

*Lex van Huuksloot, **T&M** Consultant*

**Veldhoven,
12 februari 2019**

ENERGY STORAGE EVENT

12 februari 2019 | NH Conference Centre Koningshof



BATTERIJ-EMULATIE

van knoopcel
tot elektrische truck
en bus



Vermogensomzetter testen

Waarom:

- Kwaliteitsbeheersing
- Productverbetering, doorontwikkeling
- Fout zoeken, betrouwbaarheid





Agenda

- Wat is batterij-emulatie
- Welke eigenschappen en mogelijkheden
- Toepassingen



Definitie

VERB

[WITH OBJECT]

- 1 Match or surpass (a person or achievement), typically by imitation.

'most rulers wished to emulate Alexander the Great'

[+ More example sentences](#)[+ Synonyms](#)

- 1.1 Imitate.

'hers is not a hairstyle I wish to emulate'

[+ More example sentences](#)[+ Synonyms](#)

- 1.2 **Computing** Reproduce the function or action of (a different computer, software system, etc.)

'the adaptor is factory set to emulate a Hercules graphics board'

[+ More example sentences](#)

Origin

Late 16th century: from Latin aemulat- 'rivalled, equalled', from the verb aemulari, from aemulus 'rival'.

Definitie volgens fabrikanten

1: **power supply** is the perfect choice whenever **two-quadrant** operation is needed. Besides the **source** functionality, it also provides **electronic loads** to accurately **sink** current and **dissipate** power in a controlled manner, for example to **emulate the characteristics of a battery** being charged or unloaded.

2: De **natuurkundige modellen** worden uitgevoerd op een real-time systeem en de berekende stroom van het model wordt ingesteld door elektronische belastingen. Dit proces wordt ook wel emulatie genoemd. In deze toepassing wordt een aanpak voor **batterij-emulatie** gepresenteerd. Vooral in lange termijn experimenten zijn echte accu's problematisch, omdat hun laadtoestand vaak niet precies bekend is en het **elektrische gedrag van accu's varieert** als gevolg van veroudering en temperatuurverandering.

Definitie

- 3: **Battery Emulator** is a regenerative AC to DC converter designed to behave like real batteries. It is a software option with a DC output, for a single unit, from 20 to 800V with the HV option. It is possible to serialize units to reach up to 1500V or to parallelize units to increase the power and current. Thanks to the Separated Channel Operation (included up to 54kW) each unit can be used as 3 completely different DC Regenerative Power Supplies in a single cabinet.
- 4: Een **accusimulator** kan worden gebruikt om een accutoestand te simuleren. Er is een combinatie van software en hardware gemaakt om een accusimulator te maken. Gebruikers kunnen de batterijkenmerken downloaden en de parameters van de batterij in de batterijsimulator soft-panel instellen. Het simuleert de werkelijke uitgang van het batterijvoltage op basis van de batterijcapaciteit. Bovendien, kan de gebruiker de configuratie van een batterijenpakket instellen en de status van de batterijoutput willekeurig aanpassen. Door de simulator te gebruiken kunt u de input (en) of outputvoorwaarde(n) van een UUT met vele voordelen verifiëren.

Hoe gedraagt een batterij zich?

(Elektrisch)

- V_{bat} : De klemspanning
- I : in/uit: Laden, ontladen
- R_i , Impedantie, DCIR, ACIR



Batterijmodel

Praktisch model

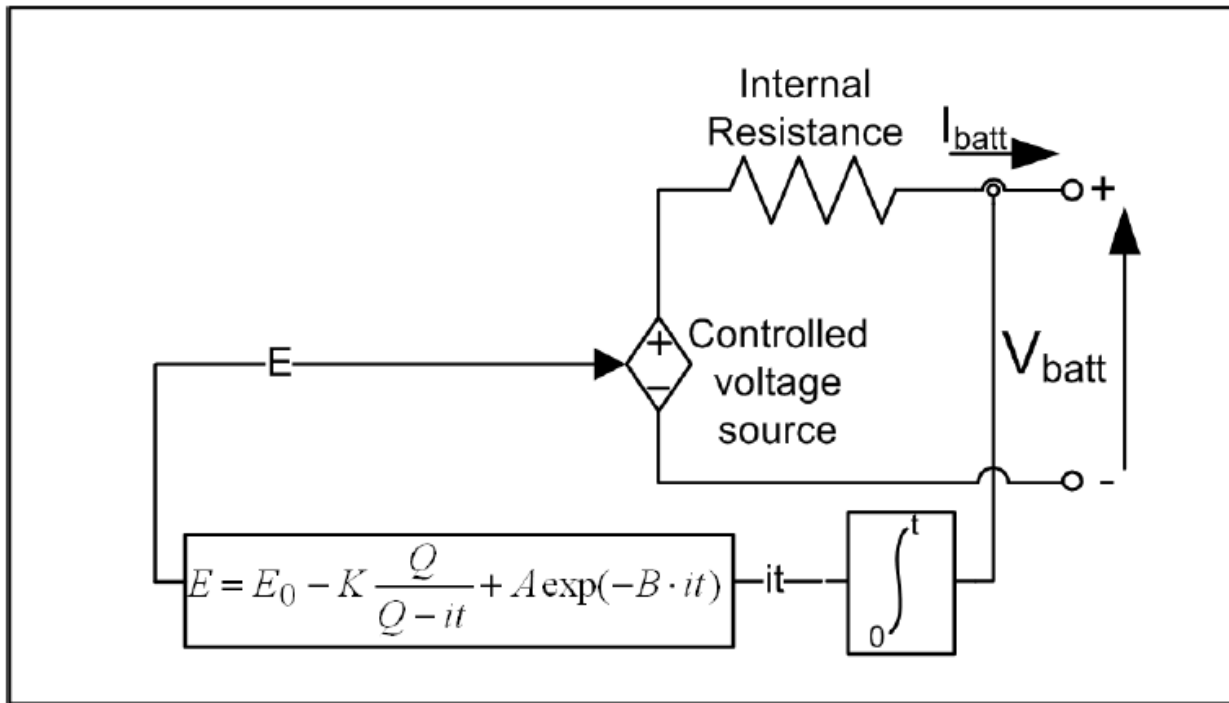


Fig. 1. Non-Linear battery model

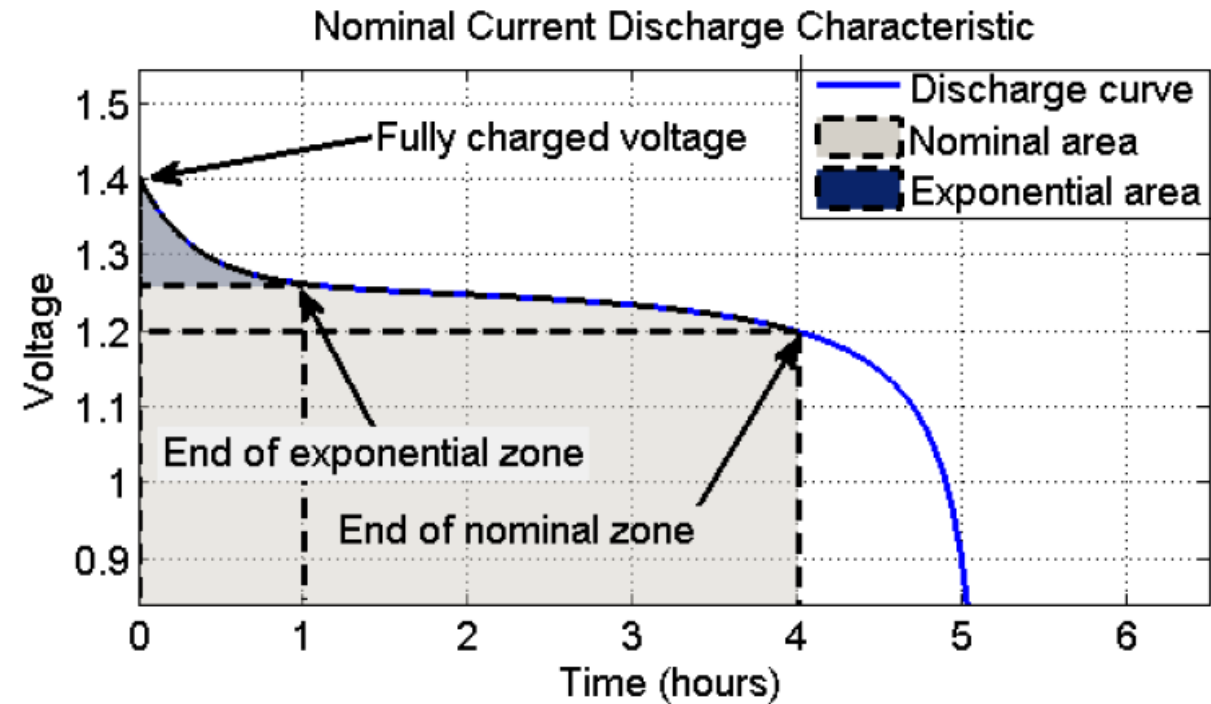


Fig. 2. Typical discharge curve

$$V_{Bat} = V_{const} - K_{pol} \cdot \frac{Q_{cap}}{Q_{cap} - Ah} + A_{exp} \cdot e^{(-B_{exp} \cdot Ah)}$$

