

Application Note

使用 BQ25756 对磷酸铁锂电池和超级电容器充电



Md Munir Hasan

摘要

本应用手册介绍了如何配置 BQ25756 降压/升压充电控制器，从而为 LiFePO₄ 电池和超级电容器充电。

内容

1 引言.....	2
2 LiFePO ₄ 充电曲线.....	2
3 面向 LiFePO ₄ 的 BQ25756 设置.....	3
3.1 设置充电电压.....	3
3.2 设置充电电流.....	3
3.3 TS 引脚设置.....	4
4 超级电容器充电曲线.....	5
5 面向超级电容器的 SBQ25756 设置.....	6
5.1 充电电流设置.....	6
5.2 充电电压设置.....	6
5.3 TS 引脚设置.....	6
6 EVM 的测试结果.....	7
6.1 为 LiFePO ₄ 电池充电.....	7
6.2 为超级电容器充电.....	7
7 总结.....	8
8 参考资料.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

磷酸铁锂 (LiFePO_4) 电池提供良好的热稳定性和低热失控风险。 LiFePO_4 电池还提供更长的循环寿命和高放电电流。为 LiFePO_4 电池充电的过程与锂离子电池类似。但是，需要考虑的重要电压阈值很少。除电池之外，超级电容器也是备用电源的常见选择。选择正确的充电器件可以更大限度地延长 LiFePO_4 电池和超级电容器的充电寿命。可以对 BQ25756 降压/升压充电控制器进行编程后，以支持 LiFePO_4 电池和超级电容器。

2 LiFePO_4 充电曲线

与锂离子电池相比， LiFePO_4 电池具有一些独特的特性，例如高热逃逸温度、极高的放电电流能力和高充电电流。 LiFePO_4 电池的充电曲线与锂离子电池类似。器件分四个阶段对电池进行充电。

第 1 阶段 - 涓流充电：当电池电量严重耗尽时，电池电压非常低，低于阈值 $V_{\text{BAT_SHORT}}$ 。器件采用称为涓流充电的低充电电流，使电池电压升至高于 $V_{\text{BAT_SHORT}}$ 。

第 2 阶段 - 预充电：当电池电压高于 $V_{\text{BAT_SHORT}}$ 但低于 V_{BATLOWV} 时，器件通过预充电电流对电池进行充电，使电池电压高于 V_{BATLOWV} 。预充电电流通常为快速充电电流的 20%。对于 LiFePO_4 电池， V_{BATLOWV} 为充满电电压的 55%。例如，一节电池的充电电压为 3.6V， $V_{\text{BATLOWV}} = 1.98\text{V}$ 。

第 3 阶段 - 恒定电流：当电池电压高于 V_{BATLOWV} 时，器件以全速快充电流为电池充电。这个阶段持续到电池电压达到充电调节电压。单节 LiFePO_4 电池的稳压电压通常为 3.5V 至 3.65V。

第 4 阶段 - 恒定电压：当电池电压达到稳压电压时，充电电流逐渐变小，并且电池电压在稳压电压下保持恒定。当电池电压高于再充电阈值且电流低于终止电流时，器件将终止充电。再充电阈值 $V_{\text{RECHG}} = 93\%$ 的电池稳压电压，终止电流通常为快速充电电流的 10%。

