

## Application Note

## BQ769x2 常见问题解答



Asher Nederveld, Arelis Guerrero

## 摘要

BQ769x2 器件是高精度电池监测器和保护器，支持 3 节至 16 节串联多节锂离子、锂聚合物和磷酸铁锂电池包。此类器件集成了保护、监控、库仑计数器、电芯均衡、稳压器和高侧驱动器。本文档整理了关于 BQ769x2 功能操作的常见问题解答。

## 内容

摘要.....	1
<b>1 常规操作常见问题解答.....</b>	<b>4</b>
1.1 BQ769x2 系列的各器件之间有何差异？.....	4
1.2 BQ769x0 与 BQ769x2 器件系列之间有何差异？.....	4
1.3 需要微控制器来控制该器件，还是该器件可以自主运行？.....	4
1.4 运行该器件所需的最小电芯数是多少？以及如何连接它们？.....	5
1.5 该器件是否可以执行电量监测以计算运行状况 (SOH) 和充电状态 (SOC)？.....	5
1.6 未使用的引脚需要如何连接？.....	5
1.7 支持随机电池连接意味着什么？.....	5
1.8 如何对 BQ769x2 器件进行复位？.....	6
1.9 BQ769x2 如何从故障中恢复？.....	6
1.10 BQ769x2 是否支持开路检测？.....	6
<b>2 控制 FET 常见问题解答.....</b>	<b>7</b>
2.1 高侧与低侧栅极驱动之间有哪些权衡？.....	7
2.2 BQ769x2 是否可用于低侧 FET 驱动？.....	7
2.3 低侧开关是否需要 CP1 电容器？.....	7
2.4 BQ769x2 在上电时需要多长时间才能使 FET 导通？.....	7
2.5 充电 (CHG) 和放电 (DSG) 引脚的典型电压是多少？.....	7
2.6 预充电 (PCHG) 和预放电 (PDSG) 引脚的电压范围是多少？.....	7
2.7 如何实现更快的 DSG 栅极关断？.....	7
2.8 为什么在 CONFIG_UPDATE 模式下配置数据存储寄存器时 FET 会关断？.....	8
2.9 是否有方法手动控制 PCHG 和 PDSG？.....	8
2.10 可以将 NFET 与 PDSG 引脚配合使用吗？.....	9
2.11 禁用时，PDSG 和 PCHG 处于什么状态？.....	9
2.12 如何禁用放电 FET (DFET) 和充电 FET (CFET)？.....	9
2.13 BQ769x2 可以在 SLEEP 模式下保持 PDSG 导通吗？.....	9
<b>3 库仑计数器 (CC) 和 ADC 常见问题解答.....</b>	<b>10</b>
3.1 ADC 为电压测量提供的分辨率是多少？.....	10
3.2 BQ769x2 的 ADC 采样速度有多快？.....	10
3.3 ADC 在 SLEEP 模式下如何工作？.....	10
3.4 库仑计数器是否提供 SoC 和 SoH 测量？.....	10
3.5 库仑计数器是否可用于测量瞬时电流？.....	10
3.6 库仑计数器的分辨率是多少？.....	10
3.7 库仑计数器是否用于进行过流检测？.....	10
3.8 OCD1、OCD2、OCD3 与 SCD 之间的区别是什么？.....	10
3.9 为什么累积电荷测量似乎产生了错误的数值？.....	11
3.10 为什么 CELL1 的电压测量似乎不正确？.....	11
<b>4 通信协议和编程常见问题解答.....</b>	<b>12</b>
4.1 BQ769x2 支持哪些通信协议？.....	12
4.2 BQ769x2 是否支持循环冗余校验 (CRC)？.....	12

