

Design Guide: TIDA-010272

适用于储能系统的 1500V 高压电池架监测单元参考设计



说明

该参考设计是一款具有高电压、电流和绝缘阻抗精度的锂离子、磷酸铁锂电池架。该设计可以监测四个高压总线输入、一个分流电流与温度，以及电池的一个绝缘阻抗，从而确保电池架的安全运行。该设计提供板载串行外设接口 (SPI) 和非板载菊花链通信接口，使堆叠连接更加经济高效，并且具备加强的绝缘保护。得益于这些特性，该参考设计适用于大容量电池架应用。

资源

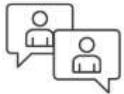
TIDA-010272	设计文件夹
BQ79731-Q1、TPSI2140-Q1	产品文件夹
SN6507、ISO7841	产品文件夹
SN74LVC1G07-Q1、TPS7B69-Q1	产品文件夹
TSD05C、ESDS552	产品文件夹

特性

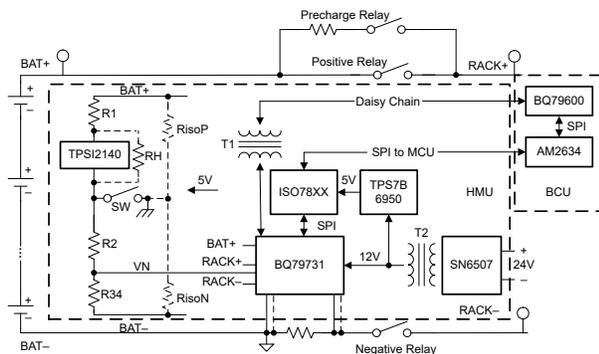
- 25°C 时总线电压精度为 $\pm 0.5\%$
- 25°C 且 $< 10A$ 时分流电流误差为 $\pm 10mA$ ；25°C 且 $> 10A$ 时分流电流误差为 $\pm 0.1\%$
- 支持分流温度校准
- 25°C 且绝缘阻抗范围为 $50k\Omega$ 到 $10M\Omega$ 时，误差为 $\pm 20\%$ ；绝缘阻抗 $< 50k\Omega$ 时，误差为 $\pm 10k\Omega$
- 具有数据重新计时和环形架构的稳健菊花链通信
- 提供电池架电流、电压测量和保护的冗余诊断

应用

- [ESS - 电池管理系统 \(BMS\)](#)



请咨询 TI E2E™ 支持专家



1 系统说明

电池储能系统 (BESS) 是一种将电能以化学能形式储存在电池中的技术，这些储存的能量可以在需要时转换回电力并释放出来。BESS 在增强电力系统的可靠性、稳定性和效率方面发挥着至关重要的作用。

BESS 通常包含以模块化和可扩展方式排列的多个电池架，以满足特定应用的储能需求。BESS 中的每个电池架通常包括一组电池、一个电池管理系统 (BMS) 和用于实现能量存储、监测和控制的相关硬件。电池架是用于安置单个电池的物理结构，提供安全且有序的框架来安装电池，从而保持稳定性和安全性。BESS 中的电池架数量取决于储能系统的所需容量和具体设计。

BMS 的高压监测单元 (HMU) 部分是一个关键元件，主要负责管理和维护电池包高压特性的安全。高压 BMS 中通常包含以下关键元件：

1. 电压测量：BMS 包括用于测量高压电池包中单个电池或模块电压的专用电路。准确的电压监测对于维护电池系统的健康和安全性至关重要。
2. 电流测量：电流传感器集成在高压电路中，用于测量电池包的充电和放电电流。该信息对于估算荷电状态和防止过流至关重要。
3. 绝缘阻抗监测器件：用于监测高压元件的隔离完整性，以检测和防止隔离故障。
4. 通信接口：诸如控制器局域网 (CAN) 等其他通信协议接口允许高压 BMS 与车辆或储能系统的其他器件交换信息。
5. 隔离器件：为高压电池和 BMS 控制电子元件的其他部分提供电气隔离，这种隔离对于确保安全和防止电气干扰至关重要。
6. 紧急关断机制：可以实现紧急关断功能，以在紧急情况下快速断开高压电池包，从而维护系统和人员的安全。

这些元件共同构成 BMS 的高压部分，从而在电动汽车或大规模储能系统等应用中实现对高压电池包的精确监测、控制和保护。

该设计侧重于高压大容量电池架应用，适用于住宅、商业和工业、电网 BESS 等领域。该设计采用 BQ79731-Q1 (包括电池接线盒电压监测器、电流传感器和隔离阻抗传感器) 来测量四个总线电压和一个分流电流。该设计还采用了 TPSI2140-Q1 器件和簧片继电器，在高压、侧接地的非平衡电桥中，可计算高达 1500V 的 BESS 精密绝缘阻抗。该设计使用 SN6507 器件和变压器，将低压侧的 24V 转换为高压侧的 12V。

