Voorwoord

Abstract

Inhoudstafel

[Voorwoord 1](#_Toc487975782)

[Abstract 4](#_Toc487975783)

[Gebruikte afkortingen 7](#_Toc487975784)

[Lijst met figuren 7](#_Toc487975785)

[Lijst met tabellen 7](#_Toc487975786)

[1 Inleiding 8](#_Toc487975787)

[2 Fundamenten van een batterijen 9](#_Toc487975788)

[2.1 Types batterijen 9](#_Toc487975789)

[2.1.1 Geschiedenis van batterijtechnologie 10](#_Toc487975790)

[2.2 Algemene fysica 12](#_Toc487975791)

[2.3 Veiligheid 15](#_Toc487975792)

[2.4 State of charge (SOC) en Depth of Discharge (DOD) 15](#_Toc487975793)

[2.5 State of health (SOH) 16](#_Toc487975794)

[2.6 State of function (SOF) 16](#_Toc487975795)

[2.7 Celcapaciteit 16](#_Toc487975796)

[2.8 C-rate 16](#_Toc487975797)

[2.9 Hysterese 16](#_Toc487975798)

[2.10 Levensduur 16](#_Toc487975799)

[2.11 Efficiëntie 16](#_Toc487975800)

[2.12 Interne weerstand 16](#_Toc487975801)

[2.13 Capaciteitsvermindering 16](#_Toc487975802)

[3 Celbalancering 18](#_Toc487975803)

[3.1 Wat is een battery management system (BMS)? 18](#_Toc487975804)

[3.1.1 Inleidend 18](#_Toc487975805)

[3.1.2 Meetopstelling 19](#_Toc487975806)

[3.1.3 Functies 20](#_Toc487975807)

[3.2 Onbalans 20](#_Toc487975808)

[3.3 Actief balanceren 20](#_Toc487975809)

[3.4 Passief balanceren 20](#_Toc487975810)

[4 Probleemstelling en onderzoeksdoelstelling 20](#_Toc487975811)

[4.1 Omkadering 20](#_Toc487975812)

[4.2 Probleem- en doelstelling 21](#_Toc487975813)

[4.2.1 Definiëring van de probleemstelling 21](#_Toc487975814)

[4.2.2 Definiëring van de onderzoekdoelstellingen 22](#_Toc487975815)

[4.3 Overzicht van inhoud 22](#_Toc487975816)

[5 Metingen 23](#_Toc487975817)

[5.1 Beginnende metingen 23](#_Toc487975818)

[5.2 OCV metingen 24](#_Toc487975819)

[5.3 Parametermetingen 24](#_Toc487975820)

[5.4 Metingen Algoritme 24](#_Toc487975821)

[6 Modellering 25](#_Toc487975822)

[6.1 Inleiding 25](#_Toc487975823)

[6.1.1 Elektrochemische en mathematische benadering 25](#_Toc487975824)

[6.1.2 Elektrische benadering 26](#_Toc487975825)

[6.1.3 Empirische benadering 27](#_Toc487975826)

[6.2 Literatuurstudie 27](#_Toc487975827)

[6.3 Gekozen model 27](#_Toc487975828)

[6.4 Openklemspanning 28](#_Toc487975829)

[6.5 Equivalent circuit model ( ECM ) 28](#_Toc487975830)

[6.6 Kalman filtering 28](#_Toc487975831)

[6.7 Parametrering 28](#_Toc487975832)

[7 Programma 28](#_Toc487975833)

[8 Resultaten model 29](#_Toc487975834)

[9 Bevindingen en verbeteringsmogelijkheden 29](#_Toc487975835)

[10 Conclusie 29](#_Toc487975836)

[11 Bibiografie 29](#_Toc487975837)

[Bijlagen 31](#_Toc487975838)

Gebruikte afkortingen

Lijst met figuren

Lijst met tabellen

# Inleiding

Energie opslag is een belangrijke component in het transporteren en distribueren van energie. Deze component is met de jaren steeds belangrijker geworden door de behoefte van efficiëntie. bron en meeruitleg/vloeiender ineensteken  
  
Energie kan op verschillende manieren worden opgeslagen (Vliegwielen, supercaps, pompcentrales, waterstof, …) maar batterijen krijgen bij veel applicaties de voorkeur omdat ze een groot toepassingsbereik hebben en een hoge specifieke energie[[1]](#footnote-1).  
  
Op grotere schaal is er nood aan energieopslag om de productie te bufferen van hernieuwbare energiebronnen zoals wind en zonne-energie.  
  
Op midden-grote schaal is er nood aan efficiënte energie opslag voor bijvoorbeeld hybride elektrische voertuigen.  
  
Op kleine schaal is er een nood aan energieopslag voor bijvoorbeeld een gsm.

De laatste decennia is er ook een steeds groter wordende attentie voor het milieu mede door de industriële en technologische revolutie. Bron.   
  
Deze bezorgdheden hebben samen met de stijgende prijs van fossiele brandstoffen bron ervoor gezorgd dat er een overgangsgolf ontstond van brandstof gebaseerde toepassingen naar elektrische toepassingen.   
  
Op kleine schaal zijn brandstof gebaseerde toepassingen dikwijls zeer vervuilend en hebben een laag rendement. Op kleine schaal gebruik maken van elektrische gevoede toepassingen, heeft een hoog rendement. Bovendien kan men elektrische energie die nodig is voor deze toepassingen met een hoger rendement en een kleinere vervuiling per energiehoeveelheid produceren. bron  
  
Deze overgang was/is zeer sterk merkbaar in de voertuigindustrie. Het hart van het voertuig wordt verschoven van brandstof naar de batterij. bronnetje over tesla ofzo of foto

In deze industrie wordt een overgang gemaakt van conventionele verbrandingsmotoren naar hybride elektrische voertuigen (HEV) en Batterij elektrische voertuigen (BEV).  
  
