

BatLIBICT22: Zastosowanie akumulatorów LIB w systemach gwarantowanego zasilania aplikacji ICT.

1. WPROWADZENIE

System akumulatorów podłączony do zasilacza awaryjnego (UPS) ma kluczowe znaczenie dla jego ciągłej pracy. Bez dobrze utrzymanego, wysokiej jakości systemu akumulatorów, który będzie działał w razie awarii sieci elektroenergetycznej, system teleinformatyczny jest bezużyteczny.

W przypadku systemu gwarantowanego zasilania awaria baterii akumulatorów jest równie poważna i niechciana jak każda POWAŻNA przerwa w zasilaniu sieciowym. Baterie stanowią również znaczną część całkowitego kosztu zasilania. Właściwe ich utrzymanie jest niezbędne.

Ignorowanie zaleceń dotyczących konserwacji i okresowego serwisu oraz pozostawienie systemu akumulatorów w złym stanie zwiększa ryzyko dla odbiorców krytycznych i braku ciągłości ich działania.

Chociaż moduły litowo-jonowe, stają się coraz bardziej popularne i opłacalne komercyjnie, większość zasilaczy UPS i siłowni telekomunikacyjnych nadal korzysta z tradycyjnych zamkniętych akumulatorów kwasowo-ołowiowych.

Aby bezpiecznie migrować z technologii VRLA do rozwiązań opartych na technologii LIB (Lithium Batteries) warto zapoznać się z korzyściami i ograniczeniami jakie niosą nowe technologie akumulatorowe w zakresie wydajności, trwałości i bezpieczeństwa.

2. OGRANICZENIA TECHNOLOGII VRLA I OCZEKIWANIA WOBEC LIB

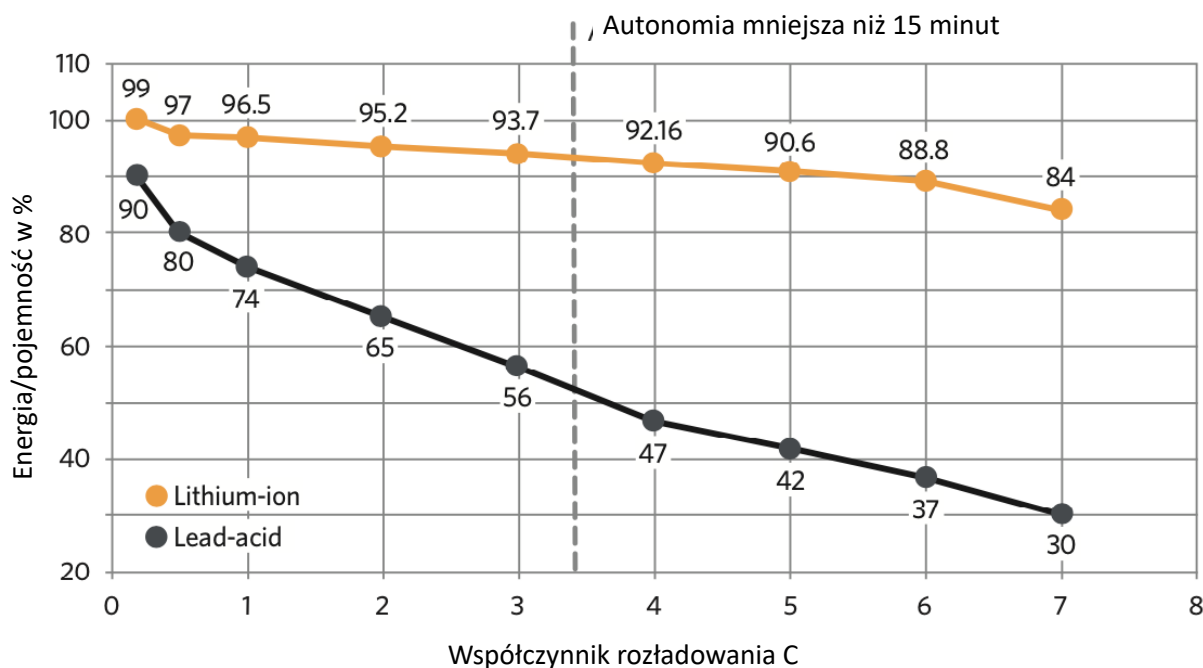
Wady i zalety akumulatorów VRLA w systemach UPS z punktu widzenia praktyki eksploatacji opisaliśmy w dokumencie „BatZUPS22: Zasady bezpiecznej eksploatacji akumulatorów w systemach UPS.” Użytkownicy mają zastrzeżenia głównie do rzeczywistej żywotności w porównaniu z projektowaną oraz z wysokimi kosztami wymiany akumulatorów. Jednak technologia akumulatorów szybko się rozwija w ostatnich latach. Już teraz dostępne są akumulatory AVRLA z innowacyjnymi stopami ołowiu, dodatkami nanowęglowymi i mikro rekombinatorami, które znacząco zwiększają żywotność (20 lat), cykliczność (1500 cykli 60%DoD) czy też odporność na pracę w wysokich temperaturach do 60°C oraz gęstość upakowania dzięki konstrukcji „front terminal”.

Elektromobilność robi świetną reklamę akumulatorom LIB – zwłaszcza tam, gdzie ważna jest wysoka gęstość energii, niska waga i ograniczenie przestrzeni zabudowy. To oczywista przewaga nad VRLA. Dłuższą żywotność, krótsze czasy doładowania, niższe koszty rozwiązań akumulatorów litowo-jonowych musimy dopiero testować i potwierdzić praktyką eksploatacyjną.

3. PIERWSZE DOŚWIADCZENIA Z EKSPLOATACJI AKUMULATORÓW LIB W SYSTEMACH GWARANTOWANEGO ZASILANIA UPS.

Chociaż akumulatory litowo-jonowe mają ograniczoną obecność na rynku zasilaczy UPS i siłowni telekomunikacyjnych, ich popularność rośnie w innych obszarach dzięki postępowi technologicznemu i obniżeniu kosztów. Akumulatory litowo-jonowe znajdują zastosowanie na dużą skalę w zastosowaniach do magazynowania energii elektrycznej, a dzięki dużej gęstości mocy i energii często znajdują się w systemach energii odnawialnej wiatrowej i słonecznej.

