

具有堆叠式电池监测器的高侧 N-MOSFET 控制 (高达 32 节串联) 电池包参考设计



说明

此参考设计是一款采用堆叠式 BQ769x2 电池监测器系列的高侧 N 沟道 MOSFET 控制 (多达 32 节串联) 电池包。该设计可监测每个电芯的电压、电池包电流、电芯温度和 MOSFET 温度，并保护电池包以确保安全使用。高侧 N 沟道 MOSFET 架构和优化的驱动电路可提供轻松的开关控制。此参考设计可实现低待机和运输模式功耗，并减小两组之间的电流差。此参考设计适用于多电芯数高电压电池包应用。

资源

TIDA-010247	设计文件夹
BQ76942、LM5168	产品文件夹
ISO1640、TCAN1042HV	产品文件夹
THVD2410、MSP430FR2155	产品文件夹
TPS7A25、TM61、TPD2E007	产品文件夹



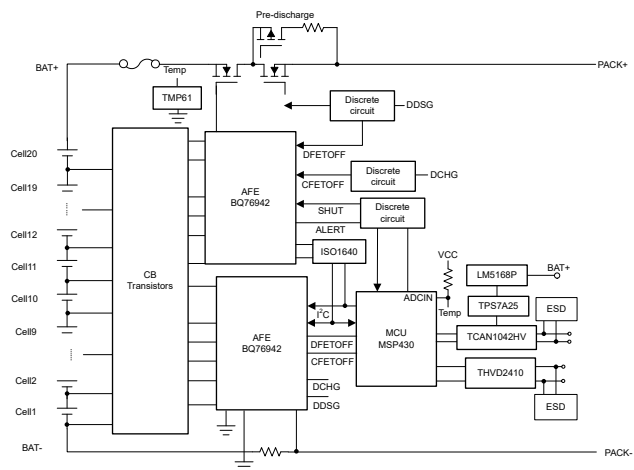
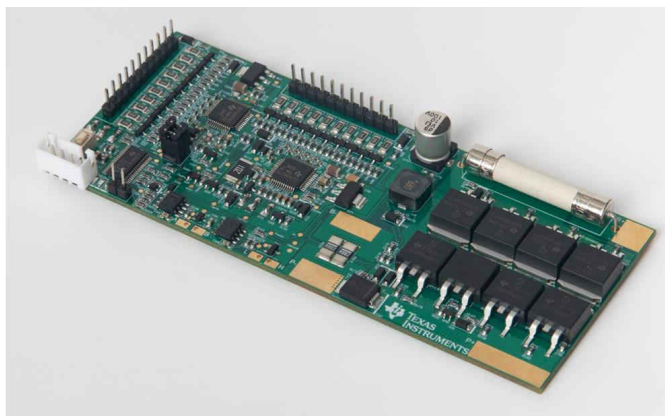
请咨询我司 TI E2E™ 支持专家

特性

- 待机模式下的流耗为 300 μ A
- 运输模式下的流耗为 10 μ A
- 25°C 时的电压精度为 ± 5 mV，无需校准
- 强大的可编程电池电芯和系统保护
- 反向充电器和电池包侧高电压保护
- 高侧 N 沟道 MOSFET 和强大的驱动能力

应用

- 电池包：电动自行车、电动踏板车、轻型电动车辆 (LEV)
- 其他工业电池包 (10 节及以上)
- 移动式发电站
- 电池储能系统



1 系统说明

由于重量限制和更长的寿命需求，电动摩托车、轻型电动车辆和园艺工具电池包的电池电芯化学成分正在从铅酸转变为锂离子、锂聚合物或锂离子磷酸盐（磷酸铁锂）类型，而且电池包电压从 36V 或 48V 转换到 60V 或 72V，甚至更高。这些电池化学物质的体积能量密度和重量能量密度都非常不错。虽然这些电池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，但这些电池产品也会涉及到安全问题，需要更准确和更复杂的监测和保护。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)，所有这些都会加速电芯退化，并可能导致热失控和爆炸。因此，必须及时监测电池包电流、电芯温度和电芯电压，以防出现一些异常情况。必须防止电池包出现所有这些情况。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。因为磷酸铁锂电池包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电能，并提供更长的储电时间，而不会使电池过度放电。

此设计具有两个堆叠式 BQ769x2 电池监测器，可覆盖多达 32 节串联电池电芯；主要用于 60V 及更高电压的电动摩托车电池包应用，还适用于其他高电芯数应用，例如割草机器人和园艺工具电池包、储能系统电池包、UPS 电池包等。该设计包含全套保护功能，可在各种异常状况下保护电池包，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。借助高侧 MOSFET 控制，即使在故障期间和 MOSFET 处于关断状态时，也可实现外部正常通信。此设计具有精心构建的辅助电源架构，可在有限数量的元件和简单的控制策略下实现超低的运输模式 (10 μ A) 和待机模式 (300 μ A) 电流消耗。此外，该设计还提供了用于匹配堆叠组中电流的优化理念。

