

ERASMUS
HOGESCHOOL
BRUSSEL



Modelling the RESS: Describing electrical parameters of batteries and electric double-layer capacitors through measurements

Bavo Verbrugge

*Erasmushogeschool Brussel
Vrije Universiteit Brussel*



Inhoud



- Inleiding
- Referentie test procedure
 - HPPC-test profiel
 - Equivalent batterij schema
 - Berekeningsprocedure
- Aangepaste berekeningsprocedure (verbeteringen t.o.v. de originele FreedomCAR methode)
- Test resultaten
 - FreedomCAR model
 - Thevenin batterij model
- Conclusies



Inleiding

- Simulatie software voor HEV & EV hebben nood aan accurate batterij modellen
- Verschillende batterij modellen
- Meerdere berekeningsprocedures
 - Elk model, eigen berekeningsmethode
 - Aanpassing van de FreedomCAR berekeningsmethode



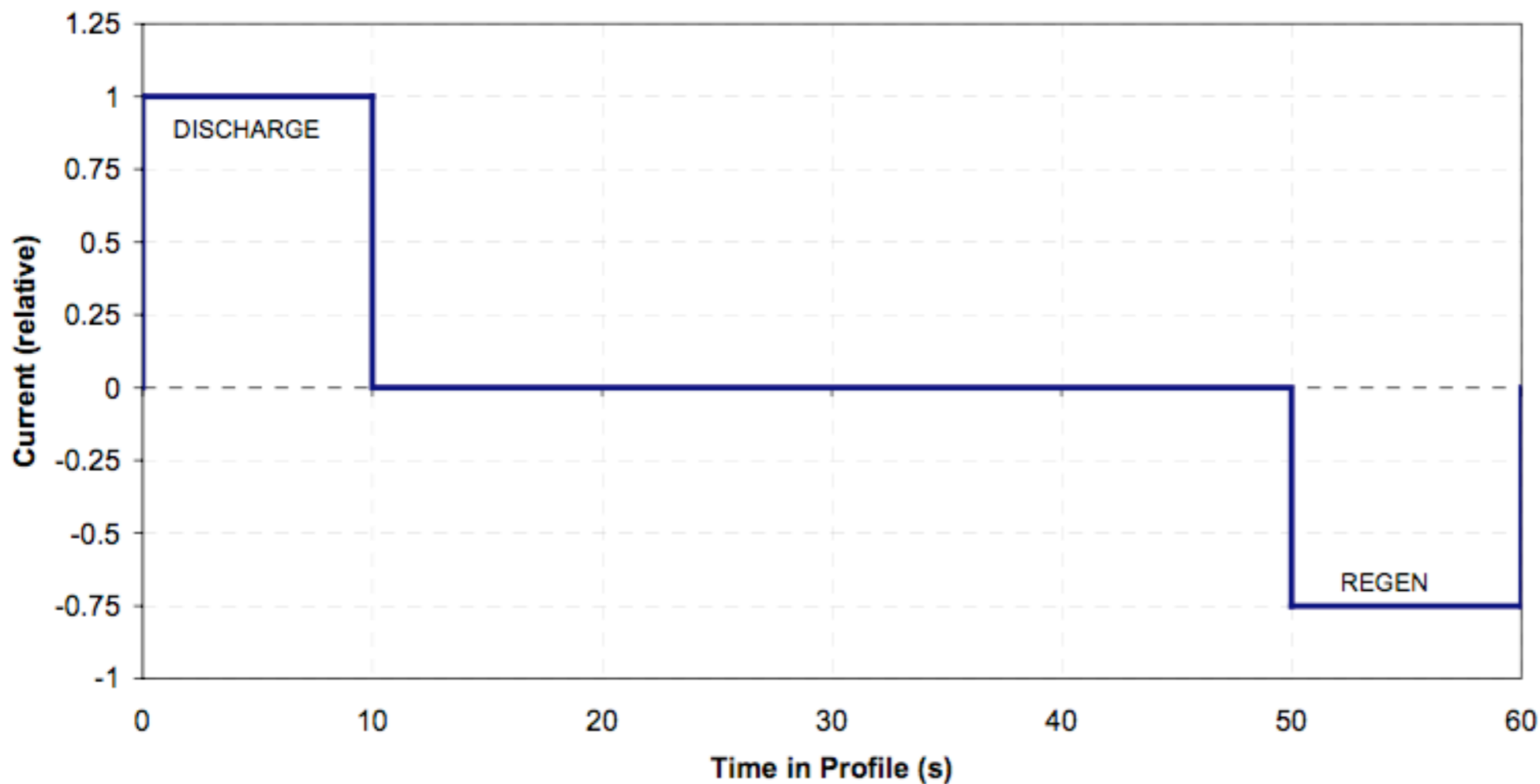
Referentie test procedure

- FreedomCAR Batterij test manual
 - Test-cyclus voor gepulseerde belasting
 - Equivalent batterij model
 - Bespreking berekeingsprocedure



