

Batteriemodell von Maplesoft hilft, bei HIL-Tests Einrichtungszeiten zu verkürzen, Sicherheit zu erhöhen und Kosten zu senken

Der Einsatz wiederaufladbarer Batterien in Consumer-Geräten, gewerblichen Anwendungen und industriellen Systemen nimmt weiterhin stark zu. Der Weltmarkt für Batterien wird dieses Jahr nach Angaben des Marktforschungsunternehmens Frost & Sullivan fast 74 Mrd. USD erreichen. 82% davon, entsprechend 60 Mrd. USD, sind wiederaufladbare Batterien.

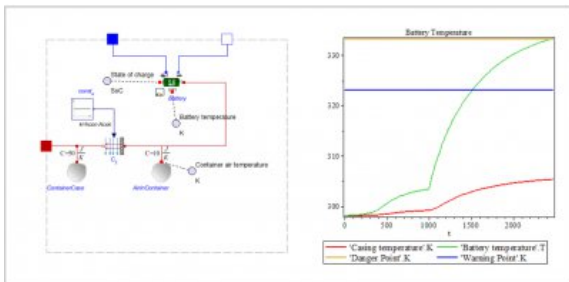


Abbildung 1: Simulation des thermischen Runaway mit dem Lithiumionen-Modell aus der MapleSim-Batteriebibliothek

Ein derartiges Wachstum hat mehrere Aspekte. Zum ersten sind große Unternehmen in den Markt eingetreten oder auf dem Weg dorthin, die Produkte – von Handgeräten bis zu großen USV-Systemen – entwickeln und anbieten. Zweitens müssen die Batterietechnologien, in dem Maß, wie die Systeme größer werden, die technischen Herausforderungen im Zusammenhang mit einer größeren Zellenkapazität, thermischen Stabilität, höheren Lebensdauer und ihrer Entsorgung erfüllen.

Erfüllen der technischen Herausforderungen

Die Überwachung und Steuerung großer Zellengruppen mit Batteriemanagementsystemen (BMS) hilft die Ladezeiten zu minimieren und den Wirkungsgrad und die Lebensdauer der Batterie zu maximieren. Entwicklung und Test leistungsfähiger BMS stellen jedoch eine Reihe von Herausforderungen dar, wie einer der weltweit größten Hersteller von Elektronikprodukten herausfinden musste. Deshalb hat er sich unlängst an Maplesoft und ControlWorks Inc., einen Integrator für Echtzeit-Testsysteme mit sehr viel Erfahrung bei der Entwicklung von BMS-Prüfständen, gewandt, um ein Hardware-in-the-Loop-Testsystem (HIL) für die BMS in einem ihrer größten Energiespeicherprodukte (ESS) zu entwickeln.

Eine attraktive Lösung für diese Herausforderungen ist der Einsatz virtueller Batterien – mathematischer Modelle von Batteriezellen, die das gleiche dynamische Verhalten wie reale Zellen zeigen – in den frühen Phasen beim Testen des BMS. Diese Modelle haben sich nicht nur als sehr genau erwiesen, sie sind auch äußerst recheneffizient und in der Lage, für Batterien, die Hunderte von Zellen enthalten, in Echtzeit ausgeführt zu werden.

Die von Maplesoft eingesetzte Technik zur Modellierung der Batterien arbeitet mit einer Technik zur Diskretisierung mittels partieller Differentialgleichungen (PDE), um das Modell auf einen Satz gewöhnlicher Differentialgleichung (ODE) zu reduzieren, die von Werkzeugen auf Systemebene, z.B. MapleSim, unmittelbar gelöst werden können. Die fortschrittlichen Features von MapleSim zur Modelloptimierung führen außerdem dazu, dass der erzeugte Code sehr schnell ist und in Echtzeit ausgeführt werden kann.

Die so entstandenen Batteriemodelle können in komplexen Multidomain-Systemmodellen für die Vorhersage der Lade- und Entladeraten, des Ladezustands (SoC), der Wärmeentwicklung und des Gesundheitszustands (SoH) über einen großen Bereich von Ladezyklen eingesetzt werden. Dieser Ansatz bietet die für Untersuchungen auf Systemebene benötigte Leistung bei geringsten Einbußen in der Genauigkeit der Modelle. Der Anwender kann außerdem Energieverlust durch Wärme simulieren, wodurch sich diese Modelle für thermische Studien zur Bestimmung der Komponentengröße in Kühlsystemen zur Beherrschung der Batterietemperatur eignen. Eine unzureichende Kontrolle der Temperatur kann zu einer Verkürzung der Lebensdauer oder in extremen Fällen zur Zerstörung und selbst zur Explosion durch „thermischen Runaway“ – ein Problem, das in vielen batteriegespeisten Systemen auftritt – führen.

