

Hoe verleng ik lithiumbatterijen

Onderzoek naar batterijen richt zich zo sterk op lithiumchemie dat je je zou kunnen voorstellen dat de toekomst van batterijen alleen in lithium ligt. Er zijn goede redenen om optimistisch te zijn, want lithium-ion is in veel opzichten superieur aan andere verbindingen. Toepassingen worden steeds talrijker en dringen door in markten die voorheen stevig in handen waren van loodzuur, zoals stand-by en loadleveling. Veel satellieten worden ook aangedreven door Li-ion.

Lithium-ion is nog niet volledig uitontwikkeld en wordt nog steeds verbeterd. Er is opmerkelijke vooruitgang geboekt op het gebied van levensduur en veiligheid, terwijl de capaciteit stapsgewijs toeneemt. Vandaag de dag voldoet Li-ion aan de verwachtingen van de meeste consumentenapparatuur, maar toepassingen voor EV moeten verder ontwikkeld worden voordat deze energiebron de geaccepteerde norm wordt.

Als accuverzorger hebt u keuzes in hoe u de levensduur van de accu kunt verlengen. Elk accusysteem heeft unieke behoeften wat betreft laadsnelheid, ontladingsdiepte, belasting en blootstelling aan ongunstige temperaturen. Controleer wat capaciteitsverlies veroorzaakt, hoe de stijgende interne weerstand de prestaties beïnvloedt, wat de verhoogde zelfontlading doet en hoe laag een batterij kan worden ontladen. Misschien bent u ook geïnteresseerd in de grondbeginselen van het testen van batterijen.

- / BU-415: Hoe opladen en wanneer opladen?
- / BU-706: Overzicht van do's en don'ts

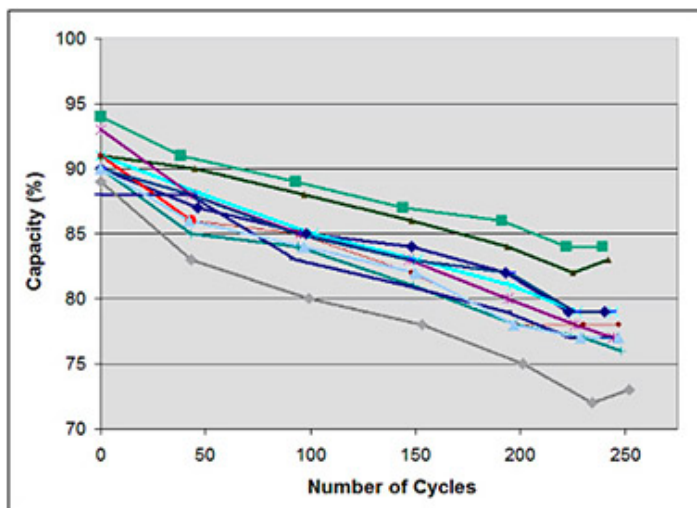
Waardoor veroudert lithium-ion?

De lithium-ion batterij werkt op basis van de beweging van ionen tussen de positieve en negatieve elektroden. In theorie zou zo'n mechanisme eeuwig moeten werken, maar cyclisch gebruik, hoge temperaturen en veroudering verminderen de prestaties na verloop van tijd. Fabrikanten hanteren een conservatieve benadering en geven aan dat de levensduur van Li-ion in de meeste consumentenproducten tussen de 300 en 500 ontlad-/laadcycli ligt.

Het evalueren van de levensduur van batterijen op basis van het tellen van cycli is niet afdoende omdat een ontlading in diepte kan variëren en er geen duidelijk gedefinieerde normen zijn voor wat een cyclus is (Zie BU-501: Basisprincipes over ontladen). In plaats van het tellen van cycli stellen sommige fabrikanten voor om de batterij te vervangen op basis van een datumstempel, maar deze methode houdt geen rekening met het gebruik. Een batterij kan binnen de toegestane tijd defect raken door intensief gebruik of ongunstige temperatuursomstandigheden; de meeste packs gaan echter aanzienlijk langer mee dan de stempel aangeeft.

De prestaties van een batterij worden gemeten in capaciteit, een belangrijke gezondheidsindicator. Interne weerstand en zelfontlading spelen ook een rol, maar deze zijn minder belangrijk bij het voorspellen van het einde van de levensduur van een batterij met moderne Li-ion.

