



GWL

Your complete power solutions.

JAK NA LIFEPO₄ BATERIE

TECHNICKÝ PRŮVODCE V 7 KROCÍCH



Obsah

| | |
|---|----|
| Konkurenční vymezení baterie LiFePO_4 | 3 |
| Technologie a charakteristika lithium iontových baterií | 6 |
| Iničiační nabití, sestavení a umístění baterie . . . | 9 |
| Provozní nabíjení, vybíjení a servisní balancování baterie | 12 |
| BMS a jejich součásti | 15 |
| Typické aplikace lithium iontové baterie | 18 |
| Komunikace baterie v aplikacích | 21 |

Konkurenční vymezení baterie LiFePO₄

ANEB VYBÍRÁME SPRÁVNOU BATERII PRO DŮM,
CHATU, KARAVAN, LOŤ NEBO PRACOVNÍ STROJ





Všude tam, kde přemýšlíme o použití baterie, požadujeme spolehlivost, bezpečnost, dobrý poměr ceny a výkonu a co nejdelší záruku. Samozřejmě dbáme na zdravotní nezávadnost baterie, aby v případě poškození obalu nevznikly fatální škody – třeba v potravinářských či zemědělských provozech.

SPOLEHLIVOST

Klasické olovené baterie (někdy také SLA, AGM, VRLA) jsou jedny z nejdéle používaných typů. Víme, že vydrží pracovat přibližně 5 let,¹ což odpovídá asi 300–500 nabití, že v zimě fungují hůře² a že jsou poměrně těžké.³ Jsou ale levné a dobře se hodí na občasné použití (záložní zdroje pro PC, startování motorů...). Pro často používaná zařízení volíme lithium iontové baterie. Ne však ty lithium polymerové (Li-Pol) nebo lithium kobalt manganové (NMC), které vypadají jako větší tužková baterie,⁴ ale tzv. prizmatické lithium železo fosfátové, označované zkratkami LFP nebo LiFePO₄.⁵ Jsou sice asi třikrát dražší, než olovené baterie a o 30% dražší, než typ NMC, ale vydrží nejméně desetkrát déle a váží zhruba polovinu toho, co olovené.⁶ I když je

budete používat každý den, vydrží vám 10–15 let⁷ stále v původní kondici. Ještě trvanlivější jsou pak lithium titanátové baterie (LTO), ty vydrží nejméně dvacetkrát déle,⁸ než olovené. Jak to můžeme tvrdit? Protože je dodáváme našim zákazníkům již mnoho let a i ty dodané před 10 lety jsou stále velmi dobře funkční!⁹ Technologie LiFePO₄ je, na rozdíl od mnoha jiných lithiových technologií (NMC, LCO, NCA, LMO, LTO), používána v průmyslu již od roku 2007. Existují tak skutečné technické reference⁹ a nikoliv jen zrychlené simulace chování, bezpečnosti a stárnutí.¹¹

BEZPEČNOST

Olovené baterie nemohou při běžném používání vzplanout nebo explodovat. Na druhou stranu jsou plné olova a kyseliny sírové (byť ve formě gelu), což jsou nebezpečné sloučeniny. Stejně tak kobalt a mangan, obsažené v lithiových NMC bateriích, jsou nebezpečné prvky (tzv. těžké kovy). Navíc se mohou při selhání nabíječky vznítit a explodovat,¹³ proto jejich provoz vyžaduje zvýšená bezpečnostní opatření a dohled. Lithium fosfátové baterie žádné jedovaté látky neobsahují a jsou skvělým

kompromisem kombinujícím netoxicitu s bezpečností – nemohou se vznítit ani explodovat¹⁴ a vyrábí se i ve velkých kapacitách, takže je není třeba spojovat do mnohasetkusových bloků.

CENA/VÝKON

Pokud vydělíme pořizovací cenu olovené baterie jedním nabitím a vybitím, zjistíme, že každá 1 kWh jejího použití nás stojí 8–15 Kč. Trochu levněji pak vychází NMC a Li-Pol baterie, suverénně nejlevnější jsou ale LiFePO₄ baterie, kde nabití a vybití



- 1, 2 Zde najdete [detailní grafy životnosti olověných baterií](#) v závislosti na hloubce jejich vybíjení a teplotě provozu. [Srovnání s lithiem pak například zde.](#)
- 3 [Rozdíly mezi jednotlivými Li-Ion typy baterií](#) a na konci článku je také přehledný graf, jaká je hustota energie u jednotlivých typů baterie včetně olověných.
- 4 Zde je [detailně ukázáno, jak vypadá 18650 baterie a vysvětleno](#), co se skrývá uvnitř a jak komplikované je z těchto článků vyrábět velké bateriové packy.
- 5 [Komplexní popis LiFePO4 chemie](#) na wikipedia.org.
- 6 [Srovnání olověné baterie a LiFePO4 technologie](#) co do hmotnosti a energie.
- 7 [Jakou životnost lze ve skutečnosti očekávat od LiFePO4 baterie](#) a jak závisí na hloubce vybíjení?
- 8 [Popis LTO technologie](#) včetně grafů ukazující počet cyklů a charakteristiku vybíjení.
- 9 Automobil VW Golf Citi Stromer [po 10 letech provozu s LiFePO4 bateriemi Winston.](#)
- 11 [Simulace stárnutí](#) LiFePO4 baterií, závislost na hloubce [vybití a rozdíl oproti olověným bateriím.](#)
- 13 Obyčejné (nikoliv LiFePO4) lithiové baterie mohou začít hořet nebo dokonce explodovat, pokud dojde k porušení separátoru mezi katodou a anodou. [Elektrolyt je vysoce hořlavý materiál.](#)
- 14 Ani při zkratu nebo přebití [LiFePO4 baterie nehoří ani neexplodují.](#) Pouze se nafouknou a bezpečnostním ventilem unikne netoxický plyn. Baterie je sice zničena, ale nevzniknou žádné škody. Vytěráte, a to je vše.
- 15 Srovnání [ceny cyklu u LiFePO4 a olověných baterií](#) dle hloubky cyklování a vysvětlení, jak se vypočítá.
- 16 [Srovnání vybíjení 12V olověné startovací, trakční a LiFePO4 baterie.](#) Zatímco při vybíjení proudem 100A (cca 2,5C) dodala olověná baterie pouze 9–14 % své nominální kapacity, LiFePO4 baterie Winston zvládla plných 112 %!

1 kWh vyjde na 1–3 Kč. Jak to?
Protože to lze udělat i osmatisíckrát a baterie je stále funkční.¹⁵

VÝKON

Olověné baterie nemají rády, pokud je vybíjíte i nabíjíte moc rychle. To snesou jen startovací olověné baterie, ty ale zase nelze vybíjet příliš dlouho. Lithiové baterie umí obojí, tedy můžete je nabíjet a vybíjet velmi rychle (vysokým výkonem) a ještě ke všemu dlouho, až do jejich skutečné deklarované kapacity.¹⁶

ZÁRUKA

Většina prodejců sice u olověných baterií uvádí záruku 24 měsíců, ale zkuste jít po 2 letech reklamovat startovací baterii u auta, že vám v zimě nenastartovalo... Oproti tomu seriózní prodejce lithiových baterií vždy uvádí konkrétní počet cyklů a garantovanou zbývající kapacitu baterie po absolvování tohoto počtu cyklů. Není výjimkou záruka na kapacitu po dobu 5, či dokonce 10 let.