Modellstruktur für diese Anwendung

Bei diesem Projekt zur Entwicklung eines ESS-Testsystems waren die folgenden Hauptanforderungen an das Batteriemodell vorgegeben:

- bis zu 144 Lithiumionen-Polymerzellen zum Testen des BMS der ESS-Produkte des Kunden
- einfache Konfigurierbarkeit für verschiedene Anforderungen (parallele/serielle Schaltungen)
- mehrere Sensoren pro Zelle (Strom, Spannung, SoC, SoH)
- Schwankungen der chemischen Zusammensetzung durch Herstellungstoleranzen
- Einfügen von Fehlern bei jeder einzelnen Zelle (Unterbrechung, Kurzschluss)
- Ausführbarkeit in Echtzeit (Zielbudget für die Ausführungszeit: 1 ms)

Bei Systemen zur Energiespeicherung, wie in diesem Beispiel, besteht jede ESS-Batterie aus mehreren „Stacks“, die wiederum mehrere Zellen enthalten. Das MapleSim-Modell folgt dieser Struktur, wobei jede Zelle ein gemeinsam genutztes, voll parametrisiertes Untersystem ist. Jede Zelle kann außerdem über logische Parameter auf „Unterbrechung“ geschaltet werden.

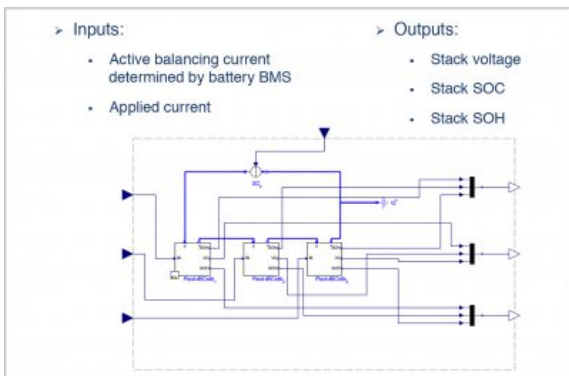


Abbildung 2: Modell des Zellen-Stacks

Das Stack-Modell besteht aus 18 Zellen-Subsystemen, die je nach den Anforderungen entweder parallel oder in Reihe geschaltet sind. Die Eingangssignale zum Ladungsausgleich werden vom BMS geliefert. Die Ausgangssignale werden zum BMS zurückgeleitet, um den Zustand des Stacks (Versorgungsspannung, SoC und SoH) zu überwachen. Das gesamte ESS besteht aus mehreren Stacks, wobei die I/O-Signale zum BMS geleitet werden bzw. von dort stammen.

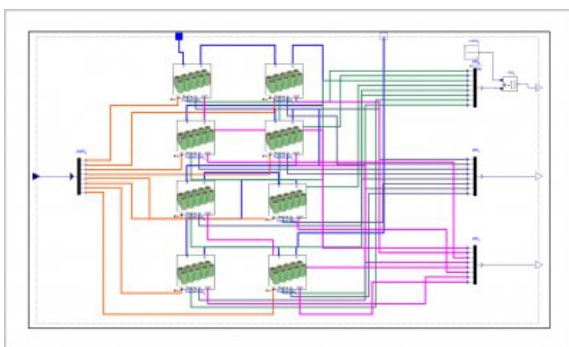


Abbildung 3: ESS-Batteriemodell

Kalibrierung und Validierung des Modells

Die Genauigkeit dieses Modells hängt stark von den experimentell abgeleiteten Parametern ab, die anhand der Testergebnisse beim Laden und Entladen ermittelt worden sind. Die Projektengineure hatten entschieden, dass alle Leistungsschwankungen durch Herstellungstoleranzen berücksichtigt werden mussten, um den Ladungsausgleich durch das BMS zu testen. Statt jede einzelne Zelle zu testen verließen sich die Ingenieure auf zufällige Varianten, die anhand der statistischen Verteilung der Testergebnisse von 48 Zellen beim Laden und Entladen bestimmt worden waren. Dies wurde auf alle 144 Zellen angewandt und anschließend mit den realen Messergebnissen verglichen. Die maximale Schwankung der Spannung in den experimentellen Daten betrug 14 mV, während sie in der Simulation bei 13 mV lag, was für die Zwecke dieses Projekts akzeptabel war.

Die Ingenieure von Maplesoft und ControlWorks Inc. bestimmten außerdem das durchschnittliche Verhalten der Zellen mit dem Parameter-Schätzungswerkzeug, das mit der MapleSim-Batteriebibliothek geliefert wird. Hierbei werden Optimierungstechniken eingesetzt, um die Werte der Parameter für die Reaktion der Zelle zu bestimmen, die am nächsten bei den experimentellen Ergebnissen liegen. Die Reaktion wurde anschließend mit den Reaktionsdaten anderer Zellen validiert, um eine genaue Schätzung des erzeugten Modells zu gewährleisten.

