

# 具有精确电芯测量和高侧 MOSFET 控制功能的 10 至 16 芯串联电池组参考设计



## 说明

此参考设计是一款待机和运输模式电流消耗低、电芯电压精度高的 10-16 芯串联锂离子、磷酸铁锂电池组设计。它能够非常精确地监控各电芯的电压和温度、电池组电流和 MOSFET 温度，并防止锂离子、磷酸铁锂电池组出现电芯过压、欠压、过热和充放电过流以及放电短路现象。采用高侧 N 沟道 MOSFET 架构，具有强大的驱动开关能力。利用高效的辅助电源策略，此参考设计可实现 100  $\mu$ A 待机功耗和 10  $\mu$ A 运输模式功耗，因此能够节省更多能源并实现更长的运输时间和空闲时间。借助上述特性，此参考设计非常适用于电动自行车和电动踏板车电池组应用。

## 资源

|  |       |
|--|-------|
| <a href="#">TIDA-010208</a>  | 设计文件夹 |
| <a href="#">BQ76952</a> 、 <a href="#">BQ77216</a> 、 <a href="#">MSP430FR2155</a> | 产品文件夹 |
| <a href="#">LM5163</a> 、 <a href="#">TCAN1042HV</a> 、 <a href="#">TCAN1044V</a>  | 产品文件夹 |
| <a href="#">TLV704</a> 、 <a href="#">TMP61</a>                                   | 产品文件夹 |

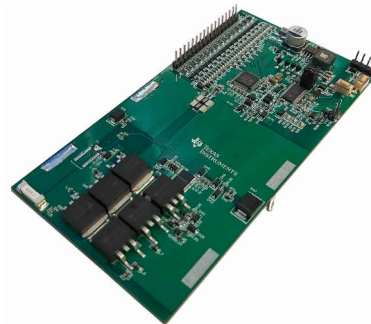
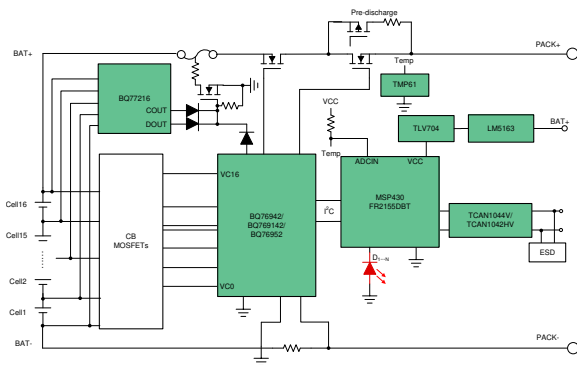


## 特性

- 超低的电流消耗：
  - 待机模式下的典型值为 100  $\mu$ A
  - 运输模式下的典型值为 10  $\mu$ A
- 电芯电压精度高，无需校准：
  - 25°C 时为  $\pm 5$ mV；0°C 至 60°C 条件下为  $\pm 10$ mV；-40°C 至 85°C 条件下为  $\pm 15$ mV
- 提供可靠的电芯保护，包括：
  - 一级保护：电芯过压、欠压、双电平过流放电、过流充电、放电短路和过热
  - 二级保护：电芯过压、欠压和过热
- 其他系统保护特性，包括：电芯开路和主机看门狗
- 支持电芯随机连接
- 反向充电器和电池组侧高电压保护
- 高侧 N 沟道 MOSFET 和强大的驱动能力

## 应用

- 电池组 - 电动自行车、电动踏板车、LEV
- 其他工业电池组 ( $\geq 10$ s)



## 1 系统说明

电动自行车市场正在迅速增长。由于重量限制和需要更长的续航能力，电池组的电芯化学成分正在从铅酸转为锂离子、锂聚合物或磷酸铁锂类型。这些化学应用的体积和重量能量密度都非常不错。虽然这种化学物质可提供高能量密度，并因而具备体积更小、重量更轻的优势，但也会涉及到安全问题，需要更准确和复杂的监测和保护。这些问题包括电芯欠压 (CUV) 和过压 (COV)、过热 (OT)、充电过流 (OCC) 和放电过流 (OCD) 以及短路放电 (SCD)，所有这些都加速电芯退化，并可能导致热失控和爆炸。因此，应及时监测电池组电流、电芯温度和电芯电压，以防出现一些异常情况。必须防止电池组出现所有这些情况。

各个参数始终需要良好的测量精度，尤其是电芯电压、电池组电流和电芯温度。为了准确计算保护和电池组充电状态 (SoC)，必须保持良好的精度。因为 LiFePO<sub>4</sub> 电池组应用具有稳定的电压，所以对它来说尤其必须保持良好的精度。电池供电应用的另一个重要特性是电流消耗，特别是在运输模式或待机模式下。更低的电流消耗可节省更多能源，并提供更长的存储时间，而不会使电池过度放电。

此设计主要面向电动自行车或电动踏板车电池组应用，也适用于其他高电芯数应用，例如割草机器人电池组、48V 家庭储能系统电池组等。它包含初级和次级保护，以确保电池组的安全使用。初级保护能防止电池组出现所有异常状况，包括：电芯过压、电芯欠压、过热和充放电过流以及短路放电。次级保护支持独立的电芯过压保护、电芯欠压保护和过热保护，是一个附加电路板，可根据实际需求轻松移除和添加。25°C 的电芯电压测量精度在 ±5mV 以内，在 0°C 至 60°C 之间为 ±10mV，无需任何进一步校准。此解决方案精心设计了辅助电源架构，该架构在有限数量的元件和简单的控制策略下实现相当低的运输模式 (10 μA) 和待机模式 (100 μA) 电流消耗。

## 2 系统概览

表 2-1 列出了此设计的主要系统规格。

表 2-1. 主要系统规格

| 参数            | 工作条件        | 规格范围 |      |     | 单位    |
|---------------|-------------|------|------|-----|-------|
|               |             | 最小值  | 典型值  | 最大值 |       |
| 电芯架构          | BQ76942     | 3    |      | 10  | 串 (联) |
|               | BQ769142    | 3    |      | 14  | 串 (联) |
|               | BQ76952     | 3    |      | 16  | 串 (联) |
| 电芯均衡峰值电流      | 电芯电压：4000mV |      | 117  |     | mA    |
| 充电电流          |             |      |      | 27  | A     |
| 放电电流          |             |      |      | 27  | A     |
| 预放电电流         | 电池组电压：48V   |      | 160  |     | mA    |
| 电芯电压精度        | 25°C        |      |      | ±5  | mV    |
|               | 0°C - 60°C  |      |      | ±10 | mV    |
| 电池组电流精度       | < 2A        |      | ±10  |     | mA    |
|               | > 2A        |      | ±0.5 |     | %     |
| 初级 OV 保护      | 阈值          |      | 4200 |     | mV    |
|               | 延迟          |      | 2    |     | s     |
| 次级 OV 保护      | 阈值          |      | 4325 |     | mV    |
|               | 延迟          |      | 1    |     | s     |
| 初级 UV 保护      | 阈值          |      | 2530 |     | mV    |
|               | 延迟          |      | 2    |     | s     |
| 次级 UV 保护      | 阈值          |      | 2250 |     | mV    |
|               | 延迟          |      | 1    |     | s     |
| OCD 保护 - 级别 1 | 阈值          |      | 10   |     | A     |
|               | 延迟          |      | 425  |     | ms    |
| OCD 保护 - 级别 2 | 阈值          |      | 30   |     | A     |
|               | 延迟          |      | 56   |     | ms    |
| OCC 保护        | 阈值          |      | 10   |     | A     |
|               | 延迟          |      | 425  |     | ms    |