Akumulatory litowo-jonowe mają lepszy stosunek mocy do masy niż podobnie oceniane typy VRLA (patrz Tabela 1). Wyładowują się również wydajniej niż VRLA przy wysokich szybkościach rozładowania, chociaż ta zaleta staje się mniej istotna przy niższych szybkościach rozładowania (patrz Rysunek 1).



Rysunek 1: Porównanie wydajności prądowej rozładowania VRLA i LIB. Szybkość rozładowania (znana jako C) odnosi się do prądu pobieranego z akumulatora przez pewien okres czasu. 1C to prąd do rozładowania akumulatora w ciągu godziny. Wyładowanie dwugodzinne określa się jako 0,5C, a szybsze wyładowania, na przykład 30 minut, określa się jako 2C.

Szybkości ładowania ze stanu pełnego rozładowania są również wyższe, o ile ładowarka może dostarczyć wymaganą moc. Pełne naładowanie można ukończyć w ciągu trzech godzin, w porównaniu z typowym ładowaniem do 80% w ciągu 6-8 godzin w przypadku VRLA.

Autonomia modułowego systemu zasilania N+1 200kW	Praktyczna redukcja fizycznej wielkości baterii LIB w porównaniu do VRLA
7 minut	90%
15 minut	233%
30 minut	324%

Tabela 1: Porównanie wymiarów i mas akumulatorów litowo-jonowych i VRLA systemu 200kW N+1

Kolejną zaletą jest bardzo szeroki zakres temperatur użytkowych, chociaż szybkość rozładowania i żywotność można zwykle zoptymalizować, pracując w temperaturze $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Akumulatory litowo-jonowe mają lepszą odporność na temperatury spoza tego zakresu, przy znacznie lepszych możliwościach rozładowania w niskich temperaturach niż VRLA. Dzięki temu akumulatory litowo-jonowe znacznie lepiej sprawdzają się w środowiskach o niekontrolowanej temperaturze, w których można zastosować chłodzenie swobodne przy użyciu powietrza zewnętrznego o niższej temperaturze.

Jednak, podobnie jak VRLA, praca w zbyt wysokich temperaturach znacznie skraca żywotność akumulatorów litowo-jonowych. Rysunek 2 przedstawia więcej szczegółów na temat względnych profili temperatury/żywotności tych dwóch technologii.

Koszt to kolejny krytyczny czynnik. Ceny znacznie spadły w ciągu ostatniej dekady, a te obniżki w naturalny sposób zwiększają atrakcyjność akumulatorów litowo-jonowych. Niemniej jednak, ceny akumulatorów litowo-jonowych nadal są wyższe od standardowych akumulatorów VRLA o 25-30%. Jednak zdecydowanie

jestemy na wczesnym etapie adopcji LIB. Choć ceny nie spadają już tak szybko, jak poprzednio, nadal podążają w dół, powodując ciągły wzrost popularności. W Europie i na Bliskim Wschodzie występują opóźnienia w przyjmowaniu technologii LIB, ale coraz częściej stosuje się je już w Ameryce Północnej i Azji.

Deklarowana żywotność akumulatorów LIB dla zastosowań stacjonarnych to obecnie 15 lat. Okres eksploatacji jest bliższy 10-12 lat i nie został jeszcze udowodniony. Porównuje się to z rzeczywistą normą dla średniej klasy VRLA wynoszącą 7-8 lat. Entuzjaści akumulatorów litowo-jonowych wskazują na długowieczność akumulatorów jako zaletę kompensującą wyższy koszt kapitałowy. Jednak doświadczenie dostawców UPS pokazuje, że zasilacze UPS – prawidłowo zainstalowane w odpowiednim środowisku oraz właściwie konserwowane i obsługiwane – są zazwyczaj niezawodne przez 15 lat. To zgrabnie pasuje do dwóch kolejnych generacji 7-8-letnich akumulatorów VRLA, ale powoduje problemy z koordynacją wymiany w przypadku 10-12-letnich akumulatorów litowo-jonowych.

Zastosowanie akumulatorów Li-ion jest również niekorzystne ze względu na rzeczywiste koszty uzyskania odpowiedniej autonomii, która tradycyjnie wynosi 10-15 minut dla zasilaczy UPS. Jednak w rzeczywistości większość przerw w dostawie prądu dla dużych systemów ze wsparciem generatora lokalnego trwa trzy minuty lub krócej. Koszty VRLA można zmniejszyć w takim przypadku, projektując go z myślą o niższej autonomii, to samo nie dotyczy akumulatorów litowo-jonowych. Tak krótkie czasy autonomii można uzyskać tylko z droższych ogniw o wyższej dopuszczalnej szybkości rozładowania. Dokładne i oszczędne dobieranie rozmiarów dla różnych obciążeń jest również trudne w przypadku – obecnie bardzo ograniczonego – wyboru pojemności akumulatorów litowo-jonowych. Jak pokazują doświadczenia rynku BESS klasy Utility praca z tak dużą gęstością prądów niesie ryzyko pożarów i konieczność stosowania kosztownych systemów wykrywania i gaszenia baterii LIB.