2 系统概述

2.1 方框图

图 2-1 显示了系统方框图。

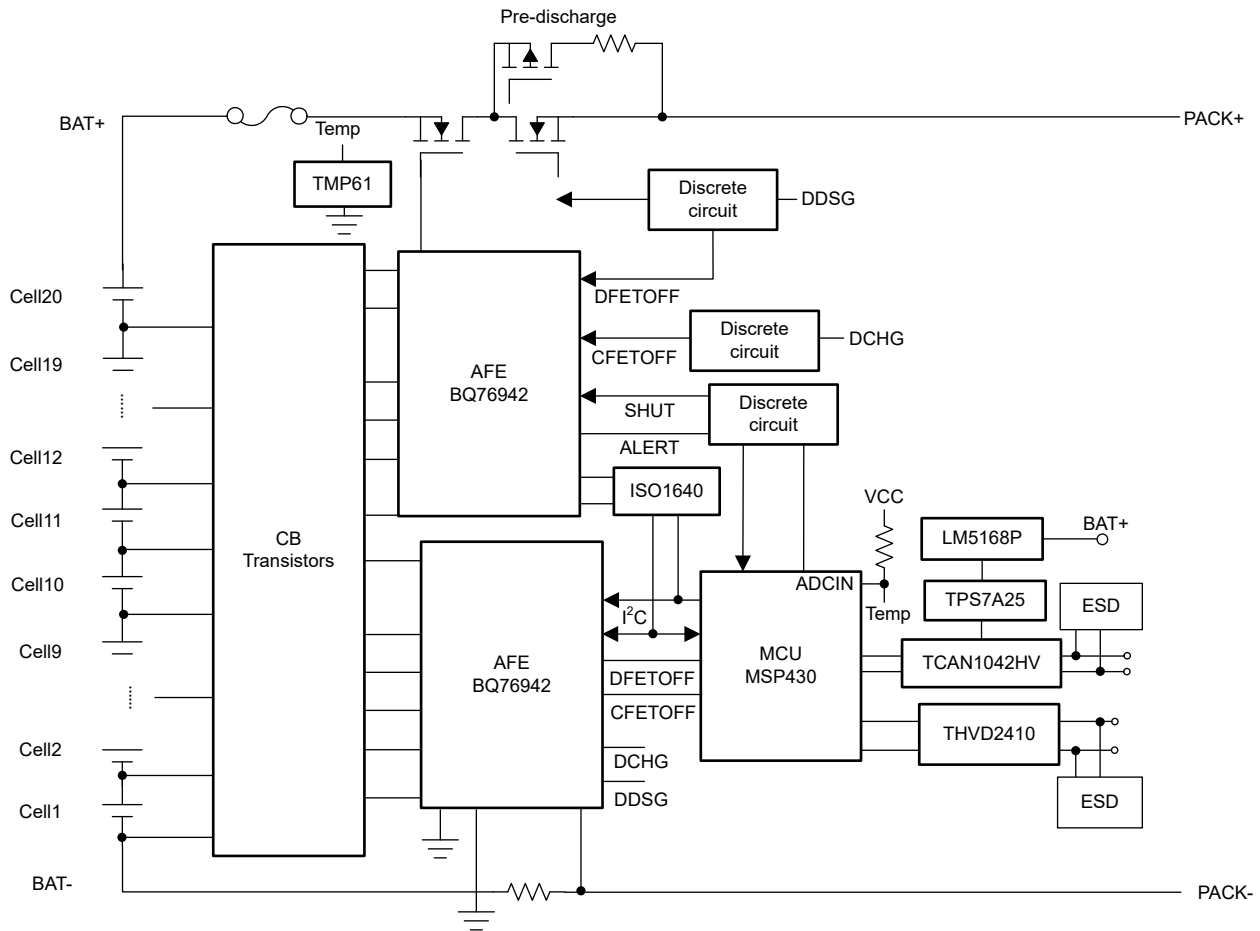


图 2-1. TIDA-010247 方框图

该设计使用 TI 的两个堆叠式高精度电池监测器和保护器 BQ769x2 来监测多达 32 个串联电池电芯的电压、电池包电流和温度数据，并保护电池包免受各种异常状况的影响，包括：COV、CUV、OT、OCD、OCC 和 SCD。此 BQ769x2 系列具有三个器件：BQ76942 可覆盖 3 至 10 节串联的应用，BQ769142 可覆盖最多 14 节串联的应用，BQ76952 可覆盖最多 16 节串联的应用。这些是引脚对引脚器件，因此通过有限的元件变动，即可轻松更新设计以匹配不同的电池电芯应用。此设计使用 BQ76942 进行测试。

设计中有一个低功耗 MSP430™ MCU MSP430FR2155，它会与两个 BQ76942 器件通信，处理所有系统控制策略，并向系统端上传所有请求的信息。由于顶部 BQ76942 将顶部电池组作为地（与 MCU 不是同一个地），因此 MCU 和顶部 BQ76942 之间的通信需要隔离。ISO164x 是一种热插拔、低功耗、双向隔离式 I2C 接口，支持稳定的隔离式 I2C 通信。

此设计采用了一个 RS-485 收发器和一个 CAN 收发器。CAN 收发器 TCAN1042HV 包括通过 VIO 端子实现的电平转换功能，允许将收发器 I/O 直接连接到 1.8V、2.5V、3.3V 或 5V 逻辑 I/O。TCAN1042HV 具有 ±70V 总线故障保护电压，足以适用于轻型电动摩托车的 60V 电池包。MSP430FR2155 没有集成的 CAN 控制器，所以此设计不支持 CAN 通信。THVD2410 是一款半双工 RS485 收发器，支持单个 3V 至 5.5V 电源，专为 3.3V 和 5V MCU 而设计。THVD2410 还提供 ±70V 故障保护。此设计使用一个 120V 输入、0.3A、超低 I_Q 同步直流/直流降压转换器 LM5168 和一个低 I_Q 、18V、300mA LDO TPS7A25 作为辅助电源。采用 0603 封装的正温度系数、±1%、10kΩ 线性热敏电阻 TMP61 可用于监测 MOSFET 温度，并通过 MCU ADC 进行测量。