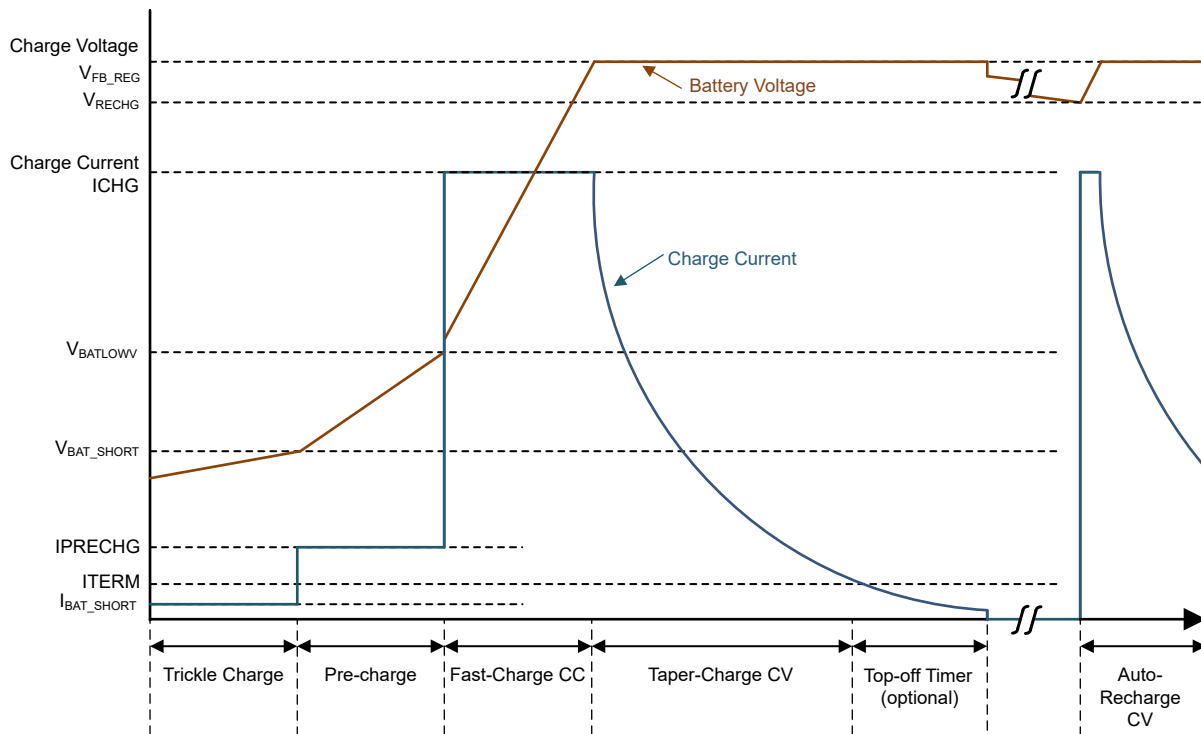


图 2-1. 典型 LiFePO_4 充电曲线

3 面向 LiFePO₄ 的 BQ25756 设置

3.1 设置充电电压

3.1.1 稳压电压

使用连接到 FB 引脚的电阻分压器对电池调节电压进行编程。默认内部电压基准为 $V_{FB}=1.536V$ ，可以使用 VFB_REG 寄存器位进行更改。电阻分压器的顶部选择为 $249k\Omega$ 。可以通过以下公式来计算底部电阻器

$$R_{BOT} = R_{TOP} \times \frac{V_{FB}}{V_{BATREG} - V_{FB}} + R_{FBG} \quad (1)$$

其中 $V_{FB}=1.536V$ 、 $R_{TOP}=249k\Omega$ 且 $R_{FBG}=33\Omega$ ，这是内部 FBG 下拉电阻器。对于 4 节串联电池，所需的电池稳压电压 $V_{BATREG}=4 \times 3.6V=14.4V$ 。根据这些值，底部电阻的计算结果为 $R_{BOT} = 29.76k\Omega$ 。

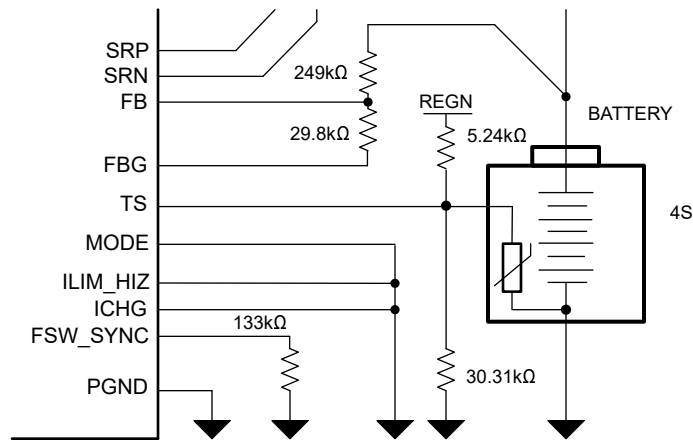


图 3-1. 使用连接到 FB 引脚的电阻分压器设置稳压电压

如果我们选择最接近的 0.1% 电阻器（例如， $R_{BOT} = 30.1k\Omega$ ），那么有效 V_{BATREG} 为 $14.25V$ 。我们可以通过寄存器 REG0x00 中的 VFB_REG 调整内部基准 V_{FB} ，从而对 V_{BATREG} 进行微调。在这种情况下，该值可以设置为 $1.552V$ ，这使得电池稳压电压 V_{BATREG} 非常接近 $14.4V$ 。

