

Lithium-ion opladen

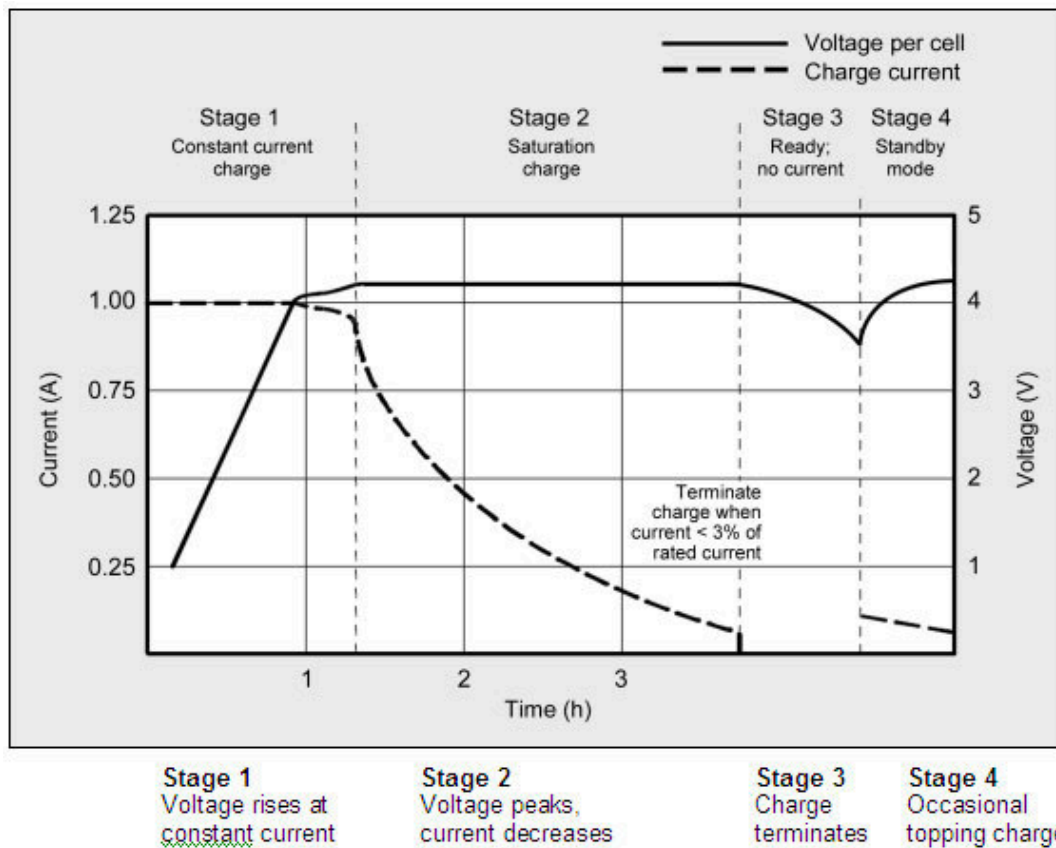
Het opladen en ontladen van batterijen is een chemische reactie, maar van Li-ion wordt beweerd dat het een uitzondering is. Batterijwetenschappers hebben het over energie die in en uit de batterij stroomt als onderdeel van de beweging van ionen tussen anode en kathode. Deze bewering is steekhoudend, maar als de wetenschappers helemaal gelijk zouden hebben, dan zou de batterij eeuwig leven. Ze wijten het afnemen van de capaciteit aan ionen die vast komen te zitten, maar zoals bij alle batterijsystemen spelen interne corrosie en andere degeneratieve effecten, ook wel bekend als parasitaire reacties op de elektrolyt en elektrodes, nog steeds een rol. (Zie BU-808b: Waardoor zwakt Li-ion af?)

De Li-ion lader is een spanningsbegrenzer die overeenkomsten vertoont met het loodzuursysteem. De verschillen met Li-ion zitten in een hogere spanning per cel, nauwere spanningstoleranties en de afwezigheid van druppellading bij volledig opladen. Terwijl loodzuur enige flexibiliteit biedt op het gebied van spanningsonderbreking, zijn fabrikanten van Li-ion-cellen erg streng op de juiste instelling omdat Li-ion niet tegen overbelasting kan. De zogenaamde wonderlader die belooft de levensduur van de batterij te verlengen en extra capaciteit te winnen met pulsen en andere foefjes, bestaat niet. Li-ion is een “schoon” systeem en neemt alleen op wat het kan opnemen.