Figuur 1 toont de capaciteitsafname van 11 Li-polymeer batterijen die in een Cadex laboratorium zijn getest. De 1.500mAh-buidelcellen voor mobiele telefoons werden eerst opgeladen met een stroomsterkte van 1.500mA (1C) tot 4,20V/cel en mochten daarna verzadigen tot 0,05C (75mA) als onderdeel van de volledige laadverzadiging. De accu's werden vervolgens ontladen met 1.500mA tot 3,0V/cel en de cyclus werd herhaald.



Het verwachte capaciteitsverlies van Li-ion-accu's was gelijkmatig verdeeld over de geleverde 250 cycli en de accu's presteerden zoals verwacht.

Figuur 1: Capaciteitsvermindering als onderdeel van cyclisch gebruik [1]

Elf nieuwe Li-ion-accu's werden getest met een Cadex C7400-accutester. Alle packs begonnen met een capaciteit van 88-94%, die afnam tot 73-84% na 250 volledige ontladcycli. De 1500mAh packs worden gebruikt in mobiele telefoons.

Hoewel een batterij gedurende het eerste jaar 100 procent capaciteit zou moeten leveren, komt het vaak voor dat de capaciteit lager is dan gespecificeerd. Dit heeft mogelijk te maken met de houdbaarheid. Bovendien hebben fabrikanten de neiging om hun batterijen te hoog in te schatten, omdat ze weten dat maar weinig gebruikers steekproeven zullen doen en zullen klagen als de capaciteit laag is. Omdat in mobiele telefoons en tablets afzonderlijke cellen niet met elkaar hoeven te matchen, zoals bij multi-cell packs wel het geval is, maakt dit de weg vrij voor een veel bredere acceptatie van prestaties. Cellen met een lagere capaciteit kunnen door de mazen van het net glippen zonder dat de consument het weet.

Net als bij een mechanisch apparaat dat sneller slijt bij intensief gebruik, bepaalt de ontladingsdiepte (DoD) het aantal cycli van de batterij. Hoe kleiner de ontlading (lage DoD), hoe langer de batterij meegaat. Vermijd indien mogelijk volledige ontlading en laad de batterij vaker op tussen het gebruik door. Gedeeltelijke ontlading bij Li-ion is prima. Er is geen geheugen en de batterij hoeft niet periodiek volledig te worden ontladen om de levensduur te verlengen. Een mogelijke uitzondering is een periodieke kalibratie van de brandstofmeter op een slimme batterij of intelligent apparaat (Zie BU-603: Hoe kalibreer ik een "slimme" batterij).

De volgende tabellen geven spanningsgerelateerde capaciteitsverliezen aan voor lithium-ion op basis van kobalt. De spanningen van lithiumijzerfosfaat en lithiumtitanaat zijn lager en zijn niet van toepassing op de gegeven spanningsreferenties.

Opmerking:

De tabellen 2, 3 en 4 geven de algemene verouderingstrends weer van veel voorkomende kobalt-gebaseerde Li-ion accu's op basis van ontladingsdiepte, temperatuur en laadniveaus. In tabel 6 wordt verder gekeken naar het capaciteitsverlies bij gebruik binnen bepaalde ontladbandbreedtes. De tabellen gaan niet in op ultrasnel laden en ontladen met hoge belasting, wat de levensduur van de accu zal verkorten. Niet alle accu's gedragen zich hetzelfde.

Tabel 2 geeft een schatting van het aantal ontlad-/laadcycli dat Li-ion kan leveren bij verschillende DoD-niveaus voordat de accucapaciteit daalt tot 70 procent. DoD is een volledige lading gevolgd door een ontlading tot het aangegeven niveau van de laadtoestand (SoC) in de tabel.

Ontladingsdiepte	Ontlaadcycli	
	NMC	LiPO ₄
100% DoD	~300	~600
80% DoD	~400	~900
60% DoD	~600	~1,500
40% DoD	~1,000	~3,000
20% DoD	~2,000	~9,000
10% DoD	~600	~15,000

Tabel 2: Levensduur als functie van de ontladingsdiepte*
Een gedeeltelijke ontlading vermindert de spanning en verlengt de levensduur van de batterij, net als een gedeeltelijke lading. Een hoge temperatuur en hoge stromen hebben ook invloed op de levensduur.