3.1.2 充电电压

这可以使用寄存器 REG0x17 中的 VRECHG 字段进行设置。对于 LiFePO₄ 电池，建议 $VRECHG = 0x0$ ，这会将电池低电压设置为 $93\% \times V_{FB_REG}$ 。例如，对于 4 节串联电池，稳压电压为 $14.4V$ ， $VRECHG = 13.4V$ 。

3.1.3 电池低电压

这可以使用寄存器 REG0x14 中的 VBAT_LOWV 字段进行设置。对于 LiFePO₄ 电池，建议使用 $VBAT_LOWV = 0x1$ ，这会将电池低电压设置为 $55\% \times V_{FB_REG}$ 。例如，对于 4 节串联电池，稳压电压为 $14.4V$ ， $VBAT_LOWV = 7.92V$ 。

3.2 设置充电电流

LiFePO₄ 电池可以使用与锂离子电池相同的快速充电电流设置进行充电。无需针对 LiFePO₄ 进行专门设置。用户可以控制快速充电、预充电和终止电流限制。

3.2.1 充电电流

可通过两种方法来设置充电电流限值。一种方法是使用硬件控制，即 ICHG 引脚下拉电阻器。另一种方法是使用 ICHG_REG 寄存器位。如果两者都启用，则其中更低的限值适用。

3.2.1.1 ICHG 引脚下拉电阻器

为了仅使用 ICHG 引脚控制最大充电电流， $ICHG_REG$ 寄存器位被设置为最大值。默认情况下， $ICHG_REG$ 设置为最大值，允许 ICHG 引脚设置充电电流。下拉电阻 R_{ICHG} 连接到 ICHG 和 PGND，使用以下关系计算得出。

$$R_{ICHG} = \frac{K_{ICHG}}{I_{ICHG_MAX}} \quad (2)$$

其中 $K_{ICHG} = 50A \cdot k\Omega$ 。需要满足此要求才能使用 $5m\Omega$ R_{BAT_SNS} 检测电阻。

3.2.1.2 ICHG_REG 寄存器位

为了仅使用寄存器控制最大充电电流， $ICHG$ 引脚短接到 $PGND$ ，并通过在 $REG0x18$ 中设置 $EN_ICHG_PIN=0$ 来禁用 $ICHG$ 引脚功能。然后，可以在寄存器 $REG0x02$ 中设置充电电流限值。充电电流限制范围为 $400mA$ 至 $20A$ ，步长为 $50mA$ 。

3.2.2 预充电电流

默认情况下，当 $ICHG$ 引脚设置充电电流限制时，预充电电流设置为 $20\% \times ICHG$ 。如果使用 $REG0x10$ 设置预充电电流，则使用 $20\% \times ICHG$ 或寄存器值中的较低者。

3.2.3 终止电流

默认情况下，当 $ICHG$ 引脚设置充电电流限制时，终止电流设置为 $10\% \times ICHG$ 。如果使用 $REG0x12$ 设置预充电电流，则使用 $10\% \times ICHG$ 或寄存器值中的较低者。

3.3 TS 引脚设置

与锂离子电池相比， $LiFePO_4$ 电池具有更好的化学稳定性。这使得它们不易发生热失控。 $LiFePO_4$ 电池通常在较高的环境温度下具有良好的性能。但是，按照 **JEITA** 合规性对电池进行充电可提供额外的安全保护。尽管没有专门针对 $LiFePO_4$ 的 **JEITA** 指南，但如果用户希望使用 **JEITA**，使用锂离子电池阈值是一种良好的做法。根据用户希望使用 **JEITA** 还是 **NTC** 监控，可能有三种情况。

