

Alles wat je weten wilt over Li-ion accu's en niet durft te vragen V2.0

Lithium plating, hoe werkt dat?

- Lithium heeft een standaard elektrode potentiaal (spanning t.o.v. Waterstof) van $-3,04\text{V}$ bij een temperatuur van 25°C .
- IJzer heeft een standaard elektrode potentiaal (spanning t.o.v. Waterstof) van $+0,41\text{V}$ bij een temperatuur van 25°C .

Potentiaal waarden uit Wikipedia:

https://nl.wikipedia.org/wiki/Tabel_van_standaardelektrodepotentialen

(staan ook in BINAS als je Wikipedia niet vertrouwd)

Tel deze waarden bij elkaar op, dan is er een potentiaal verschil van $3,45\text{V}$ tussen Lithium en IJzer bij een temperatuur van 25°C .

Een geheel / 100% SoC geladen Lithium-IJzer ionen of LFP cel heeft een verschilspanning van $3,45\text{V}$ bij een *kerntemperatuur* (in de cel gemeten) van 25°C . Kun je de temperatuur niet in de cel meten... dan kun je geen nauwkeurige metingen doen en moet je de klemspanning als meetwaarde nemen. De elementen Fosfor, Zuurstof en eventueel Yttrium nemen geen deel aan de vorming van de elektrodepotentiaal in LFP cellen.

Bij laden:

Bij het laden van een LFP-cel worden de Lithium ionen aan het IJzer van het Ferfosfaat gekoppeld tot LiFePO_4 . Zijn alle Li-ionen aan het Ferfosfaat gekoppeld dan is de cel geheel geladen (100% SoC) en is de spanning van de cel $3,45\text{V}$. Dit is het punt waarbij de cel geen lading meer zal opnemen omdat...

alle Lithium is gekoppeld aan het Ferfosfaat en er geen Lithium meer over is om te koppelen
of

alle Ferfosfaat bezet is met Lithium ionen en er zijn geen koppelingsplaatsen meer vrij in het Ferfosfaat.

Zou je bij 100% SoC de laadspanning verhogen boven de $3,45\text{V}$ (per cel) dan worden de Lithium ionen losgemaakt uit het Li(Y)FePO_4 want je overschrijdt de elektrodepotentiaal. De hoeveelheid ionen die worden losgemaakt is evenredig aan de stroom die door de cel loopt. Omdat je nu boven de spanning van $3,45\text{V}$ bij 25°C komt en er stroom loopt, ben je aan het overladen.

Door een laadspanning boven de $3,45\text{V}$ zul je de lithium ionen uit het Ferfosfaat 'trekken' en zullen er elektronen beschikbaar komen om het 'gat' in de buitenste schil van het Lithium ion te vullen en zo 'metallisch' Lithium te vormen. Eventueel kan het Lithium ion in totaal 8 elektronen in de buitenste schil opnemen om een stabiele 'edelgas configuratie' (die van Neon) te vormen.

Het ontstane metallisch Lithium gaat over naar een kristalstructuur zoals bij metalen gebruikelijk is. Het Lithium heeft in de kern van het atoom 3 protonen (naar het atoommodel van Bohr) en wordt door 3 elektronen lading neutraal gemaakt (3 positieve protonen in de kern t.o.v. 3 negatieve elektronen in de schil). Doordat de Lithium ionen nu 'ongeladen' atomen zijn geworden, worden zij niet meer door elektrische velden aangetrokken en vormen zij een Lithium 'laagje' over de elektroden in de cel. Dit werkt als een 'atomaire kooi van Faraday'. Hierdoor is geen ionen wisseling tussen de elektroden meer mogelijk en is de cel door 'lithium plating' kapot gemaakt. In publicaties

spreekt men ook wel over 'dood Lithium'.

Wie aan 'trickle charging' of 'float charging' doet (een – al dan niet geringe – laadstroom aanleggen bij een cel met 100% SoC) is dus zelf schuld aan verkorting van de levensduur van zijn Li-ion accu's. (Het werkt op precies dezelfde manier bij LiCoMnO cellen en bij LiTiO cellen, zei het dat de spanningen bij de andere soorten cellen anders zijn).

