

Design Guide: TIDA-010268

具有低侧 MOSFET 控制功能的 5 节至 7 节串联电池包参考设计



说明

该参考设计是一款具有高电芯电压精度的 5 节至 7 节串联锂离子、磷酸铁锂电池包设计。该设计能够非常精确地监测各个电芯的电压和温度、电池包电流和金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 温度，并防止锂离子和磷酸铁锂电池包出现电芯过压、欠压、过热、充放电过流以及放电短路现象。该产品采用低侧 N 沟道 MOSFET 架构，具有强大的驱动开关能力。得益于上述特性，该参考设计非常适用于电动工具和真空吸尘器电池包应用。

资源

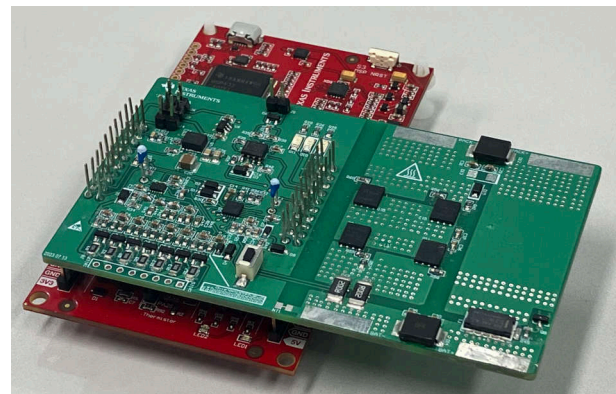
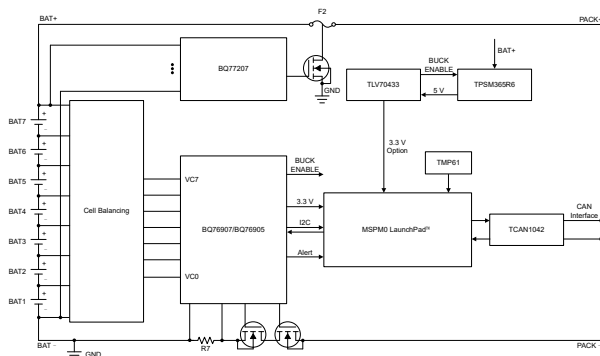
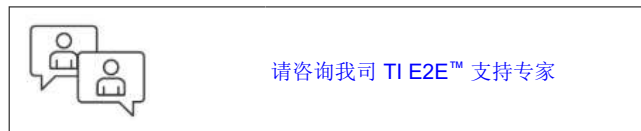
TIDA-010268	设计文件夹
BQ76905、BQ76907	产品文件夹
MSPM0L1106、TPSM365R6V5	产品文件夹
TCAN1042HV	产品文件夹
TLV704、TMP61	产品文件夹

特性

- 专门设计的 5 节至 7 节串联锂离子或磷酸铁锂电池包，最大持续放电电流为 30A (BQ76905 和 BQ76907 可支持最少 2 个电芯，经过合理调整，该设计也可支持最少 2 个电芯的应用)
- 监测电芯电压、电池包电流、电池包温度，平衡电芯电流，并通过控制充电或放电 FET 提供保护
- 在放电过流、放电短路、过压和欠压情况下，均能提供硬件保护
- 可靠的电池电芯保护以及次级保护：电芯过压、电芯欠压和过热保护
- 用于低侧 MOSFET 控制的板载超小尺寸、低导通电阻、低 Qg 和 Qgd MOSFET
- 运输期间具有低静态电流、超低功耗状态

应用

- 电池包：无绳电动工具
- 电池包：真空吸尘器、扫地机器人
- 其他工业电池包 (1 节至 9 节)



1 系统说明

电动工具和园艺工具的电池包越来越多地使用锂离子、锂聚合物或磷酸铁锂类型的电芯。这些化学物质的体积和重量能量密度都非常不错。虽然它们可提供高能量密度，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。上述安全问题包括电芯欠压 (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，需要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、电池包电流和电芯温度。为了实现准确的保护和电池包荷电状态 (SoC) 的计算，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工具或园艺工具的电池包应用，也是其他 5 节至 7 节电池应用 (例如真空吸尘器电池包) 的理想选择。此设计包含初级和次级保护，便于安全使用电池包。初级保护能防止电池包出现所有异常状况，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、开路保护和过热保护。在此设计中，25°C 下的电芯电压测量精度在 $\pm 5\text{mV}$ 以内，0°C 至 60°C 之间为 $\pm 10\text{mV}$ ，无需任何进一步校准。

1.1 关键系统规格

表 1-1. 关键系统规格

参数	条件	规格范围			单位
		最小值	典型值	最大值	
电芯架构	BQ76907	3		7	串 (联)
	BQ76905	3		5	串 (联)
电芯均衡峰值电流	电芯电压： 4000mV		64		mA
充电电流				30	A
放电电流				30	A
电芯电压精度	25°C			± 5	mV
	0°C - 60°C			± 10	mV
电池包电流精度	< 2A				mA
	> 2A				%
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
OCD 保护 - 级别 1	阈值		10		A
	延迟	0.46		1103.795	ms
OCD 保护 - 级别 2	阈值		30		A
	延迟	0.46		1103.795	ms
OCC 保护	阈值		10		A
	延迟	0.46		1103.795	ms
SCD 保护	阈值		100		A)
	延迟	8	300	8112	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

表 1-1. 关键系统规格 (续)

参数	条件	规格范围			单位
		最小值	典型值	最大值	
总体设计的关断模式电流消耗			2		μA

警告

TI 建议，该参考设计仅可在实验室环境中运行，不应将该电路板作为成品供一般消费者使用。

TI 建议，该参考设计仅可由熟悉处理高压电子和机械部件、系统及子系统所存在相关风险的合格工程师和技术人员使用。

表面高温！接触会导致烫伤。**请勿触摸！**电路板上电后，某些元件可能会达到 **55°C** 以上的高温。在运行过程中或运行刚结束时，不得触摸电路板，因为可能存在高温。

小心

请勿在无人照看的情况下使该设计通电。

2 系统概述

2.1 方框图

该参考设计具有以下子模块：

- 初级保护器件和低侧 FET 电路
- 电芯均衡电路和次级保护器件
- 微控制器 (MCU) 和控制局域网 (CAN) 通信器件电路
- 用于附加电源模块的直流/直流和低压降 (LDO)