Das SoH-Verhalten wurde als Lookup-Tabelle auf der Grundlage experimenteller Ergebnisse implementiert. Das Modell bestimmt die Kapazität und den Innenwiderstand auf der Grundlage der Anzahl der Lade-/Entladezyklen und der Tiefe der Entladung (DOD) aus der Lookup-Tabelle.

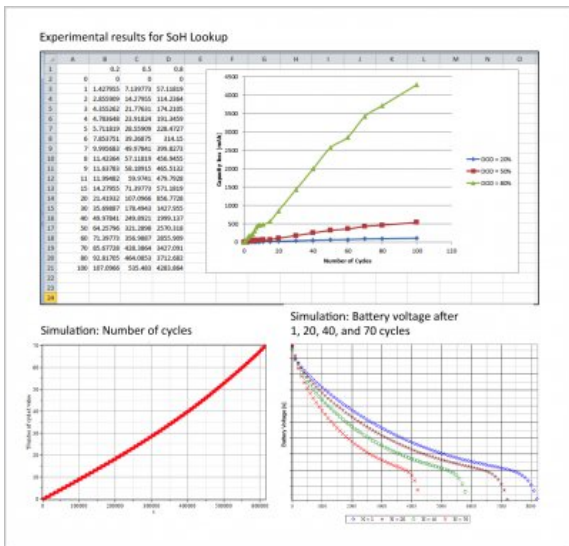


Abbildung 4: SoH-Simulation mit Auswirkungen auf die Batteriespannung

Zum Schluss wurde das Modell über den MapleSim-Connector in ANSI-C übersetzt, um eine S-Funktion des Batteriemodells zu erzeugen, das auf einem Desktoprechner in MATLAB/Simulink® mit einem Fixed-Step-Solver auf seine Leistung und Genauigkeit überprüft werden kann, bevor es auf eine Echtzeitplattform übertragen wird. Es wurde das einfachste Lösungsmodul verwendet, und die Leistungsermittlung zeigte, dass die durchschnittliche Ausführungszeit etwa 20-mal schneller als Echtzeit war, wodurch 5,5% des Zeitbudgets des Echtzeitsystems beansprucht wurden. Dies zeigt, dass sich das Batteriemodell bei Bedarf leicht aufwärts skalieren lässt.

Das Endresultat war ein Batteriemodell, das so konfiguriert werden kann, dass es einen Stack aus bis zu 144 Zellen darstellen kann, die sich in beliebigen Kombinationen aus Parallel- und Reihenschaltungen verbinden lassen. Außerdem wurden Fehlermodi, z.B. Kurzschluss oder Unterbrechung einzelner Zellen, vorgesehen sowie Schwankungen der Ladekapazität zwischen den einzelnen Zellen und die Abnahme der Kapazität während der Lebensdauer der Zellen.

Die fertige BMStest-Station erlaubt es den Ingenieuren des Kunden, das Batteriemodell zu konfigurieren (Anzahl der Zellen, Serien/Parallelschaltung usw.) und einer Reihe von Tests zu unterziehen. Die Ingenieure können jederzeit zum MapleSim™-Modell zurückkehren, um eventuelle erforderliche Änderungen der Modellkonfiguration vorzunehmen, und anschließend das Modell zum Einsatz auf der Echtzeitplattform erzeugen. Bei diesem System wird als Echtzeitsoftware VeriStand™ von National Instruments verwendet, das ein PXI-Echtzeitsystem ansteuert. Der MapleSim-Connector für NI VeriStand™ automatisiert die Integration des Modells, wodurch die Ingenieure das Echtzeitmodell schnell und zuverlässig erzeugen können.

Das System von ControlWorks Inc. fasst die Echtzeitplattform, die Signalverarbeitung, die Werkzeuge zum Einfügen von Fehlern und die Standard-Kommunikationsprotokolle (CANbus für automotive Systeme, Modbus für industrielle Anwendungen) zusammen und erlaubt es den Ingenieuren, das BMS einer Reihe von Tests mit dem Batteriemodell, einschließlich Lade- bzw. Entladezyklen mit konstantem Strom (CC) und konstanter Spannung (CC/CV) sowie Entladezyklen mit konstanter Leistung (CP) und konstantem Widerstand (CR), zu unterziehen.

„Wir haben uns gefreut, bei diesem Projekt mit Maplesoft zusammenarbeiten zu können“, erklärte hierzu Kenny Lee, PhD, Direktor des Forschungszentrums für automotive Elektronik, ControlWorks Inc. „In diesem Fall hat sich der Einsatz der Batteriemodelle als effektive Alternative zur Verwendung realer Batterien bewährt“, fügte er hinzu.