'Is dat nou echt zo belangrijk om op de milliVolt nauwkeurig te laden?' Einstein zei ooit: "God dobbelt niet" toen iemand opmerkte dat er wel eens een uitzondering zou kunnen zijn op zijn relativiteitstheorie... Dus ja, het is belangrijk dat je de eindlaadspanning goed bewaakt en begrenst en ook de kerntemperatuur van de cel een factor laat zijn in de beschouwing van de meetwaarden.

Bij ontladen:

Bij het ontladen van de cel worden de Lithium ionen van het Ferrofosfaat los gemaakt en verplaatst naar de 'min'-elektrode waar zij een negatief geladen elektron afgeven die een elektronenstroom veroorzaakt. Het Ferrofosfaat blijft op de 'plus'-elektrode.

Een 'volle cel' heeft één groot cluster van LiFePO_4 groepen en dit cluster blijft bestaan tot het punt dat er zo weinig ferrofosfaat –zonder koppeling aan Lithium– op de 'plus'- elektrode aanwezig is dat er geen sprake meer is van een cluster. Zodra er geen sprake meer is van een cluster, is de cel in de eerste laadfase gekomen en niet meer in staat lading vast te houden. Bij meting van de celspanning zie je dat deze terugloopt naar een spanning van minder dan 1V. De celspanning is op dit punt gedaald tot 1,5V bij 25°C kerntemperatuur.

De ontladestroom heeft - voor dit punt wordt bereikt - de cel warmer gemaakt en dit is van invloed op de gemeten spanning. Een BMS zal geen gebruik kunnen maken van de kerntemperatuur van de cel of cellen en zal van de omgevingstemperatuur gebruik maken. Dit geeft een onnauwkeurigheid in het bepalen van het punt van overgang naar de eerste laadfase. Dit zorgt ervoor dat er bij de bepaling van de minimale spanning van een LPF cel een veiligheidsmarge wordt aangenomen van 0,5V tot 1,0V. De meeste fabrikanten houden een spanning van 2V tot 2,5V als minimum waarde voor de celspanning aan bij een omgevingstemperatuur van 20°C. Die omgevingstemperatuur kan door het BMS worden bepaald en bij het bereiken van het 'tripping point' kan het BMS de belasting van de cellen afschakelen zodat de cel(cellen) niet tot de overgang naar de eerste laadfase wordt(worden) ontladen.

De gevolgen van Lithium plating

Het bedekken van de platen met metallisch Lithium gaat het losmaken van Li-ionen uit het Lithiumferrofosfaat tegen. De opslagcapaciteit van de accu neemt af en bij ontladen wordt de celcapaciteit in Ah niet meer gehaald. De cel zal geen lading meer afgeven of opnemen. Dit zal niet meteen gebeuren. Het is afhankelijk van de stroomsterkte die wordt gebruikt na het punt dat de cel 100% SoC heeft bereikt. Is die stroom laag, dan zal het lang duren voordat de gehele oppervlak van de platen met metallisch Lithium is bedekt. Vaak is het dan mogelijk de cel nog enige malen te gebruiken omdat er gaten in de metallische Lithium laag zijn waar de ionenwisseling nog plaatsvindt. De laag ziet er dan uit als een 'plak Leerdammer kaas', waarbij er nog ionenwisseling plaatsvindt door de gaten in de kaas.

Is de stroom hoog, dan kan in één keer de totale oppervlakte van de platen in een cel bedekt zijn en is de cel kapot. De laag ziet er dan uit als een 'plak Edammer of Goudse kaas' met misschien een paar kleine gaatjes.

Een cel met Lithium plating is snel aan de 100% SoC en ook weer snel aan de 0% SoC. De capaciteit is sterk teruggelopen en wordt bepaald door de afmeting van 'de gaten in de kaasplak', in die gaten is

nog ionen uitwisseling mogelijk. Bij het laden van de cellen in een serieschakeling zal er door het verschil in capaciteit onbalans ontstaan doordat de cellen met lithium plating minder capaciteit hebben en eerder 'volgeladen' zijn maar ook eerder 'leeggelopen' zijn. De eerste reactie zal zijn om de cel langer aan de lader te zetten... Dat zal de cel snel geheel kapot maken omdat het langdurig laden met een lader die meer dan 3,45V als laadspanning gebruikt, de gaten in de Lithium laag snel vol maakt en uiteindelijk de platen van de cel geheel bedekt met metallisch Lithium. De cel is dan definitief kapot.