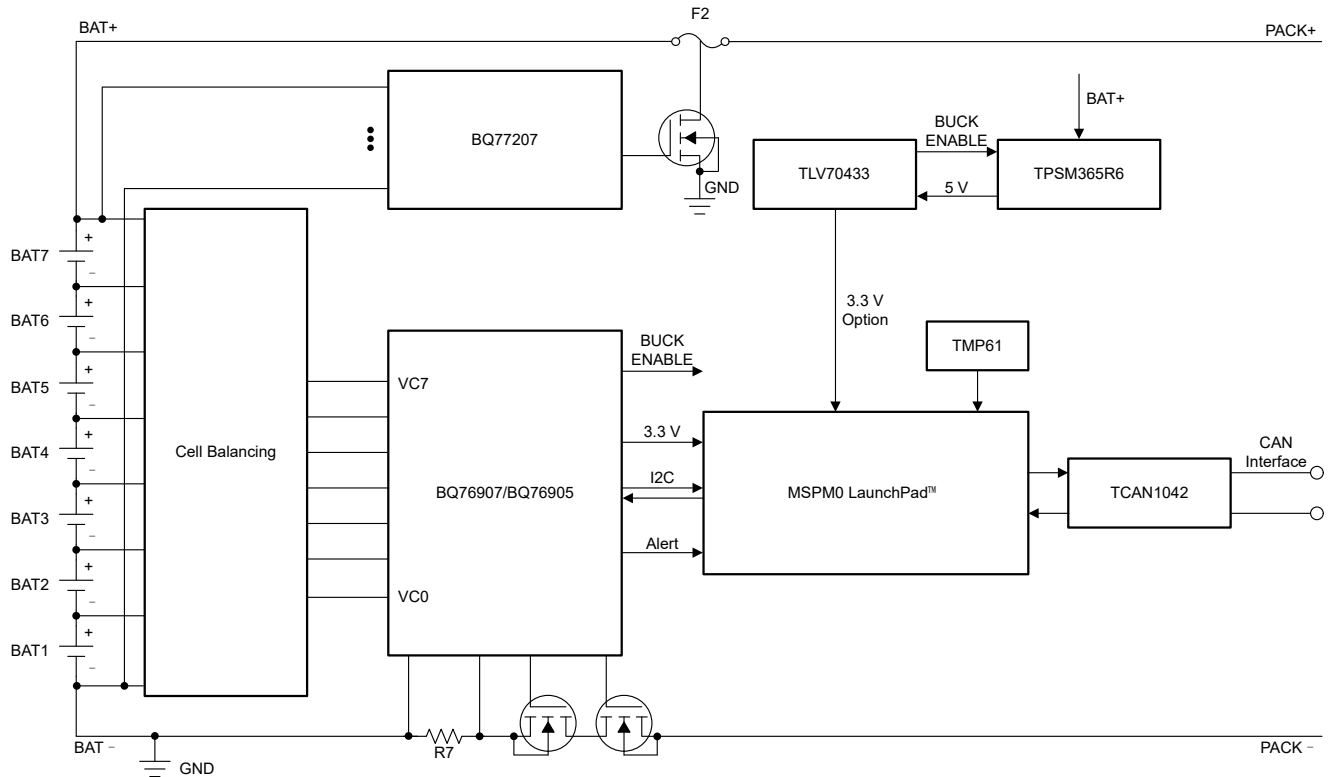


图 2-1. TIDA-010268 方框图

2.2 重点产品

本参考设计采用了以下重点产品。以下各节介绍选择用于该参考设计的器件时应考虑的主要特性。如需了解有关重点器件的更多详细信息，请参阅各自的产品数据表。

2.2.1 BQ76907

BQ76907 产品是一款高度集成的精密电池监测器和保护器，适用于 2 节至 7 节串联锂离子、锂聚合物和磷酸铁锂电池包。高精度电压、电流和温度测量为基于主机的算法和控制提供数据。功能丰富且高度可配置的保护子系统提供了广泛的保护措施，这些保护可以由该器件完全自主地触发和恢复，也可以在主机处理器的完全控制下进行。集成的 FET 驱动器用于驱动低侧充电和放电保护 NFET。该器件包含一个供外部系统使用的可编程 LDO，其电压可编程为 1.8V、2.5V、3.0V、3.3V 或 5.0V，并且能提供高达 20mA 的电流。BQ76907 器件包含一次性可编程 (OTP) 存储器，TI 会对其进行编程以配置默认的器件运行设置，用于主机处理器无法用于配置器件的系统。400kHz I2C 通信接口和 ALERT 中断输出可实现与主机处理器的通信。该器件支持使用一个外部热敏电阻，并支持进行内部芯片温度测量。

2.2.2 BQ76905

BQ76905 产品是一款高度集成的精密电池监测器和保护器，适用于 2 节至 5 节串联锂离子、锂聚合物和磷酸铁锂电池包。高精度电压、电流和温度测量为基于主机的算法和控制提供数据。功能丰富且高度可配置的保护子系统提供了广泛的保护措施，这些保护可以由该器件完全自主地触发和恢复，也可以在主机处理器的完全控制下进行。集成的 FET 驱动器用于驱动低侧充电和放电保护 NFET。该器件包含一个供外部系统使用的可编程 LDO，其电压可编程为 1.8V、2.5V、3.0V、3.3V 或 5.0V，并且能提供高达 20mA 的电流。BQ76905 器件包含一次性可编程 (OTP) 存储器，TI 会对其进行编程以配置默认的器件运行设置，用于主机处理器无法用于配置器件的系统。400kHz I2C 通信接口和 ALERT 中断输出可实现与主机处理器的通信。该器件支持使用一个外部热敏电阻，并支持进行内部芯片温度测量。

2.2.3 BQ77207

BQ77207 器件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包系统的过压 (OVP)、欠压 (UVP)、开路 (OW) 和过热 (OT) 保护。可独立监控每节电池是否具有过压、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，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。如果检测到欠温、过热或开路故障，则同时触发 DOUT 和 COUT 引脚。

2.2.4 MSPM0L1106

MSPM0L110x 微控制器 (MCU) 属于 MSP 高度集成的超低功耗 32 位 MSPM0 MCU 系列，该系列基于增强型 Arm® Cortex®-M0+ 内核平台，工作频率最高可达 32MHz。这些低成本 MCU 提供高性能模拟外设集成，支持 -40°C 至 105°C 的工作温度范围，并在 1.62V 至 3.6V 的电源电压下运行。MSPM0L110x 器件提供高达 64KB 的嵌入式闪存程序存储器，并具有 4KB SRAM。这些 MCU 包含精度高达 $\pm 1.2\%$ 的高速片上振荡器，无需外部晶体。其他特性包括 3 通道 DMA、16 位和 32 位 CRC 加速器，以及各种高性能模拟外设，例如一个具有可配置内部电压基准的 12 位 1.68MSPS ADC、一个通用放大器和一个片上温度传感器。这些器件还提供智能数字外设，例如四个 16 位通用计时器、一个窗口化看门狗计时器和各种通信外设（包括两个 UART、一个 SPI 和一个 I2C）。这些通信外设为 LIN、IrDA、DALI、Manchester、Smart Card、SMBus 和 PMBus 提供协议支持。TI MSPM0 系列低功耗 MCU 包含具有不同模拟和数字集成度的器件，可让客户找到满足其工程需求的 MCU。此架构结合了多种低功耗模式，并经过优化，可在便携式测量应用中延长电池寿命。

2.2.5 TCAN1042

该 CAN 收发器系列符合 ISO11898-2 (2016) 高速控制器局域网 (CAN) 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”后缀的器件具有实现 I/O 电平转换的辅助电源输入，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。

2.2.6 TPSM365R6V5

TPSM365R6 是一款简单易用的同步直流/直流降压电源模块，可在 3V 到 65V 电源电压下工作。该器件用于从 5V、12V、24V 和 48V 电源轨进行降压转换。TPSM365R6 或 TPSM365R3 配有集成式电源控制器、电感器和 MOSFET，能够以非常小的设计尺寸提供高达 600mA 的直流负载电流，并实现高效率和超低输入静态电流。该器件便于实施，可让您灵活地按照目标应用来优化其使用。该模块不需要控制环路补偿，可缩短设计时间并减少外部元件数量。TPSM365Rx 可以在各种开关频率和占空比下运行。如果最短导通时间或关断时间不支持所需的占空比，开关频率会自动降低，从而保持输出电压调节。借助合适的内部环路补偿，TPSM365Rx 可以最少的外部元件显著缩短系统设计时间。此外，具有内置延迟释放的 PGOOD 输出可以在许多应用中省去复位监控器。使用 RT 引脚或外部时钟信号实现 200kHz 至 2.2MHz 的可编程开关频率。这些功能为广泛的应用提供了一个灵活且易于使用的平台。引脚排列旨在实现简单的布局，这种布局只需很少外部元件。