表 2-1. 主要系统规格 (continued)

| 参数         | 工作条件         | 规格范围 |     |     | 单位 |
|------------|--------------|------|-----|-----|----|
|            |              | 最小值  | 典型值 | 最大值 |    |
| SCD 保护     | 阈值           |      | 200 |     | A  |
|            | 延迟           |      | 300 |     | μs |
| 过热保护       | 充电           |      | 55  |     | °C |
|            | 放电           |      | 60  |     | °C |
| 欠温保护       | 充电           |      | 0   |     | °C |
|            | 放电           |      | -20 |     | °C |
| Pack+ 最大电压 | 充电 MOSFET 关闭 |      |     | 120 | V  |
| 待机模式电流消耗   |              |      | 100 |     | μA |
| 运输模式电流消耗   |              |      | 10  |     | μA |

## 2.1 方框图

图 2-1 所示为系统图。系统使用 TI 提供的高精度电池监测器和保护器 bq769x2 系列来监测各电芯电压、电池组电流和温度数据，并保护电池组免受各种异常状况的影响，包括：COV、CUV、OT、充电过流和放电过流以及短路放电。该系列有 3 个器件：bq76942 用于 3 至 10 芯串联的应用，bq769142 用于最多 14 芯串联的应用，bq76952 用于最多 16 芯串联的应用。它们是引脚对引脚器件，所以只需进行有限数量的元件更改，就可以轻松更新设计以匹配不同的电池电芯应用。此设计使用一个独立的次级保护器 bq77216，对 16 芯串联电池提供电压保护和过热保护。这使得设计在不需要 MCU 执行保护工作的情况下通过一些安全法规，从而省去了固件的安全认证环节。设计中有一个低功耗 MSP430™ MCU MSP430FR2155，它会与监视器通信，处理所有系统控制策略，以及向系统端上传所有请求的信息。此设计有一个 CAN 收发器 TCAN1044V 或 TCAN1042HV，通过 VIO 端子集成电平转换功能，允许将收发器 IO 直接连接到 1.8V、2.5V、3.3V 或 5V 逻辑 IO。TCAN1044V 具有  $\pm 58V$  总线故障保护电压，足以适用于电动自行车或电动踏板车的 36V 电池组。因为 TCAN1042HV 支持高达  $\pm 70V$  的总线故障保护电压，所以也推荐为 48V 电动自行车电池组使用此器件。MSP430FR2155 没有集成的 CAN 控制器，所以此设计不支持 CAN 通信。此设计使用 100V 输入、0.5A、超低  $I_Q$  同步降压直流/直流转换器 LM5163，使用低  $I_Q$  LDO TLV704 作为辅助电源。使用具有正温度系数和 0603 封装 TMP61 的  $\pm 1\%$ 、 $10k\Omega$  线性热敏电阻来监测 MOSFET 温度，并通过 MCU ADC 进行测量。

