

# 实现不间断能源的智能 备用电池第三部分： 电池管理系统

Christian Cruz, 应用开发工程师  
Marvin Neil Cabuenas, 高级固件工程师

## 摘要

本文介绍ADI公司为开放计算项目(OCPI)开放机架第3版(ORV3)备用电池单元(BBU)的电池管理系统(BMS)开发的算法。BMS是任何数据中心BBU必不可少的设备,其主要作用是通过监视和调节电池包的充电状态(SOC)、健康状况和功率来确保电池包的安全。因此,BMS是数据中心中复杂而重要的组件,必须谨慎设计和实施。

## 简介

在探索ADI公司的BBU参考设计时,有必要了解BMS的工作原理。BMS负责监视和调节电池的状况,确保电池在安全参数内运行。其中包括监视电池堆电压、电池堆温度和电池堆整体电流水平,以及管理充电和放电周期。稳健的BMS可以使系统实现理想效率和安全性。延长电池寿命对于维持峰值性能至关重要。在不知情的情况下频繁过度充电或过度放电,会损害电池健康,缩短电池使用寿命。通过仔细监测电池的健康状态(SOH)并正确使用,可以避免电池意外关闭或故障,使电池发挥理想性能。

此外,监视电池的SOC对于电池堆的整体健康状况非常重要。随着时间的推移,电池会损失容量,而电量耗尽至零会加速电池容量的损耗。延长电池寿命的理想方法是将电池电量保持在20%到80%之间。了解电池的SOC可确保BBU模块持续运行更长时间。

除了SOH和SOC之外,还必须更好地了解放电深度(DOD)。DOD是使用充电电池时需要考虑的一个重要因素。它是指在单次放电循环中消耗的电池容量百分比。一般来说,为了延长电池整体寿命,建议避免将电池放电至20% DOD以下。然而,一些电池可以承受更深程度的放电而不会造成明显损坏。务必查询制造商的指南,了解特定电池的具体放电深度建议。

此外,仔细考量电池的化学特性至关重要。在BBU模块的设计中,使用锂离子(Li-ion)电池是一个谨慎的选择。选择锂离子电池是因为它已得到广泛使用,与OCPI ORV3规范的要求完全一致。这种一致性的背后原因在于锂离子电池的优良特性,即出色的能量密度和非常轻的重量。值得注意的是,深入研究锂离子电池的化学成分揭示了一个至关重要的事实:锂离子电池的化学成分是一个复杂的关键因素,始终决定着电池的性能、安全性和整体耐用性。

另一个需要考虑的方面是电池平衡。电池平衡是电池技术领域的一个重要概念。随着对高效、高性能电池的需求不断增加,实现理想的电池平衡变得越来越重要。电池平衡是指均衡电池包内各个电池的电压或SOC的过程。在包含多个电池的电池包中,每个电池都有各自独特的特性,并且随着时间的推移,电池性能可能会发生变化。制造容差、电池容量变化以及使用模式差异等因素,都可能导致电池不平衡。这些不平衡可能造成电池总容量减少、效率降低,甚至电池包过早失效。相关设计

要求BBU上有一个被动平衡器。因此，被动平衡涉及使用电阻来泄放或消耗电压水平较高的电池中的多余能量。这种方法相对简单且经济高效，但会导致能量损失和热量产生。电池平衡可确保电池包中的每个电池都以理想水平运行，从而提高储能系统的整体效率和有效性，有助于BBU模块系统更加可持续和可靠地运行。BBU中使用的BMS微控制器是MAX32625。BMS微控制器负责两个重要的过程。参见图1。

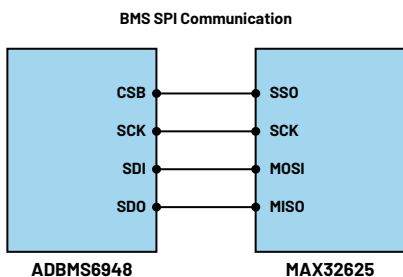


图1. 连接到BMS IC (ADBMS6948)的BMS微控制器(MAX32625)。

1. 与BMS IC (ADBMS6948)通信，获取电池电压、电池温度、欠压、过压和整体电池堆电流水平的遥测数据。
2. 通过I<sup>2</sup>C通信将从器件收集的所有遥测数据传递到主微控制器。