Deze overgang is echter niet zeer vlot gemaakt aangezien er een hoge instapdrempel.  
Deze drempel is ontstaan door de relatief hoge aankoopprijs van elektrische wagens.   
Er is ook het mogelijke rijbereik dat voor angst zorgt bij kopers. Er is meer vertrouwen in brandstof in een tank dan energie in een batterij. Een brandstoftank is bovendien ook veel sneller gevuld dan een batterij opgeladen. Er is ook een minder uitgebreid netwerk van laadstations dan er een netwerk van tankstations is. Bron  
  
Vanuit het oogpunt van een elektrisch ingenieur zijn er niet veel mogelijkheden om deze instapdrempel te verlagen en zo een steentje bij te dragen aan het milieu en de leefomgeving.  
  
Wat als elektrisch ingenieur echter wel mogelijk is, is het onderzoeken en optimaliseren van de performantie en efficiëntie van de energieopslag in batterijen. Dit is nog niet goed

Door de steeds groeiende mogelijkheden binnen deze batterijsector, is het van belang dat engineering deze trend volgt. Bij performante energieopslagsystemen horen performante beheerssystemen.

# Fundamenten van een batterijen

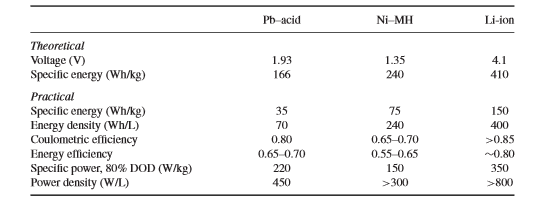
Indien u geen kennis heeft als lezer over de fundamenten van batterijen kan het handig zijn dit door te nemen. Indien u als lezer wel al kennis heeft over batterijen, laat u dan niet terugdeinzen om dit hoofdstuk niet te lezen want het was mijn doel een zeer uitgebreid deel te schrijven over de fundamenten. In dit hoofdstuk wou ik ook aspecten van cellen aanhalen die ik niet bestudeer in mijn thesis.

In dit hoofdstuk zullen de basisbeginselen van batterijen worden toegelicht. Er wordt ook ingegaan op elektrochemie aangezien een batterij een elektrochemische energiebron is.

## Types batterijen

Er bestaan verschillende types batterijen gebaseerd op verschillende scheikundige elementen. Hieronder worden enkele bekende oplaadbare batterijen beschreven. Er bestaat nog een veel breder gamma aan niet oplaadbare batterijen. Deze worden niet beschreven aangezien in de masterproef gebruik wordt gemaakt van een Lithium-ijzersulfaat accu die oplaadbaar is.

### Geschiedenis van batterijtechnologie

Hieronder worden enkele van de meest gekende en gebruikte batterijtechnologieën beschreven. De drie types in de onderstaande tabel zijn de meest gekende en gebruikte batterijtechnologieën.

Bron: battery system enginring christopher D rahn

#### Loodzuur accu (uitgevonden 1859)

Dit is een veelgebruikt type cel die een technologie gebruikt die al heel lang geleden is ontwikkeld. De specifieke energie van dit soort accu is het laagst van alle oplaadbare accu's: 30 Wh/kg. Het specifiek vermogen is vrij hoog: 220 W/kg desondanks lage energiedichtheid wordt deze accu toch nog veel gemaakt en gebruikt door de lage productiekost en lage aankoopprijs en de grote elektrische stroom die hij kan leveren.

#### Alkaline batterij (uitgevonden 1949)

De alkaline batterij is een eenvoudig maar zeer gekend type wegwerp/niet oplaadbare batterij. Deze heeft een specifieke energie van 100 Wh/kg.

#### Nikkelmetaalhydride-accu (uitgevonden 1960)

Eerst was er het Nikkelcadmium accu dat gebruik maakt van de giftige stof cadmium.[[2]](#footnote-2) Ze worden tegenwoordig bijna niet meer gemaakt.   
  
Nikkelmetaalhydride is een later uitgevonden variant die geen gebruik maakt van de giftige stof Cadmium. De Ni-MH geeft meer mogelijkheden in specifieke energie (75 Wh/kg) maar heeft één groot nadeel. Deze batterijtechnologie heeft last van hoge zelfontlading 20-30% per maand.

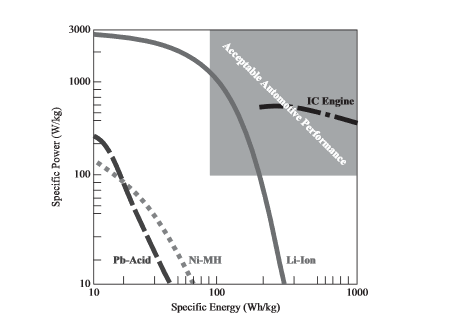
#### Lithium-ion accu’s (uitgevonden 1990)

Deze hebben de hoogste energiedichtheid. De vermogensdichtheid hangt echter sterk af van het katodemateriaal.

Elektronica voor GSM’s maakt voornamelijk gebruik van Lithium-Cobalt-oxide(LiCoO2) accu’s die een hoge energiedichtheid (Wh/liter) hebben omdat deze accu’s maar weinig volume in beslag mogen nemen. De specifieke energie van LiCoO2 bedraagt ongeveer 200 Wh/kg. Het specifieke vermogen ongeveer 180 W/kg.

