

Lustrum

Van de individuele cellader voor LFP cellen

Aanloop

De eerste decade van de 21^e eeuw wordt gekenmerkt door de patentstrijd tussen LCM en LFP accu's. Hierdoor is er onduidelijkheid over de manier van laden van cellen op het gebied van de maximale laadspanning en de maximale laadstroom en over de ontladingstroom bij gebruik en de maximale diepte van de ontlading. Pas als de rechter beslist dat een LFP accu een technologie gebruikt die anders is dan de LCM technologie, is er een commercieel bestaansrecht voor de LFP-cellen, waarbij de automotive industry de LCM technologie blijft aanhangen en gebruiken en de luchtvaart, na enkele technische incidenten met accubranden in vliegtuigen, definitief naar de LFP technologie overstapt.

In de automotive industry is de mogelijkheid tot het koelen van de accu veel beter en dat geeft meer mogelijkheden voor het BMS om de veiligheid te garanderen bij het gebruik van LCM cellen. Bij de inzet van LFP cellen hebben zich nog nooit accubranden of explosies voorgedaan.

De accubranden bij LCM cellen hebben zich voorgedaan bij het laden, niet bij het belasten van de accu. Er zijn branden van LCM accu's gemeld na overbelasting in de vorm kortsluiting.

Het duurde tot 2010 voordat het gedrag van de Lithium accu op het gebied van laden en ontladen werd begrepen. Vier LFP cellen in serie komen in spanning overeen met een 12V loodaccu en dat was een bekende spanning en zo gingen velen er van uit dat 4 LFP cellen uitwisselbaar waren met 6 loodzwavelzuur cellen. De LFP cellen hebben echter een aantal eigenschappen die niet passen bij de eigenschappen van loodzwavelzuur cellen.

De life time-line van een LFP-cel begint met het productie proces dat als eindproduct een ongeladen cel oplevert. De inwendige weerstand van een LFP cel is ca 10 maal lager dan die van een LCM cel en wel 100 maal lager dan een lood-zwavelzuur cel. Dit moet dan wel worden gerelateerd aan de capaciteit van de cel, waarbij geldt: hoe hoger de capaciteit, des te lager de inwendige weerstand. Van de Lithium cellen heeft de Lithium Titanaat cel (LiTiO) de laagste inwendige weerstand.

De lage inwendige weerstand is de voornaamste reden voor de goede prestaties van de Li-ion accu. Door deze lage weerstand is er een beter laad-ontlaad rendement dan bij lood-zwavelzuur accu's en wordt de Li-ion accu niet mishandeld, dan blijft het laad-ontlaad rendement gedurende meer dan 4000 cycli boven de 80%. Bij 100 cycli per jaar betekent dat een levensduur van de accu van 40 jaar.

Een LFP accu en een LCM accu kennen een spanningsdrempel bij het initieel laden. Er is enige elektrische 'overtuiging' (van ca 5V) nodig om het Lithium van het ferrofosfaat of het kobaltmanganaat te scheiden en zo lading in de accu op te slaan. De initiële laadspanning ligt bij 4,5V voor LCM cellen en 4,2V voor LFP cellen. Deze initiële laadspanning is hoger dan de spanning die geldt bij een geladen cel (3,7V voor een LCM cel en 3,4V voor een LFP cel). De spanningsdrempel begint bij ca 2V klemspanning en als de stroom hoog genoeg blijft zal de lading in de cel blijven en op de klemmen van de cel meetbaar blijven. Is de stroombron niet in staat om door de stroom een spanningsverschil over de inwendige weerstand te veroorzaken van ca 4,5V dan blijft er geen lading in de cel achter en daalt de celspanning na het los nemen van de stroombron terug naar 0V en blijft de cel zonder lading.

Wordt een Li-ion cel ooit geheel ontladen (0V klemspanning), dan moet de initiële lading weer opnieuw plaatsvinden om de opslag van lading weer mogelijk te maken.

Het laden met een laadspanning van 4,5V tot 5V werd in de beginperiode van de Li-ion accu's als normaal beschouwd omdat ook geheel ontladen cellen dan weer geladen worden doordat er meteen een initiële lading werd gedaan. De hoge laadstroom die hiervan het gevolg is levert plezierig korte laadtijden op, maar ook 'Lithium plating' (het bedekken van zowel de anode als de koperen kathode met een dunne laag Lithium), waardoor er geen spanningsverschil kan optreden en de cel geen lading meer kan opnemen en dus kapot is.