Praktisch model

Wetenschappelijk model hoe dat de klemspanning zich gedraagt als functie van de stroom, capaciteit, interne weerstand

E = no-load voltage (V)

E_0 = battery constant voltage (V)

K = polarisation voltage (V)

Q = battery capacity (Ah)

idt = actual battery charge (Ah)

A = exponential zone amplitude (V)

B = exponential zone time constant inverse (Ah)⁻¹

V_{batt} = battery voltage (V)

R = internal resistance (Ω)

i = battery current (A)

$$V_{Bat} = V_{const} - K_{pol} \cdot \frac{Q_{cap}}{Q_{cap} - Ah} + A_{exp} \cdot e^{(-B_{exp} \cdot Ah)}$$

Model and picture above are from: O. Tremblay, L.-A. Dessaint, A.-I. Dekkiche, "A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles", 2007 IEEE® Vehicle Power and Propulsion Conference, September 9-13, 2007, Arlington/Texas, USA

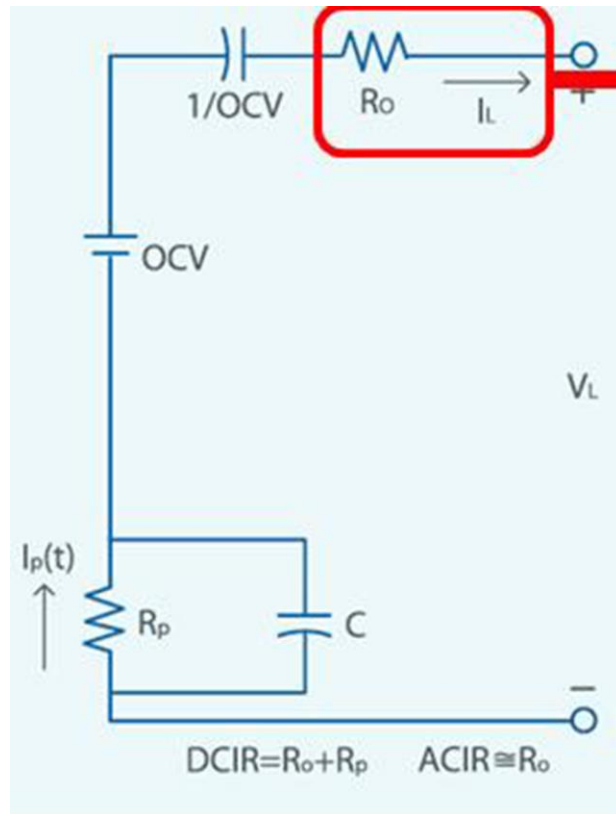
Batterijparameters

BATTERY PARAMETERS

Type	Lead-Acid	Nickel-Cadmium	Lithium-Ion	Nickel-Metal-Hydrid
Parameters	12V 1.2Ah	1.2V 1.3Ah	3.6V 1Ah	1.2V 6.5Ah
$E_0(V)$	12.6463	1.2505	3.7348	1.2848
$R(\Omega)$	0.25	0.023	0.09	0.0046
$K(V)$	0.33	0.00852	0.00876	0.01875
$A(V)$	0.66	0.144	0.468	0.144
$B(Ah)^{-1}$	2884.61	5.7692	3.5294	2.3077

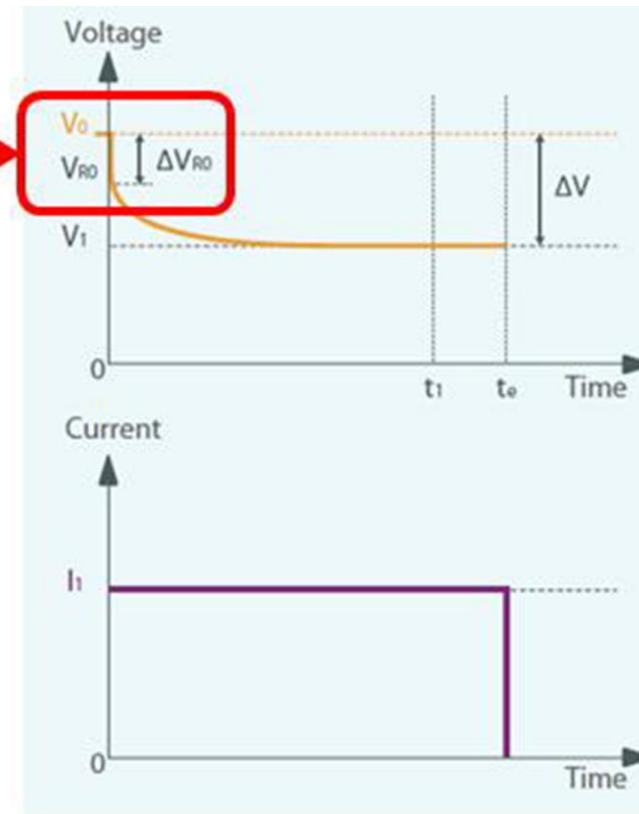
$$V_{Bat} = V_{const} - K_{pol} \cdot \frac{Q_{cap}}{Q_{cap} - Ah} + A_{exp} \cdot e^{(-B_{exp} \cdot Ah)}$$

Uitgangsspanning en -stroom



Battery Cell

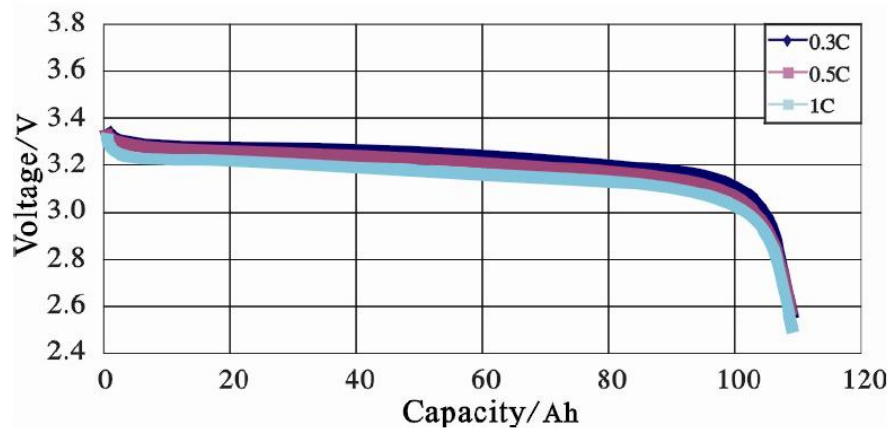
Discharge



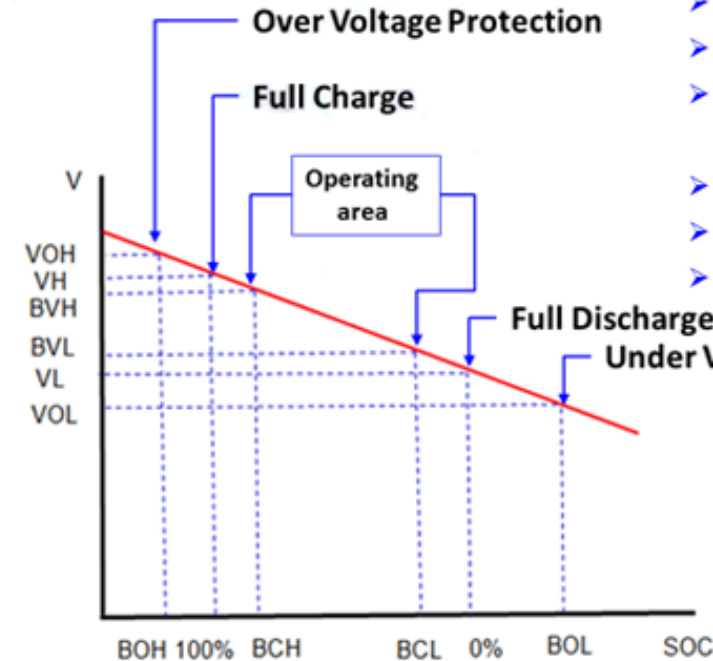
Discharge

State of Charge SoC en de limieten, beveiliging

discharging curve :

