

Implementierung und Validierung einer mittels kalorimetrischer Messungen parametrisierten elektrisch-thermischen Ersatzschaltung für Li-Ionen-Zellen in der Entwurfsplattform COSIDE

A. Melcher¹, B. Lei¹, M. Rohde¹, C. Ziebert¹, H.J. Seifert¹, M. Gulbins², T. Markwirth², J. Haase², B. Verhaag³

¹ Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Materialien - Angewandte Werkstoffphysik

² Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Institutsteil EAS

³ Hella KGaA Hueck & Co

Einführung und Motivation

Im Projekt IKEBA wurden für eine Simulationsumgebung zur Entwicklung von Batteriemanagementsystemen (BMS) Modelle für Li-Ionen-Zellen entwickelt. Die Parametrisierung von Zellen und Packs erfolgte auf der Grundlage von CIT- (Current Interruption Technique) Messungen bei unterschiedlichen Temperaturen. Die Modelle wurden in der Modellierungssprache SystemC AMS unter Verwendung von Lookup-Tabellen implementiert. Die Validierung erfolgte mit einem Stromprofil für ein Elektrofahrzeug auf Basis des NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus).

Messungen im Batteriekalorimeter

Elektrisches Ersatzschaltbild

Mathematisches Differentialgleichungsmodell:

$$\frac{dU_i}{dt} = \left(-\frac{1}{R_i C_i} + \frac{1}{R_i} \left(\frac{\partial C_i}{\partial SOC} \frac{1}{C_Q} I_L + \frac{\partial C_i}{\partial T} \left(-\frac{1}{R_T C_T} (T - T_a) + \frac{1}{C_T} Q \right) \right) \right) U_i + \frac{1}{C_i} I_L, i = 1, \dots, n$$

$$\dot{T} = -\frac{1}{R_T C_T} (T - T_a) + \frac{1}{C_T} Q$$

$$\dot{SOC} = -\frac{1}{C_Q} I_L$$

Batteriespannung:

$$U_L = U_{OC} - I_L R_0 + \sum_{i=1}^n U_i$$

3D-Plot einer Lookup-Tabelle (LUT)

Stromunterbrechungsmessung (CIT) und Parametrisierung

Lookup-Tabelle: Widerstand R_0 in $[m\Omega]$ (Beispiel)

SOC/Temp.	253 K	258 K	263 K	273 K	283 K	293 K
0	47.5	30.4	27.6	14.8	12.4	1.9
0.1	53.9	45.0	28.0	12.1	11.6	2.3
0.25	65.5	40.0	25.4	17.1	24.3	7.5
0.5	43.9	27.6	25.6	11.6	6.2	3.8
0.75	53.7	38.9	25.2	11.6	21.4	5.5
0.9	47.1	44.3	24.5	12.3	38.9	1.0
1.0	42.5	27.0	18.2	13.0	9.5	21.1

Innerer Batteriewiderstand $R_0(SOC)$:

$$R_0(SOC) = \frac{U_{R0}(SOC)}{I}$$

RC-Relaxation: (n: # Relaxationszeiten)

$$U_{relax} = \tilde{U}_g \left[1 - \sum_{i=1}^n f_i(R_0, \dots, R_n) \exp\left(-\frac{t}{R_i C_i}\right) \right]$$

Nichtlinearer Least-Squares-Fit:

$$J(R_0, \dots, R_n, C_1, \dots, C_n) = \sum_{j=1}^N \|u(t_j) - u_{relax}(t_j)\|_2^2 = \min!$$

Relaxationsparameter: $R_i(SOC), C_i(SOC), i = 1, \dots, n$

elektrisches Modell der Batteriezelle in SystemC AMS

Thermisches Modell der Batteriezelle in SystemC AMS

Validierung mit NEFZ

Spannungsverlauf, gemessen und simuliert

Einzelzelle

6s1p Zellpack

Zusammenfassung

- Spezifikation des elektrischen und thermischen Ersatzschaltbildmodells einer Li-Ionen-Zelle unter Verwendung von SystemC AMS
- Repräsentation der Parameter durch Lookup-Tabellen (LUT) und Füllen der LUT durch Stromunterbrechungsmessungen (Current Interruption Technique CIT) bei konstanten Temperaturen in einem Batteriekalorimeter
- Validierung des Modells mittels des NEFZ: Vergleich der mit diesem Stromprofil durchgeführten elektrochemisch-kalorimetrischen Messungen und der Simulationsergebnisse ergab gute quantitative Übereinstimmung.

Projektdaten des Vorhabens IKEBA

Laufzeit: 01.05.2013 – 30.04.2016
 Projektvolumen: 6,8 Mio. Euro
 Förderanteil: 65 %

Verbundkoordinator

Atmel Automotive GmbH
 Werner Brugger
 Lise-Meitner-Str. 15, 89081 Ulm
 Tel.: 0731 5094 248
 E-Mail: werner.brunner@atmel.com

Projekträger

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung