

Application Note

了解 BQ76905、BQ76907 的电压采样测量环路



Jayden Li, Jenson Fang

摘要

BQ76905、BQ76907 是 BMS 模拟前端，支持 2-7 节电池组。这种解决方案具有许多优势，包括高采样精度、低功耗、丰富的保护功能、支持乱序上电、集成低侧驱动器、内置 LDO 及内部均衡电路等，广泛应用于真空吸尘器、电动工具、无人机等产品的 BMS 设计中。然而，许多用户在初次使用该器件时，常常对其内部电压采样周期感到困惑。为提升基于该器件的设计效率，本文通过图文结合的方式，帮助用户更清晰、直观地理解 BQ76905、BQ76907 的电压采样逻辑。

内容

1 简介.....2

2 正常模式.....3

 2.1 适用于 7 节电池组.....3

 2.2 少于 7 节的电池组.....4

3 睡眠模式.....5

4 启动模式.....5

5 电芯均衡模式.....6

6 总结.....8

7 参考资料.....9

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

图 1-1 展示了 BQ76907 的功能方框图。从图中可以看出，BQ76907 为每个电芯、TS 引脚电压、内部 LDO 输出电压、VREF1 电压等均配备了独立的 Δ - Σ ADC。采样精度可达到 4mV。由于电池电芯通过 MUX 共享 ADC，因此需要进行一些特定的调度才能实现电压采样。