HPPC-test profiel

- Hybrid Pulse Power Characterisation

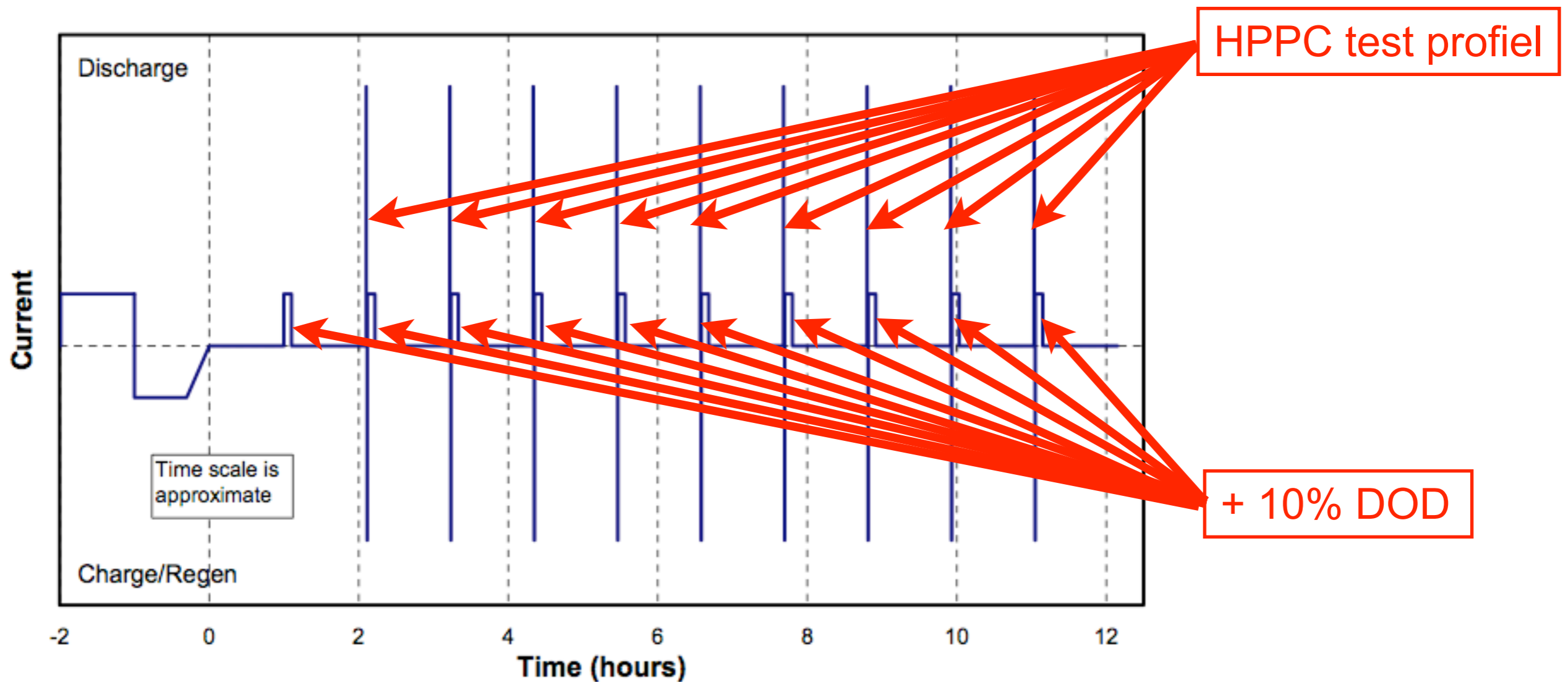




HPPC-test Profiel



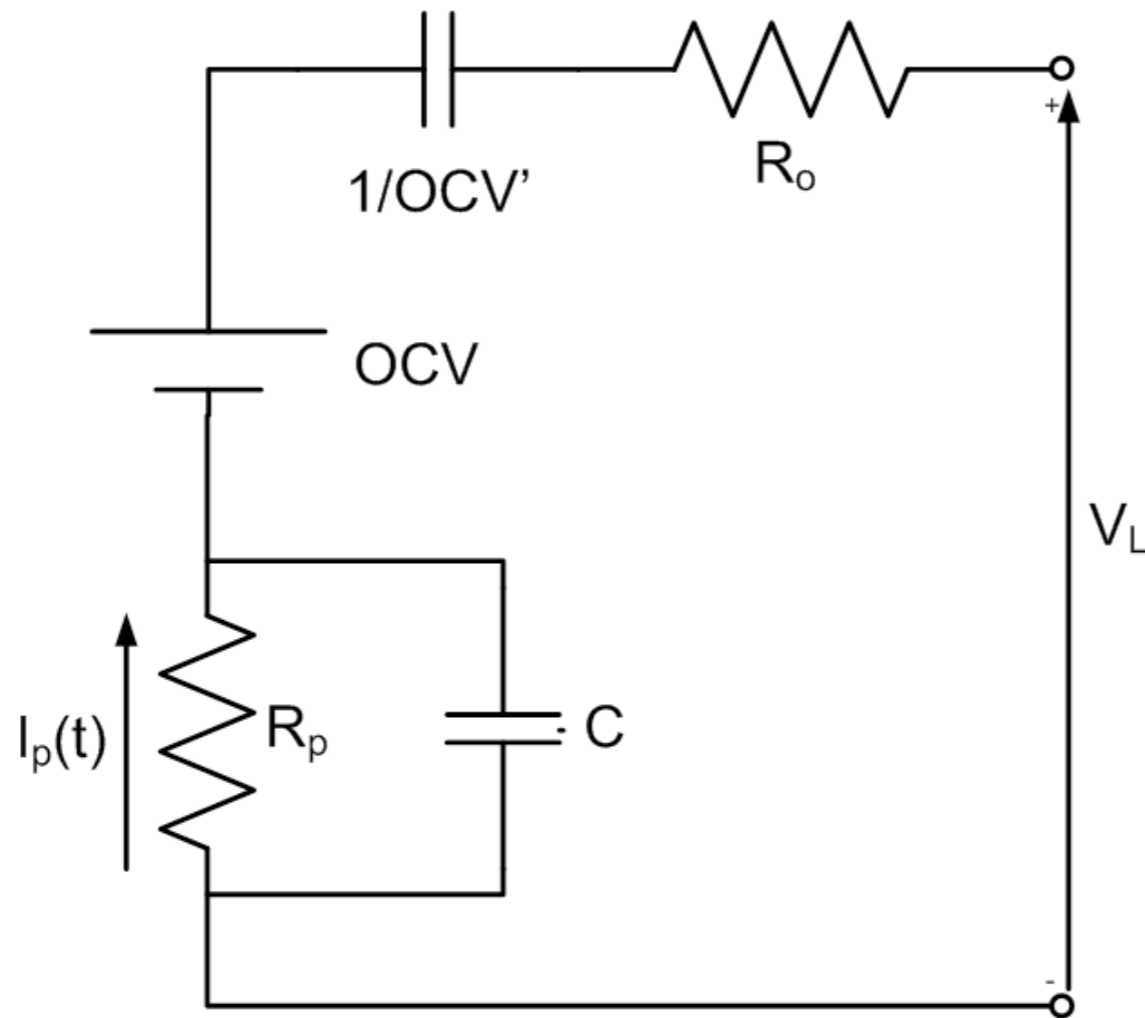
- Hybrid Pulse Power Characterisation





Batterij schema

- FreedomCAR model





Berekeningsmethode

- Iteratieve berekening (Kirchhoff Voltage Law, KVL)

$$V_L = OCV - OCV' \left(\int I_L \cdot dt \right) - R_0 \cdot I_L - R_P \cdot I_P$$

$$I_{P,i} = \left(1 - \frac{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}}{\frac{\Delta t}{\tau}} \right) \times I_{L,i} + \left(\frac{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}}{\frac{\Delta t}{\tau}} - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} \right) \times I_{L,i-1} + e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} \times I_{P,i-1} \Delta$$

