

Immer volle Spannung

HiL-Prüfstand zum Test von Batterie-Management-Systemen

Aufgabe eines Batterie-Management-Systems (BMS) ist es, die Hochvolt-batterie stets im optimalen Bereich zu betreiben. Um das BMS an einem HiL-Prüfstand zu testen, benötigt man wiederum ein skalierbares, echtzeitfähiges Zellenmodell sowie eine Emulationseinheit zur Ausgabe der Zellklemmenspannung. Diese Tests sind wegen der sicherheitskritischen Einstufung unerlässlich.

Von Markus Plöger, Dr. Hagen Haupt und Jörg Bracker

Für den HiL-Test von Batterie-Management-Systemen ist die Simulation von Hochvoltbatterien auf Zellebene erforderlich. Die Firma dSpace stellt dafür ein skalierbares, echtzeitfähiges Zellenmodell und eine hochgenaue Emulationseinheit zur Ausgabe der Zellklemmenspannung zur Verfügung. Beide ermöglichen den Aufbau eines HiL-Simulators, um BMS automatisiert und reproduzierbar zu testen.

Batterien für Hybrid- oder Elektrofahrzeuge bestehen üblicherweise aus Lithium-Ionen-Zellen mit einer nominalen Spannung von etwa 3,6 bis 4,2 V. Durch Reihenschaltung werden Spannungen über 600 V erreicht. Dabei beeinflusst eine einzelne fehlerhafte Zelle das Verhalten der gesamten Batterie.

Wesentliche Aufgabe des Batterie-Management-Systems ist es daher, die einzelnen Zellen vor Überladung, Tiefentladung und Überhitzung zu schüt-

zen. Hierzu muss u.a. ein Ladungsausgleich zwischen den einzelnen Zellen durchgeführt werden (Cell Balancing), um einen stets gleichen Ladezustand aller Zellen zu gewährleisten. Zusätzlich muss das BMS die aktuelle Kapazität der Batterie abschätzen.

Gezielte Entladung einzelner Zellen

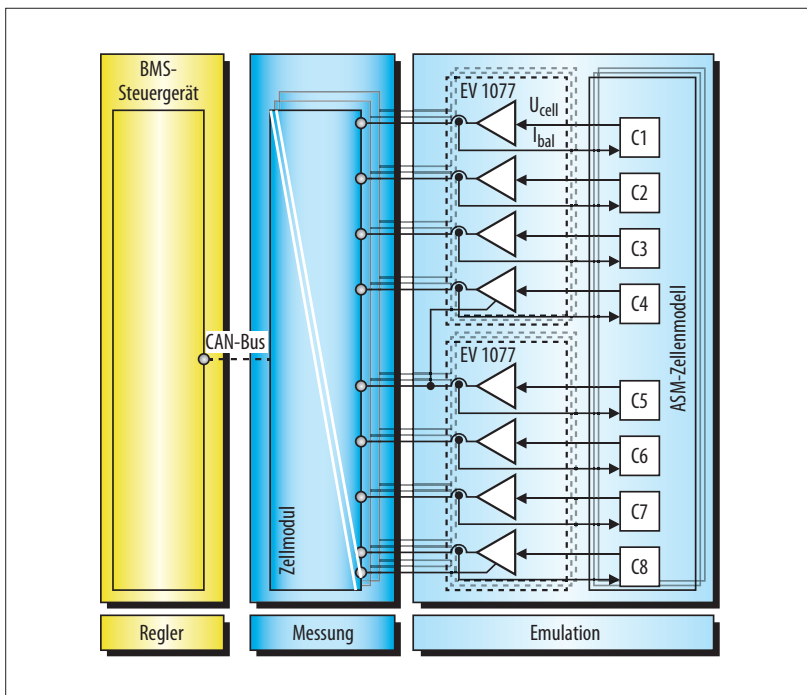
Ein BMS gliedert sich in das eigentliche BMS-Steuergerät und die Zellmodule (ZM). Beide sind über einen galvanisch isolierten CAN-Bus miteinander verbunden. Ein ZM ist jeweils einem Zellstapel zugeordnet.

Das ZM ist sowohl für die Messung der Zellspannungen als auch die gezielte Entladung einzelner Zellen zuständig. Dazu gibt es im ZM für jede Zelle einen Transistor, der im eingeschalteten Zustand die Zelle über einen Widerstand entlädt. Das übergeordnete BMS-Steuergerät sorgt dafür, dass immer die Zellen entladen werden, die eine höhere Spannung haben als die übrigen Zellen. Dieser Mechanismus hält alle Zellen der Batterie auf demselben Ladungs-Niveau.



