

Diep ontladingsbewaking per cel

Onbalans bij ontladen

Onbalans bij laden is goed tegen te gaan, je kunt 'balancers' gebruiken of elke cel een aparte lader geven met laadspanning die niet boven de 3,3V kan komen en dan zit je 'gebakken' vanaf 12°C als minimum celtemperatuur. Onder de 5°C gaat de celspanning naar ca 2,5V en ga je met 3,3V de cel overladen. Daar wordt de cel warm van en de temperatuur van de cel zal dan stijgen de spanning van de cel zal dan mee stijgen. Er is een maar één nadeel aan dit proces; er ontstaat 'Lithium plating'. Boven de 60°C moet je ook niet komen. Dan vergast het elektrolyt en gaat de cel bol staan. Boven de 70°C begint ook het traject naar de 'Thermal runaway' en daar wil je al helemaal niet komen.

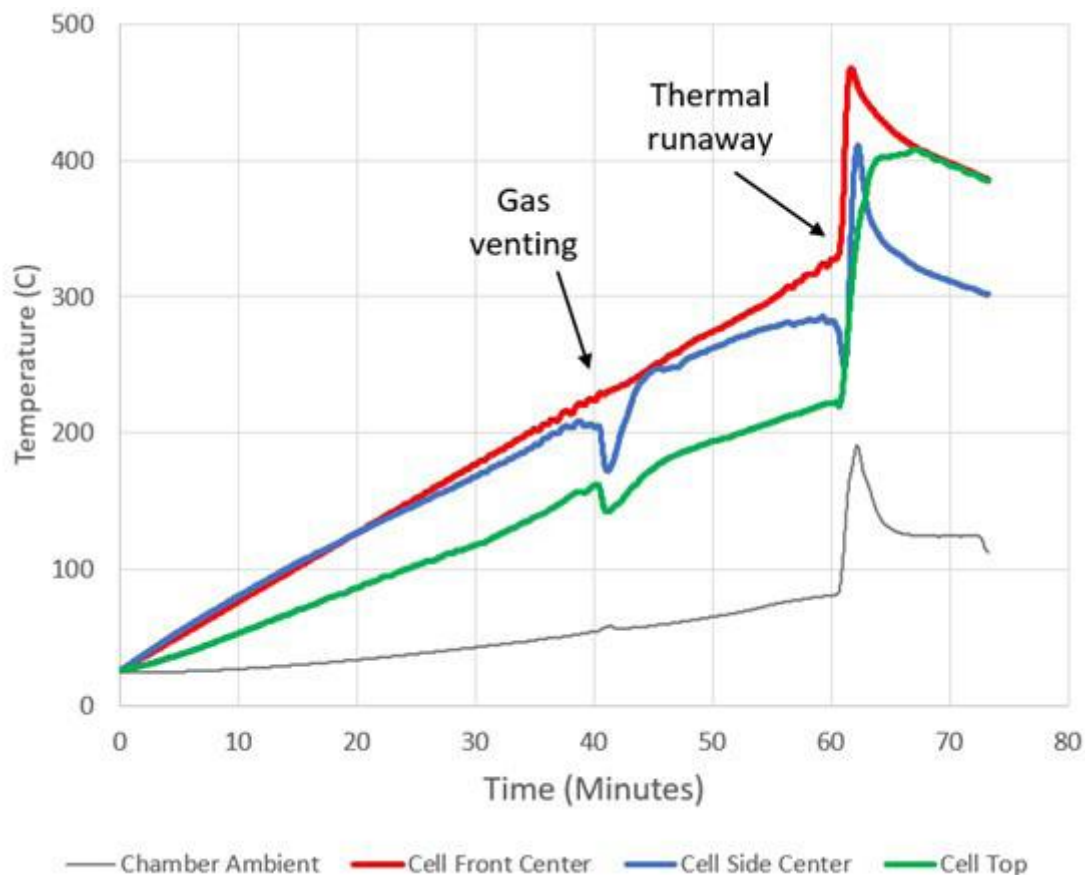


Figure 4-3 Cell-level UL 9540A test results show temperatures rising steadily, dipping, rising again, and then spiking during thermal runaway