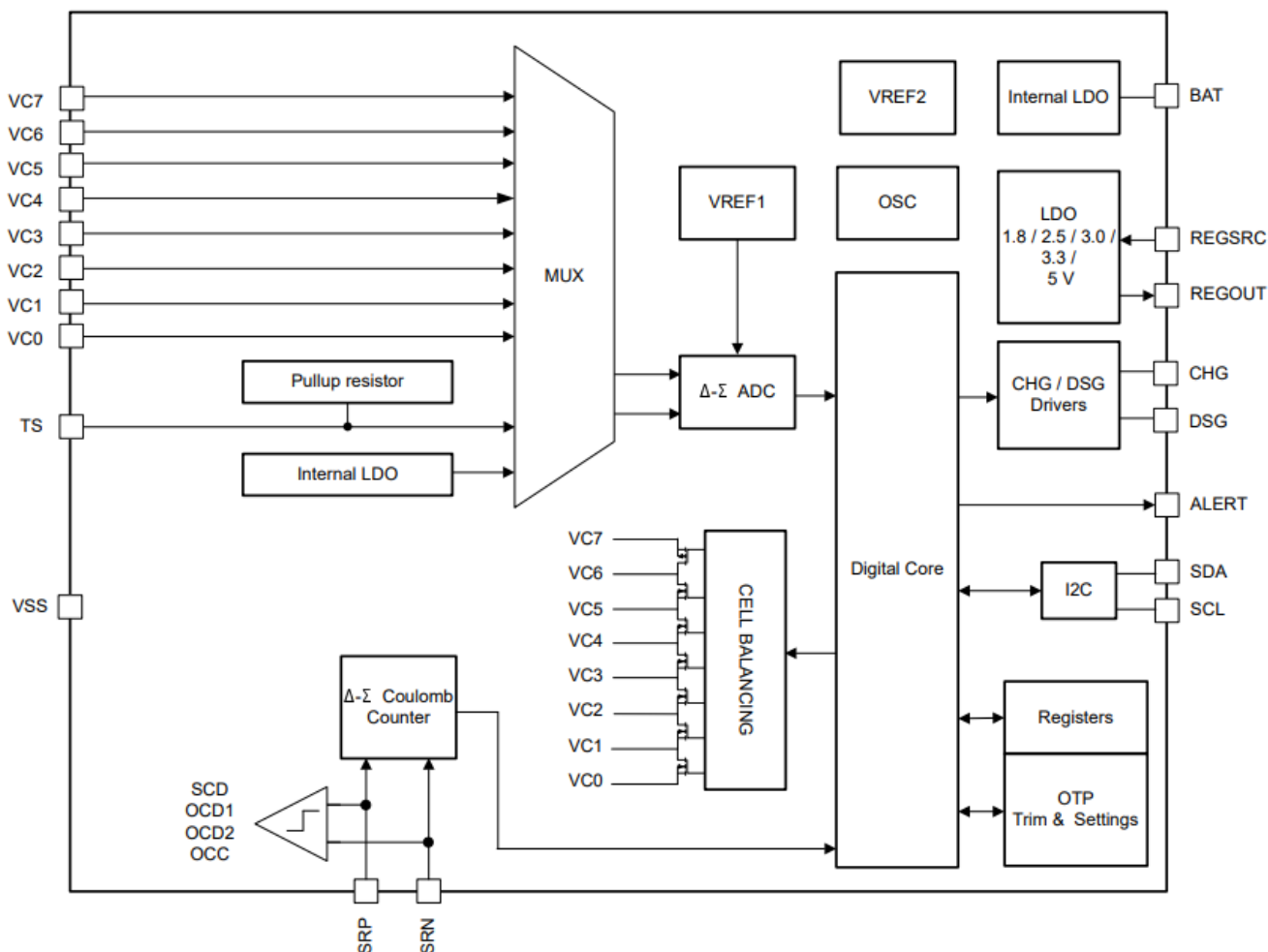


图 1-1. BQ76907 方框图

然而，考虑到不同的工作场景、电池节数差异、对采样精度与速度的不同要求以及功耗需求，实施方案也可能有所区别。后续章节将以 BQ76907 为例，详细阐述其具体实施方法。

2 正常模式

2.1 适用于 7 节电池组

本节介绍 7 节电池组及少于 7 节的电池组在正常模式下的采样逻辑。对于 7 节电池组，如 图 2-1 所示，BQ76907 以 ADSCAN LOOP 方式执行电压采样。

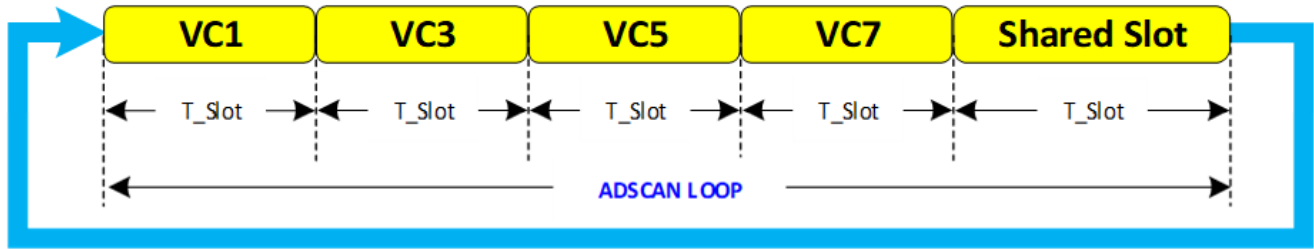


图 2-1. 7 节电池组的 ADSCAN LOOP

每个 ADSCAN LOOP 包含 8 个时隙，其中前 7 个时隙连续采集 7 节电池的电压，最后 1 个时隙为共享时隙。

每个时隙的时间 T_{Slot} 可通过 [CVADCSPEED_1, CVADCSPEED_0] 进行配置。如 表 2-1 所示。 T_{Slot} 越小，采样速率越高，但精度越低。反之， T_{Slot} 越大，采样速率越低，但精度越高。因此，用户在设置 T_{Slot} 时，应根据应用需求权衡 BQ76907 的采样速度与精度。

表 2-1. T_{Slot}

CVADCSPEED_1	CVADCSPEED_0	T_{Slot}
0	0	2.93ms
0	1	1.46ms
1	0	732us
1	1	366us

共享时隙由 (TS 引脚电压、内部温度、VC7 引脚电压、VREF 电压和 VSS 电压) 共享使用。由于与电芯电压相比，这些电压不需要快速的采样速率，因此每个 ADSCAN LOOP 只能对其中一种电压进行采样。完成所有电压的采样需要经历 5 个 ADSCAN LOOP。因此，将每 5 个 ADSCAN LOOP 称为一个 FULLSCAN LOOP，如中 图 2-2 所示。