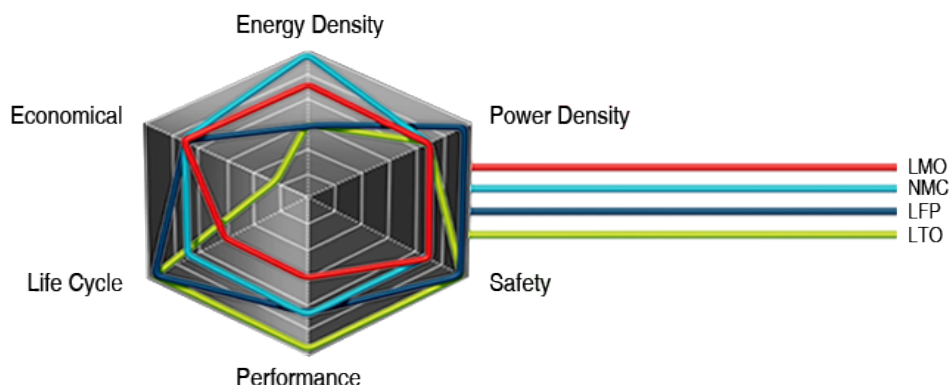
Pozostaje też element nieufności. Producenci poczynili znaczne postępy w rozwiązywaniu obaw związanych z bezpieczeństwem dzięki wysoce segregowanym projektom ogniw oraz obowiązkowym zaawansowanym systemom monitorowania i zarządzania; jednak akumulator litowo-jonowy jest nadal czasami postrzegany jako niesprawdzony i stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa.

Koniec życia stwarza dalsze problemy; Wyeksploatowany akumulator litowo-jonowy zawiera przede wszystkim odpady niebezpieczne, które są trudne do recyklingu i podlegają wysokim kosztom i ograniczeniom podczas transportu. Ten problem całkowicie został wyeliminowany przy utylizacji akumulatorów VRLA, gwarantując 98% recykling tej starszej technologii.

Obecnie bariery, z którymi boryka się technologia LIB w aplikacjach stacjonarnych, oznaczają, że jego absorpcja ogranicza się głównie do zastosowań wymagających szybkiego rozładowania lub zastosowań o ograniczonej przestrzeni.

Oczekuje się, że ceny będą nadal spadać, choć wolniej, głównie dzięki wzrostowi w branży pojazdów elektrycznych i napędów. Ponieważ tak się dzieje, a akumulatory litowo-jonowe stają się coraz bardziej akceptowane przez właścicieli i operatorów systemów zasilania gwarantowanego, można oczekiwać, że penetracja rynku baterii do centrów danych i rozproszonej infrastruktury sieci 5G będzie wzrastać. Ten wzrost zostanie przyspieszony, gdy dostępne staną się realne strategie recyklingu. W każdym razie branża ICT jest zmotywowana do zastąpienia VRLA ze względu na dostrzegane problemy z niezawodnością i ograniczenia środowiskowe. Jednak VRLA również będzie się rozwijał. Choć nie jest to obowiązkowe w przypadku VRLA, coraz częściej stosuje się systemy monitorowania i zarządzania akumulatorami. Mogą one wydłużyć żywotność baterii VRLA, potencjalnie nawet o 30%. Może to na przykład wydłużyć żywotność baterii poprzez monitorowanie i ostrzeganie, gdy wymagana jest uwaga, oraz przez zarządzanie procesem balansowania ogniw, który koryguje zakres roboczy napięcia ładowania.

4. Wielka różnorodność w rodzinie akumulatorów LIB.



Akumulatory LIB w zależności do zastosowanych materiałów katody i anody mogą dramatycznie różnić się parametrami elektrycznymi i eksploatacyjnymi między sobą. Dla projektantów systemów zasilania oraz służb eksploatacyjnych świadomość zastosowanej technologii LIB ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa i wydajności baterii akumulatorów.

Obecnie praktyczne zastosowanie w systemach stacjonarnych mają dwie technologie LIB: NMC i LFP. NMC przekomuje gęstością mocy i dobrą ceną, LFP niespotykanym w innych LIB poziomem bezpieczeństwa i odpornością na błędy użytkowników.

Nazwa technologii LIB	LCO	NCA	NMC	LMO	LFP	LTO
Katoda	LiCoO ₂	LiNi _x Co _y Al _z	LiNi _x Mn _y Co _z	LiMnO ₂	LiFePO ₄	LMO
Anoda	Grafit	Grafit	Grafit	Grafit	Grafit	Li _x Ti _y O _z
Napięcie nominalne ogniwa	3,6-3,8V	3,6V	3,6-3,7V	3,8V	3,2V	2,4V
Gęstość energii Wh/kg	100-180	140-200	160-200	135-220	100-130	80
Obciążenie ciągłe	0,5-1C	0,5-1C	0,5-1C	0,5-1C	0,5-1C	0,5-1C
Obciążenie impulsowe	4C	10-20C	4-20C	5-15C	5-20C	20C
Bezpieczeństwo	Niskie	Średnie	Średnie	Średnie	Wysokie	Wysokie
Żywotność	5-8	10-20	7-10	10-12	8-12	20
Cykliczność 80% DoD	1000	3000	2000	3000	3000	10000
Koszty	Niskie	Średnie	Niskie	Średnie	Średnie	Wysokie

Tabela 3 – Najpopularniejsze technologie LIB i ich cechy użytkowe.

NMC ma wyższy stosunek masy i objętości energii do gęstości niż chemia LFP. Dodatkowo chemia NMC ma niższy koszt w przeliczeniu na watogodzinę. W rezultacie wyższa gęstość energii i niższy koszt sprawiają, że NMC jest optymalną chemią dla większości zastosowań konsumenckich o mniejszej mocy. Oznacza to, że

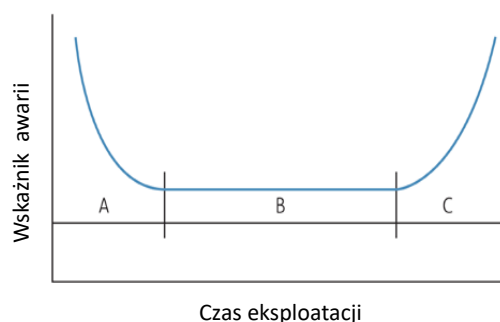
przy określonej ilości wolnej przestrzeni dla UPS, UPS oparty na NMC zapewni dłuższy czas pracy niż UPS oparty na LFP o porównywalnej wielkości.