(uit 'Battery scorecard 2022' van DNV)

Door het afblazen van het hete gas koelt de cel in eerste instantie maar na de dip gaat de temperatuur verhoging verder en bij het begin van de thermal runaway gaan de separators tussen de anode en de kathode in de cel kapot en is er geen houden meer aan, Dit is het punt dat de brandweer komt met een grote container met water om de brandende auto onder te dompelen in het water zodat de temperatuur snel daalt.

Trespa kan tot 800°C aan (heb ik me laten vertellen, ik heb dat niet uitprobeerde.) Een poederblussertje werkt helemaal niet aangezien het poeder niet afkoelt en de thermal runaway 'onder het poeder' gewoon doorgaat. Wat er met je boot moet gebeuren in zo'n geval weet ik niet

maar als je solo vaart zou ik 'schip verlaten' roepen en de pleiterik maken en met m'n plofvest zo ver mogelijk wegzwemmen van de boot.

Door het verdwijnen van het elektrolyt kan de cel niet langer de opgeslagen lading vasthouden en dit wordt omgezet naar thermisch vermogen en zal uiteindelijk leiden tot de thermal runaway waarbij de temperatuur in de cel naar de 700°C gaat en de keramische separatoren tussen de anode en de kathode kapot gaan. Bij de moderne cellen met een grafiet beklede kathode verbrandt de koolstof tot koolzuurgas. De toename van de temperatuur is zo snel dat dit explosief verloopt.

Bij Li-ion cellen met een brandbaar elektrolyt zal dit bij het openen van de pop-off van de cel door de hoge temperatuur explosief verbranden en de cel doen ontploffen.

Het DNV raadt in de 'scorecard 2022' aan de cellen niet boven de 3,4V te laden. Overigens rekent men bij DNV de gebruiksduur niet in cycli maar in een kalenderleeftijd. Ze hebben in testen gezien dat de kalenderleeftijd van de cellen korter wordt als je ze overlaadt.

Het zat er in dat onbalans bij diep ontladen van Li-ion cellen tot problemen zou leiden. CC laden zal de spanning over de cel verhogen om de 'Current Constant' te houden. Je kunt er natuurlijk op vertrouwen dat jouw cellen goed in balans blijven in deze situatie en er geen cel zal zijn die 'uit de pas gaat lopen', maar je krijgt geen enkele garantie! Tesla en Toyota nemen ook het risico niet meer en gaan voor hun EV's overstappen naar LFP accu's. Dat doen ze niet omdat de kleur van de cellen niet beviel!

Bijna alle thermal runaway's treden op bij laden en niet bij belasten (alleen bij overbelasten of kortsluiten van een cel). Laden en overladen van cellen zijn de probleem gebieden en ambitieuze schippers die de meeste lading in hun accu willen hebben zijn de potentiële slachtoffers van een thermal runaway. Je herkent deze ambitieuze schippers aan de wens een laadspanning per cel te willen hebben van meer dan 3,45V zoals bijvoorbeeld 3,65V (is in het verleden aanbevolen, net als ooit een laadspanning van 4,2V) voor LFP cellen, 'want dan zitten de cellen lekker snel voll!' Dat is waar, maar de cellen gaan ook 'lekker snel kapot!' Zoals forumlid 3Noreen ooit zei: *'Je mag het wel uitproberen, maar niet met mijn accu!'*