Opladen van Li-ion met kobaltmengsel

Li-ion met de traditionele kathodematerialen kobalt, nikkel, mangaan en aluminium laden doorgaans op tot 4,20 V/cel. De tolerantie is +/-50mV/cel. Sommige op nikkel gebaseerde varianten laden op tot 4,10V/cel; Li-ion met hoge capaciteit kan tot 4,30V/cel en hoger gaan. Door de spanning te verhogen wordt ook de capaciteit verhoogd, maar als de specificatie wordt overschreden, wordt de batterij zwaarder belast en de veiligheid in gevaar gebracht. In het pack ingebouwde beveiligingscircuits staan niet toe dat de ingestelde spanning wordt overschreden.

Figuur 1 toont het spannings- en stroomverloop wanneer lithium-ion de fasen voor constante stroom en toplading doorloopt. Volledige lading wordt bereikt wanneer de stroom afneemt tot tussen de 3 en 5 procent van de Ah nominale waarde.



Figuur 1: Laadfasen van lithium-ion [1]

Li-ion is volledig opgeladen wanneer de stroom tot een bepaald niveau daalt. In plaats van druppelladen passen sommige laders een toplading toe wanneer de spanning daalt.

De aanbevolen oplaadsnelheid van een Energy Cell ligt tussen 0,5C en 1C; de volledige oplaadtijd is ongeveer 2-3 uur. Fabrikanten van deze cellen raden laden aan bij 0,8C of minder om de levensduur van de batterij te verlengen; de meeste Power Cells kunnen echter zonder veel stress een hogere laadstroom aan. De oplaadefficiëntie is ongeveer 99 procent en de cel blijft koel tijdens het opladen.

Sommige Li-ion packs kunnen een temperatuurstijging van ongeveer 5 °C (9 °F) vertonen wanneer ze volledig zijn opgeladen. Dit kan het gevolg zijn van het beveiligingscircuit en/of een verhoogde interne weerstand. Gebruik de batterij of lader niet meer als de temperatuur meer dan 10 °C (18 °F) stijgt bij matige laadsnelheden.

Er is sprake van volledige lading wanneer de batterij de spanningsdrempel bereikt en de stroom daalt tot 3 procent van de nominale stroom. Een batterij wordt ook als volledig opgeladen beschouwd als de stroom afvlakt en niet verder kan dalen. Hoge zelfontlading kan de oorzaak zijn van deze toestand.

Het verhogen van de laadstroom versnelt de volledige laadtoestand niet veel. Hoewel de accu de spanningspiek sneller bereikt, zal de verzadigingslading dienovereenkomstig langer duren. Met een hogere stroomsterkte is fase 1 korter, maar duurt de verzadiging tijdens fase 2 langer. Een lading met een hoge stroomsterkte zal de accu echter snel vullen tot ongeveer 70 procent.

Li-ion hoeft niet volledig te worden opgeladen zoals loodzuur en dat is ook niet wenselijk. Het is zelfs beter om niet volledig te laden omdat een hoge spanning de accu belast. Door een lagere spanningsdrempel te kiezen of de verzadigingslading helemaal te elimineren, gaat de accu langer mee, maar wordt de looptijd wel korter. Opladers voor consumentenproducten gaan voor maximale capaciteit en kunnen niet worden aangepast; een langere levensduur wordt als minder belangrijk ervaren.

Sommige goedkopere consumentenladers gebruiken de vereenvoudigde “laad-en-los”-methode waarbij een lithium-ion-batterij in een uur of minder wordt opgeladen zonder naar de fase 2-verzadigingslading te gaan. “Ready” verschijnt wanneer de batterij de spanningsdrempel van fase 1 bereikt. De laadstatus (SoC) op dit punt is ongeveer 85 procent, een niveau dat voor veel gebruikers voldoende kan zijn.