3.3.1 JEITA 已启用

假设电池包上有一个 **103AT** **NTC** 热敏电阻，从 $REGN$ 连接到 TS 引脚和电池包热敏电阻之间的电阻分压器会设置 $T1$ 和 $T5$ 温度窗口，超过该窗口会禁用充电。如下图所示，在 $T1 < TS < T2$ 时充电电流减小，在 $T3 < TS < T5$ 时电池稳压电压减小。蓝色迹线是默认行为，红色迹线显示的是可在 $REG0x1B$ 中设置的可编程范围。

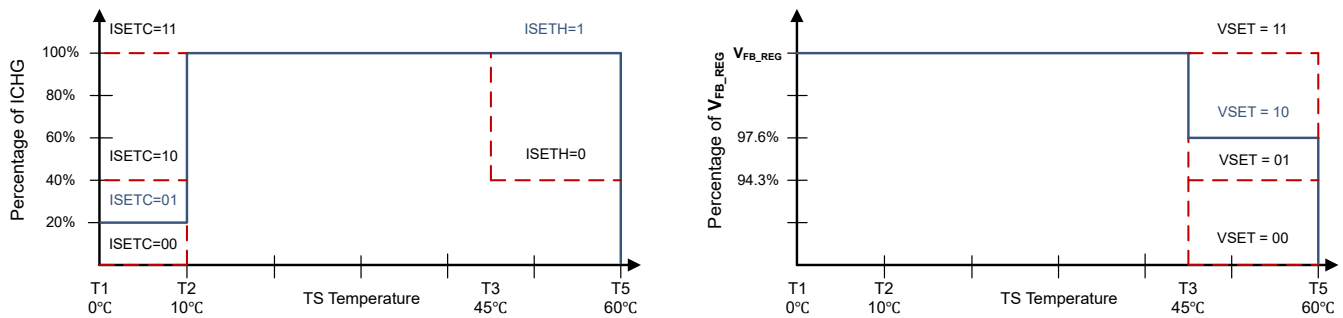


图 3-2. TS 充电值

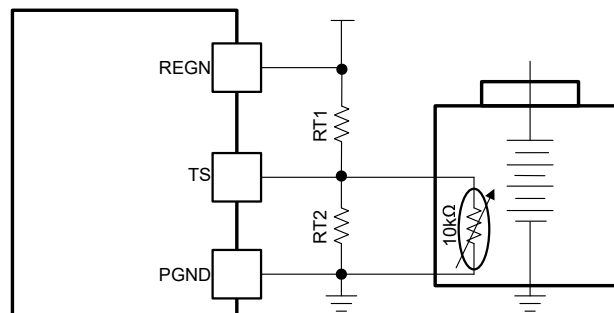


图 3-3. 将电阻分压器连接到 TS 引脚

3.3.2 JEITA 已禁用

通过将 REG0x1C 中的 EN_JEITA 寄存器位清零，可禁用 JEITA 曲线。但是，在 $T1 < TS < T5$ 窗口之外，充电器仍会禁用充电。该过程仅会禁用 T1 到 T2 和 T3 到 T5 区域的特殊充电曲线。

3.3.3 NTC 监控已禁用

通过将寄存器 REG0x1C 中的 EN_TS 寄存器位清零，可完全禁用 JEITA 和 NTC 监控。在这种情况下，TS 引脚电压会被忽略，TS 引脚可以悬空或连接到 PGND。

4 超级电容器充电曲线

大多数超级电容器可放电至 0V，并使用制造商建议的充电电流重新充电至其最大电压。对于超级电容器来说，不需要涓流充电和预充电阶段。因此，超级电容器可分两个阶段充电。

