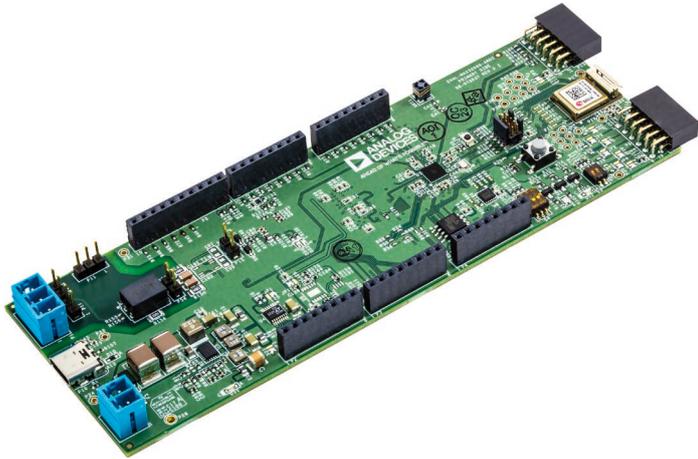


## Intelligentes Batterie-Backup für ununterbrochene Energieversorgung

### Teil 2: Funktionen und Arbeitsweise des BBU-Mikrocontrollers



wird. Dies ist Teil 2 einer fünfteiligen Serie, in der das Referenzdesign von Analog Devices für die Batterie-Backup-Einheit (BBU) vorgestellt wird.

Im ersten Teil, „Intelligentes Batterie-Backup für ununterbrochene Energieversorgung Teil 1: Elektrisches und mechanisches Design“, wurden die elektrischen und mechanischen Designüberlegungen für BBU besprochen. Teil 2 befasst sich ausführlicher mit der Software des Hauptmikrocontrollers, die für das reibungslose Funktionieren der Prozesse und damit für die hohe Effizienz und Kapazität der BBU verantwortlich ist. Die Hardware und die Software müssen reibungslos zusammenarbeiten, um Lösungen auf Systemebene bereitzustellen, die den erforderlichen Spezifikationen entsprechen.

tet, die nicht ignoriert werden können. Der Hauptvorteil einer geordneten und organisierten Schaltung ist die Verbesserung und Erhöhung der Sicherheit, die diese bietet, wodurch das Risiko verringert wird, dass Module in Brand geraten oder andere Gefahren entstehen. Darüber hinaus verbessert gutes Housekeeping die Leistung und Langlebigkeit von Schaltungen, indem elektrische Fehler vermieden werden, die die ordnungsgemäße Funktion beeinträchtigen können. Es ist wichtig, die Schaltungen regelmäßig zu überwachen und zu organisieren, um eventuelle Probleme oder Fehlfunktionen zu erkennen und zu beheben.

### Kurzfassung

Das Open Compute Project (OCP), eine gemeinnützige Organisation, die Produktdesigns und Best Practices für Rechenzentren zwischen Unternehmen austauscht, hat die Spezifikation Open Rack Version 3 (ORV3) veröffentlicht. Die wichtigste Änderung besteht darin, dass das Design nun von einer 12-V- auf eine 48-V-Architektur umgestellt

### Einführung

Gute Überwachungs- und Managementfunktionen (Housekeeping) sind für ein BBU-Modul unabdingbar, da dies zahlreiche Vorteile bie-

Autoren:  
Christian Cruz  
Senior Applications Development Engineer,  
Marvin Neil Cabuenas  
Senior Firmware Engineer  
Analog Devices  
www.analog.com