Trzy główne wymiary wpływają na żywotność akumulatora litowo-jonowego: liczba cykli, czas użytkowania i temperatura otoczenia środowiska pracy. Normy branżowe mierzą efektywność baterii, porównując rzeczywistą pojemność z pierwotną pojemnością nowej baterii. Akumulatory LFP zapewniają co najmniej 2000 do 3000 pełnych cykli ładowania/rozładowania, zanim osiągną 80% swojej pierwotnej pojemności. Typowe akumulatory NMC zapewniają do 2000 pełnych cykli ładowania/rozładowania, zanim osiągną 80% swojej pierwotnej pojemności. Oznacza to, że akumulatory LFP zapewniają do 1,5 razy dłuższy cykl życia niż typowe akumulatory NMC. Żywotność baterii NMC wynosi do 8 lat, natomiast żywotność baterii LFP zwykle przekracza 10 lat.

Baterie LFP mają bardziej bezpieczny materiał katodowy niż baterie NMC i nie ulegają rozkładowi w wyższych temperaturach. W efekcie akumulatory LFP zapewniają najlepszą stabilność termiczną i chemiczną, co zapewnia lepsze bezpieczeństwo niż akumulatory NMC. Akumulator LFP wejdzie w stan niekontrolowanej temperatury dopiero przy 195°C i uwolni minimalną ilość energii. Typowa bateria NMC może wejść w stan niestabilności termicznej już 170° i uwolni więcej energii i będzie palić się w znacznie wyższej temperaturze. LFP jest jednym z najbezpieczniejszych dostępnych chemicznie akumulatorów litowo-jonowych.

5. ŻYWOTNOŚĆ I PRZEDWCZESNA AWARIA BATERII (krzywa wanny).

Akumulatory LIB nie różnią się od innych urządzeń lub komponentów systemów i wpisują się w „krzywą wanny” :



- Okres A – Awarie "śmiertelności niemowląt": odpowiadają wczesnym awariom spowodowanym przez składnik lub wadę produkcyjną lub problem z transportem lub instalacją.
- Okres B – "losowe" awarie: podczas normalnego okresu pracy zasilacza UPS wskaźnik tych awarii jest zwykle niski i dość stały.
- Okres C – awarie "zużycia": pod koniec okresu eksploatacji wskaźniki awarii systemu znacznie wzrastają. Problemy z baterią są powszechne i mogą stanowić ponad 98% awarii UPS na tym etapie.

6. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA ŻYWOTNOŚĆ BATERII LIB

Temperatura

Wysoka temperatura otoczenia jest ogólnie uważana za najczęstszą przyczynę przedwczesnej awarii baterii WSZYSTKICH ZNANYCH technologii. Im wyższa temperatura tym szybsza reakcja chemiczna. Akumulatory LIB mają pojemność znamionową opartą na optymalnej temperaturze roboczej 20-25°C. Ogólnie przyjmuje się, że oczekiwana żywotność zmniejszy się o 50% przy każdym stałym wzroście temperatury o 10°C powyżej zalecanej temperatury.

Niekontrolowany wzrost temperatury to kolejny czynnik, który ma wpływ na akumulatory LIB. Dzieje się tak, gdy temperatura wewnętrzna w akumulatorze staje się nadmierna wraz ze wzrostem ciśnienia. Szybkość ciepła i ciśnienia, które zaczynają rosnąć, powoduje rozpad elektrolitu i katody z tlenku metalu. W akumulatorze zaczynają gromadzić się gazy; otwory wentylacyjne nie są w stanie wystarczająco szybko odprowadzić gazów z akumulatora. Gdy jedno ogniwo w module doświadczy skokowego wzrostu

temperatury, sąsiednie ogniwa będą również się silnie rozgrzewać. Nic nie może powstrzymać tego efektu, dopóki bateria się nie zapali lub eksploduje.

Rozbieganiu termicznemu zwykle zapobiegają systemy zarządzania baterią (BMS) znajdujące się w pakiecie baterii. BMS ma funkcje bezpieczeństwa, które zapobiegają przeładowaniu, przepięciu, nadmiernemu rozładowaniu i innym problemom. System zapewnia, że bateria nadal działa na bezpiecznych poziomach operacyjnych. Może również monitorować i regulować temperaturę oraz odprowadzać nadmiar energii podczas ładowania. BMSy najczęściej przechowują informacje diagnostyczne i przypadku problemów z akumulatorem, technicy mogą te dane analizować i rozwiązywać problemy.

Niskie temperatury nie stanowią większego zagrożenia dla LIB podczas rozładowania. Krytyczne dla wielu technologii LIB jest ładowanie baterii poniżej 0°C. Dochodzi wówczas do nieodwracalnego osadzania się metalicznego litu na powierzchni anody ogniwa.

Rozwiązaniem tego problemu jest:

- zapewnienie ogrzewania baterii w temperaturach ujemnych za pomocą kontrolowanych mat grzewczych,
- blokowanie przez BMS możliwości ładowania baterii LIB poniżej 0°C.

Technika ładowania

Poza omówionym wcześniej problemem z ładowaniem baterii LIB w ujemnych temperaturach spotykamy ryzyka wynikające z przeładowania ogniwa w wyniku złej parametryzacji zasilacza oraz BMSów. Jeżeli BMS nie zapewnia skutecznej protekcji przez zbyt wysokim prądem w fazie BOOST oraz wysokim napięciem w fazie float możemy spodziewać się przegrzania i w jego efekcie skutków rozbiegania termicznego ogniwa i pożaru.

Tętnienie prądu generowane przez prostownik, ładowarkę lub falownik jest kolejną przyczyną przegrzania, które przyspiesza pogarszanie się stanu ogniwa i prowadzi do przedwczesnej awarii. Graniczną wartością tętnień jest 5 [A] rms na każde 100Ah pojemności.