Er zijn publicaties over 'Lithium stripping' om het metallisch Lithium van de platen af te halen en het weer terug te voeren in de laag met Lithium Ferrofosfaat. Geen van de publicaties maakt melding van succes of een percentage toename van de capaciteit na het 'strippen'.

Andere vormen van slijtage

Lithium plating wordt vaak gezien als onoverkomelijke slijtage door het gebruik van de cellen. Dit is niet terecht. Lithium plating is geen slijtage, maar onkunde in de behandeling van li-ion cellen bij het gebruik. Welke slijtage van Li-ion cellen is mogelijk?

Mechanische slijtage

Er zijn geen meldingen van andere vormen van mechanische slijtage aan LiFePO cellen dan waarbij de cellen door de inwerking van mechanische krachten worden vernield. Hierbij wordt in het bijzonder vermeld dat de celpolen door het uitzetten van de cel door gasdruk, uit het kunststof worden getrokken. Dit heeft geleid tot het lostrekken van de 'lippen' van de 'pouches' van een cel uit de busbar. Meet je de celspanning van een cel en verandert deze als je tegen de polen van de cel duwt, dan heb je een cel waarvan één of meer 'pouches' van de 'bus' is losgeraakt.

De cel is bij de productie gasdicht en het elektrolyt zal niet verdampen en uit de cel verdwijnen tenzij de gasdichte wand wordt geperforeerd. Gebeurt dit wel, dan zal het elektrolyt langzaam uit de cel verdampen en het Lithium in de cel als eerste oxideren. Hierdoor neemt het volume van de inhoud van de cel toe en de cel bolt op. De cel kan geen lading meer opnemen en is definitief kapot.

Thermal runaway

Bij het laden boven het punt van 100% SoC kan laadstroom geen lading in de cel opslaan. In eerste instantie ontstaat er Lithium plating. In tweede instantie wordt het toegevoerde laadvermogen niet meer omgezet in lading, maar in de vorm van warmte door de cel gedissipeerd. De temperatuur in de cel neemt toe en het elektrolyt vergast waardoor de druk in de cel toeneemt. Heeft de cel een 'pop-off', dan zal deze openen en de druk afblazen. Bestaat het elektrolyt uit een brandbaar ether, dan ontstaat er nu een felle brand met mogelijk een explosie.

Bestaat het elektrolyt uit een onbrandbaar gemaakt ether dan zal er niet waarschijnlijk brand ontstaan en de cel zal 'ontgassen'. Blijft de laadstroom aanwezig, dan zal de temperatuur in de cel verder toenemen waardoor de stoffen in de cel zullen oxideren. Door dit oxideren neemt de temperatuur verder toe tot uiteindelijk ook het keramiek in de cel kapot gaat. Het omhulsel van de cel barst / smelt open. Nu kan er zuurstof uit de buitenlucht bij de stoffen in de cel komen en neemt oxidatie nog verder toe en de temperatuur eveneens. Dit noemt men de 'thermal runaway'. De eerste bekende thermal runaway is de Nokia telefoon geweest, die was uitgerust met LiCoMnO cellen en die in de lader ontplofte.

Chemische slijtage

Er is melding van het ontstaan van zuren in de cel, waardoor deze zijn kapot gegaan. Is de cel goed gesloten, dan is het ontstaan van een zuur in de cel niet mogelijk door het aanwezige elektrolyt. Is de cel open door beschadiging van de behuizing, dan is zuurvorming mogelijk. De primaire oorzaak is dan mechanische slijtage.

Constructie

Elektrodes of platen

Bij de fabricage van LFP-cellen werden er in eerste instantie vlakke / gladde metalen platen gebruikt. Een koperen plaat voor de 'min' en een aluminium plaat voor de 'plus'. Bij metingen ontdekte men dat ook de aluminium ionen deel kunnen nemen aan de ionenwisseling en er een Aluminium ionenaccu ontstaat. Om dit tegen te gaan werd er nu metallisch Lithium met het aluminium gelegeerd. De 'plus' elektrode (of 'plus'-plaat) bevat al het actieve materiaal van de cel.