4.3 I <sup>2</sup> C 线路是否需要上拉电阻器才能工作？	12
4.4 BQ769x2 支持时钟延展吗？	12
4.5 BQ769x2 是否允许块写入和读取？	12
4.6 BQ769x2 是否需要隔离才能进行通信？	12
4.7 什么时候应该使用 OTP 编程？	12
4.8 BQ769x2 OTP 存储器是如何工作的？	12
4.9 BQ769x2 OTP 存储器可以修改多少次？	12
4.10 对 OTP 存储器进行编程需要什么硬件？	13
4.11 主机如何复位 ALERT 引脚中断？	13
4.12 为什么我的子命令返回了不正确的数据？	13
<b>5 校准和温度检测常见问题解答</b>	<b>14</b>
5.1 BQ769x2 是已经过校准，还是需要从外部进行校准？	14
5.2 可以将自定义校准存储到 BQ769x2 上吗？	14
5.3 如何修改 RAM 寄存器来更新校准？	14
5.4 每个电芯测量可以有自定义（偏移/增益）校准系数吗？	14
5.5 如何配置通用引脚用作热敏电阻？	14
5.6 该器件支持多少个热敏电阻？	15
5.7 是否可以禁用热保护，以及热敏电阻对于运行是否是必要的？	15
5.8 为什么每个热敏电阻上都需要一个电容器？	15
5.9 如何计算用于温度校准的热敏电阻系数？	15
5.10 为什么热敏电阻系数计算器工具会出现错误？	16
<b>6 电芯均衡常见问题解答</b>	<b>17</b>
6.1 电芯均衡的工作原理	17
6.2 所有电池电芯可以同时进行均衡吗？	17
6.3 BQ769x2 是否支持相邻电芯均衡？	17
6.4 在 RELAX 模式下，电芯均衡是如何实现的？	17
6.5 BQ769x2 支持外部均衡吗？	17
6.6 VCx 输入引脚上的电流检测电阻器可以有多大？	18
6.7 电芯均衡是否影响电压测量？	18
6.8 为什么各个电芯均衡的时间不同？	18
<b>7 器件电源和状态开关常见问题解答</b>	<b>19</b>
7.1 该器件支持的电池包的最大电压是多少？	19
7.2 使用电荷泵时允许的最大电池包电压是多少？	19
7.3 是否有必要将 BAT- 连接到 VSS？	19
7.4 其他信号 GND 需要如何连接到 PACK- 吗？	19
7.5 是否需要在 VC0 和 VC1 之间放置一个电容器？	19
7.6 对于我的原理图设计，推荐的典型无源器件值是多少？	19
7.7 两个可编程 LDO 能够提供多大的电流？	20
7.8 可以将 LDO 输入晶体管连接到电池包中比 BAT+ 电压低的电芯来提高效率吗？	20
7.9 在参考设计中，为什么要在 VC16 和 PACK+ 之间以及 PACK+ 和 PACK- 之间放置两个电容器？	20
7.10 BQ769x2 器件系列有哪些不同的低功耗模式？	21
7.11 MCU 如何知道 BQ769x2 处于关断状态？	21
7.12 是否可以禁用 SHUTDOWN 模式？	21
7.13 BQ769x2 如何退出 SHUTDOWN 模式？	21
7.14 什么是软关断？如何退出软关断模式？	21
<b>8 评估模块和 BQStudio 常见问题解答</b>	<b>22</b>
8.1 BQ769x2 系列是否有任何 EVM？	22
8.2 EVM 在运行时消耗多大的电流？	22
8.3 可以减少 EVM 上启用的电芯数量吗？	22
8.4 当堆叠多个 EVM 时，可将多个 EVM 连接到一台计算机吗？	22
8.5 该器件能否与 SMBus 和 SPI 同时连接？	22
8.6 为什么 BQStudio 无法检测到 BQ769x2EVM？	22
<b>9 其他指导材料</b>	<b>23</b>
9.1 如何访问 FMEDA 和引脚 FMEA 等功能安全文档？	23
9.2 是否有任何适用于 BQ769x2 的微控制器代码示例？	23
9.3 BQ769x2 有没有任何参考设计？	23
9.4 是否有任何关于堆叠多个 BQ769x2 器件的文档？	23
9.5 在哪里可以找到培训视频来详细了解电池监测器和保护器？	23

---

<b>10 参考资料</b> .....	<b>24</b>
----------------------	-----------

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 常规操作常见问题解答

### 1.1 BQ769x2 系列的各器件之间有何差异？

器件	电芯数	通信接口	启用 CRC	REG1 LDO 默认值	VCell 测量精度
BQ76972	3-16	I <sup>2</sup> C	否	禁用	+/-3mV
BQ7697202	3-16	I <sup>2</sup> C	是	启用, 3.3V	+/-3mV
BQ7697204	3-16	SPI	是	启用, 3.3V	+/-3mV
BQ76952	3-16	I <sup>2</sup> C	否	禁用	+/-5mV
BQ7695201	3-16	SPI	是	禁用	+/-5mV
BQ7695202	3-16	I <sup>2</sup> C	是	启用, 3.3V	+/-5mV
BQ7695203	3-16	SPI	是	启用, 5V	+/-5mV
BQ7695204	3-16	SPI	是	启用, 3.3V	+/-5mV
BQ76942	3-10	I <sup>2</sup> C	否	禁用	+/-5mV
BQ7694201	3-10	SPI	是	禁用	+/-5mV
BQ7694202	3-10	I <sup>2</sup> C	是	启用, 3.3V	+/-5mV
BQ7694203	3-10	SPI	是	启用, 5V	+/-5mV
BQ7694204	3-10	SPI	是	启用, 3.3V	+/-5mV
BQ769142	3-14	I <sup>2</sup> C	是	禁用	+/-5mV

### 1.2 BQ769x0 与 BQ769x2 器件系列之间有何差异？

BQ769x0 ( BQ76920、BQ76930、BQ76940 ) 和 BQ769x2 ( BQ76942、BQ76952、BQ76972 ) 都是高度集成的电池监测器，其中 BQ769x0 是老一代器件，而 BQ769x2 是新型器件。表格展示了两个系列之间的主要差异。