* 100% DoD is een volledige cyclus; 10% is heel kort. Cyclisch gebruik in het midden van de laadstatus heeft de langste levensduur.

Lithium-ion ondervindt stress wanneer het wordt blootgesteld aan hitte, net als het op een hoge laadspanning houden van een cel. Een batterij die zich boven 30°C (86°F) bevindt, wordt beschouwd als een hoge temperatuur en voor de meeste Li-ion-cellen wordt een spanning van meer dan 4,10V/cel beschouwd als een hoge spanning. Het blootstellen van de accu aan hoge temperaturen en het gedurende langere tijd verblijven in een volledige laadtoestand kan meer stress veroorzaken dan cyclisch laden. Tabel 3 toont het capaciteitsverlies als functie van de temperatuur en SoC.

TEMPERATUUR	40% LADEN	100% LADEN
0°C	98% (na 1 jaar)	94% (na 1 jaar)
25°C	96% (na 1 jaar)	80% (na 1 jaar)
40°C	85% (na 1 jaar)	65% (na 1 jaar)
60°C	75% (na 1 jaar)	60% (na 3 maanden)

Tabel 3: Geschatte terugwinbare capaciteit bij opslag van Li-ion gedurende een jaar bij verschillende temperaturen
Verhoogde temperatuur versnelt permanent capaciteitsverlies. Niet alle Li-ion-systemen gedragen zich hetzelfde.

De meeste Li-ion-cellen worden opgeladen tot 4,20 V/cel, en van elke verlaging van de pieklaadspanning met 0,10 V/cel wordt gezegd dat dit de levensduur verdubbelt. Bijvoorbeeld, een lithium-ioncel opgeladen tot 4,20V/cel levert gewoonlijk 300-500 cycli. Als hij wordt opgeladen tot slechts 4,10 V/cel, kan de levensduur worden verlengd tot 600-1000 cycli; 4,0 V/cel zou 1200-2000 cycli moeten opleveren en 3,90 V/cel zou 2400-4000 cycli moeten opleveren.

Een nadeel is dat een lagere pieklaadspanning de capaciteit vermindert die de accu opslaat. Als eenvoudige richtlijn geldt dat elke verlaging van de laadspanning met 70 mV de totale capaciteit met 10 procent verlaagt. Als de pieklaadspanning bij een volgende lading wordt toegepast, wordt de volledige capaciteit hersteld.

Voor een lange levensduur is de optimale laadspanning 3,92 V/cel. Batterijdeskundigen zijn van mening dat deze drempel alle spanningsgerelateerde stress elimineert; als de spanning lager wordt, levert dit mogelijk geen verdere voordelen op, maar ontstaan er andere symptomen (Zie BU-808b: Waardoor sterft Li-ion?) Tabel 4 geeft een overzicht van de capaciteit als functie van de oplaadniveaus. (Alle waarden zijn geschat; Energy Cells met hogere spanningsdrempels kunnen afwijken).

Laadniveau* (V/CEL)	Ontlaadcycli	Beschikbare opgeslagen energie**
[4.30]	[150–250]	[110–115%]
4.25	200–350	105–110%
4.20	300–500	100%
4.15	400–700	90–95%
4.10	600–1,000	85–90%
4.05	850–1,500	80–85%
4.00	1,200–2,000	70–75%
3.90	2,400–4,000	60–65%
3.80	Zie opmerking	35–40%
4.05	Zie opmerking	30% en minder

Table 4: Ontlaadcycli en capaciteit als functie van de laadspanningslimiet

Elke daling van 0,10V onder 4,20V/cel verdubbelt de cyclus maar houdt minder capaciteit vast. Het verhogen van de spanning tot boven 4,20V/cel zou de levensduur verkorten. De metingen wijzen erop dat Li-ion regelmatig tot 4,20V/cel wordt opgeladen.

Richtlijn: Elke daling van 70mV in de laadspanning verlaagt de bruikbare capaciteit met ongeveer 10%.

Opmerking: Gedeeltelijk opladen doet het voordeel van Li-ion op het gebied van hoge specifieke energie teniet.