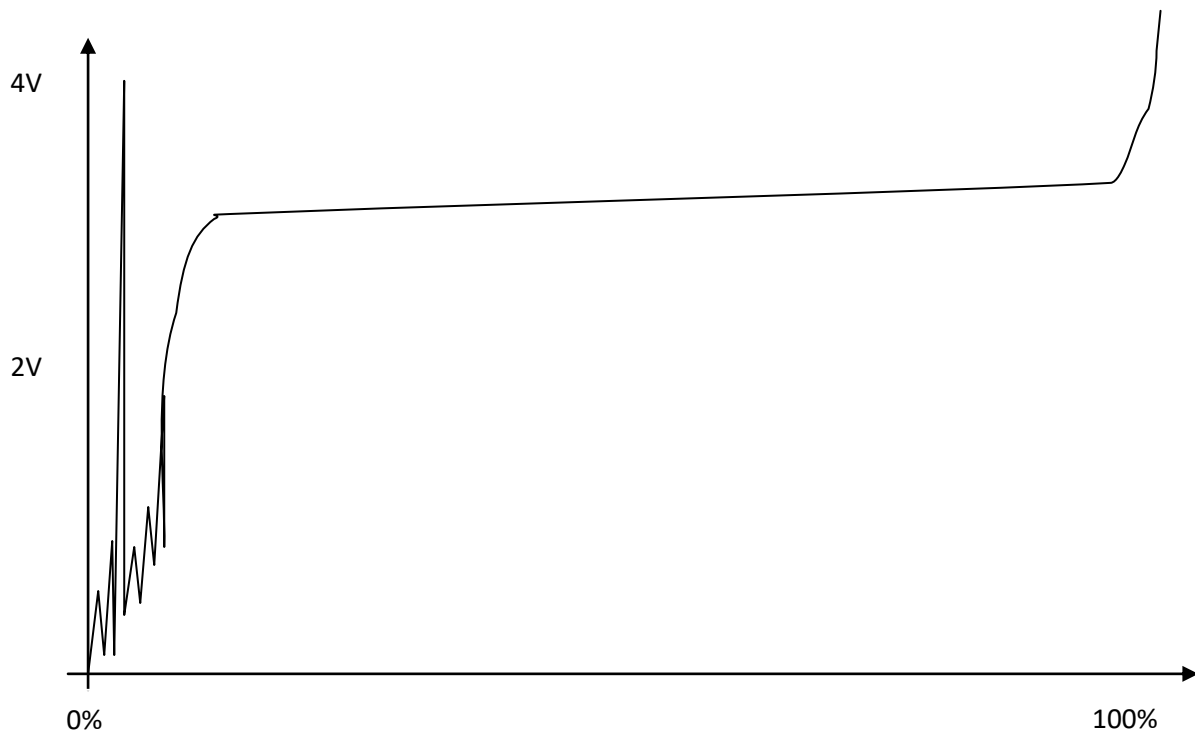
Bij een goed thermisch geïsoleerde accu ligt het punt van 'te warm' op 60 tot 70°C. Dat kan worden bereikt door de accu langdurig te belasten met 1c. Er loopt dan zoveel stroom door de inwendige weerstand van de accu dat de temperatuur op den duur boven de 70°C komt en dan gaat je accu stuk. Blijf je met de belastingstroom onder de 0,3c dan is er geen temperatuurverhoging te zien. Pieken tot 1c zijn mogelijk maar ze moeten kort zijn om geen temperatuursverhoging te geven. Dan ga je lang plezier hebben van je accu.

Opladen en initieel laden

Met een cellader aangepast op één cel kun je een laad algoritme gebruiken dat uniek is voor deze cel. De eerste vereiste om de cel netjes te laden is wel dat de cel in de tweede laadfase zit. Dat zal het geval zijn als de celspanning niet lager is dan 2,5V. Gaat een cel van de tweede laadfase naar de eerste laadfase, dan blijft er geen lading meer in de cel zitten en gaat de klemspanning uiteindelijk naar nul. Het bijzondere is dat voor het verdwijnen van de lading van de laadfase geen geleidende verbinding tussen de + pool en de - pool van de cel nodig is.

