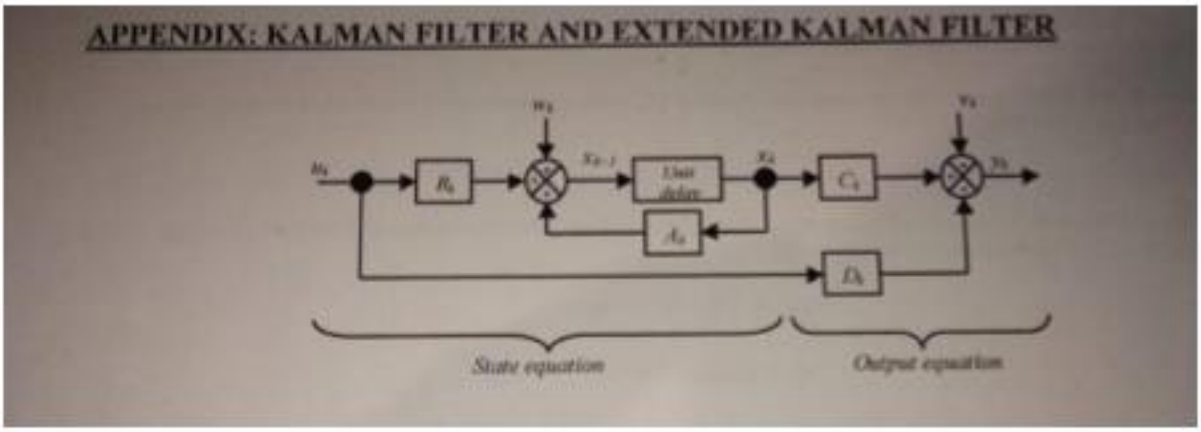
<u>STANDAARD State space vergelijkingen</u>

Er wordt vertrokken vanuit state-space vorm.




$$\begin{cases} x_k = A_k x_{k-1} + B_k u_{k-1} + w_k \\ y_k = C_k x_k + D_k u_k + v_k \end{cases}$$

U is de input.
X is de system state.
Y is de ouput.

V en W zijn errors op respectievelijk Y en U.

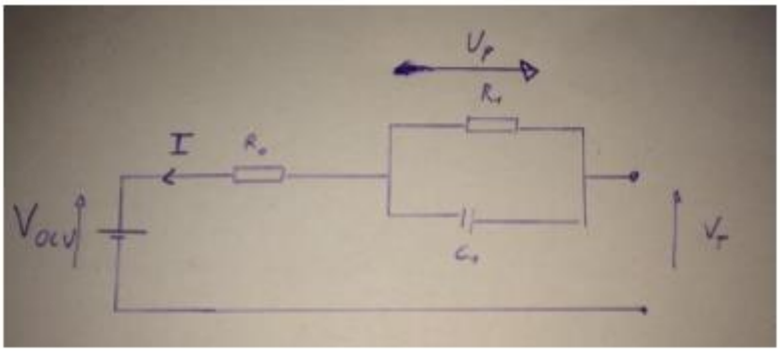
Xk is de systeem state vector op een tijdsindex k.

* De eerste vergelijking wordt de state vergelijking genoemd. Deze bevat de dynamiek van het systeem.

Uk is de input van het systeem die gemeten wordt. De meting kan echter resulteren in errors. Deze errors zijn de procesruis Wk

* De tweede vergelijking wordt de measurement vergelijking genoemd. Deze zal de output van het systeem modelleren Yk. Vk is de ruis op de meting van de output.

Elektrisch model




De stroom- en spanningsreferentiezinnen zijn hier aangeduid.

Dit model is gekozen als standaard model waaruit wordt vertrokken.

Differentiaal vergelijking van dit model

$$
\begin{cases}
V_T = V_{ocv} + U_p + I R_0 \\
\dfrac{dU_p}{dt} = \dfrac{I}{C_1} - \dfrac{U_p}{R_1 C_1}
\end{cases}
$$

Dit zijn de differentiaal vergelijkingen.