2.2 设计注意事项

2.2.1 辅助电源策略

由于要求待机模式和运输模式具有低电流消耗，以及正常模式具有良好热性能，该设计使用图 2-2 中所示的辅助电源策略。

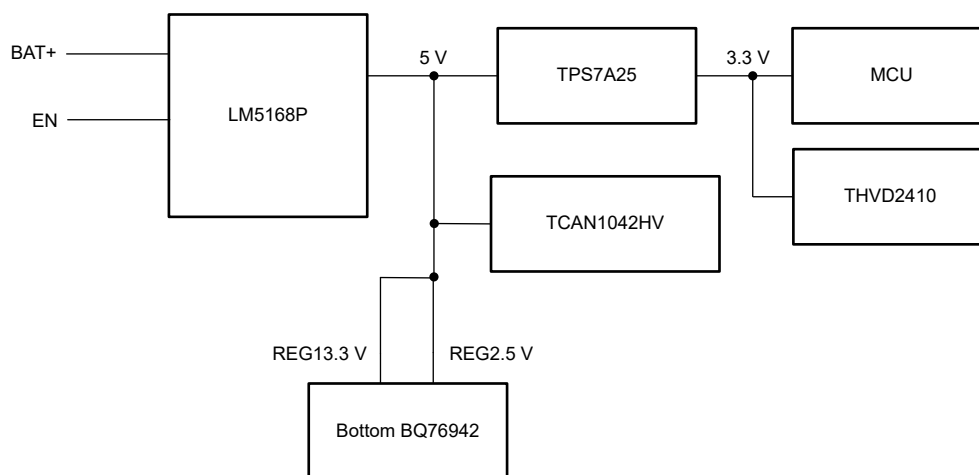


图 2-2. 辅助电源策略

由于系统在正常模式工作时，需要数百毫安的电流来与系统侧进行正常的 CAN 或 RS-485 通信，因此该设计采用 120V 输入、0.3A、超低 I_Q 同步直流/直流降压转换器 LM5168P 和低 I_Q 0.3A LDO TPS7A25 作为主电源，与仅使用 LDO 相比，可提高系统效率和热性能。底部的 BQ76942 稳压器 REG2 配置为 5V 输出，这是系统在待机模式下运行时的电源。BQ76942 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 BQ76942 稳压器电路过热，因此直流/直流转换器输出应设计成略高于 5V（即 BQ76942 稳压器输出）。

[LM5169 快速入门计算器](#) 提供了详细的元件设计指南。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 将两个 BQ76942 器件配置为通过 I2C 命令或 RST_SHUT 引脚进入关断模式，并通过 EN 引脚关闭 LM5168P 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唤醒功能和系统自带的唤醒功能。这两种方法均可唤醒底部 BQ76942 器件并启用正常的 3.3V 稳压器 REG1，然后 MCU 会通电并通过 EN 引脚启用 LM5168P，然后整个系统回到正常模式。

为了覆盖 20 节串联电池系统，使用了两个堆叠的 BQ76942 器件来监测电芯电压和温度。避免两个堆叠组之间出现不平衡对于延长电池寿命而言非常重要。尽管电芯均衡对于使所有电池电芯的电压相同很有用，但最好的方法是避免两组之间的负载差异过大。在此设计中，隔离式 I2C 接口 ISO1640 用于实现 MCU 和顶部 BQ76942 器件之间的通信。ISO1640 的 VCC1 和 VCC2 之间的低电源电流差会使系统受益。另一种方法是使用 TI 具有集成电源的增强型数字隔离器 ISOW77xx 来替代 ISO1640 并由直流/直流转换器供电。

2.2.2 高侧 N 沟道 MOSFET

此设计支持高侧 N 沟道 MOSFET 架构，并使用顶部的 BQ76942 电荷泵来驱动 MOSFET。由于顶部 BQ76942 以底部电池组的顶部为基准进行电芯电压测量，因此当顶部 BQ76942 关断 DSG MOSFET 时，顶部 BQ76942 的 DSG 引脚电压是底部电池组电压，该电压太高而无法完全关断 DSG MOSFET。此参考设计添加了一些分立式元件，用于确保 DSG MOSFET 完全快速地关断。

当 DSG MOSFET 需要关断时，MCU 或底部 BQ76942 器件会导通 Q47。P 沟道 MOSFET Q48 导通后，可使 DSG MOSFET 的 V_{gs} 放电。顶部 BQ76942 将 TOP_DSG 驱动至 TOP_LD 以关断 Q41，从而使 Dri_Test 接地并完全关断 DSG MOSFET。当 DSG MOSFET 关断时，Q47 也能关断以减小功耗。当系统需要导通 DSG MOSFET 时，系统首先确保 Q47 关断，然后使用电荷泵电压驱动 TOP_DSG，则 Q40 导通并为 DSG MOSFET 的 V_{gs} 充电。

2.2.3 堆叠式 AFE 通信

为了覆盖 16 节或更多节电池电芯串联的系统，可以级联两个 BQ769x2 器件来监测多达 32 节串联的电池电芯。此设计测试了两个 BQ76942 器件用于监测 60V 和 72V 电池包的多达 20 节串联电池电芯。底部 BQ76942 监测

下面的 10 节串联电池电芯，顶部 BQ76942 监测上面的 10 节串联电池电芯，因此底部的 BQ76942 与 BAT - 和 MCU 共地，顶部的 BQ76942 以 10 节串联电池组电压为基准。与顶部 BQ76942 器件通信时需要添加隔离，也可以在这里使用分立式电平转换器。此设计使用 I2C 隔离器 ISO164x，可实现高达 400kHz 的 I2C 通信波特率和低功耗。而对于 ALERT、RST_SHUT、DFETOFF、CFETOFF 等其他信号，分立式电平转换器是可以使用的，因为这些信号出现的频率不高。MCU 发出命令并直接从底部 BQ76942 读取电压、电流和温度数据，而在与顶部 BQ76942 通信时则通过 ISO164x 读取。

上面的 10 节串联电池电芯出现故障时，顶部 BQ76942 会检测到故障并直接驱动 MOSFET 关断。MCU 可通过 ALERT 或读取状态寄存器了解上述故障，然后导通 Q47，从而确保 DSG MOSFET 完全关断。下面的 10 节串联电池电芯出现故障以及出现电流故障时，底部 BQ76942 会检测到，并通知顶部 BQ76942 驱动 MOSFET 关断。对于 COV、CUV、OT、UT、OCD1、OCD2 等慢速保护，可以在故障触发时向 MCU 发出警报，然后 MCU 会发送命令来关断 MOSFET。然而短路保护通常具有微秒级延时时间，如果利用 MCU 固件来提供保护，则不够快。此设计添加了分立式电路，允许底部 BQ76942 器件与顶部 BQ76942 器件直接控制 MOSFET，从而避免 MCU 固件导致进一步的保护延迟。

2.3 重点产品

2.3.1 BQ76942

TI BQ76942 是一款高度集成的高精度电池监测器和保护器，适用于 3 至 10 节串联锂离子、锂聚合物和磷酸铁锂电池包。该器件包括一个高精度监测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。BQ76942 采用 48 引脚 TQFP 封装。

