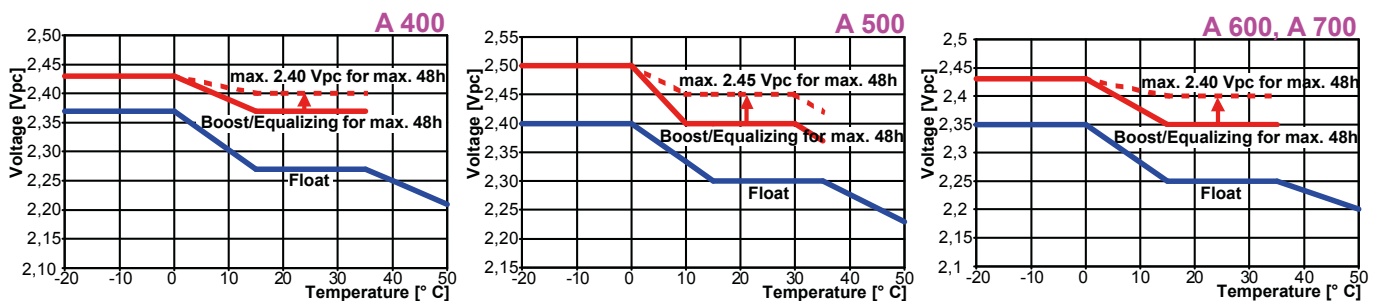
Rysunek 18. Wąskie zakresy graniczne dla pracy cyklicznej i buforowej

do +55°C i współczynnik cieplny -30 mV/°C przy pracy cyklicznej powinniśmy zmieniać końcowe napięcie ładowania aż o 1,65 V!

W temperaturze +20°C zalecany zakres napięć ładowania wynosi 14,4...15,0 V. Gdy takie napięcie zastosujemy przy temperaturze



Rysunek 19. Zalecane charakterystyki ładowania pewnego akumulatora żelowego



Rysunek 20. Zalecenia dotyczące różnych serii akumulatorów żelowych Sonnenschein

0 stopni Celsjusza, akumulatora po prostu nie naładujemy. Przy współczynniku -30 mV/°C zakres napięć ładowania w temperaturze bliskiej zeru powinien wynosić 15,0...15,6 V. Natomiast przy temperaturze akumulatora +55°C napięcie końcowe powinniśmy zmniejszyć do 13,35...13,95 V, by nie dopuścić do gazowania i przebicia termicznego.

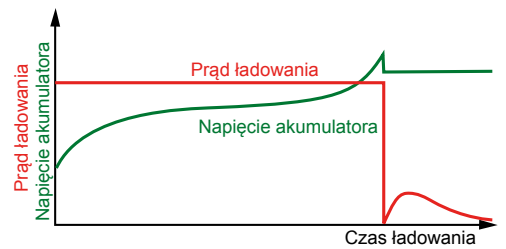
Zgadza się to, a przynajmniej jak najbardziej zgadzają się górne granice napięć, z rysunkiem 17. Niemniej poszczególni producenci dla swoich akumulatorów

podają nieco inne informacje. I tak można znaleźć zalecenia, żeby napięcie przy ładowaniu cyklicznym wynosiło 14,5...14,9 V, a przy buforowym 13,6...13,8 V. Rysunek 18 pokazuje znacznie węższe zalecane zakresy napięcia dla pracy cyklicznej i buforowej, określone z tolerancją 20 mV. Rysunek 19

pokazuje znacznie węższe zalecane zakresy napięcia dla pracy cyklicznej i buforowej, określone z tolerancją 20 mV. Rysunek 19 pokazuje znacznie węższe zalecane zakresy napięcia dla pracy cyklicznej i buforowej, określone z tolerancją 20 mV. Rysunek 19

zalecane charakterystyki ładowania pewnego akumulatora żelowego. Interesujące dane zawiera rysunek 20, pokazujący zalecenia dotyczące różnych serii akumulatorów żelowych Sonnenschein. Jak widać, w związku z różnicami konstrukcji, inne są zalecane wartości napięcia ładowania. Jeżeli użytkownik ma dostęp do tego rodzaju danych swojego akumulatora, należy się do nich stosować, by uzyskać optymalne parametry i trwałość.

Ktoś mógłby tu stwierdzić, iż należy monitorować nie temperaturę otoczenia, tylko temperaturę wnętrza akumulatora, co jednak jest bardzo trudnym, a nawet niewykonalnym zadaniem. W zasadzie tak, ale w praktyce już czujnik temperatury otoczenia może zapewnić prawidłową kompensację, a nawet okazać się lepszy niż mierzenie temperatury wnętrza akumulatora. Okolicznością



Rysunek 21. Przebieg ładowania przyspieszonego

przyjającą jest fakt, że nagrzewanie wnętrza akumulatora znacznym prądem ładowania będzie najsilniejsze w pierwszej fazie. Natomiast po osiągnięciu wyznaczonego napięcia, prąd będzie mały i akumulator będzie powoli stył do temperatury otoczenia.

I tu trzeba wspomnieć o przyspieszonym procesie ładowania, który jednak wymaga nieco bardziej inteligentnej ładowarki. Mianowicie przyspieszenie polega na tym, że w pierwszej fazie ładowania ustawione jest podwyższone napięcie maksymalne, dzięki czemu akumulator można naładować szybciej, bo później zacznie się zmniejszać prąd, gdy będzie już praktycznie w pełni naładowany. Gdy napięcie ładowanego akumulatora dojdzie od ustawionej podwyższonej granicy, a prąd wreszcie zacznie się zmniejszać, następuje przełączenie – obniżenie wartości napięcia ładowarki, co wprawdzie powoduje gwałtowne zmniejszenie prądu ładowania, ale za to niższe, bezpieczne napięcie wykluczy groźbę gazowania nawet wtedy, gdy akumulator pozostanie długo dołączony do ładowarki. Charakterystyki takiego ładowania pokazane są na rysunku 21, a taka ładowarka wbrew pozorom, może być prosta.

Taka idea jest interesująca, jednak w literaturze trudno znaleźć konkretne wskazówki i informacje o poziomach napięć podczas ładowania dwustopniowego. Niemniej podobne „przyspieszone ładowanie” zachodzi wtedy, gdy w pierwszej fazie temperatura wzrasta pod wpływem znacznego prądu, a potem prąd maleje i akumulator stygnie. Także i w tej kwestii nie ma konkretnych informacji, a te, które można znaleźć w materiałach producentów, nie są spójne. Przy próbie samodzielnej realizacji trzeba pamiętać o możliwości przebicia termicznego, by doń nie dopuścić.

Piotr Górecki
pg@elportal.com.pl