SHRNUTÍ

Pro nenáročné použití se hodí olověné baterie. Kde požadujeme nízkou váhu a nepotřebujeme vysokou životnost, použijeme NMC nebo Li-Pol (ruční nářadí, letecké modely...). Nejlepší dostupná, avšak dražší technologie je LTO (lithium titanátové články). Všude jinde volíme LiFePO₄ baterie.

KONTROLNÍ OTÁZKA: ČEMU Z POUŽITÝCH MATERIÁLŮ SE PODOBÁ BATERIE LFP?



Technologie a charakteristika lithium iontových baterií

ANEB VYBRALI JSME SI BATERII LiFePO₄ – CO V NÍ JE A JAK TO FUNGUJE?

LiFePO₄ baterie jsou podtypem lithium iontových baterií. Používají se především v úložištích elektrické energie (v domácnosti i energetice), pro průmyslovou automatizaci a vybrané druhy elektromobility. Z čeho se skládají a proč z množství lithiových baterií volíme právě tyto?

KONSTRUKCE

LFP článek obsahuje kladnou a zápornou elektrodu a mezi nimi je elektrolyt. Kladná katoda je tvořena sloučeninami lithia LiFePO₄. Záporná anoda je vyrobena z uhlíkového materiálu (grafit). Elektrolyt tvoří lithiové soli (nejčastěji LiPF₄) v organickém rozpouštědle, či zachycené ve speciálním polymeru (plastu). Při nabíjení téměř nedochází k chemickým reakcím, ale ionty lithia pouze přechází z katody do elektrolytu a dále do struktury anody. Při vybíjení je tento proces přesně opačný, ionty lithia se z anody vrací přes elektrolyt na katodu (proto název „lithium iontová“).³ Protože je mezi anodou a katodou elektrické napětí, musí být dobře odděleny membránou, která sice dovolí pohyb iontů, ale zabrání zkratu mezi elektrodami. V praxi se nejčastěji používá velmi tenká keramická fólie, která na první pohled vypadá jako papír.

ŽIVOTNOST

Lithium polymerové a mangan/kobaltové články o jmenovitém napětí 3,7 V chemicky degradují již po 300 – 1000 nabíjecích cyklech. Napětí těchto článků je vysoké (až 4,2 V), dochází proto ke zrychlenému usazování zpevněného elektrolytu na elektrodách a jejich oxidaci. To brání další výměně iontů lithia, zvyšuje vnitřní odpor článků a kapacita baterie rychle klesá. Oproti tomu LiFePO₄ články si ještě po 8 000 cyklech zachovávají 80 % původní kapacity. Jak je to možné? Sedimentace elektrolytu na anodě a oxidace na katodě probíhají nejvíce při napětích článku nad 3,9 V a teplotách nad 50 °C. Těmto napětím a teplotám se ale LFP baterie při provozu ani nepřiblíží. Nabíjí se totiž nejčastěji na 3,6 V a při provozu se nezahřívají.¹⁴

BEZPEČNOST

Zatímco ostatní druhy Li-Ion baterií s katodou založenou na kobaltu a manganu mohou při zkratu či přebití snadno vzplát, či dokonce explodovat, u LiFePO₄ je tato reakce vyloučena. Je to dáno tím, že materiál katody je v podstatě přírodní nerost – minerál, velmi podobný olivínu. Ten ani při vysokých teplotách neuvolňuje kyslík (je nesnadné narušit jeho chemické vazby) a je odolný oxidaci.¹⁵

OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

LFP baterie neobsahují těžké kovy (mangan a kobalt) a jsou zde dobré předpoklady pro budoucí snadnou recyklaci.³ I při náhodného průniku do životního prostředí ale nehrozí žádné škody, pouze ztráta cenných surovin.



PRAKTICKÁ POUŽITELNOST

Vlastnosti LFP článků se perfektně shodují s potřebami elektromobility a energetiky. Díky napětí článku 3,2 V lze ze 4 článků složit 12,8V baterii a použít ji jako přímou náhradu klasických olověných baterií o napětí 12 V. Nízký vnitřní odpor umožňuje LFP články vybíjet i nabíjet proudy až 3 C, takže baterii lze plně nabít již za 20 minut. Při provozu si udržují konstantní napětí cca 3,2 V bez ohledu na stupeň vybití¹⁶, což eliminuje potřebu přídatných regulačních prvků.

NEVÝHODY

LFP články mají nižší jmenovité napětí (3,2 V) a tudíž i nižší hustotu energie na 1 kg. Navíc, v důsledku přítomnosti železa, se hmotnost článku ještě zvyšuje na výsledných cca 80–100 Wh/kg. U Li-Pol či NMC článků lze bez problémů dosáhnout hustoty dvojnásobné (160–200 Wh/kg).

- 13 [Složení různých typů lithiových baterií.](#)
- 14 [Důvody, proč nemají lithiové baterie „nekonečnou“ životnost](#) a proč dochází ke snižování jejich kapacity v průběhu používání.
- 15 Vídea, kde jsou LiFePO4 baterie podrobeny zátěžovým testům (zkrat, přebití, proražení). Je zde vidět, že sice dojde ke zničení článku/baterie, ale nikdy nedojde k zahoření LiFePO4 článku. [Přebití. Proražení.](#)
- 16 [VA vybíjecí charakteristika LiFePO4 článku ZG ukazuje, jak je vybíjecí křivka plochá.](#) Napětí článku je téměř stejné na počátku vybíjení jako na konci a to i při vysokém vybíjecím proudu 5,7 C.



KONTROLNÍ OTÁZKA: KTERÝ OBRÁZEK VYSTIHUJE VNITŘNÍ STRUKTURU LFP?



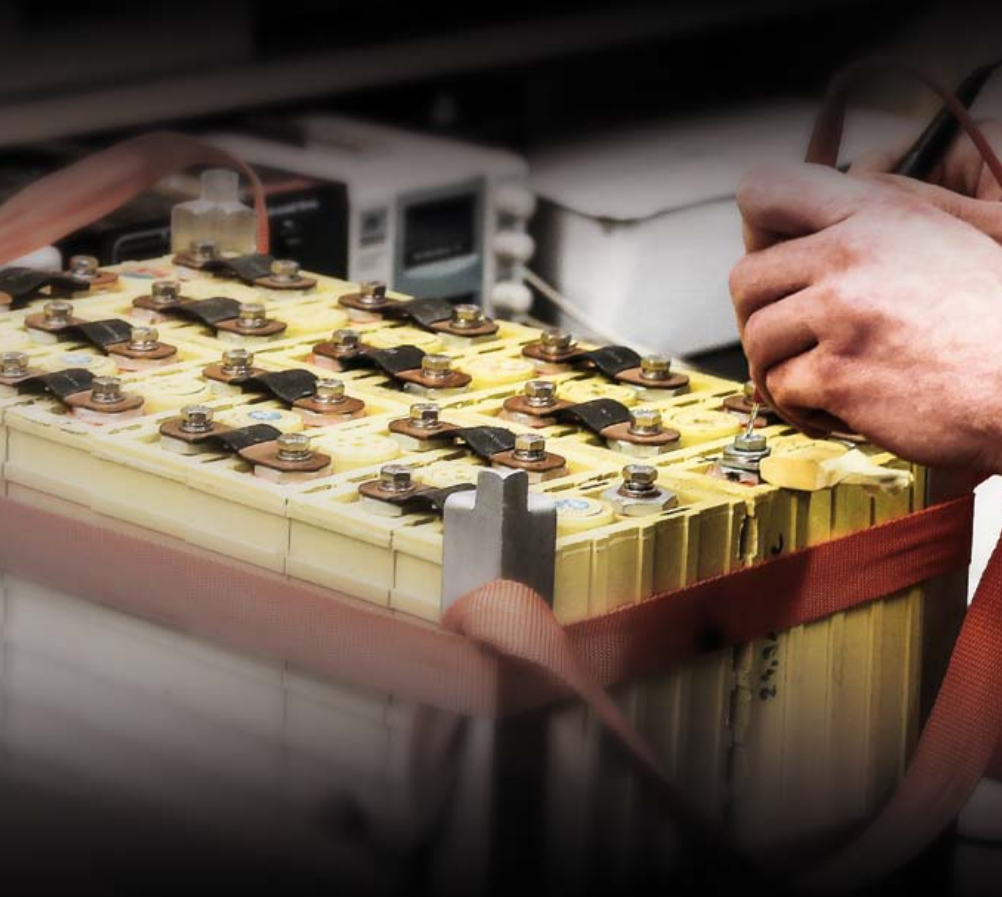
Iniciační nabití, sestavení a umístění baterie

ANEK KOUPILI JSME SI ČLÁNKY A JEJICH PŘÍSLUŠENSTVÍ – CO DÁL?

