

Accu

management

waar u bij het gebruik van (lithium-)accu's op moet letten

Dr. Thomas Scherer (Duitsland)

Met moderne accu's op basis van het alkalimetaal lithium is het opslaan van elektrische energie tegelijk eenvoudiger en gecompliceerder geworden. Je krijgt meer energie per volume en hebt nauwelijks last van zelfontlading. Maar als je meercellige accu's oplaadt, heb je 'management' nodig!



Wat is er zo speciaal aan lithium-accu's dat ze, in tegenstelling tot andere gangbare accutechnologieën, absoluut een elektronisch accumanagement vereisen? Hieronder behandelen we deze vraag en de antwoorden daarop.

Niet-lithium-technologie

Lood

Hoe eenvoudig was het leven met loodaccu's: je perst zoveel stroom als toegestaan of beschikbaar in de accu en stopt daarmee zodra de laad-eindspanning (vanaf nu: LES) is bereikt. En accu's met meerdere (in serie geschakelde) cellen? Ook geen probleem. Vermenigvuldig simpelweg de LES met het aantal cellen en klaar is Kees. En dat geldt nog steeds.

Waarom is dat zo? Gewoon omdat lood/zuur-accu's niet meteen kapot gaan bij overladen (ze ontgassen hooguit een beetje). Mocht

een van de cellen van een accu dus iets minder capaciteit hebben dan de rest, dan kan men de overige cellen toch opladen tot de juiste LES. Deze robuustheid zorgt ervoor dat bijna alle auto's vandaag de dag nog steeds een 12V-boordaccu hebben in een strikt genomen anachronistische loodtechnologie, hoewel andere accutypes veel gewicht zouden besparen. Een laptop met loodaccu's neem je niet graag op schoot!

Niettemin: deze accu's zijn zo robuust dat je met een 55A-dynamo plus primitieve regelaar gemakkelijk jarenlang een standaard 44Ah-accu voor een kleine auto kunt kwellen – bepaald indrukwekkend.

Zoals bekend bedraagt de typische celspanning 2 V. De LES is ongeveer 2,35...2,4 V/cel, wat neerkomt op 14,1...14,4 V voor een auto-accu met 6 cellen. Een lood/zuur-cel mag niet worden ontladen onder 1,8 V. Ergo – een auto-accu raakt beschadigd als de



Figuur 1. Typische NiMH-cel in AA-formaat met geringe zelfontlading.



Figuur 2. De accu van de voormalige Prius II van de auteur. U ziet 28 pakketten van elk 6 cellen, goed voor een nominale spanning van 201,6 V.

spanning onder 10,8 V komt, wat bijvoorbeeld bij een zelfontlading van ongeveer 5%/maand kan gebeuren met motorfietsen als u ze in de winter niet tenminste één keer oplaadt.

Nikkel-cadmium

De zogeheten ronde NiCd-cellen werden vooral populair als vervanging voor zink/koolbatterijen in consumentenelektronica. Inmiddels is dit type accu in de EU al meer dan 10 jaar verboden vanwege de milieuvervuiling door het cadmium dat er in zit. NiCd-accu's zijn inmiddels uit het dagelijkse leven verdwenen, daarom hoeven we er niet veel woorden aan vuil te maken.

De eigenschappen van deze accutechnologie in het kort: NiCd-accu's zijn bestand tegen vrij hoge stromen en veel laadcycli, daarom werden ze in het verleden gebruikt voor modelauto's en dergelijke. Deze accu's hebben een nominale spanning van 1,2 V per cel. Het opladen is vergelijkbaar met de loodaccu, tot een LES van 1,5...1,57 V/cel (afhankelijk van de stroom). Diepe ontleding tot onder 0,85 V/cel beschadigt de accu, hoewel deze veel robuuster is dan een NiMH- of lithium-accu. De zelfontlading loopt op tot maar liefst 20%/maand. Serieschakeling bij het opladen is geen probleem – daarom is er nauwelijks managementelektronica nodig.