该设计满足 UL1973 或 IEC60664-1-2020 的 1500V 增强型绝缘要求。使用了包括数字隔离器 ISO7841DWWR、变压器和电阻梯在内的宽体隔离产品，以满足增强型绝缘要求。

2 系统概述

2.1 方框图

图 2-1 展示了高压 BMS 的简要方框图。BMS 分为三个单独的参考设计：用于电池包中监测单元 (BMU) 的 TIDA-010271、用于电池控制单元 (BCU) 的 TIDA-010253 以及用于高压监测单元 (HMU) 的 TIDA-010272。

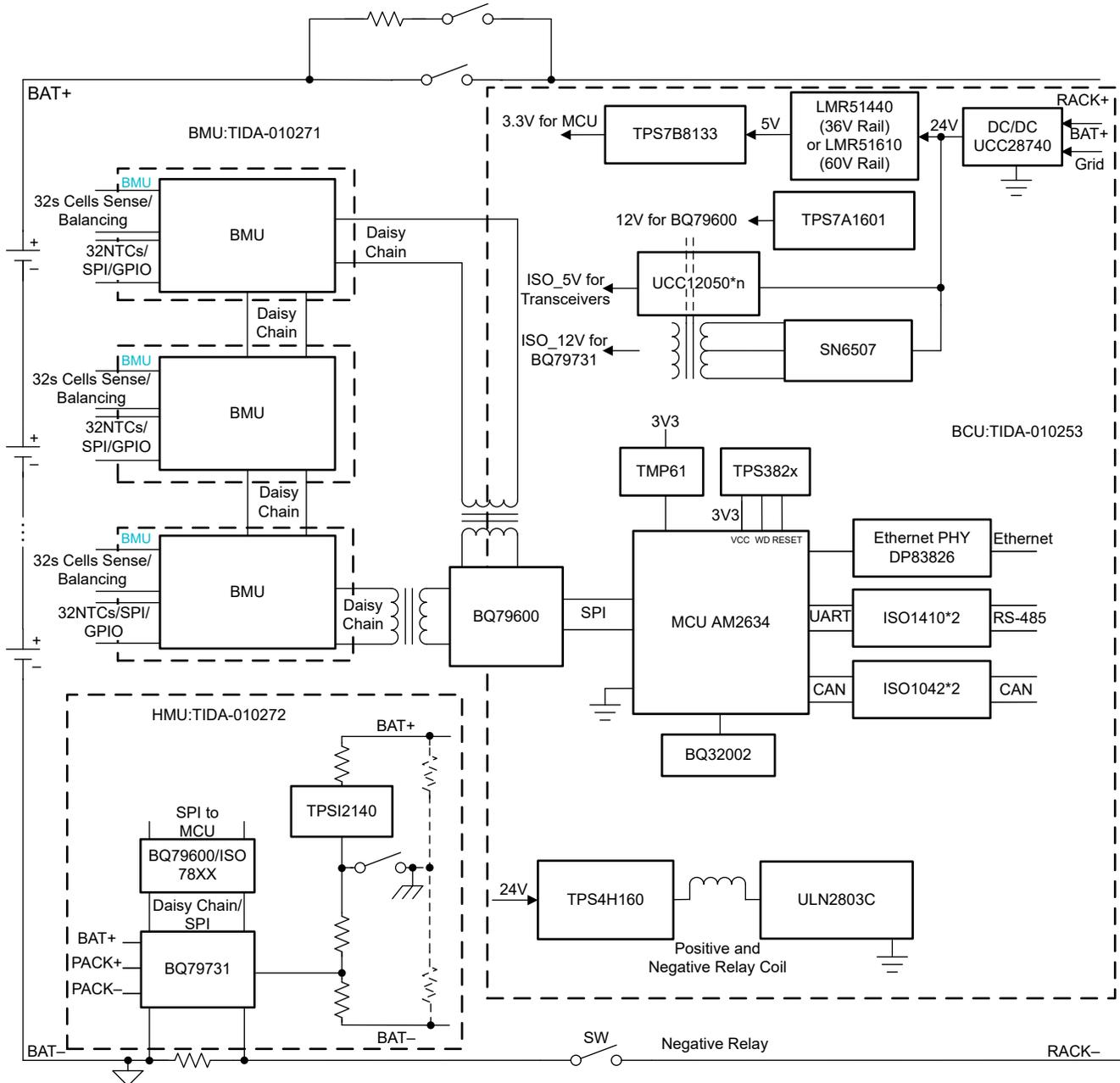


图 2-1. BMS 方框图

图 2-2 显示了 TIDA-010272 功能方框图。BQ79731 使用四个通用输入/输出 (GPIO) 通道和 VF 模数转换器 (ADC) 输入来测量 BAT+、RACK+、RACK- 和 VN 的测试点。VN 表示 PE 和 BAT- 之间的电压。电阻分压设计考虑了 1500V 总线电压和 ADC 基准的输入范围。