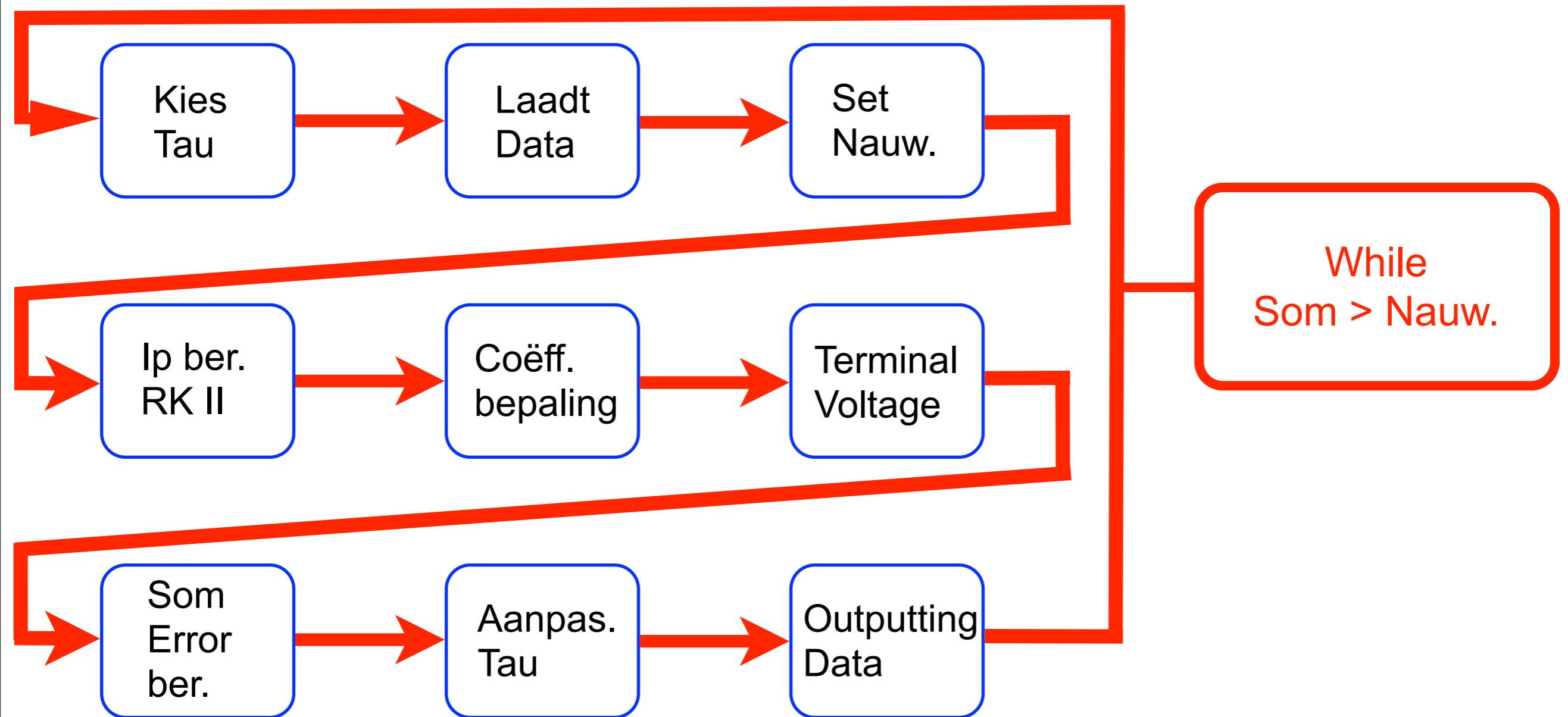
$$V_{L,i(est)} = OCV_0 + OCV' \cdot \left(\sum I_L \cdot \Delta t \right)_i - I_{L,i} \cdot R_0 - I_{P,i} \cdot R_P$$

Aanpassing berekeningsmethode

- Geschreven in Matlab[®]
- Verbeterde FreedomCAR methode
 - Automatische aanpassing van $\tau = R_p.C$
- Differentiaal vergelijking opgelost met de Runge Kutta II Methode



Matlab code





Matlab code

- Recentste aanpassingen
 - Werken met een interval van Tau
 - Bepaling van minimum aan gesommeerde fout
 - Herhaling voor elke puls
 - Herhaling voor elke cel
 - Volledig automatisch uit ruwe data