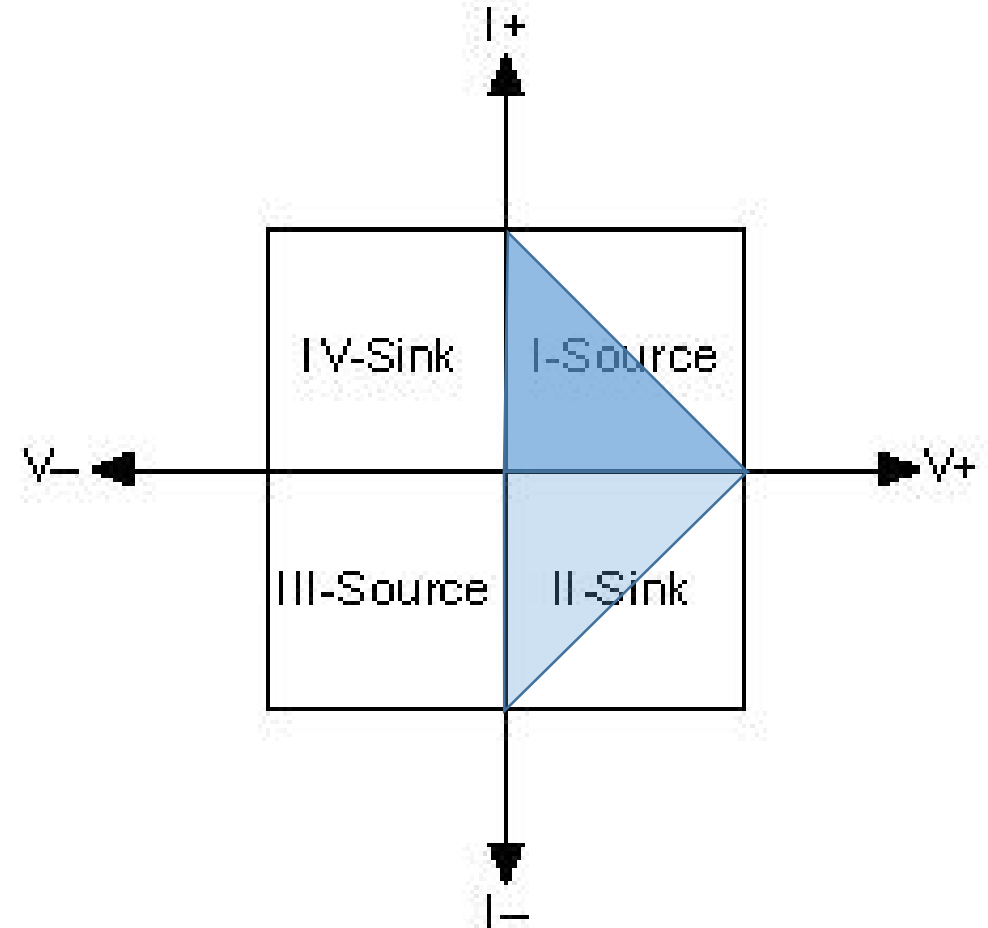
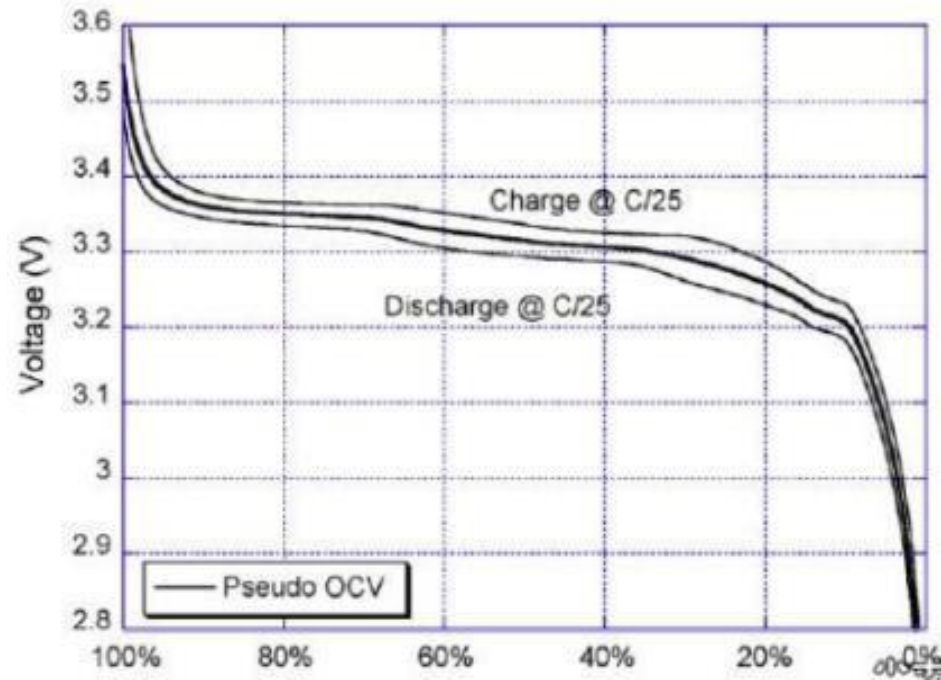


Voltage v.s. SOC(Capacity)



- VOH/BOH = SOC >100% (OVP)
- VH/100% = SOC 100%
- BVH/BCH = SOC 80% (Operating area high)
- BVL/BCL = SOC 20% (Operating area Low)
- VL/0% = SOC 0%
- VOH/BOH = SOC < 0% (UVP)

Eén of tweekwadrant?





Batterij Emulatie

- Wat is batterij-emulatie
- Welke eigenschappen en mogelijkheden
- Toepassingen

Eigenschappen emulator

- **Beschikbaar:** Een geschikte batterij die niet voorhanden is emuleren, programmeren vs. samenstellen
- **Flexibel:** Verschillende spanningen, vermogens, batterijeigenschappen en -parameters snel aanpassen
- **Betaalbaar:** Vgl. diverse grote batterijpakketten
- **Veilig:** Mogelijkheid van brand, kortsluiting van een accupakket



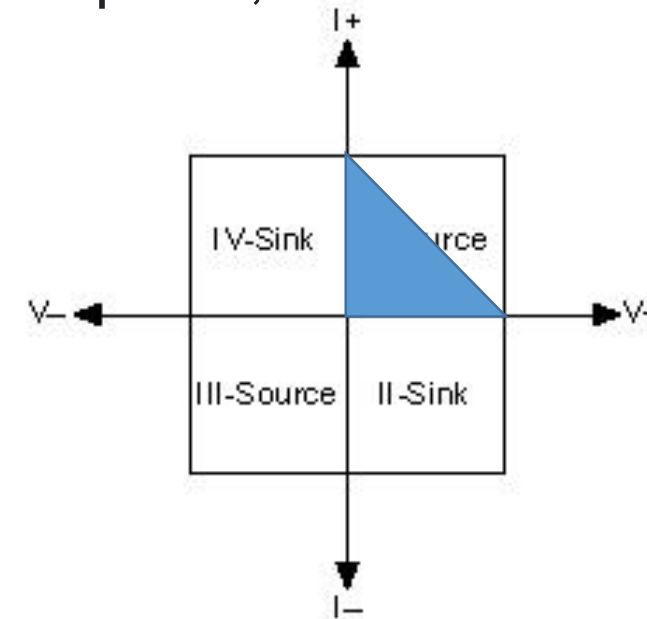
Eigenschappen emulator

- Solid state: vgl. levensduur chemische cel:
Reproduceerbaarheid van tests
- Testvermogen niet afhankelijk van laadstatus:
Geen laadtijd / ontlaadtijd: tijdwinst, max. vermogen beschikbaar
- Bescheiden afmetingen: hanteerbaar



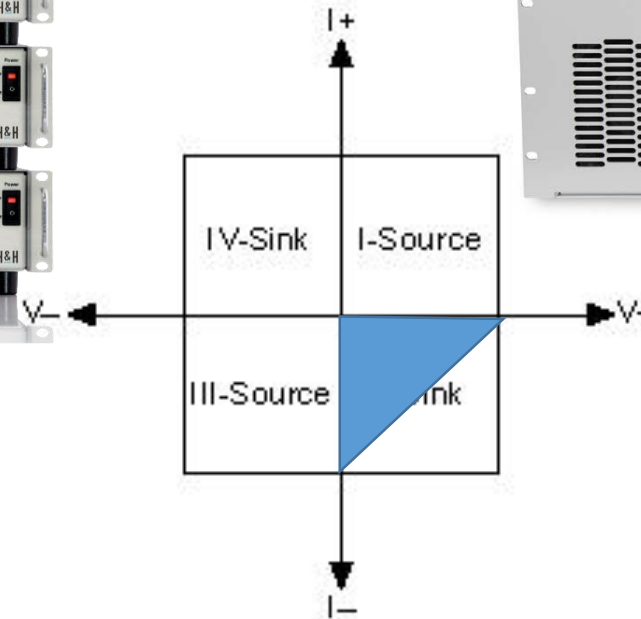
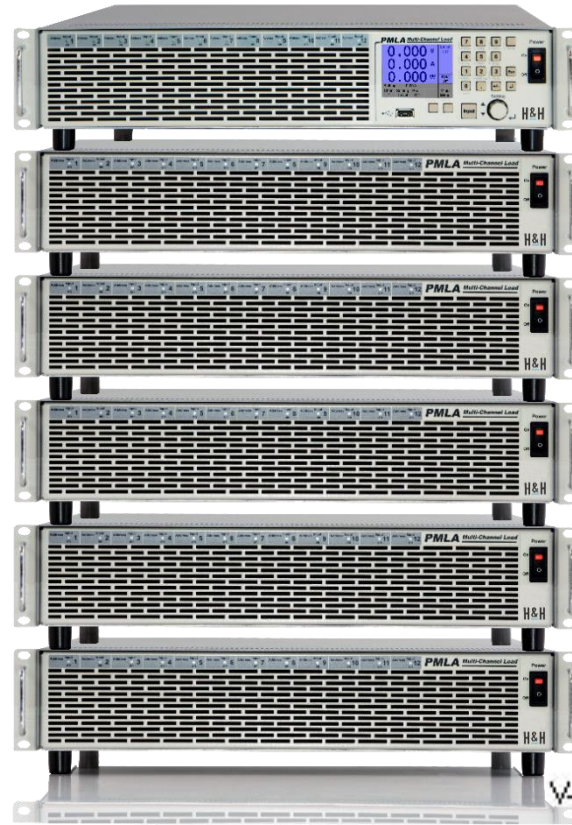
Keuzemogelijkheden - oplossing: 1