Vybrané LiFePO_4 prizmatické články je třeba správně připravit pro jejich sestavení do baterie (packu). Tomu vždy předchází kontrola napětí, polarity a celkového stavu všech článků. Teprve potom je možné se pustit do iniciačního dobíjení, uspořádání, fixace a propojení jednotlivých článků.

INICIAČNÍ NABITÍ ČLÁNKŮ

Z výroby jsou články nabitě asi jen na 30 % své skutečné kapacity. Proto je potřeba je před prvním použitím dobít do plné a shodné kapacity. Právě to nazýváme iniciačním nabíjením nebo také formátováním.¹⁷ Správný postup je takový, že nejdříve všechny styčné plochy článků (terminály) očistíme jemným smirkovým papírem, paralelně spojíme originálními propojkami, na protilehlé konce sestavy připojíme kabely nabíjecího zdroje (nabíječ, laboratorní zdroj...) a nabíjíme doporučeným proudem dle datasheetu do hodnoty napětí 3,6 až 3,8 V.¹⁸ Po dosažení cílového napětí paralelní sestavu opět rozpojíme a sestavíme do sériového zapojení dle požadovaného napětí baterie.



PŘÍPRAVA NA OSAZENÍ BMS A PŘIPOJENÍ

V případě použití terminálové BMS (Battery Management System, např. 123Smart) je vhodné použít místo šroubů závitové trny/tyče, a to především pro koncové terminály.²¹ První maticí na trnu dotáhneme mezičláňkovou propojku a zbývající závit nad ní zvolíme v takové délce, abychom mohli nezávisle osadit moduly BMS či jiné příslušenství.²² Pokud chceme použít centrální BMS, nebo články pouze kontrolovat a balancovat periodicky, je vhodné již nyní z jednotlivých propojení vyvést vodiče na společnou svorkovnici na přístupném okraji baterie.²³ Koncové terminály opatříme pojistkou a izolovaným silovým konektorem a na všechny terminály osadíme kryty v barvě polarity.

POLOHA A UMÍSTĚNÍ BATERIE

Články v sestavě umístíme tak, aby terminály a pojistné ventily směřovaly nahoru. Polohu na hraně s terminály do boku nedoporučujeme.²⁴ Při dlouhodobé poloze „naležato“ článek ztratí kapacitu a může dojít k úniku elektrolytu a/nebo korozi terminálů. Při použití rezistorového balancování, či při vysokých provozních proudech, je třeba zajistit odvětrání tepla. Pokud je to možné, volíme umístění baterie mimo prostředí pod bodem mrazu a teplot nad 40 °C.²⁵

BEZPEČNOST

Při práci používáme ochranné pracovní pomůcky a izolované nářadí.²⁶ Živé části baterie průběžně zakrýváme (např. izolační páskou). Před montáží si sundáme kovové předměty z rukou (hodinky, prsteny, náramky...), mohly by způsobit zkrat. Nechtěný zkrat při montáži baterie je nejčastější příčinou poškození článku a není možné jej uznat jako reklamaci.

MECHANICKÉ SPOJENÍ ČLÁNKŮ DO CELKU

Pack vždy je navrhujeme tak, aby jednotlivé články byly orientovány opačnými terminály k sobě a mohli jsme tak používat výhradně originální propojky. Různé délky a provedení propojek způsobí při dlouhodobém provozu rozbalancování článků, a to je nežádoucí. Nepružné propojky zase mohou způsobit mechanické uvolnění terminálů a elektrod, proto je zásadně nepoužíváme. Nejsnadněji lze články do stabilního celku fixovat paletovou stahovací páskou. Další možností je např. výroba šasi z úhelníků a desek, se společným krytem živých částí baterie. Pro trvalé uložení

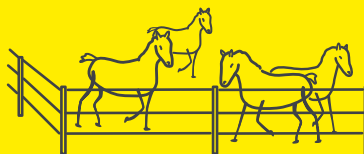
bateriového packu vždy používáme 6boký, dostatečně mechanicky odolný box z nehořlavého materiálu.¹⁹

PROPOJENÍ TERMINÁLŮ

Spojovací materiál (šrouby, podložky a matice) musí být z nerezové oceli. Vždy používáme plochou i pérovou podložku na každém šroubovaném spoji. Využíváme většinu závitů v terminálu, ale nikdy nedopustíme dotažení šroubu či závitové tyče až na úplné dno terminálu – proražením terminálu dlouhým šroubem dojde ke zničení článku. Při sériově-paralelním uspořádání propojíme články nejdříve paralelně a tyto bloky následně sériově. Nikdy ne naopak.²⁰

- 17 Video návod, [jak sestavit a iniciačně dobít bateriový pack](#).
- 18 Důležitá je stejná hodnota napětí pro všechny články a vhodná nabíjecí charakteristika zdroje: příklad [jak správně nabíjet](#). Proč není možné trvale nabíjet 12V LiFePO4 baterie obyčejnou nabíječkou na olověné [baterie je vysvětleno zde](#).
- 19 [Příklad sestavy bateriového packu](#).
- 20 Teorie sériového a paralelního [spojování článků do baterií](#).
[Schéma chybného a správného seriově-paralelního zapojení](#).
- 21 Fotografie [závitové tyče](#), kde je nejdříve dotažená propojka a nad ní je osazen modul BMS.
- 22 [Otvor v modulu BMS](#) je možné zvětšit bez ztráty záruky podle velikosti závitů terminálu.
- 23 Fotografie [vyvedené sběrnice](#), všechny vodiče mají stejnou délku.
- 24 Nákresy [správné a nesprávné polohy](#).
- 25 [Vliv teploty](#) na celkovou kapacitu článku a minimální vybíjecí napětí.
- 26 Příklady jednoduché [úpravy nářadí](#).

KONTROLNÍ OTÁZKA: JAKÝ JE ROZDÍL MEZI ZAPŘÁHNUTÍM KONÍ A BATERIOVÝCH ČLÁNKŮ?



Provozní nabíjení, vybíjení a servisní balancování baterie

ANEK JAK BATERII SPRÁVNĚ PROVOZOVAT A UDRŽOVAT?