Discrete tijd omzetting

**Discretisatie** $\quad \frac{1}{s}$ stap in laplace

$$s \cdot U_p(s) - U_p(t_k) = \frac{I(s)}{s\, C_1} - \frac{U_p(s)}{R_1 \cdot C_1}$$

$$\rightarrow \left[ s + \frac{1}{R_1 C_1} \right] U_p(s) = \frac{I(s)}{s \cdot C_1} + U_p(t_k)$$

$$\rightarrow U_p(s) = \frac{\frac{1}{R_1 \cdot C_1}}{s\left(s + \frac{1}{R_1 C_1}\right)} \cdot I(s) \cdot R_1 + \frac{U_p(t_k)}{\left(s + \frac{1}{R_1 C_1}\right)}$$

$$U_p(t) = \left(1 - e^{-\left(\frac{t - t_k}{R_1 C_1}\right)}\right) R_1 \cdot I(t) + e^{-\left(\frac{t - t_k}{R_1 C_1}\right)} \cdot U_p(t_k)$$

sample time

$$U_p(t_{k+1}) = \left(1 - e^{\frac{-\Delta t}{R_1 C_1}}\right) R_1 \cdot I(t_k) + e^{\frac{-\Delta t}{R_1 C_1}} \cdot U_p(t_k)$$

$$V_{t,k+1} = V_{ocv,k+1} + U_{p,k+1} + I_{k+1} \cdot R_0$$

Deze omzetting naar de discrete tijd gebeurt aan de hand van de differentiaalvergelijkingen.

$$\begin{cases} U_{p,k+1} = U_{p,k} \, e^{\left(-\Delta t / \tau\right)} + \left[1 - e^{\left(-\Delta t / \tau\right)}\right] R_1 \cdot I_k \\ V_{t,k+1} = V_{ocv,k+1} + U_{p,k+1} + I_{k+1} \cdot R_0 \end{cases}$$

Nu kiezen zetten we deze discrete tijd vergelijkingen om naar state space met bijbehorende matrices.

STATE SPACE voor model

Om dit dit de state space vergelijkingen op te stellen gebruiken we de volgende vergelijkingen

$$\begin{cases} U_{p,k+1} = U_{p,k}\, e^{\left(-\Delta t/\tau\right)} + \left[1 - e^{\left(-\Delta t/\tau\right)}\right] R_1\, I_k \\ V_{t,k+1} = V_{ocv,k+1} + U_{p,k+1} + I_{k+1}\, R_0 \end{cases}$$

(1)Discrete tijd via differentiaal vergelijkingen

$$SOC(t_{k+1}) = SOC(t_k) + \frac{\Delta T \cdot \frac{(I_{k+1} + I_k)}{2}}{C_{TOT}} \cdot \eta$$

(2) De AH-tellen vergelijking (gemiddelde van sampletijd stroommeting?)

$$\begin{cases} x_k = A_k x_{k-1} + B_k u_{k-1} + w_k \\ y_k = C_k x_k + D_k u_k + v_k \end{cases}$$

(3) standaard state space vergelijking

$$\begin{cases} V_T = V_{ocv} + U_p + I\, R_0 \\ \frac{dU_p}{dt} = \frac{I}{C_1} - \frac{U_p}{R_1\, C_1} \end{cases}$$

(4) De differentiaalvergelijkingen

*Up is de activatie polarisatie spanning die hangt van zowel de vorige state als de huidige input. Deze wordt gekozen als de state vector X

X =$\begin{pmatrix} Up \\ SOC \end{pmatrix}$

*Ut is de gemeten klemspanning van de cellen. Deze wordt de ouputvariabele.

y =$(Ut)$

*I is de gemeten stroom die naar de cellen gaan. Deze wordt de inputvariabele.

u =$(I)$

<u>OPSTELLEN MATRICES</u>

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} U_{p,k} \\ SOC_k \end{bmatrix} = A_{k-1} \cdot \begin{bmatrix} U_{p,k-1} \\ SOC_{k-1} \end{bmatrix} + B_{k-1} \cdot \begin{bmatrix} I_{k-1} \end{bmatrix} + w_{k-1} \\ \begin{bmatrix} U_{t,k} \end{bmatrix} = C_k \begin{bmatrix} U_{p,k} \\ SOC_k \end{bmatrix} + D_k \begin{bmatrix} I_k \end{bmatrix} + v_k \end{cases}$$