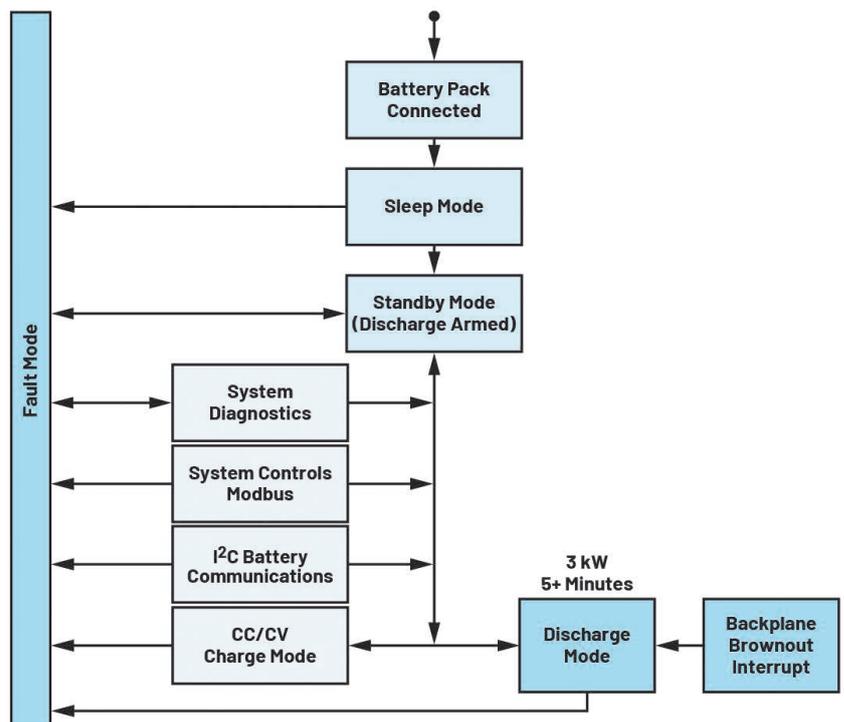
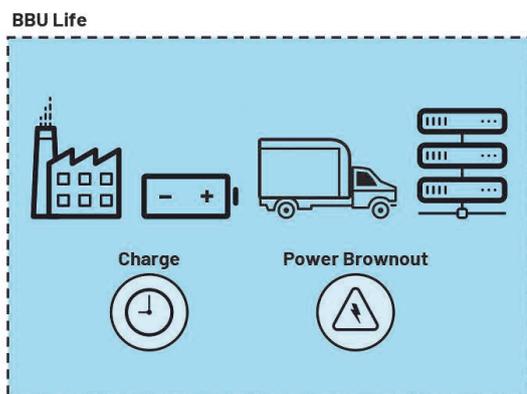
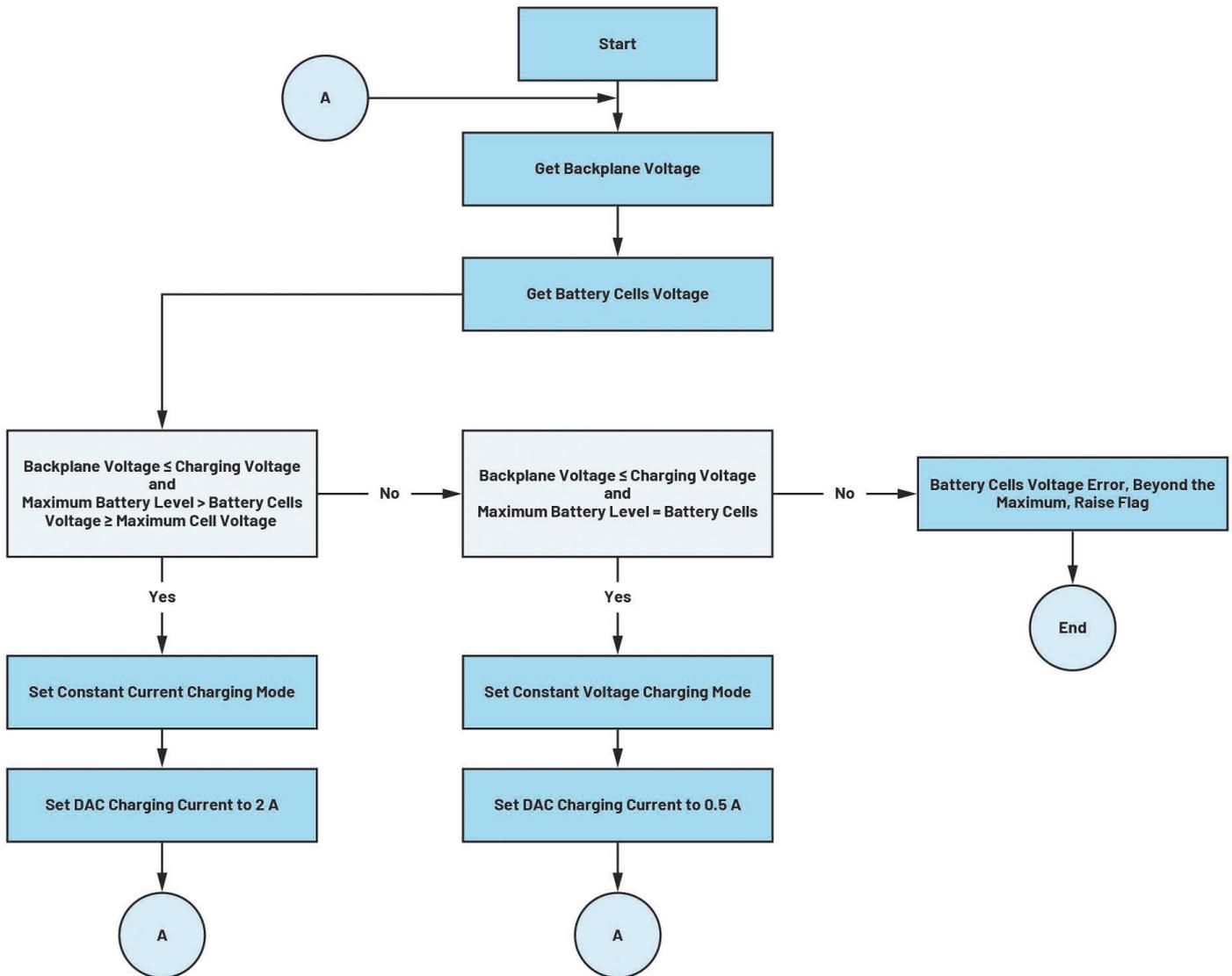