特性	BQ769x0	BQ769x2
电芯数	3-15	3-16
电芯电压精度	+/-10mV	+/-3mV (BQ76972) +/-5mV ( 其他 )
用于阻抗计算的同步 V/I	否	是
刷新率	250ms	63ms ( 正常模式 ) 31.5ms ( 快速 ADC 模式 )
独立保护	是	是
独立恢复	否, 需要一个微控制器	是, 可自主运行
高侧驱动器	否, 低侧驱动器	是
LDO	1 个 LDO, 20mA 时为 3.3V	两个可编程 LDO : LDO1 和 LDO2。每个均可在 5V、3.3V、3V、2.5V 或 1.8V 下提供 45mA
内部电芯均衡	是, 50mA (920) 5mA (930/940)	是, 50mA
LDO 处于低功耗模式	否	是, MCU 在 SLEEP 模式下仍然可以通电
通信协议	I <sup>2</sup> C	SPI、I <sup>2</sup> C、HDQ
可编程非易失性存储器	否	是, 具有 OTP 存储器

### 1.3 需要微控制器来控制该器件，还是该器件可以自主运行？

BQ769x2 可以自主运行，无需微控制器。该器件支持以下三种主要操作模式：

- 完全自主：**在此模式下，该器件会检测保护故障，并在出现错误时自主禁用 FET。之后，该器件会监测正确的恢复条件，并在无需外部处理器的情况下重新启用 FET。该器件包含一个 OTP 存储器，允许用户控制预设配置，从而更好地满足器件上电的需求。

- 部分自主**：该器件会自主检测故障并禁用 FET。这会触发主机器件中断，并允许主机通过发送 `0x0093 DSG_PDSG_OFF()`、`0x0094 CHG_PCHG_OFF()` 或 `0x0095 ALL_FETS_OFF()` 等命令来保持 FET 禁用状态。在主机决定可以安全地恢复运行后，主机可以发出 `0x0096 ALL_FETS_ON()` 命令以重新启用所有 FET。
- 手动控制**：该器件可以检测保护故障并通过 ALERT 引脚向主机处理器提供中断。主机读取这些信息后，可以决定是否禁用 FET。为了缩短关断周期，主机可以将 CFETOFF 和 DFETOFF 引脚驱动为高电平。然后，主机处理器决定何时可以安全地恢复运行并可以重新启用 FET。

#### 1.4 运行该器件所需的最小电芯数是多少？以及如何连接它们？

BQ769x2 器件系列始终需要至少 3 节电池才能运行。这些电芯必须按升序放置，以便 VC0 与 VC1 之间、VC1 与 VC2 之间以及 VC15 与 VC16 之间存在电芯。最下面的电芯（电芯 1）必须连接在 VC0 和 VC1 之间，下一个更高电压的电芯（电芯 2）必须连接在 VC1 和 VC2 之间。然后，下一个更高电压的电芯放置在接下来两个使用最少的引脚之间，依此类推。由于每个 VCx 引脚上的高电压容差，因此每个电芯连接到器件的时间都不重要。因此，该器件允许在所有 VCx 引脚上进行随机电芯连接。

当电芯数量减少至器件支持的最大值以下时，需要更新芯片上的软件配置，以防止器件将旁路电芯读取为欠压故障。用户必须修改 `Settings:Configuration:Vcell Mode` 寄存器，以准确地反映正在使用的电芯，从而防止这类故障。

#### 1.5 该器件是否可以执行电量监测以计算运行状况 (SOH) 和充电状态 (SOC)？

虽然该器件并未集成电量监测功能，但提供了电压、电流、累积电荷和温度测量的准确数据，这些数据都是生成准确 SOC 和 SOH 测量值所必需的。BQ769x2 测量的数据会传递到微控制器单元 (MCU)，该微控制器单元可以根据需要执行计算。可以实施算法来执行电量监测，而无需任何其他器件。

具有高精度的电量监测算法非常复杂，通常需要大量的软件开发工作。因此，可以同时使用 BQ34Z100-G1 等堆栈级电量监测计来提供 SOC 和 SOH。此[参考设计](#)显示了 BQ347Z100-G1 如何与电池监测器连接。

#### 1.6 未使用的引脚需要如何连接？

表 1-1. 未使用的引脚需要如何连接

引脚名称	连接	其他操作
VC0-VC16	未使用的 VC0-VC16 引脚必须短接在一起	必须在 <code>Settings: Configuration:Vcellmode</code> 中更新器件，以反映哪些引脚未使用。
RST_SHUT、REGIN、SRP 和 SRN	连接至引脚 17，VSS	如果未使用 REGIN，请确保禁用器件上的 LDO。
TS1、TS3、ALERT、HDQ、CFETOFF、DFETOFF、DCHG、DDSG、REG1、REG2 和 FUSE	保持悬空或连接到 VSS	必须转至 <code>Setting:Configuration: [pin[1:0]]</code> 并将其设置为 0x0。
PDSG、PCHG、DSG 和 CHG	保持悬空	-
TS2	保持悬空或连接到 VSS	仅当器件未进入 SHUTDOWN 模式时，才能将器件连接到 VSS
BREG	1. 如果使用 REGIN，则连接到 REGIN 2. 如果未使用 REGIN，则连接到 VSS	-
LD	1. 如果未使用 DSG，则通过串联电阻器连接到 PACK+ 2. LD 可连接到 VSS	-
CP1	连接到 BAT 引脚	确保在未使用 CP1 时禁用电荷泵，因为该器件在保持运行时额外消耗 200uA。