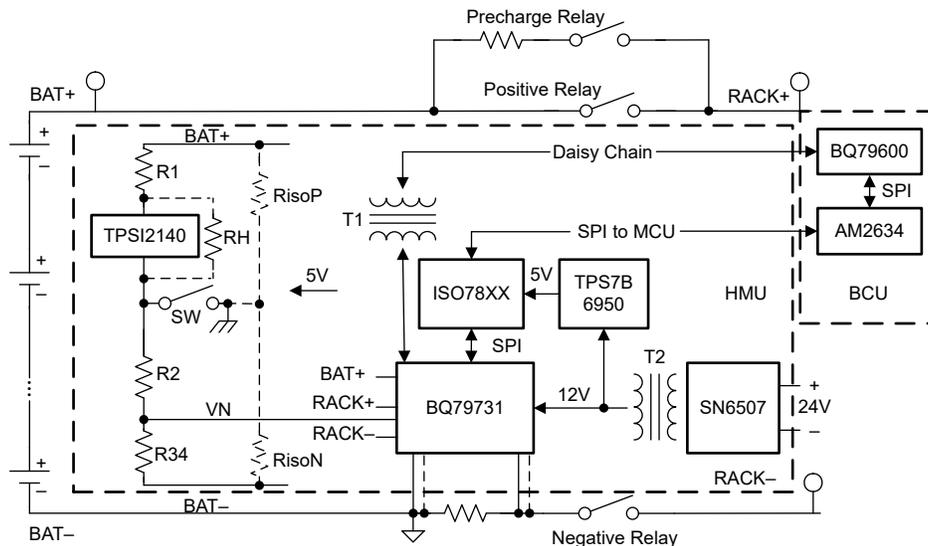


图 2-2. TIDA-010272 方框图

BQ79731 器件提供两条独立的电流检测 ADC (CSADC) 通道来测量分流电流。电路板上未安装分流电阻，因此需要真实的分流电阻或分流仿真器才能将差分交叉电压提供给 CSADC 输入。BQ79731 还提供两个热敏电阻输入来校准分流电阻或 CSADC 的温度变化。

BQ79731、TPSI2140 和开关 (SW) 一起构成非对称绝缘阻抗检测电路。高侧 TPSI2140 通过增加或移除 RH 电阻器来改变 BAT+ 和 PE 之间的电阻，从而构建两个关于 RisoP、RisoN、VN 和 VBAT 的公式。VBAT 是电池架电压。VN 和 VBAT 可在 TPSI2140 的开关占空比下进行测量，从而计算 RisoP 和 RisoN。

2.2 设计注意事项

2.2.1 总线电压测量精度

总线电压测量是高压 BMS 的一项常见功能。在图 2-1 中，有三个待测量的总线电压，包括 BAT+、RACK+ 和 RACK-。总线电压用于荷电状态 (SoC) 估算、预充电、操控检测和过压保护等过程。设计目标精度为 0.5%，而 GBT34131-2023 要求达到 1%。

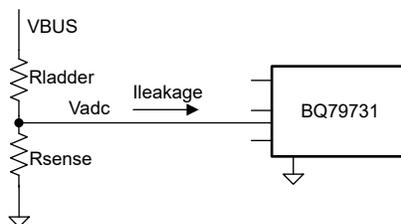


图 2-3. 高压测量电路

图 2-3 展示了高压测量电路。测量电路包含 R_{ladder} 、 R_{sense} 和 ADC (BQ79731)。 $I_{leakage}$ 是 BQ79731 ADC 输入端的差分漏电流。总线电压测量的精度受 R_{ladder} 误差率 ($R_{ladder}\%$)、 R_{sense} 误差率 ($R_{sense}\%$)、 $I_{leakage}$ 和 ADC 误差 (V_{eadc}) 的影响。

使用 BQ79731 测量的实际总线电压为 $V_{bus_{mea}}$ ，公式为 $V_{bus_{mea}} = V_{bus} + V_{error}$ 。 V_{error} 可以按照 [方程式 1](#) 进行估算。

$$V_{error} \approx V_{bus} \times \left(\frac{R_{sense\%} - R_{ladder\%}}{1 + R_{ladder\%}} \right) + \frac{V_{eadc} \times (R_{ladder} + R_{sense})}{R_{sense}} + I_{leakage} \times (R_{ladder} + R_{sense}) \times (1 + R_{sense\%}) \quad (1)$$

恒定误差由 V_{eadc} 和 $I_{leakage}$ 引起，如果 V_{eadc} 和 $I_{leakage}$ 足够小，则不会明显影响整体误差。BQ79731 VF 和 GPIO 的 V_{eadc} 最大值为 $\pm 3.16\text{mV}$ ，温度范围为 -40°C 到 125°C ； $I_{leakage}$ 最大值为 20nA ，温度范围为 -40°C 到 105°C 。在 1500V BESS 应用中，假设电压增益 ≤ 400 ，且 $R_{ladder} + R_{sense} \leq 10\text{M}\Omega$ ，则恒定误差小于 1.464V ，可忽略或通过简单校准去除。比例误差与 $R_{sense\%}$ 和 $R_{ladder\%}$ 相关。若假设 $R_{sense\%}$ 和 $R_{ladder\%}$ 的误差范围为 $\pm 1\%$ ，则最差情况下比例误差为 $\pm 2\%$ ，可通过校准修正。如果不使用校准，则必须使用精度为 $\pm 0.2\%$ 的电阻器来实现 $\pm 0.4\%$ 的总线电压测量精度。

