

Optimierung der Genauigkeit von Batteriemanagement-Systemen (BMS) für Elektrofahrzeuge, P-HEVs und HEVs

Die Technik der Batteriemanagementsysteme (BMS) im Automobil hat im Laufe des letzten Jahrzehnts einen weiten Weg zurückgelegt. Mittlerweile spielen verschiedene Features in ICs zum Mehrzellenausgleich (MCB, Multi-Cell Balancing) eine entscheidende Rolle, um den strengen Anforderungen an Sicherheit, Zuverlässigkeit und Performance in Elektrofahrzeugen (EVs), Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeugen (P-HEVs) und Hybrid-Elektrofahrzeugen (HEVs) zu genügen. Im nächsten Schritt müssen sich IC-Hersteller auf weitere funktionale Optimierungen konzentrieren, indem sie Schlüsselmerkmale wie einen internen Zellenausgleich und Strommessung integrieren.

Zu den kritischen Funktionen eines BMS-ICs zählt die genaue Messung von einzelnen Zellenspannungen, wodurch die Reichweite des Fahrzeugs sowie die Gesamt-Lebensdauererwartung der Batterie direkt beeinflusst werden. Die Zellengenauigkeit ist von besonderer Bedeutung für diejenigen Batteriezellentypen, die eine flache Entladungskurve aufweisen. Ein Beispiel dafür ist die Lithium-Eisenphosphat-Batterie, die wegen ihrer niedrigen internen Impedanz zu kleineren Packs verhilft. Bei diesen Zellentypen müssen die Systemingenieure bereits kleine Veränderungen der Zellenspannung erkennen, wenn sich die Batterie entlädt. Da sie sich auf die Probleme beim Systemdesign auswirkt, wurde die Erfassung dieser Zustände besonders wichtig für die genaue Berechnung von Ladezustand (SOC, State of Charge) und Gesundheitszustand (SOH, State of Health) der Batterie.

Dieser Beitrag untersucht die Auswahlkriterien von BMS-ICs, welche die Entwickler von Batteriesystemen beachten müssen, um die Messgenauigkeit bei Zellen über die gesamte Betriebsumgebung und Lebensdauer des Fahrzeugs hinweg sicherzustellen. Die Messung dieser kleinen Veränderungen der Zellenspannung erfordert eine ausgereifte Kombination von analogem Frontend (AFE), einer genauen und stabilen Spannungsreferenz sowie eines präzisen Analog-zu-Digital-Wandlers (ADC), was eine beträchtliche Herausforderung beim Design von MCB-ICs darstellt. Für Kraftfahrzeughersteller ist eine sorgfältige Auswahl des MCB-ICs zu Beginn der Systementwicklung Voraussetzung für eine erfolgreiche BMS-Implementierung, und dafür wiederum muss man die Unterschiede in der Messgenauigkeit und Stabilität der verschiedenen IC-Anbieter verstehen.

Schlüsselemente in einem Mehrzellen-Ausgleichs-IC

Im Herzen jedes MCB-ICs befindet sich eine Präzisions-Referenz. Die eingesetzten Referenztopologien können variieren, jedoch finden wegen ihres optimalen Kompromisses zwischen Genauigkeit und Platzbedarf tendenziell vorwiegend Bandgaps (Bandlücken) Verwendung. Zum Beispiel enthält der Mehrzellen-Li-Ion-Batteriemanager ISL78600 ein hochgenaues Bandgap-Referenzdesign, das eine gute Erfolgsbilanz aufweist und sich sehr gut für den Einsatz in anspruchsvollen Kraftfahrzeuganwendungen eignet. Die Technologie ist stabil, ausgereift, bestens charakterisiert und wurde in mehrjährigem Einsatz optimiert, untermauert durch eine erhebliche Menge von Performance-Daten aus der realen Welt. Durch ihre hervorragenden Leistungskennwerte ist die Bandgap-Referenz über die Einsatzlebensdauer eines MCB-ICs sehr stabil und linear, Das ist für Entwickler eine der wesentlichsten Erwägungen bei der Berechnung der Batterielebensdauer, und es beeinflusst die Garantie- und Gesamtbetriebskosten eines Automobilherstellers unmittelbar.