In de jaren na 2010 wordt duidelijk dat een eindlaadspanning voor LFP cellen van 3,9V (Winston™ / Thundersky™) tot 3,65V (Sinopoly™) te hoog zijn en dat de accu met een dergelijke spanning niet 'onbewaakt' aan een lader mogen worden aangesloten op straffe van een defecte accu door Lithium plating. Een eindlaadspanning (maximale laadspanning) van 3,4V bij een celtemperatuur van 25°C voor LFP cellen kan worden volgehouden zonder dat dit de levensduur van de cellen verkort. Hierbij zijn de temperatuurwisselingen die de spanning van de cel beïnvloeden bepalend voor de mate van Lithium plating en daarmee de levensduur van de cel.

Recondition, absorption, float, balancing

Dit zijn begrippen uit de loodzwavelzuur accuwereeld die niet geheel of niet volledig op het laden van Li-ion cellen van toepassing zijn, maar wel worden gebruikt en soms met nadelige gevolgen voor de Li-ion accu.

"Recondition" is het met een spanning / stroomstoot weghalen van een sulfaat laag van de platen van een loodaccu. "Pulsed charging" is ook een manier om sulfaat van de platen van loodzwavelzuur accu's te verwijderen en de spanning van de cellen waaruit een loodzwavelzuur accubatterij is opgebouwd. Door de ongelijkmatige sulfatering van de platen van een loodaccu ontstaat er een verschil in celspanning tussen de cellen en met gepulseerd laden kan de sulfatering laag worden afgebroken en wordt de celspanning van de afzonderlijke cellen weer gelijk. Dit wordt balanceren van een accubank genoemd.

"Recondition" is niet van toepassing op Li-ion accu's. Het is zelfs nadelig voor de levensduur van de Li-ion cellen omdat het de Lithium plating versterkt door de kortdurende hoge spanning.

"Pulsed charging" met een spanning van 3,65V wordt gebruikt om Lithium plating te forceren en is daarmee van nadelige invloed op de levensduur van LFP cellen. Het is niet aan te raden om dit als standaard laadmethode te gebruiken omdat dit resulteert in versnelde slijtage van de accu.

"Absorbition" is de fase van laden van loodzwavelzuur cellen waarbij de laadstroom en de daarbij behorende laadspanning geoptimaliseerd worden voor een snelle lading van een loodzwavelzuur accu. Deze term wordt eveneens gebruikt voor het laden van Li-ion cellen, al zijn de gebruikte stroom en spanning niet te vergelijken met die voor een loodzwavelzuur accu. Goed beschouwd is elke vorm van laden van een Li-ion accu door de kenmerkende lage inwendige weerstand, "absorbition" laden. De maximale laadspanning moet in achtgenomen worden en de maximale laadstroom van 0,5c mag alleen kortdurend worden overschreden.

"Float charge" of "Trickle charge" wordt gebruikt om een vol geladen loodzwavelzuur accu na te laden om zo sulfatering van de platen door zelfontlading tegen te gaan. De loodzwavelzuur accu wordt dan

met een stroombron licht overladen en blijft zo op spanning en lading. Dit gaat ten koste van het water in het elektrolyt en dit moet regelmatig worden bijgevuld (als dat kan).

De mate van zelfontlading bij Li-ion accu's is uiterst klein (van 3,41V bij 20°C naar 3,39V bij 20°C bij 4 200Ah Sinopoly cellen in een jaar) en het toepassen van "Float charge" met een spanning van meer dan 3,4V veroorzaakt Lithium plating. Het aanleggen van een laadstroom bij LFP cellen met een klemspanning van 3,45V bij 25°C geeft geen lading toename van de cel maar de lading wordt geheel gebruikt voor Lithium plating en zal uiteindelijk de cel vernielen. De laad energie zal alleen nog worden omgezet in warmte en niet meer in lading.

Om te voorkomen dat overladen optreedt, wordt er per cel een DC/DC converter gebruikt met een 'wide range' input van 9V tot 40V en een te trimmen 3.3V output. De output wordt ingesteld op een spanning van 3,45V en de regeling van de uitgangspanning staat geen hogere spanning toe. Door de nauwkeurig vast gelegde maximale laadspanning zal de cel niet kunnen worden overladen. Doordat bij het bereiken van de maximaal haalbare laadspanning op de cel er geen spanningsverschil bestaat tussen de output van de converter en de aansluitklemmen van de aangesloten cel, loopt er geen laadstroom meer en de cel zal (kan) niet worden overladen.