在本设计中， $R_{ladder\%}$ 和 $R_{sense\%}$ 的误差为 $\pm 1\%$ ，其中 R_{ladder} 为 $6\text{M}\Omega$ ， R_{sense} 为 $16.63\text{k}\Omega$ ，符合基本的 7.6mm 隔离和爬电距离要求，并选用了四个 1206 封装的 Bourns® 高压电阻。

2.2.2 分流电流测量

分流电流精度是计算电池 SoC 的关键参数。本设计的目标是：在室温下，当电流不低于 10A 时分流精度达到 0.1% ，电流小于 10A 时最大误差为 10mA 。分流电阻为 $150\mu\Omega$ ，电流范围为 $\pm 500\text{A}$ 。为确保电流小于 10A 时的最大 10mA 误差，要求分流电压小于 $1500\mu\text{V}$ 时 CSADC 的最大误差小于 $1.5\mu\text{V}$ ；校准后的 CSADC 增益误差须低于 0.1% 。

分流电阻具有温度漂移，需通过三个测试点测量分流电阻的温度曲线，获取稳定的分流温度需花费几分钟。一些分流电阻制造商提供各分流电阻的温度曲线，例如 C&B Electronics 的 PCBS8518A050Q2AC00 器件。电阻温度曲线可以用于估算温度 T 下的分流电阻 $R_{shunt}(T)$ 。

在室温下，电池架端生产线中的分流电阻校准过程如下：

1. 电流 = 0A ，读取 CSADC 数据 V_{CSADC0}
2. 电流大于等于 10A ，
 - 读取 CSADC 数据 V_{CSADC0}
 - 读取电流 $I_{CSADC10}$ ，计算分流电压 $I_{CSADC10}$ 乘以 $R_{shunt}(T)$
3. 计算偏移量：偏移量 = V_{CSADC0} 。
4. 计算增益：增益 = $(I_{CSADC10} \times R_{shunt}(T) - \text{偏移量}) / (I_{CSADC10} \times R_{shunt}(T))$ 。
5. 将偏移量和增益写入 EEPROM 和闪存

2.2.3 绝缘阻抗监测器

本设计采用不对称桥式拓扑结构，确保绝缘阻抗 (R_{isoP} 和 R_{isoN}) 不低于 $50\text{k}\Omega$ 时测量精度达 $\pm 20\%$ ；若绝缘阻抗低于 $50\text{k}\Omega$ ，最大误差为 $10\text{k}\Omega$ 。

SW 开关用于连接 PE 和绝缘阻抗监测电路，并在启动绝缘阻抗监测功能时接通。要获得高精度隔离阻抗，请执行以下几个步骤：

1. 关闭 SW 和 TPSI2140。BQ79731 测量总线电压 VDC ($V_{BAT+} - V_{BAT-}$)。
2. 关闭 SW 和 TPSI2140。将电阻器 RH 与电阻器 R1 串联。BQ79731 测量从 PE 到 $BAT-$ 的电压 V_{Noff} 。
3. 打开 SW 和 TPSI2140。将电阻器 RH 短接。BQ79731 测量从 PE 到 $BAT-$ 的电压 V_{Non} 。
4. 计算得到 R_{isoP} 和 R_{isoN} 。
5. 返回步骤 1，进行新的监测循环。

[图 2-4](#) 展示了绝缘阻抗监测器电路。设计上通过并联电阻器 RH 和串联电阻器 R1，确保 TPSI2140 触点两端的工作电压始终保持在 1000V 以下。RH 的阻值为 $1.5\text{M}\Omega$ ，R1 的阻值为 $3\text{M}\Omega$ ，两者精度均为 0.1% 。R2 的阻值为 $4.5\text{M}\Omega$ ，精度同样为 0.1% 。在最坏情况下，若 R_{isoN} 短路且 TPSI2140 关闭，则 R1、RH 和 TPSI2140 将共同承受总线电压。在本例中，TPSI2140 承受的电压为 1000V 。