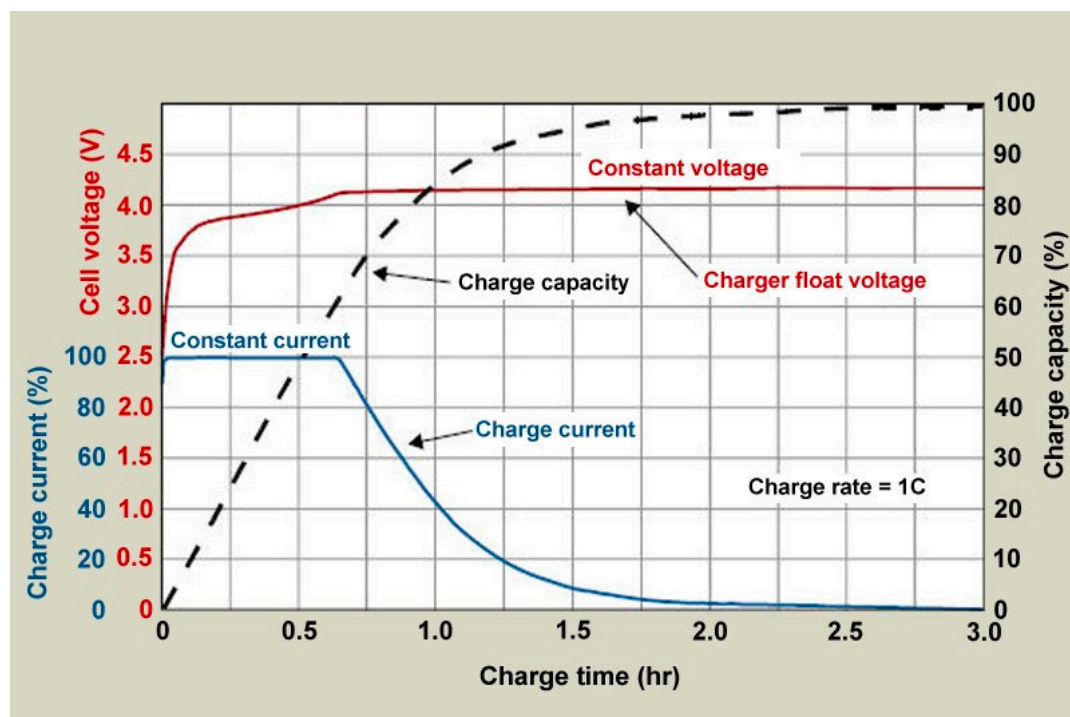
Bepaalde industriële laders stellen de drempel van de laadspanning met opzet lager in om de levensduur van de batterij te verlengen. Tabel 2 illustreert de geschatte capaciteit bij opladen tot verschillende spanningsdrempels met en zonder verzadigingslading. (Zie ook BU-808: Hoe verleng ik lithiumbatterijen)

OPLADEN V/CEL	CAPACITEIT BIJ UITSCHAKEL-SPANNING*	OPLAADTIJD	CAPACITEIT BIJ VOLLEDIGE VERZADIGING
3.80	~40%	120 min	~65%
3.90	~60%	135 min	~75%
4.00	~70%	150 min	~80%
4.10	~80%	165 min	~90%
4.20	~85%	180 min	100%

Tabel 2: Typische laadkenmerken van lithium-ion
* Waarden kunnen variëren

Het toevoegen van volledige verzadiging bij de ingestelde spanning verhoogt de capaciteit met ongeveer 10 procent, maar voegt stress toe vanwege de hoge spanning.

Wanneer de batterij voor het eerst wordt opgeladen, schiet de spanning snel omhoog. Dit gedrag kan worden vergeleken met het optillen van een gewicht met een elastiek, waardoor een vertraging ontstaat. De capaciteit wordt uiteindelijk bereikt wanneer de accu bijna volledig is opgeladen (Figuur 3). Dit laadkenmerk is typisch voor alle accu's. Hoe hoger de laadstroom is, hoe groter het elastiekeffect zal zijn. Koude temperaturen of het opladen van een cel met een hoge inwendige weerstand versterken het effect.



Figuur 3: Volt/capaciteit vs. tijd bij het opladen van lithium-ion [1]

De capaciteit volgt de laadspanning zoals je een zwaar gewicht optilt met een elastiekje.

