

Under Voltage Lock Out bij elektriciteitsopslag in een mobiele accu

Vraagt individueel laden ook individueel
bewaken van diepontlading?

Peper

6-11-2021

Onbalans van lading bij bijna ontladen Lithium ion cellen kan heel groot zijn! Een UVLO gestuurd door alleen de totale accuspanning werkt dan niet goed. Sturing door de individuele celspanning werkt dan wel en schakelt de accu verbinding met de +busbar af om celschade door diepontlading tegen te gaan.

Under Voltage Lock Out bij elektriciteitsopslag in een mobiele accu

Functie:

Een Under Voltage Lock Out (UVLO) schakelt de ontlading van de accu af als de spanning van de accu en de daaraan gerelateerde lading onder een bepaalde waarde komt.

Er zijn een aantal te onderscheiden mogelijkheden bij deze functie.

1. De ladingstoestand van de hele accu (alle cellen in serie) wordt bewaakt en de stroom uit de accu wordt onderbroken of er klinkt een alarm. De sturing van het alarm is de accuspanning of een coulombcounter.
2. De individuele ladingstoestand van de cellen van de accu wordt bewaakt en de stroom uit de accu wordt onderbroken en/of er klinkt een alarm. De sturing van het alarm is de celspanning in een logische OR schakeling.
3. Het alarm en de onderbreking van de accustroom kan zowel automatisch als handmatig worden gereset nadat de situatie weer is hersteld.

Er bestaat hierbij ook een mogelijkheid om alleen 'grootgebruikers' uit te schakelen en 'kritische' gebruikers ingeschakeld te laten tot de accu geheel 'leeg' is.

Doel van een Under Voltage Lock Out

Het doel van een UVLO is het beschermen van een accu tegen diepontlading, iets waarvoor Li-ion accu's heel gevoelig zijn. Door diepontlading ontstaan 'dendrieten' (naalden van koper van de elektroden), die door de scheidingslaag groeien en kortsluiting maken en zo een accubrand kunnen veroorzaken. Deze treedt bijna altijd op bij het laden van de accu.

Thermal runaway

Bij Lithium Cobalt Manganaat accu's en bij Lithium Polymer accu's kunnen deze 'naalden' aanleiding geven tot snelle opwarming van de cellen en brand veroorzaken met uiteindelijk een 'Thermal Runaway' tot gevolg. Dit komt door de aanwezigheid van ether in het 'elektrolyt' van deze accu's. De 'thermal runaway' ontstaat doordat de temperatuurverhoging door de brand, het Lithium 'reactiever' maakt tot het punt waarbij het Lithium direct zuurstofatomen uit de lucht gaat onttrekken en er een metaalbrand ontstaat. Blussen met water verergert de brand omdat het water wordt gesplitst in zuurstof en waterstof en deze gassen de onderdelen worden voor een explosie van de accu.

Inmiddels zijn er gassensoren die specifiek reageren op al dan niet gehalogeniseerde ethers en alarmeren bij een lage concentratie zodat een accubrand kan worden voorkomen.

De invloed van onbalans bij ontlading

Door ongelijkheid in de opslag capaciteit van de cellen zal er onbalans optreden en het verschil in de celspanningen zal groter worden. De onderstaande matrix geeft de mogelijke spanningen weer van een 12V LFP accubank met een celtemperatuur van 25°C.

Accu	Cel 1	Cel 2	Cel 3	Cel 4	Accuspanning	Actie...	Celeigenschappen 'af fabriek'
A	3,45V	3,45V	3,45V	3,45V	13,8V (vol)	Niet laden	U_{nom} 3,2V U_{min} 2,5V Cap 160Ah
B	3,00V	3,00V	3,00V	3,00V	12,0V	Opportuun laden	
C	2,80V	2,80V	2,80V	2,80V	11,2V (leeg)	Laden	
D	2,50V	2,50V	2,50V	2,50V	10,0V (kritisch laag)	Laden en bidden	
E	3,30V	3,30V	3,30V	1,50V	11,4V (kapot?)	Cel vervangen	

Accu A uit de tabel is netjes geladen via een balancer systeem en de celspanningen zijn gelijk. Een diepontlading systeem ziet een 'volle' accu met 13,8V en staat ontladen toe.