第 1 阶段 - 恒定电流：

充电从全速快充电流开始，电容器电压增加到稳压电压设置。

第 2 阶段 - 恒定电压：

一旦电容器电压达到稳定电压，充电电流就会逐渐减小至零，并且电容器电压保持在稳压电压。

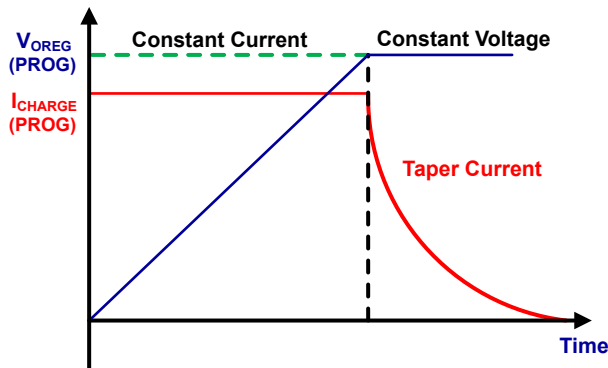


图 4-1. 超级电容器充电曲线

5 面向超级电容器的 SBQ25756 设置

5.1 充电电流设置

当超级电容器电压低时，不需要涓流充电或预充电。超级电容器即使在电压为零时也可以使用快速充电电流进行充电。也不需要设置终止电流。将 EN_PRECHARGE 位设置为 0 会禁用涓流充电和预充电。也可以禁用充电计时器。要使用最优充电电流，可使用表 5-1 中的设置。

表 5-1. 超级电容器充电电流设置

设置	值	寄存器
EN_PRECHG	0	REG0x14
EN_TERM	0	REG0x14
EN_CHG_TMR	0	REG0x15

可以使用节 3.2.1 中所述的方法设置所需的快速充电电流。

5.2 充电电压设置

对于超级电容器，只需设置电池稳压电压 V_{FB} 。例如，如果我们想把一个 1.67F 的电容器充电到 14.5V，那么 FB 引脚底部的电阻可以使用节 3.1.1 中所述的公式计算为 $R_{BOT} = 29.54k\Omega$ 。如果我们选择阻值为 30.1k Ω 的 0.1% 的电阻器，那么有效的 V_{BATREG} 为 14.25V。我们可以通过寄存器 REG0x00 中的 VFB_REG 调节内部基准 V_{FB} 并将该值设置为 1.562V，从而将 V_{BATREG} 微调到 14.5V。

5.3 TS 引脚设置

可选的 TS 引脚可用于检测放置在超级电容器上的 NTC 热敏电阻的超级电容器温度，并在超级电容器温度超出设定窗口时禁用充电。下图显示了 103AT NTC 热敏电阻连接配置。温度窗口设置过程如节 3.3 中所述。

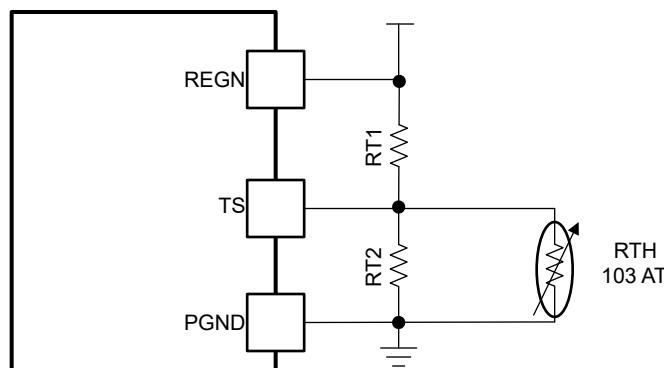


图 5-1. 用于超级电容器的 TS 电阻器网络

6 EVM 的测试结果

6.1 为 LiFePO₄ 电池充电

在 EVM 上，13.7k Ω 的原始 R_{BOT} 替换为 30.1k Ω ，转换为 V_{BATREG} 为 14.25V。这意味着我们可以为 14.25V/3.6V 或大约 4 节电池充电。要更准确地设置 V_{BATREG}，即 4x3.6V = 14.4V，可使用 bqStudio 将 VFB_REG 寄存器设置为 1.552V。充电电流设置为 2A，预充电电流设置为 500mA，涓流充电电流设置为 250mA。