Hochdynamische Testsysteme für EV/HEV Fahrzeuge

- Hochdynamische Lösungen zur Simulation und zum Testen von EV/HEV Systemen
- Simulation von Lastprofilen für HEV Batterien, frei parametrierbar sowie auf Basis einer Bibliothek von Standard Fahrzyklen
- Systeme für HEV Batteriesysteme, Supercaps und Brennstoffzellen
- Spannungsgesteuerte Stromquelle und Stromsenke für die Batteriesimulation



! Bild 1. Anstelle der realen Batteriezellen werden die Zell-Emulationsmodule an den Zellmodulen angeschlossen. Gesteuert werden sie vom ASM-Zellenmodell.

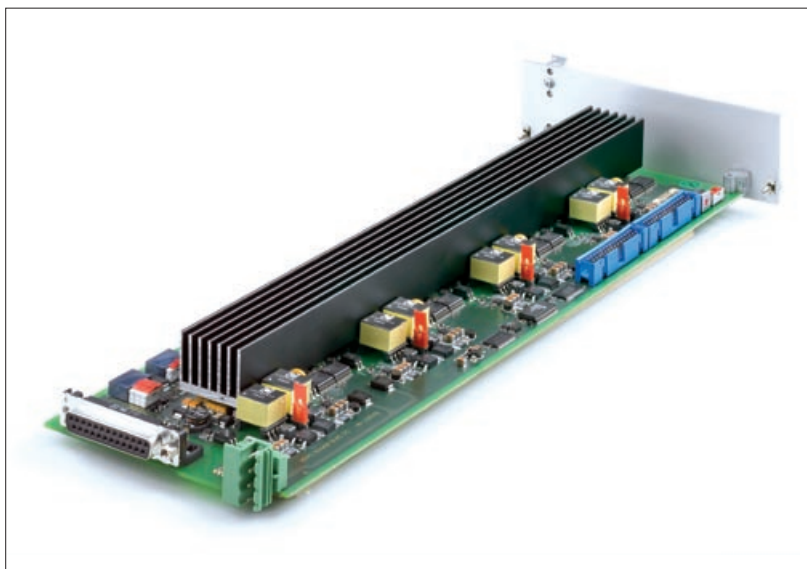
■ Systemtest vs. Test der Regelstrategie

Soll lediglich die Regelstrategie des BMS getestet werden, reicht es, das BMS-Steuergerät alleine zu testen. Die Zellmodule werden in diesem Fall mittels Restbussimulation über CAN simuliert.

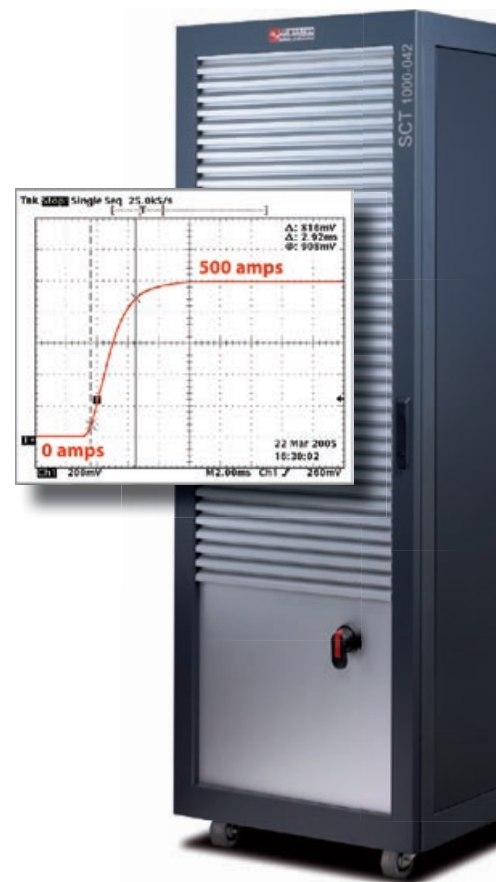
Für den Test des gesamten Batteriemagements muss mindestens ein ZM in das HiL-System integriert werden. Für den Closed-Loop-Betrieb sind sowohl ein echtzeitfähiges Batterie-

Simulationmodell als auch ein Zellspannungsemulator zur Ausgabe der analogen Klemmenspannung an das ZM erforderlich. dSpace stellt beides in Form des Multizellenmodells der Automotive Simulation Models (ASM) und des Batteriespannungs-Emulators EV1077 zur Verfügung (Bild 1, 2).

Im Unterschied zu herkömmlichen Batteriemodellen für die Bordnetzsimulation müssen Modelle für den Test von BMS das Verhalten der Batterie als Zusammenschaltung mehrerer Einzelzellen nachbilden.



! Bild 2. Zellspannungsmodul EV1077 von dSpace für vier Kanäle.