- Universeel DC Power supply
- Enorme variatie in vermogen, spanning- / stroombereiken
- Leverbaar vanaf enkele (milli)Watts tot vele MegaWatts
- De meerderheid werkt in één-kwadrant: unipolair, levert stroom

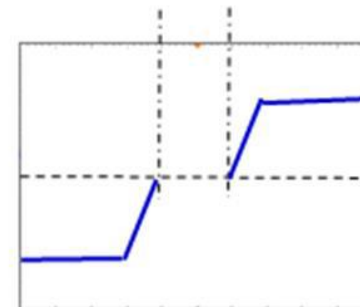
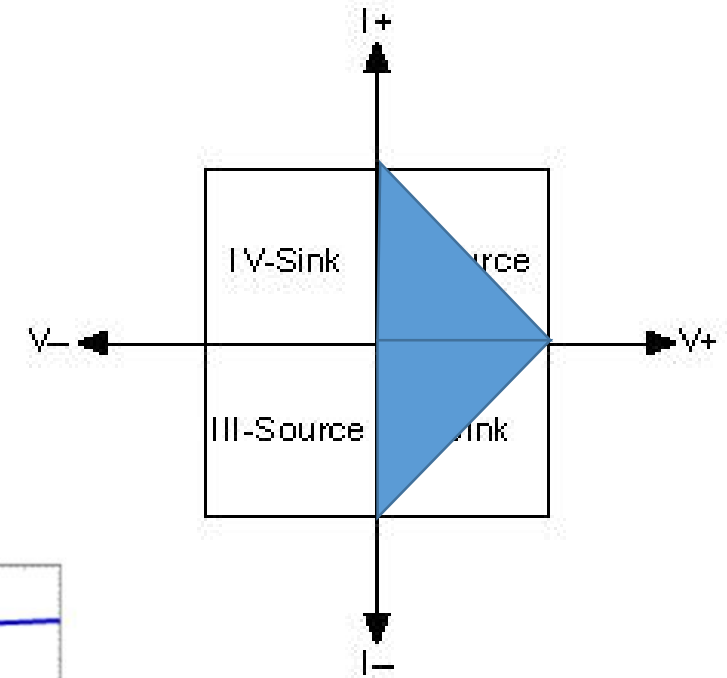
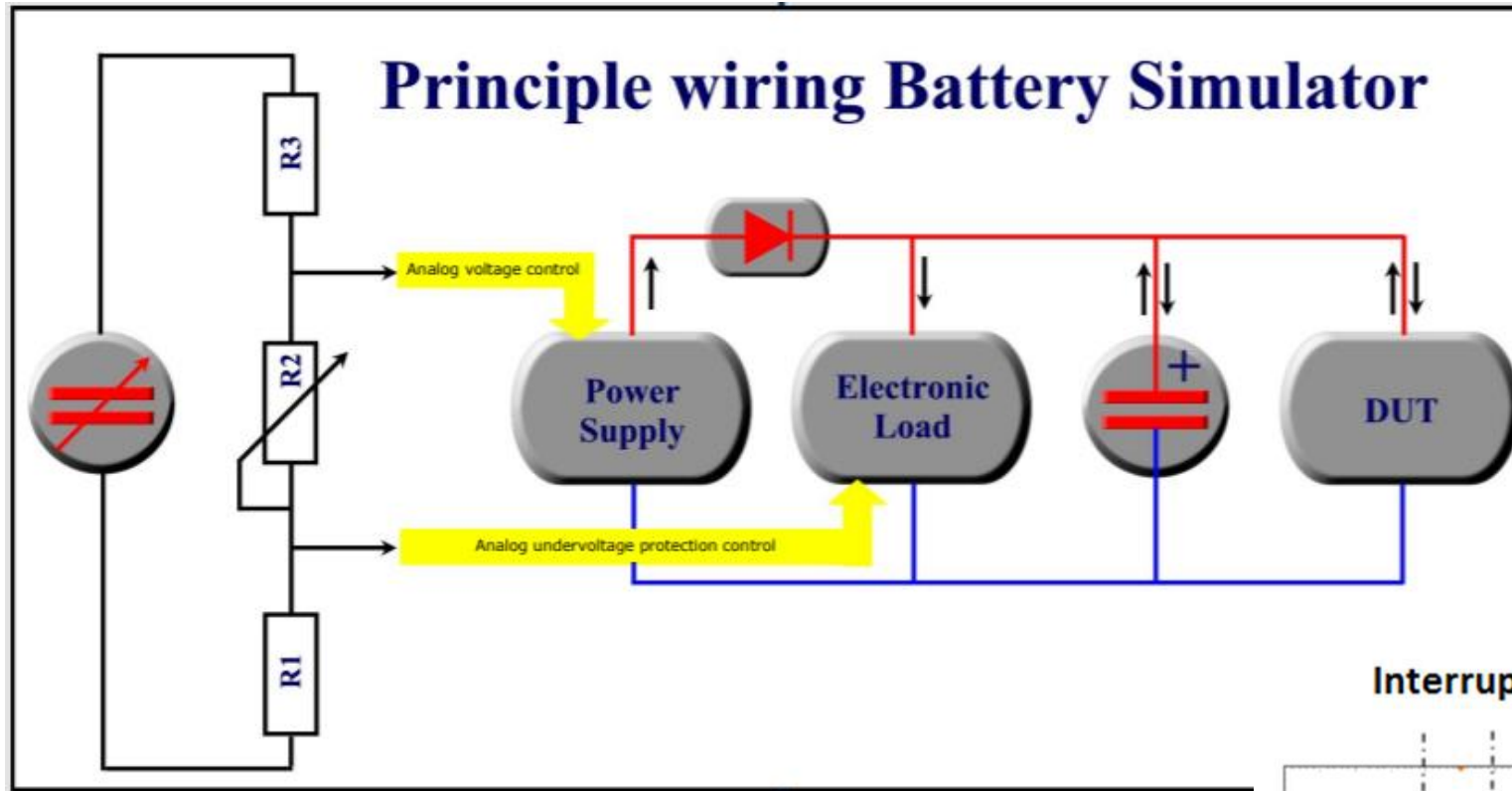


2: Elektronische belasting

- Emulatie van batterij
- Lader testen



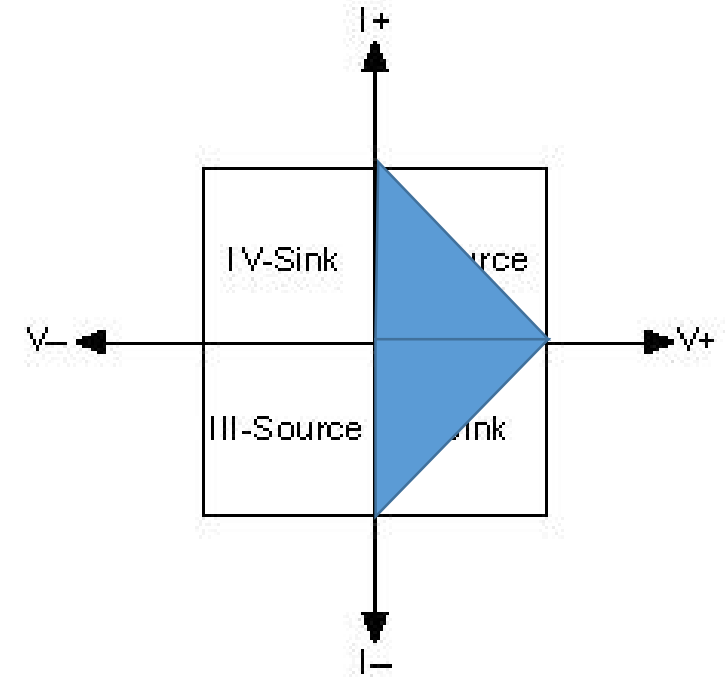
3: Voeding met Elektronische belasting



Interrupt bij het schakelen tussen voeding en load.

3: Voeding met Elektronische belasting

- Twee kwadrant oplossing
- Combinatie power supply en een elektronische belasting
- De power supply is parallel geschakeld met de elektronische belasting via een decoupling diode
- Eventueel een buffer condensator
- Via een analoge regeling zijn naast de gewenste spanning ook over en onder voltage in te stellen

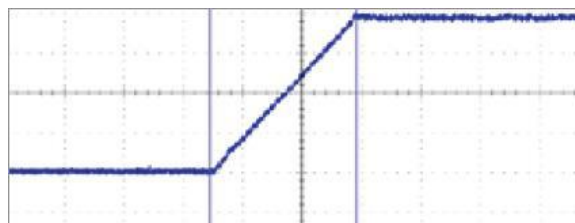


4: Snelle voeding met twee kwadrant bedrijf

- Ingebouwde functie voor instellen Ri.
Programmeerbare output impedantie.
- Battery laad- / ontladtesten
- Interne load/sink
- Dynamische respons $<20\mu\text{s}$

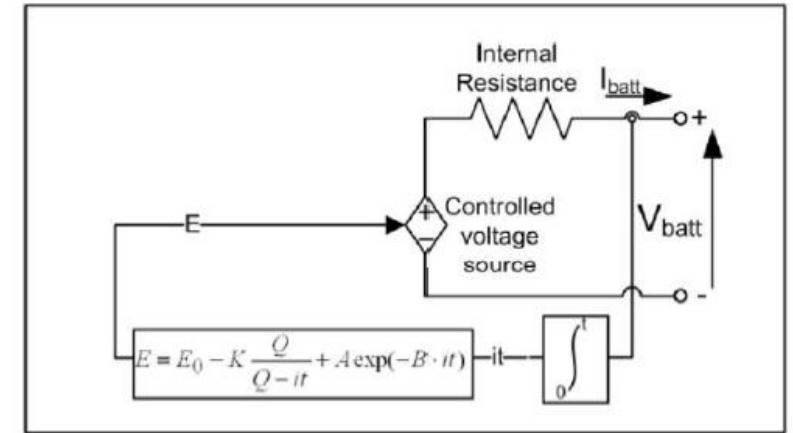
Producten met een bidirectioneel ontwerp.