Správná volba kapacity baterie je klíčová pro její šetrný a tím i dlouhodobý a spolehlivý provoz. Běžné provozní odpojování baterie od zátěže a nabíječe vždy zajistíme softwarovým nastavením těchto modulů, nikoliv pomocí BMS.²⁷

Pokud je sestava správně navržena, jednotlivé sériově spojené články se během provozu významně nerozcházejí v napětí (nerozbalancují se). Systém vždy nastavíme tak, aby se baterie nedostávala do mezních stavů, tj. na příliš nízké nebo vysoké napětí jednoho článku vzhledem k jeho povoleným minimům a maximům. Z funkcí BMS využíváme v běžném provozu především informaci o stavu nabití (SoC – State of Charge) a kontrolujeme hloubku vybití (DoD – Depth of Discharge).

VLIV SOC A DOD

Rozbalancování článků způsobují především opakované mezní stavy, kde se projeví i jejich minimální rozdílná kapacita. Čím častější jsou takové stavy, tím pravděpodobnější a větší je rozbalancování a tím více jsou potřeba vyrovnávací (balancovací) systémy. Proto doporučujeme provoz nejvýše v rozmezí 90 % – 20 % SoC. Při teplotě okolo 20 °C a doporučených

provozních proudech jsou to hodnoty cca 3,55 V a 3,0 V.²⁸ Především se snižováním teploty okolí se toto napěťové rozmezí mění a SoC je třeba měřit standardní výpočtovou metodou odebraného a dodaného proudu pomocí proudových senzorů.

VLIV NABÍJECÍHO A VYBÍJECÍHO PROUDU

Dlouho trvající maximální hodnoty proudů, zvláště při nízkých teplotách a nízkém SoC, zapříčiní rozbalancování článků, a to i při minimálních rozdílech vnitřního odporu článků. Vysoké vybíjecí a nabíjecí proudy také znesnadňují či dokonce vylučují určení SoC a DoD pouze pomocí napětí baterie.

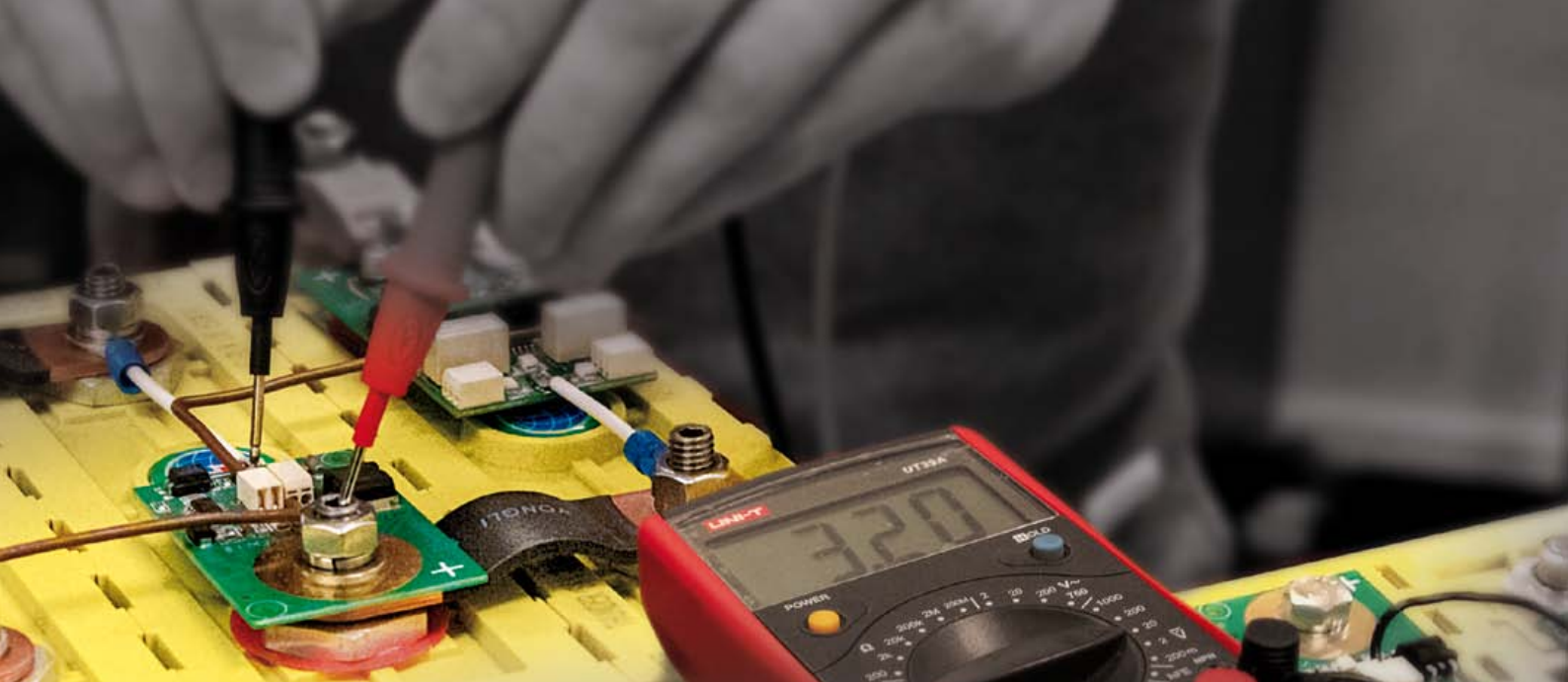
NABÍJECÍ CHARAKTERISTIKA SÍŤOVÝCH NABÍJEČŮ

Většina LFP síťových nabíječů nabíjí buď konstantním napětím (CV), konstantním proudem (CC) nebo

kombinací, tedy nejprve CC a po dosažení požadovaného % SoC metodou CV.²⁹ Klíčovou funkcí nabíječe je, aby po dosažení požadovaného % SoC (nejčastěji definováno dosažením nastaveného napětí) nabíjení přerušil, a to bez napěťové hystereze. LFP články se nesmí trvale udržovat na nejvyšším dobíjecím napětí, či se k němu periodicky vracet, pokud nebyly po dokončení nabíjení alespoň částečně vybity. Mluvíme o tzv. kapacitní hysterezi, nikoliv napěťové.

NABÍJECÍ CHARAKTERISTIKA SOLÁRNÍCH REGULÁTORŮ

Charakteristika a zásady nabíjení jsou obdobné jako u síťových nabíječů. Nabíjení má ale kvůli slunečním podmínkám nepředvídatelný průběh, nedochází k plynulému nabití na nastavené % SoC a zcela tak selhává metoda určení zbývající kapacity bateriového packu pouze měřením napětí.



Pokud regulátor nemá v menu přímo režim LFP baterie, lze použít režim určený pro olovené „GEL“ baterie.

PŘÍPUSTNÁ TOLERANCE NAPĚTÍ JEDNOTLIVÝCH ČLÁNKŮ

V optimálním provozním režimu dochází pouze k minimálním odchylkám napětí (jednotky, nejvýše nízké desítky mV) a maximální kapacity jednotlivých článků (do 2 %). Trvalé/průběžné a intenzivní balancování článků v této situaci není nutné ani vhodné. Někdy může být naopak spíše kontraproduktivní vzhledem k energetické náročnosti balancovacích systémů a nerespektování „přirozené“ rozdílnosti článků.