#### 1.7 支持随机电池连接意味着什么？

随机电池连接意味着在组装电池包和将电芯连接到芯片时，CELL10 可以先连接到 VC10 和 VC9，然后将 CELL4 连接到 VC4 和 VC3。电芯连接到器件时的时序可以是所需的任何顺序。这仅仅是因为 VC1-VC16 引脚具有高电压容差才能实现这一点。

随机电池连接并不意味着 CELL1 可以连接到 VC0-VC1，而 CELL6 可以连接到 VC1-VC2。电芯必须按顺序和升序方式连接。

### 1.8 如何对 BQ769x2 器件进行复位？

BQ76952 具有两种不同类型的复位：完全复位和部分复位。

- 完全复位会复位所有数字逻辑并清除所有未使用 OTP 进行编程的寄存器。这可以通过使用 `0x0012 RESET()` 子命令或退出关断模式来实现。
- 部分复位会复位包括通信在内的大多数数字逻辑，但所有寄存器信息都会保留。当 `RST_SHUT` 引脚保持高电平少到一秒后再恢复为低电平时，会发生部分复位。如果该引脚保持高电平的时间超过一秒，该器件将进入关断模式。

### 1.9 BQ769x2 如何从故障中恢复？

该器件可通过两种方式从故障中恢复。

1. **自主**：此模式通过设置 `Settings:Manufacturing:Mfg Status Init[FET_EN]` 配置位来启用。启用后，该器件会在故障触发时关闭 FET。该器件会定期监测标志，直到标志不再触发。之后，会重新启用 FET。
2. **手动**：发生故障时，`ALERT` 引脚会被配置为高电平，向主机 MCU 提供中断。要关闭 FET，MCU 可以使用 `0x0095 ALL_FETS_OFF()` 等命令。但是，如果需要出色的速度，该芯片还具有 `CFETOFF` 和 `DFETOFF` 引脚，这些引脚可用作模拟输入来禁用 FET。只需将信号置为有效便足以禁用 FET。当 MCU 决定可以安全地恢复运行时，该器件随后可以发送 `0x0096 ALL_FETS_ON()` 命令或将 `CFETOFF/DFETOFF` 置为无效，具体取决于禁用 FET 的方法。

### 1.10 BQ769x2 是否支持开路检测？

该器件支持检测芯片和电池之间的连接是否断开。开路事件可能是由于电芯之间的连接物理断开、触点受到污染、电阻值错误或焊接缺陷而引起的。如果发生开路事件，该器件可能会为相应电芯提供错误的电压测量值。在开路检测期间，少量电流会从每个电芯流向地。如果电芯断开连接，测量节点处的电压会迅速下降，从而触发欠压故障。可在 `Settings:Cell Open-Wire:Check Time` 寄存器中启用开路检测并定期设置，以使平均电流保持在 0.65nA 至 165nA 之间。

## 2 控制 FET 常见问题解答

### 2.1 高侧与低侧栅极驱动之间有哪些权衡？

低侧栅极驱动通常比高侧驱动更容易实现。由于 FET 的源极连接到 GND，因此如果 FET 是 N 沟道器件，则导通 FET 所需的电压约为 10V。但是，由于源极连接到 GND，当 FET 关断时，电池会变为隔离式 GND，因此通信基准会丢失。虽然可以通过隔离通信来克服这一问题，但这通常成本高昂且会消耗大量能量。

高侧驱动虽然更难实现，但会保持 GND 基准，因此电池和系统之间不会丢失相同的基准，并且能够轻松进行通信，因此性能更好。使用 P 沟道 FET 实现高侧栅极驱动非常简单，因为栅极需要降至低于电池包电压才能导通。不过，P 型 FET 的  $R_{ds,on}$  通常高于 N 型 FET，因此这些应用中通常不使用 P 型 FET。N 型 FET 确实可以为高侧驱动提供较低的  $R_{ds,on}$ 。关键在于，栅极电压必须高于电池包电压。这就需要电压高于电池包的电源以及用于控制的电平转换器。为了实现这一点，通常需要额外的电路，这会增加成本。但是，BQ769x2 系列具有内置电荷泵和高侧驱动器，无需给用户带来额外成本或复杂性，即可实现高侧驱动。

### 2.2 BQ769x2 是否可用于低侧 FET 驱动？

BQ769x2 设计集成了高侧驱动器设计，因此需要使用外部驱动器来实现低侧。这些驱动器可由 DCHG 和 DDSG 引脚控制。有关实现此功能的更多信息，请参阅 [使用 BQ769x2 电池监测器系列和低侧 FET 应用手册](#)。