De lithium ijzerfosfaat accu’s zijn veruit de meest robuust van alle lithium-ion accu’s en vinden vandaar toepassingen in bijvoorbeeld marine of elektrische golfkarren waar alle andere lithium-ion accu’s niet geschikt onverantwoord zijn.   
Ze geven een specifiek vermogen van max. 900 W/kg en een specifieke energie van 90Wh/kg.  
  
Er zijn nog veel andere Lithium-ion accu’s zoals LiMn2O4 , LiNiMnCoO2 ,Lithium-ion-polymeer, LiFePO4, LiNiCoAlO2,Li4Ti5O12… Deze hebben elk bepaalde eigenschappen die hen voordelen en nadelen geeft naar toepasbaarheid.

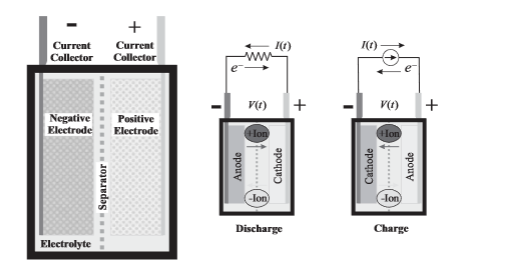
Lithium-ion accu’s zijn aan het groeien in populariteit. Ze bieden momenteel de meeste mogelijkheden in energiedichtheid, efficiëntie en levensduur maar het is momenteel nog een vrij dure technologie.



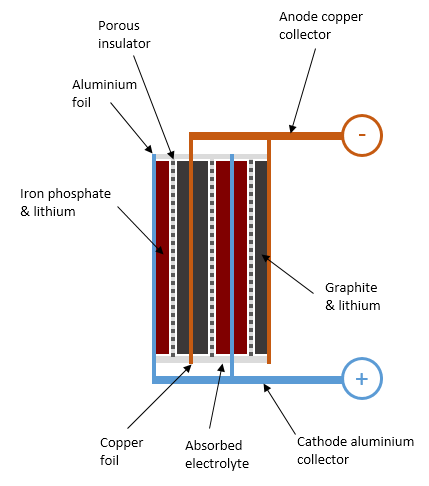
Bron: battery system enginring christopher D rahn

## Elektrochemische werking Lithium ijzersulfaat cel

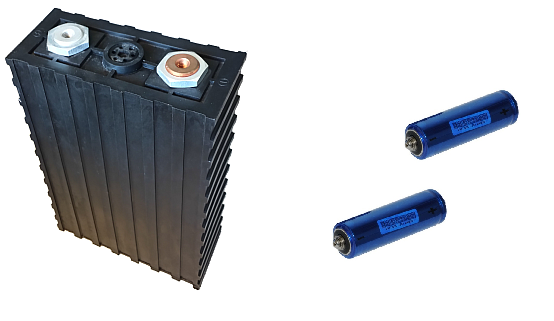
1. **Algemene bouw**

Hieronder is de algemene bouw van een elektrochemische cel weergegeven.   
Een cel heeft altijd twee polen die buitenkomen uit de cel. De + en – pool. Deze zijn zichtbaar langs buiten op de cel en staan in contact intern met respectievelijk de positieve en negatieve elektrode. Deze elektroden staan in contact met elkaar via het elektrolyt.  
Dit elektrolyt kan vast of vloeibaar zijn afhankelijk van het type cel. Loodzuur accu’s zijn van het natte celtype[[3]](#footnote-3) en gebruiken dus vloeistof als elektrolyt. NiCd-accu’s zijn van het droge celtype en gebruiken dus vaste stof als elektrolyt.   
  
De kathode is dus steeds de pool met de positieve elektrode en de anode is de negatieve elektrode.   
Bij spanningsmetingen van een cel wordt er dus steeds gekeken naar de elektrochemische potentiaal van de anode t.o.v. de kathode.  


Het gebruikte “battery pack” in deze masterproef bestaat uit Lithium ijzersulfaat-cellen.  
Deze cellen hebben de volgende opbouw:

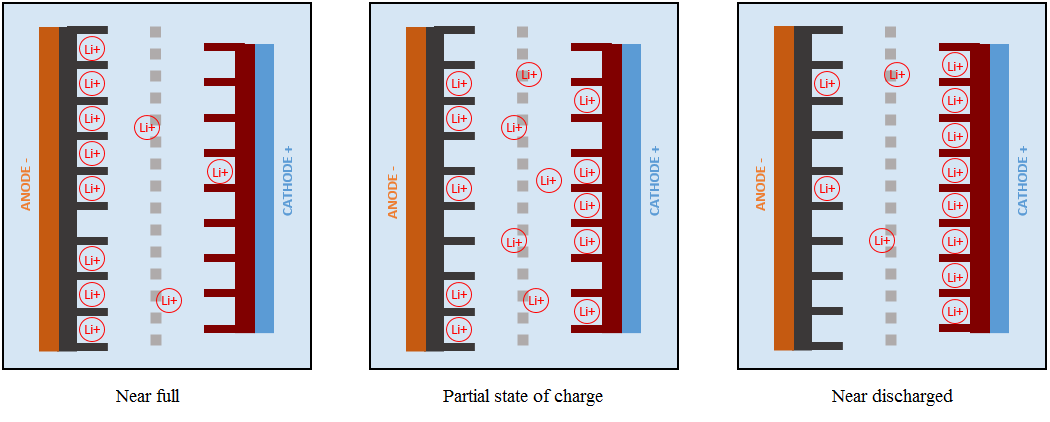
De op- en ontlading van lithiumbatterijen werkt aan de hand van de relocatie van lithium-ionen.  
deze cellen bestaan uit drie functionele componenten. Ten eerste is er de anode (negatieve elektrode) die uit een sterk geleidend koper bestaat die met een laag grafiet omhuld is. Ten tweede is er de kathode (positieve elektrode) die uit aluminium bestaat dat omhuld is met een laag lithium ijzer fosfaat.  