De omschakeling/ompoling van de stroom is zonder onderbreking net als in de werkelijkheid



Batterij Emulatiefuncties van knoopcel tot..

- Batterij emulatiefuncties
- Uitgangsspanning afhankelijk van SoC
- Oplossingen van knoopcel tot flinke accupacks
- Tweekwadrant voedingen van 1.5 W tot 1.2 MW ook vierkwadrant



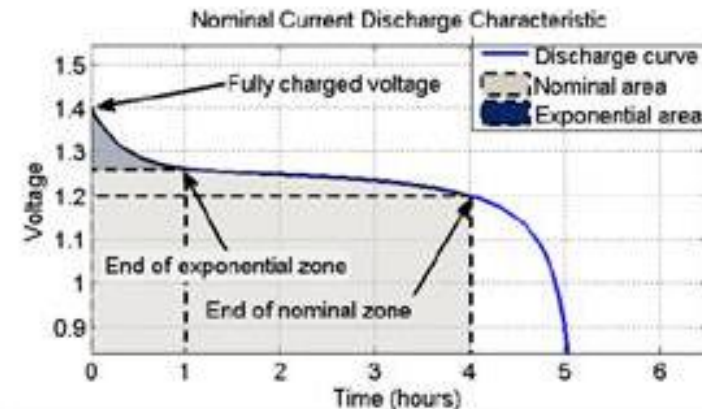
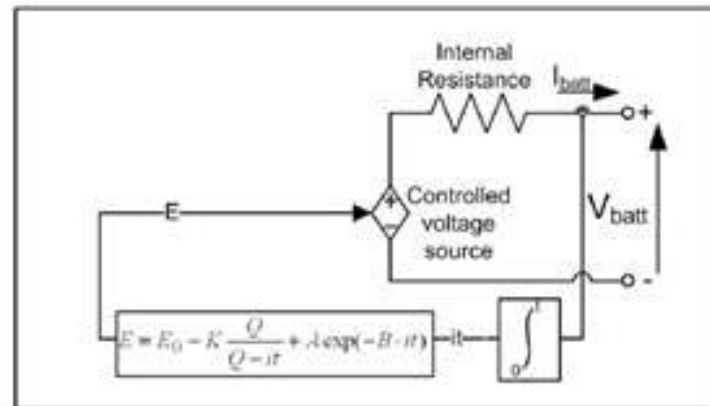
Batterij Emulatiefuncties: grotere vermogens



BATTERY PARAMETERS

Type	Lead-Acid	Nickel-Cadmium	Lithium-Ion	Nickel-Metal-Hydrid
Parameters	12V 1.2Ah	1.2V 1.3Ah	3.6V 1Ah	1.2V 6.5Ah
$E_0(V)$	12.6463	1.2505	3.7348	1.2848
$R(\Omega)$	0.25	0.023	0.09	0.0046
$K(V)$	0.33	0.00852	0.00876	0.01875
$A(V)$	0.66	0.144	0.468	0.144
$B(Ah)^{-1}$	2884.61	5.7692	3.5294	2.3077

Vermogen tot 160 kW, 200kVA



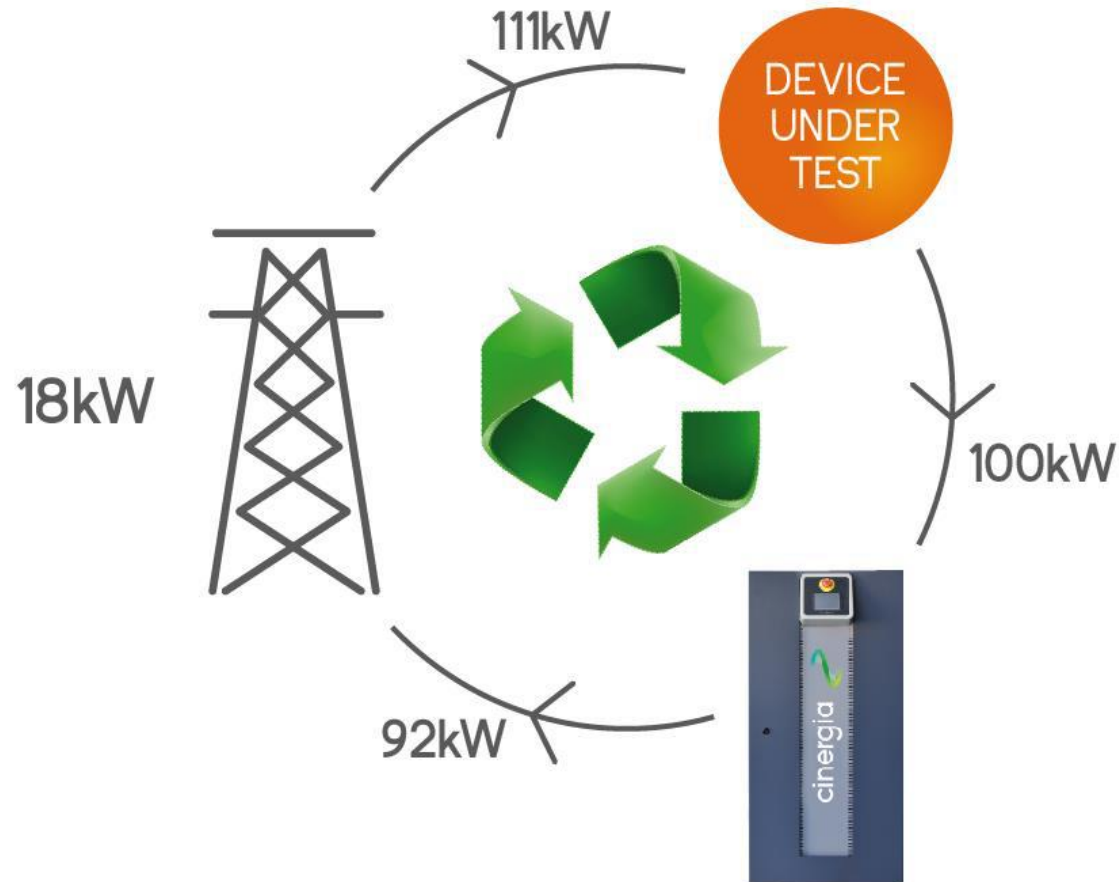
Batterij Emulatiefuncties – regeneratief concept

80% energiebesparing bij de test

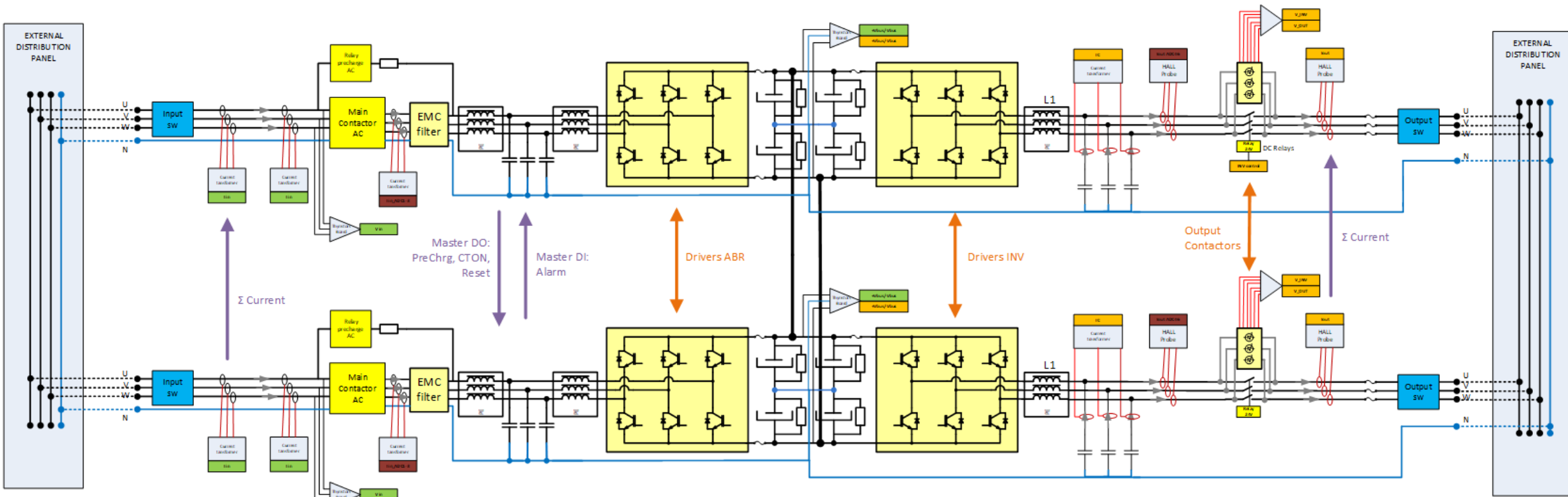
Regenerative emulators allowing:

- Saving 80% of the test energy
- Reducing the grid power to 20%
- Additional operative savings by automating the test

(*) Actual energy savings and power reduction figures will depend on each test platform. Values shown here are an example for a DUT with efficiency of 90%.