Bild 1: Ein Housekeeping-Zyklus des Hauptcontrollers [1]



**Bild 2: Konstantstrom- und Konstantspannungs-Ladealgorithmus**

Ein gutes Housekeeping in Schaltungen ist ein einfaches, aber effektives Mittel, um optimale Sicherheit und Leistung zu gewährleisten, und sollte daher nie außer Acht gelassen werden. Jedes BBU-Modul verfügt über einen Haupt-Mikrocontroller und einen Mikrocontroller für das Batteriemanagementsystem (BMS). Im Referenzdesign von Analog Devices fungiert der MAX32690, ein Arm-Mikrocontroller mit extrem niedrigem Stromverbrauch, als Haupt-Mikrocontroller und ist für sechs wichtige Prozesse verantwortlich (Bild 1). Ein MAX32625-Mikrocontroller dient als BMS-Mikrocontroller für das Referenzdesign. Der BMS-Mikrocontroller ist für die Kommunikation mit dem ADBMS6948-Chip zuständig und leitet alle Messdaten an den Haupt-Mikrocontroller weiter.

### Die sechs Hauptprozesse des Mikrocontrollers sind:

- Housekeeping und Kommunikation über das I<sup>2</sup>C-Protokoll mit verschiedenen Peripheriegeräten
- Verarbeitung der Entlade-sequenz, die durch die Daten der Backplane-Spannung bereitgestellt wird
- Steuerung des Ladens der Batterien zwischen Konstantstrom- und Konstantspannungsbetrieb
- Umschaltung zwischen Lade- und Entladezustand des BBU-Moduls
- Fehlerbehandlung und Rückmeldung
- Beantwortung von Modbus-Befehlen als Modbus-Follower

### Haupt-Mikrocontroller-Prozess:

Der Haupt-Mikrocontroller-Prozess beschreibt Housekeeping und Kommunikation über das I<sup>2</sup>C - mit verschiedenen Peripheriegeräten. Zusammen mit zahlreichen Hilfsgeräten, die an die Modulschaltung angeschlossen sind, arbeitet der primäre Mikrocontroller als I<sup>2</sup>C-Hauptgerät.

Der zentrale Mikrocontroller sammelt und speichert Daten von den Zusatzgeräten und fungiert gleichzeitig als I<sup>2</sup>C-Hauptgerät. Um verschiedene Aufgaben zu erfüllen, steuert der primäre Mikrocontroller zudem verschiedene I<sup>2</sup>C-Zusatzgeräte.

### I<sup>2</sup>C-Hilfskomponenten:

- Der MAX32625 als BMS-Mikrocontroller

- LTC2971, ein zweikanaliger Power System Manager
- MAX31760, ein Präzisions-Lüfterdrehzahlregler
- 24AA512T/EEPROM, der als Datenspeicher zum Abrufen und Speichern wichtiger Daten dient
- LTC2991, ein Temperaturfühler

### BMS Mikrocontroller

Der Hauptmikrocontroller kommuniziert routinemäßig mit dem BMS-Mikrocontroller (MAX32625), um Aktualisierungen der einzelnen Zellspannungen des Batteriepakets, des Ladezustands (SOC), des Gesundheitszustands (SOH), der Zelltemperatur und eventueller Fehler des Batteriepakets zu erhalten.

