

Een tweede leven voor accu's.

Door Geeuwke de Boer, PG3B, Veron afd. Wageningen, 1 maart 2017

Inleiding.

Dit artikel gaat over een onderzoek van een partij gebruikte accu's afkomstig uit noodverlichtingen. Deze accu's worden periodiek -om de zoveel jaar- vervangen. Dat is niet omdat ze dan defect zijn of aan het einde van hun levensduur zouden zijn, maar omdat dat volgens de voorschriften voor preventief onderhoud vereist is: er wordt maximale zekerheid verlangd dat een noodverlichting het ook doet wanneer dat nodig is.

Een partij van deze vervangen accu's kwam terecht bij onze afdelingen (VRZA en Veron) onder het motto "kijk maar wat je er mee kunt". Deze accu's lagen een tijdje in onze opslagruimte tot begin zomer 2016 mijn oog er op viel. Mijn nieuwsgierigheid werd gewekt en de vraag drong zich op wat je er mee zou kunnen doen: een stroomvoorziening een kleine zendontvanger op een velddag misschien?

De vraag was dan ook hoe het gesteld zou zijn met de conditie en daarmee de bruikbaarheid van deze accu's. Gezien de toepassing valt aan te nemen dat deze accu's (in termen van het aantal laad - en ontladcycli) nauwelijks "gebruikt" waren. Ook zullen ze gedurende de toepassing in een noodverlichtings-armatuur op de juiste manier zijn bijgeladen en op spanning zijn gehouden. Deze accu's hebben dus eigenlijk een heel luxe leven gehad.

Minder is dat deze accu's door het bedrijf dat ze had vervangen in eerste instantie als afval werden behandeld. De accu's werden los gestort in een kist opgeslagen, er werd geen rekening mee gehouden dat ongeïsoleerde metalen delen van deze accu's contact zouden kunnen maken, wat kortsluiting en schade aan de accu tot gevolg zou kunnen hebben. Het begon er mee dat ik besloot maar eens een paar accu's te testen, maar dat werd het begin van een onderzoek dat zich uiteindelijk over de gehele partij accu's uitstreckte.

Het materiaal.

De meeste van de onderzochte accu's zijn samenstellingen van twee NiCd-cellen van nominaal 4 Ah, in serie geschakeld, samen leveren die dus een nominale spanning van 2,4V . Deze accu's komen in twee varianten voor:

a. twee cellen, geplaatst in een kunststof omhulling, in elkaars verlengde, intern doorverbonden. De spanning van de afzonderlijke cellen kan daardoor niet worden gemeten. De aansluitingen zitten hierbij aan de uiteinden.



b. twee cellen “omgekeerd parallel” naast elkaar en aan elkaar vastgelijmd, aan de ene kant zitten gepuntlaste aansluitdraden, aan de andere kant is de “plus” van de ene accu doorverbonden met de “min” van de andere accu. Deze doorverbinding is niet geïsoleerd, daardoor kan de spanning van de afzonderlijke cellen gemeten worden. Door de ongeïsoleerde metalen delen bestaat er bij deze accu's, wanneer die “los” in een bak verzameld worden, een risico van elektrisch contact en mogelijk ook kortsluiting.



c. Daarnaast waren er accu's aanwezig die bestaan uit 3 of 4 cellen, maar dat aantal was veel kleiner, het onderzoek is daarom vooral gericht op de accu's bestaande uit twee cellen.



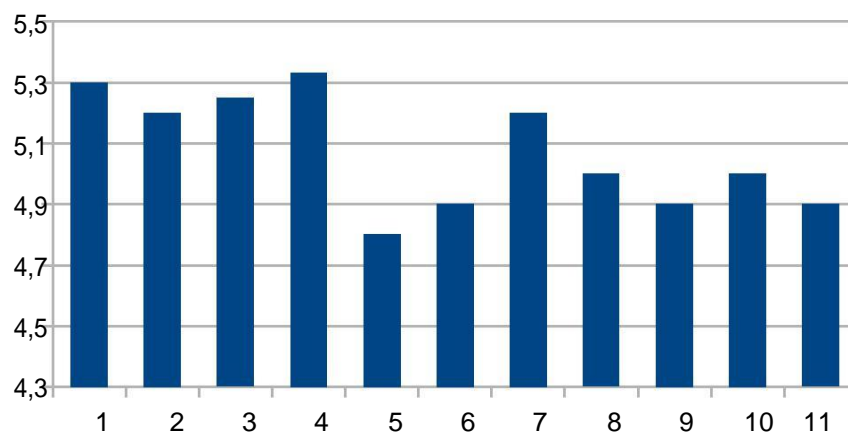
Waar er in het volgende sprake is van de gemeten spanning wordt daarmee de spanning van een accu met twee cellen bedoeld.