Hogere spanningen en vermogens in master-slave



- Onafhankelijke kanalen of parallel
- Regenereren van laadstroom in batterij

Batterij Emulatiefuncties – regeneratief concept

Grotere vermogens: 640 kW, 1.2 MW, parallel en serieschakeling



800V / 160kW



800V / 160kW



800V / 160kW



800V / 160kW



800V / 160kW 800V / 160kW 800V / 160kW 800V / 160kW

800V / 320kW

800V / 480kW

800V / 640kW



1500V / 320kW 1500V / 320kW 1500V / 320kW 1500V / 320kW

1500V / 640kW

1500V / 960kW

1500V / 1.2MW


Aansturing



User interface

Voltage Constant			K Polarisation			Q Capacity		
	Set Point	Actual Value	Set Point	Actual Value	Set Point	Actual Value		
Output U	100.00	100.00 [V]	1.00	1.00 [V/Ah]	5.00	5.00 [Ah]		
Output V	90.00	90.00 [V]	2.00	2.00 [V/Ah]	5.00	5.00 [Ah]		
Output W	90.00	90.00 [V]	0.10	0.10 [V/Ah]	5.00	5.00 [Ah]		
Global	48.00	48.00 [V]	0.10	0.10 [V/Ah]	10.00	10.00 [Ah]		

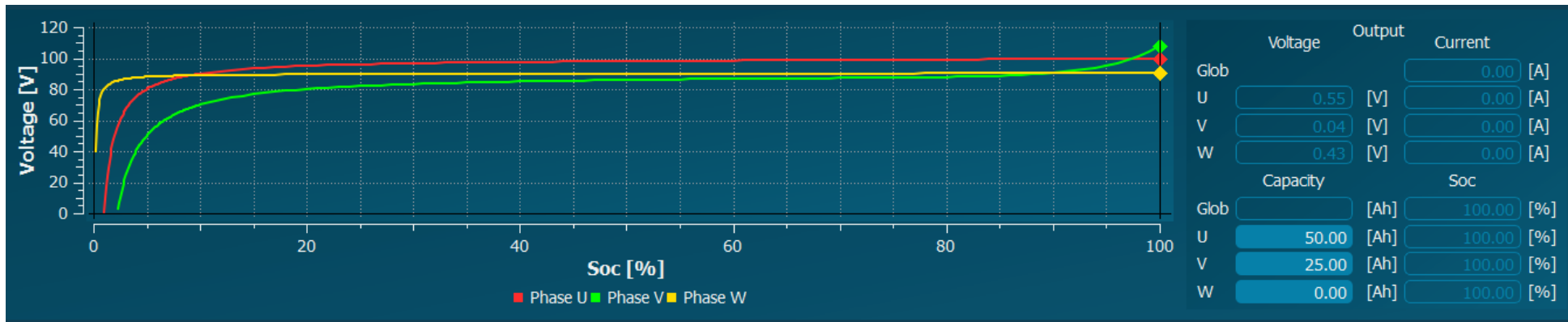
A Exp Amp			B Exp Time			Virtual	
	Set Point	Actual Value	Set Point	Actual Value	Resistance POS	Resistance NEG	
Output U	1.00	1.00 [V]	1.00	1.00 [1/Ah]	0.000	0.000	[Ohm]
Output V	20.00	20.00 [V]	4.00	4.00 [1/Ah]	0.000	0.000	[Ohm]
Output W	1.00	1.00 [V]	1.00	1.00 [1/Ah]	0.000	0.000	[Ohm]
Global	2.00	2.00 [V]	1.00	1.00 [1/Ah]	1.000	0.000	[Ohm]



Save as CSV

Load CSV File

Send Battery Parameters

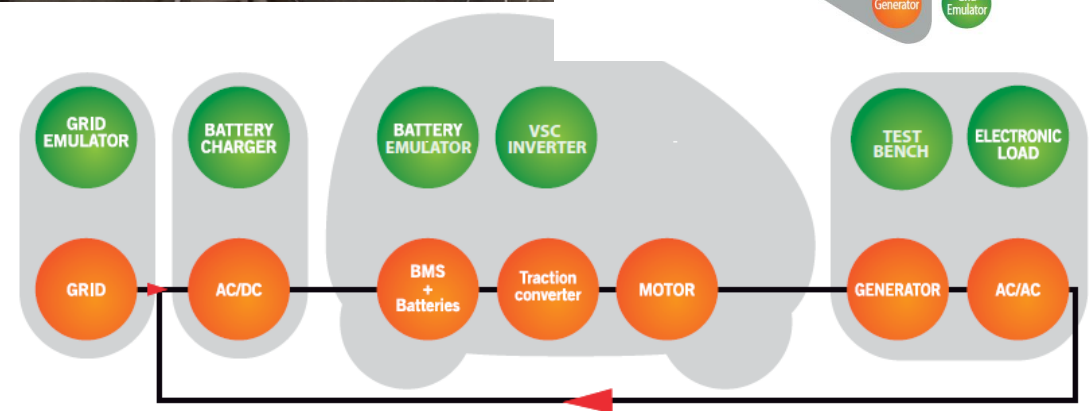
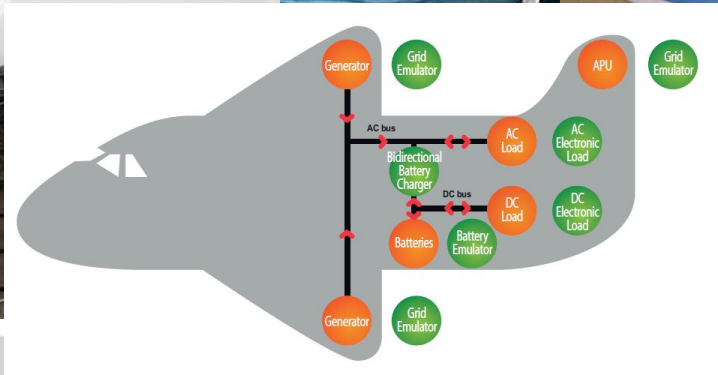
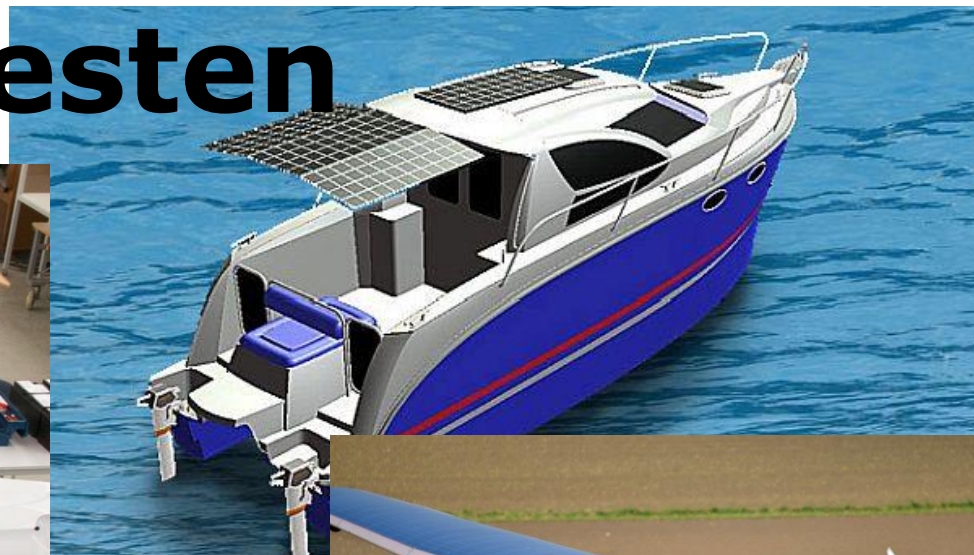
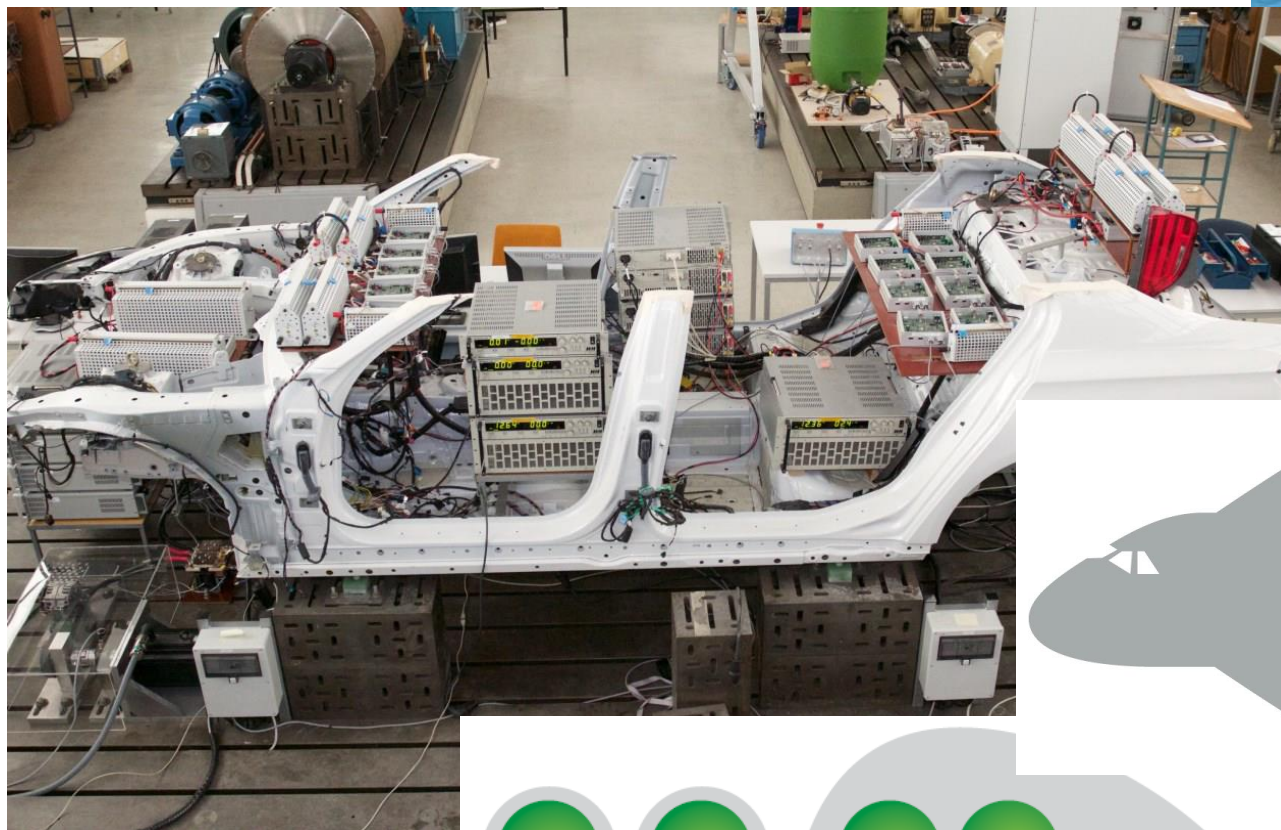
$$V_{Bat} = V_{Const} - K_{pol} \cdot \frac{Q_{cap}}{Q_{cap} - Ah} + A_{exp} \cdot e^{-B_{exp} \cdot Ah}$$