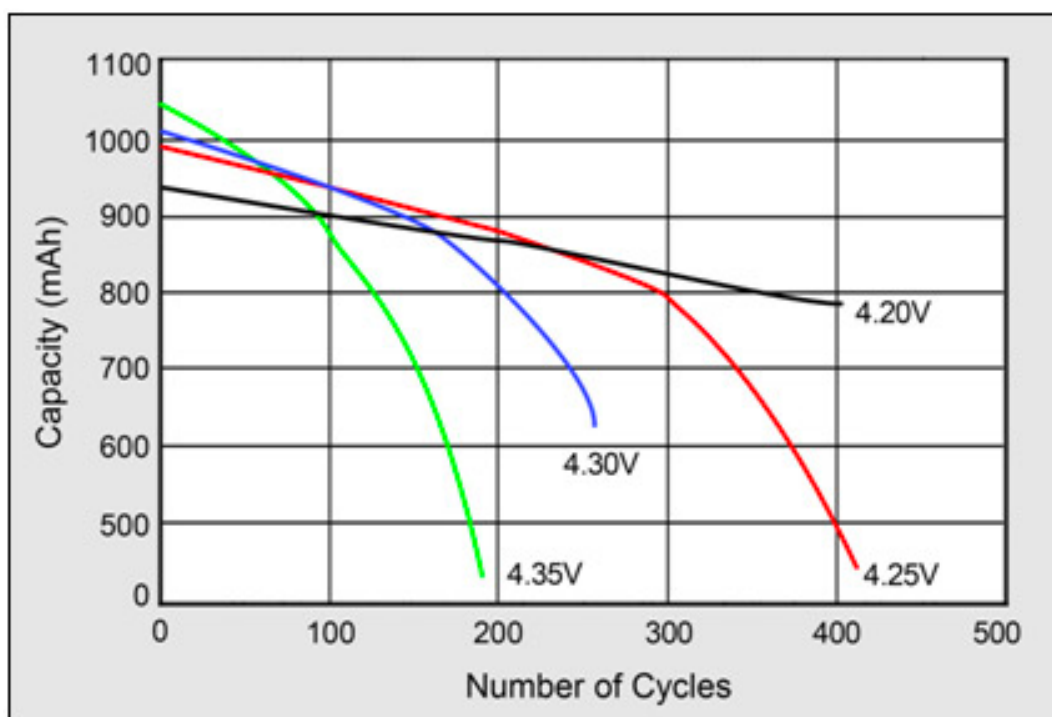
* Vergelijkbare levenscycli gelden voor accu's met verschillende spanningsniveaus bij volledig opladen.

** Gebaseerd op een nieuwe batterij met 100% capaciteit wanneer deze volledig is opgeladen.

Experiment: Chalmers University of Technology, Zweden, meldt dat het gebruik van een verlaagd oplaadniveau van 50% SoC de verwachte levensduur van de Li-ion-batterij in een voertuig met 44-130% verhoogt.

De meeste laders voor mobiele telefoons, laptops, tablets en digitale camera's laden Li-ion op tot 4,20V/cel. Dit zorgt voor maximale capaciteit, omdat de consument niets minder dan een optimale looptijd wil. De industrie daarentegen maakt zich meer zorgen over de levensduur en kan kiezen voor lagere spanningsdrempels. Satellieten en elektrische voertuigen zijn hier voorbeelden van.