Voor het initiële laden dat nu moet plaatsvinden is een stroombron nodig die tenminste 4,5V kan opbrengen om de cel te formeren. Bij de lage inwendige weerstand betekent dat er een zeer hoge stroom moet kunnen lopen om die spanning te halen.

In de grafiek is te zien dat bij ongeveer 4 tot 5% SOC de binding van Ferrofosfaat aan de Li-ionen begint. Dit geeft een piek in de inwendige weerstand en de spanning van de stroombron moet omhoog om lading in de cel te kunnen brengen.



Bij ontladen tot 15% SOC daalt de spanning tot rond 2V en door het grillige verloop van de celspanning is het niet duidelijk bij welke spanning de tweede laadfase overgaat in de eerste laadfase en er geen lading meer in de cel kan worden vastgehouden.

De 4,5V als maximum laadspanning mag niet meer voorkomen als de cel in de tweede laadfase is gekomen. Bij 3,45V celspanning is alle Ferrofosfaat aan de Li-ionen gebonden en kan de cel niet verder worden geladen. Forceer je dat laden toch door de laadspanning boven de 3,45V (bij 25°C) te brengen of te houden, dan wordt al het vermogen dat de lader kan leveren ($U \times I$) omgezet in warmte en wordt de cel warmer. De cel is op weg naar een thermal runaway als het laden met een spanning boven 3,45V blijft doorgaan. Dit zou je de derde laadfase kunnen noemen, de 'overlaadfase'. Je komt nooit in die fase als je de hoogste laadspanning beperkt tot 3,4V bij 25°C. Doe je dat niet en ga je boven de 3,45V uit, dan is de eerste schade die je aan de cellen aanricht de 'Lithium plating' waardoor de capaciteit van cel daalt, de cel eerder vol zit en ook eerder wordt overladen als je de eind laadspanning van 3,4V niet respecteert. Dit is beperkend voor de gebruiksduur van de cellen, maar heeft als voordeel dat je nu cellen kunt gaan kopen met een andere kleur die beter in het interieur van je nieuwe boot staan. Dan ben je eindelijk van die suffe grijze CALB cellen af!

Ontladen

Bij ontladen moet je niet verder ontladen dan 2,5V per cel. Doe je dat wel, dan loop je het risico dat de cel van de tweede laadfase in de eerste laadfase overgaat en in de eerste laadfase wordt er geen lading in de cel opgeslagen. Dan zit je midden op de Atlantic met een accu die niet meer kan worden geladen omdat je één cel te ver leeg hebt gemaakt. Je marifoon doet het dan ook niet meer! Hulp invoeren wordt dan lastig.

Hé Peper, die vier cellen in mijn accubank staan in serie en worden door dezelfde stroom ontladen dus ze lopen gelijkmatig leeg, nait soezen.

Dat is waar als de celtemperatuur van de vier cellen 100% gelijk is. Dat is niet waarschijnlijk, tenzij je ze in een goed geïsoleerde, isotherme bank hebt geplaatst. Verschillen in temperatuur leiden tot verschillen in klemspanning van de cellen en als je de opslagcapaciteit van elke cel uitdrukt in C (capaciteit, in Farad) $\times U$ (spanning, in Volt) dan geeft het verschil in spanning ook het verschil in capaciteit tussen de cellen aan. Een accubank van 4 cellen met een spanning van 12,5V kan worden samengesteld uit 3 cellen van 3,4V (=10,2V) en één cel van 2,3V. Die ene cel is dan onder de veilige onderspanning van 2,5V gekomen en kan bij belasting van de accu over gaan in de eerste laadfase en daarmee de opslag capaciteit voor elektrische lading geheel verliezen. Dat terwijl er nog 12,5V 'in de accu' zit, toch?