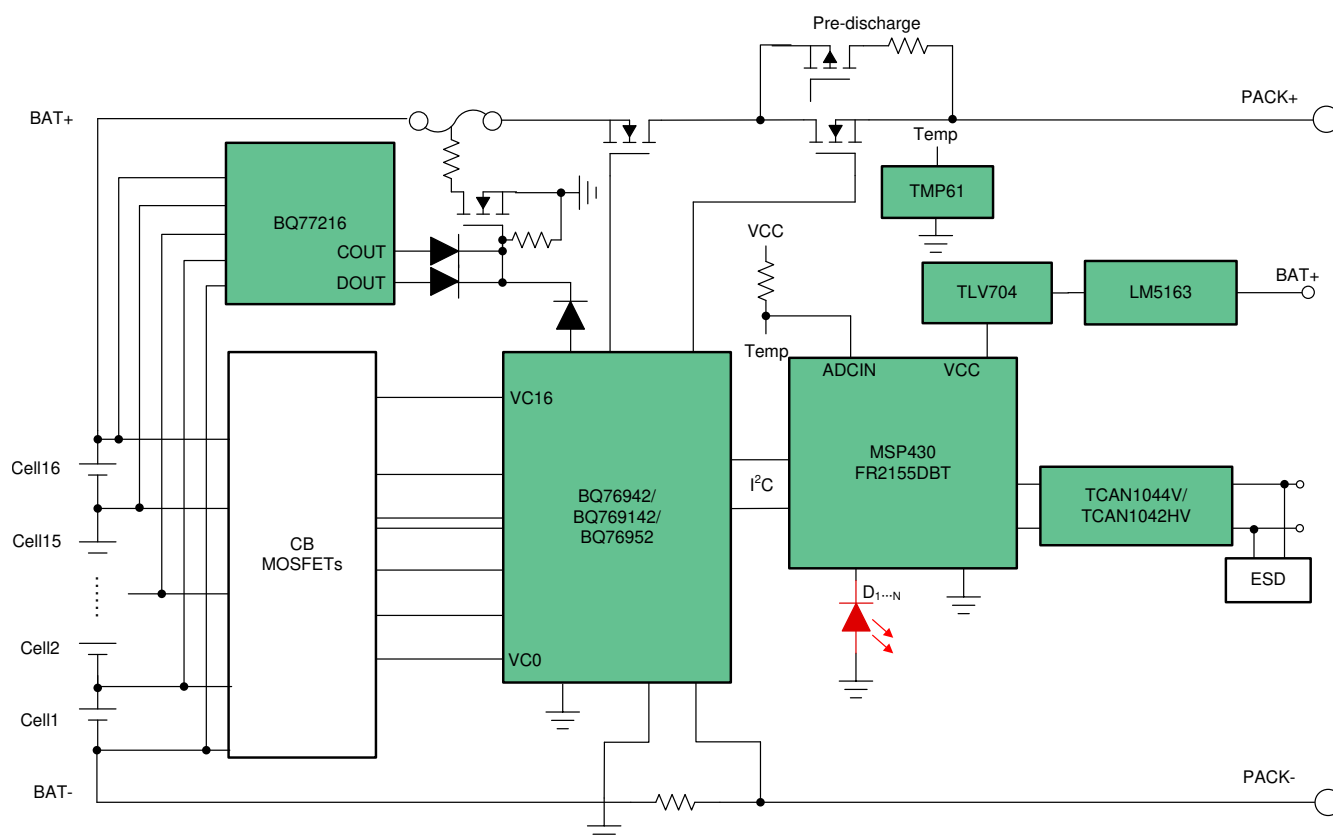


图 2-1. TIDA-010208 方框图

## 2.2 设计注意事项

### 辅助电源策略

针对待机模式和运输模式下的低电流消耗要求，此设计使用图 2-2 中所示的辅助电源策略。

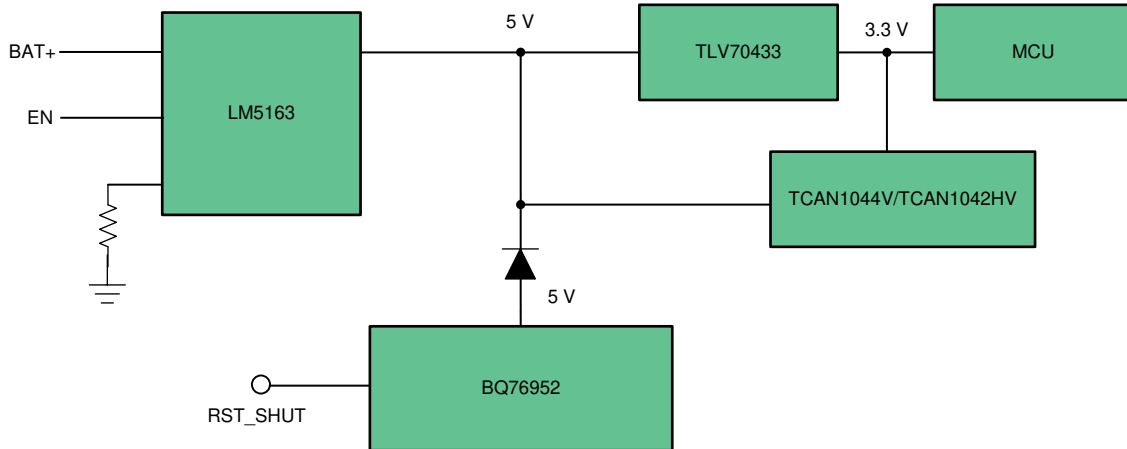


图 2-2. 辅助电源策略

该设计具有 100V 输入、0.5A、超低  $I_Q$  同步降压直流/直流转换器 LM5163，当系统在正常模式下运行时，使用低  $I_Q$  LDO TLV704 作为主电源。BQ76952 稳压器配置为 5V 输出，这是系统在待机模式下运行时的电源。BQ76952 稳压器输出上的串联二极管确保在正常模式下，所有电源都来自直流/直流转换器，防止 BQ76952 稳压器电路过热，因此直流/直流输出应设计成略高于 5V（即 BQ76952 稳压器输出）。LM5163 和 LM5164 转换器快速入门设计工具提供了详细的元件设计指导。当系统遇到严重的电芯欠压情况且必须进入运输模式时，MCU 将配置 BQ76952 器件，以便通过 I2C 命令或 RST\_SHUT PIN 进入关断模式，并通过 EN PIN 关闭 LM5163 输出，从而将系统配置为非常低的电流消耗模式。此设计支持充电器连接和系统检测唤醒功能。这两种方法均可唤醒 BQ76952 器件并启用正常的 5V 稳压器输出，然后 MCU 会通电并通过 EN PIN 启用 LM5163，然后整个系统回到正常模式。

## 2.3 主要产品

### BQ76952

BQ76952 器件是一款高度集成的高精度电池监控器和保护器，适用于 3 至 16 芯串联锂离子、锂聚合物和 LiFePO4 电池组。该器件包括一个高精度监控系统和一个高度可配置的保护子系统，并支持自主式或主机控制型电芯均衡。它集成了高侧电荷泵 NFET 驱动器、供外部系统使用的双路可编程 LDO 以及一个支持 400kHz I2C、SPI 和 HDQ 单线标准的主机通信外设。BQ76952 器件采用 48 引脚 TQFP 封装。

## BQ77216

BQ77216 产品系列提供了多种电压和温度监控功能，包括适用于锂离子电池组系统的过压 (OVP)、欠压 (UVP)、开路 (OW) 和过热 (OT) 保护。可独立监控各电芯是否具有过压、欠压和开路情况。通过增加外部 NTC 热敏电阻，该器件可以检测到过热情况。当检测到存在过压、欠压、开路或过热情况时，BQ77216 器件即启动内部延迟计时器。延迟计时器过期时，将触发相应的输出进入其工作状态（根据配置的不同，为高电平或低电平状态）。如果检测到过压故障，将触发 COUT 引脚。如果检测到欠压故障，将触发 DOUT 引脚。如果检测到过热或开路故障，则同时触发 DOUT 和 COUT 引脚。为了实现更快速的产品线测试，BQ77216 器件可提供延迟时间大幅减少的客户测试模式 (CTM)。

## LM5163

LM5163 同步降压转换器用于在宽输入电压范围内进行调节，从而最大限度地减少对外部浪涌抑制元件的需求。50ns 的最短可控导通时间有助于实现较大的降压比，支持从 48V 标称输入到低电压轨的直接降压转换，从而降低系统的复杂性并减少解决方案成本。LM5163 在输入电压突降至 6V 时能够根据需要以接近 100% 的占空比继续工作，因而是宽输入电源电压范围工业应用和高电芯数电池组应用的理想之选。LM5163 具有集成式高侧和低侧功率 MOSFET，可提供高达 0.5A 的输出电流。恒定导通时间 (COT) 控制架构可提供几乎恒定的开关频率，具有出色的负载和线路瞬态响应。LM5163 的其他特性包括超低 IQ 和二极管仿真模式运行（可实现高轻负载效率）、创新的峰值和谷值过流保护、集成式 VCC 偏置电源和自举二极管、精密使能和输入 UVLO 以及具有自动恢复功能的热关断保护。LM5163 采用热增强型 8 引脚 SO PowerPAD™ 封装。

## TCAN1044V

TCAN1044V 是一款高速控制器局域网 (CAN) 收发器，符合 ISO 11898-2:2016 高速 CAN 规范的物理层要求。TCAN1044V 收发器支持传统 CAN 和 CAN FD 网络（数据速率高达 8 兆位/秒 (Mbps)）。TCAN1044V 包括通过 VIO 端子实现的内部逻辑电平转换功能，能够将收发器 IO 直接连接到 1.8V、2.5V、3.3V 或 5V 逻辑 IO。该收发器具有低功耗待机模式，可通过 ISO 11898-2:2016 定义的唤醒模式 (WUP) 实现远程唤醒。TCAN1044V 收发器还包括很多保护和诊断功能，支持热关断 (TSD)、TXD 显性超时 (DTO)、电源欠压检测和高达 ±58V 的总线故障保护。

## TCAN1042HV

这款 CAN 收发器系列符合 ISO1189-2 (2016) 高速 CAN (控制器局域网) 物理层标准。所有器件均设计用于数据速率高达 2Mbps (兆位每秒) 的 CAN FD 网络。器件型号包含“G”后缀的器件旨在实现高达 5Mbps 的数据速率，器件型号包含“V”后缀的器件配有可提供 I/O 电平的辅助电源输入，用于设置输入引脚阈值和 RXD 输出电平。该系列具备低功耗待机模式及远程唤醒请求特性。此外，所有器件都提供多种保护特性来提高器件和网络的耐用性。