Nikkel-metaalhydride

Kleine ronde NiMH-cellen zoals de AA-typen van **figuur 1** zijn de niet-giftige vervanging van NiCd-cellen. Maar niet alleen in kleine uitvoeringen: jarenlang waren ze bijvoorbeeld dankzij de lage prijs en het eenvoudige onderhoud standaard bij accugereedschappen. En ook de grotere uitvoeringen komen we nog regelmatig tegen: het 'prototype' van alle hybride auto's, de Toyota Prius, was in de II- en III-modellen een bijna honderd kilo zware NiMH-accu rijk (ongeveer 200 V en 6,5 Ah). Hiermee wordt een voor dergelijke auto's enorme levensduur en aantal laadcycli bereikt, dankzij een goede regeling van het laad- en ontladgedrag en het niet volledig 'opgebruiken' van de capaciteit. **Figuur 2** toont de geopende accu van mijn voormalige Prius II. Bij plug-in hybrides en nieuwere hybride modellen zijn Toyota en alle andere fabrikanten overgestapt op lithium vanwege de gewichtsbesparing – nadat de problemen rond deze technologie goed genoeg opgelost konden worden. De zelfontlading van NiMH-accu's is (doorgaans) vergelijkbaar met die van NiCd-typen. Er zijn echter varianten zoals de accu van **figuur 1**, die een veel geringere zelfontlading hebben van ongeveer 1,5%/maand (wat ten koste van de vermogensdichtheid gaat). Deze batterijen verdienen altijd de voorkeur voor gadgets die minder vaak worden gebruikt, omdat diepe ontladen NiMH-batterijen onbruikbaar worden.

Lithium

Accu's op basis van lithium vervangen in de meeste toepassingsgebieden steeds meer alle andere soorten, omdat ze zoals bekend betere prestaties bij minder volume per kilo gewicht hebben en

een extreem geringe zelfontlading van ongeveer 5%/jaar vertonen. Maar er zijn ook nadelen: de zogenaamde Li-Ion-accu's (lithium-ion) zijn erg gevoelig voor overladen en diep ontladen. Je verliest niet alleen capaciteit, sommige soorten kunnen openbarsten of zelfs in brand raken. En niet te vergeten: bij lage temperaturen neemt de beschikbare capaciteit af. En hoewel dit laatste omkeerbaar is, is het nog steeds een probleem voor elektrische auto's met dit type accu's. Li-Ion-accu's voelen zich ook bij hoge temperaturen niet prettig.

Vanwege de gevoeligheid voor overladen is voorzichtigheid geboden bij het in serie schakelen voor hogere spanningen. Dan is in ieder geval extra elektronica nodig in de vorm van een *balancer*, die voorkomt dat individuele cellen met een toevallig iets lagere capaciteit overbelast raken als de overige cellen nog niet volledig zijn opgeladen. En er zijn meer factoren waar u rekening mee moet houden. Het zal in ieder geval duidelijk zijn dat Li-Ion-accu's altijd een (soms complex) accu-managementsysteem nodig hebben (BMS, *Battery Management System*).

Wat de zaken nog ingewikkelder maakt, is dat er niet slechts één type lithium-accu is. Afhankelijk van de gebruikte technologie en interne chemie, variëren het mogelijke aantal cycli, de TCS (typische celspanning), de LES, de OLES (ontlaad-eindspanning), de maximale ontladestroom en andere parameters. Het BMS moet worden afgestemd op deze parameters en natuurlijk op de stromen en werktemperaturen die in de specifieke toepassing optreden.

Als je elektrische auto's buiten beschouwing laat, waarvoor speciale voorwaarden gelden en waar enorm veel moeite wordt gedaan om de dure accu's te beschermen, dan is de situatie bij kleinere accusystemen voor draagbare apparaten zoals laptops of Bluetooth-speakers, tools zoals accuschroevendraaiers of huishoudelijke apparaten zoals accu-stofzuigers gelukkig wat overzichtelijker omdat geen rekening met koeling of verwarming hoeft te worden gehouden. Bij smartphones is het het eenvoudigst, omdat daar geen cellen in serie zijn geschakeld en geen balancer nodig is. De geïntegreerde laadelektronica hoeft alleen rekening te houden met de LES en OLES en met de maximale laadstroom.