BMS微控制器通过SPI协议与ADBMS6948通信。通过发送适当的命令代码，BMS微控制器允许该器件收集遥测数据并同时执行操作。参见图2。从BMS IC收集的所有数据都将由BMS MCU发送和处理。

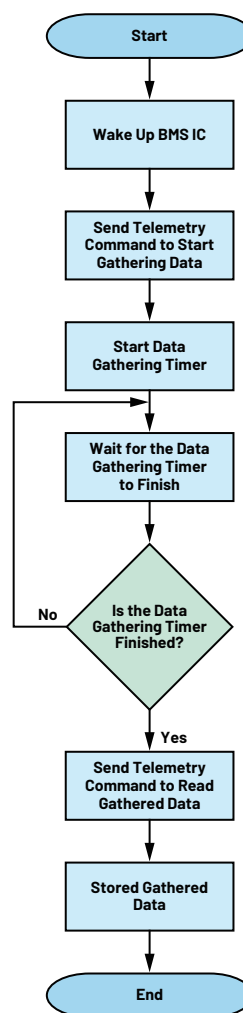


图2. BMS微控制器发送命令和存储BMS芯片数据的过程。

BMS微控制器的另一个重要任务是将收集到的数据发送到主微控制器，用于充电和放电算法及风扇转速控制。这是通过与BMS微控制器进行I<sup>2</sup>C协议通信，然后由主微控制器读取寄存器来完成的。BMS微控制器的寄存器映射如表1所示。

**表1. BMS微控制器寄存器映射**

| 寄存器                   | 地址   | 长度 (单位: 字节) |
|-----------------------|------|-------------|
| CMD_Voltage           | 0x00 | 0x16        |
| CMD_Temperature       | 0x01 | 0x08        |
| CMD_SOC               | 0x02 | 0x16        |
| CMD_Fan_Error         | 0x03 | 1           |
| CMD_EOL               | 0x04 | 1           |
| CMD_Stop_Discharge    | 0x05 | 1           |
| CMD_BMS_Fault         | 0xE0 | 0x06        |
| CMD_Manufactured_Date | 0xF0 | 0x07        |
| CMD_Serial_Number     | 0xF1 | 0x07        |

请注意，目前所有BMS微控制器寄存器都是只读寄存器。构建日期和序列号仅采集一次，然后存储在主微控制器的外部EEPROM中。

## 电池检测和平衡操作

### 电池充电技术

恒压(CV)和恒流(CC)是电池充电系统中采用的两种不同充电技术，可优化充电过程并延长电池寿命。

### CV充电

CV充电是一种在充电初始阶段向电池堆施加固定电压的充电方法。充电过程开始时，BBU模块工作在充电模式，保持44 V的稳定电压水平，充电电流从5 A开始，随着电池SOC的增加而逐渐减小。这种方法对于防止过度充电特别有效，因为电压保持恒定，不会超过电池的安全电压限值。电池堆电压达到37 V至40 V或预定义阈值后，充电器可能会转变到其他充电阶段，例如将充电电流从5 A减少到0.5 A。

### CC充电

CC充电则是向电池堆端子施加一致的充电电流。在此阶段，充电电流保持在5 A不变，而电池电压随着电池充电的进行而逐渐升高。

该方法对于初始充电水平较低的电池堆快速充电特别有用。它确保电流以受控方式流入电池堆，直至达到一定的电压水平。电池堆电压达到预定点后，充电过程可以转变到其他阶段，例如将恒定电流从5 A减小到2 A，或者进入恒压阶段。