Onderzoek en resultaten.

Een partij van ca. 120 gebruikte accu's is onderzocht om een beeld te krijgen van de conditie en de bruikbaarheid. Alle accu's die niet voldeden zijn afgevoerd. Dat waren de accu's die bij een ontladtest niet minimaal de nominale capaciteit (4 Ah) haalden of een defect vertoonden (één of beide cellen kortgesloten, waardoor ze niet meer waren op te laden). Ook zijn er enkele accu's afgekeurd op basis van visuele inspectie (mechanische beschadiging of sporen van oxidatie bij de plus-pool) of op grond van afwijkend gedrag bij het opladen.

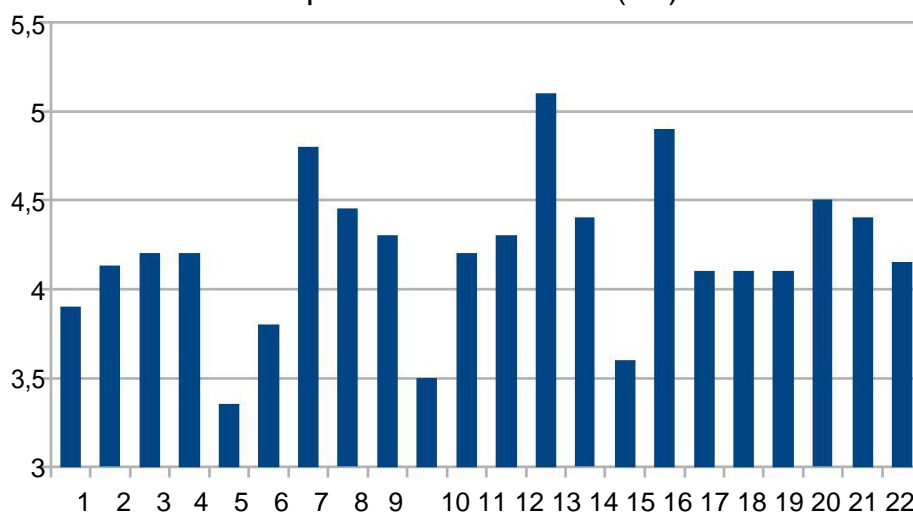
In juni en juli 2016 is om te beginnen de capaciteit bepaald van een eerste serie van 11 geselecteerde exemplaren (aangetroffen met een spanning van minimaal 2 V), nadat deze eerst volledig waren opgeladen. Deze hadden alle een capaciteit van minstens 4 Ah, ruim boven de nominale waarde; gemiddeld was de capaciteit van deze 11 exemplaren 5,2 Ah.

capaciteit 1e testserie (Ah)