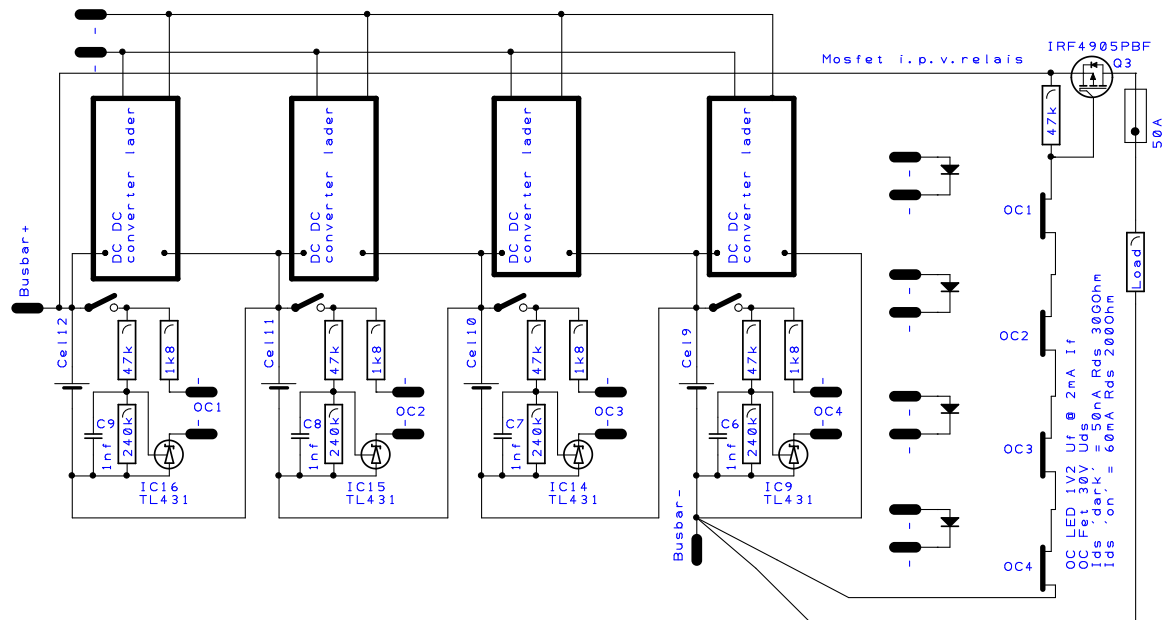
Onderspanning bewaking van de hele accu op 12V biedt geen soelaas, die gaat niet in alarm bij 12,5V, pas bij 12V zal er worden gealarmeerd. Drie volle cellen ($3 \times 3,4V = 10,2V + 1 \times 1,8V = 12V$) en één lege (1,8V) zal de beveiliging nog net niet triggeren, maar net wel een cel naar de eerste laadfase brengen.

Diepontlading beveiliging

Het gaat wel werken als elke cel wordt bewaakt op de diep ontladspanning van bijvoorbeeld 3V. De celspanning zal dan niet onder de 3V komen want bij één cel lager dan 3V trekt een elektronische schakeling 'de stekker eruit'! De andere cellen worden dan ook niet verder ontladen en alle cellen kunnen zonder probleem weer worden opgeladen tot 3,4V.

Gebruik je individuele celladers, dan blijven die laden zolang je ze 'te eten geeft' en laden ze de cellen weer op en kun je de accu weer als lading en energie-opslag inzetten.