Die Aktualisierung erfolgt alle vier Minuten, da davon ausgegangen wird, dass sich die Zellspannungen, der SOC, der SOH und die Temperatur nicht schlagartig ändern. Bei einem Fehler wird ein gemeinsamer Pin zwischen den beiden Mikrocontrollern auf High gesetzt und ein Interrupt auf dem Hauptmikrocontroller ausgelöst, um den BMS-Mikrocontroller sofort bezüglich Informationen über den Fehler auszulesen.

Im Hauptmikrocontroller wurde ein spezieller I<sup>2</sup>C-Anschluss vorgesehen, der ausschließlich mit dem BMS-Mikrocontroller kommuniziert, um eine schnelle Kommunikation zwischen den beiden Mikrocontrollern zu ermöglichen.

## Power Management-IC

Der Hauptmikrocontroller kommuniziert routinemäßig mit dem Power Management-IC LTC2971 über das Power-Management-Bus (PMBUS)-Protokoll und überprüft Spannungs-, Strom- und Temperaturmessungen sowie Warnungen und Fehler. Der LTC2971 liefert bei der Messung der Backplane-Ausgangsspannungsparameter eine schnelle Rückmeldung an den Master-Mikrocontroller, damit dieser seine Routine anpassen kann. Außerdem stellt das Bauelement sicher, dass die Ausgangsspannung während des Entladebetriebs innerhalb des Regelbereichs bleibt, indem es die Rückkopplungsspannung des Stromwandlers anpasst und ihm erlaubt, die Ausgangsspannung um 1 % zu senken.

## Lüfterdrehzahlregler

Der Lüfterdrehzahlregler MAX31760 ist für die Regelung der Lüfterdrehzahl des BBU-Moduls zuständig. Das Tastverhältnis der Pulsweitenmodulation wird vom Mikrocontroller konfiguriert, um die Drehzahl der Lüfter über den I<sup>2</sup>C-Bus zu regeln. Der Hauptmikrocontroller berechnet und regelt die erforderliche Lüfterdrehzahl auf der Grundlage der Temperatur und entweder des Laststroms der Backplane oder des Laststroms des Akkupacks.

## EEPROM/Datenspeicherung

Das on-board EEPROM fungiert als externer Speicher für das gesamte BBU-Modul. Wichtige Informationen wie Batteriespannungspegel, SOC, SOH, Zellentyp und Modell-

jahr sowie die Platinentemperaturen werden regelmäßig vom Hauptmikrocontroller durch I<sup>2</sup>C-Schreibvorgänge auf seinen Flash-Seiten im EEPROM gespeichert. Diese Daten werden stündlich aktualisiert und sind für die Benutzer während der Wartung und Fehlerbehebung zugänglich.

## Digitale On-Board-Temperaturüberwachung

Der LTC2991 ist ein oktaler Spannungs-, Strom- und Temperatursensor. Dieses Bauelement dient zur Überwachung der Temperatur des Batteriemoduls mit Hilfe verschiedener digitaler Sensoren, die strategisch im Inneren des Moduls angeordnet sind. Auf Grundlage

der gemessenen Temperatur kann der Hauptmikrocontroller die Lüfterdrehzahl anpassen, um sicherzustellen, dass die Betriebstemperatur der Leistungsplatine und des Batteriestacks aufrechterhalten wird und 40 °C nicht erreicht.

## Das Laden

Der Haupt-Mikrocontroller ist ebenfalls für die Steuerung des Ladevorgangs der Batterien zuständig. Zu Beginn, wenn die Batteriezellen eine extrem niedrige Spannungskapazität haben, lässt der Mikrocontroller einen maximalen Strom von 5 A zum Laden der Batteriezellen zu. Sobald sich die Zellen in einem stabilen Zustand befinden, stellt der Mikrocontroller den Ladestrom auf

2 A ein, während die Spannung pro Zelle noch nicht 4 V erreicht hat. Der Hauptmikrocontroller überwacht ständig die Spannung der Batteriezellen anhand von Daten, die vom BMS-Mikrocontroller stammen, und misst mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers die Gesamtspannung der Batterieebene. Wenn alle Zellen 4 V erreicht haben, schaltet der Hauptmikrocontroller den Lademodus auf konstante Spannung um. Dies erfolgt durch die Begrenzung des Ladestroms auf nur 0,5 A. Der Hauptmikrocontroller überwacht weiterhin die Gesamtspannung der Batterieebene und erhält gleichzeitig Daten vom BMS-Mikrocontroller, um zu prüfen, wann alle Batterien vollständig geladen sind (Bild 2).