Regressie Data



stats =

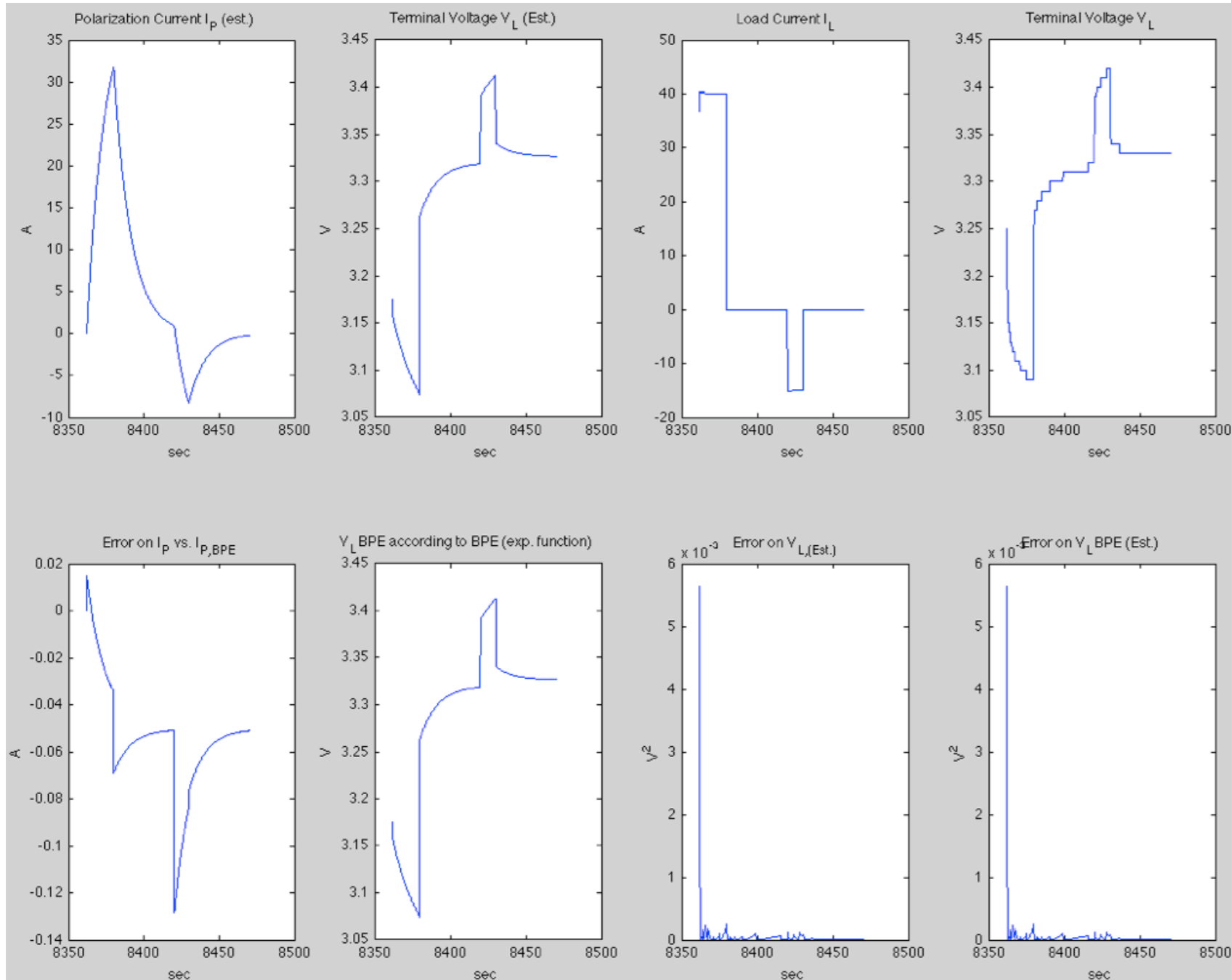
```
source: 'regstats'  
  Q: [1121x4 double]  
  R: [4x4 double]  
  beta: [4x1 double]  
  covb: [4x4 double]  
  yhat: [1121x1 double]  
  r: [1121x1 double]  
  mse: 3.5807e-05  
  rsquare: 0.9956  
  adjrsquare: 0.9956
```

CoeffTable =

Coef	StdErr	tStat	pVal
3.3491	0.0013654	2452.8	
3.9928e-05	2.2629e-06	17.644	
0.0047288	2.838e-05	166.63	
0.0018002	3.2502e-05	55.387	1.1858e-31