Bij de kleinere Li-Ion-accu's domineren twee types: enerzijds types waarvan de elektroden uit kobalt, kobaltdioxide, mangaan en/of nikkel en aluminium bestaan. Het leeuwendeel berust op de beproefde LiCoO₂-technologie. Gelukkig ligt voor al deze types de TCS rond de 3,6...3,7 V, de LES bedraagt 4,2 V en de OLES 2,5 V (uitzondering: bij LiNi_xCo_yAl₂O₂ is de OLES 3,0 V). Ook al verschillen de toegestane stromen en de levensduur, kunnen al deze types in principe met dezelfde methode (lees: dezelfde IC's) worden gemanaged.

Afwijkend is de lithiumijzerfosfaat-accu (LiFePO₄), waarvoor geldt: TCS = 3,2 V, LES = 3,65 V en OLES = 2,5 V. Dit type accu heeft een groot aantal laad/ontlaadcycli bij een iets geringere vermogensdichtheid. Hiervoor is in elk geval een balancer nodig die voor deze

spanningen geschikt is. De halfgeleiderindustrie biedt natuurlijk oplossingen voor beide soorten en voor verschillende stromen en aantallen in serie geschakelde cellen – sommige IC's zijn zelfs programmeerbaar, omschakelbaar voor bepaalde parameters of voorzien van een μC -interface.

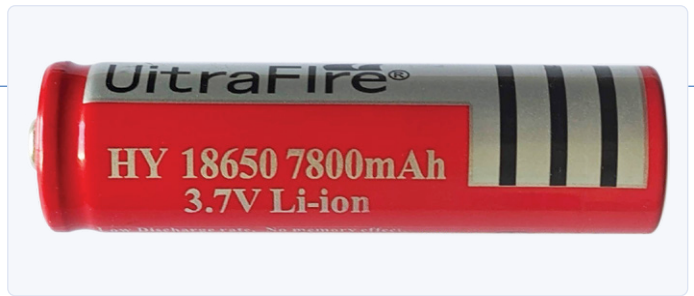
Li-Ion-accu's zijn in verschillende uitvoeringen verkrijgbaar: De LiPo-types (lithiumpolymeer) worden voornamelijk toegepast in mobiele apparaten en laptops omdat ze in alle mogelijke vormen en ook extreem plat kunnen worden geconstrueerd. De term polymeer betekent in eerste instantie dat de LiPo's in een kunststof folie zijn geseald in plaats van in een stevige behuizing – niet knikken dus. Dan zijn er nog verschillende ronde cellen, waaronder het veelvoorkomende type 18650 (diameter 18 mm, lengte 65 mm) waarvan duizenden stuks in elke elektrische Tesla-auto worden gebruikt – de vrije ruimte tussen de ronde cellen wordt gebruikt voor de temperatuurregeling. **Figuur 3** toont een 18650-cel uit China met een fantasie-opdruk: niet alleen papier, maar ook kunststof en HTML zijn geduldig – 7800 mAh past domweg niet in het 18650-formaat. De beste momenteel verkrijgbare cellen halen in de praktijk ongeveer de helft. Ten slotte kennen we nog de zogenaamde prismacellen, waarvan de naam alleen aangeeft dat ze een rechthoekige in plaats van een ronde behuizing hebben. Zulke cellen zijn bijvoorbeeld ingebouwd in de Duitse 'Hotzenblitz' mini-auto. In **figuur 4** is te zien dat elke cel eigen elektronica heeft om de toestand te bewaken.