Schema celladers met onderspanning bewaking en bescherming

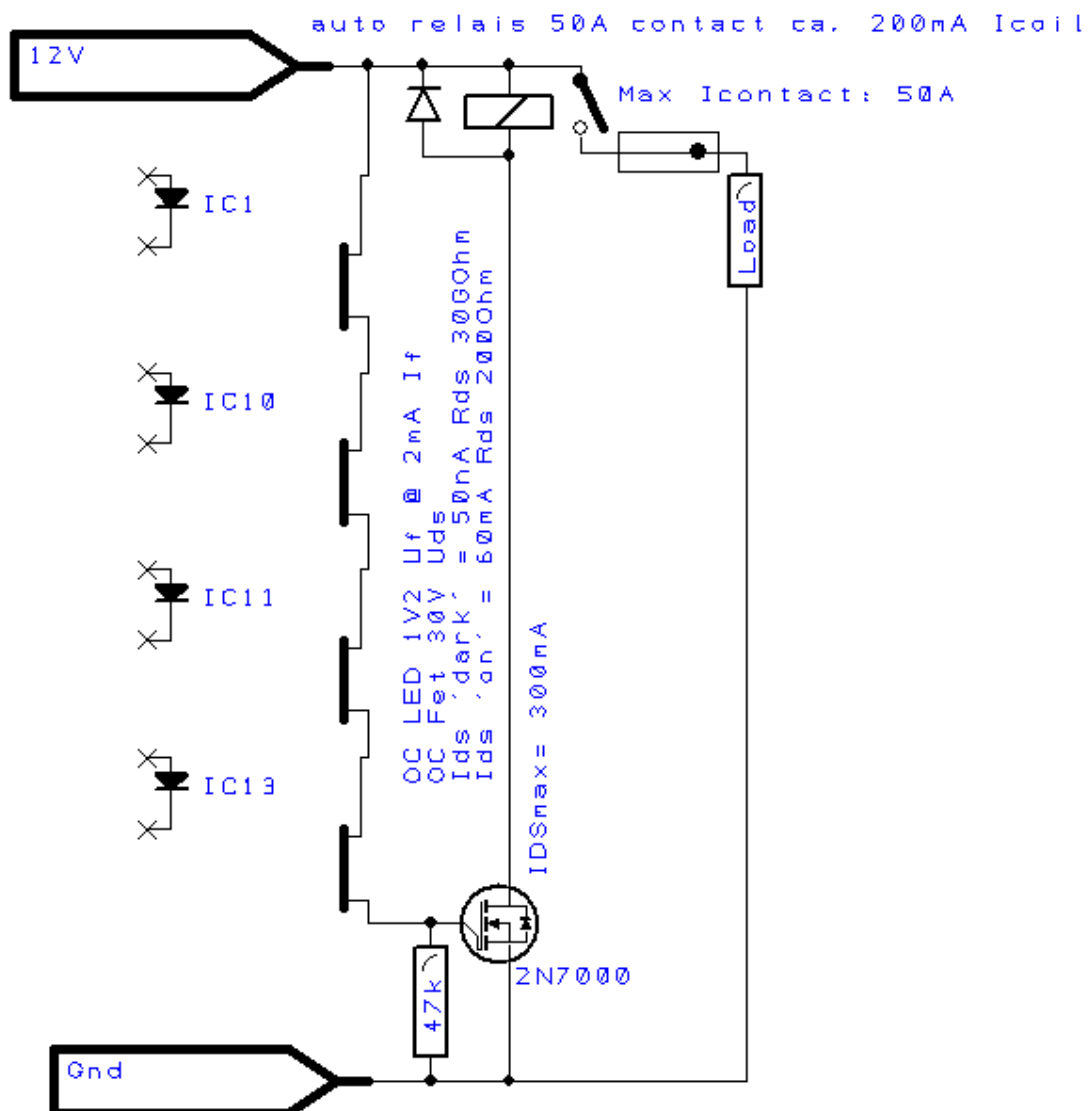


Door de verbeterde bewaking van de cellen kan de laagste spanning van een cel op 2,8V worden gesteld en wordt het bereik van de accu van 13,6V bij een volle accu tot 11,2V bij een lege accu (waarvan elke cel nog in de tweede laadfase zit). Je zou dat punt tot 2,5V per cel kunnen verlagen en dan wordt het bereik van de accu nog groter, van 13,6V (vol) tot 10V (leeg). Bij 10V doet je marifoon en je radio het waarschijnlijk niet meer, tenzij je de motor start en vanuit de dynamo de accu weer

wordt geladen. In het schema is de laagst getolereerde spanning 3V per cel en daarmee 12V voor de hele accu.