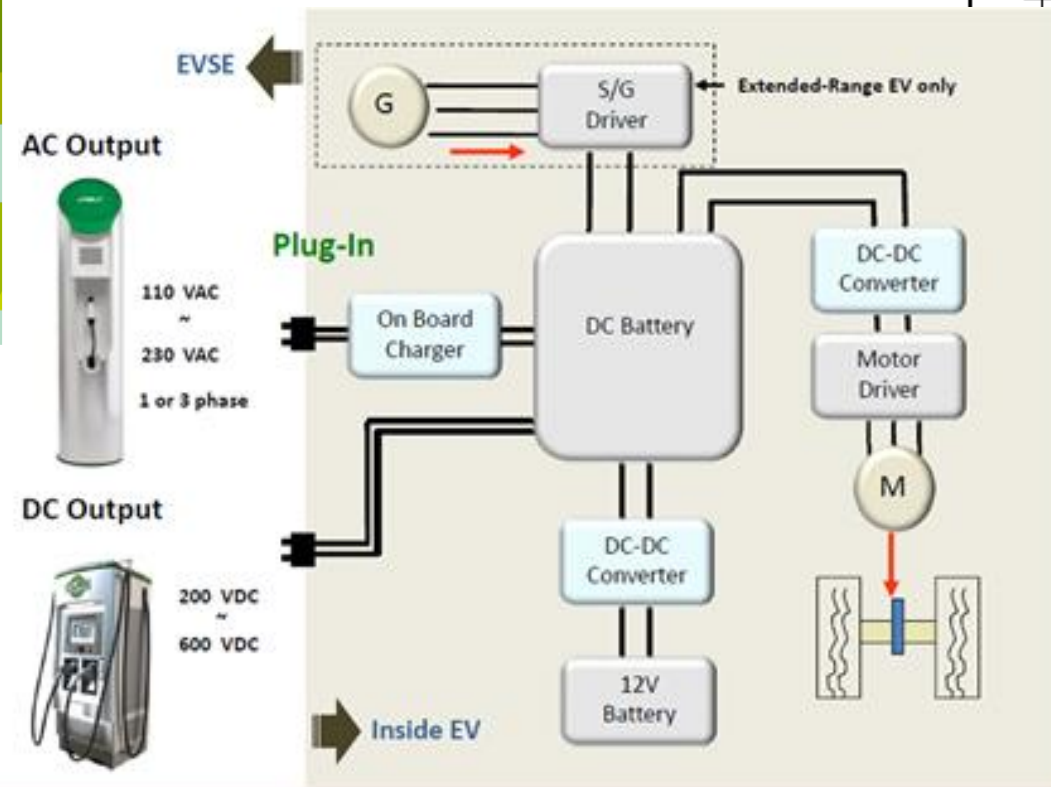
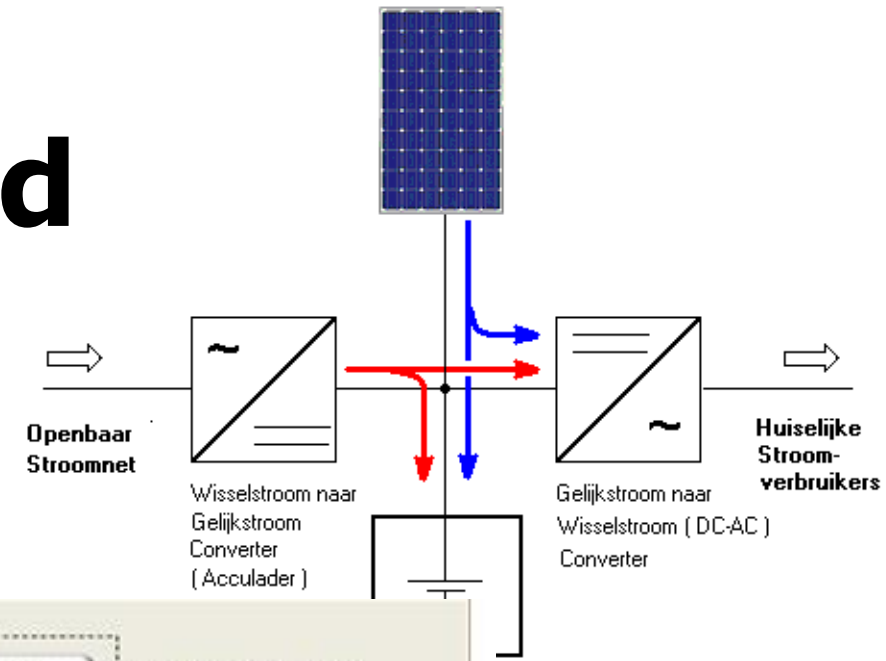
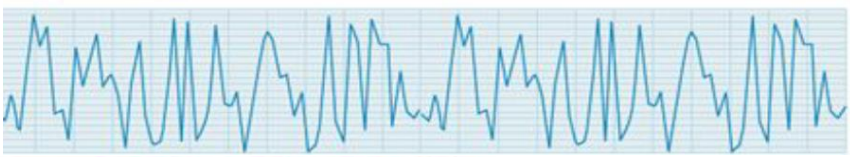
Batterij Emulatie