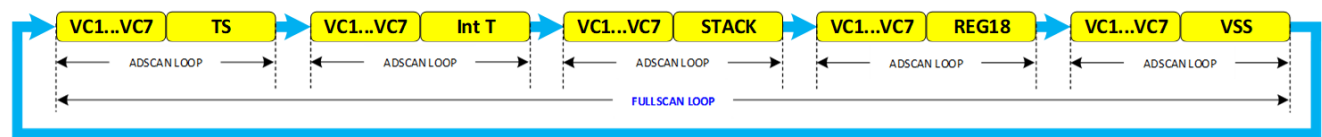


图 2-2. FULLSCAN LOOP

在许多应用场景中，客户对采样速率要求不高，但对功耗较为敏感，并期望在正常模式下仍能维持相对较低的功耗。针对这一需求，BQ76907 设置了一个寄存器：LOOP_SLOW [1, 0]。通过配置该寄存器，用户可以在每个活动时隙后插入若干个 IDLE 时隙，并通过这种方式降低采样速率，从而实现更低的功耗。如 图 2-3 所示。

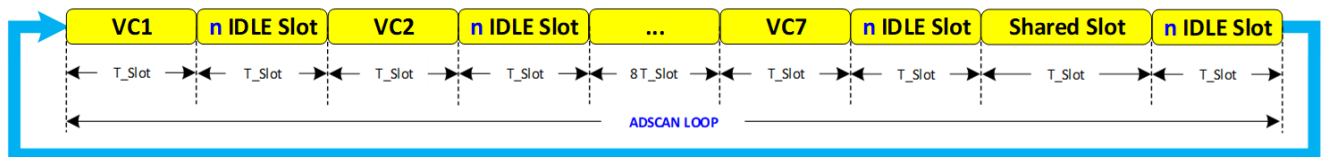


图 2-3. 具有 LOOP_SLOW 速度控制的 ADSCAN LOOP

$$n = 2^{Loop_SLOW[1:0]} - 1 \quad (1)$$

其中：n 与空闲时隙数之间的关系也可直接参考表 2-2。

表 2-2. LOOP_SLOW 速度控制

LOOP_SLOW [1]	LOOP_SLOW [0]	Loop 速度
0	0	全速 (1 个活动时隙之后 0 个 IDLE 时隙)
0	1	半速 (1 个活动时隙之后 1 个 IDLE 时隙)
1	0	四分之一的速度 (1 个活动时隙之后 3 个 IDLE 时隙)
1	1	八分之一的速度 (1 个活动时隙之后 7 个 IDLE 时隙)

2.2 少于 7 节的电池组

对于少于 7 节的电池组，电芯必须按照表 2-3 中规定的连接方式进行连接，并且还需将 Settings:Configuration:Vcell Mode 配置为实际的电芯数量。

表 2-3. 电芯使用情况和连接

使用的电芯数量	连接的电芯	短接的电芯
6	VC7、VC6、VC5、VC3、VC2、VC1	VC4
5	VC7、VC5、VC3、VC2、VC1	VC6、VC4
4	VC7、VC5、VC3、VC1	VC6、VC4、VC2
3	VC7、VC5、VC1	VC6、VC4、VC3、VC2
2	VC7、VC1	VC6、VC5、VC4、VC3、VC2

在 BQ76907 的采样周期中，为节省采样资源并提高采样效率，BQ76907 会自动跳过未实际连接电芯的通道。以 4 节电池组为例，如图 2-4 所示，BQ76907 会自动跳过第 2、第 4 和第 6 通道的采样。从而，一个 ADSCAN LOOP 中的时隙数量从 8 个减少至 5 个，显著提升了采样效率。