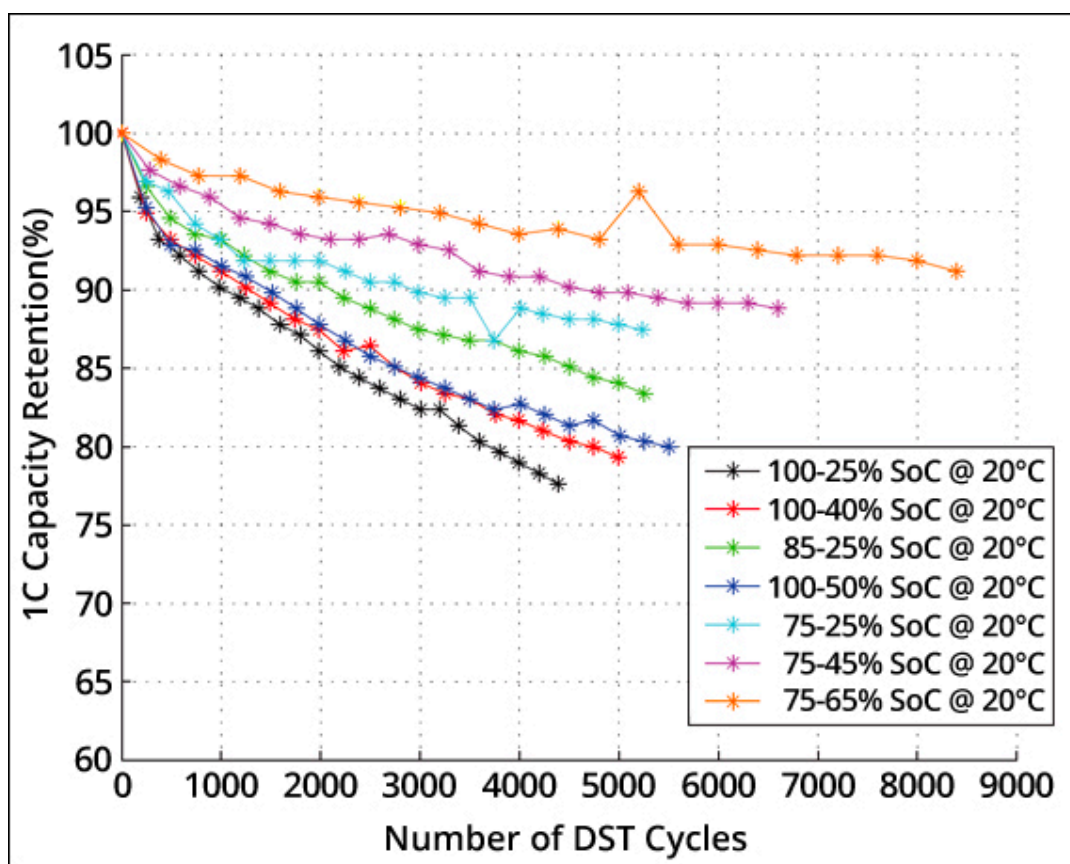
Om veiligheidsredenen mogen veel lithium-ionen niet hoger zijn dan 4,20V/cel. (Sommige NMC's vormen hierop een uitzondering.) Hoewel een hogere spanning de capaciteit verhoogt, verkort een hogere spanning ook de levensduur en brengt het de veiligheid in gevaar. Figuur 5 toont het aantal cycli als functie van de laadspanning. Bij 4,35V wordt het aantal cycli van een gewone Li-ion gehalveerd.



*figuur 5: Effecten op de levensduur bij verhoogde laadspanningen[2]
Hogere laadspanningen verhogen de capaciteit, maar verlagen de levensduur en brengen de veiligheid in gevaar.*

Naast het selecteren van de meest geschikte spanningsdrempels voor een bepaalde toepassing, mag een gewone Li-ion niet gedurende langere tijd op het maximale hoge spanningsniveau van 4,20V/cel blijven. De Li-ion-lader schakelt de laadstroom uit en de accuspanning keert terug naar een natuurlijker niveau. Dit is net als het ontspannen van de spieren na een zware inspanning (Zie BU-409: Lithium-ion opladen).

Figuur 6 illustreert dynamische stresstests (DST) die het capaciteitsverlies weergeven bij het cyclisch opladen van Li-ion bij verschillende laad- en ontladbandbreedtes. Het grootste capaciteitsverlies treedt op bij het ontladen van een volledig opgeladen Li-ion tot een SoC van 25 procent (zwart); het verlies zou groter zijn bij volledige ontlading. Cyclisch opladen tussen 85 en 25 procent (groen) biedt een langere levensduur dan opladen tot 100 procent en ontladen tot 50 procent (donkerblauw). Het kleinste capaciteitsverlies wordt bereikt door Li-ion tot 75% op te laden en tot 65% te ontladen. Hiermee wordt de batterij echter niet volledig benut. Hoge spanningen en blootstelling aan hoge temperaturen degraderen de batterij sneller dan bij cyclisch gebruik onder normale omstandigheden. (Nissan Leaf behuizing)



Figuur 6: Capaciteitsverlies als functie van de laad- en ontladbandbreedte*[3] Het laden en ontladen van Li-ion verlengt de levensduur van de batterij slechts gedeeltelijk, maar verlaagt het gebruik.