## MSP430FR2155

MSP430FR215x 微控制器 (MCU) 是 MSP430™ MCU 超值系列超低功耗低成本器件产品系列的一部分，该产品系列用于感测和测量应用。该器件还包含一个 12 通道 12 位 ADC 和两个比较器。MSP430FR215x 支持 -40° 至 105°C 的工作温度范围，因此该器件的 FRAM 数据记录功能对更高温度的工业应用来说意义重大。这个工作温度范围让开发人员可以满足烟雾探测器、传感器变送器和断路器等应用的要求。MSP430FR215x 具有功能强大的 16 位 RISC CPU、16 位寄存器和常数发生器，有助于实现更高编码效率。数控振荡器 (DCO) 通常可以使器件在不到 10 μs 的时间内从低功耗模式唤醒至激活模式。MSP430 超低功耗 (ULP) FRAM 微控制器平台将独特的嵌入式 FRAM 和整体超低功耗系统架构相结合，从而使系统设计人员能够在降低能耗的情况下提升性能。FRAM 技术将 RAM 的低功耗快速写入、灵活性和耐用性与闪存的非易失性相结合。MSP430FR215x 由一个由各种软、硬件资源组成的生态系统提供支持，其中包含参考设计和代码示例，可帮助您快速开展设计。

## TLV704

TLV704 系列低压降 (LDO) 稳压器是针对功耗极端敏感型应用而设计的超低静态电流器件。静态电流在整个负载电流和环境温度范围内几乎保持不变。对于低功耗微控制器 (例如 MSP430) 来说，这些器件是理想的电源管理附件。TLV704 器件可在 2.5V 至 24V 的宽输入电压范围内运行。凭借这一特性，该器件成为电池供电类系统以及存在较大线路瞬变的工业应用的理想之选。TLV704 采用 3mm × 3mm SOT23-5 封装，非常适合生产经济实用的电路板。

## TMP61

TMP61 线性热敏电阻可在整个温度范围内提供线性度和始终如一的灵敏度，支持使用简单而准确的方法进行温度转换。器件的低功耗和较小的热质量可最大限度地减小自发热的影​​响。这些器件具有内置的高温失效防护性能以及对环境变化的强大抵抗力，设计用于长寿命的高性能应用。TMP6 系列器件外型小巧，可靠近热源放置，并具有快速响应时间。与 NTC 热敏电阻相比，它具有以下优点：无需额外的线性化电路、更大程度减少校准工作量、电阻容差变化更小、高温下灵敏度更高以及可节省处理器时间和内存的简化转换方法。TMP61 目前采用 0402 封装尺寸、0603 封装尺寸以及 2 引脚穿孔式 TO-92S 封装。

## 3 硬件、软件、测试要求和测试结果

在 TI 实验室对 TIDA-010208 的关键性能进行了测试，本节说明了使用的终端设备以及测试过程和结果。

表 3-1 描述了 TIDA-010208 电路板的连接。

表 3-1. 电路板连接

| 连接器和引脚分配 | 功能或原理图网 | 注意事项   |
|----------|---------|--|
| BAT-     | BAT-    | 电池组负极；此为电子元件和电芯高电流路径提供了基准  |
| BAT+     | BAT+    | 电池组正极；此为高侧驱动器和电芯高电流路径提供了电源                                       |
| PACK+    | PACK+   | 充电器正极或负载正极   |
| PACK-    | PACK-   | 充电器负极或负载负极   |
| P1-1     | GND     | SBW 编程连接器接地  |
| P1-2     | SBCLK   | SBW 编程连接器 SBCLK  |
| P1-3     | SBIO    | SBW 编程连接器 SBIO   |
| P1-4     | 3V3     | SBW 编程连接器 3.3V   |
| P2-1     | SCL     | 来自 bq76952、bq76942、bq769142 的 I2C 通信 SCL，连接 SCL_MCU 或 EV2400 SCL |
| P2-2     | SCL_MCU | 来自 MCU 的 I2C 通信 SCL  |
| P2-3     | SDA     | 来自 bq76952、bq76942、bq769142 的 I2C 通信 SDA，连接 SDA_MCU 或 EV2400 SDA |
| P2-4     | SDA_MCU | 来自 MCU 的 I2C 通信 SDA  |
| P3       | Cn      | (n = 0 至 16) 电芯监测、平衡和电子设备电源连接。P3 是电池电芯的连接器。                      |
| P4-1     | CAN-H   | 高电平 CAN 总线   |

**表 3-1. 电路板连接 (continued)**

| 连接器和引脚分配 | 功能或原理图网 | 注意事项       |
|----------|---------|------------|
| P4-2     | CAN-L   | 低电平 CAN 总线 |

可选用以下电路板：(1) 适用于 10 芯串联应用的 BQ76942，(2) 适用于 14 芯串联应用的 BQ769142，以及 (3) 适用于 16 芯串联应用的 BQ76952。用于各种应用场合时，应根据表 3-2 将不同元件组装到电路板上。

**表 3-2. 10、14、16 芯串联应用测试指南**

| 元件       | BQ76952 | BQ76942     | BQ769142 |
|----------|---------|-------------|----------|
| R34      | NC      | NC          | 0        |
| R35      | NC      | NC          | 0        |
| R46      | NC      | NC          | 0        |
| R47      | NC      | 0           | NC       |
| R48      | NC      | 0           | NC       |
| R49      | NC      | 0           | NC       |
| R50      | NC      | 0           | NC       |
| R62      | 0       | NC          | 0        |
| R63      | 0       | NC          | 0        |
| R64      | NC      | 0           | NC       |
| R65      | 0       | NC          | 0        |
| R66      | NC      | 0           | NC       |
| R67      | NC      | 0           | NC       |
| R68      | 0       | NC          | 0        |
| R69      | 0       | NC          | 0        |
| R70      | 0       | NC          | 0        |
| R71      | NC      | NC          | 0        |
| 其他未连接的元件 |         | Q11、D14、C12 | R81、R60  |

测试 10 - 16 芯串联应用的另一种简单方法是一直使用 BQ76952 器件作为监视器，但应短接一些输入通道。表 3-3 提供了有关如何使用 TIDA-010208 电路板执行此操作的指导。

**表 3-3. 将 BQ76952 用于电芯数不同的应用**

| 电芯数           | 15s | 14s | 13s | 10s |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| Cell15-Cell14 | 短接  | 短接  | 短接  | 短接  |
| Cell14-Cell13 | -   | 短接  | 短接  | 短接  |
| Cell13-Cell12 | -   | -   | 短接  | 短接  |
| Cell12-Cell11 | -   | -   | -   | 短接  |
| Cell11-Cell10 | -   | -   | -   | 短接  |
| Cell10-Cell9  | -   | -   | -   | 短接  |

关于次级保护，使用 BQ77216 EVM 来测试性能。

### 3.1 硬件要求

表 3-4 汇总了用于测试的设备。

**表 3-4. 测试设备汇总**

| 设备   | 型号或说明                 |
|------|-----------------------|
| 示波器  | Tektronix DPO 2024B   |
| 直流电源 | Chroma 62050P-100-100 |
| 电子负载 | Chroma 63106          |
| 万用表  | Agilent 34401A        |