Parametryzacja BMS

Elementem, który zdecydowanie odróżnia akumulatory LIB od VRLA to integralny moduł BMS, który praktycznie szeregowo jest włączony w obwód mocy między ogniwami a odbiorcami i zasilaczem. Jego uszkodzenie lub niewłaściwe działanie może stać się bezpośrednią przyczyną awarii zasilania i/lub uszkodzenia baterii. Szczególną troską służb eksploatacyjnych na etapie oddania do eksploatacji oraz okresowych kontroli powinno stać się testowanie BMS w zakresie:

- poprawności ustawień parametrów BMS
- kontrola komunikacji BMS z systemem nadrzędnym
- kontrola poprawności obsługi alarmów
- kontrola poprawności działania balansera.

Oddzielny rozdział zostanie poświęcony procedurze odbiorczych testów BMS.

Niewłaściwe przechowywanie nieużywanych baterii

Nawet jeśli baterie LIB pozostają nieużywane, ich żywotność zaczyna się zmniejszać, ponieważ automatycznie rozładowują się przez swoją rezystancję wewnętrzną. Jeśli baterie muszą być przechowywane przez dłuższy czas, zaleca się ich doładowanie zgodnie z wytycznymi producenta.

Zasadom właściwego przechowywania baterii LIB poświęcono osobny rozdział.

Okres pozostawiania baterii w stanie rozładowania

Jeśli bateria jest całkowicie rozładowana poniżej 10% SoC, ważne jest, aby nie pozostawiać jej w tym

stanie przez dłuższy czas, ponieważ może to spowodować trwałe uszkodzenie.

Nieprawidłowe zastosowanie baterii

Ze względu na swoją szczególną rolę, akumulatory UPS są zaprojektowane tak, aby dostarczać wysokie ilości energii w krótkim czasie - zazwyczaj kilka minut. Istnieją inne rodzaje akumulatorów, na przykład do backup'u w systemach teleinformatycznych i rozdzielnicach elektrycznych, które są zaprojektowane tak, aby zapewnić kilkugodzinną autonomię. Używanie baterii przeznaczonej dla telekomunikacji w systemie UPS nie będzie optymalne w przypadku bardzo krótkich czasów autonomii < 30 minut, ze względu na inną konstrukcję wewnętrzną i gęstość elektrolitu.

W przypadku modułowych akumulatorów LIB za właściwe dostosowanie akumulatorów do aplikacji nie zawsze odpowiadają jedynie ogniwa ale także:

- przekroje okablowania wewnętrznego modułów,
- terminale mocy,
- konstrukcja systemu balansującego modułu,
- oprogramowanie BMS.

Także sama topologia zasilacza UPS może również wpływać na wydajność baterii. Zasilacze awaryjne działają w trybie akumulatorowym w dwóch scenariuszach: po pierwsze, przy braku zasilania sieciowego; po drugie, jeśli parametry zasilania sieciowego wykraczają poza tolerancję (tj. napięcie jest zbyt wysokie/niskie lub występuje anomalia częstotliwości podczas uruchamiania generatora).

Niektóre topologie UPS, np. UPS online, mogą obsługiwać szersze okna napięcia wejściowego i/lub częstotliwości, co oznacza, że UPS wyczerpie baterie tylko w nagłych wypadkach, wydłuża to żywotność baterii. Jeśli którykolwiek z problemów wymienionych powyżej nie zostanie szybko wykryty i rozwiązany, może wywołać "efekt domina", który przyspieszy awarię innych baterii w tym samym systemie, nawet jeśli są w idealnym stanie.

Na przykład, jeśli jeden blok/ogniwo przegrzewa się, prawdopodobnie podgrzeją się otaczające ogniwa/bloki, co może ostatecznie spowodować ich awarię. Podobnie, jeśli impedancja akumulatora stanie się problemem, napięcie przyłożone do wszystkich innych ogni w systemie może wzrosnąć, przyspieszając ich degradację.

7. JAK ZAPOBIEC PRZEDWCZESNEJ AWARII BATERII AKUMULATORÓW LIB?

Kilka działań może pomóc zmaksymalizować żywotność akumulatora w systemie gwarantowanego zasilania UPS i zminimalizować ryzyko przedwczesnej awarii.

Znaczenie konserwacji, monitorowania i testowania baterii

Proaktywny i rygorystyczny system konserwacji prewencyjnej jest zalecany dla całego systemu UPS jako całości. Taka praktyka jest szczególnie ważna dla baterii akumulatorów.

Praktyka ta powinna zaczynać się od odpowiedniego systemu monitorowania, który wykrywa wszelkie problemy wystarczająco wcześnie, aby umożliwić szybką wymianę, by nie mogły one przekształcić się w poważną awarię. W przypadku akumulatorów LIB mamy do czynienia z modułami ogni w składających się z wielu ogni połączonych szeregowo i często także równolegle. Dostęp do ich parametrów użytkownik ma wyłącznie pośrednio przez BMS modułu. Dostępne jest zatem ciągłe monitorowanie całej baterii na poziomie poszczególnych ogni.

Testy fizyczne powinny obejmować kontrolę zacisków i połączeń pod kątem korozji oraz sprawdzanie modułów akumulatorów pod kątem ciągłości połączeń mocy i komunikacji.

Technicy powinni kontrolować połączenia międzyblokowe, a w razie potrzeby, wyczyścić moduły i usunąć wszelkie zanieczyszczenia oraz ograniczenia swobodnej wentylacji modułów.

Oprócz tych podstawowych czynności serwisowych, dedykowane procedury inspekcji baterii mogą oferować bardziej zaawansowane wsparcie.

Do momentu pojawienia się europejskiego standardu zalecanych praktyk przy eksploatacji stacjonarnych akumulatorów LIB proponujemy, by system kontroli obejmował wszystkie parametry zalecane przez uznawaną na całym świecie normę IEEE 1491, w tym pomiary:

- napięcia float ogniw/modułów
- napięcia boost ogniw/modułów
- końcowego napięcia rozładowania ogniw/modułów
- tętnienia prądu ładowania
- tętnienia napięcia ładowania
- temperatury ogniw/modułów
- rezystancji/impedancji wewnętrznej modułów, jeżeli producent zaleca takie pomiary.
- Ilość cykli

Oraz dodatkowo dla LIB kontrolę poprawności parametryzacji i działania BMS.