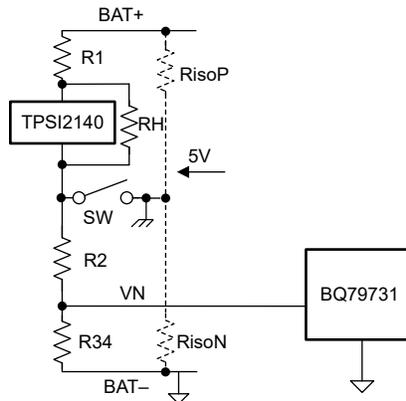


图 2-4. 绝缘阻抗监测器电路

在步骤 1 至步骤 3 中，利用 BQ79731 可以测量 VDC、VNon 和 VNoFF，并通过方程式 2 和方程式 3 计算相关值。

$$\text{RisoP} = \frac{\text{VDC} \times (\text{VNon} - \text{VNoFF})}{\frac{(\text{VDC} - \text{VNon}) \times \text{VNoFF}}{\text{R1}} - \frac{(\text{VDC} - \text{VNoFF}) \times \text{VNon}}{\text{R1} + \text{RH}}} \quad (2)$$

$$\text{RisoN} = \frac{\text{VNon}}{(\text{VDC} - \text{VNon}) \left(\frac{1}{\text{R1}} + \frac{1}{\text{RisoP}} \right) - \text{VNon} \times \frac{1}{\text{R34} + \text{R2}}} \quad (3)$$

当 RisoP 和 RisoN 在室温下处于 50kΩ 至 10MΩ 范围内时，计算精度可高达 10%。

考虑到 ADC 误差和电阻器误差，当 RisoP 等于 50kΩ 且 RisoN 在室温下无限大时，最差情况下的绝缘阻抗估算误差为 7.5%。

2.3 主要产品

2.3.1 BQ79731-Q1

该器件可用于测量电池系统中的高电压分压节点。该器件可以测量保险丝和连接器两端的电压。该器件可以检查电池接线盒 (BJB) 系统中的隔离电压。该器件具有两条支持低侧分流电阻器的集成式电流检测 (BQ79731-Q1) 路径。库仑计数 (BQ79731-Q1) 功能可用于进行精确的 SOC 计算。有 15 个 GPIO/辅助输入可用于高压测量、热敏电阻测量和驱动继电器。有四个软件输出可用于驱动测量路径中的金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 开关。该器件可用作 SPI 集线器并与多达 8 个独立的 SPI 器件/组进行连接。可以使用硬件引脚自主实现过流保护响应，以便在危险的过流事件中提供快速保护。隔离式双向菊花链端口支持基于电容器和变压器的隔离。该器件还可以通过 SPI 与 MCU 通信。

2.3.2 TPSI2140-Q1

TPSI2140-Q1 是一款隔离式固态继电器，专为高电压汽车和工业应用而设计。TPSI2140-Q1 与 TI 具有高可靠性的电容隔离技术和内部背对背 MOSFET 整合在一起，形成了一款完全集成式设计，无需次级侧电源。

该器件的初级侧仅由 9mA 的输入电流供电，并集成了一个失效防护 EN 引脚，可防止对 VDD 电源反向供电的任何可能性。在大多数应用中，器件的 VDD 引脚必须连接到 5V 至 20V 的系统电源，并且器件的 EN 引脚必须由逻辑高电平介于 2.1V 至 20V 之间的 GPIO 输出驱动。在其他应用中，VDD 和 EN 引脚可以直接全由系统电源或 GPIO 输出驱动。TPSI2140-Q1 的所有控制配置都不需要光继电器设计通常所需的其他外部元件，例如电阻器或低侧开关。

次级侧包含背对背 MOSFET，从 S1 至 S2 的关断电压为 ±1.2kV。TPSI2140-Q1 MOSFET 的雪崩稳健性和热敏感封装设计使其能够通过系统级电介质耐压测试 (HiPot)，并且无需任何外部元件即可承受高达 2mA 的直流快速充电器浪涌电流。

2.3.3 ISO7841

ISO7841x 是一款高性能四通道数字隔离器，隔离电压高达 $8000V_{PK}$ 。该器件已通过符合 VDE、CSA、CQC 和 TUV 标准的增强型隔离认证。在隔离 CMOS 或 LVCMOS 数字输入/输出时，该隔离器能够以低功耗提供高电磁抗扰度和低辐射。每条隔离通道的逻辑输入和输出缓冲器均由二氧化硅 (SiO_2) 绝缘栅相隔离。

该器件配有使能引脚，可用于将相应输出置于高阻态以适用于多控制器驱动应用，并降低功耗。ISO7841 器件具有三个正向通道和一个反向通道。如果出现输入功率或信号丢失，ISO7841 器件默认输出高电平，ISO7841F 器件默认输出低电平。

与隔离式电源结合使用时，该器件有助于防止数据总线或者其他电路中的噪声电流进入本地接地端，进而干扰或损坏敏感电路。凭借出色的芯片设计和布线技术，ISO7841 器件的电磁兼容性得到了显著增强，可缓解系统级 ESD、EFT 和浪涌问题并符合辐射标准。