SoC schatten door de spanning van een opgeladen batterij af te lezen is onpraktisch; het meten van de open-circuit spanning (OCV) nadat de batterij een paar uur heeft gerust is een betere indicator. Zoals bij alle batterijen beïnvloedt de temperatuur de OCV, net als het actieve materiaal van Li-ion. SoC van smartphones, laptops en andere apparaten wordt geschat door coulomb tellen. (Zie BU-903: Hoe meet ik de laadtoestand)

Li-ion kan geen overbelasting absorberen. Wanneer het volledig is opgeladen, moet de laadstroom worden afgesloten. Een continue druppellaadstroom zou metallisch lithium plateren en de veiligheid in gevaar brengen. Om stress te minimaliseren, moet de lithium-ion batterij zo kort mogelijk op de piekafschakeling worden gehouden.

Zodra de lading is beëindigd, begint de accuspanning te dalen. Dit verlicht de spanningsstress. Na verloop van tijd zal de open-circuit spanning zich stabiliseren tussen 3,70V en 3,90V/cel. Merk op dat een Li-ion-batterij die volledig is verzadigd, de spanning langer hoog houdt dan een batterij die niet is verzadigd.

Wanneer lithium-ion-accu's in de acculader moeten blijven om bedrijfsklaar te zijn, passen sommige acculaders een korte toplading toe om de kleine zelfontlading te compenseren die de accu en het beveiligingscircuit verbruiken. De acculader wordt ingeschakeld wanneer de open-circuit spanning daalt tot 4,05V/cel en wordt weer uitgeschakeld bij 4,20V/cel. Opladers die zijn gemaakt voor operationele gereedheid, of stand-bymodus, laten de accuspanning vaak dalen tot 4,00V/cel en laden op tot slechts 4,05V/cel in plaats van de volledige 4,20V/cel. Dit vermindert spanningsgerelateerde stress en verlengt de levensduur van de batterij.

Sommige draagbare apparaten staan in een laadstation in de AAN-stand. De stroom die door het apparaat wordt getrokken, wordt parasitaire belasting genoemd en kan de laadcycli verstoren. Accufabrikanten raden het gebruik van parasitaire belastingen tijdens het opladen af omdat ze minicycli veroorzaken. Dit kan niet altijd worden vermeden en een laptop die op het lichtnet is aangesloten is zo'n geval. De accu kan worden opgeladen tot 4,20V/cel en vervolgens worden ontladen door het apparaat. Het stressniveau op de accu is hoog omdat de cycli plaatsvinden bij de hoogspanningsdrempel, vaak ook bij verhoogde temperatuur.

Een draagbaar apparaat moet worden uitgeschakeld tijdens het opladen. Hierdoor kan de batterij ongehinderd het ingestelde spanningsdrempel- en stroomverzadigingspunt bereiken. Een parasitaire belasting brengt de acculader in de war door de accuspanning te verlagen en te voorkomen dat de stroom in de verzadigingsfase laag genoeg wordt door een lekstroom te trekken. Een batterij kan volledig zijn opgeladen, maar de heersende omstandigheden zullen ertoe leiden dat de batterij verder wordt opgeladen, wat stress veroorzaakt.

Opladen Li-ion zonder kobaltmengsel

Terwijl de traditionele lithium-ion een nominale celspanning van 3,60V heeft, vormt Li-fosfaat (LiFePO) een uitzondering hierop met een nominale celspanning van 3,20V en opladen tot 3,65V. Relatief nieuw is Li-titanaat (LTO) met een nominale celspanning van 2,40V en opladen tot 2,85V. (Zie BU-205: Soorten lithium-ion)

Opladers voor deze Li-ionen zonder kobaltmengsel zijn niet compatibel met gewone Li-ionen van 3,60 volt. Er moeten voorzieningen worden getroffen om de systemen te identificeren en de juiste laadspanning te leveren. Een lithiumbatterij van 3,60 volt in een lader die is ontworpen voor Li-fosfaat zou niet voldoende worden opgeladen; een Li-fosfaatbatterij in een gewone lader zou overladen veroorzaken.