### 2.3 低侧开关是否需要 CP1 电容器？

否，使用低侧开关时，CP1 处不需要电容器。电荷泵 (CP1) 引脚用于将电压升高至高于 BAT，但如果由于使用低侧开关而不需要更高电压，则该引脚不需要电容器。

### 2.4 BQ769x2 在上电时需要多长时间才能使 FET 导通？

该器件从 SHUTDOWN 初始化需要长达 250ms。之后，MOSFET 能够导通。为了手动打通，用户必须发送 `ALL_FETS_ON()` 等命令，或者将 CFETOFF 和 DFETOFF 置为无效。每隔 250ms 评估一次这些更新，以确定是否发生了更新。如果是这样，则会启用 FET。

为了确定 FET 的状态，该器件提供了两种选择：MCU 可以轮询器件以了解器件是否由 I<sup>2</sup>C 或 SPI 进行了初始化，或者用户可以使用 ALERT 引脚设置中断，从而通知 MCU 器件已启动且正在运行。

### 2.5 充电 (CHG) 和放电 (DSG) 引脚的典型电压是多少？

对于高侧应用，CHG 和 DSG 引脚电压是所连接电池包的电压加上电荷泵提供的电压。电荷泵可以提供 5.5V 或 11V 来驱动 CHG 和 DSG 引脚的栅极。可以通过修改 `Settings:FET:Chg Pump Control[LVEN]` 中的配置位来设置所需的电压。5.5V 设置在驱动时可以降低功率耗散，但 11V 会在运行时降低 FET 的导通电阻。

### 2.6 预充电 (PCHG) 和预放电 (PDSG) 引脚的电压范围是多少？

电压范围有两种情况，具体取决于 LD 或 BAT 是否大于 8.4V。

- LD 或 BAT  $\geq$  8.4V**：当 PCHG 或 PDSG 处于启用状态时，PCHG 或 PDSG 会被拉至比 BAT 和 LD 两者中较高电压低 8.4V 的电压。如果 BAT 引脚为 38.4V，而 LD 引脚为 28V，则 PCHG 引脚会保持在 30V。
- LD 和 BAT  $<$  8.4V**：PCHG 和 PDSG 均无法被拉至低于 VSS，因此 VPACK 和 VPCHG 之间产生的电压范围为 VPACK 至 VPACK-0.5V。以接地为基准，这意味着 PCHG 引脚上的电压介于 0V 和 0.5V 之间。这同样适用于 PDSG。

### 2.7 如何实现更快的 DSG 栅极关断？

有两种通用方法可以缩短栅极关断时间。

第一种方法如 [图 2-1](#) 所示，通过使用二极管 (D4) 为 FET 的栅极提供一条电阻比导通路径更低的路径来释放存储的电荷，从而提供了一种加速关断过程的低成本设计。通过改变电阻，可以根据需要增加或减少关断时间。

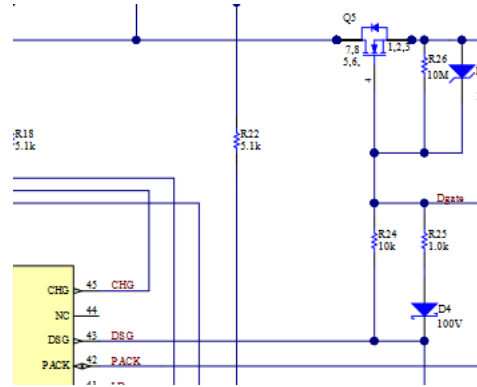


图 2-1. 采用单个二极管 (D4) 的第一种加速配置

第二种方法如图 2-2 所示。此电路可以更快地将 PMOS 驱动为低电平，从而为 FET 的电荷提供了从栅极流向 PACK+ 的替代路径。虽然这种配置更昂贵，但在多个 FET 并联的情况下，由于能够获得更低的电阻，因此它是一个很好的选择。如果用户仅使用一个或两个 FET，第一种方法更具成本效益。