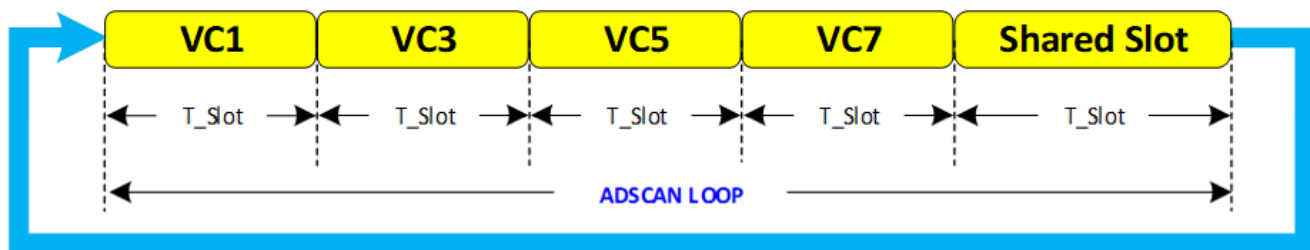
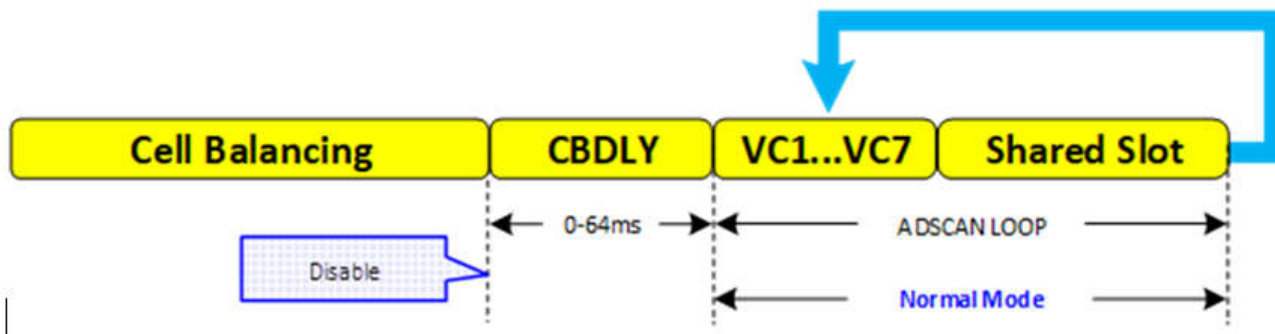


图 2-4. 4 节电池组的 ADSCAN LOOP

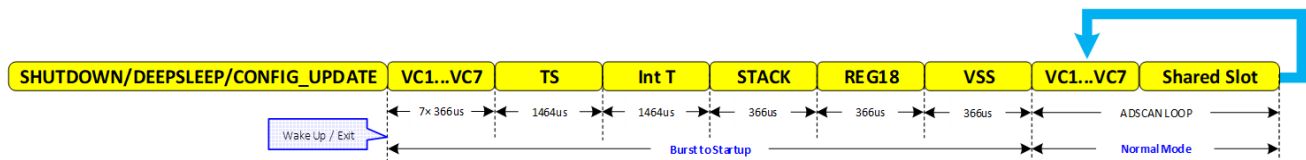
上一节中描述的 LOOP_SLOW 速度控制在此处仍然适用。

当器件处于睡眠模式时，为了节省功耗，BQ76907 不会像正常模式那样持续进行采样，而是采用间歇式采样。如图 3-1 所示，在睡眠模式下，BQ76907 可维持一段时间的 IDLE 状态，随后进入突发采样阶段。突发采样与之前提到的 ADSCAN 循环的区别在于，突发采样可一次性采集所有电芯电压和共享时隙，从而减少突发采样的次数，降低睡眠模式下的功耗。



IDLE 状态的持续时间可通过寄存器 **Power:Sleep:Voltage Time** 进行配置。但是，如果 **BQ76907** 在 **Power:Sleep:Voltage Time** 设定的时间内退出了睡眠模式，它将立即执行一轮突发采样，随后进入之前描述的正常模式采样状态。

如图 4-1 所示，当 BQ76907 从关断模式唤醒、退出 DEEPSLEEP 模式或退出 CONFIG_UPDATE 模式时，可进入启动模式。如图 4-1 所示，在唤醒或退出时，BQ76907 可立即执行类似睡眠模式的突发采样，即一次性采集所有电芯电压和共享时隙。采样完成后，若无保护等异常事件发生，即可正常进入正常模式。



需注意，在启动模式的突发采样阶段，所有 **T_Slot** 均固定，不可配置。此外，除与温度相关的采样外，所有电压采样均以最短时间完成，以尽可能快速获取全部电压数据，缩短启动时间，优化用户体验。

5 电芯均衡模式

BQ76907 集成有均衡电路，采用被动均衡方式，支持最大 50mA 的内部均衡电流。但需由主机发送命令才能启动均衡操作。该设计不仅支持非相邻电芯的同时均衡，也支持相邻电芯的均衡。