Ein Zellenmodell bildet dabei Zellenspannung und Ladungszustand einer Batteriezelle ab. Technologiebedingte Verhaltensunterschiede beim Laden und Entladen, das dynamische Verhalten bei Belastungssprüngen sowie Verlustströme werden berücksichtigt.

Modell berücksichtigt auch Verlustströme

Das Zellenmodell der ASM setzt sich aus einem Zellenmodell und einem Modell für den Ladungszustand zusammen. Das Zellenspannungsmodell ermöglicht die Parametrierung einzelner physikalischer Effekte wie Innenwiderstand, Diffusion und Doppelschichtkapazität. Das Ladungszustandsmodell berücksichtigt sowohl den Lade- und Entladestrom der Zelle als auch Verlustströme, wie sie z.B. durch Gasungseffekte beim Laden von NiMH-Zellen entstehen.

Ein kompletter Zellenverbund aus n Zellen kann durch die Zusammenschaltung von n Einzelmodellen gebildet werden. Bei großer Zellenanzahl ist so ein Modell allerdings schwer handhabbar und ggf. nicht mehr echtzeitfähig.

Das neue Multizellenmodell in ASM besteht aus einem komplexen

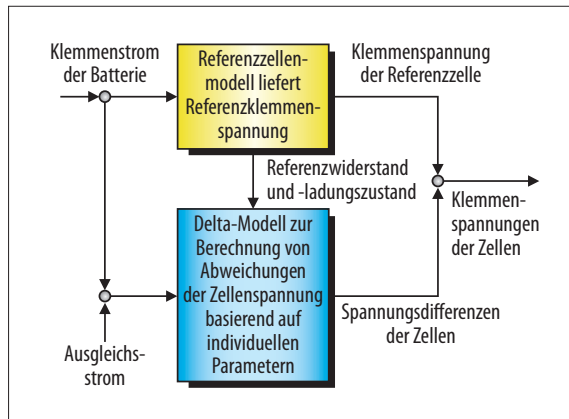


Bild 3. Die Referenzzelle erhält als Eingangswerte den Eingangsstrom des Zellenverbundes. Im Delta-Modell wird die Abweichung von der Klemmenspannung der i-ten Zelle berechnet. Aus der Klemmenspannung der Referenzzelle und der berechneten Abweichung kann dann die Klemmenspannung der i-ten Zelle berechnet werden.

Referenzzellenmodell zur Beschreibung des grundsätzlichen Verhaltens des verwendeten Zellentyps und einem Delta-Modell, in dem die Abweichung der Zellenspannung jeder einzelnen Zelle von der Referenzspannung berechnet wird. Dafür können Kapazität, anfänglicher Ladungszustand und die Abweichung vom Referenzwert des Innenwiderstandes für jede Zelle vorgegeben werden (Bild 3).

Dieser neue Modellierungsansatz verringert die Rechenzeit im Vergleich zu einer Reihenschaltung aus 100 Einzelzellenmodellen auf einem dSpace-Echtzeit-System um den Faktor 12. In

der Offline-Simulation ist die Einsparung noch deutlich größer.

Wie in der realen Batterie, müssen die Zellspannungen bei der Emulation ebenfalls in Reihe geschaltet werden, da die Messung der Zellspannung im ZM jeweils nur über eine Leitung erfolgt. Deshalb muss die Emulation aus galvanisch isolierten Spannungsquellen bestehen.

Lithium-Ionen-Zellen haben eine sehr flache Entladecharakteristik. Die Spannungsmessung im Steuergerät erfolgt daher mit hoher Genauigkeit. Deshalb muss auch die Emulation der Zellspannungen mit einer Genauigkeit von mindestens 1 mV erfolgen, und zusätzlich muss diese Genauigkeit auch bei auftretenden Ausgleichsströmen von einigen hundert mA erhalten bleiben.

Die Zell-Emulations-Hardware misst die Ausgleichsströme und gibt sie an das Batteriemodell für eine korrekte Simulation des Ladezustands weiter.