表 3-4. 测试设备汇总 (continued)

| 设备          | 型号或说明                     |
|-------------|---------------------------|
| 直流电源        | DAHUA DH1718G-4           |
| 通信适配器       | 德州仪器 (TI) EV2300 或 EV2400 |
| MSP430 编程器  | MSP430 LaunchPad™         |
| BQ77216 EVM | BQ77216 EVM               |

首次调试电路板时建议使用 BQStudio，在 ti.com 上提供了这款产品。

### 3.2 测试设置

运行此设计板之前，请执行以下程序。该设计采用 16 芯串联电池组配置，对于其他电芯数，请参阅表 3-2 或表 3-3 以修改元件。该电路板使用并联的直流电源和 4900 μF 电解电容进行测试，从而仿真整个电池组。使用 16 个串联的 1kΩ 电阻器对电池组电压进行分压，并仿真 16 个串联的电池电芯。

图 3-1 显示充电过程设置示例。直流电源 1 配置：58V - 3A。直流电源 2 配置：48V - 0.5A。电子负载配置：48V CV 模式。

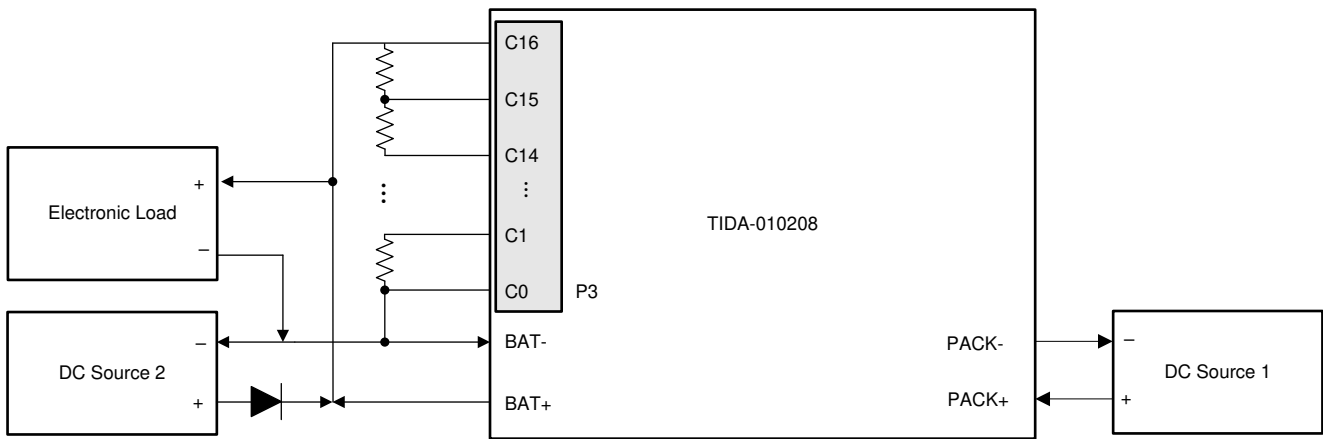


图 3-1. 充电设置

图 3-2 显示放电过程设置示例。直流电源 1 配置：48V - 20A。电子负载配置：CC 模式。

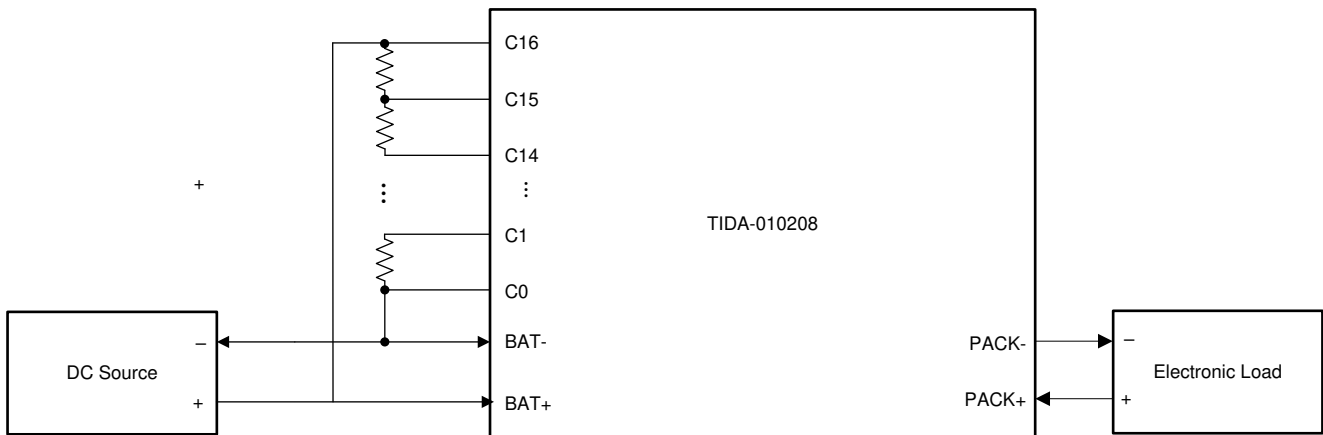


图 3-2. 放电设置

### 3.3 测试结果

#### 电芯电压精度

测试电芯电压精度时，不得使用电阻分压器来仿真电池电芯。在进行 ADC 测量时会有一些电流流入电芯输入 PIN，所以电阻分压器会导致进一步的压降，并使 AFE 读数低于实际值。最好使用真实的电池进行测试。另一种简单方法是利用直流电源来使电芯输入电压保持稳定。本设计使用此方法来测试电芯电压的测量精度。图 3-3 显示在未进行任何进一步校准的情况下，在室温下测得的电芯电压精度数据。全部 16 个通道的电芯电压误差均低于  $\pm 5\text{mV}$ 。

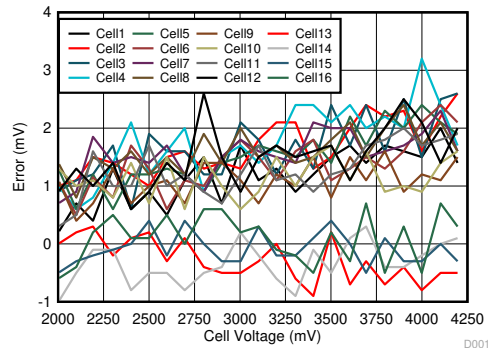


图 3-3. 电芯电压精度

### 电池组电流精度

本设计使用两个并联  $2\text{m}\Omega$ 、 $2\text{W}$ 、 $50\text{PPM}$  分流电阻来测量电池组电流。按照 [BQ76952 评估模块用户指南](#) 中“校准”部分的指南，校准电路板失调电压。使用  $5\text{A}$  放电电流并遵照 [BQ76952 评估模块用户指南](#) 中“校准”部分的指南，校准电流增益。最好使用 OTP 将电路板失调电压和电流增益值写入 BQ76952，否则 MCU 必须在每次从关断模式唤醒时存储此类数据并写入 BQ76952。图 3-4 显示了室温下的电池组电流精度数据。当放电电流低于  $2\text{A}$ ，最大电流误差低于  $\pm 10\text{mA}$ ；当放电电流高于  $2\text{A}$  时，最大电流误差为  $\pm 0.5\%$ 。