Wiele nowoczesnych zasilaczy UPS regularnie testuje swoje baterie, zwykle co 24 godziny i alarmuje w przypadku wystąpienia usterek komunikując się z modułami/stringami akumulatorów LIB przez ich system BMS. Test wymusza obciążenie na baterii akumulatorów i monitoruje czas rozładowania.

Zapobieganie pożarom baterii

W wielu publikacjach i rekomendacjach implementacyjnych w USA, Australii i Azji zaleca się stosowanie zaawansowanych i kosztownych zabezpieczeń p.poż dla instalacji baterii litowo-jonowych. Takie zapisy wynikają bezpośrednio z doświadczeń uzyskanych w toku badań powypadkowych wynikających z pożarów instalacji magazynów energii i pojazdów elektrycznych. Generalnie, bezpośrednimi przyczynami pożarów baterii li-ion są:

- stosowanie ogniw z katodami kobaltowymi typu LCO lub NMC o niskiej temperaturze startu rozbiegania termicznego,
- stosowanie ogniw niskiej jakości z zanieczyszczonym materiałem katodowym,
- aplikacje wysokoenergetyczne wymagające wydajności prądowej $> 2C$,
- Instalacje dużej gęstości energii i mocy zazwyczaj znacznie przekraczające 50kWh z wadliwymi rozwiązaniami rozpraszania ciepła.

Dodatkowo obserwowano u chińskich operatorów przypadki pożarów BTS w wyniku zapłonu baterii zbudowanych z ogniw pozyskiwanych z używanych akumulatorów samochodowych w ramach procesu „second life”.

Do czasu publikacji krajowych norm w zakresie zabezpieczeń ppoż. przemysłowych akumulatorów LIB rekomendujemy stosowanie się do najnowszej wersji amerykańskiego standardu normy NAPA 76:2020, która zaleca:

- dla instalacji poniżej 20kWh wymagania ppoż. są ograniczane do podstawowych działań pasywnych jak dla VRLA.
- dla instalacji powyżej 20kWh wymaga się stosowania zabezpieczeń jak dla BES wg obowiązujących w tym zakresie w kraju przepisów ppoż. dla BES.

Polecamy także stosowanie się do rekomendacji europejskiej organizacji Euralarm dla instalacji z akumulatorami Li-ion: <https://www.euralarm.org/resource/guidance-li-ion-battery-protection-pdf.html>

Praca równoległa modułów baterii LIB

Połączenie równoległe modułów LV w celu zwiększenia mocy lub autonomii można wykonać za pomocą akumulatorów LIB różnych producentów tylko z określonym limitem mocy rozładowania (np. 2,5 kW dla każdego modułu).

UWAGA: jeśli jeden moduł akumulatora litowo-jonowego 48 V ma maksymalny prąd rozładowania 50 A, w połączeniu z innymi typami akumulatorów, maksymalny prąd rozładowania akumulatora litowo-jonowego powinien być taki sam, tj. także 50 A dla wszystkich modułów pracujących równolegle.

Praca szeregową modułów baterii LIB

Połączenie szeregowo modułów w celu zwiększenia mocy lub autonomii można wykonać TYLKO za pomocą akumulatorów LIB tego samego producenta i tylko z określonym limitem mocy rozładowania (np. 2,5 kW dla każdego modułu) i pod bezwzględny warunkiem, że takie połączenie jest możliwe dla danego typu modułu HV.

UWAGA: jeśli BMS zastosowany w module LIB nie jest dostosowany do pracy w tzw. systemach wysokonapięciowych HV połączenie szeregowo modułów może doprowadzić do awarii i/lub pożaru baterii.

Wszystkie moduły mogące pracować w instalacjach HV mają ograniczenia maksymalnego napięcia obwodu baterii.

8. TESTOWANIE PARAMETRIZACJI I DZIAŁANIA BMS W TRYBACH ALARMOWYCH

Przed oddaniem modułów LIB do eksploatacji zaleca się bezwzględną kontrolę poprawności parametryzacji BMS (oraz BMU jak modułu nadrzędnego dla całej baterii LIB) na zgodność z tabelą parametrów dla danego projektu instalacji.

Jest standardem, że BMS/BMU powinien lokalnie lub zdalnie dostarczać informacji o następujących parametrach:

- pojemność/energia akumulatora,
- napięcie, temperatura, prąd ładowania i rozładowania, rezystancja wewnętrzna (opcjonalnie) ogniów
- wartości skumulowane:
 - SoC
 - SoH
 - napięcie i prąd baterii
 - temperatura wewnętrzna modułu akumulatora;
 - wynik autotestu diagnostycznego
- progi i stany alarmowe:
 - zabezpieczenie nadprądowe
 - zabezpieczenie nad i pod napięciowe
 - zabezpieczenie przed zbyt niskim SoC
 - zabezpieczenie nad i pod temperaturowe
 - alarm poziomu SoH
 - alarm awarii czujników
 - alarm awarii BMS/BMU
 - alarm braku komunikacji

Błędy parametryzacji mogą prowadzić do:

- nieplanowanego wyłączenia modułu z pracy i pozbawienia zasilania odbiorów krytycznych
- awarii modułu i pożaru baterii i/lub instalacji.

Po pozytywnych testach parametryzacji zalecamy testy zachowania się modułów, baterii w sytuacjach alarmowych.

Zabezpieczenie przed przeładowaniem.

Gdy bateria LIB jest wprowadzana w stan przeładowania, np. przez przepięcie, BMS (lub BMU) wykrywa go, a wewnętrzny obwód ładowania zostaje odcięty wewnątrz systemu akumulatora. W przypadku awarii zabezpieczenia BMS (lub BMU) zabezpieczenie ostateczne musi działać co najmniej w oparciu o kontrolę przegrzania ogniw.

Zabezpieczenie przed nadmiernym rozładowaniem.

Gdy napięcie akumulatora LIB osiągnie limit napięcia końcowego, BMS (lub BMU) powinien być w stanie odłączyć system akumulatora od odbiorów.