SERVISNÍ BALANCOVÁNÍ

V aplikacích, kde nedochází k hlubokému cyklování baterií (do cca 70 % DoD/90 % SoC), proudy nepřekračují 1 C a teploty během provozu neklesají pod bod

mrazu, lze baterie úspěšně a dlouhodobě provozovat i bez balančních systémů. Vždy je však třeba zajistit ochranu mezních stavů celkového napětí packu (mezní stavy jednoho článku x počet článků, v ideálním případě i jednotlivých článků). Podmínkou je pečlivý výběr jednotlivých článků sestavy a profesionální sestavení baterie. Potom stačí periodická kalibrace (zbalancování) článků např. jedno článkovým nabíječem nebo laboratorním zdrojem v přiměřeném servisním intervalu.³⁰

FUNKCE BMS

BMS je havarijní pojistka proti poškození bateriového packu vybitím nebo naopak přebitím. Rozhodně nesmí sloužit pro provozní odpojování zátěže. Ta se musí odpojovat sama pomocí vhodně nastavené vnitřní logiky závislé na celkovém napětí bateriového packu nebo na % výpočtu SoC. Příkladem mohou být solární regulátory, které u LiFePO₄ článků

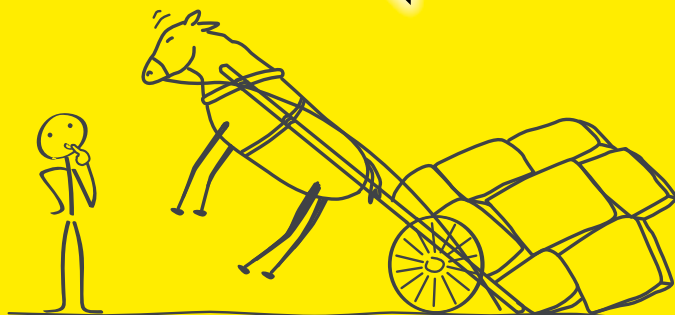
nastavujeme na hodnotu LFP nebo pokud tato volba chybí, pak na „GEL“. Ukončení nabíjení nebo vybíjení je pak realizováno samotným regulátorem a nikoliv BMS. Podobně lze nastavit také střídače a nabíječky.

SHRNUTÍ

Odpojovací funkce BMS má podobnou funkci jako pojistka v elektrickém okruhu. Používáme ji jako ochranu proti selhání připojených modulů (střídač, nabíječ...) nebo rozbalancování některého článku kvůli výrobní odchylce či chybě montáže. Výkonné, sofistikované a kvalitní BMS pro provoz baterie v režimu 100 % DoD vysokými proudy jsou poměrně nákladné. Pokud místo investice do takové BMS použijeme tuto částku na zvýšení kapacity packu a poučíme se o správném provozu a servisu baterie s jednoduchým BMS, dosáhneme lepšího výsledku.

- 27 Co se může stát, pokud selže nabíječ a není osazena BMS? [Fotografie zde.](#)
- 28 Zde jsou popsány různé [hodnoty napětí](#), při kterém je vhodné ukončit nabíjení a vybití LiFePO4 článků s ohledem na požadovanou procentní hodnotu DoD a životnost článku.
- 29 Laboratorní zdroj je vhodná pomůcka pro občasné iniciační nabíjení článků nebo na jejich servisní balancování.
[Článek o nabíjení laboratorním zdrojem.](#)
- 30 Rozhodně vždy na jaře a na podzim, optimální servisní interval je třeba odborně stanovit podle způsobu cyklování. Ideální je mít k dispozici údaj o rozdílu napětí mezi nejsilnějším a nejslabším článkem, např. pomocí jednoduché BMS GWL CPM: zde je produktová stránka výrobku a [návod k instalaci a používání.](#)

KONTROLNÍ OTÁZKA: JSOU V TÉTO SOUSTAVĚ
KAPACITA, VÝKON A ZÁTĚŽ VYVÁŽENÉ?

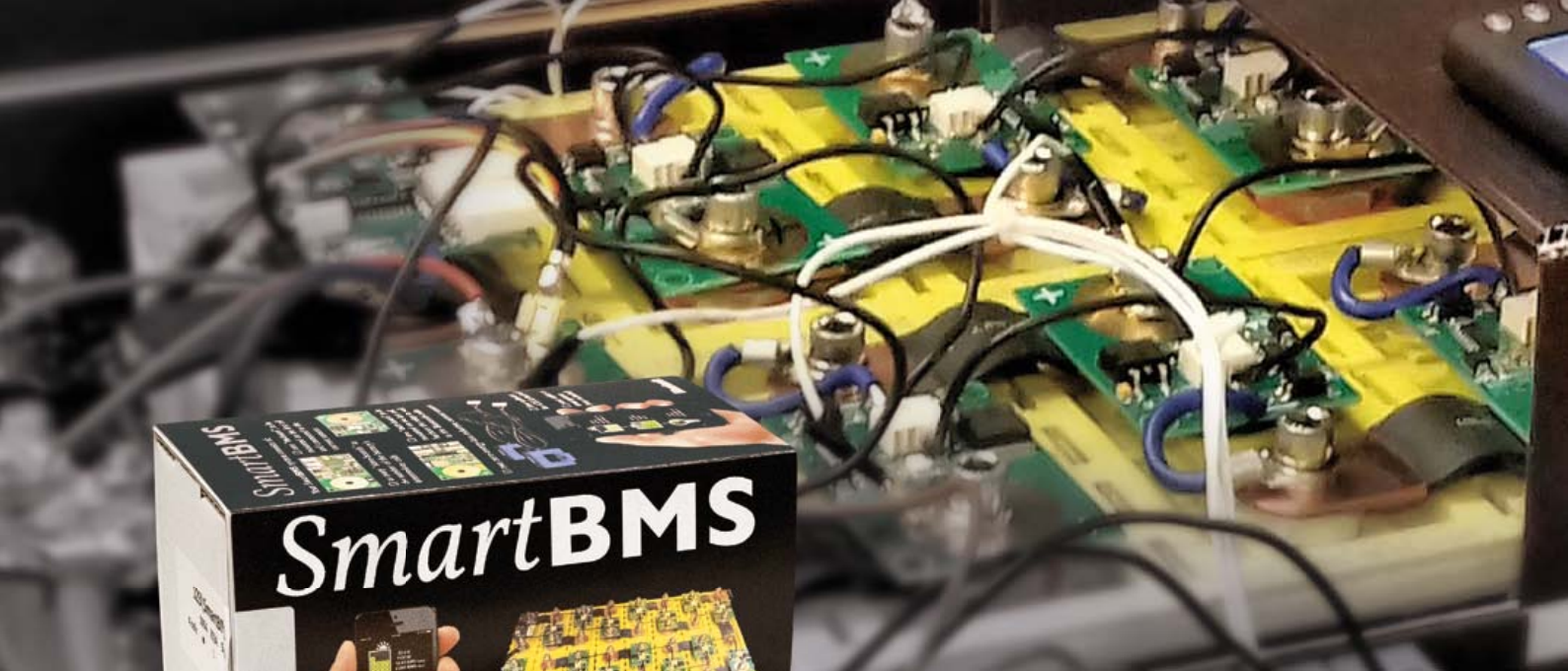


BMS a jejich součásti

ANEBO CO JEŠTĚ NA BATERII PRO JISTOTU NAMONTUJEME?

Většinu bateriových packů opatřujeme řídicím a kontrolním systémem (BMS – Battery Management System). Nazýváme tak ochranu baterie před jejím přílišným vybitím, nebo naopak přebitím. Tento systém si můžete představit jako záchrannou brzdu v každém vagónu, která zabrání nehodě celého vlaku. V praxi se jedná o jednoduchý elektrický obvod, který neustále měří elektrické napětí každého článku zapojeného v baterii, případně i proudy dodávané a odebírané z baterie. Pokud napětí byt jediného článku uvnitř baterie překročí vymezený interval, odpojí BMS celou baterii od nabíječe nebo zátěže tak, aby nedošlo k jejímu poškození.³¹





Sofistikovanější BMS systémy obsahují funkci výpočtu SoC a DoD a také tzv. balancování. Co to znamená? V takovém případě BMS průběžně sleduje, zda mají všechny články stejné napětí. Pokud nemají, začne jejich napětí vyrovnávat, a to buď pasivně, nebo aktivně.