Het solid state relais aan de rechterkant van de schakeling wordt via 4 optocouplers met een FET gestuurd. Dit zijn optoFETs en die vragen heel weinig vermogen voor hun werking. Worden de FETs door hun LEDs beschenen, dan daalt hun weerstand naar 200 Ohm per FET en wordt een zware P-mosFET geleidend met een weerstand van onder de 10 milliOhm. De mosFET kan meer dan 100A doorlaten en vormt de hoofdschakelaar voor het boordnet. Het schakelaartje bij elke bewakingschakeling schakelt dan de hoofdschakelaar in. (wel alle vier omzetten of een vierpolige schakelaar gebruiken). Elke schakelaar schakelt iets meer dan één mA en het hoeft geen groot ding te zijn. Je kunt een sleutelschakelaar met 4 contacten gebruiken en daarmee een totale belastingstroom van meer dan 100A schakelen.

MosFETs gebruiken nauwelijks stroom om te schakelen maar daardoor zijn ze wel gevoelig voor storingen door statische elektriciteit. Sommigen zullen geen mosFET willen gebruiken en eerder vertrouwen op een relaiscontact. Bij storingen bij het gebruik van mosFETs is naar voren gekomen dat zij meestal in geleidende toestand blijven als ze kapot gaan. Relais vragen voor hun werking meer stroom, maar zijn wat robuuster en bij storing makkelijker te vervangen. De onderstaande schakeling komt in plaats van de mosFET schakeling.



Het gebruikte relais is een 12V automotivische relais en schakelt 40 tot 80A. De gebruiksduur is korter dan een 'solid state' mosFET schakelaar, maar ook makkelijker te vervangen en het relais is goed verkrijgbaar, ook in Thailand, Indonesië, Namibië, Gabon, Kongo, de Caraïben en Brazilië. De lader wordt niet uitgeschakeld en blijft gewoon laden zolang er vermogen wordt ingebracht. Het is om het even of dat vermogen via het 'Duitse landvast' komt of van een zonnepaneel of een windturbine of een sleepgenerator of van de dynamo op de motor of van allemaal een beetje.

Laden van een bijna lege accu uit een zonnepaneel

Er zit een addertje onder het gras... Zijn de cellen van de accu erg leeg (bij 10V voor de hele accubank) dan zullen ze een hoge laadstroom vragen. Voor zonnepanelen kan deze zware belasting werken als een kortsluiting die uiteindelijk geen laadvermogen oplevert. (Bij kortsluiting is de U in $P = U \times I$ nul en daarmee is het laadvermogen P ook nul.) Er is dan geen laadvermogen meer en er zal geen lading in de accu worden opgeslagen. Start je de motor om de haven uit te varen, dan zal de dynamo voldoende vermogen leveren om de cellen te laden tot een niveau dat het zonnepaneel het laden zonder problemen kan overnemen.