De specifieke capaciteit van lithium-ijzersulfaat is ongeveer 140mAh per gram. Dus een 100Ah cel heeft ongeveer 0.7kg van dit materiaal op zijn kathode.  
  
Het elektrolyt is een Lithiumzout opgelost in een organische oplossing (typisch is dit lithium-hexa-fluorfosfaat opgelost in een combinatie van ethyleencarbonaat, dimethylcarbonaat en propyleencarbonaat met verscheidene andere additieven.   
Dit elektrolyt is cruciaal voor de ladingoverdracht tussen anode en kathode. Deze oplossing is snel ontvlambaar en volledig geabsorbeerd in de poreuze platen en separator. Tegenover bijvoorbeeld een loodzuurbatterij is hier geen sprake van vrije vloeistoffen.  
  
De hierboven afgebeelde cel is volledig ontladen met al het lithium aanwezig in de kathode en het elektrolyt. Dit correspondeert met een net gefabriceerde cel. De fabrikant zal formatie cycli doorlopen om ervoor te zorgen dat de cel gebruiksklaar wordt.



In de masterproef wordt gebruik gemaakt van prismatic cells. Deze hebben dankzij de koperen en aluminium elektroden een goede warmtespreiding. Deze komen ook in veel grotere bouwvormen uit dan de kleinere cyllindrische versies.  
  
De verschillen in thermische uitzetting tussen de koperen en aluminium collectoren zorgen in een prismatische cel niet voor mechanische spanning zoals in een cilindrische cel wel gebeurt.  
  
De prismatische cellen hebben een groter buitenoppervlak relatief gezien tegenover de capaciteit en dit zorgt ervoor dat cilindrische cellen ook meer opwarmen.

1. **Op- en ontladen**



Bij het opladen verlaten de lithiu-ionen de kathode. Deze lading wordt nu overgebracht naar de anode om LiC6 te vormen en zich in het grafiet matrix te voegen. Tegelijkertijd zal het LiFePO4 aab de kathode progressief veranderen in ijzerfosfaat FePO4.   
  
Bij het ontladen gebeurt het omgekeerde en zullen de lithium-ionen zich terug in de kristallen ijzerfosfaat structuur voegen om LiFePO4 te vormen.  
  
De energieopslag in een lithium-ion batterij werkt dus aan de hand van het volgende principe: zowel de kathode en de anode kunnen lithium-ionen binden tijdens het laadproces zal het geïnduceerde veld ervoor zorgen dat ionen van kathode naar anode verplaatsen. Tijdens het ontladen gaan de ionen terug naar de kathode en geven energie vrij in die proces.  
  
  
Structuureel zijn zowel het grafiet en het ijzerfosfaat zeer stabiele materialen met of zonder de aanwezigheid van het lithium. Dit zorgt ervoor dat de batterijen zo’n goede levensduur hebben tegenover andere lithium-ion accu’s.  
  
SEI

In de formatie cycli ontstaat een Solid Electrolyte interphase layer (SEI). Dit is dus een laag die bestaat uit vast elektrolyt die aanwezig is op de anode. Deze laag laat ionenuitwisseling toe en isoleert elektrisch. Deze SEI-layer ontstaat uit chemische reacties tussen het elektrolyt en de elektrode. Deze laag zal ervoor zorgen dat de cel stabiliseert bij de formatiecycli. Deze laag zal echter blijven groeien tot de batterij stopt met werken door een gebrek aan capaciteit. Belangrijk om te weten is dat deze laag sneller groeit bij hogere temperaturen en aldus de levensduur sneller vermindert.

De opbouw van lithium-ijzersulfaat batterijen hangt ook af van de fabrikant maar als er verschillen optreden is dit meestal bij de compositie van het elektrolyt. Dit beïnvloedt de performantie en de levensduur van de cel het meest omdat zo de groei van de SEI-layer wordt beïnvloed. Deze beïnvloedt ook de capaciteitsvermindering van de cellen. Door deze SEI-layer die dus groeit, verliest de batterij gradueel aan capaciteit.

Belangrijk om te weten is dat lithium-ion accu’s nooit volgeladen worden opgeslagen in een magazijn.  
Tegen het einde van de laadcyclus heeft de kathode niet veel lithium ionen meer. De hoeveelheid vrije lithium ionen in het elektrolyt begint nu ook te verminderen en de cel spanning begint snel te stijgen. De elektroden worden nu ook meer chemisch reactief ten opzichte van het elektrolyt. Deze chemische reactiviteit is schadelijk voor de cel en hoe langer deze conditie bestaat, hoe meer interne degradatie het veroorzaakt. Een hoge gebruikstemperatuur versnelt dit proces.  
  
Het is dus belangrijk om een goede SEI-layer te hebben op de cellen. Dit zal ervoor zorgen dat de levensduur en de capaciteit niet onnodig verkleint. Ook zal de zelfontlading minder zijn met een goede SEI-laag. De temperatuur van de cellen moeten goed gemonitord worden zodat de SEI-laag niet onnodig groeit.

Lithium plating

De oplaadsnelheid is ook een factor waarbij opgelet moet worden. Lithium plating is een fenomeen waarbij bij het opladen niet alle lithium ionen kunne worden geabsorbeerd in de anode. Hierdoor ontstaat een Lithium metaal dat op het oppervlak (meestal aan de randen) van de elektrode zit. Dit proces is onomkeerbaar en zorgt voor een permanent capaciteitsverlies.  
  