- / Geval 1: 75-65% SoC biedt de langste levensduur, maar levert slechts 90.000 energie-eenheden (EU). Gebruikt 10% van de batterij.
- / Geval 2: 75-25% SoC heeft 3000 cycli (tot 90% capaciteit) en levert 150.000 EU. Gebruikt 50% van de batterij. (EV-batterij, nieuw.)
- / Geval 3: 85-25% SoC heeft 2000 cycli. Levert 120.000 EU. Gebruikt 60% van de batterij.
- / Geval 4: 100-25% SoC; lange looptijd met 75% batterijgebruik. Heeft korte levensduur. (Mobiele telefoon, drone, enz.)

* Er zijn verschillen tussen tabel 2 en figuur 6 wat betreft het aantal cycli. Er zijn geen duidelijke verklaringen voor deze verschillen, behalve dat we uitgaan van verschillen in batterijkwaliteit en testmethoden. Verschillen tussen goedkope consumentenbatterijen en duurzame industriële batterijen kunnen ook een rol spelen. De capaciteit neemt sneller af bij hogere temperaturen dan bij 20°C.

Alleen een volledige cyclus levert de gespecificeerde energie van een accu. Met een moderne Energy Cell is dit ongeveer 250Wh/kg, maar de levensduur komt hierbij in gevaar. Als alles lineair is, verlaagt het levensverlengende middenbereik van 85-25% de energie tot 60% en dit komt neer op het verlagen van de specifieke energiedichtheid van 250Wh/kg naar 150Wh/kg. Mobiele telefoons zijn consumptiegoederen die de volledige energie van een batterij gebruiken. Industriële apparaten, zoals EV's, beperken het opladen meestal tot 85% en ontladen tot 25%, oftewel 60 procent bruikbare energie, om de levensduur van de batterij te verlengen (Zie Waarom de batterijen van mobiele telefoons niet zo lang meegaan als die van EV's).

Door de cyclusdiepte te verhogen, neemt ook de interne weerstand van de Li-ioncel toe. Figuur 7 toont een scherpe stijging bij een cyclusdiepte van 61 procent, gemeten met de DC-weerstandsmethode (Zie ook BU-802a: Hoe beïnvloedt de stijgende interne weerstand de prestaties?). De stijging van de weerstand is permanent.