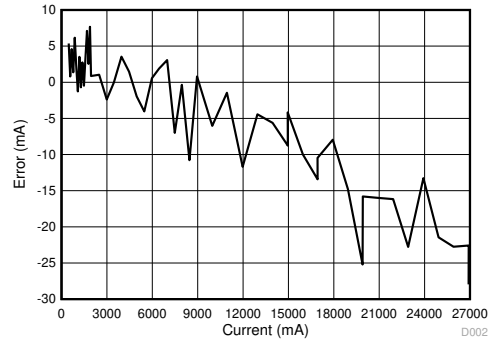


图 3-4. 电池组电流精度

### 辅助电源和系统电流消耗

借助辅助电源策略，此设计具有极低的电流消耗，尤其是在待机模式和运输模式下。系统级电流消耗包含 3 个部分：(1) 直流/直流电流，(2) BQ76952 电流（进入 BQ76952 BAT PIN 的电流），(3) LDO 电流（进入 BQ76952 REGIN PIN 的电流）。此电流可以通过 (1) R115、(2) R61 和 (3) R94 之间的电压测量出来。表 3-5 显示了电流消耗的测试结果。

表 3-5. 待机模式和运输模式下的电流消耗

|      |                      | R115<br>( $100\ \Omega$ ) | R61<br>( $100\ \Omega$ ) | R94<br>( $249\ \Omega$ ) | 总电流 ( $\mu\text{A}$ ) |
|------|----------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 待机模式 | 电压 (mV)              | 0.66                      | 2.02                     | 11.45                    | 72.8                  |
|      | 电流 ( $\mu\text{A}$ ) | 6.6                       | 20.2                     | 46                       |                       |
| 运输模式 | 电压 (mV)              | 0.66                      | 0                        | 0                        | 6.6                   |
|      | 电流 ( $\mu\text{A}$ ) | 6.6                       | 0                        | 0                        |                       |

## 保护

该设计集成了完整的电池电芯保护，包括：电芯过压、电芯欠压、两级过流放电、过流充电、放电短路、过热和欠温保护。此外，此设计还监测系统级故障的损耗，包括：电芯开路、主机看门狗、充电和放电 MOSFET 故障、MOSFET 过热等。在 TI 实验室针对其中一些保护进行了测试。

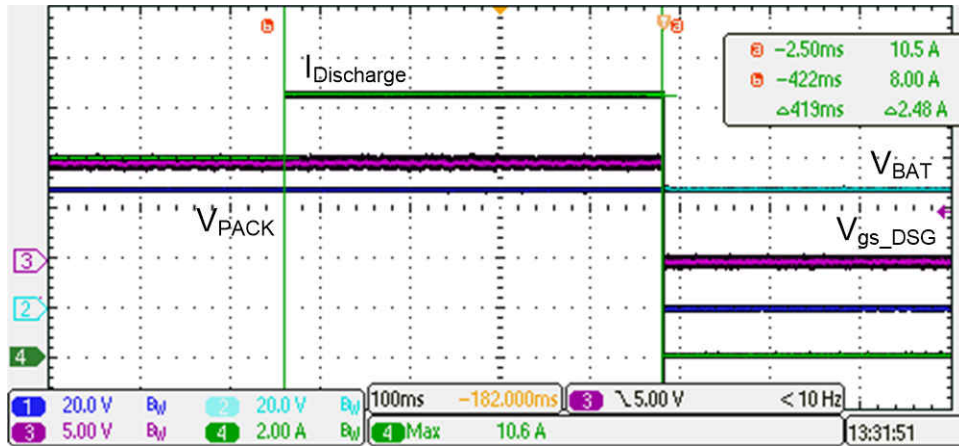


图 3-5. 1 级过流放电

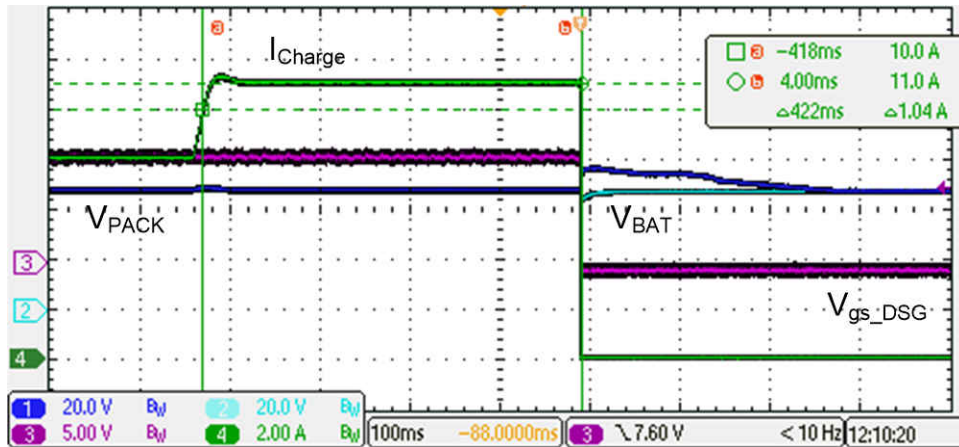


图 3-6. 过流充电

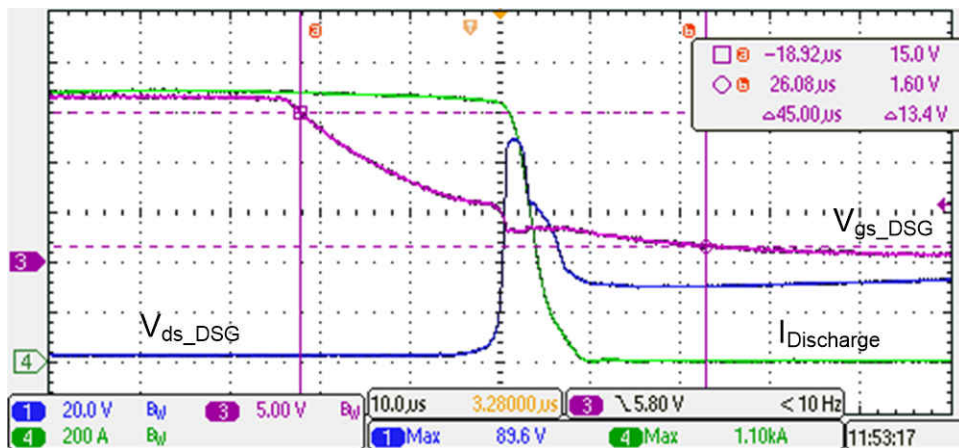


图 3-7. 放电短路

此设计还提供了单独的次级保护，以防止各个电芯发生过压、欠压和过热的危害。这有助于在不增加额外工作量的情况下通过一些安全法规。在 TI 实验室针对次级过压和欠压保护进行了测试。