Dit fenomeen kan ontstaan door 1)een te hoge laadsnelheid, 2) bij te lage temperatuur laden waardoor de absorptie snelheid van de kathode sterk vermindert, 3) druppelladen

In het slechtste geval gaat men dus snelladen bij een lage temperatuur en daarna druppelladen.

## Veiligheid

Thermische explosie kan bij een LiFePO4 bijna niet voorkomen omdat de temperaturen die nodig zijn om het zuurstof te laten vrijkomen door dissociatie uit de LIFePO4 heel hoog zijn. De ontsteektemperatuur om een ketting van exotherme reactie te krijgen is het hoogst bij deze LiFePO4.  
Ook is de maximumtemperatuur die bereikt kan worden na een ontploffing bij dit type het laagst van alle soorten Lithiumbatterijen. Dit type lithium-batterij is mede dankzij deze reden een van de veiligste van zijn soort.

Vanwege het ontvlambare elektrolyt dat onder druk staat, is het mogelijk dat Li-ion-accu's bij een defect tot zelfontbranding komen door het vrijkomen van zuurstof.

diepontladen

overladen

## State of charge (SOC) en Depth of Discharge (DOD)

## State of health (SOH)

## State of function (SOF)

## Celcapaciteit

## C-rate

## Hysterese

## Levensduur

Cycle life and calender life

## Efficiëntie

Charging discharging en energy

## Interne weerstand

## Capaciteitsvermindering

Levensduur

Aan het einde van de levensduur van de batterijcellen zal chemische schade en plating ervoor zorgen dat lithium en elektrolyt geconsumeerd wordt. Samen met de groei van de SEI layer zal dit ervoor zorgen dat er niet genoeg ionen uitwisseling meer kan plaatsvinden tussen anode en kathode waardoor de cel onbruikbaar wordt.

Capaciteitsvermindering

Info: het geheugen effect treedt enkel op bij NiCd-accu’s. Uit recent onderzoek blijkt dat er ook in kleine mate geheugeneffect optreedt bij Li-ion accu’s  
  
Er is ook nog een ander effect dat kan optreden bij NiCd, NiMH of Li-ion accu’s. Voltage depression is een effect dat optreedt en zorgt voor tijdelijke capaciteitsvermindering. De piekspanning daalt sneller dan de bijbehorende lading waardoor het lijkt dat de batterij sneller leegloopt dan ze in werkelijkheid doet. Dit fenomeen wordt veroorzaakt door herhalend de cel te overladen. REDEN?

-deel degradation bij <https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery>

zelfontlading

<http://www.rathboneenergy.com/articles/sanyo_lionT_E.pdf>

#### Werking van een li-ion cel

#### Types Li-ion batterijen

#### Normale degrradatie van een li-ion cellen door v”cycling”

#### Versnelde degradatie van li-ion cellen door “cycling”

* Temperatuur
* C-rate
* State of charge
* Dept of discharge

#### Degradatie van li-ion cellen door “storage”

# Celbalancering

## Wat is een battery management system (BMS)?[[4]](#footnote-4)

### Inleidend

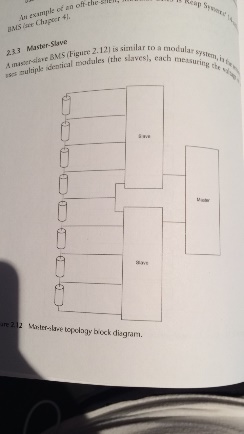
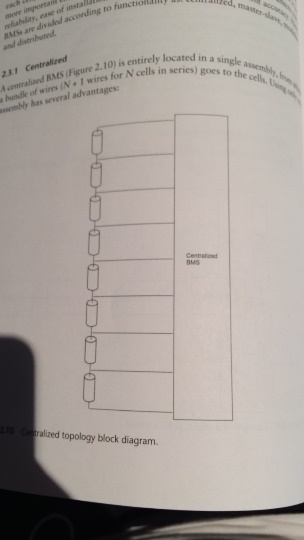
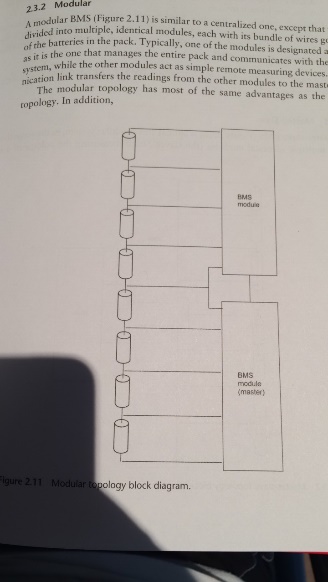
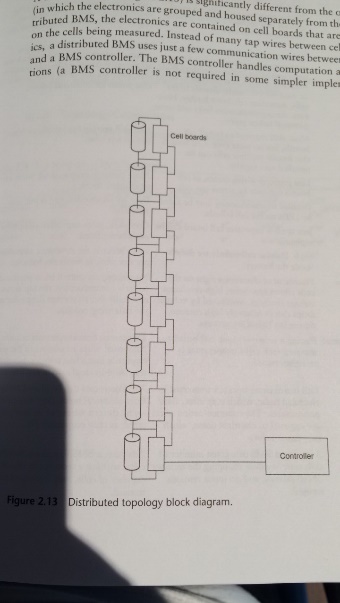
Als men een elektrische batterijbank gaat vergelijken met een lichaam kan men stellen dat een batterij managementsysteem het “brein” is. De batterijbank die energie levert of opneemt kan men dan vergelijken met het menselijke lichaam.