ISO7841 器件采用 16 引脚小外形尺寸集成电路 (SOIC) 宽体 (DW) 和超宽体 (DWW) 封装。

2.3.4 SN6507

SN6507 是一款高压、高频推挽式变压器驱动器，以小尺寸设计提供隔离电源。该器件具有推挽式拓扑结构的简单性、低电磁干扰 (EMI) 和磁通消除等优点，可防止变压器饱和。采用占空比控制技术来减少宽输入范围的元件数量，同时选择高开关频率来缩小变压器尺寸，从而进一步节省空间。

该器件集成了控制器和两个异相切换的 $0.5A$ N 沟道金属氧化物半导体 (NMOS) 电源开关。其输入工作范围通过精密欠压锁定进行编程。该器件通过过流保护 (OCP)、可调节欠压锁定 (UVLO)、过压锁定 (OVLO)、热关断 (TSD) 和先断后通型电路来防止出现故障条件。

可编程软启动可尽可能减少浪涌电流，并为满足关键的上电要求提供电源时序。展频时钟 (SSC) 和引脚可配置的压摆率控制 (SRC) 进一步降低了辐射和传导发射，以满足超低 EMI 要求。

SN6507 可采用 10 引脚 HVSSOP DGQ 封装。该器件的运行温度范围为 $-55^{\circ}C$ 至 $125^{\circ}C$ 。

2.3.5 TPS7B6950

TPS7B69xx 器件是一款低压降线性稳压器，支持最高 $40V V_I$ ，且在轻载下的静态电流仅为 $15\mu A$ (典型值)。该器件适用于备用微控制单元系统，特别是用于如电表、火警和烟雾探测器等常开型应用。

该器件集成有短路保护和过流保护功能。TPS7B69xx 器件的工作温度范围为 $-40^{\circ}C$ 至 $105^{\circ}C$ 。

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

TIDA-010272 的关键性能在 TI 实验室进行了测试，本节说明了使用的终端设备以及测试过程和结果。

表 3-1 介绍了 TIDA-010272 电路板的连接。

表 3-1. 高压电池正极连接器

连接器和引脚分配	功能或原理图网	注释
J24-1	不适用	不适用
J24-2	BATP	电池的正极端子
J24-3	RACKP	电池架的正极端子

表 3-2. 负极电池高压连接器

连接器和引脚分配	功能或原理图网	注释
J22-1	RACKN	电池架的负极端子
J22-2	BATN	电池的负极端子
J22-3	不适用	不适用

表 3-3. 主机接口

连接器和引脚分配	功能或原理图网	注释
J8-1	ISO_OC2_R	来自 BQ79731 CSADC1 的隔离过流警报
J8-3	ISO_SCLK	
J8-5	ISO_GND	
J8-7	ISO_MOSI_RX	BQ7973x 的隔离式 MOSI/RX
J8-9	ISO_nCS	
J8-2	ISO_nFAULT_OD	BQ7973x NFAULT 引脚
J8-4	ISO_OC1_R	来自 BQ79731 CSADC2 的隔离过流警报
J8-6	USB2ANY_3.3V	隔离式 USB2ANY 3.3V
J8-8	ISO_MISO_TX	BQ7973x 的隔离式 MISO/TX
J8-10	ISO_nUART_SPI	

表 3-4. 电流传感器 1 连接器

连接器和引脚分配	功能或原理图网	注释
J28-1	SRP1_RES	通道 1 的电流检测正极端子
J28-2	SRN1_RES	通道 1 的电流检测负极端子
J28-3	GND	BQ7973x 的 GND
J28-4	NTC1_RTN	热敏电阻 1 的回路引脚
J28-5	NTC1_SNS	热敏电阻 1 的检测引脚

表 3-5. 电流传感器 2 连接器

连接器和引脚分配	功能或原理图网	注释
J29-1	SRP2_RES	通道 2 的电流检测正极端子
J29-2	SRN2_RES	通道 2 的电流检测负极端子
J29-3	GND	BQ7973x 的 GND
J29-4	NTC2_RTN	热敏电阻 2 的回路引脚
J29-5	NTC2_SNS	热敏电阻 2 的检测引脚

运行此设计板之前，请执行以下程序。该设计采用 1500V 电池架配置。通过使用高压直流电源为整个电池架供电，对电路板进行测试。测试时将测试点 RACK - 和 BAT - 连接至直流电源的负极端子，将测试点 BAT+ 连接至直流电源的正极端子。

1. 将分流仿真器连接到 CSADC1 的电流检测负极端子 (SRN) 和电流检测正极端子 (SRP)
2. 高压电阻 RisoP 和 RisoN 分别使用 50k Ω 和 10M Ω

3.3 测试结果

3.3.1 总线电压精度

测试设置如图 3-1 所示。该设计在电路板上测量连接 1500V 直流电源的 VBAT 通道，电源设置为 500V 至 1500V，假设 ESS 的工作电压范围为 1100V 至 1500V。VF1_7 是 BQ79731 读取的数据。VBAT_7 是通过 BQ79731 计算得出的 VBAT 电压。VBAT_7 等于比率乘以 VF1_7。该比率为电压增益，在该设计中为 361.7214429。校准过程使用 1100V 和 1500V 测试点来消除由 BQ79731 VF1 ADC 引起的偏移误差和由电阻器误差引起的增益误差。