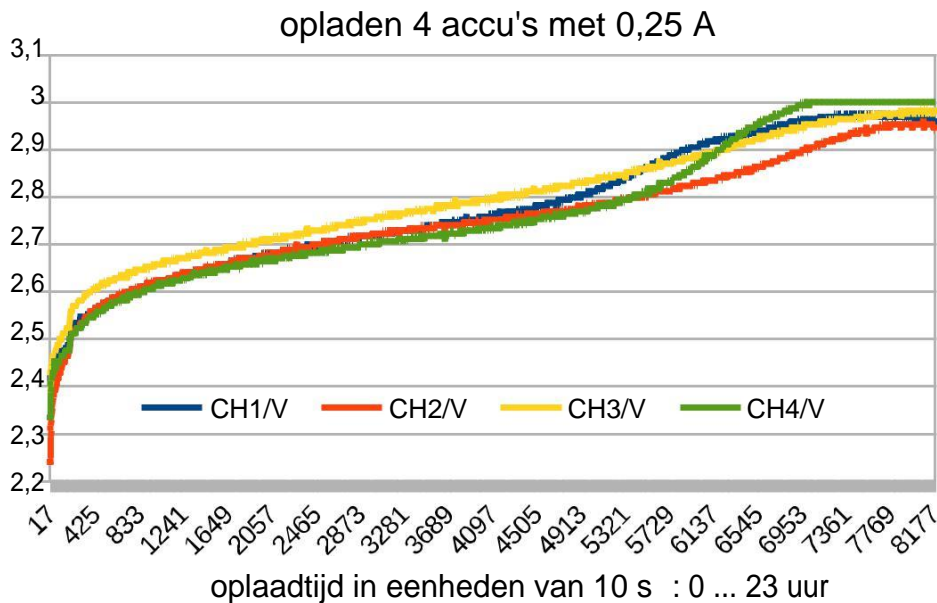
Aangezien het eerste resultaat de verwachtingen ruimschoots overtrof werd het onderzoek voortgezet een een volgende serie getest, 29 geselecteerde exemplaren (eveneens aangetroffen met een spanning van minimaal 2 V). Hierbij viel bij de test iets minder goed uit: er bleken 5 stuks defect te zijn en 6 stuks haalden niet de nominale capaciteit. Van de overige exemplaren was de capaciteit gemiddeld 4,4 Ah.

capaciteit 2e testserie (Ah)

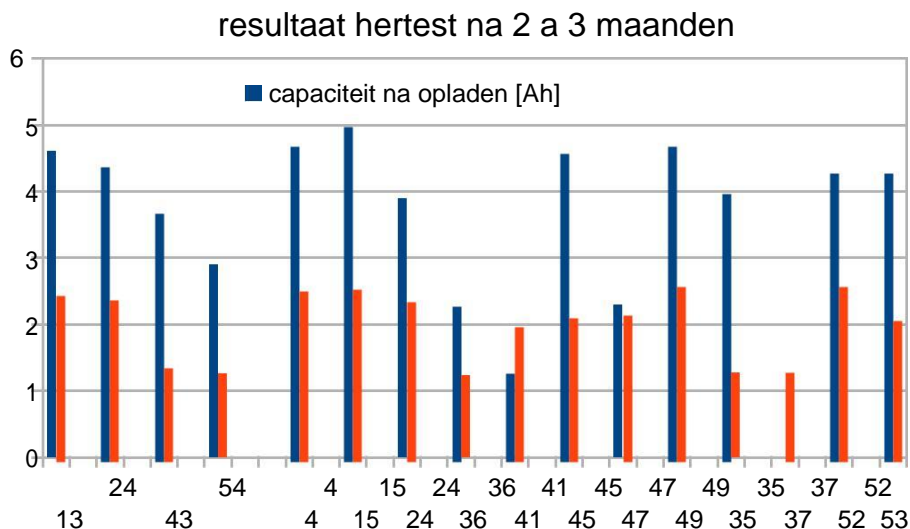


De accu's van de gehele partij (ca. 120 stuks) zijn vervolgens opgeladen waarbij gelet is op het verloop van de spanning tijdens het opladen. Op grond daarvan is vastgesteld wat als normaal gedrag kan gelden en wat als afwijkend gedrag moet worden beschouwd. Bij "normaal" gedrag stijgt de spanning tijdens het opladen regelmatig tot een niveau van ca. 2,90 á 3,0 V bij volledige lading. Dit geldt bij een laadstroom van 0,2 á 0,25 A, de accu moet dan 25 tot 30 uur geladen worden, hetgeen een lading betekent van 5 tot 6 Ah (125 % tot 150 % van nominale capaciteit). Hierbij zijn nog een aantal accu's gevonden die één of twee defecte cellen hadden, deze zijn afgekeurd, evenals accu's die verdacht waren door een sterk afwijkend gedrag tijdens het opladen.

De de grafiek hieronder toont de laadcurve van een viertal accu's (de begrenzing op een niveau van 3,0 V is er aan te wijzen dat de datalogger op een bereik van maximaal 3 V is ingesteld).