Zabezpieczenie przeciwzwarciowe.

W przypadku zwarcia na wyjściach akumulatora obwód akumulatora powinien natychmiast odłączyć się od zwarcia za pomocą odpowiedniego zabezpieczenia nadprądowego w systemie akumulatora oraz limitu BMS/BMU, aby uniknąć ryzyka pożaru.

Zabezpieczenie przed przeciążeniem.

Jeżeli prąd rozładowania akumulatora jest wyższy niż określony limit prądu przeciążenia, układ akumulatora powinien odłączyć od obciążenia. W przypadku awarii poprzedniego zabezpieczenia, drugie zabezpieczenie ostateczne powinno zadziałać w oparciu o przegrzanie ogniw.

Zabezpieczenie przed przegrzaniem.

Jeżeli wartość temperatury ogniwa jest wyższa niż wartość ochrony przed przegrzaniem lub niższa niż wartość ochrony przed niską temperaturą, akumulator jest odcinany od systemu zasilania i odbiorów. Jeśli temperatura powróci poniżej progu alarmowego (histereza!) moduły LIB powinny zostać automatycznie włączone ponownie do pracy.

9. JAK PRZECHOWYWAĆ AKUMULATORY LIB?

Akumulatory litowo-jonowe mogą utrzymywać ładunek przez wiele miesięcy, a ponieważ jest dostępnych tak wiele odmian baterii litowo-jonowych, należy zawsze zapoznać się z SDS (kartą charakterystyki) producenta, aby uzyskać informacje na temat konkretnego akumulatora w zakresie bezpieczeństwa składowania.

- Zawsze sprawdzaj kartę techniczną SDS producenta baterii.
- Chroń bieguny akumulatora przed zwarciami: używaj osłon zacisków, nie dopuść do zetknięcia się zacisków z innymi zaciskami i nie dopuść do zetknięcia się zacisków z metalowymi półkami, ścianami podczas przechowywania.
- Zapobiegaj uszkodzeniom mechanicznym.
- Upewnij się, że baterie nie są narażone na działanie wysokich temperatur i źródeł ciepła bezpośrednio i przez dłuższy czas.

- Pomieszczenia/budynki do przechowywania akumulatorów powinny w idealnym przypadku znajdować się w rozsądnej odległości od innych obszarów lub należy używać pomieszczeń/budynków ognioodpornych.
- Akumulatory LIB należy przechowywać oddzielnie od innych produktów, które mogą przyczynić się do pożaru/przyspieszyć pożar.
- Powierzchnia magazynowa powinna być monitorowana przez odpowiedni system sygnalizacji pożaru połączony ze stale obsadzonym personelem, aby zapewnić możliwość szybkiej reakcji na każdą aktywację alarmu.
- Kontenery magazynowe powinny być wyposażone w jakiś rodzaj systemu tłumienia ognia, a w obszarach magazynowania masowego należy zainstalować automatyczne wodne systemy gaśnicze, takie jak tryskacze, najlepiej połączone ze zbiornikiem/obwalem, aby zatrzymać spływ wody pożarowej.
- Jeśli zamierzasz korzystać z magazynu, który jest już obsługiwany przez system przeciwpożarowy, pamiętaj, aby sprawdzić jego zgodność z kartą charakterystyki (SDS) dla akumulatorów litowo-jonowych, które chcesz przechowywać.
- W przypadku większych ilości akumulatorów należy wziąć pod uwagę niepalne pojemniki ognioodporne, oddzielne pomieszczenia ognioodporne lub przedziały przeciwpożarowe.
- Jeżeli akumulatory mają być przechowywane w obszarze produkcyjnym, w ramach oceny ryzyka należy rozważyć dodatkowe środki bezpieczeństwa np. Odpowiednie szafy magazynowe.
- Utrzymuj liczbę przechowywanych akumulatorów na minimalnym poziomie (maksymalnie zmiana lub dzienne zapotrzebowanie) i najlepiej przechowuj je w tymczasowych niepalnych pojemnikach transportowych.
- Zapewnić lokalny dostęp do odpowiedniego sprzętu przeciwpożarowego, w tym hydrantów wodnych, w każdym miejscu przechowywania akumulatorów.
- W obszarach, które nie są chronione przez automatyczne systemy gaśnicze, akumulatory należy trzymać z dala od innych materiałów łatwopalnych, najlepiej w innym pomieszczeniu lub budynku.
- Uszkodzone lub wadliwe akumulatory należy natychmiast usunąć z pomieszczeń magazynowych lub produkcyjnych i przechowywać w bezpiecznej odległości w niepalnym pojemniku lub oddzielnej komorze przeciwpożarowej, dopóki nie zostanie udowodnione, że są bezpieczne i są gotowe do utylizacji.
- Pracownicy powinni być świadomi potencjalnych zagrożeń, jakie mogą stwarzać akumulatory litowo-jonowe, i przeszkoleni w zakresie pierwszej reakcji. Pamiętaj, że w zasadzie pożary akumulatorów litowych można gasić wodą.

10. EKSPLOATACJA I DIAGNOSTYKA AKUMULATORÓW LIB?

Utrzymanie optymalnych warunków termicznych i warunków pracy

Większość systemów UPS i siłowni telekomunikacyjnych jest zaprojektowana do bezpiecznej pracy w temperaturach od 0 do 40°C, ale jak podkreślono wcześniej, górna granica tego zakresu jest problematyczna dla baterii.

Pozostawia to projektantom i użytkownikom dwie opcje wyboru. Po pierwsze, jeśli baterie akumulatorów są wewnątrz UPS lub przechowywane w tym samym pomieszczeniu: utrzymywanie stałej temperatury w zakresie 20-25°C przedłuży żywotność baterii.

Alternatywą jest umieszczenie baterii w dedykowanym, klimatyzowanym pomieszczeniu baterii, które

jest utrzymywane w optymalnej temperaturze, podczas gdy UPS (i inny sprzęt IT) są zainstalowane w oddzielnej przestrzeni.