表 3-10 展示了 BQ79731 VF1 测量的总线电压精度数据。BAT 电压的梯形电阻和检测电阻具有 1% 的精度。校准前的精度最大为 0.76%。校准后，当总线电压 $\geq 500V$ 时，精度小于 0.1%；当总线电压为 500V 时，最大绝对误差为 0.3V。这完全符合 GBT34131-2023 标准：当总线电压 $\geq 500V$ 时，精度 $\leq 0.5%$ ；当总线电压 $< 500V$ 时，最大绝对误差 $\leq 5V$ 。

表 3-10. 总线电压精度数据

VF1_7 (V)	仪表读数 VBAT_M (V)	校准前		校准后	
		VBAT_7 (V)	精度	VBAT_7_c (V)	精度
1.3894	499.898	502.5758	0.53%	500.2247	0.07% (绝对值 0.3V)
2.225	799.881	804.8302	0.61%	799.7497	-0.02%
2.7834	999.868	1006.815	0.69%	999.911	0.00%
3.0624	1099.92	1107.736	0.71%	1099.92	0.00%
3.6197	1299.92	1309.323	0.72%	1299.687	-0.02%
4.1783	1499.92	1511.381	0.76%	1499.92	0.00%

图 3-2 展示了使用 BQ79731 VF1 测量的总线电压精度曲线。

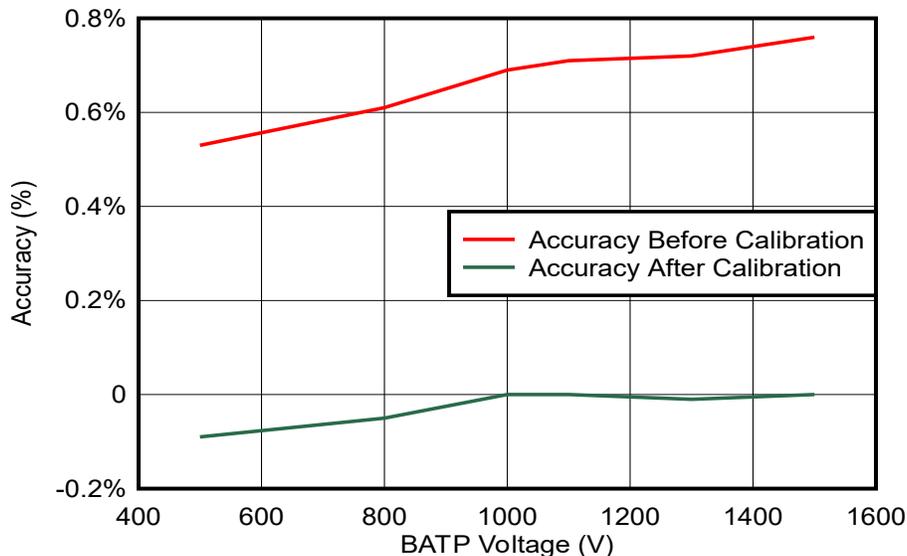


图 3-2. 总线电压精度曲线

3.3.2 电流检测精度

测试设置如图 3-1 所示。高精度电压源提供了 11 个从 -75mV 到 75mV 的电压测试点，以模拟分流电阻 $150\ \mu\Omega$ 在 -500A 至 500A 范围内的电流。为了验证电流检测电路的电流分辨率，施加 $1500\ \mu\text{V}$ (即 $150\ \mu\Omega$ 分流电阻上 10A 的电流)。

表 3-11 显示了使用 BQ79731 CSADC1 测得的电流检测精度数据。校准前的最大误差为 $58.79\ \mu\text{V}$ 。校准后的最大误差降至 $9.87\ \mu\text{V}$ 。假设分流电阻为 $150\ \mu\Omega$ ，校准后，当分流电流大于 10A 时，电流精度小于 0.007%，而电流在 10A 及以下时的最大绝对误差为 6.56mA。

表 3-11. 电流检测精度测试数据

Simulator_voltage (μV)	CSADC1 精度 (校准前)		CSADC1 精度 (校准后)		误差 (%)	校准后的分流电流检测精度	
	CSADC1_Reading_uncal (μV)	CSADC1_uncal_error (μV)	CSADC1_reading_cal (μV)	CSADC1_cal_error (μV)		$150\ \mu\Omega$ 分流电流误差 (mA)	$150\ \mu\Omega$ 分流电流 (A)
-75000	-74941.21	58.79	-74990.13	9.87	-0.0001	65.82	-500.00
-2500	-2490.96	9.04	-2501.08	-1.08	0.0004	-7.20	-16.67
-1500	-1491.40	8.60	-1500.98	-0.98	0.0007	-6.56	-10.00
-250	-242.07	7.93	-250.99	-0.99	0.0039	-6.58	-1.67
-150	-142.01	7.99	-150.87	-0.87	0.0058	-5.77	-1.00
0	8.78	8.78	0.00	0.00	不适用	0.03	0.00
150	159.25	9.25	150.56	0.56	0.0037	3.70	1.00
250	259.37	9.37	250.73	0.73	0.0029	4.85	1.67
1500	1507.90	7.90	1499.92	-0.08	-0.0001	-0.52	10.00
2500	2507.21	7.21	2499.77	-0.23	-0.0001	-1.54	16.67
75000	74968.64	-31.36	75000.00	0.00	0.0000	0.03	500.00