Na 2 á 3 maanden rust zijn de overgebleven accu's in oktober 2016 opnieuw bekeken. De meeste accu's hadden nog een spanning van 2,5 V of meer. Een lagere spanning wijst op een grotere zelfontlading gedurende die twee maanden óf een sterk verminderde capaciteit. Van de accu's met een spanning lager dan 2,5 V (16 stuks) is door een ontladtest de capaciteit bepaald nadat ze eerst weer volledig waren opgeladen. Hiervan haalden 8 accu's niet de nominale capaciteit, hoewel dat in 2 gevallen slechts marginaal het geval was (met 3,9 Ah). De accu's met een lagere capaciteit dan nominaal zijn afgekeurd.



Na deze test in oktober zijn alle accu's opnieuw volledig opgeladen en eind december 2016, na een rusttijd van twee maanden, opnieuw onderzocht. Van de 10 accu's waarvan de spanning het meest is afgenomen is door ontlaadtesten de capaciteit bepaald zoals aangetroffen én nadat deze accu's vervolgens weer volledig zijn opgeladen. Vervolgens is de rustperiode met nog eens 2 maanden verlengd tot februari 2016. Het resultaat is in de onderstaande tabel weergegeven.

	resterende lading / capaciteit (Ah)											
voor opladen december				2,65	1,6	2,8			1,5			3
na opladen december				4,1	4,4	4,4			4,4			4,8
voor opladen februari	2,9	3,1	2,8	1,5	3,7	3,4	2,2	3,9	2,6	2,7	4,5	3,7
na opladen februari	4,8	4,4	4,6	4,8	4,4	4,3	4,7	4,5	4,6	4,5	4,7	4,3

Door de zelfontlading is de beschikbare lading na twee (of vier) maanden nog maar een deel van de capaciteit, De mate van zelfontlading van deze accu's wijkt niet sterk af van wat in andere bronnen als gangbaar wordt aangegeven (25 % per maand), in veel gevallen zelfs beter.

Na volledig opladen blijkt de capaciteit van de geteste accu's ruim de nominale waarde te halen, met uitzondering van twee stuks die zijn afgekeurd.

Pulstest.

Met 3 accu's is onderzocht hoe deze accu's zich gedroegen bij wisselende belasting, hiervoor is een test uitgevoerd met een cyclisch variërende belasting. De accu's werden ontladen met een stroom van 3 A , telkens gedurende 10 s, afgewisseld met rustperiodes van 20 s (een duty-cylce van 0,33).

Bij het begin van deze test beweegt de spanning van de accu tussen 2,6 V en 2,2 V (bij een pas opgeladen accu). Tegen de tijd dat de accu uitgeput raakt beweegt de spanning tussen 2,2 en 1,8 V, in het tussengedeelte van het ontlaadtraject beweegt de spanning geruime tijd tussen 2,4 en 2,1 V. Zie ook de toelichting en de afbeeldingen in de bijlage (Testmethoden: pulstest).

De ontlaadstroom is bij deze test gemiddeld 1A; zoals te verwachten is, is de lading die de accu kan leveren dan ook lager, bij de 3 getest accu's tussen 2 en 3 Ah.

Na deze test zijn de geteste accu's weer opgeladen en is de capaciteit nogmaals op de standaard manier bepaald. De 3 geteste accu's hadden alle een capaciteit van ca. 4,3 Ah, ze hadden de pulstest dus ook zonder schade doorstaan.

Conclusie.

Er zijn gedurende het testprogramma de nodige accu's uitgevallen, het vermoeden is dat dat in veel gevallen het gevolg is van onzorgvuldige behandeling waardoor intern schade is ontstaan. De accu's die alle testen met goed gevolg hebben doorstaan lijken goed bruikbaar voor projecten waar een dergelijke stroomvoorziening van pas komt.