2.3.2 LM5168

LM5169 和 LM5168 同步降压转换器用于在宽输入电压范围内进行稳压，从而更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转换比，支持从 48V 标称输入到低压轨的直接降压转换，从而降低系统复杂性和设计成本。LM516x 在输入电压突降至 6V 时能够根据需要以接近 100% 的占空比工作，因而是宽输入电源电压范围工业应用和高电芯数电池包应用的理想之选。凭借集成式高侧和低侧功率 MOSFET，LM5169 可提供高达 0.65A 的输出电流，LM5168 可提供高达 0.3A 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。LM516x 能够以 FPWM 或自动模式运行。FPWM 模式在整个负载范围内实现强制 CCM 运行，支持隔离式 Fly-Buck 转换器应用。自动模式可实现超低 I_Q 和二极管仿真模式运行，从而在轻负载下实现高效率。

2.3.3 ISO1640

ISO1640、ISO1641、ISO1642、ISO1643 和 ISO1644 (ISO164x) 器件是与 I2C 接口兼容的热插拔、低功耗、双向隔离器。ISO164x 符合 UL 1577 标准，采用 16-DW 封装时支持 5000V_{RMS} 隔离等级，而采用 8-D 封装时支持 3000V_{RMS} 隔离等级。该低发射器件的每条 I2C 隔离通道都具有通过双电容二氧化硅 (SiO₂) 绝缘栅实现隔离的逻辑输入和开漏输出。ISO1642 和 ISO1643 集成了两个单向 CMOS 隔离通道，而 ISO1644 集成了三个单向 CMOS 隔离通道，可实现静态 GPIO 隔离或用于隔离串行外设接口 (SPI) 总线。该系列包括通过 VDE、UL、CSA、TUV 和 CQC 认证的基本和增强型绝缘器件。ISO1640、ISO1642、ISO1643 和 ISO1644 具有两条隔离式双向通道，分别应用于时钟和数据线，而 ISO1641 具有一条双向数据通道和一条单向时钟通道。ISO164x 系列集成了支持双向通道所需的逻辑，与基于光耦合器的设计相比，设计更加简化且尺寸更小。

2.3.4 TCAN1042HV

这款 CAN 收发器系列符合 ISO11898-2 (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。

2.3.5 THVD2410

THVD2410 和 THVD2450 器件是 ±70V 故障保护、半双工、RS-422/RS-485 收发器，由 3V 至 5.5V 的单电源供电。在所有运行模式下均可保护总线接口引脚不受过压条件破坏，从而在恶劣的工业环境中实现稳定可靠的通信。这些器件具有集成式 IEC ESD 保护，无需外部系统级保护组件。在更长的电缆敷设长度或存在大接地环路电

压的情况下，扩展的 $\pm 25\text{V}$ 输入共模范围可实现可靠的数据通信。增强型 250mV 接收器迟滞可提供高噪声抑制。此外，当输入同时开路或短路时，接收器失效防护功能可提供逻辑高电平。THVD24x0 器件采用小型 VSSOP 和 VSON 封装，适用于空间受限型应用。这些器件在自然通风环境下的额定温度范围为 -40°C 至 125°C 。

2.3.6 TPS7A25

TPS7A25 低压降 (LDO) 线性稳压器集 2.4V 至 18V 输入电压范围和极低静态电流 (I_Q) 特性于一体。这些特性能帮助现代电器满足日益严苛的能源要求，并有助于延长便携式电源设计的电池寿命。TPS7A25 有固定电压和可调节电压两种版本可供选用。为获得更大的灵活性或更高的输出电压，可调节电压版本使用反馈电阻器将输出电压设置为 1.24V 到 17.64V 之间。两种版本都具有 1% 的输出调节精度，可对微控制器 (MCU) 基准电压进行精密调节。在电流为 300mA 时，TPS7A25 LDO 的最大压降小于 340mV，因此它比标准线性稳压器的工作效率更高。此最大压降使得在 5.4V 输入电压 (V_{IN}) 至 5.0V 输出电压 (V_{OUT}) 范围内的效率达到了 92.5%。电源正常状态 (PG) 指示灯可以用来将 MCU 保持在复位状态，直到电源正常，或用于电源定序。PG 引脚为开漏输出；因此，该引脚很容易进行电平位移，以便通过 V_{OUT} 以外的导轨进行监控。内置电流限制和热关断有助于在发生负载短路或故障时保护稳压器。如需更高的输出电流选项，请考虑 TPS7A26。

2.3.7 MSP430FR2155

MSP430FR215x 微控制器 (MCU) 是 MSP430TM MCU 超值系列超低功耗低成本器件产品系列的一部分，该产品系列用于检测和测量应用。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 $10\mu\text{s}$ 的时间内从低功耗模式唤醒至运行模式。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。

2.3.8 TMP61

热敏电阻设计工具提供了电阻与温度关系表 (RT 表) 的完整计算, 以及用于产生温度和示例 C 代码的其他有用方法。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。该器件的低功耗和较小的热质量可充分减小自发热的影响。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 目前采用与 0402 封装兼容的 X1SON 封装、与 0603 封装兼容的 SOT-5X3 封装, 以及 2 引脚穿孔式 TO-92S 封装。

2.3.9 TPD2E007

此器件是一款基于瞬态电压抑制器 (TVS) 的静电放电 (ESD) 保护器件, 旨在为各种便携式和工业应用提供系统级 ESD 保护。背对背二极管阵列可在不影响信号完整性的情况下实现交流耦合或负向数据传输 (音频接口、LVDS、RS-485、RS-232 等)。该器件超出了 IEC 61000-4-2 (4 级) ESD 保护, 旨在当靠近连接器时为内部 IC 提供系统级 ESD 保护。TPD2E007 采用 4 凸点 PicoStar 和 3 引脚 SOT (DGK) 封装。建议将封装高度仅为 0.15mm (最大值) 的 PicoStar 封装 (YFM) 用于关注封装高度的超节约空间型应用。PicoStar 封装可用于嵌入式 PCB 板应用或表面贴装应用。业界通用的 SOT 封装可在传统设计中提供简单的电路板布局布线选项。