Overladen van Lithium-ion

Lithium-ion werkt veilig binnen de aangegeven bedrijfsspanningen; de batterij wordt echter instabiel als deze per ongeluk wordt opgeladen tot een hoger voltage dan aangegeven. Langdurig opladen boven 4,30V bij een Li-ion die is ontworpen voor 4,20V/cel zal metallisch lithium afzetten op de anode. Het kathodemateriaal wordt een oxidatiemiddel, verliest stabiliteit en produceert kooldioxide (CO₂). De celdruk stijgt en als het opladen doorgaat, schakelt de stroomonderbreker (CID) die verantwoordelijk is voor de celveiligheid uit bij 1000-1380 kPa (145-200psi). Als de druk verder stijgt, barst het veiligheidsmembraan op sommige Li-ionen open bij ongeveer 3.450kPa (500psi) en kan de cel uiteindelijk ontvluchten met vlammen. (Zie BU-304b: Lithium-ion veilig maken)

Ontvluchten met vlammen heeft te maken met een verhoogde temperatuur. Een volledig opgeladen batterij heeft een lagere thermische runaway-temperatuur en zal eerder ontvluchten dan een gedeeltelijk opgeladen batterij. Alle lithiumbatterijen zijn veiliger bij een lagere lading en daarom zullen de autoriteiten verzending door de lucht van Li-ion-batterijen met een ladingstoestand van 30 procent in plaats van een volledige lading verplicht stellen. (Zie BU-704a: Lithiumbatterijen per vliegtuig vervoeren)

De drempelwaarde voor Li-kobalt bij volledige lading is 130-150°C (266-302°F); nikkel-mangaan-kobalt (NMC) is 170-180°C (338-356°F) en Li-mangaan is ongeveer 250°C (482°F). Li-fosfaat heeft een vergelijkbare en betere temperatuurstabiliteit dan mangaan. (Zie ook BU-304a: Veiligheidsproblemen met Li-ion en BU-304b: Lithium-ion veilig maken)

Lithium-ion is niet de enige batterij die een veiligheidsrisico vormt als hij te ver wordt opgeladen. Accu's op lood- en nikkelbasis kunnen ook smelten en brand veroorzaken als er verkeerd mee wordt omgegaan. Goed ontworpen oplaadapparatuur is van het grootste belang voor alle accusystemen en temperatuurmeting is een betrouwbare bewaker.

Samenvatting

Het opladen van lithium-ion accu's is eenvoudiger dan nikkel-gebaseerde systemen. Het laadcircuit is rechttoe rechtaan; spannings- en stroombeperkingen zijn eenvoudiger aan te passen dan het analyseren van complexe spanningssignaturen, die veranderen naarmate de accu ouder wordt. Het laadproces kan intermitterend zijn en Li-ion heeft geen verzadiging nodig zoals het geval is bij loodzuur. Dit biedt een groot voordeel voor opslag van hernieuwbare energie zoals een zonnepaneel en windturbine, die de accu niet altijd volledig kunnen opladen. De afwezigheid van druppellading vereenvoudigt de lader nog verder. Een egalisatielader, zoals nodig is bij loodzuur, is niet nodig bij Li-ion.

Li-ion-laders voor consumenten en de meeste industriële Li-ion-laders laden de batterij volledig op. Ze bieden geen instelbare eindlaadspanningen die de levensduur van Li-ion zouden verlengen door de eindlaadspanning te verlagen en een kortere looptijd te accepteren. Fabrikanten van apparaten vrezen dat een dergelijke optie de lader gecompliceerder zou maken. Uitzonderingen zijn elektrische voertuigen en satellieten die niet volledig hoeven te worden opgeladen om een lange levensduur te bereiken.

Eenvoudige richtlijnen voor het opladen van lithiumbatterijen

- / Schakel het apparaat uit of ontkoppel de belasting tijdens het laden om de stroom ongehinderd te laten afnemen tijdens de verzadiging. Een parasitaire belasting brengt de lader in de war.
- / Laad op bij een gematigde temperatuur. Laad niet op bij vriestemperaturen. (Zie BU-410: Opladen bij hoge en lage temperaturen)
- / Lithium-ion hoeft niet volledig te worden opgeladen; een gedeeltelijke lading is beter.
- / Niet alle acculaders laden de accu volledig op en de accu is mogelijk niet volledig opgeladen wanneer het “klaar”-signaal verschijnt; een lading van 100 procent op een brandstofmeter kan een leugen zijn.
- / Gebruik de oplader en/of batterij niet meer als de batterij te warm wordt.
- / Laad een lege batterij op voordat u deze opbergt (SoC van 40-50 procent is ideaal). (Zie BU-702: Batterijen opslaan.)

Referenties

[1] Met dank aan Cadex

Last Updated: 25-Oct-2021