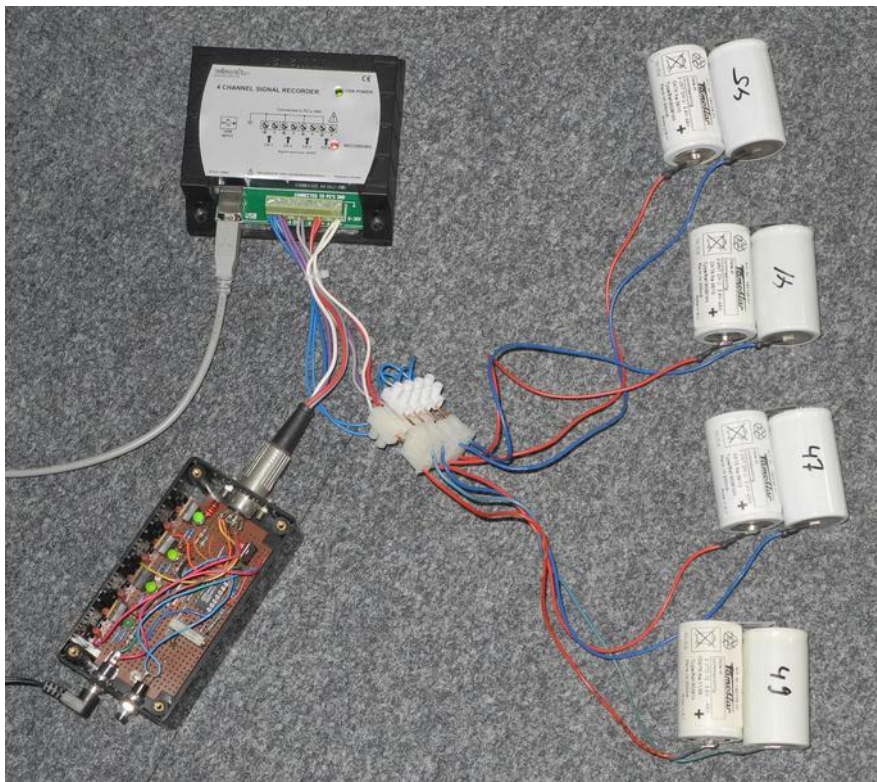
Bijlage (de testmethoden).

De belangrijkste eigenschap om de conditie van een accu te beoordelen is de capaciteit, de hoeveelheid stroom die een accu kan leveren, gewoonlijk uitgedrukt in Ah , naast een aantal eigenschappen die van belang zijn voor het gebruik, zoals de zelfontlading wanneer de accu niet gebruikt wordt of opgeslagen ligt. Het verloop van de spanning bij het ontladen, resp. opladen (beide in afhankelijkheid van de stroomsterkte) is ook van belang, het laatste vooral om te bepalen wanneer een accu volledig is opgeladen.

1. Ontlaadtest (capaciteitsbepaling)

De capaciteit is uiteindelijk maar op één manier te bepalen, en wel door de accu – nadat die volledig is opgeladen - te ontladen en de tijd te bepalen gedurende welke de accu een bepaalde stroom kan leveren. Het resultaat, ook in termen van het aantal Ah, is echter sterk afhankelijk van de ontladestroom. De ontladestroom is daarom gestandaardiseerd, het meest gebruikelijk is dat de capaciteit gemeten wordt bij een ontladestroom (in A) van 10 % van de nominale capaciteit (in Ah), in dit geval zou dat dus 0,4 A zijn.

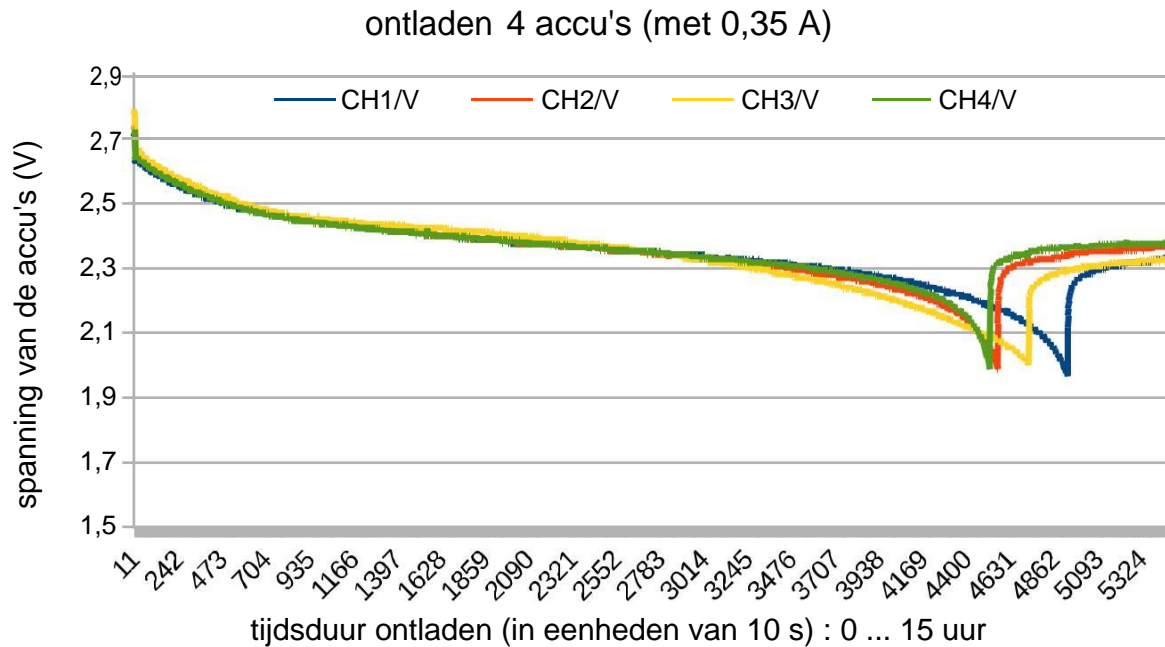
Voor het uitvoeren van ontladtesten is gebruik gemaakt van een 4 -kanaals datalogger die was aangesloten op een PC waarmee het ontladproces gevolgd en geregistreerd werd. De onderstaande foto geeft daarvan een beeld.