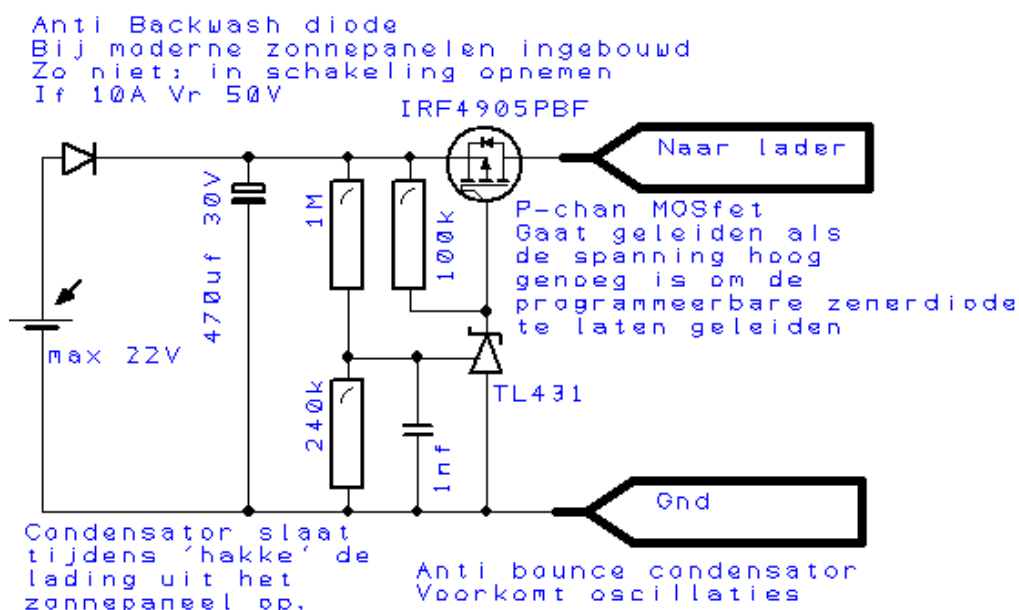
Zijn de cellen van de accu bijna vol (ca 12,5V voor de hele accubank van 4 cellen) dan vormt de lader geen stroomslurpende kortsluiting en heeft het zonnepaneel geen moeite om de stroom in de cellen te stoppen en de lader zal werken vanaf zonopkomst.

Dit 'opstart probleem' kun je ook tegen gaan door het geringe vermogen uit het zonnepaneel op te slaan als lading in een condensator of spoel en als de spanning voldoende hoog is geworden omdat de condensator voldoende lading heeft opgeslagen, dan kan de lading worden overgedragen aan de accu. Dit is de werking van een MPPT regelaar.

Hakkepuf regelaar

Een 'Huff and Puff' regelaar (Hakkepuf regelaar?) werkt ook zo. Hierbij laadt een zonnepaneel een condensator op. Door een diode (keercel of 'anti backwash diode') kan de lading uit de condensator niet terug lopen het zonnepaneel in en de spanning op de condensator kruipt omhoog tot de hoogste spanning die het zonnepaneel kan opwekken (afhankelijk van de opgevangen energie door het zonnepaneel).

Schema 'Hakkepuf' regelaar.



Heeft de spanning op de condensator een (in te stellen) waarde bereikt in deze schakeling 12V dan laat de 'elektronica' de lading uit de condensator naar de cellader(s) lopen en deze laadt de cel(len) op. De condensator loopt bijna leeg en kan weer door het zonnepaneel worden geladen tot de spanning weer is opgelopen (hakke) om bij een voldoende hoge spanning weer in de lader met de cel leeg te lopen (puf). Is het zonnepaneel in staat om de condensatorspanning zo hoog te houden dat de regelaar in de 'puf' stand blijft staan, dan is dus het zonnepaneel in staat om de lader doorlopend van voldoende vermogen te voorzien om continu te kunnen laden. Door het laden neemt de spanning van de cel toe en het spanningsverschil tussen de maximale laadspanning en de celspanning neemt af. De laadstroom en het laadvermogen zullen dan dalen en het zonnepaneel kan bij vol rakende cellen steeds beter de lader van laadvermogen voorzien, de regelaar blijft dan in de 'puf' stand staan en laadt zolang het zonnepaneel voldoende door de zon wordt beschenen om vermogen met een spanning van meer dan 12V aan de lader(s) af te geven.

Bron: 'Battery scorecard 2022':

DNV
Utrechtseweg 310-B50
6812 AR Arnhem, the Netherlands
Tel: +31 26 356 9111
Email: contact.energysystems@dnv.com