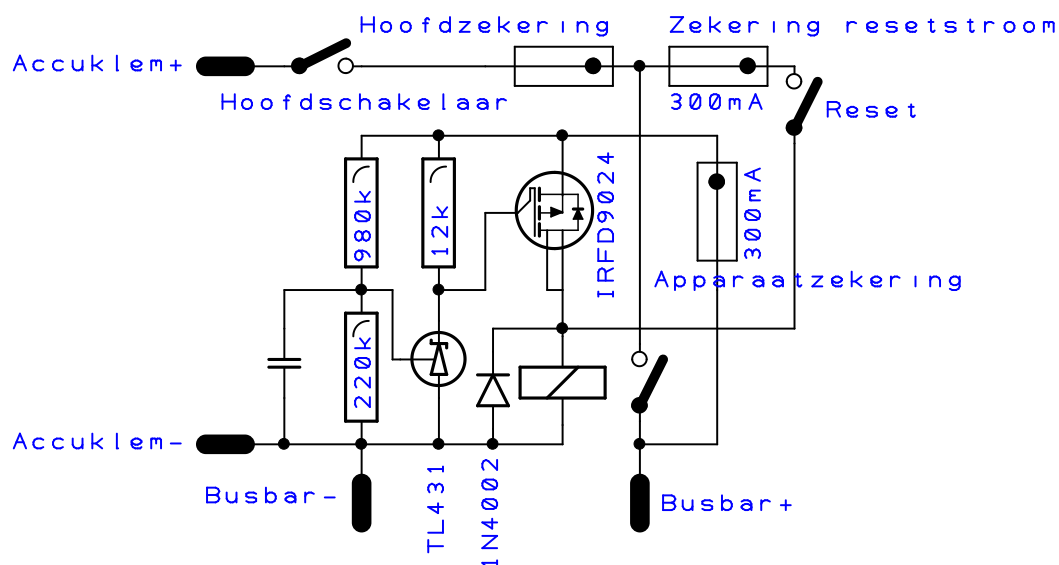
Accu B is in gebruik en tot 12V ontladen. Is er laadenergie beschikbaar dan kan de accu, met een balancer systeem, worden geladen tot 13,8V. Een diepontlading systeem ziet een accu met 12,0V en staat ontladen toe.

Accu C is ontladen tot ongeveer 15% SOC. Dit is ongeveer de werkbare ondergrens voor een LFP accu. De accu moet nu echt worden geladen! Dit is diep ontladen en de situatie is kritisch. Een ontlading kan de cel naar de eerste laadfase brengen en dan is de cel alleen met een speciale lader op te laden. (dat is erg lastig halverwege de Atlantic). Een diepontlading systeem ziet een 'lege' accu met 11,2V en zal alarmeren.

Accu D is op 0% SOC aangekomen en het is niet zeker of de accu nog opgeladen kan worden, of dat deze opnieuw initieel moet worden geladen. Een diepontlading systeem ziet een 'platte' accu met 10,0V en zal verder ontladen stoppen.

Accu E heeft een cel die zover ontladen is dat de cel in de eerste laadfase is terecht gekomen. De cel zal zichzelf steeds verder ontladen tot de celspanning nog maar enkele mV zal bedragen en de cel kapot is. De slechte cel moet worden vervangen. Er is sprake van een sterke onbalans en de totale accuspanning is tot 11,4V gedaald. Dat is passend bij een bijna lege accu, maar geeft geen aanleiding tot alarmering door het diepontlading systeem en staat ontladen toe! Op deze manier wordt de accu steeds slechter.

Zouden de cellen van de accu individueel op hun celspanning worden bewaakt dan zou bij accu D de cel die het eerste de 2,5V bereikt ontlading van de hele accu stoppen.



Figuur I: UVLO voor een 12V LFP accu.