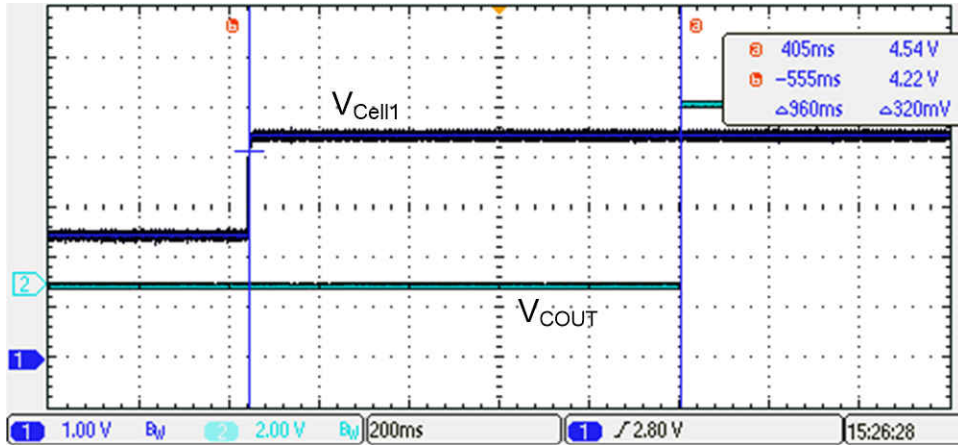


图 3-8. 次级过压保护

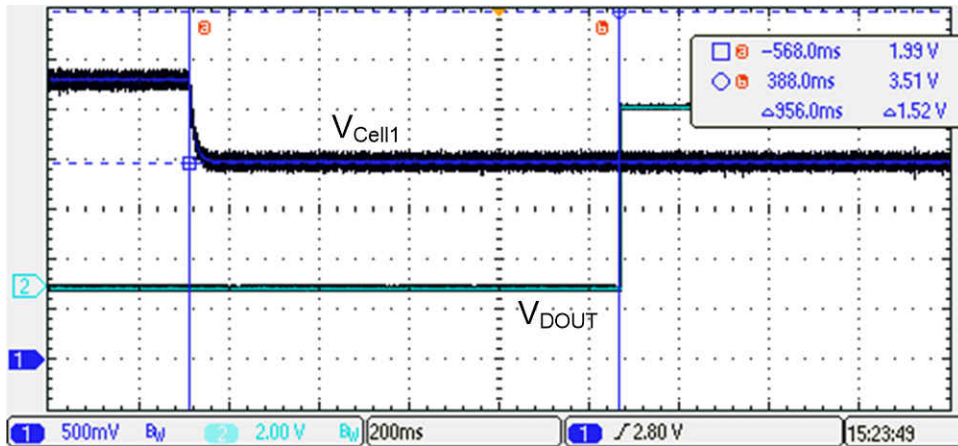


图 3-9. 次级欠压保护

## 电芯均衡

该设计板支持采用 16 个 N 沟道 MOSFET 实现外部电芯均衡。在 4V 电芯电压下，峰值均衡电流为 117mA，99mA 流经外部平衡电阻和 MOSFET，18mA 流经 BQ76952 器件。此设计仅使在用的非相邻电芯实现均衡。触发电芯均衡的条件是：最小电芯电压大于 3500mV，最大电芯电压差大于 40mV，电芯温度在 -20°C 至 60°C 之间。外部电芯均衡性能如图 3-10 所示。电芯均衡占空比约为 85%。

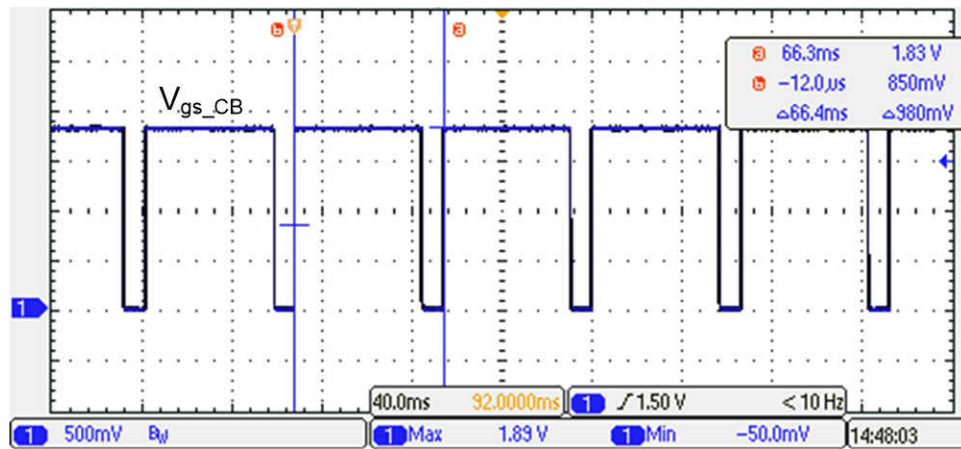


图 3-10. 外部电芯均衡

### 工作模式转换

此设计具有 3 种工作模式：正常模式、待机模式和运输模式。当电池组充电或放电时，它处于正常模式。当不充电或不放电时，电池组处于睡眠模式，正在等待充电器或负载连接。关断模式是一种电流消耗极低的模式，可以节省电能并有助于在电池组或电芯电压很低时，避免电池过放电。图 3-11 至图 3-14 显示了不同工作模式的转换。