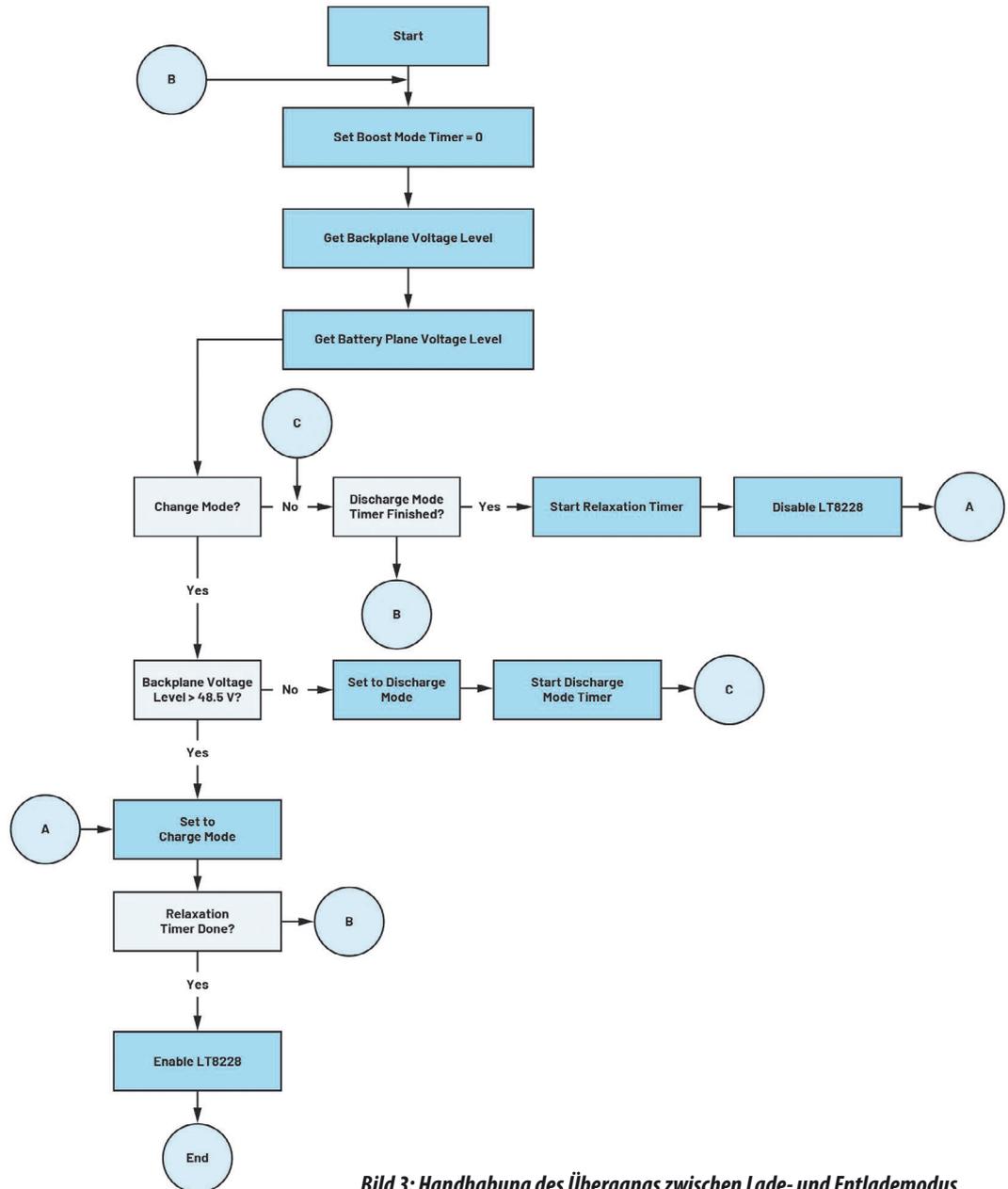


Bild 3: Handhabung des Übergangs zwischen Lade- und Entlademodus

## Umschaltung zwischen Lade-/ Entladezustand

Es ist von entscheidender Bedeutung, zu verstehen, wie die BBU bei einer Stromunterbrechung vom Standby- in den Batteriebetrieb übergeht. Um unerwartete Stromausfälle und Datenverluste zu vermeiden, überwacht der Hauptmikrocontroller des Moduls die Spannungspegel der Backplane genauestens. Der Standard-Lademodus des LT8228 ist auf 49 bis 53 V eingestellt. Wenn der Mikrocontroller jedoch erkennt, dass die Backplane-Spannung innerhalb von 2 ms unter 48,5 V abfällt, schaltet er den Richtungspin des LT8228 sofort für vier Minuten vom Lade- in den Entlademodus, um den Stromausfall zu bewältigen. Das Modul bleibt im Entlademodus, bis die vier Minuten abgelaufen sind, um eine ununterbrochene Stromversorgung zu gewährleisten. Wenn die Batteriezellen dies zulassen und die Spannungsversorgung der Backplane noch nicht wiederhergestellt ist, wartet das Modul eine Minute, damit die Zellen abkühlen können, bevor es in den Entlademodus übergeht. Sobald die Stromversorgung wiederhergestellt ist, schaltet das Gerät wieder auf die Hauptstromquelle um und beginnt mit dem Laden der Batterie. Für spezifische Anweisungen zum Betrieb und zur Wartung der BBU, beachten Sie bitte Bild 3.