Gemeinsam mit einer präzisen Referenz ist der ADC ein weiterer wichtiger Funktionsblock zur Messung der Genauigkeit. Hier müssen IC-Designer entscheiden, welche ADC-Ausführung sie als den Hauptblock zur Messung der Zellenspannung verwenden wollen. Die beiden meistverbreiteten und meistverwendeten ADC-

Typen sind SAR (Successive Approximation Register) und Delta-Sigma. Mit der schnellsten Abtastrate der beiden Technologien bietet SAR eine High-Speed-Spannungsumwandlung und eine hervorragende Rauschfestigkeit, braucht jedoch im Allgemeinen viel Platz auf dem Chip. SAR-ADCs stellen darüber hinaus die beste Kombination von Datenerfassungs-Geschwindigkeit, Genauigkeit, Robustheit und Unempfindlichkeit gegen Auswirkungen von elektromagnetischen Störungen (EMI) dar.

Andererseits lieben IC-Entwickler die Delta-Sigma-ADCs, weil sie normalerweise weniger Chipfläche benötigen und verhältnismäßig einfach zu implementieren sind. Sie sind jedoch tendenziell langsamer, weil sie ein Dezimationsfilter verwenden, das die Erfassungsrate und die Geschwindigkeit der Datenerfassung reduziert. Zur Behebung dieses Problems setzen die Designer zwei oder mehr Delta-Sigma-ADCs in einer überlappenden Konfiguration ein. Außerdem ist bei der Implementierung von Delta-Sigma-ADCs zu beachten, dass sie dazu neigen, in Sättigung zu gehen, wenn sie EMI ausgesetzt sind, was Fehlmeldungen über die Zellenspannungen zur Folge hat.

Die Schnittstelle der einzelnen Zellen wird durch das AFE verwaltet, das Eingangspuffer, Pegelwandler und Fehlererkennungsschaltungen gegeneinander abgleicht. Das AFE ist zudem entscheidend für das Handling der "Hot-Plug"-Transienten, wenn die Zellen zu Anfang mit dem BMS verbunden werden. Der ISL78600 wurde mit einem voll differenziellen AFE entwickelt, das die Messung negativer Eingangsspannungen ermöglicht, ohne die Messung benachbarter Zellen zu beeinträchtigen. Das ist in solchen Systemen von Vorteil, in denen eine „Bus Bar“-Verbindung erforderlich ist. Zur Verbesserung der Robustheit unter Transientenbedingungen, werden die Zellenspannungseingänge um ein externes Tiefpassfilter ergänzt. Die Ansprüche an die Eingangsfilerung wurden auf maximale EMI und Hot-Plug-Festigkeit optimiert, ohne Einbuße an Geschwindigkeit oder Genauigkeit. Im Gegensatz dazu kann bei ICs, die ein bipolares anstatt eines ladungsgekoppelten AFEs verwenden, die Genauigkeit durch die für das Eingangsfiler gewählten Bauelementewerte schädlich beeinträchtigt werden. Abbildung 1 zeigt ein vereinfachtes Diagramm der drei Funktionsblöcke des ISL78600 und ihre Verbindungen.

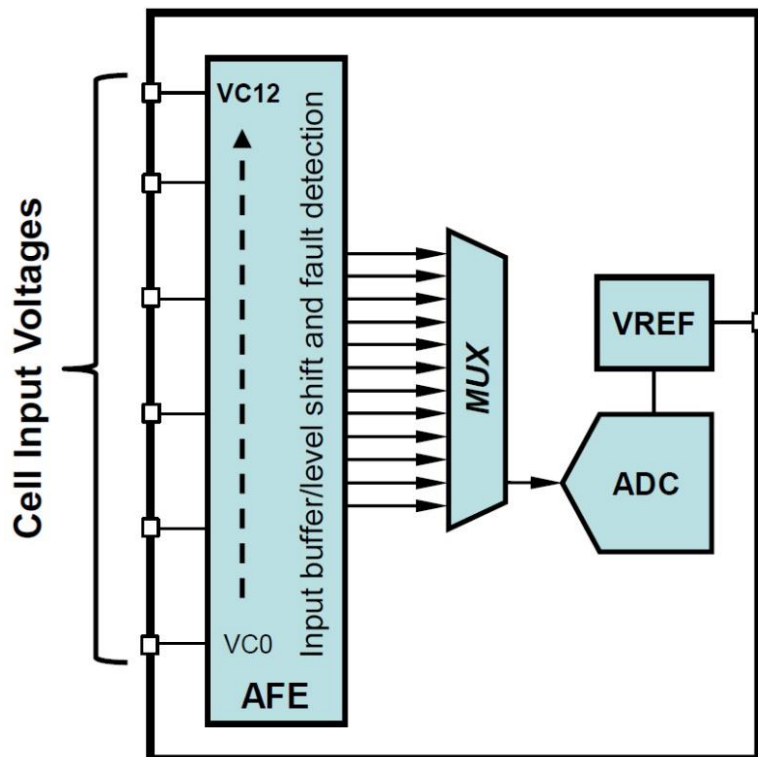


Abbildung 1. Vereinfachtes Blockdiagramm des Mehrzellen-Li-Ion-Batteriemangers ISL78600