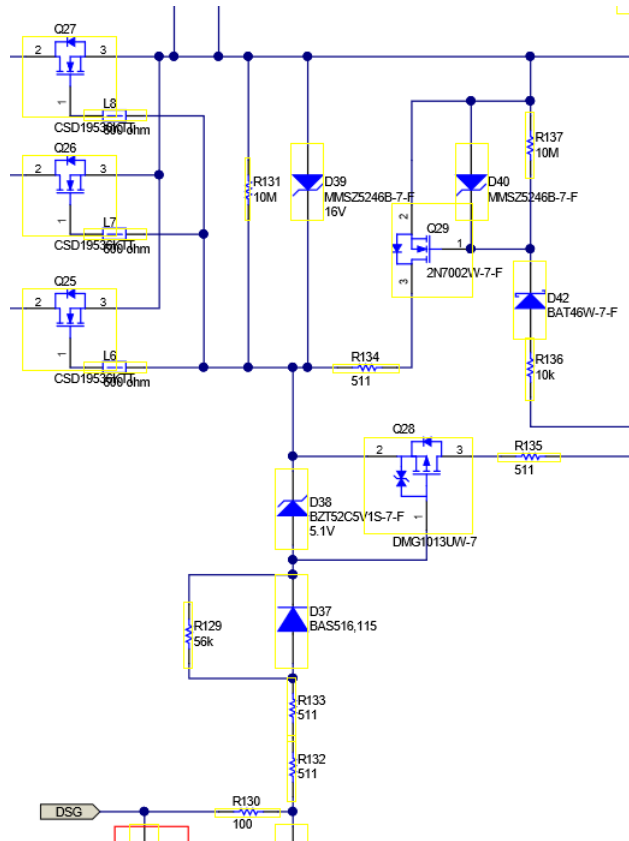


图 2-2. 采用 PMOS 和二极管 (D37 和 Q28) 的第二种多 FET 应用配置

## 2.8 为什么在 CONFIG\_UPDATE 模式下配置数据存储器寄存器时 FET 会关断？

出于安全原因，在 FET 启用时，BQ769x2 不支持修改配置寄存器。进入 CONFIG\_ACCESS 模式会关闭 FET 以保护器件。

## 2.9 是否有方法手动控制 PCHG 和 PDSG？

在启用保护的情况下运行时，无法手动控制 PCHG 和 PDSG。这由芯片自主完成。唯一可能的方法是使用 TEST\_MODE (FET\_EN = 0)，但这会禁用器件中的所有自动保护功能，因此不建议运行中的系统使用。通过写入寄存器，可以将 PCHG 和 PDSG 配置为在设定的时间段后关断，或保持导通状态，直到达到设定的电压，同时仍



启用保护。对于放电，对应的寄存器为 *Settings:FET:Predischarge Timeout* 和 *Settings:FET:Predischarge Stop Delta*。对于 PCHG，对应的寄存器为 *Settings:FET:Precharge Stop Voltage*。

## 2.10 可以将 NFET 与 PDSG 引脚配合使用吗？

不可以，PDSG 驱动器通过将引脚电压略微拉低来启用 PFET。如果使用 N 型 FET，则 PDSG FET 无法导通。

## 2.11 禁用时，PDSG 和 PCHG 处于什么状态？

预放电 (PDSG) 和预充电 (PCHG) 采用三态驱动器输出，因此当被禁用时，PDSG 和 PCHG 处于高阻抗状态，以尽可能减小漏电流。

## 2.12 如何禁用放电 FET (DFET) 和充电 FET (CFET)？

有三种方法可以关闭 DFET 和 CFET。可以使用 *0x0095 ALL\_FETS\_OFF()* 和 *0x0093 DSG\_PDSG\_OFF/0x0094 CHG\_PCHG\_OFF* 子命令来关闭它们。前者会关闭 DFET 和 CFET，而后者仅禁用相应的 DFET 和 CFET。最后一种方法是将通用引脚配置为 DFETOFF/CFETOFF 模式。当该引脚由外部电源置为有效时，相应的栅极随后被禁用。在器件设置中，可以在 *Settings:Configuration:DFETOFF Pin Config[OPT5]* 下将该引脚配置为高电平有效或低电平有效。

## 2.13 BQ769x2 可以在 SLEEP 模式下保持 PDSG 导通吗？

是的，这可以通过将器件置于 PREDISCHARGE 模式并将 DSG FET 置于源极跟随器模式来实现。启用 PREDISCHARGE 模式允许 PDSG FET 在 DSG FET 之前导通并限制浪涌电流。这通过将 *Settings:FET:FET Options[PDSG\_EN]* 设置为高电平来启用。然后，该器件会在 DSG 之前导通 PDSG FET。通过将 *Settings:FET:Predischarge Timeout* 设置为 0 并将 *Settings:FET:Predischarge Stop Delta* 设置为所需的电压差（或设置为 0），该器件会保持 PDSG FET，直到满足阈值电压差。

同样，必须确保为 DSG FET 启用源极跟随器模式。这通过设置 *Settings:FET:Chg Pump Control[SFMODE\_SLEEP]* 位来启用。源极跟随器允许 DSG FET 在 SLEEP 模式下保持关断状态，直到检测到放电电流。与 PDSG 模式结合使用时，这允许 PDSG FET 在 DSG FET 之前导通，并限制首次连接负载时的浪涌电流。

## 3 库仑计数器 (CC) 和 ADC 常见问题解答

### 3.1 ADC 为电压测量提供的分辨率是多少？

所有电芯电压的 ADC 测量都会多路复用至单个 ADC 中。然后，使用配置的修整和校准来计算出单位为 1mV 和 16 位分辨率的电压。如果需要，也可以使用 32 位子命令来读取原始 24 位输出，其中高 8 位是从 24 位数据进行符号扩展而来。