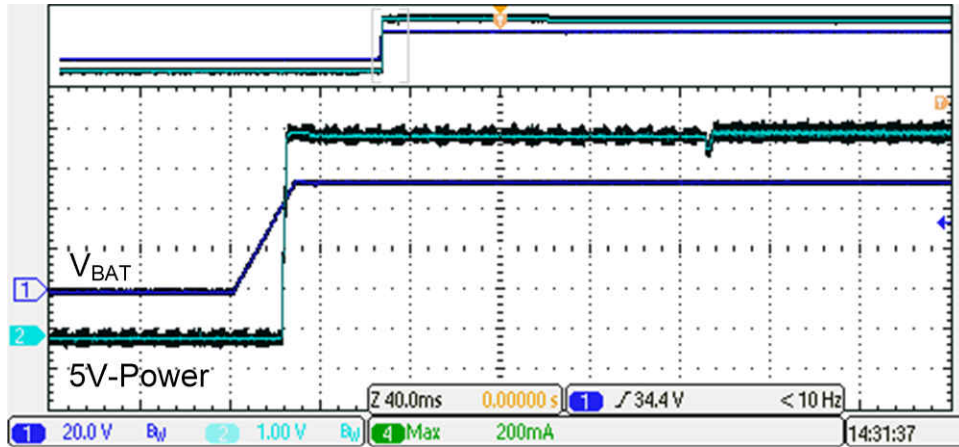


图 3-11. 关断模式至正常模式

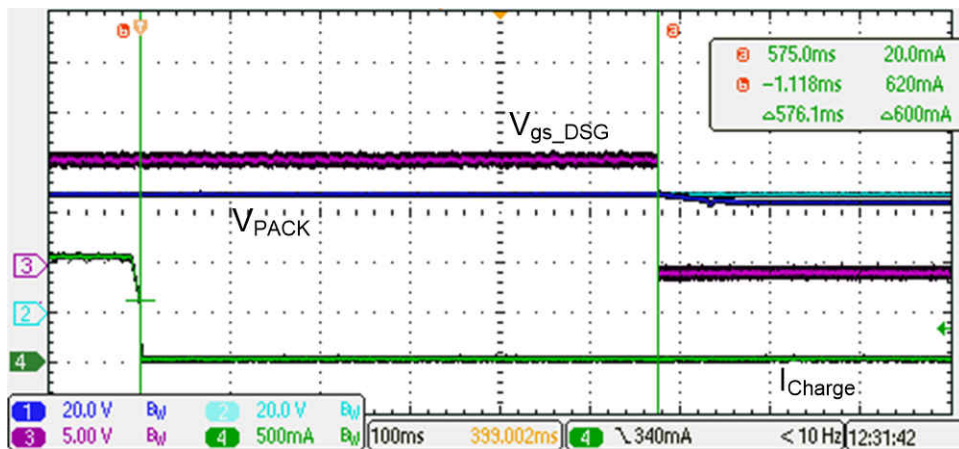


图 3-12. 正常模式 ( 充电 ) 至待机模式

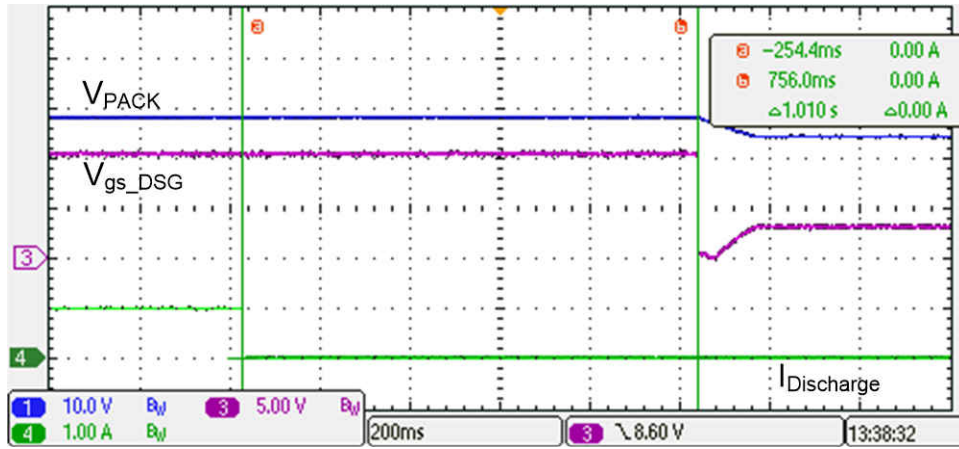


图 3-13. 正常模式 (放电) 至待机模式

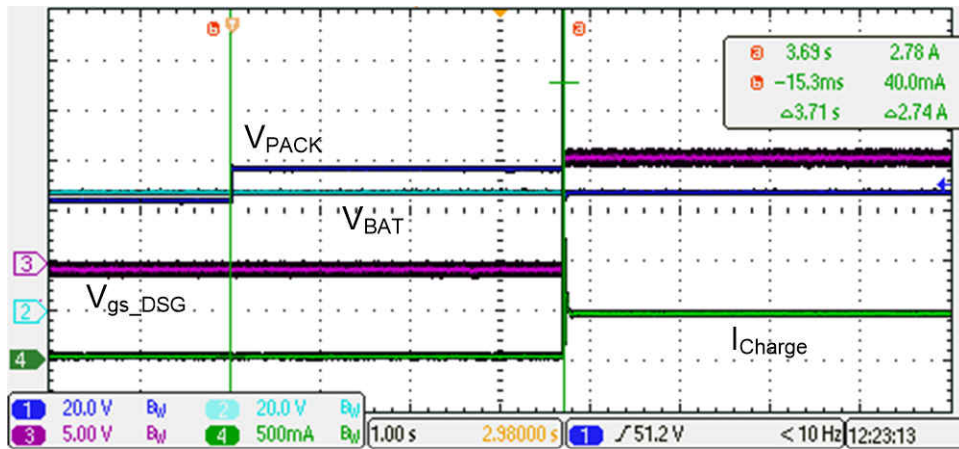


图 3-14. 待机模式至正常模式 (充电)

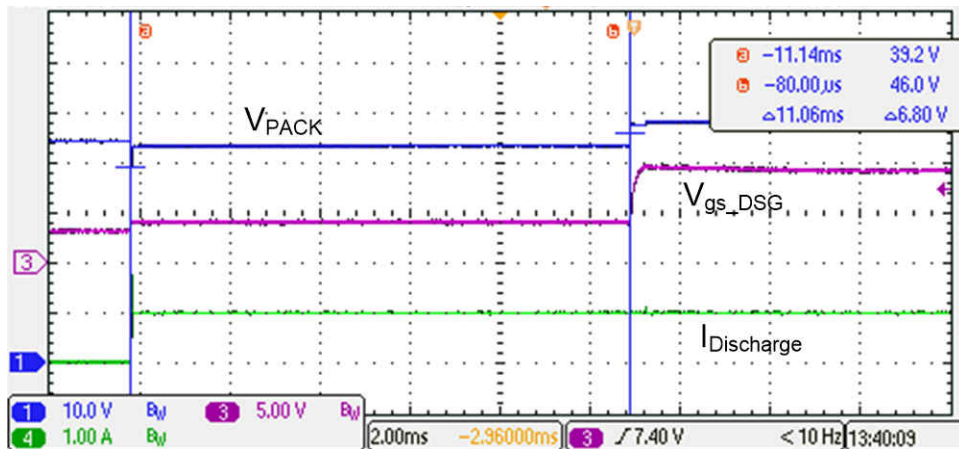


图 3-15. 待机模式至正常模式 (放电)



## 静电放电 (ESD) 性能

在 TI 实验室依照 IEC 61000 - 4 - 2 对此设计的 ESD 性能进行了测试。使用隔离式直流电源和电阻分压器来仿真电池组。仅测试了 ESD 接触放电，在表 3-6 中列出了测试结果。

表 3-6. ESD 性能

| 电压    | 施加的端子 |        |
|-------|-------|--------|
|       | PACK+ | PACK - |
| 2kV   | 通过    | 通过     |
| - 2kV | 通过    | 通过     |
| 4kV   | 通过    | 通过     |
| - 4kV | 通过    | 通过     |
| 8kV   | 通过    | 通过     |
| - 8kV | 通过    | 通过     |

## 4 设计和文档支持

### 4.1 设计文件

#### 4.1.1 原理图

若要下载原理图，请参阅 [TIDA-010208](#) 的设计文件。

#### 4.1.2 BOM

若要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010208](#) 的设计文件。

### 4.2 工具与软件

#### 工具

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

用于协助评估、设计、配置、测试或以其他方式利用 TI 电池管理产品的工具。

[BQ76952、BQ76942 MSP430 代码示例](#)

基于 MSP430 的代码示例，与 BQ76952、BQ76942 通信。

[LM5163 和 LM5164 转换器快速入门设计工具](#)

此独立工具帮助电源工程师设计基于 LM5163 和 LM5164 低 IQ 同步降压直流/直流稳压器的直流/直流降压转换器。

### 4.3 支持资源

TI E2E™ 支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家获得快速、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可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》。

### 4.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 5 关于作者

来自 SEM 工业电力传输团队的系统工程师 Ryan Tan 专注于工业电池组应用，为解决工业电池组设计挑战提出了若干解决方案。

## 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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司