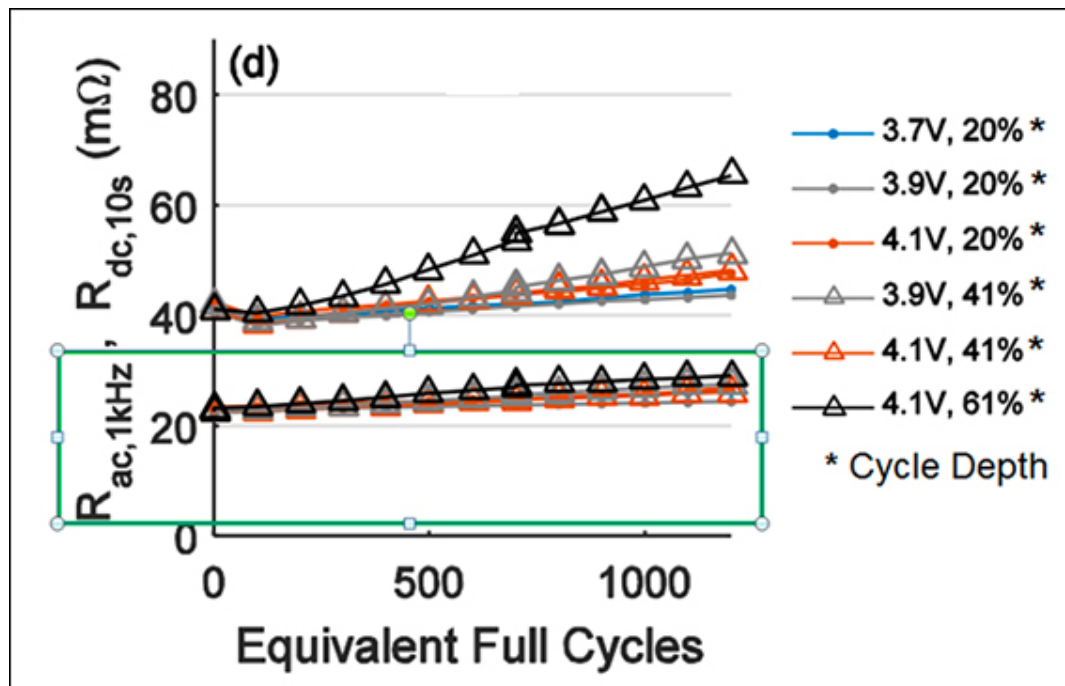
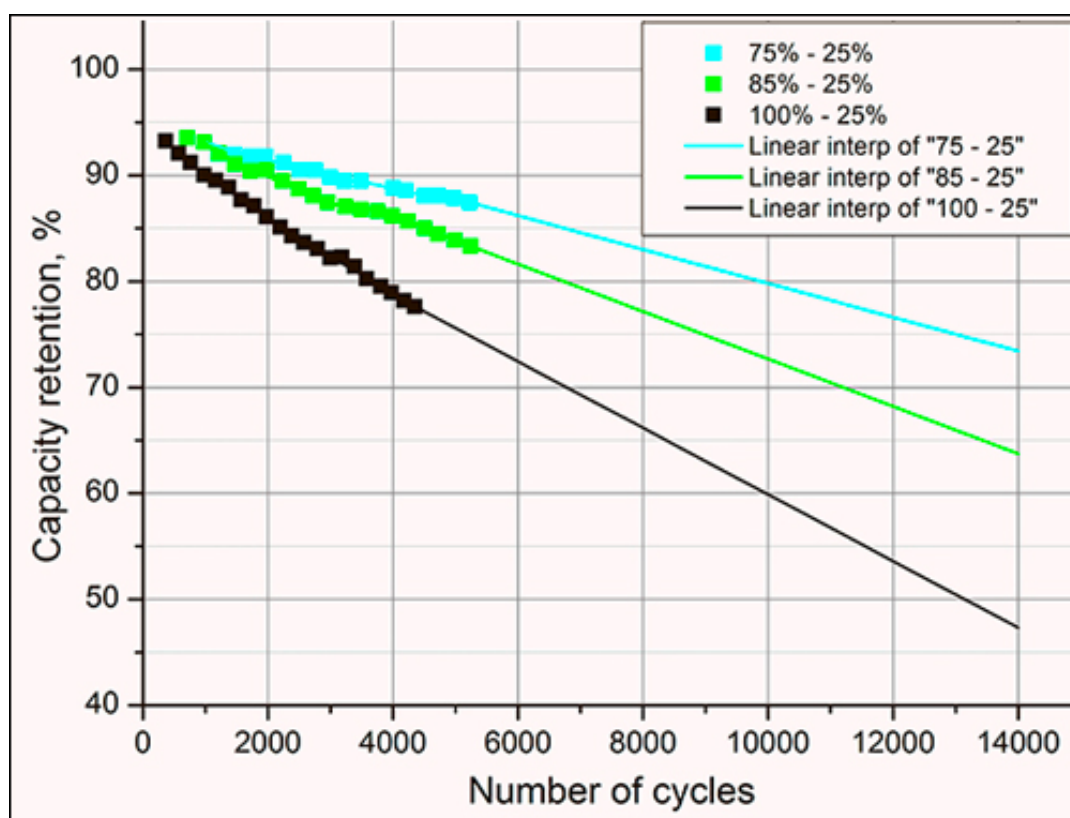


Figure 7: Scherpe stijging van de inwendige weerstand bij toenemende cyclusdiepte van Li-ion [4]

Opmerking: De DC-methode levert andere metingen van de inwendige weerstand op dan de AC-methode (groen kader). Gebruik voor de beste resultaten de DC-methode om de belasting te berekenen.