*“Een Battery management systeem (BMS) is elk elektronisch systeem dat een herlaadbare batterij (cel of bank) managet door: het beschermen van de batterij van buiten de Safe Operating Area (SOA) te werken, monitoren van de toestand, berekenen van secundaire data, weergeven van die data, controleren van de toestand en/of balanceren.” Vrij vertaald uit* [*https://books.google.be/books?id=fGdklAEACAAJ&redir\_esc=y*](https://books.google.be/books?id=fGdklAEACAAJ&redir_esc=y)

Het brein van een batterij bank heeft volgens de (bron boek) meeste literatuur 6 mogelijke functies.

#### Monitoring

Een BMS zal ten eerste instaan voor de monitoring van de drie belangrijke parameters van een een batterij bank.   
  
Deze drie parameters zijn de individuele cel spanningen, de stroom door iedere cel en de temperatuur in iedere cel. Deze parameters kan men vergelijken met de signalen die het brein krijgt van zijn lichaam. [[5]](#footnote-5)  
  
Voor het meten van deze parameters is meetapparatuur voorzien bepaalde nauwkeurigheden.   
  
De belangrijkheid van de meetnauwkeurigheid is afhankelijk van wat men wilt bereiken met het BMS. Om simpel weg te detecteren of een cel vol of leeg geladen is, is een meetnauwkeurigheid van 100mV reeds geschikt. Om een zeer accurate schatting te maken van de ladinginhoud van een cel is een nauwkeurigheid van 1mV of beter vereist.[[6]](#footnote-6)  
  
Deze meetapparatuur kan op verschillende wijzen in contact staan met het brein. De manier waarop deze in contact staat met het brein wordt de topologie van een BMS genoemd.  
  
Er zijn verscheidene topologieën zoals gecentraliseerd, modulair, gedistribueerd en master-slave.



#### CC-CV- laden

Een belangrijke functionaliteit van een BMS is het laden. Men mag niet zomaar een oplaadbron aan een batterij leggen en verwachten dat deze stopt met laden als de cellen volgeladen zijn.   
  
Het laadprofiel dat typisch wordt aangelegd door een BMS, is het CC CV laden.

### Meetopstelling

De bestudeerde batterij bank bestaat uit vier in serie geschakelde cellen.

### Functies

## Onbalans

## Actief balanceren

## Passief balanceren

# Probleemstelling en onderzoeksdoelstelling

## Omkadering

Deze thesis is een voortvloeisel van het TETRA project LBATTS (Lithium-ionbatterijen voor tractie- en stationaire toepassingen).   
  
LBATTS doet onderzoek naar de optimalisatie van lithium gebaseerde batterijtechnologieën.   
  
“De optimalisatie gebeurt via gewichtsreductie door het inzetten van lichte innovatieve materialen zoals phase change materials (PCM) enerzijds en thermisch beheer door de introductie van warmtebuffering in deze materialen anderzijds. Dit zou moeten leiden tot verhoogde prestaties en rendement“

Er zijn reeds veel verschillende batterijtechnologieën ontwikkeld.  
  
In deze thesis wordt één type batterijtechnologie verder bestudeerd. Deze batterij is van het Lithium-ion type namelijk: Lithium-ijzerfosfaat. foto  
  
Deze batterijtechnologie bevat veel mogelijkheden dankzij een hoge energiedichtheid, lange levensduur en uiterst (ikga dit checken) goede veiligheid.

Om een gewenste werking van deze batterijtechnologie in een batterijpakket te verzekeren, is het gebruik van een batterij management systeem aangewezen.

*“Een Batterij management systeem (BMS) is elk elektronisch systeem dat een herlaadbare batterij (cel of bank) managet door: het beschermen van de batterij van buiten de Safe Operating Area (SOA) te werken, monitoren van de toestand, berekenen van secundaire data, weergeven van die data, controleren van de toestand en balanceren aan de hand van die berekeningen of metingen.”   
Vrij vertaald uit* [*https://books.google.be/books?id=fGdklAEACAAJ&redir\_esc=y*](https://books.google.be/books?id=fGdklAEACAAJ&redir_esc=y)

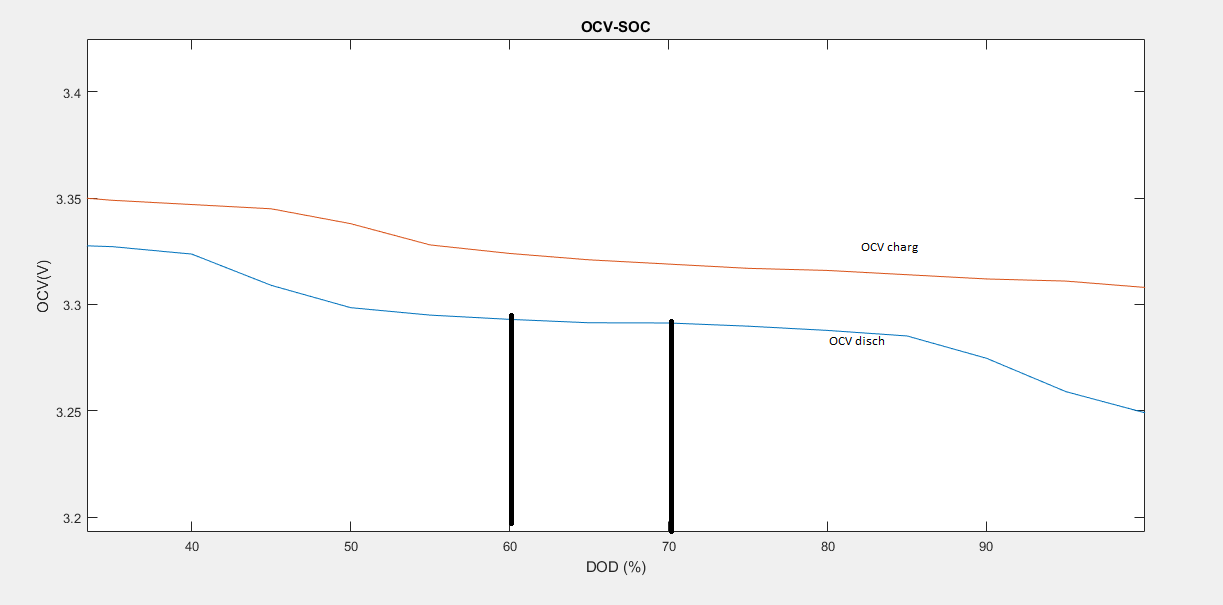
Vanuit het oogpunt van de elektrische ingenieur zijn er mogelijkheden om deze instapdrempel te verlagen en zo een steentje bij te dragen aan het milieu en de leefomgeving.