Balancer

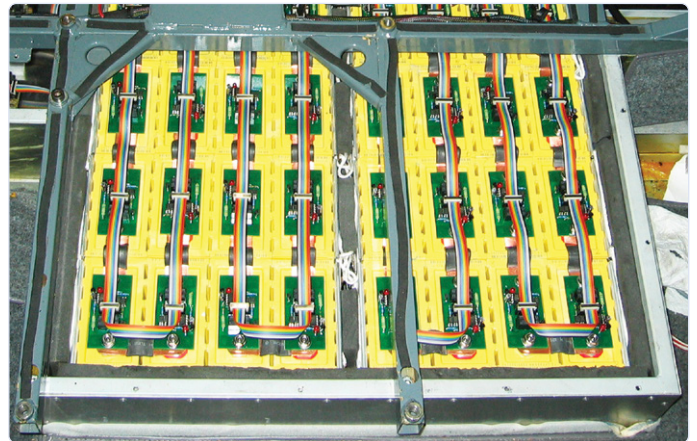
De term 'battery management' is eigenlijk nogal vaag en omvat alles wat te maken heeft met het bewaken en regelen van het laden, ontladen en de bedrijfstoestand van accu's. Terwijl dit bij lood-, NiCd- en NiMH-accu's alleen betrekking heeft op de naleving van de LES- en OLES-voorschriften en af en toe stromen begrensd moeten worden, is de situatie ingewikkelder bij lithium-accu's vanwege de problemen met de serieschakeling van dergelijke cellen. Hier heeft het BMS absoluut een balancer nodig wanneer het om meer dan één cel gaat!

De belangrijkste reden hiervoor is dat lithium-accu's een hekel hebben aan overladen. En omdat de capaciteit van de cellen zelfs bij massaproductie per batch enigszins varieert en er ook verschillen kunnen optreden door veroudering, is er bij serieschakeling altijd één cel die bij het opladen als eerste vol is. Op dat moment is de LES voor de batterij als geheel nog niet bereikt en als het laden doorgaat, zou de 'zwakke' cel op zijn minst beschadigd worden – bij de volgende laadcyclus zou die cel nog eerder 'klaar' zijn, met als gevolg een vicieuze cirkel die na een paar cycli in ieder geval de zwakke cel doet overlijden (en dus de hele accu) – zo niet erger. Een balancer voorkomt dit.

In de eenvoudigste uitvoering voor een accu met twee cellen (**figuur 5**) bewaakt de balancer de spanning over elke cel. Als een van beide cellen zijn LES bereikt, wordt een geschikte (kleine) belasting parallel aan de cel geschakeld zodat de laadstroom dan als het ware aan de cel voorbij gaat en de andere (betere) cel toch volledig kan worden geladen. Bij meer dan twee cellen wordt de balancer dienovereenkomstig geschaald. **Figuur 6** toont een kleine BMS-print voor vier (kleine) cellen; op eBay worden deze in soorten en maten aangeboden voor verschillende aantallen cellen en voor prijzen tussen 1 en 10 euro. In **figuur 7** kun je zien hoeveel moeite ik heb gedaan voor de 48V-LiFePo-accu van mijn Segway-kloon: elke cel wordt door een eigen microcontroller bewaakt.

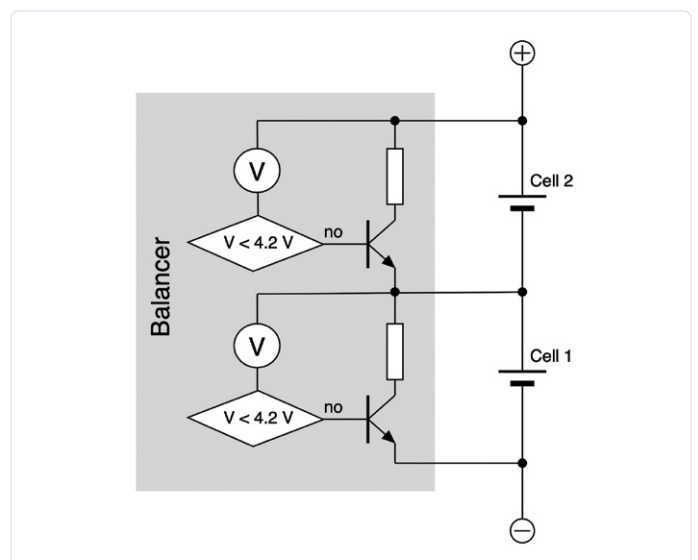


Figuur 3. Typische lithium-cel in 18650-formaat met extreem overdreven capaciteit. Deze cel heeft ingebouwde elektronica die diepontladen en overladen voorkomt.