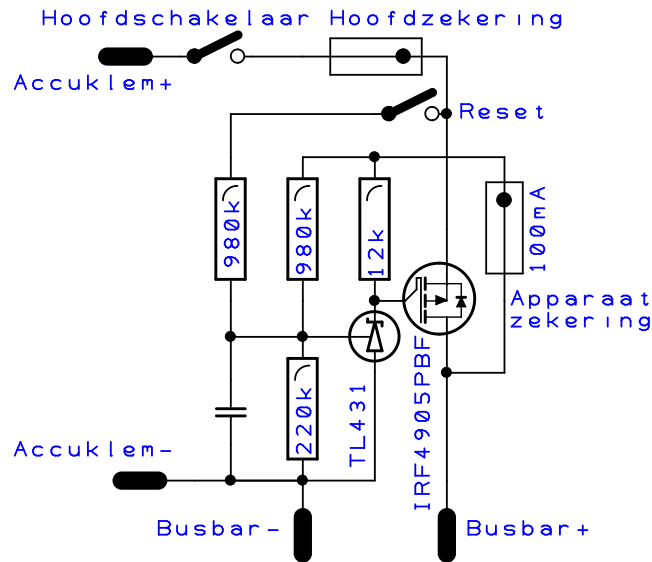
De programmeerbare zenerdiode is ingesteld op 12V. Onder die spanning valt het relais af en kan de accu niet dieper worden ontladen. Het relais wordt gevoed vanaf de '+busbar' en kan na onderspanning niet meer opkomen. Komt door het bijladen de accu weer boven de 12V, dan moet het systeem weer worden gereset.

Er is geen hysteresis in de schakeling, maar de reset voorkomt dat het relais 'rond de 12V blijft klapperen'. Er is een 'afvlak condensator' opgenomen in de stuurspanning van de programmeerbare zenerdiode zodat 'al te zenuwachtige reacties op spanningsvariaties wordt tegen gegaan.

Het gebruikte relais is een autorelais. Die worden geleverd met 40, 60, 80 en 100A schakelstroom. Deze relais zijn waterdicht en gebruiken van 220mA tot 400mA magneetstroom. Een blusdiode over de spoel gaat inductie spanningpieken tegen.

Stroomverbruik in werking: relais 400mA max, meetverstker 1mA, ingang meetverstker 10uA max.

Vermogensopname in werking: 5Wmax
 Stroomverbruik bij onderspanning ($U_{bat} < 12V$) 0mA
 Vermogensopname bij onderspanning: 0W
 Stroomverbruik bij reset: 400mA max
 Vermogensopname bij reset: 5W max



Figuur II: UVLO voor een 12V LFP accu.

De programmeerbare zenerdiode is ingesteld op 12V. Onder die spanning laat de MOSfet geen stroom meer door en kan de accu niet dieper worden ontladen. De spanning op de +busbar gaat naar 0 en de MOSfet laat geen stroom meer door. Komt door het bijladen de accu weer boven de 12V, dan moet het systeem worden gereset.

Deze reset gebeurt door het meetpunt van de schakeling tijdelijk aan een spanning >12V te verbinden.

Er is geen hysteresis in de schakeling, maar de reset voorkomt dat de schakeling 'rond de 12V blijft klapperen'. Er is een 'afvlak condensator' opgenomen in de stuurspanning van de programmeerbare zenerdiode zodat 'al te zenuwachtige reacties op spanningsvariaties wordt tegen gegaan.

Stroomverbruik in werking: meetversterker 1mA, ingang meetversterker 10uA max.