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

TIDA-010247 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-010247 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	说明
BAT+	BAT+	电池组正极
BAT -	BAT -	电池组负极；这为电子元件和电芯高电流路径提供了基准
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	3V3	SBW 编程连接器 3.3V
P1-2	SBCLK	SBW 编程连接器 SBCLK
P1-3	SBIO	SBW 编程连接器 SBIO
P1-4	GND	SBW 编程连接器接地
P2-1	SCL	bq76942 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	bq76942 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 10) 电芯监测、平衡和电子设备电源连接。底部 10 节串联电芯
P4	Cn	(n = 0 至 10) 电芯监测、平衡和电子设备电源连接。顶部 10 个串联电芯
P5-1	CAN-L	低电平 CAN 总线
P5-2	CAN-H	高电平 CAN 总线
P6-1	RS485-A	RS485 总线 I/O 端口，A
P6-2	RS485-B	RS485 总线 I/O 端口，B
P7-1	DET	充电器和负载检测 IO
P7-2	GND	充电器和负载检测 IO 地

3.1 硬件要求

表 3-2 汇总了用于测试的设备。

表 3-2. 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
直流电源	GW INSTEK GPS-3303C
通信适配器	德州仪器 (TI) EV2300 或 EV2400
MSP430 编程器	MSP430 LaunchPad™
ESD 仿真器	NoiseKen ESS-S3011

首次调试电路板时，建议使用 [Battery Management Studio \(bqStudio\)](#) 软件。

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 20 节串联电池包配置。该电路板使用并联的直流电源和 4900 μ F 电解电容进行测试，从而仿真整个电池组。使用 20 个串联的 1k Ω 电阻器对电池包电压进行分压，并仿真 20 个串联的电池电芯。