2.2.7 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™ MCU) 来说，这些器件是出色的电源管理附件。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，非常适合用于制造具有成本效益的电路板。

2.2.8 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 系统设计原理

3.1 初级保护设计

对于初级保护 (BQ7690x) 的设计, 请遵循数据表中的设计建议。

此外, 添加了 D2 和 D16, 以防 BAT 和 REGOUT 在短路后电压下降。

由于 TS 引脚的最大耐受电压为 2.1V, 因此添加了 TS 引脚的唤醒电路。添加了 D7 和 D8 作为稳压器来提供保护。触发 S1 时, cell1 的电压发生波动。唤醒后, 电压监测恢复正常。

此设计中还设计了均衡电路。在此设计中, 选择 100Ω 和 220nF 作为 VC0 至 VC7 的输入。(将外部电芯输入电阻与外部输入电容的乘积限制为 200 μs 或以下, 并注意输入电阻的建议值为 10 Ω, 输入电阻过大会影响采样精度。) 有关外部均衡电路设计详细信息, 请参阅 [使用 BQ769x2 电池监测器实现电芯均衡](#) 应用手册。

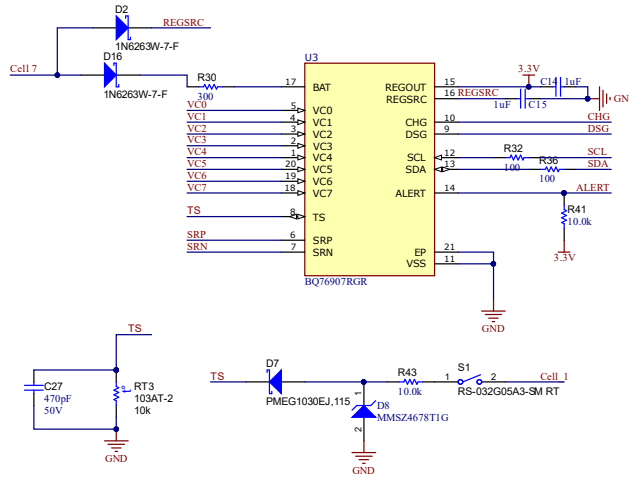


图 3-1. 初级保护设计电路

3.2 次级保护

此设计还添加了一个独立的次级保护设计。此设计使用 COUT 提供过压和过热保护。次级保护 BQ77207 不能与初级保护共用 RC, 因为该器件是使用 R_{in} 值 = 1kΩ 进行校准的。使用此建议值以外的值会改变电芯电压测量精度和 V_{OV} 触发电平。

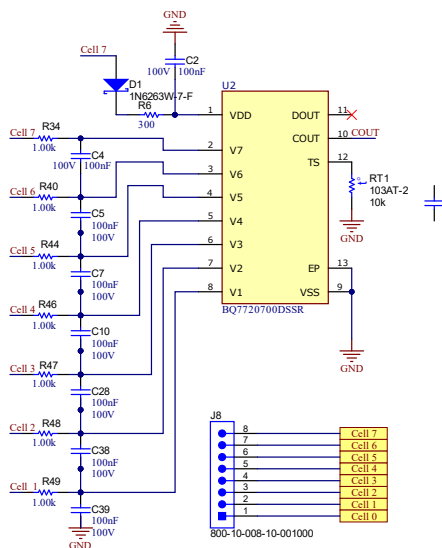


图 3-2. 次级保护设计电路

3.3 其他电路设计

在主电流环路中，此设计在 PACK 接口放置了一个 D12 稳压管，稳压管的参数可以根据系统的串数进行选择。另外，此设计还放置了一个二极管 D13，该二极管可在 PACK 端子短路后提供钳位。还添加了 C29 和 C31 (ESD 电容器，用于改变 ESD 电流的方向)。这两个电容器是为了实现冗余，以防其中一个损坏或短路。

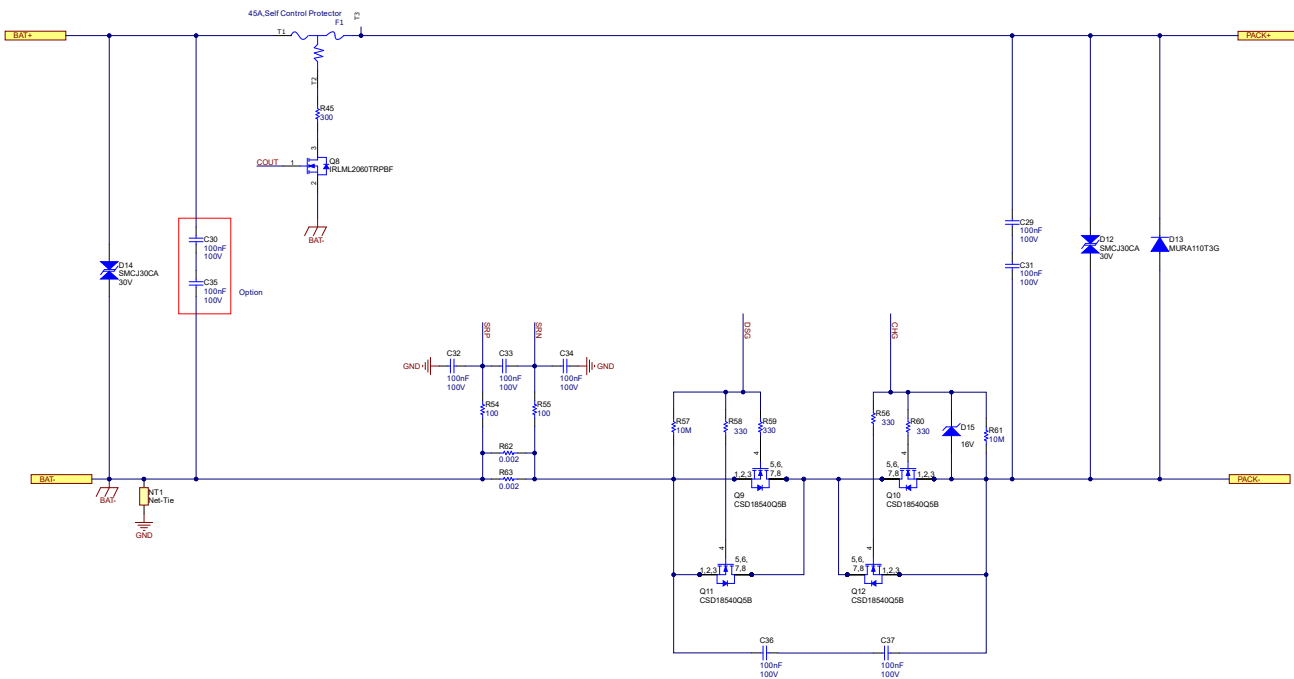


图 3-3. 其他电路设计

4 硬件、软件、测试要求和测试结果

4.1 硬件要求

图 4-1 标识了 TIDA-010268 电路板上的不同器件。以下列表中提供了这些器件的说明：

- 连接器 J2 和 J3：此连接器用于连接 MSPM0 LaunchPad™ 开发套件。可通过 MSPM0 LaunchPad 或单独控制（例如将 I2C 连接到 EV2400 并使用 BQ Studio 进行控制）进行直接连接。
- 连接器 J4：短接 J4 可以使 BQ7690x 的 3.3V 输出端向 J2 的 3.3V 引脚提供电流。
- 连接器 J5：CAN 接口，用于启用 5V Buck。
- 连接器 J6：短接 J6 可以使 TLV704 的 3.3V 输出端向 J2 的 3.3V 引脚提供电流。（如果使用 TLV704，请先启用 TPSM365R6V5RDNR。）
- 连接器 J7：短接 J7 可以使 TPSM365R6V5RDNR 的 5V 输出端向 J2 的 5V 引脚提供电流。（如果使用 TPSM365R6V5RDNR，请将 J2:BUCK EN 引脚设置为高电平。）
- 连接器 J8：电池电芯连接器，从左到右依次连接 cell7 至 cell1。如果使用的电芯少于 7 节，请根据 BQ76907 适用于锂离子、锂聚合物、磷酸铁锂 (LFP) 和 LTO 电池包的 2 节至 7 节串联高精度电池监测器和保护器 数据表将相应的引脚短接。