## Fehlerbehandlung und Rückmeldung

Ein klar definierter Plan für den Umgang mit Störungen ist unerlässlich. Um Stress und Frustrationen zu vermeiden, ist es von entscheidender Bedeutung, potenzielle Probleme im Voraus zu erkennen und ein Protokoll für deren Handhabung zu erstellen. Zudem ist eine klare Kommunikation mit den in das System integrierten Geräten erforderlich, um sicherzustellen, dass der Systembetrieb reibungslos abläuft und man weiß, was zu erwarten ist. Es ist zu bedenken, dass Fehler und Störungen vorkommen können, und die Art und Weise, wie diese behandelt werden, kann einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis haben. Der primäre Mikrocontroller ist daher speziell dafür ausgelegt, das Auftreten von Fehlalarmen bei OCP-spezifischen Fehlern zu reduzieren.

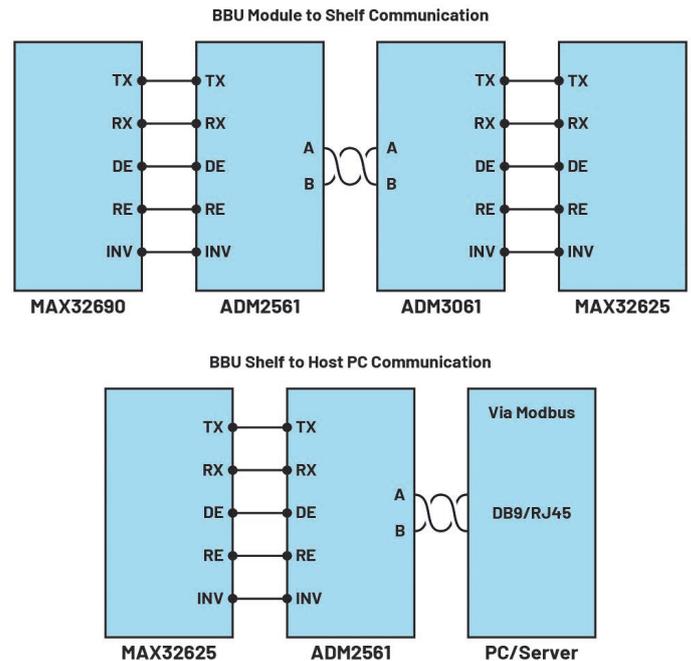
Das Firmware-Programm im Mikrocontroller führt eine algorithmische Prüfung durch, um fehlerauslösende Störungen zu erkennen. Nach Erkennung der Störung führt es eine Verifizierungsprüfung durch und quittiert einen Fehler nur dann, wenn die Probleme nacheinander oder innerhalb einer bestimmten Anzahl von Zyklen auftreten. Dies ist eine intelligente Methode, die gewährleistet, dass nur echte Fehler erkannt und behoben werden.