De koperen 'min'-plaat 'vangt' de Lithium ionen op en is de bron van de elektronenstroom die via de belasting naar de 'plus'-plaat gaat.

Het oppervlak van de platen is bepalend voor de kwantiteit van opslag van een cel. In eerste instantie werd het oppervlak van de platen door 'opruwen' vergroot en kregen de cellen meer opslagcapaciteit dan bij 'gladde platen'. Dit opruwen was geen verbetering van de mechanische stevigheid. De methode werd vervangen door gebruik van de 'piramide'-platen. Deze zien eruit als een soort wafelblad en zijn daardoor mechanisch sterker terwijl ze een groter oppervlak hebben. Na 2010 werd de koperen 'min'-plaat bedekt met een laagje koolstof in de vorm van grafiet. Dit was beter in staat elektronen uit het Lithium op te nemen (i.p.v. Koper) en verlaagde daardoor de toch al lage inwendige weerstand van de LFP cellen. Het oplaad / ontlad rendement van de LFP accu wordt nu alleen overtroffen door de Lithium Titanaat cellen en de 'supercap' oplaad condensatoren, die een nog lagere inwendige weerstand kennen.

Elektrolyt

Bij de introductie van de moderne Li-ion cellen zoals de Lithium polymeer cellen en de Lithium Cobalt Manganaat cellen, werd aangegeven dat het elektrolyt een 'organische vloeistof' bevatte. Bij het 'optrekken van het rookgordijn' (vanwege de patentstrijd tussen de uitvinders van de LiCoMnO cellen en de LiFePO cellen) bleek deze organische vloeistof een 'Ether' te zijn. Ether is een zeer vluchtige vloeistof die explosief - brandbaar is. Hierdoor werd het gebruik van LCM cellen in de luchtvaart verboden en ook het luchttransport van de cellen werd aan strenge regels onderworpen. LFP cellen hebben ook een elektrolyt waarin ether zit, maar dit is 'gehalogeneerd' (een deel van de waterstof ionen is vervangen door een Fluor, Chloor en / of Broom ion). Dit is een truckje dat bekend is uit de wereld van de vetoplossers waar TriChloorEtheen (kortweg Tri) en TetraChloor koolstof (kortweg Tetra of 'vlekkenwater') onbrandbare vetoplossers zijn.

De eigenschap die de gehalogeneerde ethers en de 'gewone' ethers gemeen hebben is de vluchtigheid. Een kleine temperatuurverhoging doet de ether sneller overgaan naar de gasvorm.

Bouw

Het gebruik van keramiek voor de mechanische constructie van de cel maakt dat de cel ook goed tegen hogere temperaturen kan. De moderne LFP cellen verdragen temperaturen tot 70°C. De temperatuurgrens van een cel wordt niet zozeer bepaald door het gebruik van het keramiek, maar door de druk die het vergassende elektrolyt bij een hoge temperatuur op de celwand brengt. Dit

doet de cel opbollen en dit valt het minste op bij een cilindrische cel. Een rechthoekige cel kan zich minder goed tegen 'opbollen' verzetten en zal 'dikker' worden en zich in de 'accubak' vastklemmen. Een steeds warmer wordende cel zal zijn 'geraamte' uiteindelijk door uitzetting kapot maken en openbarsten. Nu kan er zuurstof uit de lucht toetreden en kan de cel eindigen in een 'thermal runaway' waarbij de temperatuur in de cel tot 500°C kan oplopen. Het blussen met water kan het water splitsen in zuurstof en waterstof en daardoor contraproductief zijn zoals bij een 'aluminiumbrand'. Het 'groots afkoelen' met water is wel een mogelijkheid en dat zal bij een boot uiteindelijk automatisch gebeuren als deze in het water ligt. Je krijgt dan wel een hoop rotzooi op de bodem van het water.