Grafische output





Test resultaten

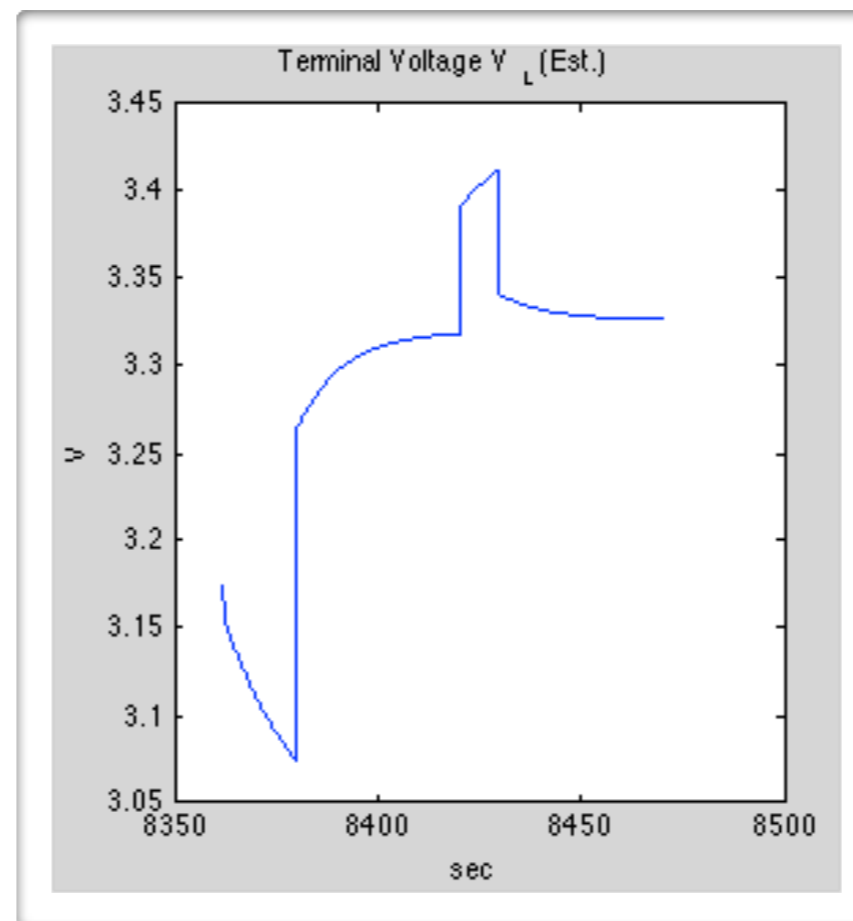
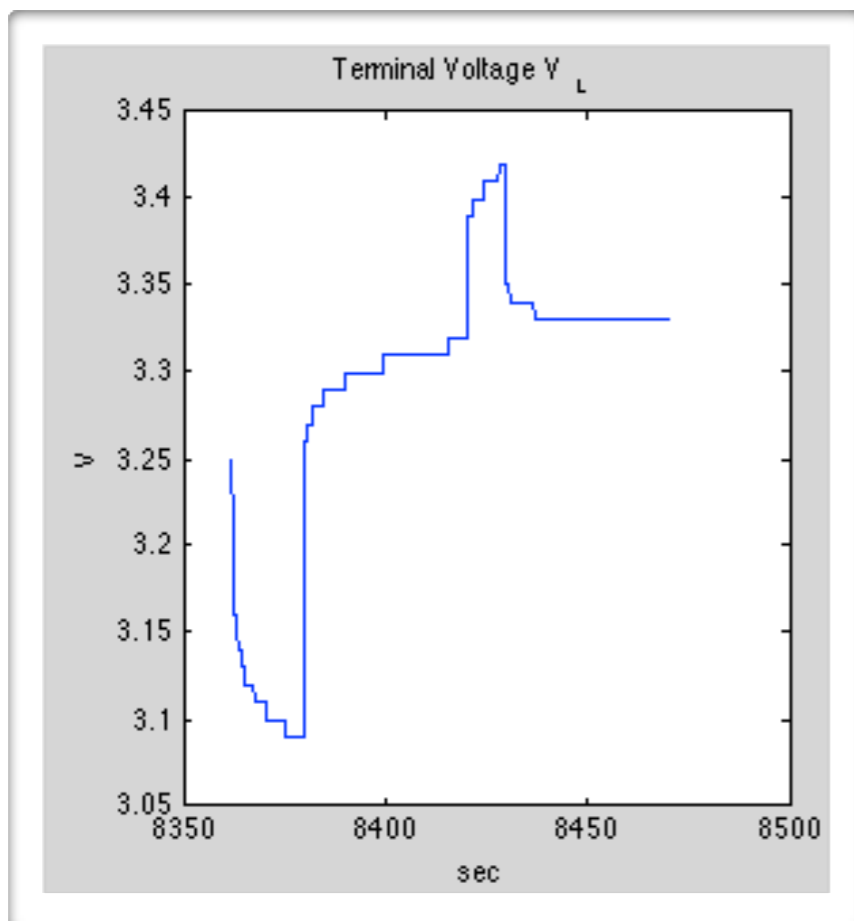


- FreedomCAR Methode
 - Regressie data output

τ	11,420		
r^2	0,9956		
Regression analysis			
OCV' [V/Asec]	R_p [Ω]	R_o [Ω]	OCV₀ [V]
3,99E-05	1,80E-03	4,73E-03	3,35E+00
2,26E-06	3,25E-05	2,84E-05	1,37E-03