图 3-3 展示了使用 BQ79731 CSADC1 测量的分流电压精度曲线。

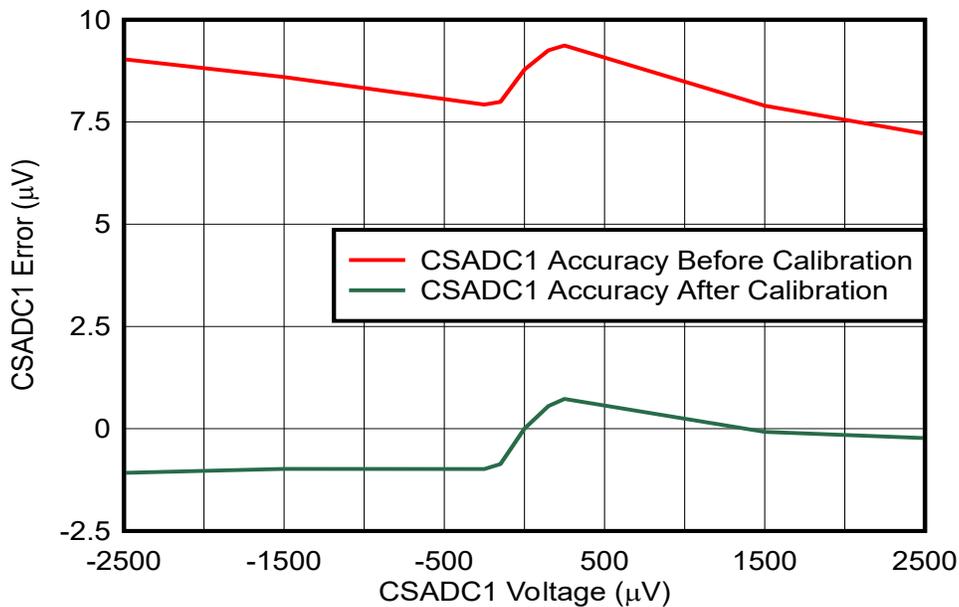


图 3-3. CSADC1 精度曲线

3.3.3 绝缘阻抗精度

测试设置如图 3-1 所示。高压直流电源提供 1500V 电压来模拟电池架。为了验证电流检测电路的电流精度，应施加 $1500\ \mu\text{V}$ ($150\ \mu\ \Omega$ 分流电阻上施加 10mA 电流) 的电压。

表 3-12 展示了绝缘阻抗精度数据。当 RisoP 为 $50\text{k}\ \Omega$ 且未连接 RisoN 时，RisoP 和 RisoN 的精度为 6.32%，最大误差为 $3\text{k}\ \Omega$ 。

表 3-12. 绝缘阻抗精度数据

RisoP (k Ω)	RisoN (k Ω)	RisoP 误差	RisoN 误差
50	未连接	6.32% ($3\text{k}\ \Omega$)	不适用
50	50	-0.83%	-1.15%
10000	未连接	-0.67%	不适用
10000	10000	-0.65%	-0.28%
未连接	50	不适用	-1.54%
未连接	10000	不适用	-0.27%

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-010272](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010272](#) 中的设计文件。

4.2 工具与软件

工具

[USB2ANY 评估板](#) USB2ANY 接口适配器工具用于支持计算机通过 USB 连接控制评估模块 (EVM)。USB2ANY 支持多种常见的协议接口并提供 3.3V 和 5V 电源。

软件

[BQSTUDIO](#) Battery Management Studio (bqStudio) 软件

[CCSTUDIO](#) Code Composer Studio™ 集成开发环境 (IDE)

4.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[“LiFePO4 设计注意事项”应用手册](#)
2. 德州仪器 (TI)，[“在储能系统中精确扩展电池管理设计”应用简报](#)
3. 德州仪器 (TI)，[“如何为高电芯数工业应用堆叠电池监测器”技术文章](#)

4.4 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的[使用条款](#)。

4.5 商标

E2E™, Code Composer Studio™, and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Bourns® is a registered trademark of Bourns, Inc.

Agilent® is a registered trademark of Agilent Technologies Inc.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

JUNHUA YAN 是 SEM 工业电网基础设施和电力传输团队的 TI 系统工程师。Junhua 专注于电池包和储能系统应用，并创造了多种设计来解决工业电池包设计难题。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司