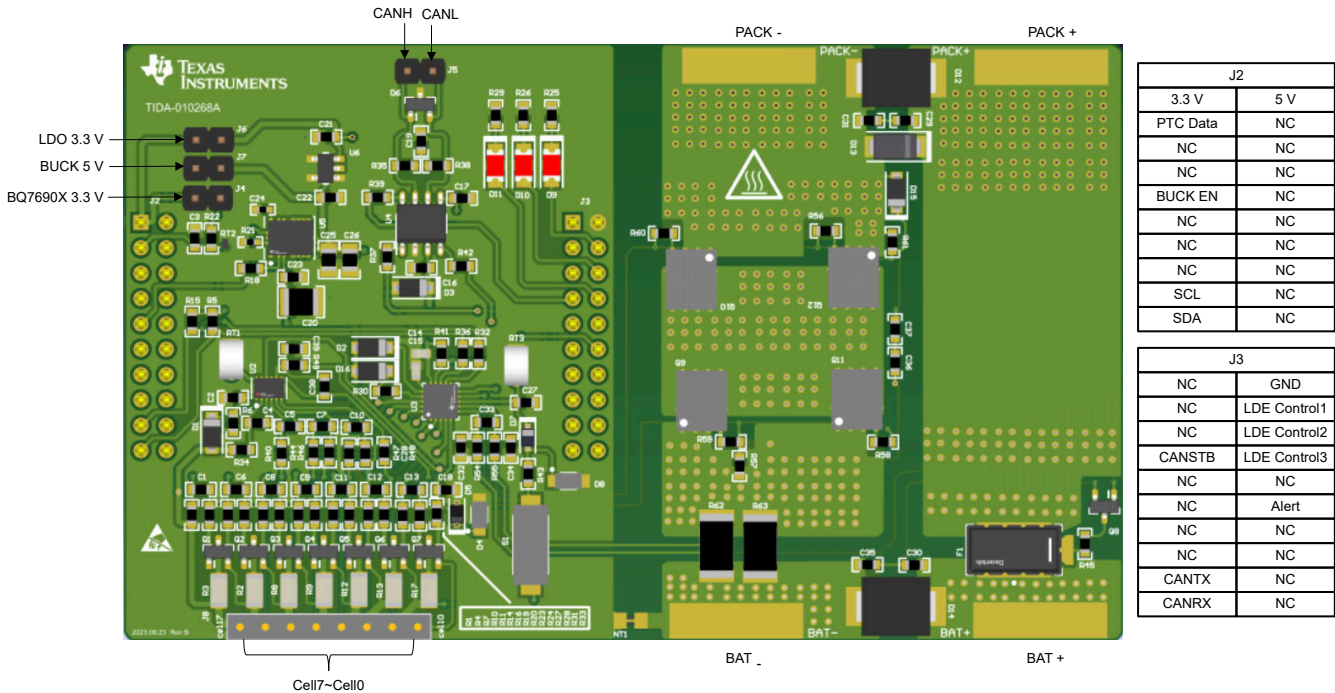


图 4-1. 硬件电路板概览

4.2 软件要求

要下载软件文件，请联系您的 TI 销售代表。

4.3 测试设置

请按照以下步骤启动和测试电路板，另请参阅图 4-1：

- 从左到右依次连接到 J8 的 Cell7 至 Cell1。如果使用的电芯少于 7 节，请根据 BQ76907 和 BQ76905 数据表短接相应的引脚。
- 将 BAT+ 连接到 Cell7，将 BAT - 连接到 Cell0
- 使用 MSPM0L1306 LaunchPad 连接到 J2、J3 或仅将 J2:I2C 引脚与 EV2400 相连并连接到个人计算机 (PC)
- 根据需要选择是否连接 J5、J6、J7 或 J8
- 连接 PACK+ 或 PACK - 中的负载

用于放电和充电测试的测试设置是在 TI 实验室内完成的。

图 4-2 显示充电过程设置示例。直流电源 1 配置：22V - 3A。直流电源 2 配置：18V - 0.5A。电子负载配置：18V CV 模式（用于 5 秒测试）。