- 直流电源 1 配置：72 V - 3 A
- 直流电源 2 配置：双通道 30V - 0.5A
- 电子负载配置：60V 恒压 (CV) 模式

图 3-1 展示了充电过程设置示例。

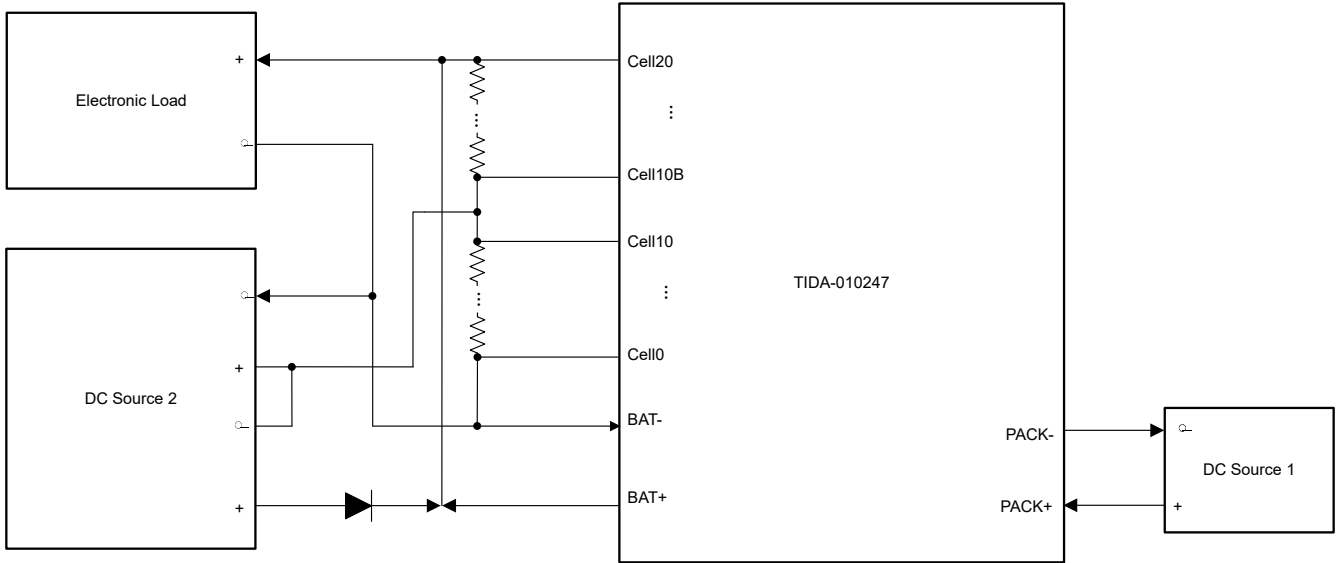


图 3-1. 充电设置

图 3-2 展示了使用下列条件时的放电过程设置示例。

- 直流电源配置：60V - 20A
- 电子负载配置：恒流 (CC) 模式

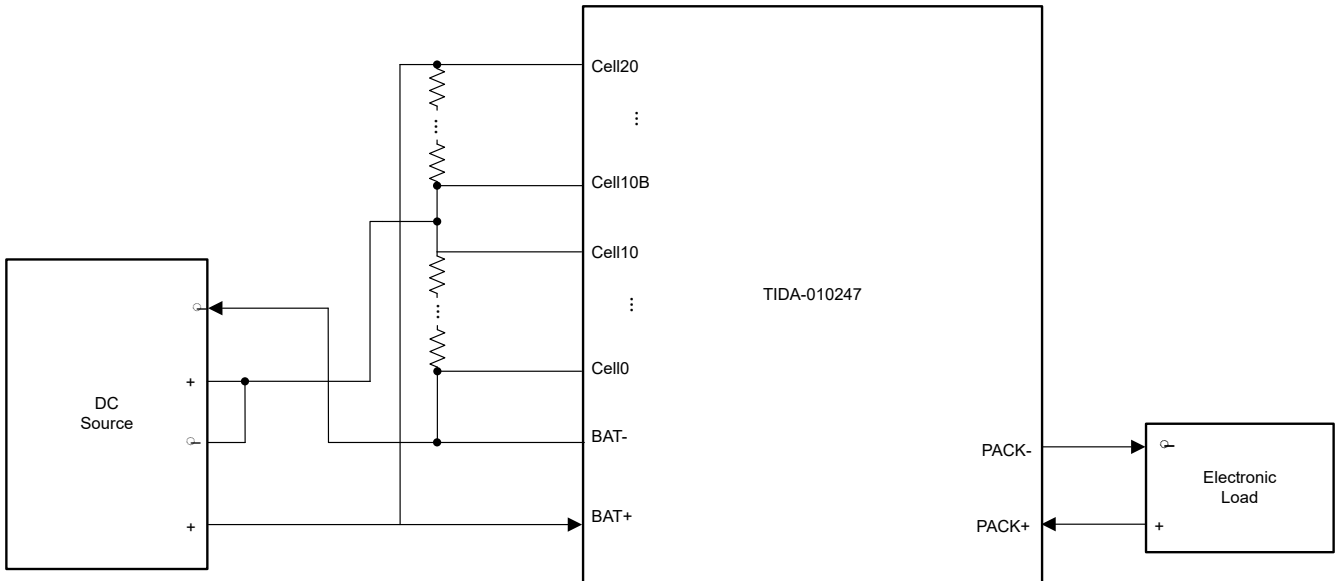


图 3-2. 放电设置

3.3 测试结果

3.3.1 电芯电压精度

由于 BQ76942 在 25°C 下已实现 $\pm 5\text{mV}$ 的精度，在 0°C 至 60°C 下已实现 $\pm 10\text{mV}$ 的精度，因此该设计不会执行任何校准来进一步提高电芯电压精度。电池电压精度与 BQ76942 完全相同。如需更多数据，请参阅 [BQ76942 适用于锂离子、锂聚合物和磷酸铁锂电池包的 3 节至 10 节串联高精度电池监测器和保护器](#) 数据表。

3.3.2 电池包电流精度

本设计使用 4 个并联 $2\text{m}\Omega$ 、 2W 、 50PPM 分流电阻来测量电池包电流。按照 [BQ76942 评估模块](#) 用户指南中校准部分的指南，校准电路板偏移量。使用 5A 放电电流并遵照 [BQ76942 评估模块](#) 中校准部分的指南，校准电流增益。使用一次性可编程 (OTP) 将电路板偏移量和电流增益值写入底部 BQ76942，否则 MCU 必须在每次底部 BQ76942 从关断模式唤醒时将上述数据存储并写入该器件。图 3-3 展示了室温下的电池包电流精度数据。当放电电流低于 5A 时，最大电流误差低于 $\pm 30\text{mA}$ ；当放电电流高于 5A 时，最大电流误差为 $\pm 0.5\%$ 。

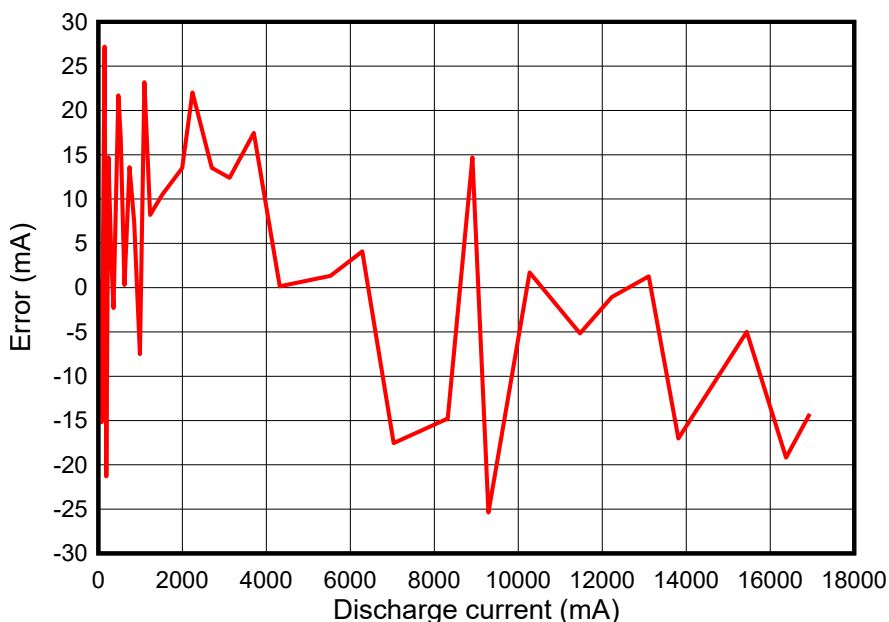


图 3-3. 电池包电流精度

3.3.3 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。由于采用堆叠式架构，系统总功耗是从电池组顶部流出的电流和返回电池负端口的电流的最大值。可通过 R218 两端的电压测量从电池组顶部流出的电流，并使用电流表测量返回至电池负端口的电流。

此外，该设计减小了两个堆叠组之间的电流消耗差，避免在电池组之间进一步进行电芯均衡。如果电池组电流完全相同，则不会有电流流入或流出 cell10。图 3-4 展示了测试电流消耗的设置，表 3-3 展示了系统平均电流消耗的测试结果和电池组不平衡电流均值。

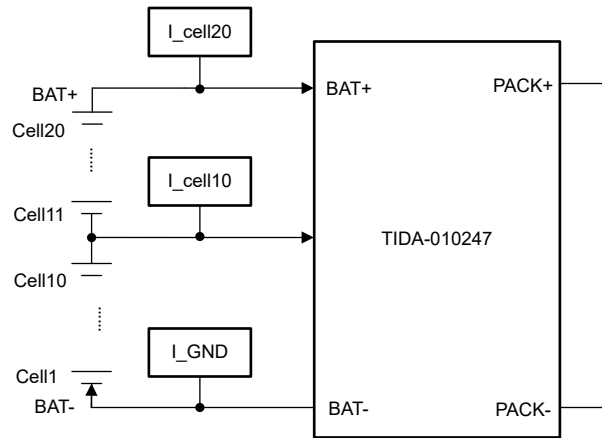


图 3-4. 电流消耗测试设置

表 3-3. 电流消耗

说明		I_{cell20}	I_{cell10}	I_{GND}	电流差 (μA)	总电流 (μA)
待机模式 (MOSFET 关断)	电流 (μA)	131	46	177	46	177
待机模式 (MOSFET 导通)	电流 (μA)	273	-6	261	12	273
运输模式	电流 (μA)	9	0	9	0	9