Initieel laden

Is de cel gebouwd, dan moet deze worden geladen voordat er lading in de cel kan worden opgeslagen. In ongeladen toestand is het Lithium niet aan het Ferfosfaat gebonden en dit gebeurt pas nadat er lading in de cel is gebracht.

Eerste laadfase

Hiervoor heeft de nieuwe cel enige extra 'overtuiging' nodig in de vorm van een initiële laadspanning. Voor een LFP-cel is dat 4 tot 4,2V. Bij deze spanning is het Lithiumferfosfaat bereid een negatief geladen elektron af te staan aan de 'min'-plaat. Door het ontbreken van een elektron kan het positieve Lithium ion zich losmaken uit het Lithiumferfosfaat en zo het Lithium ion vormen dat kenmerkend is voor deze accutechnologie (daarom heten het Li-ion accu's). Het Lithium ion wordt door het laden weer aan het ferfosfaat gekoppeld. Hiervoor is een elektrische lading nodig en die lading kan worden afgestaan als de cel energie gaat leveren.

De cel zal in de eerste laadfase de lading niet vasthouden. Een Li-ion cel gaat pas lading vasthouden als er clustering ontstaat van gebieden met Lithiumferfosfaat. Pas dan wordt de lading vastgehouden. Dit vraagt een initiële lading en die lading ben je kwijt en die kun je niet gebruiken om iets te laten werken. Bij gladde platen ontstaan de clusters willekeurig op gebieden waar de +platen dicht bij de -platen komen. Bij piramide platen ontstaan de clusters op de toppen van de piramiden waar de platen dicht bij elkaar komen. Zijn de eerste clusters gevormd, dan valt na het wegnemen van de laadstroom de spanning niet meer terug naar 0 en blijft er lading in de cel aanwezig. De celspanning is dan iets boven de 1,2V. De cel is over gegaan naar de tweede laadfase.

Tweede laadfase:

In de tweede laadfase worden de clusters groter tot de cel geheel is geladen en alle Li-ionen aan het ferfosfaat zijn gekoppeld. De celspanning neemt dan toe tot 3,45V waarbij de cel geheel is geladen. Bij een lader met een vaste eindspanning van 3,45V is er dan geen spanningsverschil meer om nog stroom en daarmee lading in de cel te brengen. Doordat er geen stroom meer loopt kunnen er ook geen Lithium ionen meer worden verplaatst om 'Lithium plating' te laten plaatsvinden.

'Float charge', 'naladen' en 'druppelladen'

Dit zijn begrippen uit de wereld van de lood-zwavelzuur accu's. Vind je deze woorden terug in handleidingen van accu's of acculaders, dan moet je achterdochtig worden. Deze begrippen worden gebruikt om aan te geven dat er na het bereiken van de eind laadspanning een kleine laadstroom aanwezig blijft om achtergebleven loodsulfaat te splitsen naar zwavelzuur en zuiver lood (op de 'min'-plaat) en naar loodoxide (op de 'plus'-plaat). Er is geen zwavelzuur of lood in een lithium ion cel aanwezig en het aanhouden van een laadstroom zal er toe leiden dat een Li-ion cel zal kapotgaan aan 'Lithium Plating'. Hoe snel dit plaats vind is afhankelijk van de stroom die er loopt bij een spanning boven de 3,45V. Hoe hoger de spanning, hoe meer Lithium ionen worden losgemaakt uit het

Lithiumferrofosfaat. Hoe hoger de stroom hoe meer Lithium ionen aan een elektron worden gekoppeld en deel uit gaan maken van de lithiumlaag op de platen.

Einstein zei het al "God dobbelt niet", je bepaalt zelf of de cellen goed houdt. Aan de wal kun je wel nieuwe kopen, maar op het water halverwege st. Maarten is een Li-ion accu winkel erg zeldzaam.

Weetjes

Bij de eerste keer laden

is er een lader nodig die bij 4V voldoende laadstroom kan leveren om de clustering op de platen te laten beginnen. Daarna heb je een dergelijke lader alleen nodig als alle cellen zover zijn ontladen dat de celspanning onder de 1V is gekomen en de cel in de eerste laadfase is gekomen. Een cel in de eerste laadfase kan geen lading vasthouden en de klemspanning zal dalen naar een waarde onder de 0,5V.