Durch die Kombination einer stabilen und linearen Bandlücken-Referenz mit einem SAR-ADC sowie einem voll differenziellen AFE erhält ein Mehrzellen-Li-Ion-Batteriemanager die Fähigkeit zu einer schnellen Datenerfassung in Verbindung mit Robustheit und einer hohen Genauigkeit. Statt sich einfach nur auf die gemessenen Genauigkeitswerte beim Verlassen der Fabrik zu verlassen, wird die hohe Genauigkeit des ISL78600 unabhängig nach der Montage auf eine Leiterplatte (PCB) verifiziert. In Abbildung 2 ist die Genauigkeit des ISL78600 über eine Reihe von Zellspannungen und Temperaturen hinweg dargestellt. Dies ist von entscheidender Bedeutung für Entwickler von Batteriesystemen, weil sie mit einem Systemfehler-Budget für die Lebensdauer des Fahrzeugs arbeiten und in der Lage sein müssen, zuverlässige und vorhersagbare Genauigkeitszahlen mit einzubeziehen.

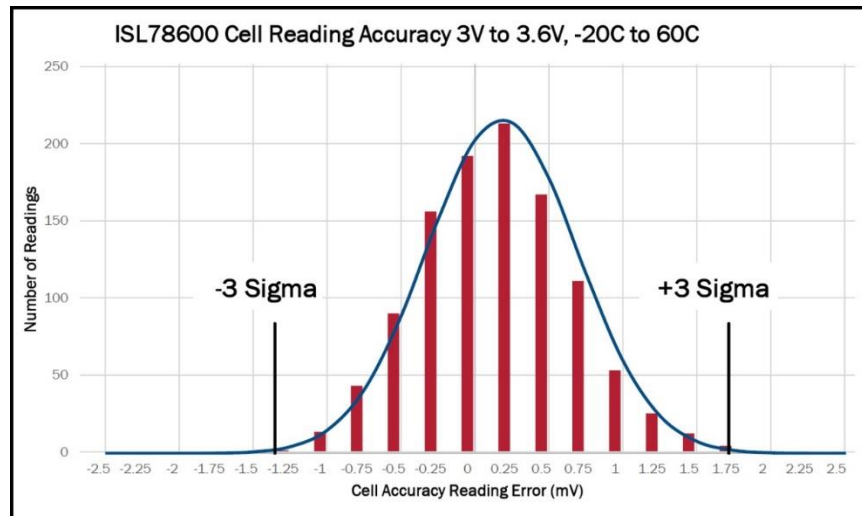


Abbildung 2. 1080 Gesamtablesungen von 10 MCB-Evaluierungsplatinen mit einer Spannungsabtastrate von 240 µs für alle 12 Zellen.

Aus diesem Grund wird eine sorgfältige Untersuchung empfohlen, und es sollte ein detaillierter Vergleich zwischen den Datenblättern jedes IC-Anbieters vorgenommen werden, besonders in den Bereichen Genauigkeit, Datenerfassungsgeschwindigkeit sowie Anforderungen an das Eingangsfiler, einschließlich deren Auswirkungen auf die Genauigkeit.

Leiterplattenlayout und Überlegungen zur Konfiguration

Lötvorgänge belasten die Leiterplatte, welche das MCB-IC in der X- und der Y-Ebene „biegen“ und zu subatomaren Änderungen der Eigenschaften des Siliziums führen. Dies wirkt sich auf das Verhalten des ICs aus, besonders auf den Referenzschaltungsblock. Nachdem die Referenz ein kritischer Teil der Messschaltung ist, steht jede Variation in deren Kennwerten in Zusammenhang mit der Genauigkeit des ADCs. Das ist ein wohlbekanntes und verstandenes Phänomen in der Branche der Präzisions-ICs, und IC-Entwickler berücksichtigen dies, indem sie die Platzierung von empfindlichen Schaltungen sorgfältig in den Bereichen des Chips planen, die aller Voraussicht nach weniger durch Löten und andere Belastungen durch die Fertigung beansprucht werden.

Als Alternative stehen den IC-Entwicklern kostspieligere Referenzdesign-Techniken zur Verfügung, beispielsweise die Unterbringung einer getrennten Referenzschaltung auf einem eigenen Chip innerhalb desselben IC-Gehäuses, oder die Verwendung eines völlig separaten diskreten Referenz-ICs. Unabhängig von der eingesetzten IC-Technik sind sowohl das Leiterplatten-Design als auch die Produktionsphase kritisch. Deshalb können die Nutzung von standardisierten PCB-Layouts mit Präzisionsteilen sowie ein sorgfältiges Eingehen auf die IC-Montage- und Lötprofile zur Minderung aller Probleme beitragen.