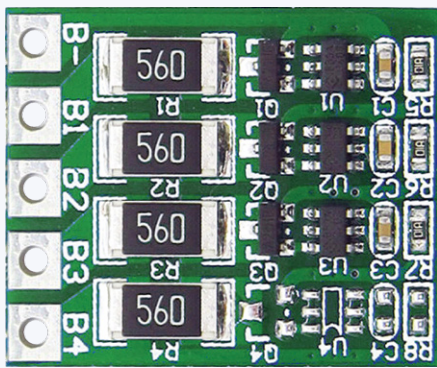


Figuur 4. Deel van de LiFePo-batterij van de Duitse mini-auto 'Hotzenblitz', met elektronica voor accumanagement (foto: Joes-Wiki, CCASA 3.0 DE [2]).

Je zou nu kunnen vragen: "Een kleine belasting?" En daarmee had je in theorie gelijk, maar niet in de praktijk. Puur formeel zou de in geval van nood parallel geschakelde belasting de volledige laadstroom langs de te beveiligen cel moeten leiden, maar in de praktijk is die stroom significant kleiner dan de maximaal optredende laadstroom. De reden is dat Li-Ion-accu's in eerste instantie met de nominale stroom worden opgeladen tot een laadtoestand van 50...80%, maar vanaf dat moment met een kleinere (en meestal



Figuur 5. Blokschema van een eenvoudige balancer voor twee cellen.



Figuur 6. Dergelijke balancer-printjes zijn op eBay goedkoop in talloze varianten en uitvoeringen te vinden.

gestaag kleiner wordende) stroom. Met LiCoO_2 -cellen is de stroom bij het opladen boven 3,95 V tamelijk gering. Omdat de verschillen tussen gezonde cellen niet zo groot zijn, is het voldoende om deze significant kleinere stroom af te voeren. In de praktijk zijn extra belastingen voor circa 1... 5% van de maximale stroom bijna altijd voldoende. En als dat niet genoeg is, dan is een cel 'echt slecht' en zou een grotere belasting op langere termijn geen voordeel bieden. Afhankelijk van de optredende stromen verstookt een balancer energie die wellicht beter kan worden gebruikt. Er bestaan dan ook speciale balancers die de overtollige energie voor een te beschermen cel niet gewoon in warmte omzetten, maar via een step-up-regelaar (voor elke cel één!) direct terugvoeren naar het systeem als geheel. Het valt te begrijpen dat deze balancers relatief zelden worden ingezet...

Een ander belangrijk criterium: balancers zijn gebaseerd op elektronische componenten, en geïntegreerde schakelingen voor hoge spanningen zijn niet eenvoudig te ontwikkelen en goedkoop te



Figuur 7. LiFePo-batterij met balancer van de Segway-kloon van de auteur.

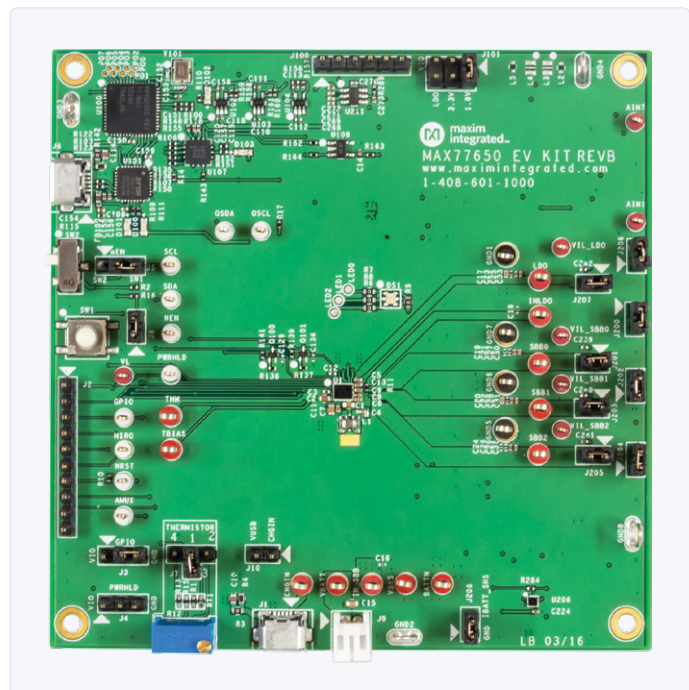
produceren. Daarom stuit de mogelijke schaalvergroting op praktische grenzen. Moderne BMS-IC's zijn verkrijgbaar voor 2...12 cellen. Met 12 cellen heb je al een bedrijfsspanning van ongeveer 50 V. Wil men meer cellen in een accu, dan kan de BMS-elektronica gewoon worden opgeschaald. Met de 800V-systemen van moderne elektrische auto's heb je dan niet minder dan 20 modules met 12s-BMS-IC's in serie (de 's' in 12s staat voor 'cel'). De afzonderlijke deelsystemen zijn dan via een (galvanisch gescheiden) bus met elkaar en veelal ook met een centrale controller verbonden.