[INA229_239EVM](#) 和一个 10Ω 电阻器用于测试电流。无论充电和放电 MOSFET 是导通还是关断，待机模式下的总电流消耗小于 $300\mu A$ 。组间电流差少于 $50\mu A$ 。运输模式的电流消耗小于 $10\mu A$ 。

辅助电源启动的测试和说明如图 3-5 所示。

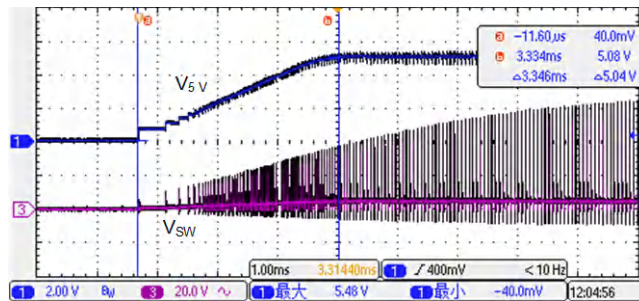


图 3-5. 直流/直流转换器启动

此设计还考虑了直流/直流转换器输出短路故障。图 3-6 展示了直流/直流转换器短路的测试结果。当输出短路时，MCU 会禁用直流/直流转换器，防止出现过热。

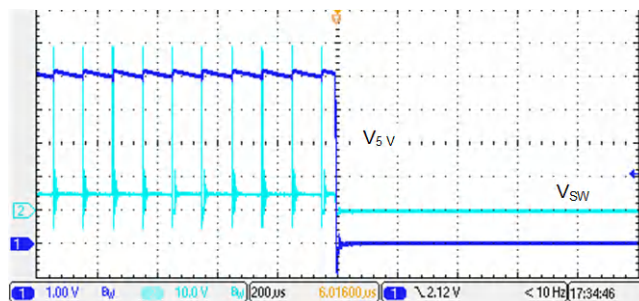


图 3-6. 直流/直流转换器输出短路

3.3.4 保护

该设计集成了全套电池电芯保护功能，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，该设计还可监测多种系统级故障，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。