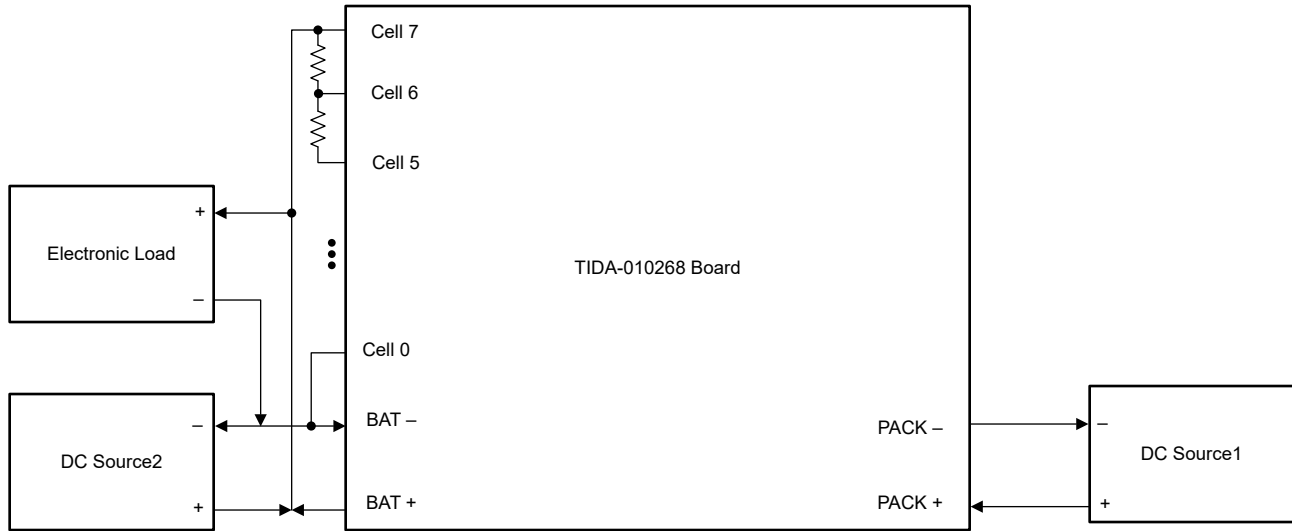


图 4-2. 充电设置

图 4-3 显示放电过程设置示例。直流电源 1 配置：18V - 10A。电子负载配置：CC 模式。

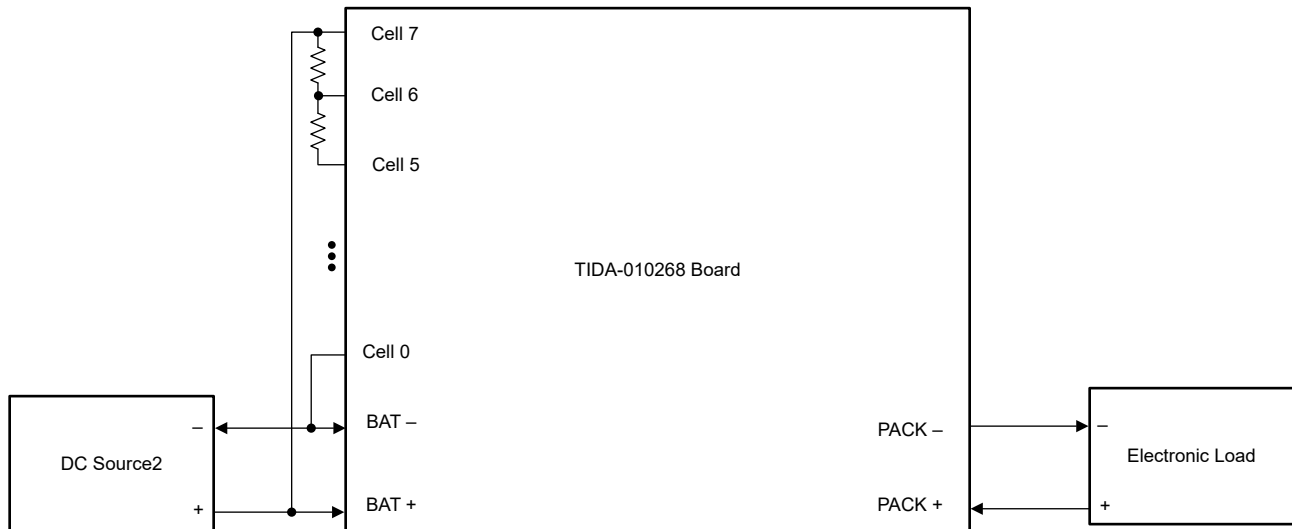


图 4-3. 放电设置

4.4 测试结果

4.4.1 电芯电压精度

测试电芯电压精度时，请勿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引脚，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。该设计使用电池仿真器进行精度测试。表 4-1 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。全部通道的电芯电压误差均低于 $\pm 5\text{mV}$ 。

表 4-1. 电芯电压精度数据

测量电压 (mV)	电芯 1 (mV)	电芯 2 (mV)	电芯 3 (mV)	电芯 4 (mV)	电芯 5 (mV)	电芯 6 (mV)	电芯 7 (mV)	电芯误差 1 (mV)	电芯误差 2 (mV)	电芯误差 3 (mV)	电芯误差 4 (mV)	电芯误差 5 (mV)	电芯误差 6 (mV)	电芯误差 7 (mV)
2000	2000	2000	1999	2000	2000	2000	2000	0	0	-1	0	0	0	0
2250	2250	2250	2249	2250	2249	2250	2250	0	0	-1	0	-1	0	0
2500	2500	2500	2499	2500	2500	2499	2500	0	0	-1	0	0	1	0
2750	2750	2750	2749	2750	2749	2750	2750	0	0	-1	0	-1	0	0
3000	3000	2999	2999	3000	2999	3000	3000	0	-1	-1	0	-1	0	0
3250	3250	3248	3249	3250	3249	3250	3250	0	-2	-1	0	-1	0	0
3500	3499	3498	3499	3500	3499	3499	3500	-1	-2	-1	0	-1	1	0
3750	3749	3748	3749	3750	3749	3750	3750	-1	-2	-1	0	-1	0	0
4000	3999	3998	3999	4000	3999	3999	4000	-1	-2	-1	0	-1	1	0
4250	4249	4248	4249	4250	4249	4249	4250	-1	-2	-1	0	-1	1	0

4.4.2 电池包电流精度

本设计使用两个并联的 2mΩ、2W、50PPM 分流电阻来测量电池包电流。按照数据表校准部分的指南，校准电路板偏移量。接下来，使用 2A 放电电流校准电流增益。使用 OTP 将电路板偏移量和电流增益值写入 BQ7690X；否则，MCU 必须在每次从关断模式唤醒 MCU 时存储此类数据并写入 BQ7690X。

图 4-4 展示了室温下的电池包电流精度数据。当放电电流低于 3A 时，最大电流误差大约为 ±10mA；当放电电流高于 3A 时，最大电流误差大约为 ±0.5%。

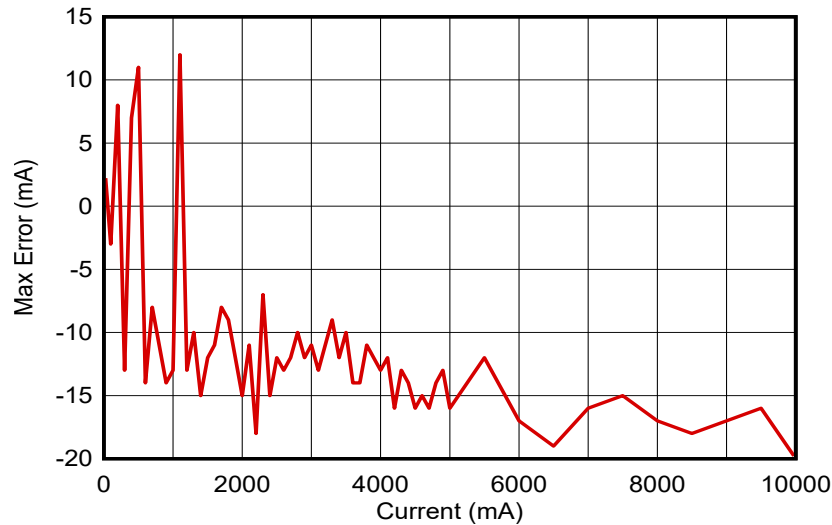
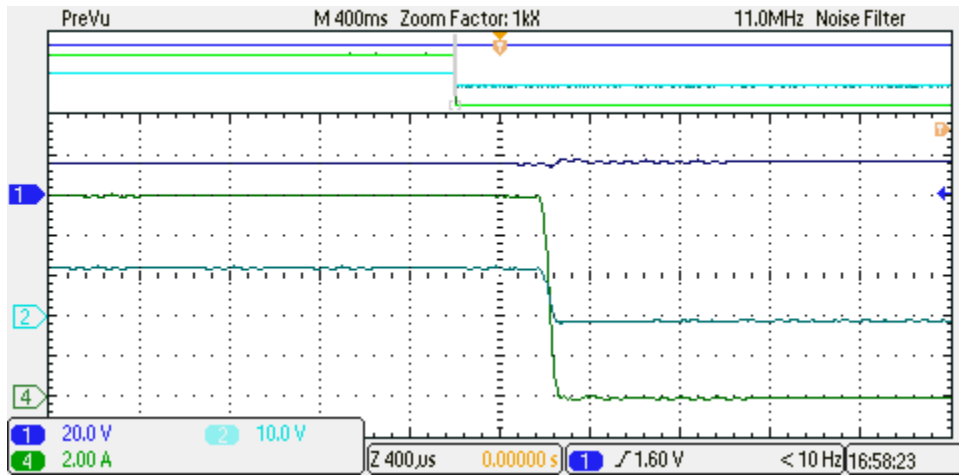