Het vermogen dat de converters opnemen is evenredig met de laadstroom die de converter in een cel laat lopen. Is een cel 'vol', dan loopt er geen laadstroom meer en wordt er ook geen vermogen meer via de converter opgenomen. Het totaal ter beschikking staande laadvermogen wordt dan over de 3 resterende converters verdeeld en aan de cellen geleverd met de verdeling dat de cel met de laagste spanning de meeste laadstroom krijgt.

Dit betekent dat een temperatuurdaling ervoor zorgt dat de celspanning lager wordt. In dat geval gaat de laadstroom naar de cel omhoog en kan de cel worden overladen. De laadstroom bij een geheel geladen cel wordt laag doordat het spanningsverschil tussen laadspanning en de celspanning heel klein is en de celspanning. Dit is bij een vorstvrij geïnstalleerde accu op een boot in West-Europa voldoende.

Thermosstatisch regelen

Met een thermosstatische schakelaar kan de laadstroom bij een celtemperatuur lager dan 5°C naar een verwarmingselement worden geleid, dat eerst de cellen verwarmd tot 5°C voordat de laadstroom gaat lopen. LFP cellen worden vanwege hun lage inwendige weerstand niet snel warm door de stroom door de cel. De cel kan thermisch geïsoleerd worden en is zo minder onderhevig aan spanningsvariaties op basis van temperatuurschommelingen. Bij het bereiken van een celtemperatuur van 5°C worden de verwarmingselementen uitgeschakeld en de celladers ingeschakeld. De gebruikte verwarmingselementen zijn 'buitenspiegel verwarmers' op 12V.

Onderspanning beveiliging

Initieel laden van een cel in een accubank betekent dat de hele accubank moet worden gedemonteerd om de cel er tussen uit te nemen en te laden met een laadspanning van 4,5 tot 5V tot de klemspanning van de cel boven de 2,5V is gekomen als de laadstroom is afgekoppeld. Is de open klemspanning op 2,5V gekomen dan kan de cel verder worden geladen met een laadspanning van maximaal 3,4V. Daarna kan de cel weer op zijn plaats in de accubank worden gemonteerd. Let op de aansluitingen! Ompolen

betekent met zekerheid schade aan de cel of aan de laadelektronica.

Om het opnieuw initieel laden te voorkomen, is het verstandig om de spanning per cel te bewaken en een belasting uit te schakelen indien de celspanning van de cellen onder de 3,00V (bij 25°C) per cel komt. Er is dan een speling van 0,5V voordat de laagste spanning van 2,5V per cel wordt bereikt. Door een mogelijk verschil in spanning tussen de cellen (onbalans) moet de spanning per cel worden bepaald. Hierbij geldt dat als 1 cel <3,0V heeft bereikt de belasting moet worden afgeschakeld.

Grenzen

Alleen voor LFP cellen!

Temperatuur opslag:	-30 - +70°C	
Temperatuur in bedrijf:	+5 - +50°C	Niet laden onder 5°C tenzij met thermostatisch geregelde lader.
Nominale spanning:	3,2V bij 25°C	
Laagste spanning:	2,5V bij 25°C	
Ondergrens werkspanning:	3,0V	
Optimale bewaarspanning:	3,0V	dit is niet getest, maar een opgave van een fabrikant
Hoogste laadspanning:		3,45V bij 25°C
Optimale laadstroom:	0,1c bij 25°C	geen koeling nodig.
Hoogste continue laadstroom:	0,5c bij 25°C	geen koeling nodig.
Kortdurend hoge laadstroom:	1c bij 25°C 3c bij 25°C	gedurende 5 minuten. gedurende 5 seconden.
Na een kortdurende hoge laadstroom moet de accu de tijd krijgen om weer af te koelen naar 25°C.		
Max. continue belasting:	0,5c bij 25°C	geen koeling nodig.
Max kortdurende belasting:	1c bij 25°C	gedurende 5 minuten.
Na een kortdurende hoge laadstroom moet de accu de tijd krijgen om weer af te koelen naar 25°C.		
Open klem zelf ontlading bij 20°C: spanningsdaling	< 0,021V	na een jaar.