Heeft de eerste clustering plaatsgevonden, dan is de cel in de tweede laadfase gekomen. In de tweede laadfase neemt de inwendige weerstand af en zal de spanning over de cel dalen naar ongeveer 1V (bij gebruik van een stroombron). Wordt de lader afgekoppeld, dan blijft er ongeveer 1V aan spanning op de cel aanwezig. De cel is dan in de tweede laadfase aangekomen en kan met een constante spanning van 3,45V verder worden geladen.

Als de cel geheel is geladen en de 3,45V celspanning is bereikt, stopt de laadstroom want er is onvoldoende spanningsverschil tussen lader en cel om nog laadstroom te laten lopen. De cel kan aangesloten blijven op de lader en er zal geen Lithium plating ontstaan omdat er geen stroom loopt die de Lithium ionen in de cel zal verplaatsen om in de vorm van metallisch Lithium op één van de platen neer te slaan.

Bijladen

Een cel in de tweede laadfase kan altijd worden bijgeladen uit een spanningsbron met een spanning van 3,45V. De clusters op de platen groeien dan aan tot het punt dat de cluster de plaat geheel bedekt. Dit gebeurt bij 3,45V en het laden stopt dan omdat er tussen de lader en de cel onvoldoende spanningsverschil is om nog stroom te laten lopen. Wordt de cel op dat moment belast dan wordt een deel of de totale laadstroom door de belasting opgenomen, eventueel aangevuld door stroom uit de cel. Na het belasten zal het laden weer worden voortgezet tot de celspanning weer gelijk is aan de laadspanning van 3,45V en de laadstroom '0' is.

Balancing

Door met een constante laadspanning van 3,45V te laden vindt in het hele traject 'balancing' plaats. Uiteindelijk komen alle cellen uit op een spanning van 3,45V, ongeacht de actuele capaciteit van de cel. Het is niet nodig de balancing bij individuele cellading te bewaken.

Temperatuurscoëfficiënt

Energie in op elektriciteit gebaseerde opslag systemen is gebaseerd op de beweging van de atomen of de deeltjes in de kern van de atomen (kernspin, orbitaal snelheid van de elektronen en atoom verplaatsingsnelheid). Bij het absolute nulpunt (-273°C) is er geen beweging meer en daarmee ook geen opgeslagen energie meer. Er is dan ook geen klemspanning meer (geldt voor alle 'batterijen', 'opslagcondensatoren' en 'accu's'). De opgeslagen energie is dan verdwenen en opgenomen door de 'koeler'.

Dit geeft een temperatuurcoëfficiënt van 3,45V over 298°C of 0,01193 Volt per graad Celsius.

Diep ontlading

Om te voorkomen dat een cel te diep wordt ontladen mag deze niet in de eerste laadfase terechtkomen. Alle belasting van de cel moet worden afgeschakeld indien de celspanning onder de 2V (bij 25°C) komt. Is het mogelijk dat de omgevingstemperatuur lager dan 0°C bereikt, dan is het raadzaam om de cel bij een hogere onderspanning (bv 2,5V) al af te schakelen.

Zelfontlading

Zelfontlading van LFP cellen is zeer gering. Dit op voorwaarde dat de cellen niet worden aangesloten op een lader met een bewaking / meetsysteem. Bij een set van 4 200Ah cellen, die tot 3,36V werden geladen, was de spanning bij één cel na een jaar identiek (3,36V) en bij de andere cellen na een jaar 3,34V. De meting na het laden en de meting na een jaar werden niet met dezelfde meter verricht en hebben daarom wel een mogelijke meetfout.

Blijven cellen aangesloten op een meetsysteem (ook meetsystemen die zijn ingebouwd in een lader) ter bewaking van de SoC, dan kunnen de cellen zich wel ontladen met de kleine stroom die het meetsysteem vraagt en zal een cel van 70Ah na 5 jaar zijn ontladen tot onder de grens tussen de tweede en eerste laadfase. De berekende meetstroom van de aangesloten lader is <5mA, Temperatuurdaling doet lading in een cel afnemen, maar temperatuurstijging voegt geen lading aan de cel toe. (Je kunt de cel niet boven de barbecue opladen.) Temperatuurschommelingen kunnen de verklaring vormen voor het afnemen van de lading bij li-ion cellen die buiten gebruik zijn gesteld.