PASIVNÍ BALANCOVÁNÍ

Je to v podstatě rezistor na každém článku, který zabraňuje přebití nejdříve nabitých článků uvolněním vybíjecího (balančního)

proudu při určeném napětí (tzv. bypassový regulátor napětí). Nejsilnější články se tak při nabíjení mírně a řízeně vybíjejí a „čekají“ na dosažení jednotného napětí na všech ostatních.³²

AKTIVNÍ BALANCOVÁNÍ

Můžeme si ho představit jako pumpu, která ze silnějších článků pumpuje energii do slabších, a to v každém provozním režimu baterie. Funguje na principu vyrovnávání potenciálu článků a často to bývá nezávislý

modul bez funkce havarijního odpojení.³³ Nevýhodou takového systému bývá vyšší složitost, vyšší trvalá spotřeba BMS a ve výsledku rychlejší stárnutí článků. Výhodou je jednoduchá montáž. Aktivním balancováním lze nazvat i cílené dobíjení slabých článků vnějším zdrojem.

HAVARIJNÍ ODPOJENÍ BATERIE

Účinnost balančního systému (balancovací proudy) nemusí být v každém provozním režimu dostatečná a nelze také vyloučit poruchu. Součástí kompletního BMS je proto vždy odpojovací prvek, který v takovém případě odpojí baterii od zátěže nebo nabíječe (u LiFePO₄ doporučujeme jeho aktivaci mimo interval 2,80–3,80 V).³⁴

KONSTRUKČNÍ TYPY BMS

Systémy se vyrábí ve dvou základních provedeních – jako terminálové nebo jako centrální. Terminálové BMS moduly (např. BMS123Smart) se umísťují přímo na jednotlivé terminály článků a mezi



- 31 Základní interval je $U_{min} - U_{max}$ článku. Uvnitř může být doplněn o hodnotu počátku balancování, případně o hodnotu varování, nebo jiného provozního povelu. Z důvodu technologických rozdílů doporučujeme vždy zkontrolovat nastavení podle technického listu.
- 32 Tyto balancovací moduly se většinou označují **CBM (Cell Balancing Module) a mohou existovat jako zcela samostatné prvky bez komunikace** (pro nenáročné použití) nebo jako **součást sofistikovanější BMS**.
- 33 Vysokofrekvenční měniče těchto modulů většinou nepříjemně pískají. Zní to sice banálně, ale v praxi to velmi omezuje jejich možné použití. V principu tyto moduly nedoporučujeme, jejich efekt není velký a výrazně snižují životnost článků.
- 34 Praxe ukazuje, že zákazník si často koupí poměrně sofistikovanou a drahou BMS (např. BMS123 Smart) a její moduly zapojí pouze pro balancovací funkci, tedy pouze jako CBM. To je samozřejmě neefektivní. BMS123 Smart obsahuje také svorky na výstupní odpojovací relé. [Doporučené hodnoty provozu LiFePO4 článků.](#)
- 35 Video [návod k montáži BMS123 Smart.](#)
- 36 Odkaz na produktovou stránku [chytřejšího relé a jeho parametry](#). Tip: výkonový spotřebič za baterií je vhodné rozdělit a spínat ve více větvích. Rozložíme tak zátěž spínacích prvků a omezíme vznikání elektrického oblouku.
- 37 [Více k BMS na našem technickém blogu.](#)

sebou se buď propojují komunikačním vodičem nebo komunikují systémem PLC (Power Line Communication) přímo přes jednotlivé články. Většinou nemají žádnou centrální jednotku, tu tvoří první nebo poslední modul, a ten obsahuje výstupy pro nadřazené systémy (silové relé, bluetooth, RS485 atd.).³⁵ Centrální BMS (např. GWL CPM1) jsou umístěny mimo bateriový pack a informace o napětí článků načítají pomocí vodičů z jednotlivých článků. Jinak je jejich funkce shodná s funkcí terminálové BMS. Jejich principiální výhodou je snadný upgrade či výměna v případě potřeby.

TYPY ODPOJOVACÍCH PRVKŮ

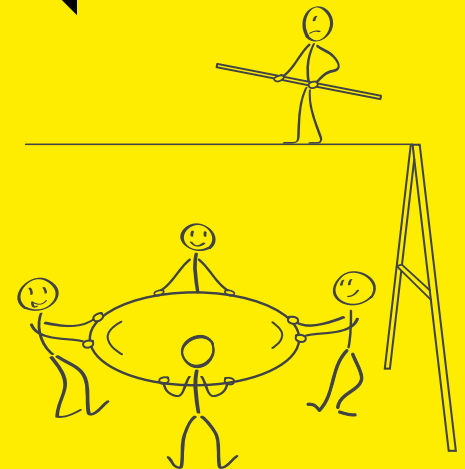
Základním odpojovacím prvkem je silové relé (stykač, kontaktor), jehož cívka je ovládána trvalým sepnutím/rozepnutím ovládacího napětí z BMS. Nevýhodou těchto prvků je vyšší vlastní spotřeba v řádech jednotek Wattů.

Vhodnějším prvkem je proto bistabilní (dvoucívkové) relé, kde ke změně stavu silových kontaktů stačí krátký ovládací impuls na příslušnou cívku, trvale jsou cívky bez napětí, tj. bez vlastní spotřeby. Zvláštním druhem bistabilního relé je tzv. „smart“ relé, které dokáže úsporně pracovat i s trvalým sepnutím ovládacího napětí z BMS. Po překlapaní cívky vždy omezí vlastní spotřebu na méně než 5 mA. Toto relé je proto vhodné pro výměnu dvou původních jednocívkových stykačů při zachování stávající BMS (je to dvojice bistabilních relé).³⁶

SHRNUTÍ

Použití, byť základní BMS v ceně několika set korun, je u Li-Ion baterií spíše pravidlem. Provozovat trvale lithiovou baterii bez BMS je podobné, jako létat letadlem bez ukazatele zbývajících paliva.³⁷

KONTROLNÍ OTÁZKA: JAKÉ JSOU
HLAVNÍ FUNKČI BMS?



Typické aplikace lithium iontové baterie

ANEKAM VLASTNĚ BATERII PŘIPOJÍME?