Beperking van de laadspanning/laadstroom is mogelijk door de inzet van balancer / limiters waarbij de laadstroom voor een cel boven een vooraf bepaalde spanning om de cel heen wordt geleid. Deze omleiding gaat dan wel gepaard met vermogens verlies. Dit vermogensverlies wordt omgezet in warmte.

De LFP accu is in ontwikkeling en het einde daarvan is nog niet bereikt. De bovenstaande grenzen zijn geldig dit moment, maar zullen met zekerheid nog veranderen.

Ontwikkeling

Vijf jaar geleden was het energie gebruik van de balancer / limiters voor mij een reden om een andere weg in te slaan bij het laden en balanceren van LFP cellen in een accubank. Dat energieverbruik was niet eens zo groot omdat het energieverbruik van een van een balancer / limiter alleen plaatsvindt als de cel die door de balancer/limiter wordt bestuurd boven de maximale laadspanning is gekomen en dus 'vol' zit. De ruimte voor zonnepanelen op zeiljachten is soms beperkt of de schipper/eigenaar vindt de

zonnepanelen lelijk, te duur of heeft een energie behoefte die niet zonder 'walstroom' is op te lossen. De toegevoerde energie is dus beperkt en de verbruikte energie bij balanceren is dan ook beperkt.

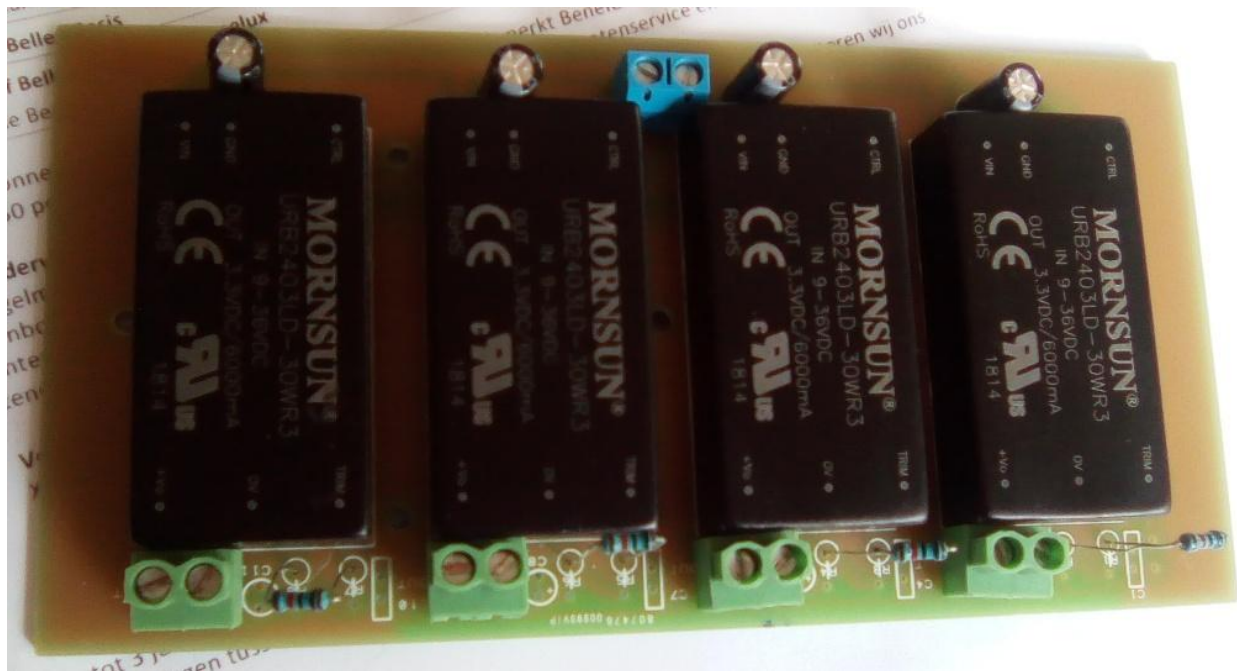
Door het gebruik van individuele laders wordt er bij het bereiken van de eindlaadspanning geen stroom afgegeven en dus geen energie verbruikt. De DC/DC converters hebben wel een rustverbruik dat te vergelijken is met het rustverbruik van de balancers. Voor de meting van de accuspanning wordt 10uA gebruikt door de balancers of de converters bij 3,4V.