Bij het ontladen moet worden voorkomen dat de accu te ver wordt ontladen, waardoor deze mogelijk schade ondervindt. Daartoe werd voor het ontladen gebruik gemaakt van een schakeling die de accuspanning bewaakt en het ontladen stopt als de spanning onder een bepaald niveau komt. De grens werd hier gelegd op een niveau van 2,0 V , de registraties van het ontladproces laten zien dat dit een geschikte waarde is: de spanning van de accu's is hier begonnen aan een snelle daling, maar na het uitschakelen van de ontladestroom herstelt de spanning zich nog naar de nominale waarde van 2,4 V.

De ontladstroom wordt bepaald door een weerstand van 6,6 Ohm en wordt in- en uitgeschakeld door middel van een mosfet met een zeer lage drain-source weerstand. Bij een spanning gedurende het ontladen van gemiddeld 2,3 V is de stroom dan gemiddeld 0,35 A, een redelijke benadering van de ideale waarde van 0,4 A. Het ontladen van een accu met een capaciteit van 4 Ah duurt dan 11,4 uur.

De onderstaande afbeelding laat een typisch beeld zien van het spanningsverloop zoals geregistreerd tijdens een ontladtest.

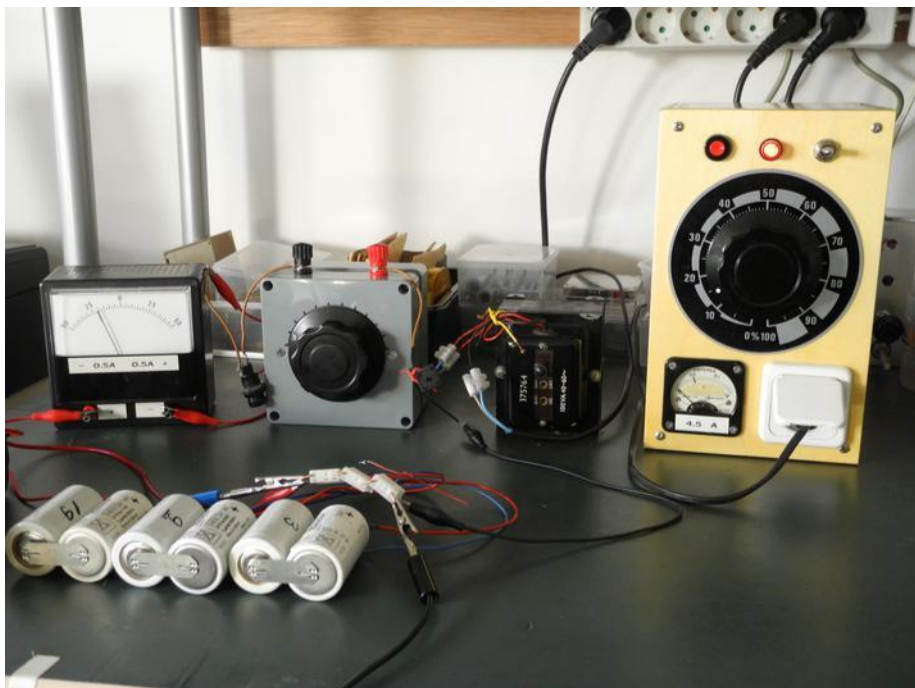


2. Oplaadgedrag.

Voor en na de ontladtesten zijn de accu's opgeladen met een stroom van 0,2 A (5% van de nominale capaciteit), dit komt overeen met een aanduiding op het etiket van de accu's die suggereert dat dit een maximum waarde is. In het algemeen geldt een waarde van 5% als veilig (niet schadelijk): in geval de accu overmatig wordt opgeladen zou die daar geen schade van ondervinden, mits dat niet al te lang plaats vindt. Het lijkt dus niet bezwaarlijk een ontladen accu eerst enige tijd met een veel hogere stroom op te laden, een enkele keer is dat ook gedaan. Meestal is de waarde van 0,2 A wel aangehouden om het oplaadgedrag (het verloop van de spanning) onder gestandaardiseerde condities te kunnen vastleggen.