Klasickými aplikacemi LiFePO₄ baterií jsou například:

- Robustní záložní zdroj pro výrobní provoz, kancelář, IT infrastrukturu nebo domácnost.³⁸
- Baterie k fotovoltaické elektrárně, která se bude nabíjet v době přebytků elektrické energie a dodávat energii, když slunce nesvítí.
- Palubní baterie na lodi, hausbótu nebo karavanu jako náhrada za původní olověné.³⁹
- Energetické úložiště ostrovního domu (samota, chaty, zahradní domky atd.), když není v dosahu elektrická síť 230 V.⁴⁰
- Průmyslové aplikace a vybrané druhy elektromobility.⁴¹

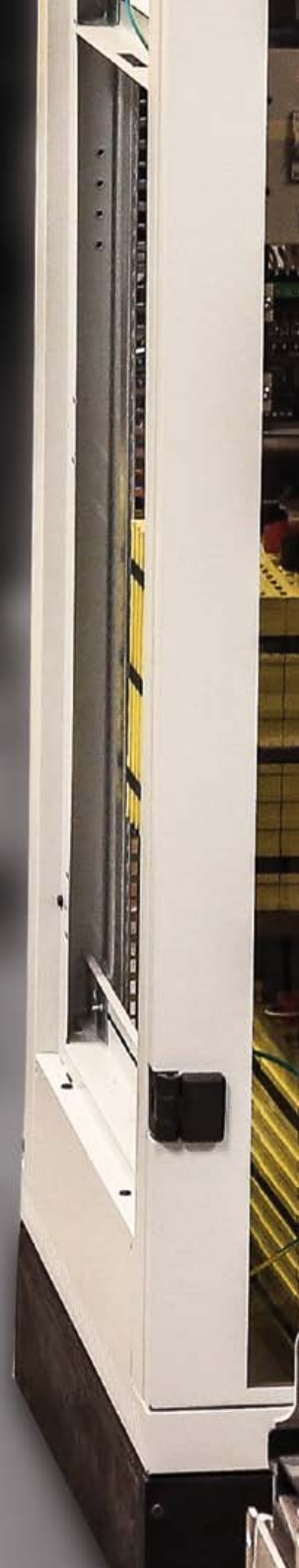
V každé z uvedených aplikací je třeba baterii připojit na další navazující systém, který její předávací pracovní rozhraní (nejčastěji DC 12, 24, 48 V...) dále použije pro požadovanou funkci (měnič napětí, pohon vozidla atd.).

ALL-IN-ONE ŘEŠENÍ

Tyto navazující systémy se z marketingových důvodů sdružují v co nejkompaktnější celek a není pak snadné od sebe oddělit jednotlivé části (a tím pádem je ani opravit nebo vylepšit). Typickým příkladem tohoto all-in-one konceptu je např. hybridní střídač k fotovoltaické elektrárně, který v sobě ve skutečnosti sdružuje síťový a ostrovní DC/AC měnič, solární MPPT regulátor, přepínač sítí, jistící, odpínací a komunikační prvky a nabíječku. Podobně např. v nádražním elektrovozíku najdeme většinou jeden elektro blok, kde těžko odlišíme, co patří k BMS, co k frekvenčnímu měničovi otáček, co k řídicí jednotce elektromotoru atd...⁴²

MODULÁRNÍ ŘEŠENÍ

Pokud je možné použít otevřené modulární řešení funkčních celků, je to samozřejmě lepší.⁴³ Modulem zde rozumíme snadno nahraditelný blok s dokumentací a jasnou (dílcí nebo i cílovou) funkcí. Někdy je modulem vlastně jen široce a trvale dostupný výrobek (DC/AC měnič, síťový





nabíječ...), jindy je to dílčí celek sestavený z takových výrobků. Několik příkladů z naší praxe:

- **UPS s LiFePO₄ baterií**

Hlavním „modulem“ je zde bateriový 48V pack s pojistkou, propojovacími vodiči a silovými a indikačními výstupními konektory.⁴⁴

Navazující modul BMS v sobě sdružuje jistící a odpínací prvky a vlastní desku BMS CPM1 s monitorovací a komunikační elektronikou.⁴⁵ Na výstupní svorky je připojen modul zátěžového zdroje Aspiro, který zajišťuje optimální nabíjecí režim baterie a v součinnosti s ní tvoří nepřerušitelný DC záložní zdroj o vysokém výkonu a kapacitě.

- **Záloha původní UPS s olověnou baterií**

K modulu baterie a BMS je připojen modul přepínače sítě (BPS – Backup Power System).⁴⁶ Výpadek rozvodné sítě v řádu minut řeší v prvním sledu stávající UPS s olověnou baterií. V případě delšího výpadku modul BPS připojí velkokapacitní baterii LiFePO₄ a DC/AC střídač, který nahradí síťové napětí 230 V a přivede jej na vstup UPS. Tak se prodlouží doba zálohy z několika málo minut na jednotky až desítky hodin (náhrada benzínového generátoru). Po obnovení dodávky elektřiny ze sítě se LFP baterie opět automaticky dobije integrovaným nabíječem.

- **Modulární hybridní měnič**

Hybridní měnič lze nahradit např. samostatným invertorem, solárním MPPT regulátorem a LiFePO₄ nabíječkou.⁴⁷ Zálohu proti výpadku distribuční sítě 230 V nebo funkci ostrovní elektrárny lze k takovému systému doplnit výše popsaným modulem BPS. Takto sestavený „hybridní měnič“ nikdy nezkolabuje celý a s jeho opravou (tj. výměnou běžných součástí nebo výrobků) si poradí každý šikovnější elektrikář mnoho let po uplynutí záruční doby kterékoli původní součásti.

Se základním a nejdůležitějším modulem – packem z prizmatických baterií LiFePO₄ to bude podobné. Kdykoliv bude možné snadno prověřit, servisovat a případně vyměnit každý jeho článek, nebo celý pack upgradovat spolu s návaznou aplikací.

38 Odkaz na produktovou stránku [systému GWL/Modular s fotografiemi a popisem](#) komponent.

39 [Fotky našich zákazníků](#) z baterií umístěných na jachtě.

40 [Projekt Českého soběstačného domu](#), kde je energetické schéma, stavební dokumentace, fotografie atd.

41 [LiFePO4 baterie používají](#) například městské autobusy SOR, posunovací lokomotivy v ocelárně EuroEst, osobní lodě pro plavbu na vodních plochách, kde není dovolen provoz spalovacích motorů

42 Někdy je toto řešení nazýváno „[Black Box](#)“, a to z důvodu, že do něj nevidíme a jsme odkázáni pouze na servis výrobce.

43 Například [systém GWL/Modular](#).

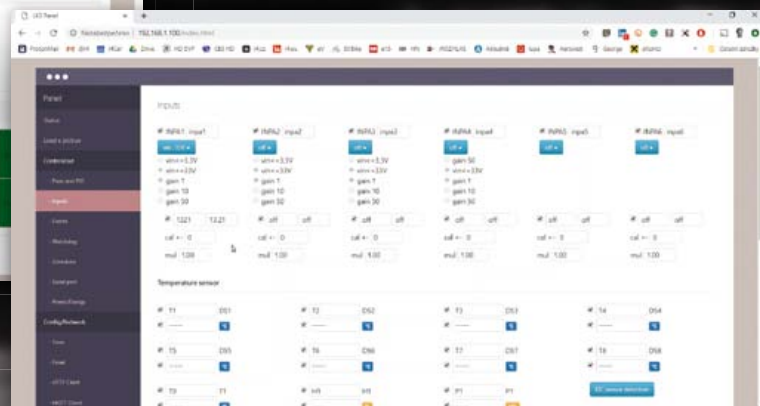
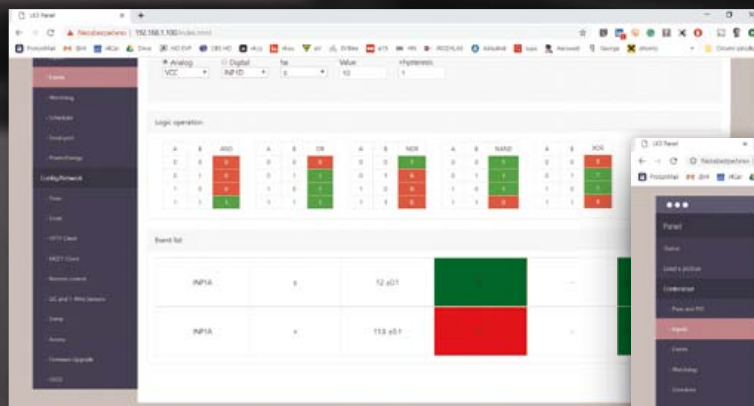
KONTROLNÍ OTÁZKA:
CO SI DÁTE RADĚJI?