IC's

Zoals we al opmerkten, biedt de industrie een groot aantal speciale IC's voor alle denkbare toepassingen – te veel om hier een bruikbaar overzicht te geven. In plaats daarvan bekijken we een schakeling rond een specifiek IC als voorbeeld. Maar eerst nog iets anders. Naast het in evenwicht houden heeft een BMS in de meeste toepassingen met lithium-accu's ook de taak om de batterij te beschermen tegen onderspanning en overstroom. Vaak is ook de laadschakeling in het systeem opgenomen. Het ligt voor de hand om voor zulke ingewikkelde zaken een microcontroller te gebruiken. In moderne BMS-schakelingen is daarom soms een kleine SoC geïntegreerd (of een corresponderende interface). BMS-IC's zijn daarom niet alleen te vinden bij de bekende fabrikanten van analoge IC's of schakelende regelaars, maar ook bij bedrijven als Microchip, Maxim (zie **figuur 8**) of Renesas. Ons voorbeeld-IC komt van die laatste (vooral bekend om zijn microcontrollers).

Figuur 9 geeft het interne blokschema van het BMS-IC ISL94212. Links zien we de aansluitingen voor massa (onder) en de positieve bedrijfs- of accuspanning (boven) en de vele aansluitingen voor in totaal twaalf lithium-cellen. De spanningen gaan van de 'input buffer/level shifter' via een schakelaar (VC MUX) en een tweede selector (MUX) naar een A/D-omzetter. Er zijn ook referentiespanningen, schakelingen voor het meten van de temperatuur enzovoort, het bewaken van de OLES – en natuurlijk het belangrijkste: het geheel digitale blok 'Control Logic and Communications'.

Figuur 10 toont de typische toepassingsschakeling en zien we in meer detail hoe het IC wordt aangesloten. Links van de linker ISL94212 en rechts van het rechter exemplaar zijn de cellen aangesloten; aan de rechterkant van het linker IC stuurt een microcontroller het BMS via een digitale interface. Als u meer dan 12 cellen wilt bewaken, zijn extra modules met elk een ISL94212 vereist. De afzonderlijke modules zijn in serie geschakeld: daarom zijn er twee DHi- en DLo-pinnen per IC (met indices 1 en 2). Vanwege



Uiteraard kan het IC niet alleen een groot aantal cellen bewaken, maar ook voor het balanceren zorgen. **Figuur 11** toont hoe telkens één belastingsweerstand (uiterst links) wordt aangesloten via een low-power MOSFET die wordt aangestuurd door de corresponderende IC-uitgang CBX. Op deze manier is het balanceren ook bij grotere stromen mogelijk. Details van de vele IC-functies zijn te vinden in het datablad [1].

Als u te maken hebt met een lithium-accu, kunt u in principe kiezen uit drie strategieën: voor eenvoudige toepassingen koopt u gewoon een kleine, goedkope en kant-en-klare print uit China, zoals die van figuur 5. Voor een grotere en/of duurdere accu's kunt u ook bij de bekende (merk-)fabrikanten kiezen uit een uitgebreid assortiment kant-en-klare BMS-oplossingen. En *last but not least* kunt u een oplossing 'op maat' bouwen voor de betreffende accu. IC's zijn er meer dan genoeg. In sommige gevallen (als het nauwkeurig moet zijn) kunt en moet u uw eigen code schrijven voor het bewaken en regelen van de accu. In al deze gevallen is Google uw steun en toeverlaat.

elektor November/Dezember 2020 29