Eine vollständige HiL-Simulation schließt auch die Nachbildung fehlerhafter Zustände der Batterie ein. Dies kann die Simulation einer defekten Zelle mit veränderten Werten von Innenwiderstand oder Kapazität



Markus Plöger

studierte Elektrotechnik mit Schwerpunkt Automatisierungs-/Regelungstechnik an der Universität Paderborn. Seit mehr als zwölf Jahren ist er bei der dSpace GmbH in der Abteilung Application/Engineering im Bereich Hardware-in-the-Loop-Simulation tätig. Aktuell ist er dort Gruppenleiter für HiL, E-Drive und Testautomatisierungskundenprojekte.
mploeger@dspace.de



Dr. Hagen Haupt

studierte Elektrotechnik und promovierte im Bereich elektrische Messtechnik an der Universität Paderborn. Bei der dSpace GmbH leitet er im Bereich Application/Engineering die Modellierungsgruppe und ist damit auch für die Entwicklung der Automotive Simulation Models verantwortlich.
hhaupt@dspace.de



Jörg Bracker

studierte Elektrotechnik an der Ruhr-Universität Bochum. Er ist seit acht Jahren bei der dSpace GmbH als Gruppenleiter in der Abteilung Kundenspezifische Simulator-Hardware tätig.
jbracker@dspace.de

zität sein oder ein Kabelbruch bzw. ein Kurzschluss.

Bei schnellem Wechsel der Belastung einer Batterie verändert sich die Spannung an allen Zellen nahezu gleichzeitig. Daher müssen die einzelnen Zellen ihre Spannung innerhalb eines Modelltaktes ändern können. Das erfordert sowohl eine schnelle Übertragung der Sollwerte wie auch eine schnelle Ausregelung der Ausgangsspannung.

Weitere typische Forderungen sind Kurzschlussfestigkeit, Überlastfestigkeit sowie eine hohe Isolationsfestigkeit, da durch die Reihenschaltung hohe Spannungen erreicht werden können.

■ Aufbau der Emulationselektronik

Die Zellspannungsmodule liefern eine einstellbare Spannung im Bereich 0 bis 6 V. Der relativ weite Bereich erlaubt die Emulation schadhafter Zellen. Mit der Ausgabe von 0 V kann

zum Beispiel eine kurzgeschlossene Zelle emuliert werden. Eine höhere als die nominale Spannung emuliert hingegen einen erhöhten Innenwiderstand der Zelle beim Ladevorgang.

Die Genauigkeit der ausgegebenen Spannung beträgt ± 1 mV über den gesamten Arbeitstemperaturbereich. Die galvanische Isolierung erlaubt eine Reihenschaltung der Module bis zu einer Gesamtspannung von 800 V. Ein Sollwertsprung ist in weniger als 500 μ s vollständig ausgeregelt. Sämtliche Zellmodule erhalten ihren neuen Sollwert in weniger als 1 ms.

Jeder Kanal kann maximal 1 A liefern bzw. aufnehmen. Er ist damit für die üblichen Ausgleichsströme ausreichend dimensioniert. Für besondere Anforderungen können bis zu vier Module parallelgeschaltet werden, wodurch ein entsprechend vierfacher Strom erreicht wird.

Durch die kompakte Bauform können in einem Standard-3-HE-19-Zoll-Einschub bis zu 32 Kanäle untergebracht werden. Für die maximale Zel-

lenzahl von 128 werden nur vier solcher Einschübe benötigt.

■ HiL-Integration der Emulationseinheit

Der Datenaustausch zwischen dem Echtzeit-Prozessor und der Zellspannungs-Emulations-Hardware erfolgt über eine LVDS-Schnittstelle. Sie gewährleistet sowohl eine hohe Genauigkeit als auch die galvanische Isolation. Eine Steuerkarte empfängt die Sollwerte der einzelnen Zellen vom Echtzeit-Prozessor und überträgt die Daten galvanisch isoliert an die einzelnen Module zur Zellspannungsemulation. Neben den Sollwerten werden auch Steuerkommandos zum Schalten von Relais empfangen. In umgekehrter Richtung werden die gemessenen Zellströme sowie die Temperatur jedes Moduls übertragen. Die Relais auf einem Modul haben die Aufgabe, die Verbindung zum Steuergerät herzustellen oder zum Zwecke der Fehlersimulation zu trennen. *sj*

DESIGN & ELEKTRONIK

ENTWICKLER FORUM

5. OKTOBER 2011

MÜNCHEN

ULTRA LOW POWER

Niedrigstenergie-Elektronik entwickeln und versorgen

Vor dem Hintergrund der aktuellen Energiediskussion wird möglichst niedriger Energieverbrauch noch aktueller – zudem ist geringe Stromaufnahme bei mobilen Geräten ein Wettbewerbsvorteil.

Das Entwicklerforum „Ultra Low Power“ informiert über die neuesten Techniken und Lösungsansätze am 5. Oktober 2011 in der TU München.

Themenschwerpunkte:

- Technologie als Basis für Low-Power-Lösungen
- Niedrigstenergie-Schaltungen und -Module
- Energy Harvesting – Betrieb von Elektronik mit kleinsten Energiemengen
- Energie effizient verwerten – Verbrauch optimieren per Hard- und Software

Ausführliche Informationen unter:

www.ultra-low-power-entwicklerforum.de