$\downarrow$

$$\begin{cases} A_{k-1} = 2 \times 2 \text{ matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \\ B_{k-1} = 2 \times 1 \text{ matrix} & \text{voor dimensie} \quad \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} \\ C_k = 1 \times 2 \text{ matrix} & \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \end{bmatrix} \\ D_k = 1 \times 1 \text{ matrix} & \begin{bmatrix} d_{11} \end{bmatrix} \end{cases}$$

$$\begin{cases} w = 2 \times 1 \text{ matrix} \\ v = 1 \times 1 \text{ matrix} \end{cases}$$

$$\circledast \begin{cases} U_{p,k} = a_{11} \cdot U_{p,k-1} + a_{12} \cdot SOC_{k-1} + b_{11} \cdot I_{k-1} + w_{k-1} \\ \circledast\circledast \quad SOC_k = a_{21} \cdot U_{p,k-1} + a_{22} \cdot SOC_{k-1} + b_{21} \cdot I_{k-1} + w_{k-1} \end{cases}$$

$\circledast$

$\rightarrow$ uit discrete tijd : $U_{p,k} = e^{-\Delta t/\tau} \cdot U_{p,k-1} + R_1 \left[1 - e^{-\Delta t/\tau}\right] I_{k-1}$

$\Rightarrow$ $a_{12} = 0$ want $SOC_{k-1}$ heeft geen impact

$\rightarrow$ $a_{11} = e^{-\Delta t/\tau}$ en $b_{11} = R_1 \left[1 - e^{-\Delta t/\tau}\right] I_{k-1}$

$\circledast\circledast$

$\rightarrow$ uit Ah : $SOC_k = SOC_{k-1} + \dfrac{\Delta T \cdot \eta}{C_{Tot}} \cdot I_{k-1}$

$\Rightarrow$ $a_{21} = 0$ $U_{p,k-1}$ heeft geen impact

$\rightarrow$ $a_{22} = 1$ en $b_{21} = \dfrac{\Delta T \cdot \eta}{C_{Tot}}$

$$\boxed{\rightarrow A_k = \begin{bmatrix} e^{-\Delta T/\tau} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ en } B_k = \begin{bmatrix} R_1 (1 - e^{-\Delta T/\tau}) \\ \dfrac{\Delta T}{C_{TOT}} \eta \end{bmatrix}}$$

Matrices A en B zijn nu al gevonden door de eerste vergelijking van de discrete tijd te gebruiken.

$$\rightarrow \quad A_k = \begin{bmatrix} e^{-\Delta T/\tau} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{en} \quad B_k = \begin{bmatrix} R_1\left(1 - e^{-\Delta T/\tau}\right) \\ \frac{\Delta T}{C_{TOT}}\eta \end{bmatrix}$$

Nu worden C en D gezocht.

$$U_{T,k} = c_{11} \cdot U_{P,k} + c_{12} \cdot SOC_{,k} + d_{11} \cdot I_k + v_k$$

uit discrete tijd: $U_{T,k} = V_{OCV,k} + U_{P,k} + I_k \cdot R_0$

$\rightarrow \quad c_{11} = 1 \qquad d_{11} = R_0$

$c_{12} \rightarrow$ verband tussen $SOC_{,k}$ en $OCV_{,k}$ ?

D is gevonden $\rightarrow \quad D = [R_0]$

Bij het oplossen van de vergelijking stoten we op een probleem.

Wat is het verband tussen SOC en OCV? In de literatuur wordt dit op verschillende manieren gemoddeleerd.

<u>Voorbeeld 1</u>

$$C_k = [1 \;\; \partial U_{ocv,k} / \partial SOC_k]$$

<u>Voorbeeld 2</u>

$$\mathbf{C}_k = [-1 \quad \frac{dU_{oc}}{dSoC} - I_{L,k} \times \frac{dR_0}{dSoC}]$$

(Hier kwamen vragen over waarom differentialen?)

- ➔ Dit zijn eigenlijk constanten.  Geen differentiaalvergelijkingen
- ➔ De richtingscoëfficiënt van de raaklijn op een positie in de OCV-SOC curve wordt hier bedoeld.