当开启均衡功能时，对应电芯及其相邻电芯的引脚电压可能发生改变。图 5-1 展示了 Cell_n 电芯开启均衡前后的等效电路。

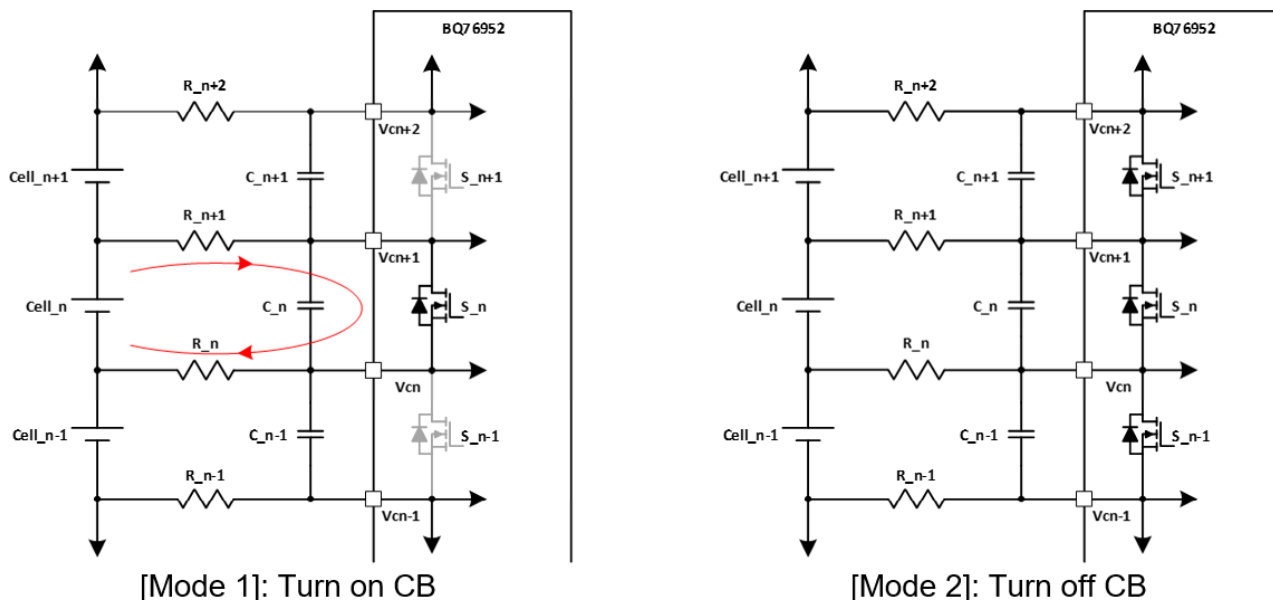


图 5-1. BQ76907 内部均衡电路

通过图 5-1，相应的 VCx 输入引脚电压变化如下：

表 5-1. 电芯均衡功能开启前后 VCx 引脚电压的变化

电压	均衡关闭	均衡开启
$V_{(cn+1)} - V_{cn}$	V_{cell_n}	$\frac{V_{cell_n}}{R_n + R_{n+1} + R_{dson}} \times R_{dson}$
$V_{(cn)} - V_{(cn-1)}$	V_{cell_n}	$V_{cell_n-1} + \frac{V_{cell_n}}{R_n + R_{n+1} + R_{dson}} \times R_{dson}$
$V_{(cn+2)} - V_{(cn+1)}$	V_{cell_n+1}	$V_{cell_n+1} + \frac{V_{cell_n}}{R_n + R_{n+1} + R_{dson}} \times R_{dson}$

为了防止电池平衡导致的采样电压错误，必须在采样期间禁用平衡功能。为了兼顾均衡能力（均衡占空比）与采样速率，BQ76907 可在正常采样 ADSCAN LOOP 后添加多个 IDLE 时隙