### 3.2 BQ769x2 的 ADC 采样速度有多快？

通过转到 *Settings:Configuration:Power Config:FASTADC*，可以将 ADC 配置为在 **NORMAL** 或 **FASTADC** 模式下运行。在正常循环中，每次测量需要 3ms，因此具有 21 个时隙的典型测量循环需要 63ms 才能完成。如果设置了 FASTADC，每次测量的采样时间会减少一半到 1.5ms，因此总循环时间减少到 31.5ms。

### 3.3 ADC 在 SLEEP 模式下如何工作？

在 SLEEP 模式下运行时，该器件会以周期性突发形式对电压测量值进行采样。没有发生突发时，LFO 振荡器会设置为 32kHz 以实现节能。但是，当发生测量突发时，该器件会将该 LFO 切换回 262kHz，以保证完成每次测量所需的时间仍为 3ms。

### 3.4 库仑计数器是否提供 SoC 和 SoH 测量？

虽然 BQ769x2 并未内置用于计算 SoC 和 SoH 的工具，但库仑计数器提供了与电压测量同步的高分辨率电芯电流测量。这为用户提供了计算电池包 SoC 和 SoH 所需的所有数据。

### 3.5 库仑计数器是否可用于测量瞬时电流？

由于 CC 是一个积分转换器，因此 CC 无法测量瞬时电流。在 NORMAL 模式下，CC 每隔 3ms 轮询一次，提供 250ms 周期内的平均电流。通过使用 FASTADC，可以加快到 1.5ms，但会牺牲分辨率。

### 3.6 库仑计数器的分辨率是多少？

该器件包含三个用于库仑计数器的滤波器：CC1、CC2 和 CC3。前两个滤波器可以使用 `0x0075 DAStatus5()` 子命令来查看，而 CC3 可以使用 `0x0076 DAStatus6()` 子命令来查看。

1. **CC1** 用于进行电荷积分并每 250ms 产生一个 16 位输出。
2. **CC2** 用于电流测量，并生成 24 位结果，加上最后 8 位符号后扩展为 32 位。在 NORMAL 模式下，该结果每 3ms 输出一次，在 *Settings:Configuration:Power Config[FASTADC]* 位置位后每 1.5ms 输出一次。
3. **CC3** 是对可编程数量（多达 255 个）的 CC2 电流样本求平均值，这会生成 64 位定点输出，其中低 32 位是小数部分，而高 32 位是整数部分。

### 3.7 库仑计数器是否用于进行过流检测？

由于 CC 通过 ADC 对电压进行积分来确定电流，速度较慢，因此 CC 仅用于触发 OCD3 保护。这是最慢的过流检测器，延迟范围为 1 至 255 秒，单位为 1 秒。延时时间可在 *Protections:OCD3:Delay* 寄存器中配置。

其余过流保护则依靠比较器来在过流或短路情况下生成快速响应。要使用 OCD3，请设置 *Settings:Protection:Enabled Protections C:[OCD3]* 位。

### 3.8 OCD1、OCD2、OCD3 与 SCD 之间的区别是什么？

虽然这四个均用于检测过电流，但 OCD1（放电过流 1）、OCD2（放电过流 2）和 SCD（放电短路）使用比较器来测量库仑计数器（SRN 和 SRP 引脚）上的差分电压。然后，每当比较器检测到一个值时，就会生成一个故障。与此同时，OCD3（放电过流 3）使用库仑计数器 ADC 的数字值来确定是否发生了故障，而不是使用比较器，这是检测过流的最慢方法。每种方法禁用 FET 的延迟时间各不相同，如下所示：

1. SCD：可编程延迟时间范围为 15us 至 465us。
2. OCD1 和 OCD2：可编程延迟时间范围为 3.3ms 至 419.1ms。OCD1 最初编程的延迟时间比 OCD2 短
3. OCD3：可编程延迟时间范围为 1 秒至 255 秒。

下图显示了截止频率随时间的变化情况。

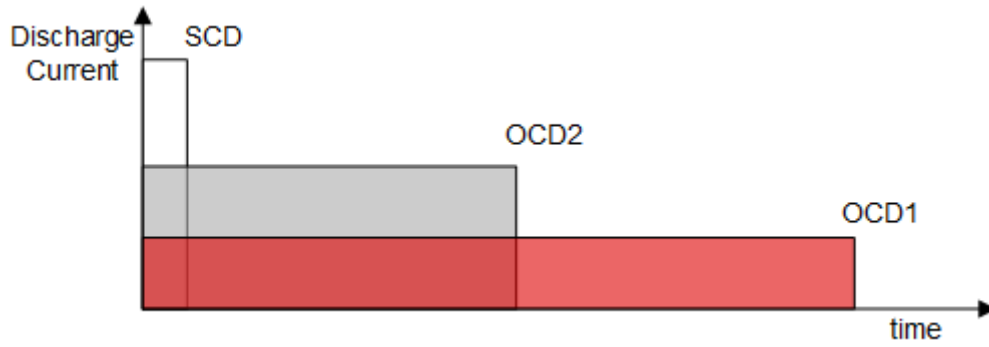


图 3-1. 过流保护放电电流随时间的变化情况 (未按比例调整)