Komunikace baterie v aplikacích

**ANEK BUDE NÁM TO VŠECHNO DOBŘE FUNGOVAT
A BUDEME MÍT ZÁROVEŇ PŘEHLED?**

Odpojovací prvky BMS nemohou být podobně jako záchranná brzda ve vlaku jedinou ochranou před havárií. Stejně, jako má vlak běžnou provozní brzdu, musí mít i bateriový pack běžné provozní omezování nabíjecího a vybíjecího proudu. Odpojení packu „BMSkou“ je tedy havarijní událost, nikoliv „informace“ pro nadřazený systém. Při náhlém a nečekaném odpojení navazujících modulů od baterie ze strany BMS se totiž mohou tato zařízení poškodit či zničit. Stejně tak pro uživatele by náhlé odpojení bylo značně nekomfortní (zařízení „najednou“ nefunguje, v domě je tma...).





Součástí složitějších BMS systémů je proto komunikace s nadřazeným systémem – nabíječem, regulátorem, střídačem atd. BMS je průběžně informuje o tom, že se blíží nějaký mezní stav (plné nabití či vybití) a ty tak mohou v předstihu vhodným způsobem omezit svoji funkci a podat o aktuálním stavu odpovídající informaci uživateli.⁴⁸

VÍCESTUPŇOVÁ ANALOGOVÁ KOMUNIKACE

Pokud se soustava přibližuje meznímu stavu, BMS může včas zasáhnout předběžným opatřením. Typickým příkladem je povel ke snížení nabíjecího proudu, pokud je bateriový pack již téměř nabitý nebo naopak odpojení postradatelné části spotřeby, pokud již v baterii zbývá málo energie. Taková komunikace BMS s nadřazenými systémy pomocí několika analogových výstupů je spolehlivá a přitom šetrná k bateriovému packu. I při použití pokročilé digitální BMS řízené softwarově doporučujeme tento způsob „komunikace“ baterie podržet jako zálohu. Příkladem takového jednoduchého BMS je modul CPM1 od společnosti GWL.⁴⁹

ZOBRAZOVÁNÍ STAVŮ, SIGNALIZACE A MÍSTNÍ OBSLUHA

Úměrně prostředí a poučenosti místní obsluhy volíme způsob akustické

signalizace a vizualizace stavů, a to např. od jednoduchého tříbarevného „semaforu“ až po zobrazení mnoha hodnot na displeji. Zdrojovou hodnotou zobrazení jsou nejčastěji mezní hodnoty napětí článků, případně rozdíl mezi článkem s nejvyšším a nejnižším napětím. Celkové napětí bateriového packu není dostatečnou informací. Zásahy obsluhy na základě vyčtených hodnot opět závisí na její poučenosti a nastavení systému. Vždy by ale mělo být zajištěno snadné ruční havarijní odpojení.⁵⁰

PŘENOS DAT, VZDÁLENÝ MONITORING A OVLÁDÁNÍ

Pokud provozujeme více bateriových packů a/nebo jsou těžko fyzicky dosažitelné, doporučujeme systém BMS rozšířit o vzdálený monitoring a ovládání. V praxi se jedná o minipočítač (Arduino, Raspberry, Android box, LAN Controller, Tecomat apod.), který je připojený ethernetem do LAN, lokální Wi-Fi sítě, či je doplněn LTE/3G modemem. Údaje o bateriovém packu (celkové napětí, SoC, napětí nejslabšího a nejsilnějšího článku a další dle potřeby) jsou přes BMS převedeny do podoby analogového napětí (například 0 – 3,3 V), sledovány pomocí analogových vstupů minipočítače a odesílány v pravidelných intervalech na server, kde jsou pak zpracovány dle

potřeby, viz dále. Příkazy pro bateriový pack zaslané pomocí komunikační sítě (www, internet, SMS) jsou naopak převedeny do logických výstupů na ovládacích relé. Takový jednoduchý systém umožňuje informovat uživatele o stavu baterie emailem, SMS zprávami, vizualizovat stav baterie do grafu na web, vzdáleně bateriový pack vypínat, zapínat, nabíjet apod.

PC PROSTŘEDÍ PRO VZDÁLENÝ MONITORING

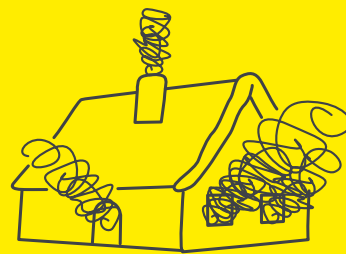
Nejspolehlivější je data z bateriového packu aktivně odesílat (např. pomocí protokolu HTTPS) na vzdálený server a ukládat je do databáze (např. MS SQL, MySQL...). Pasivní vyčítání údajů z komunikačního modulu se ukazuje jako nepraktické, protože většina mobilních operátorů či levných Wi-Fi routerů standardně neumožňuje přímý přístup z veřejného internetu na klientská zařízení. Uložená data se pak vizualizují na webovou stránku, kde mohou být i ovládací tlačítka. Takový systém je nezávislý na platformě a lze ho trvale sledovat a ovládat jakýmkoliv současným i budoucím zařízením (dotykový telefon, tablet, PC...).

DIGITÁLNÍ KOMUNIKACE MODULŮ, KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY

Pro komunikaci bateriového packu (respektive jeho BMS) s ostatními komponenty (např. palubní deska vozidla, fotovoltaiický regulátor, střídač u UPS, frekvenční měnič pro motor, ovládací klávesnice), se používají různá standardizovaná rozhraní. Dříve převládala tzv. sériový port RS232, dnes místo něj nastupuje RS485 s protokolem Modbus, sběrnice 1-Wire, I2C apod.

- 48 Produktová stránka [nabíječů GWL s možností napojení na BMS](#) a popis jejich zapojení s GWL CPM1. Zde se dozvíte, jak nabíječ propojit s BMS GWL CPM1 tak, aby nabíječ přestal automaticky nabíjet pack, pokud byt jediný z článků dosáhne limitního napětí.
- 49 [Produktová stránka modulu CPM](#), kde je vysvětlena podrobně funkce i zapojení, včetně návodu k instalaci a obsluze.
- 50 [Zapojení a fotky GWL/Modular BPS modul](#) včetně havarijního odpojovacího tlačítka.

KONTROLNÍ OTÁZKA: KOMU SVĚŘÍTE OBSLUHU?
ZVLÁDNE TO I VAŠE BABIČKA?





Your complete power solutions.

Technologie LiFePO₄ je velmi vhodná a bezpečná pro široký rozsah průmyslových i domovních aplikací. Ve většině případů je třeba baterii vybavit systémem managementu (BMS). Rozsah BMS závisí na způsobu užívání, kvalifikaci a zodpovědnosti uživatele. Celek baterie s BMS je třeba správně integrovat do systému a zajistit bezpečnostní odpojení. Řízená LiFePO₄ baterie bezpečně snese hluboké vybití i vysoké zátěžové proudy. Rezervou v kapacitě a šetrným užíváním se zvyšuje její životnost a spolehlivost na desítky let.

Pro pravidelný přísun speciálních nabídek, novinek, návodů a triků nás sledujte na:



GWL Power



@GWLPower



GWLPower



GWL Power

EVPower a.s., Průmyslová 11, 102 19 Praha 10, Česká republika
e-mail: sales@gwl.eu, tel: +420 277 007 500

www.gwl.eu