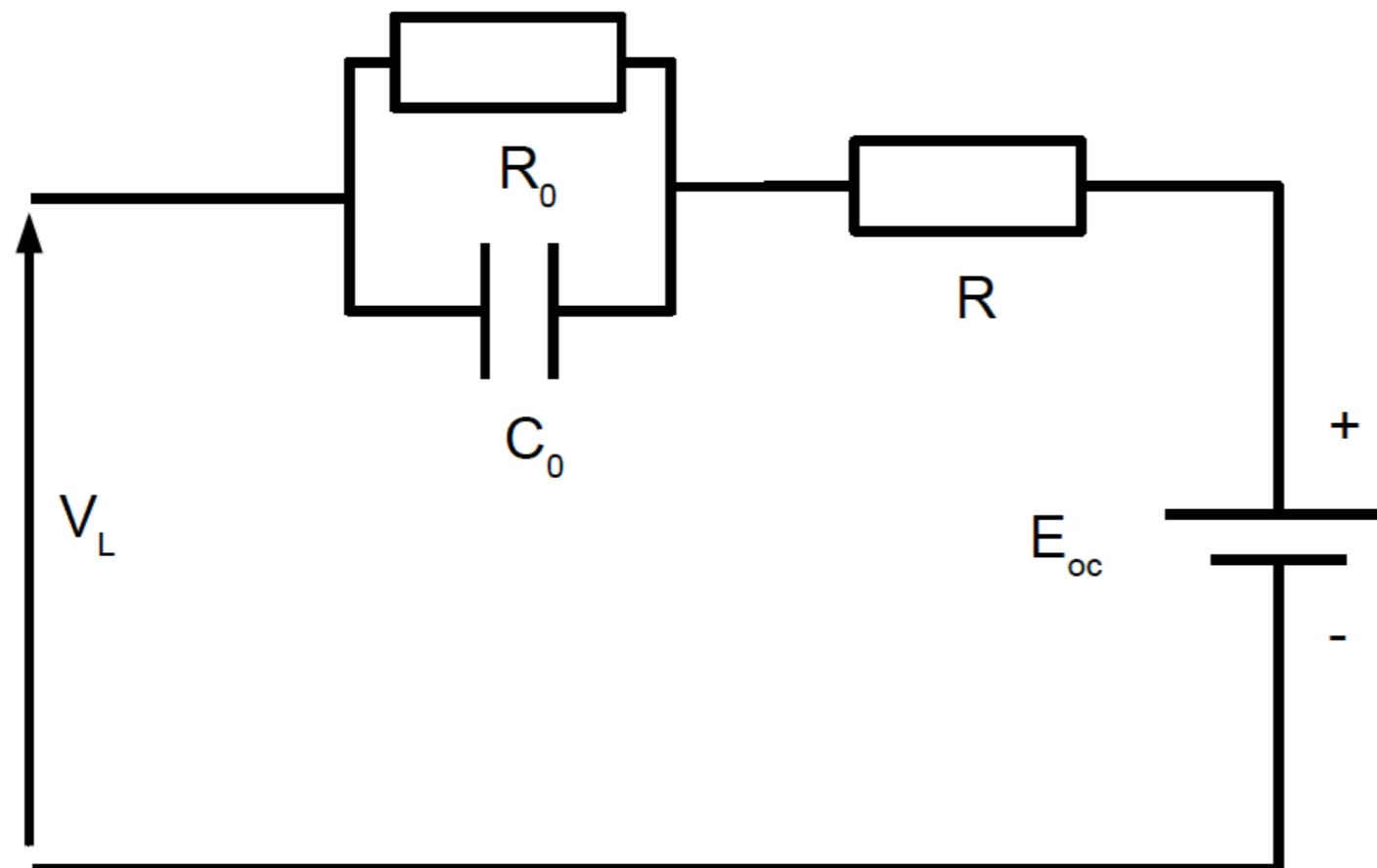
Test resultaten

- FreedomCAR Methode
 - Grafische output



Test resultaten

- Thevenin batterij model
– Schema





Test resultaten

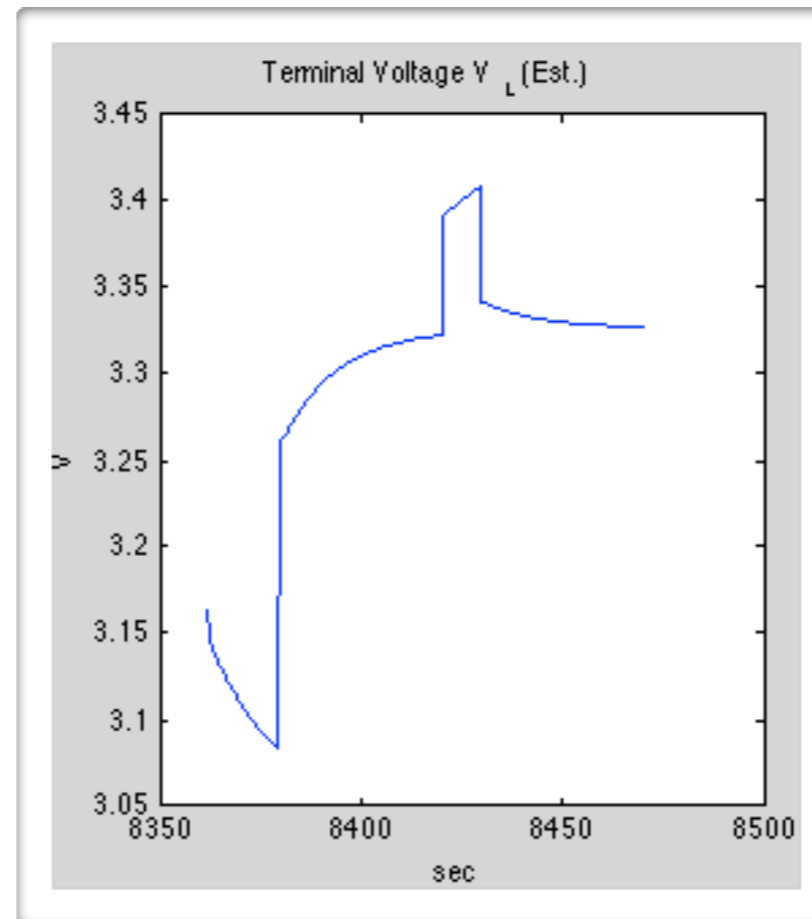
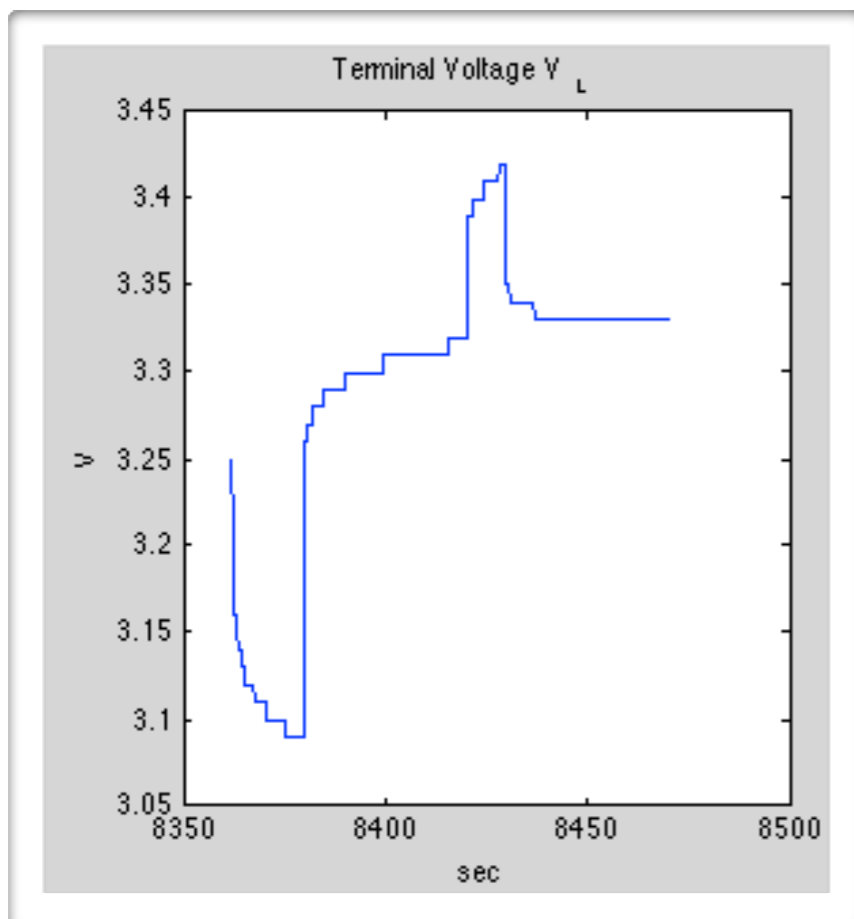


- Thevenin model
 - Regressie data output

τ	14,13	
r^2	0,9950	
Regression analysis		
R [Ω]	R_o [Ω]	<u>E_{oc}</u> [V]
4,41E-03	2,32E-03	3,33E+00
1,41E-05	2,46E-05	2,19E-04

Test resultaten

- Thevenin model
– Grafische output



Conclusies

- Sterk verband waargenomen tussen de gemeten en berekende waarden met de aangepaste methode
- Flexibele aanpassing van de procedure aan verschillende modellen
- Toekomstig werk => Extra modellen



Vragen?

Bedankt voor uw aandacht



Bavo.Verbrugge@vub.ac.be