Bij gebruik van de datalogger kunnen maar 4 accu's gelijktijdig (parallel) worden opgeladen, in de meeste gevallen is er daarom voor gekozen accu's in serie te schakelen zodat in korte tijd een flink aantal accu's gelijktijdig konden worden opgeladen. Hier is een flinke spanning voor nodig (voor 30 á 40 accu's al gauw 100 V), deze spanning wordt geleverd en ingesteld door middel van een regeltransformator (variac, 0-230 Vac). Omdat de uitgaande spanning hiervan niet is geïsoleerd van de 230 V netspanning, is vervolgens een oude "verhuistrafo" (220 V – 110 V) met gescheiden wikkelingen gebruikt om een geïsoleerde spanning van de halve waarde te leveren. Deze spanning werd met een brugcel gelijkgericht en via een regelbare weerstand en een stroommeter werd de laadstroom door de accu's geleid. Aangezien een groot aantal in serie geschakelde accu's bij kortsluiting tot een gevaarlijke situatie kan leiden, is in de aansluiting van de accu's een snelle smeltveiligheid opgenomen en aan de verbindingen ook de nodige aandacht besteed (isolatie).

Op de onderstaande foto is deze opstelling te zien (hier met slechts 3 accu's).



Tijdens het opladen is op gezette tijden de spanning van elke accu gemeten. Het verloop hiervan geeft een indicatie wanneer een accu volledig geladen is (als de spanning niet meer toeneemt). Uit de ontladtesten bleek dat een afwijkend oplaadgedrag vaak wel een indicatie was dat er die accu's ook iets aan de hand was.

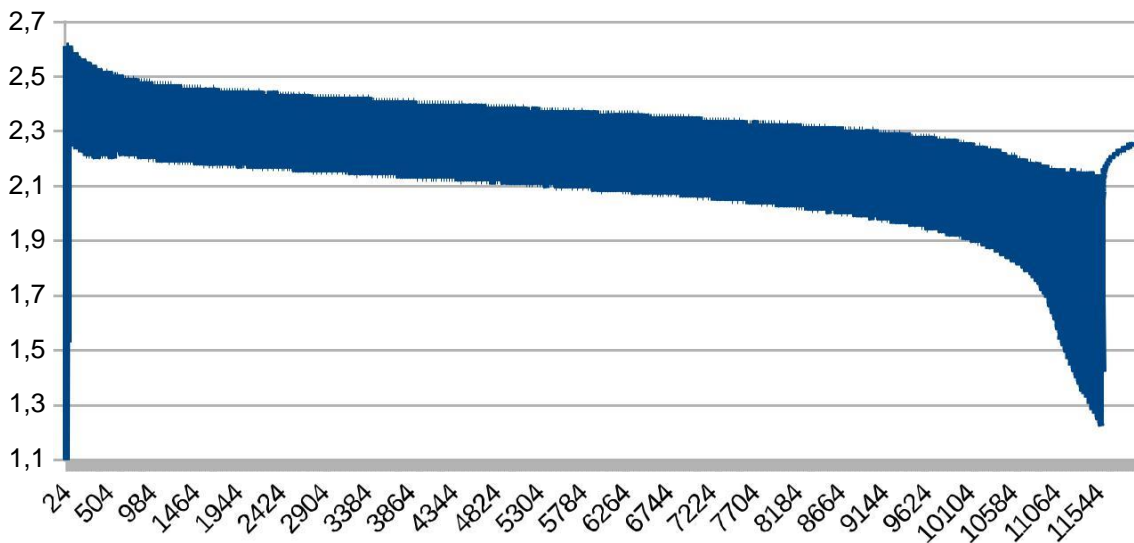
3. Zelfontlading.