## Probleem- en doelstelling

### Definiëring van de probleemstelling

In het kader van het project LBATTS[[7]](#footnote-7) zijn Winston Lithium ijzerfosfaat cellen aangekocht.   
Deze cellen zijn voorzien van zeer nauwkeurige spanningsmeetapparatuur die met een nauwkeurigheid van minder dan 1mV, de spanning kan uitlezen. [[8]](#footnote-8)  
  
Elke cel bevat een State of Charge (SOC) of lading.   
Het vergt hoge meetnauwkeurigheid en een goed batterijmodel om de SOC zeer accuraat in te schatten als een cel halfvol geladen is. Hierdoor wordt er bijna altijd gebalanceerd[[9]](#footnote-9) bij het einde van een laad- of ontlaadcyclus. De spanningsmeting mag hier minder nauwkeurig zijn om accuraat de SOC in te schatten.

Door deze zeer hoge meetnauwkeurigheid wordt in principe midden-SOC balancering mogelijk. Bij midden -SOC balancering wordt het mogelijk om op elk moment en tijdstip de cellen te balanceren. Dit biedt dus mogelijkheden die er niet zijn als men enkel volgeladen of leeg geladen cellen kan balanceren.   
  
Ter verduidelijking

  
Het verschil in Uocv,disch is enkele mV voor een een SOC verschil van 10%.[[10]](#footnote-10)

### Definiëring van de onderzoekdoelstellingen

Theoretisch lijkt midden-SOC balancering veelbelovend omdat men niet meer genoodzaakt is om te balanceren bij ontladen of volgeladen cellen.

Het doel van deze thesis is de ontwikkeling en validatie van een SOC-schattingsalgoritme. Dit algoritme wordt ontwikkeld aan de hand van een model dat opgesteld wordt uit een uitgebreide literatuurstudie.

## Overzicht van inhoud

# Metingen

## Beginnende metingen

## OCV metingen

## Parametermetingen

hppc

## Metingen Algoritme

Ddft test

# Modellering

## Inleiding

Batterij management systemen zijn sterk afhankelijk van accurate batterij modellen.  
Het model moet zowel geschikt zijn voor statisch als dynamisch gedrag. Belangrijk is ook dat het model een goede voorspelling kan maken bij een wijd bereik van state of charge, temperatuur en stroom.

Er zijn reeds zeer veel modellen gepubliceerd die het gedrag van Lithium ion cellen voorspellen. Deze modellen kunnen in drie categorieën worden onderverdeeld afhankelijk van de wijze waarop de cel bestudeerd wordt:  
  
\* Elektrochemische en mathematische modellen  
\* Empirische modellen.  
\* Elektrische modellen.

Als elektrisch ingenieur is het vanzelfsprekend dat de elektrische modellen de voorkeur genieten alhoewel het zeker interessant is om de andere modellen ook kort toe te lichten.  
  
Er zijn twee types modellen die bij elektrische en elektrochemische modellen veel gebruikt worden:  
  
\*Impedantie-gebaseerde modellen  
\*Thévenin-gebaseerde modellen  
  
Ze maken allebei gebruik van equivalente circuit modellen.

### Elektrochemische en mathematische benadering

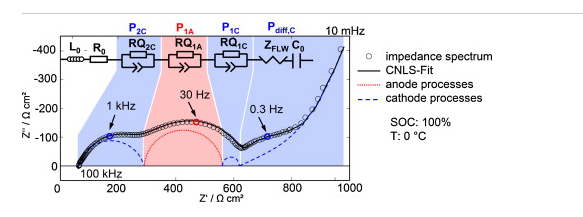
#### Elektrochemische modellen

Deze modellen zijn gebaseerd op elektrochemische reacties en ionen transport. Deze beïnvloeden de potentialen van de kathode en de anode die zorgen voor een klemspanning.  
  
Om deze elektrochemische modellen te bestuderen moet men een hoog aantal chemische parameters bepalen en over een grondige kennis van verschillende materiaal eigenschappen beschikken. Het bepalen van deze chemische parameters vereist bovendien gespecialiseerde testen die tijdverslindend en complex zijn.  
  
Deze elektrochemische testen bieden wel veel preciezer modellen met meer mogelijkheden. Zo kan men bijvoorbeeld het verlies van actief lithium-ion materiaal bestuderen om capaciteitsverlies en levensduur te bestuderen. Dit is met elektrisch modellen niet mogelijk zonder zeer veel empirische testen.

#### Impedantie-gebaseerde modellen

Alhoewel een impedantie-gebaseerd model in sé elektrisch is, wordt het veel gebruikt door elektrochemische ingenieurs om elektrochemische processen met een equivalent circuit model te beschrijven.