图 4-4. 电池包电流精度

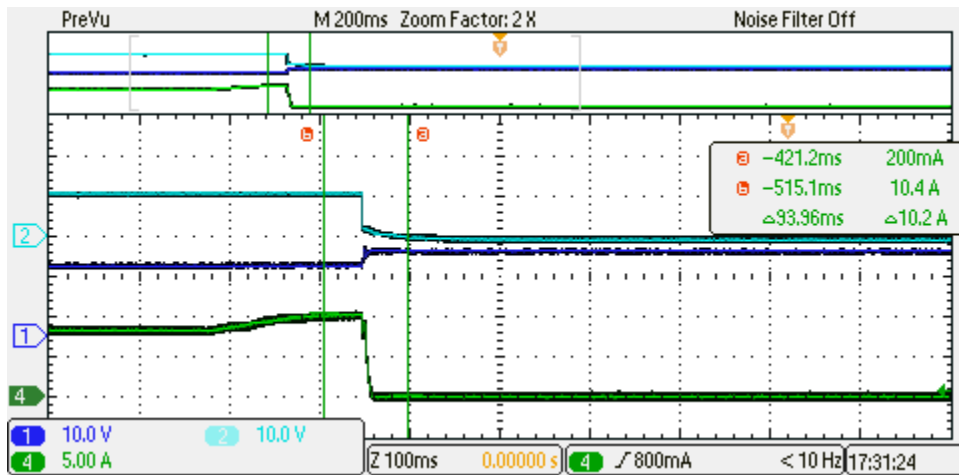
4.4.3 保护

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、过热等。在 TI 实验室针对其中一些保护进行了测试。



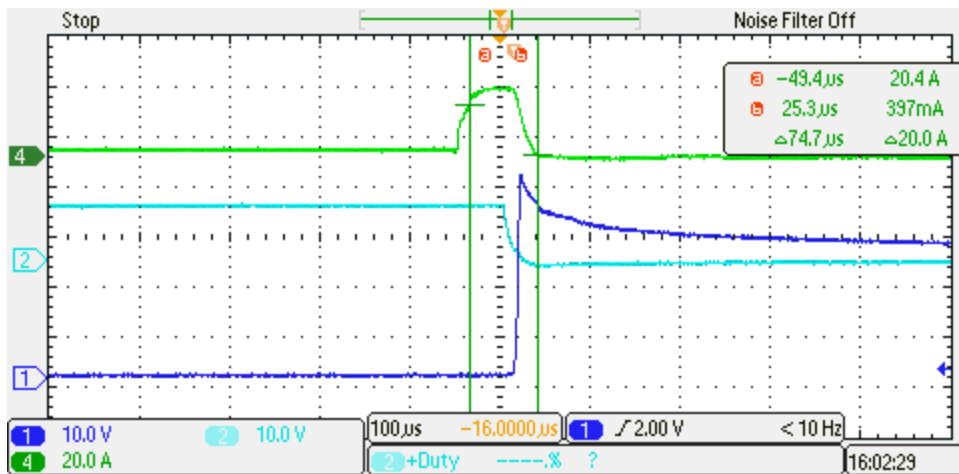
CH1 (蓝色) : 电池电压; CH2 (青色) : DSG V_{gs}; CH4 (绿色) : 放电电流

图 4-5. 过流放电 (将阈值设置为 10A)



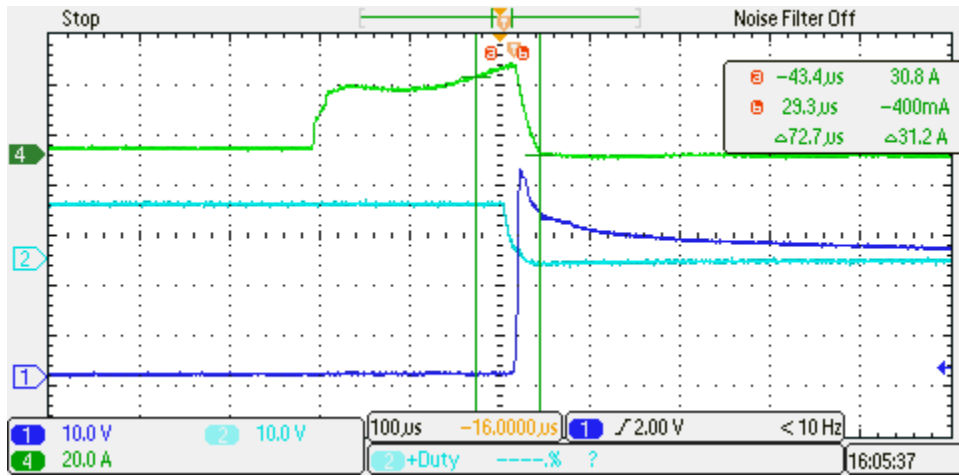
CH1 (蓝色) : 电池电压; CH2 (青色) : DSG V_{gs}; CH4 (绿色) : 放电电流

图 4-6. 过流充电 (将阈值设置为 10A)



CH1 (蓝色) : DSG V_{ds}; CH2 (青色) : DSG V_{gs}; CH4 (绿色) : 放电电流

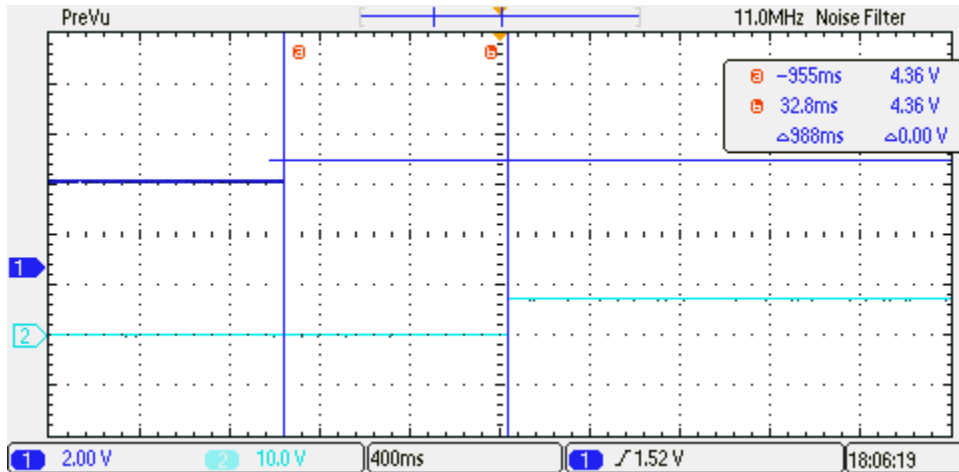
图 4-7. 放电短路 (将阈值设置为 20A)



CH1 (蓝色) : DSG V_{ds} ; CH2 (青色) : DSG V_{gs} ; CH4 (绿色) : 放电电流

图 4-8. 放电短路 (将阈值设置为 30A)

此设计还包含单独的次级保护，以防各个电芯因过压和过热而造成危害。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保护进行了测试。



CH1 (蓝色) : 电芯 1 电压 ; CH2 (青色) : V_{cOUT}

图 4-9. 次级过压保护

4.4.4 电芯均衡

该设计电路板支持采用三极管实现外部电芯均衡。在 4V 电芯电压下，峰值均衡电流为 64mA，大概 50mA 流经外部均衡电阻器，并有约 14mA 流经 BQ7690x 器件。电池均衡只能通过命令触发。图 4-10 展示了外部电芯均衡性能。电芯均衡占空比约为 82%。