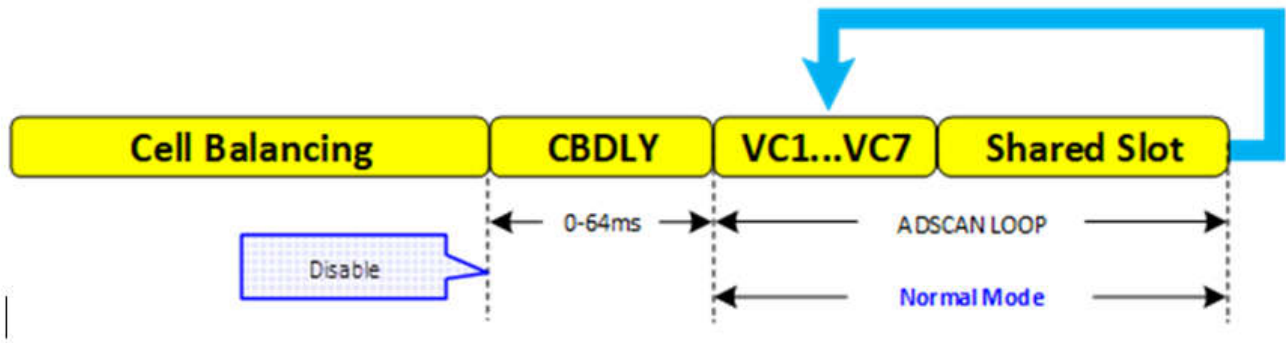


图 5-2. 电芯均衡模式下的电压测量环路（7 节版本）

$$m = \left(2^{CB_Loop_SLOW[1:0] + 1} - 1 \right) \times 8 \quad (2)$$

插入的 IDLE 时段越多，均衡占空比就越大，电池组的均衡能力也就越强，但采样刷新率会相应降低。因此，用户需根据实际应用场景配置 CB_LOOP_SLOW[1:0] 寄存器。

此外，当电芯均衡关闭后，由于 RC 网络的存在，电压需一定时间才能恢复稳定，这可能造成关闭均衡后初期的几次采样存在较大误差。为避免此类误差，BQ76907 设置了一个延迟采样寄存器：设置：电芯均衡：Balancing Configuration[CBDLY2:0]。通过配置该寄存器，可在电芯均衡关闭后引入 0-64ms 的延迟，再启动有效的电压采样，如图 5-3 所示。

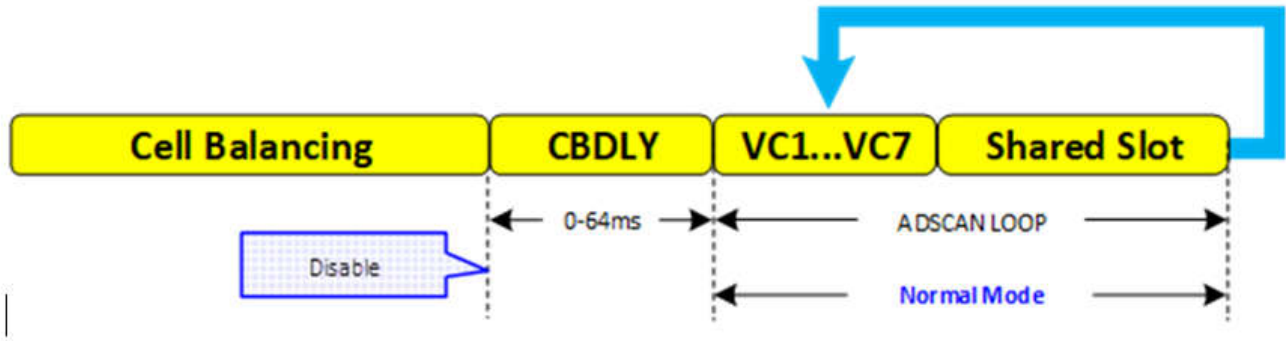


图 5-3. 电芯均衡模式下的电压测量环路（7 节版本）

6 总结

本文详细说明了 BQ76905/07 的电压采样逻辑，并针对不同工作模式提供了配置建议，帮助用户更清晰、直观地理解 BQ76905/07。

7 参考资料

- 德州仪器 (TI), [BQ76907 2- 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), [BQ76907 技术参考手册](#)。
- 德州仪器 (TI), [具有低侧 MOSFET 控制功能的 5 节至 7 节串联电池包参考设计](#)指南。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司