Een balancer / limiter gaat energie verbruiken als de cel vol zit. De laadstroom wordt dan omgeleid en het verbruik bedraagt dan de celspanning maal de omgeleide stroom. Dit is $3,4V \times 0,1A = 0,34W$ per cel bij een 100mA BMS. Het BMS stopt dan de laadstroom naar alle cellen.

Bij de enkele cellader stopt de laadstroom omdat de cel dezelfde spanning heeft als de laadspanning aangeboden door de converter. De andere cellen blijven laadstroom opnemen tot zij de 3,4V hebben bereikt en de laadstroom nul wordt. Er is geen sprake van het onderbreken van de laadstroom naar de andere cellen als een cel vol is. De aangeboden laadenergie wordt wel herverdeeld over de cellen en wordt gebruikt voor het balanceren. Dit is een continu proces per cel en het laden van de cel (en daarmee het balanceren) start meteen weer nadat een cel een lagere spanning heeft gekregen door de levering van energie aan het boordnet.

Van de individuele celladers voor 12V zijn er nu 9 gebouwd en in gebruik. Daar zijn er 4 van in doorlopend gebruik en 4 worden af en toe gebruikt.

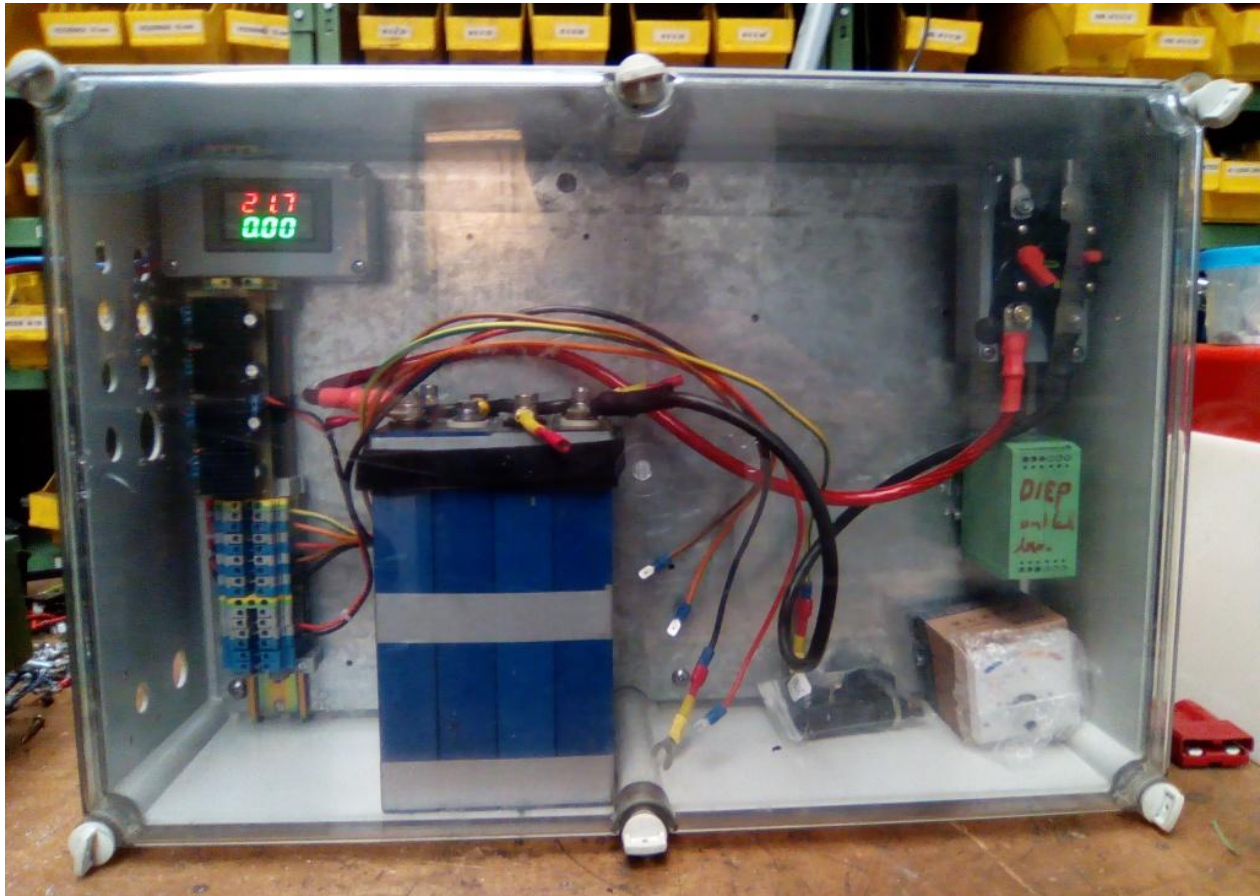
Laders A + B) Twee 10A laders zijn door verkeerd aansluiten defect geraakt en inmiddels vervangen door nieuwe.