Deze modellen worden door EIS metingen gekarakteriseerd. EIS wordt uitgelegd bij metingen.



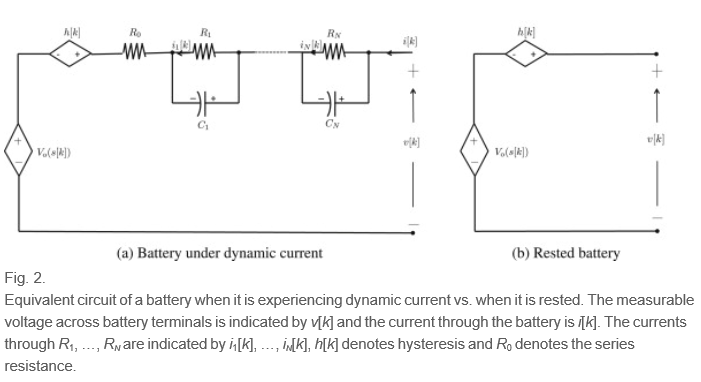
#### Mathematische benadering

Deze modellen zijn gebaseerd op de elektrochemische modellen en gaan dieper in op massa transport en thermodynamica. Een voorbeeld is het modelleren van intercallatie. Bibliografie Een ander voorbeeld is het thermisch 3D modeleren van lithium cellen. Bibl

### Elektrische benadering

Op deze elektrische modellering wordt dieper ingegaan. Deze modelering gebeurt aan de hand van elektrische componenten zoals weerstanden, spoelen, condensatoren en diodes.

#### Thévenin-gebaseerde modellen

Thévenin-gebaseerde modellen worden voornamelijk door elektrische ingenieurs gebruikt. Deze modellen worden opgesteld met een thévenin-equivalent circuit en worden gekarakteriseerd door de spanningsrespons van stroom-, temperatuur- en ladingsvariaties.  
  
Dankzij de eenvoudigere structuur van Thévenin-gebaseerde modellen kunnen deze gemakkelijk geïntegreerd worden in eender welk BMS. Er is geen zwaar rekenvermogen vereist zoals bij de andere elektrochemische en mathematische benaderingen meestal wel het geval is.   
  
Het grote voordeel van Thévenin-gebaseerde modellen is dat de interne structuur van de cel niet moet bestudeerd worden door het gebruik van een ECM. Deze testen moeten wel uitgevoerd worden bij elektrochemische en mathematische modellen.

### Empirische benadering

Deze modellen make meestal gebruik van zeer grote datasets met metingen. Deze metingen worden dan gefit om verbanden te vinden tussen verscheidene parameters. Deze verbanden zijn meestal niet gegrond met fysische verbanden en geven problemen door de niet-lineariteit van de parameters.

## Literatuurstudie

Modelvalidatie is ook zeer belangrijk. Dit houdt in dat er testen worden uitgevoerd en wordt gecontroleerd of de meetwaarden overeenstemmen met verwachting van het model. De afwijking van de schatting op de experimentele data moet geminimaliseerd worden.

Om conclusies te maken over modelering is het belangrijk om van een uitgebreid overzicht gebruik te maken van alle bestaande modellen. Vanwege de complexiteit van elektrochemische en mathematische modellen worden deze niet opgenomen.  
  
De voornaamste elektrische modellen worden besproken.

Andere modellen bespreken

## Gekozen model

## Openklemspanning

## Equivalent circuit model ( ECM )

## Kalman filtering

## Parametrering

# Programma

Uitleg programma

# Resultaten model

# Bevindingen en verbeteringsmogelijkheden

# Conclusie

# Bibiografie

Bijlagen

karerl

Faculteit industriële ingenieurswetenschappen

Gebroeders De Smetstraat nr 1

9000 Gent, België  
tel. +32 9 265 86 10  
iiw.gent@kuleuven.be  
[www.kuleuven.be](http://www.kuleuven.be)

1. Specifieke energie is hoeveelheid energie die kan worden opgeslagen per kilogram van het opslagmedium. [↑](#footnote-ref-1)
2. Cadmiumdampen zijn in zeer kleine concentraties al zeer gevaarlijk en giftig. [↑](#footnote-ref-2)
3. Er bestaan tegenwoordig ook loodzuur accu’s die een gel als elektrolyt gebruiken. [↑](#footnote-ref-3)
4. Deze inleiding geldt algemeen voor een BMS. Later wordt de gebruikte meetopstelling besproken. [↑](#footnote-ref-4)
5. Dit is niet de wijze waarop gemonitord wordt bij de testopstelling. Dit geldt algemeen waarbij een desbetreffend batterijpakket kan bestaan uit een netwerk van zowel serie als parallel cellen. Bij de meeste batterij pakketten wordt er echter meestal de totale stroom door het gehele pakket gemonitord. Als temperatuurmeting neemt men tenminste de gemiddelde temperatuur van het pakket als temperatuurmonitoring per cel teveel gevraagd zou zijn. [↑](#footnote-ref-5)
6. Dit geldt specifiek Lithium-ijzerfosfaatcellen. Dergelijke hoge nauwkeurigheid is niet bij alle cel technologieën nodig om een accurate schatting te maken van State of Charge(SOC). [↑](#footnote-ref-6)
7. Zie 1.2 Omkadering voor meer info over het optimalisatieproject LBATTS. [↑](#footnote-ref-7)
8. De spanning is de belangrijkste factor. Deze moet heel precies zijn om accuraat SOC te kunnen schatten. [↑](#footnote-ref-8)
9. Wat is balanceren? Balanceren is het gelijk houden van de State of charge van elke cel.  
    [↑](#footnote-ref-9)
10. Betere figuur gebruiken lol [↑](#footnote-ref-10)