在BBU模块电池堆充电模式中，CV和CC充电方法经常结合使用，以获得理想的充电曲线。前期CC阶段帮助快速向电池传输能量，而后期CV阶段则通过限制电压来避免过度充电。这种组合技术可实现高效充电，延长电池寿命，并保持电池包的安全性和性能。正确实施CV和CC充电机制对于BBU模块充电操作至关重要。

### 电池检测方法

电池检测方法是电池管理系统的一个关键方面。此技术旨在精确定电池包中每个电池的电压和状态。电池检测方法采用复杂的检测电路和测量算法，让系统能够收集有关每个电池的电压、温度和整体健康状况的实时数据，然后利用这些信息做出有关充电、放电和平衡操作的明智决策，从而优化电池包的性能、安全性和使用寿命。有效的电池检测对于维持现代储能系统的整体效率和可靠性至关重要。

ADBMS6948有11个ADC，专门用于检测电池包的11个差分电池输入。电池堆采用11路串联和6路并联配置，并连接到C0至C10引脚，即BMS的ADC。ADC的输入范围为-2.5 V至+5.5 V，采样频率约为4 MHz，每1 ms产生16位结果，LSB为150  $\mu$ V。另有11个ADC专门利用S引脚同时测量11个差分输入，输入范围为0 V至5.5 V，采样频率约为4 MHz，每8 ms产生13位结果，LSB为1.6 mV。这些S-ADC通过完全独立于C-ADC的测量方法实现冗余电池电压测量。

### 被动平衡操作

被动平衡是电池系统管理中常用的技术，它采用无源元件（特别是电阻）和并联在每个电池上的集成MOSFET来实现电池平衡。这些集成元件承担电压泄放器或能量耗散器的作用，有利于让表现出较高电压或能量状态的电池以受控方式耗散多余的能量，使得电池之间的电压电位或能量状态逐渐协调一致，从而在较长时间内促进电压和能量平衡。

如果电池包中的电池变得不平衡，BMS必须通过让电压较高的电池放电来达成平衡。ADBMS6948上的S-ADC引脚可用于对单个电池进行放电。S-ADC引脚上内置的MOSFET可用于对电池进行放电。每个S-ADC引脚都可以使用PWM单独或连续控制。通过配置PWMA、PWMB和CFGB寄存器，还可以在BMS微控制器处于休眠工作模式时平衡电池。

## 使用库仑计数器的电池充电

库仑计数器的主要作用是准确测量流入流出电池或电路的电荷量（以库仑为单位）。通过这种测量，可以更好地控制电池堆充电和放电，从而延长电池堆寿命，提高效率，并且更准确地监测容量。

ADBMS6948集成了库仑计数器，因此可以监测充电过程中流经电池的电荷量。库仑计数器也称为集成电流传感器或电荷监测器，用于测量流入或流出电池的电荷总量（以库仑为单位）。使用库仑计数器进行电池充电时，计数器会监测输送到电池的电荷量。这是通过测量流经电池的电流并将其对时间积分以计算总电量来完成的。因此，估计电池的SOC并实施充电算法可以优化充电过程。

ADBMS6948库仑计数器的基本操作涉及将流入流出电池堆的电流对时间积分，以计算传输的总电荷。其工作原理如下：

- ▶ **电流测量：**该器件测量流入或流出电池堆的电流。这通常利用电流传感器（例如连接在电池堆低端的分流电阻）来完成。
- ▶ **积分：**使用ADBMS6948将测得的电流对时间积分。积分涉及定期对电流值求和以计算累积电荷。
- ▶ **容量计算：**累积电荷转换为安时(Ah)或库仑，以提供有关电池堆剩余容量的信息。
- ▶ **监视与显示：**计算出的容量经过处理后传输到主MCU，并显示在图形用户界面上以供进一步处理。该信息对于电池管理、确定SOC以及防止过度充电或过度放电非常有价值。

充电时，库仑计数器会连续测量流过电池的电流，并将其对时间积分。通过了解电池的初始SOC，可以将积分电量与初始值相加来估计充电期间的SOC。此估计有助于防止过度充电，并支持实施充电算法，根据温度、电池使用时间和化学成分等因素优化充电过程。