Laders C + D) Er zijn (2 x 4) 15A converters gebouwd waarvan er één het doel heeft om 4 x 400Ah LFP cellen te kunnen laden en de andere het doel heeft om 4 x 160Ah cellen snel te laden. De laatste lader is

vervangen door een commercieel BMS waarbij werd verwacht dat het laden dan sneller zou gaan. De bron voor het BMS is een 18A 14V gelijkrichter, maar de laadsnelheid blijkt niet hoger te zijn dan met de 15A individuele celladers op de 18A 14V gelijkrichter. De maximale laadspanning voor het BMS is 3,4V per cel (balancer regeling, bypass 100mA) vergeleken met 4 individuele celladers met 3,4V eind laadspanning (regeling op basis van vaste eind laadspanning). Hoewel het BMS door de hogere laadspanning meer lading aan de LFP accu kan toevoegen, is er desondanks geen hogere laadsnelheid. Ik weet niet waarom de individuele cellader net zo goed presteert als het BMS, maar ik ben er wel blij mee.

Laders E + F) Twee individuele 5A laadsystemen van 4 converters laden een 70Ah LFP accu op als noodvoorziening voor marifonie en nood kajuitverlichting. Zij kunnen worden geladen door een zonnepaneel of een DC-bron van 12V tot 36V. Met deze installaties zijn duurtesten uitgevoerd om te zien of 'het aangesloten blijven op de lader' nadelig zou zijn voor de LFP accu zoals sommigen beweerden. Na een jaar testen met de laders gevoed uit het net via een 19V 3,5A computer voeding bij een maximale laadspanning van 3.4V per cel is hier niets van gebleken. De beide installaties zijn nooit onder het vriespunt geweest bij het laden en zijn binnenshuis gebruikt.



Lader G) Een 'spinnenkop' installatie (draadjes aan de converters gesoldeerd) staat nu 5 jaar in het Narwal laboratorium aangesloten op 4 x 100Ah LFP cellen. De celspanning is al 5 jaar 3,4V per cel en is 'in

beton gegoten'. De cellen zijn nooit warm geworden en niet bol gaan staan in de 5 jaar dat zij aan de laders staan.

Lader H) Voor een walstroom lader zijn er vier 230VAC naar 3,3VDC fanloze schakelende voedingen gebruikt op een groot koelblok. De laadstroom is maximaal 40A en de installatie is daarmee geschikt voor het optimaal laden van 400Ah cellen. De celspanning is maximaal 3,3V en de lader kan worden ingezet vanaf 0°C. De uitgangspanning van de schakelende voedingen kan omlaag worden geregeld tot 2,9V voor langdurig in opslag laden waarbij de laagste temperatuur -15°C tijdens het laden in opslag mag zijn.



Lader I) Voor het laden van een enkele cel is er een schakelende voeding van 3,3V 60A (met fan). De grootste cel capaciteit is dan 600Ah voor laden met 0,1c. Voor het laden met 0,5c is een celcapaciteit van 120Ah passend voor 60A laadstroom.

Ter vervanging van een loodzwavelzuur accu in een vorkheftruck door een LFP accu is er een cellader gebouwd met 80VDC voedingspanning en 24 converters naar 3,3V. Door de Covid 19 pandemie is dit project opgeschort.

Er hebben zich tot op heden geen defecten voorgedaan bij het gebruik van de laders. Twee laders zijn kapot gegaan door verwisseling van de polariteit van de 3,3V uitgang van de laders door de gebruiker. (Humans as bug in the software) (Warranty void if seal is broken).