V_{BAT_LOWV} 设置为 55% × V_{FVB_REG}，V_{RECHG} 设置为 93% × V_{FVB_REG}。充电器的输入电压为 31V。对于电量严重耗尽的电池，当通过设置 EN_CHG 启用充电时，充电器开始涓流充电。当电池电压达到预充电阈值时，充电器采用预充电电流。当电池电压接近 7.9V 时，电池以全速快充电流充电。当电池达到 14.4V 时，充电电流逐渐减弱为终止电流，并且充电周期完成。充电状态寄存器显示为“充电完成”。充电期间，STAT1 引脚开启，STAT2 引脚关闭，表示充电正在进行。充电完成后，STAT1 引脚关闭，STAT2 引脚开启。

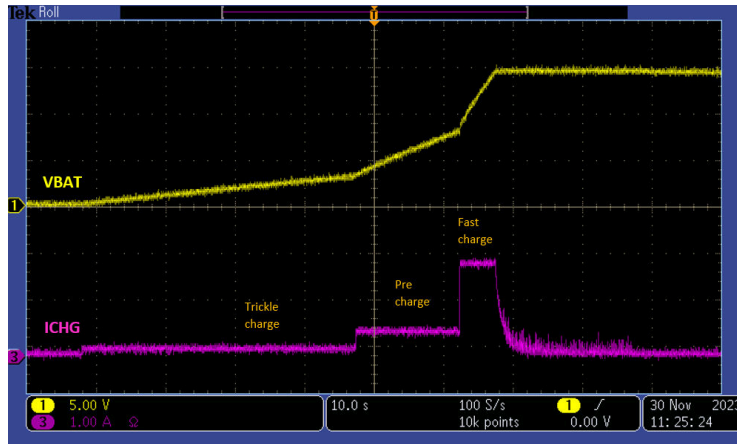


图 6-1. EVM 上的 LiFePO₄ 电池充电周期

6.2 为超级电容器充电

为 EVM 上的超级电容器充电时，使用 bqStudio 禁用 EN_PRECHG、EN_TERM 和 EN_CHG_TMR。V_{FVB_REG} 设置为 1.562V 以实现 14.5V 的充电电压。充电电流设置为 2A。输入电压为 31V。连接了一个 1.67F 放电电容器进行充电。当 EN_CHG 被启用时，充电器以全速快充电流为电容器充电。当电容器达到 14.5V 时，充电电流逐渐减小。充电状态寄存器显示为“恒压充电”。在此阶段，STAT1 引脚处于开启状态，STAT2 引脚处于关闭状态。由于端接已关闭，因此充电器状态会无限期地保持在恒压充电阶段，以使超级电容器的充电电压保持在 14.5V。

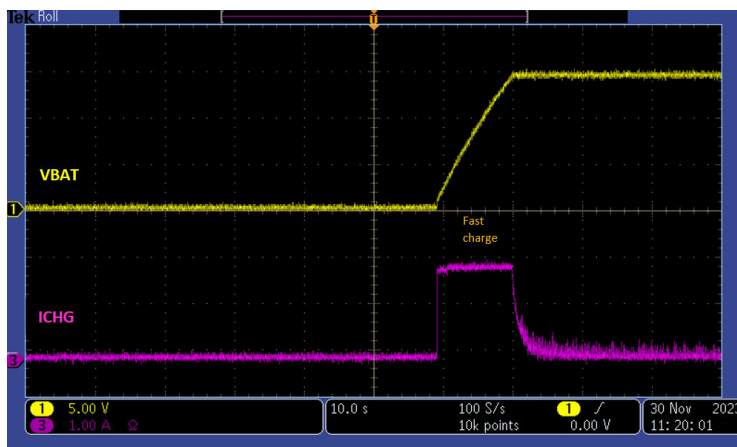


图 6-2. EVM 上的超级电容器充电周期

7 总结

本应用手册详细介绍了如何配置 BQ25756 降压/升压充电控制器，从而为 LiFePO₄ 电池和超级电容器充电。此外，还提供了 EVM 的测试结果。

8 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [BQ25756 : 独立/I2C 控制、1 节至 14 节电池、双向降压/升压电池充电控制器](#) 数据表。
2. 德州仪器 (TI), [LiFePO4 设计注意事项](#) 应用手册。

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