请查看ADI公司之前的文章，了解电池平衡和电池寿命优化技巧。对于希望详细了解该主题的人士，强烈建议阅读这些资源。Kevin Scott和Sam Nork撰写了两篇关于电池平衡类型的文章：“[被动电芯平衡](#)”和“[主动电芯平衡](#)”。有关电池特性测试的更多信息，请参阅“[配合电量计使用的锂离子电池特性测试](#)”。

## 总结

综上，ADI公司的ADBMS6948 BMS与BBU的集成至关重要。BMS具有许多优点，可以改善电池系统的性能、安全性、可靠性和寿命。通过优化电池性能，良好的BMS有助于最大限度延长电池寿命和提高容量，确保高效利用电池的储能能力。BMS可以主动管理充电和放电过程，防止过度充电、过度放电和过热，避免损坏电池。安全性是一个关键方面，尤其是对于电池系统。BMS整合了安全功能和监控机制，以防止热失控并最大限度地减少潜在危险。它能防范过流、过压和异常温度情况，从而保护电池系统和周围环境。能效是BMS的另一大优势。优化充电和放电过程可最大限度地减少能量损失，并提高BBU的整体效率。这意味着可以节省成本，减少对环境的影响，增加可用能源的利用率。

BMS还能准确监测和估算电池堆的SOC和SOH。这些信息对于正确管理电池使用情况、计算剩余运行时间以及规划维护或更换时间至关重要。添加库仑计数器对于精确测量和监测非常重要。此信息对于在各种应用中实现高效电池管理和延长电池寿命至关重要，有利于提高系统可靠性并降低意外故障的可能性。

总之，BBU中包含的ADI ADBMS6948 BMS在保证数据中心的性能、安全性和可靠性方面发挥着重要作用。它可以提供每位用户都应该了解的关键信息，以帮助延长电池使用寿命。

本系列的第四部分——“[实现不间断能源的智能备用电池第四部分：BBU架的操作](#)”——将介绍ADI公司如何设计和实现图形用户界面，同时允许用户与BBU架上的六个BBU模块进行通信并从中收集数据。该文还会说明作为BBU架专用MCU的MAX32625的功能和操作。

“[实现不间断能源的智能备用电池第一部分：电气和机械设计](#)”讨论了BBU的电气和机械设计考虑因素。“[实现不间断能源的智能备用电池第二部分：BBU微控制器的功能和操作](#)”进一步详细介绍了主微控制器的软件。

## 参考文献

<sup>1</sup>David Sun。“[开放机架/规格和设计](#)。”开放计算项目。



## 作者简介

Christian Cruz是ADI菲律宾公司的应用开发工程师。他拥有菲律宾马尼拉东方大学的电子工程学士学位。他在模拟和数字设计、固件设计和电力电子领域拥有超过12年的工程经验，包括电源管理IC开发以及AC-DC和DC-DC电源转换。他于2020年加入ADI公司，目前负责支持基于云的计算和系统通信应用的电源管理需求。



## 作者简介

Marvin Neil Solis Cabueñas毕业于菲律宾马尼拉德拉萨大学，获电子工程学士学位。2021年加入ADI公司。此前，Marvin曾在Azeus Systems菲律宾公司担任系统工程师，然后在Technistock菲律宾公司担任网络工程师（2014年至2017年），并在诺基亚技术中心菲律宾公司担任研发工程师（2017年至2020年）。他在不同领域拥有超过10年的工作经验，如嵌入式系统编程、数字信号处理、仿真建模等。目前担任高级软件系统工程师，负责多个与电源相关的技术项目。目前正在攻读菲律宾大学电气工程硕士学位。



ADI智库



文晔科技ADI社区



Excelpoint世健

香港 • 上海 • 北京 • 长沙 • 成都 • 重庆 • 大连 • 东莞  
福州 • 广州 • 合肥 • 杭州 • 济南 • 南京 • 宁波 • 青岛  
沈阳 • 深圳 • 苏州 • 武汉 • 厦门 • 西安 • 郑州 • 珠海