## Beantwortung von Modbus-Befehlen

Modbus-Funktionscodes sind entscheidend für den Aufbau der Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten in einem Modbus-Netzwerk. Sie bestimmen die Art der zwischen den Geräten gesendeten Anfrage oder Antwort, z. B. das Lesen oder Schreiben von Daten. Zu den gebräuchlichsten Modbus-Funktionscodes gehören Modulmetriken, Modulbetriebsstatus, Modulregisteradressen und Fehlerstatus.

Die Verarbeitung von Modbus-Befehlen unterliegt ausschließlich der Kontrolle des Hauptmikrocontrollers. Der Hauptmikrocontroller unterstützt alle wesentlichen Modbus-Befehle, die nach den OCP-Spezifikationen erforderlich sind. Mit diesen Befehlen lassen sich die Einstellungen des Moduls ändern oder wichtige Informationen über den Lade- und Gesundheitszustand der Batterie, die Zellenspannung sowie die Lade- und Entladeströme und weitere Parameter abrufen. Sobald der Hauptmikrocontroller die Nachricht verifiziert hat, antwortet er entsprechend dem erhaltenen Befehl.

Der Haupt-Mikrocontroller verarbeitet und überträgt Daten von verschiedenen Peripheriegeräten an den Mikrocontroller des BBU-Trägers über das UART-Protokoll unter Verwendung der Transceiver-Bausteine ADM2561 und ADM3061, wie in Bild 4 dargestellt. Der Vorteil eines isolierten Transceivers besteht darin, dass er gegen elektromagnetische Störungen auf Systemebene immun ist und die von der OCP aufgestellte Norm für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einhält. Außerdem wurde die Kommunikation zwischen Träger und



**Bild 4: Blockdiagramm der Kommunikation vom Modul- zum BBU-Träger und vom BBU-Träger zum PC**

PC mit dem ADM2561 realisiert, der über einen DB9-Anschluss (D-Subminiatur) und einen RJ45-Internetanschluss mit dem Host-PC verbunden war.

## Zusammenfassung

Eine unabdingbare Voraussetzung für eine BBU ist eine Controller-Architektur, die entschlossen, produktiv und in hohem Maße anpassungsfähig ist. Diese sollte über klar definierte Ein- und Ausgänge verfügen und in der Lage sein, anspruchsvolle Algorithmen zu verarbeiten. Die Architektur sollte modular sein, um nahtlose Änderungen und Aktualisierungen der Algorithmen zu ermöglichen. Darüber hinaus sollte sie über eingebaute Sicherheitsmechanismen verfügen, die Systemausfälle oder Störfälle verhindern und unerwartete Ereignisse problemlos bewältigen. Insgesamt sollte eine qualitativ hochwertige Steuerungsarchitektur eine zuverlässige und wirksame Systemsteuerung gewährleisten und gleichzeitig die Möglichkeit von Fehlern oder Fehlfunktionen begrenzen.

## Fortsetzung

Teil 3 dieser Serie behandelt das BBU-BMS und den zugehörigen Mikrocontroller. In diesem

Artikel wird erörtert, wie die lesbaren Daten verarbeitet und zur Aufrechterhaltung der Zellenspannung und der Temperatur des Akkupacks verwendet werden. Neben Zellen-Balancing wird zudem die Implementierung der SOC- und SOH-Algorithmen erörtert und wie diese Informationen zur Verlängerung der Lebensdauer des Batteriepacks genutzt werden.

## Wer schreibt:

Christian Cruz ist Staff Applications Development Engineer bei Analog Devices, Inc. Er verfügt über mehr als 12 Jahre Erfahrung in den Bereichen analoges und digitales Design, Firmware-Design und Leistungselektronik.

Marvin Neil Solis Cabueñas Senior Software Systems Engineer an verschiedenen Projekten für die Power Business Unit von ADI. Er verfügt über mehr als zehn Jahre Berufserfahrung in verschiedensten Bereichen wie der Programmierung eingebetteter Systeme, digitaler Signalverarbeitung und Simulationsmodellierung.

## Literatur

[1] David Sun. „Open Rack/SpecsAndDesigns.“ Open Compute Project. ◀