<u>Mijn voorstel om OCV-SOC te modelleren:</u>

<u>BVB:</u>

OCV = 4*SOC^3+2*SOC^2+2*SOC^1+3

Deze functie zal dan gedeeld worden door SOC zodat er het volgende overblijft

OCV/SOC  = 4*SOC^2+2*SOC+2+3/SOC

Deze functie wordt in C gegeven zodat OCV eruit volgt als men OCV/SOC * SOC berekent

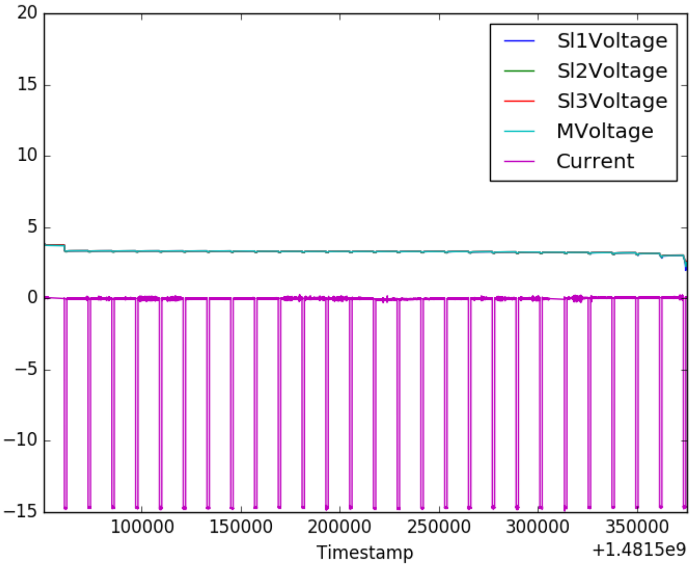
<u>Covariantie matrixen bepalen</u>

Onzekerheid op spanningsmeting en onzekerheid op stroommeting? Standaardafwijking van de meting veronderstellend dat de afwijking op de juiste waarde zich volgens een normale verdeling gedraagt.

Metingen

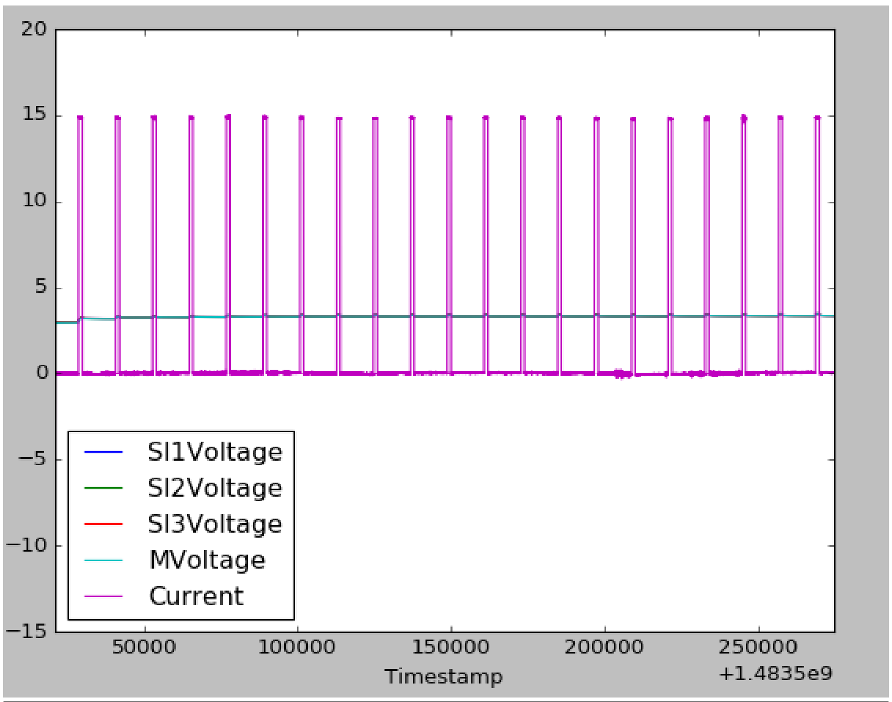
OCV-SOC curve bepalen →

Ontlaadproef




- → Overgang rond 100% SOC is slecht en moet opnieuw gemeten worden.
- → Meting als ondergrens 2.8V bedraagt mist relaxatie

Oplaadproef




- → Er ontbreekt nog het deel waarbij 4V bereikt wordt