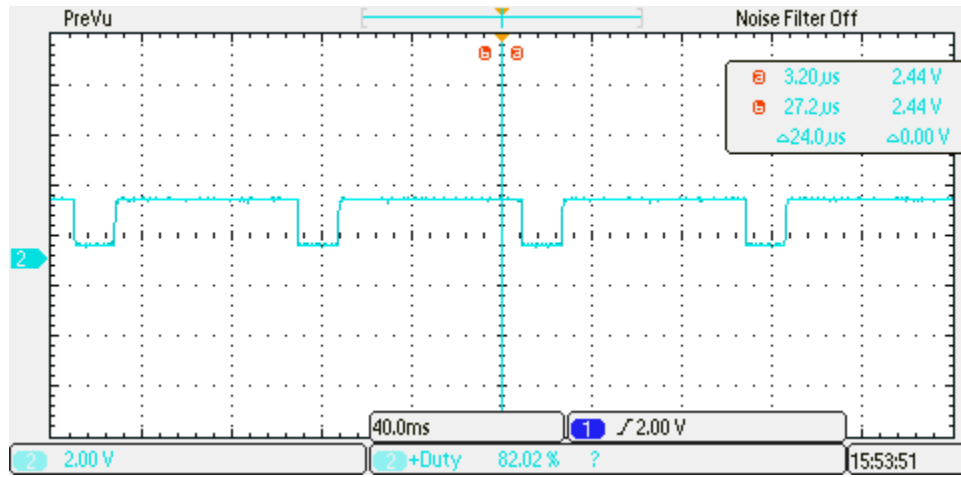
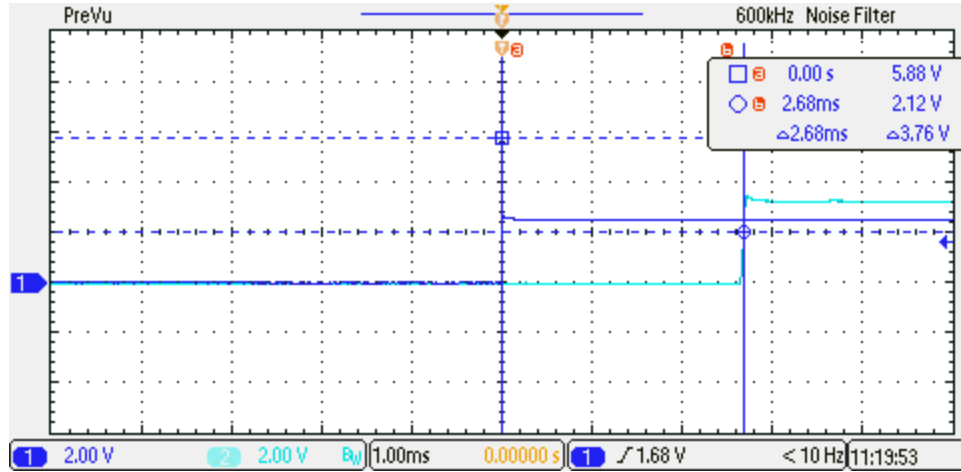


图 4-10. 外部电芯均衡

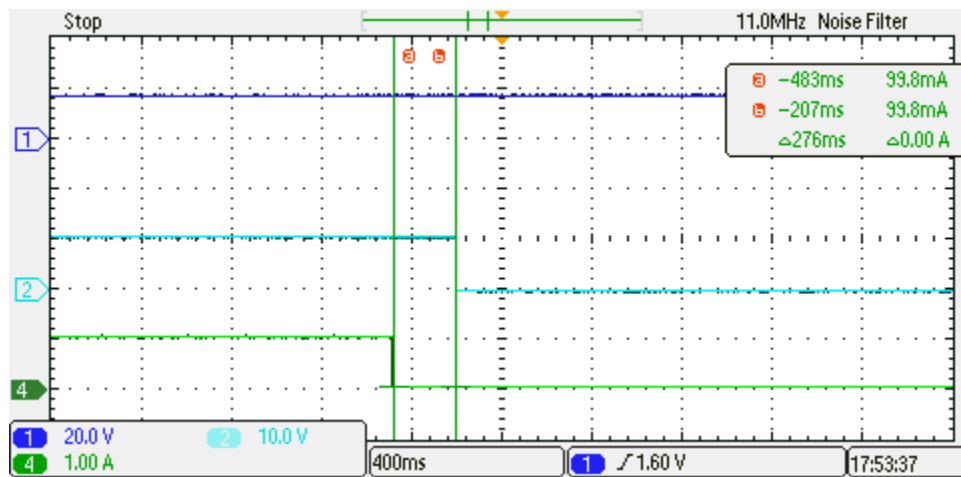
4.4.5 工作模式转换

BQ76905 具有 4 种工作模式：正常模式、睡眠模式、深度睡眠模式和关断模式。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，正在等待充电器或负载连接。深度睡眠模式采用低电流消耗调制解调器，内部 LDO 处于激活状态，可以保持 MCU 通电。关断模式是一种电流消耗超低的模式，仅可通过外部触发器唤醒，可以节省电能并有助于在电池包或电芯电压低时，避免电池过放电。图 4-11 至图 4-14 展示了不同工作模式的转换。



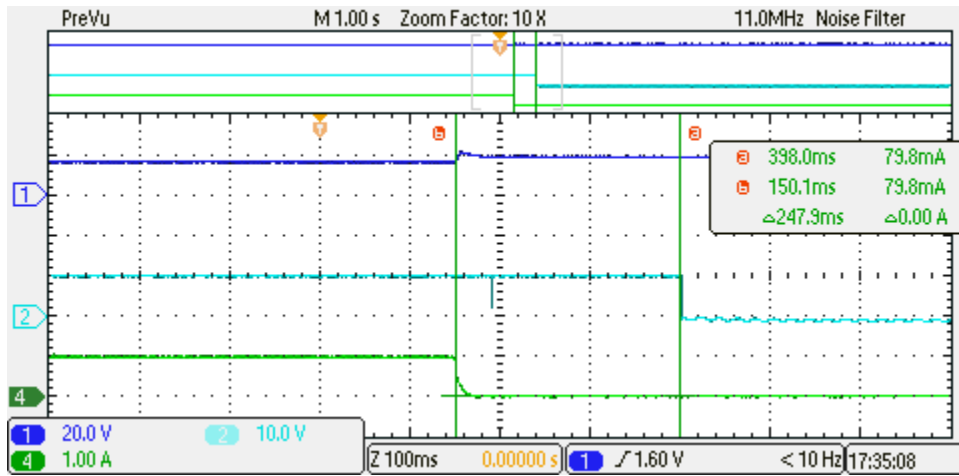
CH1 (蓝色) : 触发信号; CH2 (青色) : 3.3V 输出

图 4-11. 深度睡眠模式转正常模式



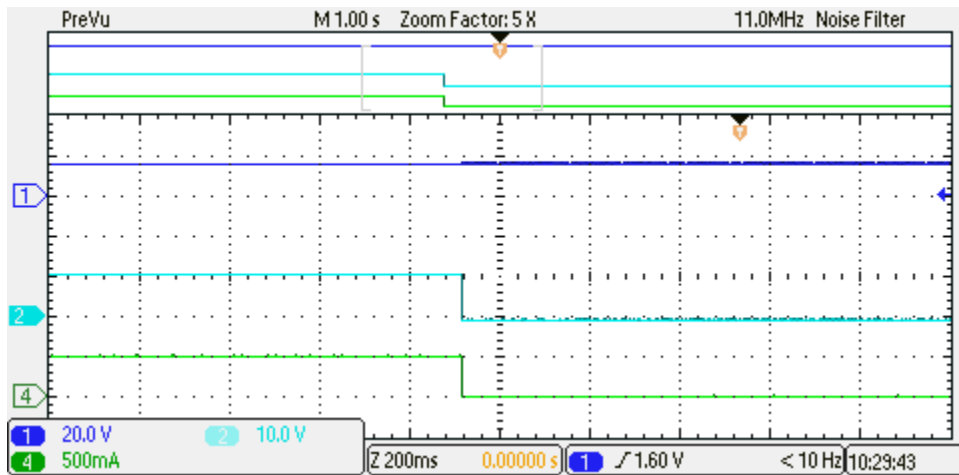
CH1 (蓝色) : 电池电压; CH2 (青色) : DSG V_{gs}; CH4 (绿色) : 放电电流