Inwendige weerstand

Alle galvanische cellen hebben een inwendige weerstand. De inwendige weerstand van een cel is omgekeerd evenredig met de capaciteit in Ah. De inwendige weerstand van Li ion accu's is laag ten opzichte van loodaccu's en NiCad en NiMH cellen. Dit betekent dat het rendement van laden en ontladen bij Li ion cellen hoger is dan bij de andere accutechnologieën. Bij de LiCo (Lithium Cobalt) cellen is de weerstand het hoogst, daarna komt de LiCoMnO (Lithium Cobalt Manganaat) accu. De weerstand wordt nog lager bij de LiFePO (Lithium Ferrofosfaat) accu en de laagste inwendige weerstand wordt gehaald (voorlopig) door de LiTiO (Lithium Titanaat) accu. Hoe lager de inwendige weerstand, des te hoger de laadstroom/ontlaadstroom kan worden toegestaan.

Minimale laadstroom

Er bestaat niet zoiets als een minimale laadstroom om een LFP-cel te laden. Elke laadstroom, hoe laag dan ook, brengt lading in een cel. Pas als de stroom naar nul is gedaald, wordt de cel niet meer geladen.

Maximale laadstroom

De laadstroom warmt de cel op. De stroom door de inwendige weerstand is daarvan de oorzaak. Het vermogen dat in warmte wordt omgezet is gelijk aan $I^2 R_i$. De inwendige weerstand R_i is bij LFP cellen laag en dat betekent dat er veel laadstroom kan lopen waarbij er maar weinig warmte wordt opgewekt. Voor LFP cellen kan er zonder warm worden met een stroom van 3c worden geladen zolang de laadspanning niet boven de 3,45V komt.

Opwarmen van LFP-cellen

De ontladstroom loopt door de R_i van de cel en verwarmt de cel door vermogensverlies. Dit vermogensverlies kan worden berekend uit het kwadraat van de ontladstroom maal de inwendige weerstand van de cel ($I^2 \times R_i$). Bij een ontladstroom van 2A en een inwendige weerstand van 6mΩ wordt dat $2^2 \times 0,006 = 0,024W$. De invloed van de lage inwendige weerstand is hier duidelijk

zichtbaar.

In geval van een laadstroom van 2A geldt hetzelfde want de weerstand blijft hetzelfde.

De laadstroom wordt veroorzaakt door het verschil tussen de klemspanning van de cel en de laadspanning van de lader. Voorbeeld: klemspanning van de cel: 3,00V laadspanning: 3,45V, verschil is 0,45V. Dit spanningsverschil zorgt voor een laadstroom van $(U/R=I)$ $0,45V / 0,006\Omega = 75$ Ampère (als de lader dat aan kan!). Het laadvermogen dat de lader op dat moment wil leveren is: $U \times I$ ($0,45V \times 75A$) of 33,75W. Dan komt er elke seconde 33,75 Watt.seconde aan energie of 75 Ampère.seconde of Coulomb aan lading in de cel. Ter illustratie: 40 Watt.seconde of Joule aan energie zet je hart stil als de stroom door het hart langer dan 10 seconden duurt.

Is de cel geladen dan is de klemspanning 3,45V en de laadspanning 3,45V, het verschil is 0,00V en dan loopt er een laadstroom van $0,00V / 0,006\Omega = 0,00A$. Er is dan geen laadstroom en daarmee ook geen opwarming van de cel.

Je hebt een lader die aangeeft de cellen tot 3,65V te laden. De lader geeft trots aan dat deze een laadvermogen kan geven van maar liefst 100W. Bij een laadspanning van 3,65V is dat een laadstroom van $100W / 3,65V$ ofwel 27,4A. Nou, da's wel effe lekker: bijna 30A. Dan laad je dus de cel met 27,4A.s of 27,4 Coulomb op.

Er is een maar... De cel is bij het bereiken van 3,45V klemspanning 100% geladen en heeft geen mogelijkheid van opslag meer want 'vol is vol'! Het hele laadvermogen dat de lader afgeeft (100W) wordt dan door de cel omgezet in warmte, de temperatuur van de cel stijgt snel door deze 100W, de druk in de cel neemt toe en de cel gaat 'bol staan'.