- Wat is batterij-emulatie
- Welke eigenschappen en mogelijkheden
- Toepassingen

Lader, omvormer testen

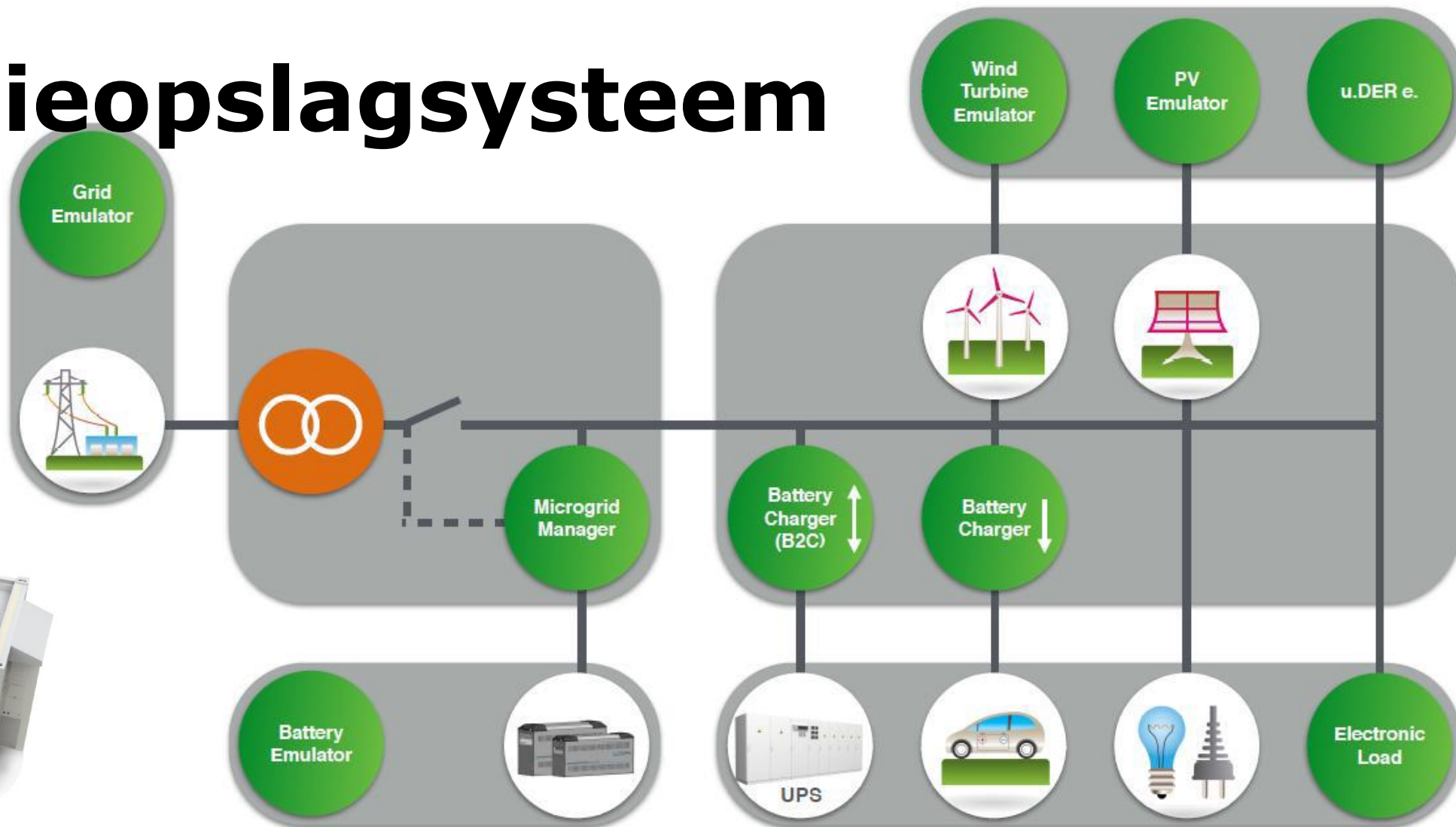


Acculader, EV test, grid



Mobiel
Grid
Microgrid

Energieopslagsysteem



Grid en Microgrid
V2G Vehicle to grid

Samenvatting toepassingen

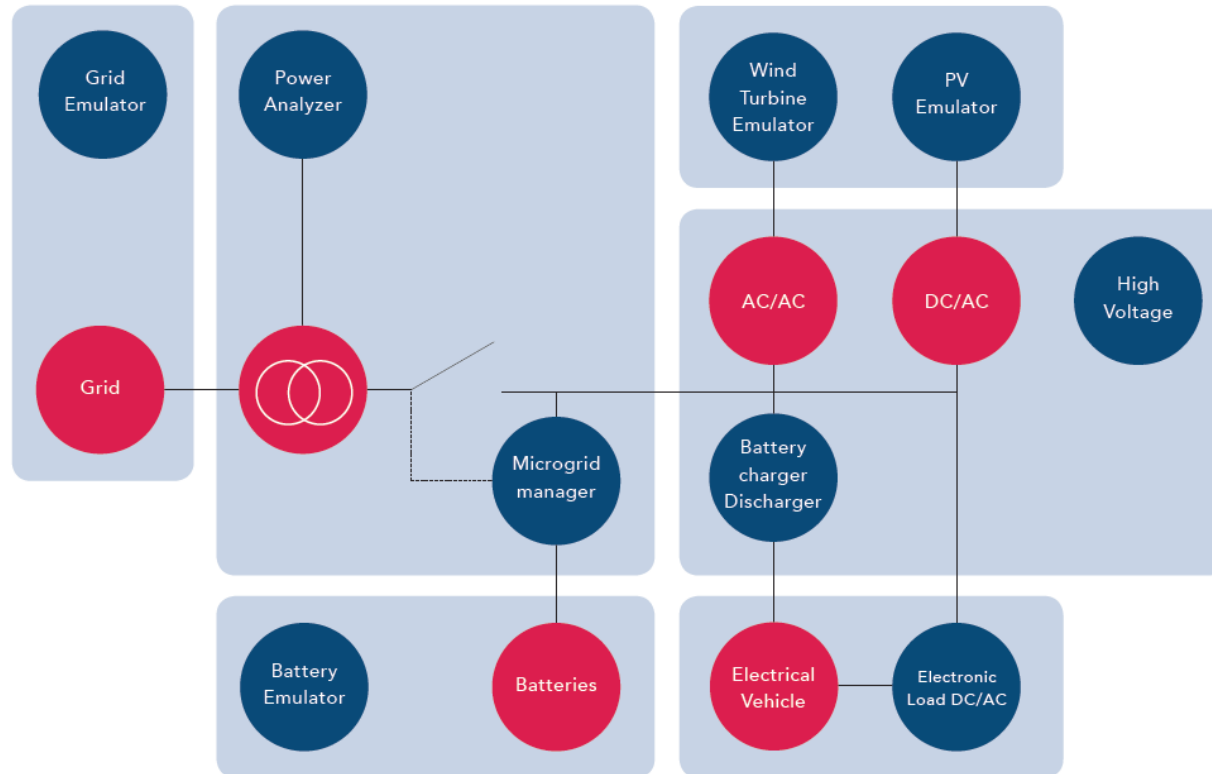
- Testen van acculaders
- Testen van omvormers, in elektromobiliteit en hernieuwbare energie
- Testen van het opslagsysteem
- Voertuig tot Grid (V2G) tests



Meer vermogenslektronica testen?



Test & Measurement is our Knowledge,
Customers are our Business



ENERGY STORAGE
EVENT

12 februari 2019

NH Conference Centre Koningshof

TTMS B.V.
Frankweg 25 - 27
2153 PD Nieuw-Vennep
Nederland

Tel: +31 (0)252 621080

www.ttms.nl

info@ttms.nl

ENERGY STORAGE EVENT

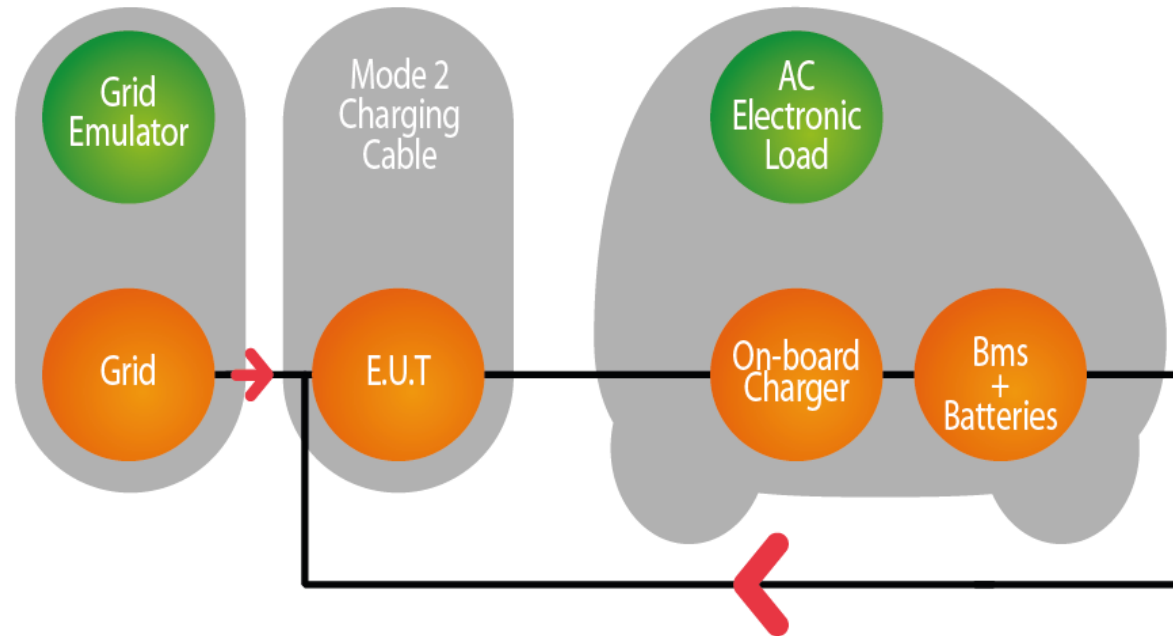
12 februari 2019 | NH Conference Centre Koningshof

Appendix



- Batterijtest, EV test algemeen
- Diverse uitvoeringen en oplossingen

Laadpaal testen regeneratief



De batterij emulator