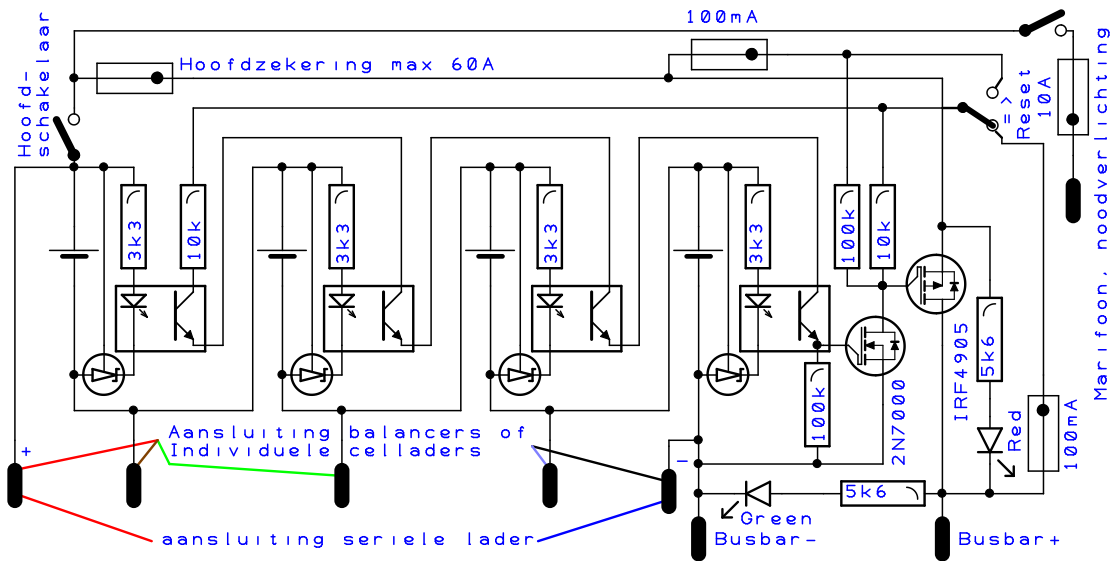
Vermogensopname in werking: <25mW max

Stroomverbruik bij onderspanning ($U_{bat} < 12V$): 0mA

Vermogensopname bij onderspanning: 0W

Stroomverbruik bij reset: <2 mA

Vermogensopname bij reset: 15mW



Figuur IV: UVLO met individuele celspanning bewaking voor een 12V LFP accu met 4 cellen.

Bij een celspanning van 2,5V of lager van Cel 1 en/of Cel 2 en/of Cel 3 en/of Cel 4 of van allemaal, wordt de belasting van de accu afgeschakeld. De toevoer van stroom naar de +busbar blijft onderbroken nadat een te lage celspanning is geconstateerd. Bij deze schakeling is er hysteresis door gebruik te maken van een handmatige reset. Maximale 'afschakelstroom' is 60A en is afhankelijk van de P-chan MOSfet.

De rode en groene LED geven de toestand van de schakeling weer: Rode LED aan: de stroom naar de busbar+ is onderbroken, Groene LED aan: er is voldoende spanning op de cellen om de accu te kunnen belasten. De accuspanning wordt doorgegeven aan de busbar. De programmeerbare zenerdiodes zijn ingesteld op 2,5V als laagste accuspanning. Onder die spanning spert de MOSfet, laat geen stroom meer door en kan de accu niet dieper worden ontladen. De spanning op de +busbar gaat naar 0. Komt door het bijladen de accu weer boven de 2,5V per cel, dan moet het systeem handmatig worden gereset.

Deze reset gebeurt door meetversterkers tijdelijk van stroom te voorzien met de resetknop.

Er is geen hysteresis in de schakeling, maar de reset voorkomt dat de schakeling 'rond de 10V blijft klapperen'.

Stroomverbruik in werking: ingang meetversterker 10uA, meetversterker 1mA, 'MOSfet-stroom' 1mA.

Vermogensopname in werking: 2,6mW per cel bij 2,5V

Vermogensopname in werking: 30mW bij $U_{bat} = 12V$

Stroomverbruik bij onderspanning ($U_{cel} < 2,5V$) 0mA

Vermogensopname bij onderspanning: 0W

Stroomverbruik bij reset: 2 mA max

Vermogensopname bij reset: 24mW.

Eigenschappen:

Van de accu

Een lage R_i van een Li-ion accu geeft weinig spanning daling bij afname van de lading, er zal versterking van het spanning verschil moeten zijn om de lading van de accu te kunnen bepalen. Die versterker zit in de programmeerbare zenerdiode.

Van de acculader

Bij een lage R_i van de accu is er bij een klein laadspanning verschil tussen de actuele spanning van de accu en de aangelegde laadspanning een relatief hoge laadstroom. Een stroom gelimiteerde spanningsbron met een thermostaat is de veiligste lader.

In het prototype is gebruik gemaakt van 4 individuele celladers met een vastgelegde maximale laadspanning van 3,45V per cel en een maximum laadstroom van 0,5c.

Van de laad-energiebron

Zowel walstroom, zonnestroom, 'sleepgeneratorstroom' als dynamostroom kunnen worden gebruikt om de accu te laden.

Van de installatie

Nominaal spanning en maximaal vermogen

De installatie is ontworpen voor een accu van 4 LFP cellen met een nominaalspanning van 12V.

Bij de installaties met een relais als onderbreker is een onderbreek stroomsterkte van 100A haalbaar met de goed verkrijgbare 'automotive' relais voor 12V

Bij de installaties met een MOSfet als schakelaar is 60A de maximaal af te schakelen stroom. Op de MOSfet moet een koelvin worden gemonteerd.

De hoofdzekering moet type F/S zijn voor snel afschakelen.

Indien gewenst kan er een indeling in groepen worden gemaakt (bewaakt/onbewaakt voor kritische apparaten), waarbij kritische apparaten pas worden uitgeschakeld als de accu leeg (en mogelijk 'te leeg') is.