Nie powinno się zabudowywać bloków akumulatora zbyt ciasno razem – należy pozostawić wystarczająco dużo miejsca na rozszerzanie się obudowy i na rozpraszanie ciepła. Jest to szczególnie ważne, aby uniknąć ucieczki termicznej ogniów/bloków.

Testowanie pojemności baterii

Jest jedynym badaniem, które naprawdę określi rzeczywistą pojemność baterii akumulatorów. Baterie akumulatorów testuje się w nominalnych i szczytowych warunkach obciążenia, sprawdzając, które ogniwa/moduły utrzymują obciążenie testowe, a które mają z tym problem.

Najlepsza praktyka IEEE 1491 zaleca wykonanie testu pojemności w momencie instalacji, a następnie powtarzanie tego testu co roku. Główną wadą testów rozładowania jest to, że baterie muszą zostać wyłączone z użytku. Zwykle baterie są ponownie dostępne w systemie w ciągu maksymalnie 24 godzin.

Jak sama nazwa wskazuje, testy wyładowań częściowych, oferują coś w rodzaju kompromisu. Wiąże się to z rozładowaniem baterii akumulatorów nawet do 80%.

Zmniejsza to ich dostępność, ale powinny być ponownie dostępne w ciągu maksymalnie 8 godzin.

Jeśli wystąpi sytuacja awaryjna i UPS musi popracować z baterii, to może to zrobić, chociaż będzie miał do dyspozycji tylko 20% pełnej pojemności baterii.

Testy impedancji

Testy impedancyjne (konduktancyjne) są nieinwazyjnym sposobem budowania "historii" każdego ogniwa baterii. Jeżeli w baterii LIB mamy dostęp bezpośrednio do terminali ogniwa diagnostyka opiera się na tych samych regułach co w przypadku akumulatorów VRLA.

W przypadku modułów LIB zintegrowanych z BMS pomiary impedancyjne/konduktancyjne nie są rekomendowane.

Należy co roku śledzić wyniki w czasie, co ułatwia identyfikację wszelkich oznak awarii lub pogorszenia stanu ogniwa.

Prąd przemienny jest przyłożony do każdego ogniwa baterii za pomocą sondy prądowo-napięciowej celem pomiaru i rejestracji impedancji w miliomach. Daje to szerokie wskazanie ogólnego stanu SoH bez nadmiernego obciążania akumulatorów lub konieczności ich odłączania.

Zapewnienie prawidłowego korzystania z systemów gwarantowanego zasilania ICT

W rozwiniętych gospodarkach, zdecydowana większość przerw w dostawie prądu ma charakter tylko chwilowy, trwa kilka sekund lub w najgorszym przypadku kilka minut. Jeśli jesteś wyjątkiem od tej reguły i doświadczasz długotrwałych przerw w zasilaniu, wskazane jest, aby nie dopuścić do całkowitego wyczerpania baterii poniżej 10% SoC.

Jak wspomniano wcześniej, baterie LIB mogą przejść tylko przez skończoną liczbę cykli ładowania-rozładowania, a jeśli nie rozładujesz ich całkowicie, możesz oczekiwać więcej cykli.

Większość nowoczesnych zasilaczy UPS i siłowni telekomunikacyjnych posiada funkcję **pielęgnacja baterii**, która została zaprojektowana w celu wydłużenia żywotności zestawu akumulatorów i optymalizacji jego wydajności. Systemy te, we współpracy BMS modułów LIB automatycznie testują baterię w regularnych odstępach czasu i chronią przed samorozładowaniem, głębokim rozładowaniem i tętnieniem prądu. Przed włączeniem takich programów należy szczególnie uważnie zapoznać się z ich parametrami, które niewłaściwie dobrane mogą zaszkodzić bezpieczeństwu odbiorców i żywotności baterii.

11. KONKLUZJA

System baterii w UPS może składać się z jednego akumulatora lub składać się z tysięcy ogniwa i wielu sekcji. Niestety, dokładne mierzenie stanu i przewidywanie awarii baterii nie jest nauką ścisłą, przy tak wielu

zmiennych wpływających na tempo degradacji. Zawsze pamiętajmy o marginesach bezpieczeństwa i okresowych wymianach baterii. W dużych systemach zasilania należy poważnie rozważyć implementację solidnych systemów monitorowania baterii LIB, które w przeciwieństwie do baterii VRLA mogą pozyskiwać dane z już wbudowanych układów BMS.

Oczekujemy, że w najbliższej przyszłości radykalnie zmieni się funkcja baterii akumulatorów UPS z pasywnej, zapewniającej jedynie podtrzymanie zasilania na wypadek zaniku sieci na w pełni aktywną funkcjonalność magazynu energii i obsługą takich funkcji sieciowych jak np. autokonsumpcja PV, time shifting, peak shaving, powerboosting oraz tradycyjnie backup.

Coraz większe zainteresowanie i zastosowanie akumulatorów w technologii LIB, szczególnie podtechnologii LFP pozwala na w takich instalacjach zakładać szybszy zwrot inwestycji. Organizacja EUROBAT przewiduje, że do 2035 roku co najmniej 20% UPSów będzie współpracować z bateriami litowo-jonowymi.

Zatem projektanci i użytkownicy będą mieli w tym zakresie bogaty wybór między:

- akumulatorami VRLA oraz ich modernizacjami VRLA nazywanymi AVRLA bez zmiany standardów instalacji, eksploatacji i utylizacji,
- akumulatorami/modułami LIB, które dopiero poszukują zaufania i standaryzacji w instalacjach przemysłowych.

Marketing i gwarancje handlowe nie zabezpieczą nas jednak przed awarią, co wydaje się niedopuszczalną praktyką w każdym krytycznym systemie zasilania gwarantującym zdrowie i życie danych i ludzi.

Taką gwarancję daje nam wyłącznie profesjonalny projekt, instalacja, uruchomienie oraz proaktywna eksploatacja oparta o najlepsze światowe praktyki i własne doświadczenie służb utrzymania systemów gwarantowanego zasilania lub magazynów energii.