Omdat er geen lading meer in de cel kan worden opgenomen, wordt de toegevoegde energie gebruikt voor Lithium plating. Daar gaat je goeie geld.

Ondertussen wordt de cel warmer en warmer totdat het elektrolyt wordt afgeblazen en er brand ontstaat omdat de Vaseline op de polen van de cel in de fik vliegt. De celtemperatuur komt nu boven de 100°C en de cel is op weg naar een 'thermal runaway'.

Wil je een 'root cause analysis'? Dit alles kan alleen maar gebeuren als je een laadspanning van meer dan 3,45V toestaat. Kom je niet boven die spanning, dan kan de lader niet voldoende energie leveren om de cel op te warmen.

Oh ja, gebruik nooit het brandbare vaseline of 'petroleum jelly' in elektrische installaties. Je gaat toch ook niet met een brandend kaarsje naar een aardgaslek zoeken?

De lader of het laadsysteem

Uitdrukking uit de Achterhoek:

"Twee eien laojen mien bèter op as unne gelijkrichter"

'Deze lader is geschikt voor loodaccu's en Li-ion accu's'. Nou dat geloof ik alleen als ik kan zien dat de celspanning per cel wordt aangegeven en de celspanning bij laden niet boven de 3,45V kan komen bij de instelling 'LFP-accu's'. In alle andere gevallen moet je naast de accu zitten tijdens het laden en alle celspanningen bewaken en de stekker er uittrekken als een cel boven de 3,45V komt.

'Deze lader heeft IU karakteristiek met absorptie laden'. Da's mooi, maar dat zegt me helemaal niets, behalve dat dit een lader is die met een toverformule is geschikt gemaakt voor het laden Li-ion accu's. Ik geloof niet aan toveren.

'Bij instellen van de accucapaciteit gaat onze lader over naar FLOAT met een float current van 0,01c als de accu is geladen.' Dat is mooi voor een lood - zwavelzuur accu maar het is 'de moord' voor een Lithium ion accu. Float-laden met een stroom van 0,01c betekent het bewust opwekken van Lithium

plating bij Li-ion accu's. Het betekent ook dat je zelf moet monitoren of de LFP cellen op 3,45V zijn gekomen om daarna de cellen van de lader af te koppelen.

'Bij onze li-ion lader kun je de FLOAT-spanning zelf instellen!' Dat is mooi als je de spanning op 3,45V kunt instellen. Kan dat niet... dan is die lader ongeschikt voor LFP Li-ion cellen.

Goede eigenschappen voor een LFP cellader:

De laadspanning komt nooit boven de 3,45V per cel. Je kunt de cel dan 24/7 aan de lader laten! De cel kan niet worden overladen omdat daar een spanning hoger dan 3,45V voor nodig is.

De lader heeft een thermische beveiliging voor de temperatuur van de lader.

De lader heeft een stroombegrenzer die de laadstroom begrenst als de lader te warm dreigt te worden.

Je moet de cellen altijd in één keer helemaal volladen anders loopt de laadcapaciteit van de cellen terug... Er is niemand die kan verklaren hoe dat komt en het is daarom ook niet waar.

Je moet de cellen gepulst laden zodat je aan 100% SoC komt zonder dat de cellen warm worden...

De cellen worden nauwelijks warm als je de 'eindlaadspanning' van 3,45V per cel aanhoudt. 'Pulsen' met een maximale spanning van 3,45V zorgt er alleen maar voor dat het laden langer duurt.

Door pulsend te laden voorkom je lithium plating... Door pulsend te laden kun je het loodsulfaat van de platen van een loodaccu verwijderen... Dit is niet op LFP accu's van toepassing en dus dikke flauwekul.

'Conditioning', 'bulk', 'absorption', 'IU laad algoritme', 'FLOAT' zijn allemaal trucjes om een loodzwavelzuur accu te laden en een LFP accu kapot te maken. Een goede LFP-cellen lader is een stroombegrensende constante spanningsbron, zo simpel is het.