Zusammenfassung

Die Automatisierung und Simulation von Tests ist bei Tests auf Systemebene von besonderer Bedeutung, denn sie erlaubt es, alle Probleme mit dem Zeit- und Kostenaufwand für die Fehleranalyse, dem ständigen Entwicklungsdruck, den Ausgaben für wiederholte Tests und lange Einrichtungszeiten auf einen Schlag zu lösen.

„Der Einsatz fertiger, hochgenauer Batteriemodelle erlaubt es den Ingenieuren, das Risiko der Beschädigung von Batterien mit den entsprechenden Kosten auszuschließen und gleichzeitig die Entwicklungen von BMS in einer der Realität sehr nahe kommenden Umgebung zu testen und zu optimieren“, sagte Paul Goossens, VP Maplesoft Engineering Solutions.

Der Einsatz virtueller Batterietechnologie bei der Entwicklung von Testsystemen kann die Entwicklung besserer Produkte erleichtern, Projektrisiken verringern und dafür sorgen, dass die Produkte schneller auf den Markt kommen.

MATLAB und Simulink sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der The MathWorks, Inc.

Pull-Quote:

„Das MapleSim-Modell der Lithiumionen-Batterie ist wegen seiner nachgewiesenen Fähigkeit zur Ausführung in Echtzeit ausgewählt worden. Die Werkzeuge zur Codeerzeugung und Compilierung sind äußerst benutzerfreundlich. Dadurch lässt sich das Modell in das HIL-System besonders schnell und kostengünstig integrieren. Dies und der ausgezeichnete Entwicklungssupport durch das Team bei Maplesoft Engineering Solutions haben dafür gesorgt, dass dieses Projekt besonders schnell und reibungslos durchgeführt werden konnte.“

Kenny Lee, PhD,
Direktor des Forschungszentrums für automotive Elektronik, ControlWorks Inc.

Über Maplesoft

Maplesoft™, eine Tochtergesellschaft der Cybernet Systems Co., Ltd. in Japan, ist ein führender Lieferant von Hochleistungs-Softwarewerkzeugen für Technik, Wissenschaft und Mathematik. Hinter den Produkten steht die Philosophie, dass Menschen mit großartigen Werkzeugen großartige Dinge schaffen können.

Zu den Kerntechnologien von Maplesoft gehören die weltweit fortschrittlichste Engine für symbolische Berechnungen und revolutionäre Techniken zur Erstellung physikalischer Modelle. Kombiniert ermöglichen diese Technologien die Schaffung modernster Werkzeuge für die Konstruktion, die Modellierung und die Simulation mit höchster Leistung.

Die Produkte von Maplesoft helfen dabei, Fehler zu vermeiden, Entwicklungszeiten zu verkürzen, Kosten zu sparen und bessere Ergebnisse zu erreichen. Das Maplesoft Produktsortiment umfasst Maple™, die Umgebung für technische Berechnungen und Dokumentation, und MapleSim™, ein Multi-Domain-Werkzeug mit höchster Leistung zur Modellierung und Simulation physikalischer Systeme.

Ingenieure, Wissenschaftler und Mathematiker setzen die Produkte von Maplesoft ein, um besser, schneller und kreativer zu arbeiten. Zu den Kunden von Maplesoft gehören Unternehmen wie Ford, BMW, Bosch, Boeing, NASA, die Canadian Space Agency, Canon, Motorola, Microsoft Research, Bloomberg und DreamWorks in den Branchen Automobilbau, Luft- und Raumfahrt, Elektronik, Rüstungstechnik, Energie, Finanzdienstleistungen, Consumer-Produkte und Unterhaltung. Zusammen mit Toyota hat Maplesoft das Plant Modeling Consortium gegründet, um die Entwicklung neuer Konstruktionstechniken für den Automobilbau und verwandte Bereiche zu fördern. Mehr erfahren Sie unter www.maplesoft.com.

Über Cybernet Systems Co., Ltd.

CYBERNET SYSTEMS in Japan bietet weltweit führende Lösungen und Dienstleistungen in den Bereichen CAE und IT an. Weitere Informationen finden Sie unter <http://www.cybernet.co.jp/english/>.

MAPLESOFT

Auf der Hüls 198
52068 Aachen, DE
Johannes FRIEBE
Tel.: +49-241-980919-31
jfriebe@maplesoft.com

Maplesoft

615 Kumpf Drive
Waterloo, Ontario
Canada N2V 1K8
Tina GEORGES
Tel.: +1 519 747 2373 (ext 352)
tgeorge@maplesoft.com