Wenn die Entwickler zum Beispiel die für den ISL78600 empfohlenen Richtlinien für das Leiterplattenlayout und die Reflow-Löt-Profile berücksichtigen, werden die Genauigkeit der Zellenablesung und die Drift-Kennwerte des ICs auf Board-Ebene logarithmisch und vorhersehbar. Dadurch ergibt sich ein typischer Zellenablesefehler von lediglich 1,2 mV über eine Lebensdauer von 10 Jahren, siehe Abbildung 3.

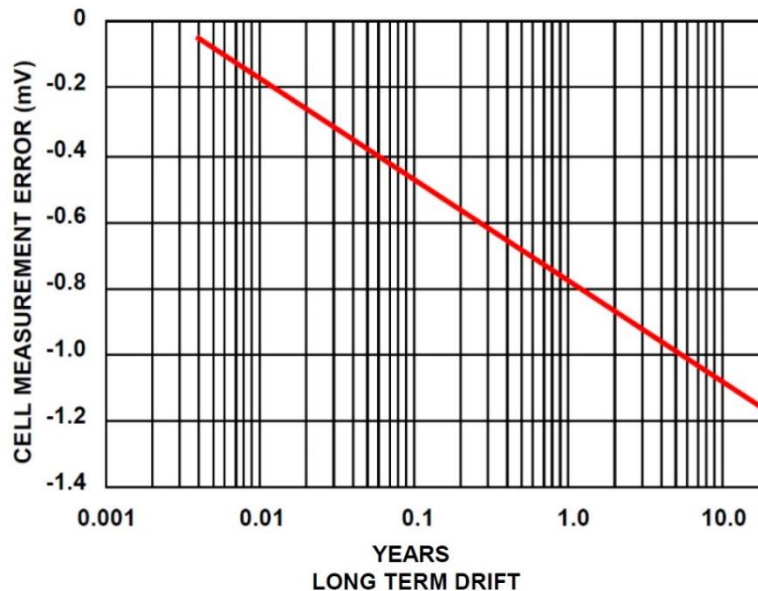


Abbildung 3. Zellenfehler vs. Lebensdauer eines MCB-ICs

Schlussbetrachtung

Ein wichtiges Element des Designs eines Batteriemangements ist die Einbeziehung der Batterie-Performance, welche direkt durch die Fähigkeit des MCB-ICs beeinträchtigt wird, ihre Präzisions-Messgenauigkeit über die Lebensdauer des Fahrzeugs hinweg aufrechtzuerhalten. Jede Drift oder Instabilität der Zellmessung der Batterie beeinflusst die Reichweite und die Batterie-Lebensdauer des Fahrzeugs, was wiederum Auswirkungen auf die Garantieleistung und die Gesamtbetriebskosten (CoO, Cost of Ownership) hat. Es sind verschiedene MCB-ICs zur Auswahl verfügbar, mit unterschiedlichen Genauigkeits-Messtopologien und -Technologien, so dass Systementwickler ihre IC-Auswahl und deren Einsatz sorgfältig überlegen müssen. Ein Verständnis der grundsätzlichen Unterschiede der Messungen, Maßnahmen und Topologien sowie ihrer gegenseitigen Beziehungen bedeutet einen großen Schritt bei der Auswahl des bestgeeigneten ICs für eine BMS-Anwendung. Für EV-, P-HEV- und HEV-Automodelle der nächsten Generation sind optimierte Designs des Batteriesystems von ausschlaggebender Bedeutung.

Referenzen

Erfahren Sie mehr über Intersil's Batteriemangementslösungen unter www.intersil.com/battery-management.

#

About Renesas Electronics Corporation

Renesas Electronics Corporation delivers trusted embedded design innovation with complete semiconductor solutions that enable billions of connected, intelligent devices to enhance the way people work and live—securely and safely. A global leader in microcontrollers, analog, power, and SoC products, Renesas provides the expertise, quality, and comprehensive solutions for a broad range of Automotive, Industrial, Home Electronics, Office Automation and Information Communication Technology applications to help shape a limitless future. Learn more at [renesas.com](https://www.renesas.com)

+1 408-432-8888 | © Renesas Electronics America. All rights reserved. Renesas & Intersil (and design) are trademarks owned by Renesas Electronics Corporation or one of its subsidiaries. All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.