Als onderdeel van het onderzoek zijn de accu's verder een tijd gevolgd, wat inhield dat na een rusttijd van enkele maanden nadat ze waren opgeladen, de spanning opnieuw werd gemeten. Een grote spanningsafname kan wijzen op een hoge zelfontlading of een sterk verminderde capaciteit. Van accu's die opvielen door een wat grotere spanningsafname is daarom de capaciteit (in feite de resterende lading) bepaald zoals aangetroffen en vervolgens opnieuw nadat ze weer volledig waren opgeladen. Het verschil tussen de eerst bepaalde restlading en de daarna gemeten capaciteit is dus een indicatie voor de mate van zelfontlading.

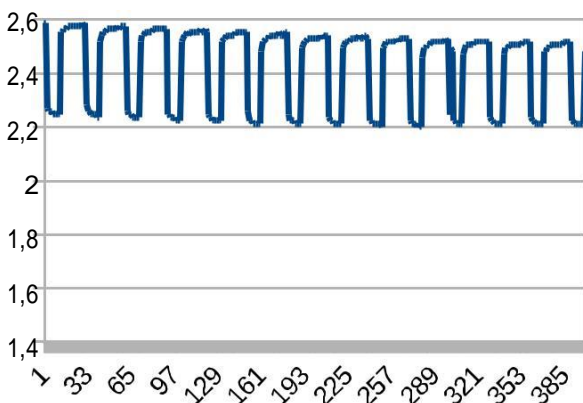
4. Pulstest (inwendige weerstand, het vermogen grotere stromen te leveren).

Van belang is dat accu's ook in staat zijn gedurende korte tijd een grote stroom te leveren. Men kan hierbij denken aan een kleine zendontvanger waar tussen het luisteren door af en toe (kort) wordt uitgezonden. Dit is gesimuleerd met behulp van een schakeling die met een duty-cycle van 1/3 een belasting in en uit schakelde : 10 seconden aan (3 A) en 20 seconden uit, gemiddeld dus een stroom van 1A. In onderstaande figuur is een voorbeeld getoond, de blauwe band laat zien tussen welke niveaus de accuspanning beweegt tijdens het schakelen.

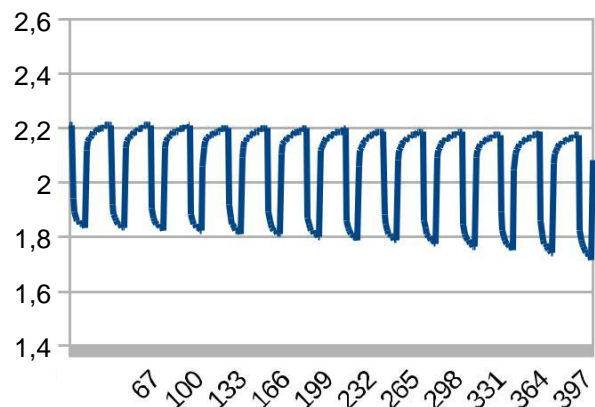
1 - 12000 sec



100 - 500 sec



10500 - 10900 sec



Het begin en het einde van dit ontladproces is uitvergroot weergegeven in de voorgaande twee afbeeldingen. Van belang is hoeveel de accuspanning varieert tussen de belaste en de onbelaste fase. Het is duidelijk te zien dat deze variatie toeneemt naarmate de accu verder ontladen raakt. Tegelijkertijd daalt ook het niveau van de spanning in belaste én in onbelaste toestand. Het criterium dat bij deze test is gehanteerd voor het moment waarop de accu ontladen is, is wanneer de accuspanning in belaste toestand tot 1,8 V daalt.

Dit is lager dan het niveau dat voor het ontladen met een constante stroom is gehanteerd (2,0 V) maar het is acceptabel omdat de spanning in onbelaste toestand nog ruim boven het niveau van 2.0 v blijft.