In figuur 8 worden de gegevens van figuur 6 geëxtrapoleerd om de voorspelde levensduur van Li-ion uit te breiden met behulp van een extrapolatieprogramma dat uitgaat van een lineair verval van de accucapaciteit bij voortschrijdend cyclisch gebruik. Als dit waar zou zijn, dan zou een Li-ion-accu met een SoC van 75%-25% (blauw) na 14.000 cycli afnemen tot 74% capaciteit. Als deze batterij zou worden opgeladen tot 85% met dezelfde ontladingsdiepte (groen), zou de capaciteit afnemen tot 64% na 14.000 cycli, en bij 100% opladen met dezelfde ontladingsdiepte (zwart) zou de capaciteit afnemen tot 48%. Om onbekende redenen is de verwachting in de praktijk meestal lager dan in gesimuleerde modellen (Zie BU-208: Cyclische prestaties).



Figuur: Voorspellende modellen voor de levensduur van de batterij door extrapolatie [5]

Li-ion-accu's worden opgeladen tot drie verschillende SoC-niveaus en de levensduur wordt gemodelleerd. Het beperken van het laadbereik verlengt de levensduur van de batterij, maar verlaagt de geleverde energie. Dit leidt tot een hoger gewicht en hogere initiële kosten.

Accufabrikanten specificeren de levensduur van een accu vaak met een DoD van 80%. Dit is praktisch omdat accu's bij normaal gebruik enige reserve moeten behouden voordat ze worden opgeladen (Zie BU-501: Grondbeginselen van ontladen, "Wat is een ontladingscyclus"). Het aantal cycli bij een DST (dynamische belastingstest) verschilt afhankelijk van het type accu, de oplaadtijd, het oplaadprotocol en de bedrijfstemperatuur. Laboratoriumtests geven vaak getallen die in de praktijk niet haalbaar zijn.

Wat kan de gebruiker doen?

De levensduur van lithium-ion-batterijen wordt bepaald door omgevingsfactoren, niet door cycli alleen. De slechtste situatie is het bewaren van een volledig opgeladen batterij bij hoge temperaturen. Accu's raken niet plotseling leeg, maar de gebruiksduur wordt geleidelijk korter naarmate de capaciteit afneemt.

Lagere laadspanningen verlengen de levensduur van batterijen en elektrische voertuigen en satellieten profiteren hiervan. Soortgelijke voorzieningen zouden ook kunnen worden getroffen voor consumentenapparatuur, maar deze worden zelden aangeboden; geplande veroudering zorgt hiervoor.

Een laptopbatterij kan worden verlengd door de laadspanning te verlagen wanneer deze op het elektriciteitsnet wordt aangesloten. Om deze functie gebruiksvriendelijk te maken, zou een apparaat een "Lange levensduur" modus moeten hebben die de batterij op 4,05V/cel houdt en een SoC van ongeveer 80 procent biedt. Een uur voordat de gebruiker op reis gaat, vraagt hij de modus "Volledige capaciteit" aan om de lading op 4,20 V/cel te brengen.

De volgende vraag wordt gesteld: "Moet ik mijn laptop loskoppelen van het elektriciteitsnet als ik hem niet gebruik?". Onder normale omstandigheden zou dit niet nodig moeten zijn omdat het opladen stopt wanneer de Li-ion batterij vol is. Er wordt alleen bijgeladen als de accuspanning tot een bepaald niveau daalt. De meeste gebruikers verwijderen de netvoeding niet en deze gewoonte is veilig.

Moderne laptops werken koeler dan oudere modellen en er worden minder branden gemeld. Houd de luchtstroom altijd vrij als u elektrische apparaten met luchtkoeling op een bed of kussen gebruikt. Een koele laptop verlengt de levensduur van de batterij en beschermt de interne onderdelen. Energy Cells, die de meeste consumentenproducten hebben, moeten worden opgeladen bij 1C of minder. Vermijd zogenaamde ultrasnelle opladers die beweren Li-ion in minder dan een uur volledig op te laden.

Referentie:

[1] Met dank aan Cadex

[2] Bron: Choi et al. (2002)

[3] B. Xu, A. Oudalov, A. Ulbig, G. Andersson en D. Kirschen, "Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for Cell Life Assessment," juni 2016. [Online].

Beschikbaar: https://www.researchgate.net/publication/303890624_Modeling_of_Lithium-Ion_Battery_Degradation_for_Cell_Life_Assessment.

[4] Bron: Technische Universität München (TUM).

[5] Met toestemming te gebruiken. Interpolatie/extrapolatie door OriginLab.