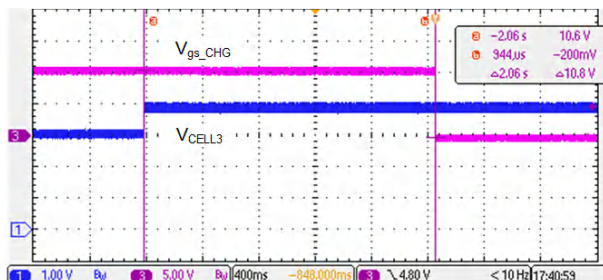


图 3-7. 电芯过压保护

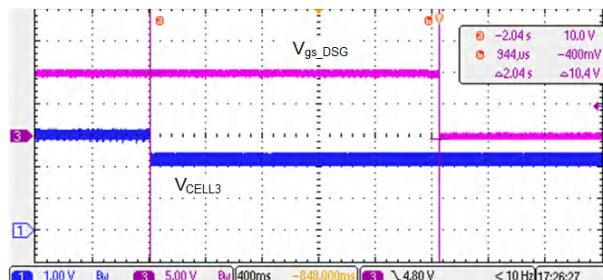


图 3-8. 电芯欠压保护

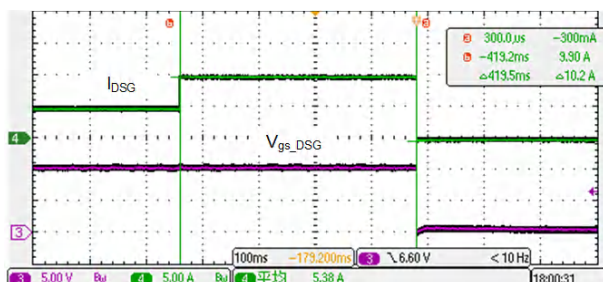


图 3-9. 放电过流保护

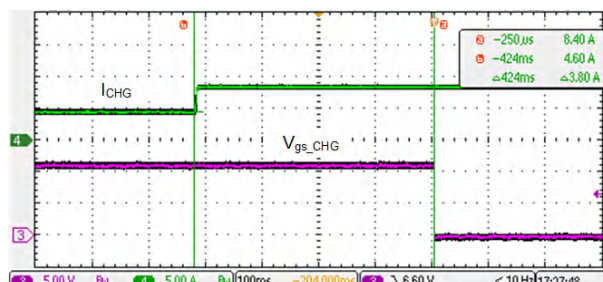


图 3-10. 过流充电保护

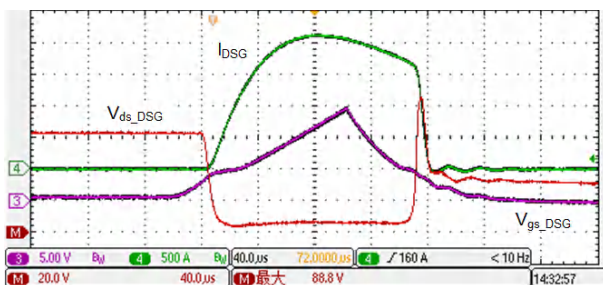


图 3-11. 短路放电保护

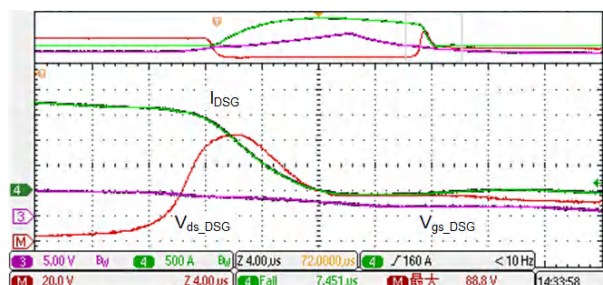


图 3-12. 短路放电保护 - MOSFET 关断

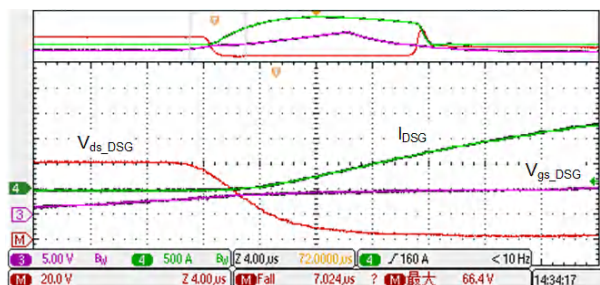


图 3-13. 短路放电保护 - MOSFET 导通

短路放电保护通过以下过程进行了测试：

1. 在 DET 悬空时，充电和放电 MOSFET 均关断
2. PACK 端口与空气开关短接
3. 在连接 DET 的情况下，导通充电和放电 MOSFET

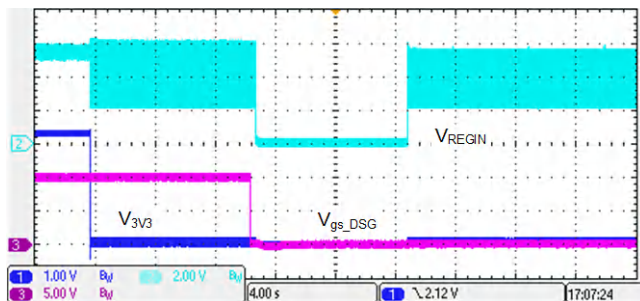


图 3-14. 3.3V 短路和 HWD 保护

当 3.3V 短路时，MCU 断电，并且两个 BQ76942 器件会在延迟一段时间后检测到 HWD。由于 TIDA-010247 将 MCU 配置为进入低功耗模式（不与 BQ76942 通信以节省功率）后每 5s 唤醒一次，因此在 10s HWD 延迟配置下，会有 5s 至 10s 的延迟。

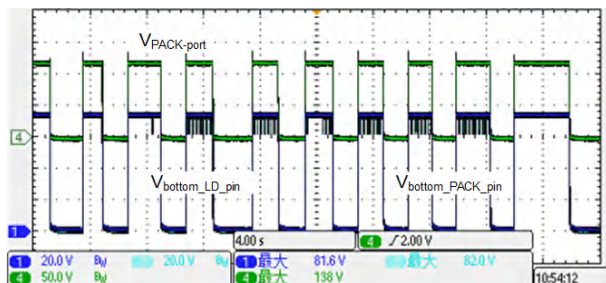


图 3-15. 120V On-PACK 端口 - 底部 AFE 最大电压

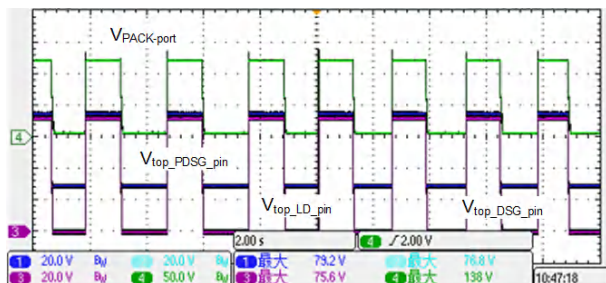


图 3-16. 120V On-PACK 端口 - 顶部 AFE 最大电压

120V On-PACK 端口测试在 CHG 和 DSG MOSFET 均关断且 DET 悬空的情况下执行。

3.3.5 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。当电池包充电或放电时，则处于正常模式。当不充电或不放电时，电池包处于睡眠模式，等待连接充电器或负载。关断模式是一种电流消耗超低的模式，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 3-17 展示了不同工作模式的转换。

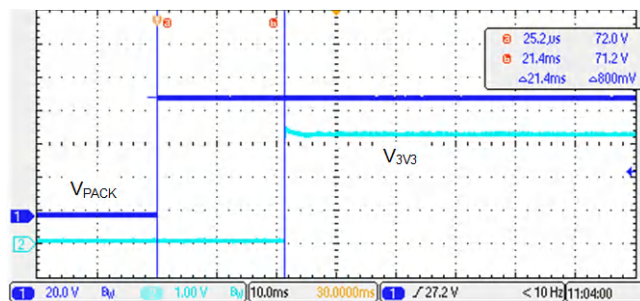


图 3-17. 运输模式至正常模式

当 TIDA-010247 处于运输模式时，两个 BQ76942 器件都处于关断模式。底部 BQ76942 检测到 PACK 侧连接充电器时，唤醒至正常模式，从而使 REG1 或 REG2 为 MCU 供电。

3.3.6 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。使用了隔离式直流电源和电阻分压器来仿真电池包。测试了 ESD 接触放电，并在表 3-4 中列出了测试结果。

表 3-4. ESD - 接触放电

电压	测试的端子					
	PACK+	PACK -	CANH	CANL	RS485A	RS485B
2kV	通过	通过	通过	通过	通过	通过
- 2kV	通过	通过	通过	通过	通过	通过
4kV	通过	通过	通过	通过	通过	通过
- 4kV	通过	通过	通过	通过	通过	通过
8kV	通过	通过	通过	通过	通过	通过
- 8kV	通过	通过	通过	通过	通过	通过

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-010247](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010247](#) 中的设计文件。

4.2 工具与软件

工具

EV2400	基于 USB 的电池电量监测计 PC 接口板评估模块
LM5169 快速入门计算器	LM5163 和 LM5164 转换器快速入门设计工具
BQ769X2-THERMISTOR-COEFF-CALCULATOR	BQ76952、BQ76942 热敏电阻温度优化器 - 计算 T 范围的热敏电阻系数
INA229_239EVM	INA229 和 INA239 评估模块

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

- 德州仪器 (TI)，[BQ76942 适用于锂离子、锂聚合物和磷酸铁锂电池包的 3 至 10 节串联高精度电池监测器和保护器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI)，[BQ769x2 校准和 OTP 编程指南](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI)，[如何为高电芯数工业应用堆叠电池监测器 E2E™](#) 论坛
- 德州仪器 (TI)，[将具有超低静态电流的直流/直流降压转换器用于工业电池包应用](#) 应用简报

4.4 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》。

4.5 商标

TI E2E™, MSP430™, LaunchPad™, Code Composer Studio™, and E2E™ are trademarks of Texas Instruments. 所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

Ryan Tan，SEM 工业电网基础设施和电力传输团队的系统经理，主要负责电池包和储能系统应用，为克服工业电池包设计挑战创建了若干设计方案。

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司