图 4-12. 放电模式转睡眠模式



CH1 (蓝色) : 电池电压 ; CH2 (青色) : CHG V_{gs} ; CH4 (绿色) : 充电电流

图 4-13. 充电模式转睡眠模式



CH1 (蓝色) : 电池电压 ; CH2 (青色) : CHG V_{gs} ; CH4 (绿色) : 充电电流

图 4-14. 充电转深度睡眠模式 (通过 I2C 命令进入深度睡眠模式)

4.4.6 热性能

图 4-15 和图 4-16 展示了在 18V_{DC} 放电电流 (大约 15A) 下的热测试、电流波形和热像图。(绿色：放电电流；蓝色：DSG V_{gs})

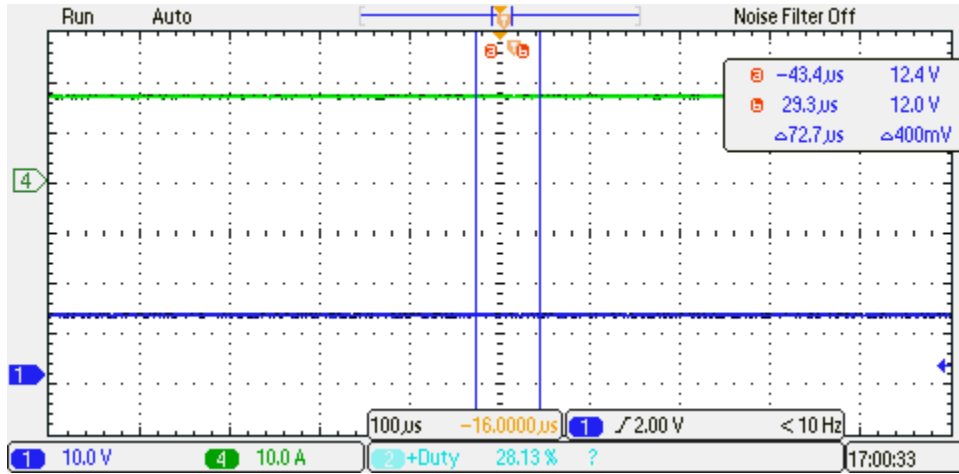


图 4-15. 放电电流为 15A



图 4-16. 放电电流为 15A 时的热像图

图 4-17 和图 4-18 展示了在 18V_{DC} 放电电流 (大约 30A) 下的热测试、电流波形和热像图。(绿色：放电电流；蓝色：DSG V_{gs}；青色：电池电压)

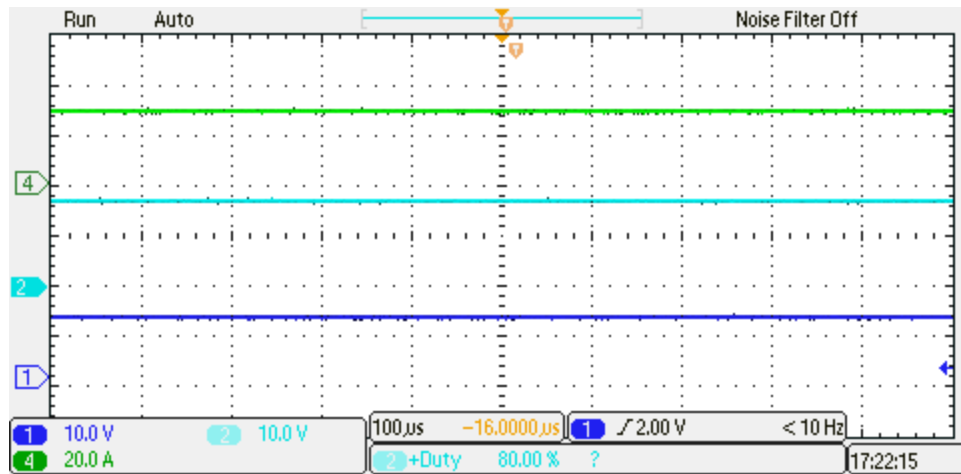


图 4-17. 放电电流为 30A

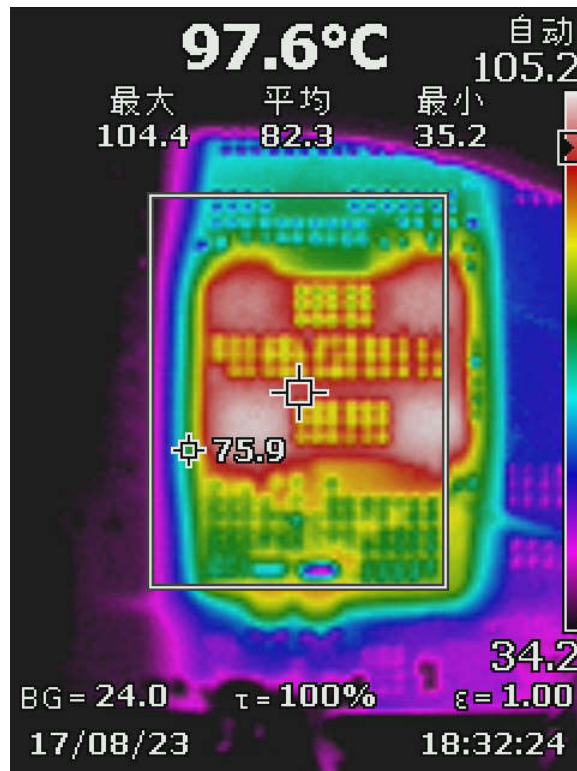


图 4-18. 放电电流为 30A 时的热像图

5 设计和文档支持

5.1 设计文件

5.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-010268](#) 的设计文件。

5.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010268](#) 的设计文件。

5.2 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。

5.3 文档支持

- 德州仪器 (TI), [BQ76907 适用于锂离子、锂聚合物、磷酸铁锂 \(LFP\) 和 LTO 电池包的 2 节至 7 节串联高精度电池监测器和保护器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [BQ76905 适用于锂离子、锂聚合物、磷酸铁锂 \(LFP\) 和 LTO 电池包的 2 节至 5 节串联高精度电池监测器和保护器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [BQ77207 具有内部延迟计时器、适用于 3 节至 7 节串联锂离子电池的电压和温度保护器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [MSPM0L110x 混合信号微控制器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [TCAN1044V 具有待机模式和 1.8V IO 支持的故障保护 CAN FD 收发器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [TCAN1042 具有 CAN FD 的故障保护 CAN 收发器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [TPSM365R6、TPSM365R3 采用 HotRod™ QFN 封装的 3V 至 65V 输入、600mA/300mA、4 \$\mu\$ A 空载 \$I_Q\$ 同步降压转换器电源模块](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [TLV704 24V、150mA、3.2 \$\mu\$ A 静态电流、低压降线性稳压器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [TMP61 具有 0402 和 0603 封装选项的 \$\pm 1\%\$ 10k \$\Omega\$ 线性热敏电阻](#) 数据表

5.4 支持资源

[TI E2E™ 支持论坛](#) 是工程师的重要参考资源，有助于直接从专家那里获得快速、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](#)。

5.5 商标

TI E2E™, MSP430™, LaunchPad™, and E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

所有商标均为其各自所有者的财产。

6 作者简介

JENSON FANG 是德州仪器 (TI) 的系统工程师，负责开发与电机控制和 BMS 设计相关的电器系统以及其他电器相关系统。

JAYDEN LI 是中国的现场应用工程师，曾获得南京航空航天大学电气工程硕士学位。Jayden 主要负责 BMS 应用，为涵盖各种终端应用的多元化客户提供支持，如电动工具、真空吸尘器、电动自行车、住宅 ESS 等。

SHUANG FENG 是中国的现场应用工程师，曾获得西安电子科技大学的电路与系统设计硕士学位。在开发该参考设计期间，他为 Jenson 提供了大力支持。他主要负责各种工业应用。

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