### 3.9 为什么累积电荷测量似乎产生了错误的数值？

使用 RST\_SHUT 引脚复位器件后，必须使用 `RESET_PASSQ()` 命令重新初始化库仑计数器。这会在运行时保持正确的值。

### 3.10 为什么 CELL1 的电压测量似乎不正确？

CELL1 的电压测量出现误差的最常见原因是 VCO 和 VSS 之间存在电压差。根据数据表，VCO 的建议电压必须介于 VSS 的 -0.2V 和 0.5V 之间。否则，可能会导致每个电芯的测量值偏离 1V 至 3V。为了解决该问题，最好在与 BQ769x2 同一电路板上且靠近 VCO 引脚的 VCO 和 VSS 之间连接一个网带或 0Ω 电阻器。

在 SLEEP 模式下，偶尔会观察到无效的 `Cell 1 Voltage()` 读数。这是通过与之前的测量进行比较来验证测量是否合法的方式来处理的。有关这方面的更多信息，请参阅数据表的第 10.1.3 节。

## 4 通信协议和编程常见问题解答

### 4.1 BQ769x2 支持哪些通信协议？

BQ769x2 支持高达 2MHz 的 SPI、标准模式 (100kHz) 和快速模式 (400kHz) 的 I<sup>2</sup>C 以及单线 HDQ 协议。

### 4.2 BQ769x2 是否支持循环冗余校验 (CRC)？

该器件支持使用 SPI 和 I<sup>2</sup>C 通信协议进行 CRC 校验。这些功能在 *Settings:Configuration:Comm Type* 中启用。CRC 校验会在传输每个数据字节后发送，以验证数据是否正确到达。BQ769x2 系列使用多项式  $x^8 + x^2 + x + 1$  来计算校验。

使用单字节写入事务时，会根据响应器地址、寄存器地址和数据来计算 CRC 值。使用块写入事务时，会根据响应器地址、寄存器地址和数据来计算第一个字节的 CRC。任何后续字节仅在数据字节上进行计算。

### 4.3 I<sup>2</sup>C 线路是否需要上拉电阻器才能工作？

是的，如果要使用 I<sup>2</sup>C，则需要为 SDA 和 SCL 配备两个上拉电阻器，因为该器件没有内部上拉电阻器。建议阻值介于 4.7k $\Omega$  和 10k $\Omega$  之间。

### 4.4 BQ769x2 支持时钟延展吗？

对于 I<sup>2</sup>C 协议，时钟延展可用于直接命令和子命令。但是，使用 SPI 协议时，时钟延展不可用。

### 4.5 BQ769x2 是否允许块写入和读取？

BQ76952 允许在 I<sup>2</sup>C 通信中进行块读取和写入，但不允许在 SPI 通信中进行。SPI 的通信频率可以达到 2MHz，而 I<sup>2</sup>C 针对 400kHz 的最大频率进行了优化。

### 4.6 BQ769x2 是否需要隔离才能进行通信？

由于该器件采用内部高侧开关，因此无论 FET 是否关闭，电池包的 GND 始终与保护器相连。这意味着不需要隔离通信线路。如果用户决定改用低侧开关，则器件需要隔离才能进行通信。

### 4.7 什么时候应该使用 OTP 编程？

在大多数情况下，微控制器可以在上电后设置所需参数以进行典型操作，而无需 OTP 编程。但是，如果上电时需要不同的默认值，该器件内置的 OTP 存储器允许客户的生产线更改这些默认值。常见的用例有以下三种：

1. 在启动期间配置 REG1/2 LDO：这种情况最常用于 REG1 需要为系统的微控制器供电时。BQ7695202 的 REG1 默认为 3.3V，用户无需修改 OTP 存储器。
2. 更改通信模式：如果用户决定更改通信模式，则可以在 OTP 存储器中对其进行调整。第 1 节中的表格重点介绍了 BQ769x2 系列提供的不同预配置。
3. 在独立模式下使用 BQ769x2：如果该器件未与微控制器结合使用，所有更改都必须在 OTP 存储器进行，以确保在器件进入 SHUTDOWN 模式时不会被清除。因此，通过 OTP 编程可以进行永久修改，从而让器件可以独立运行。

### 4.8 BQ769x2 OTP 存储器是如何工作的？

BQ769x2 包含一次性可编程 (OTP) 存储器，供客户在生产线上设置器件操作。该 OTP 存储器包含两个数据存储配置设置映像以及初始预配置的设置。这两个帧最初是全零。上电时，该器件会对这两个帧进行异或运算，然后与每个设置的默认值进行异或运算。此异或运算的结果就是上电后初始化为器件设置的内容。在对相应帧进行编程之前，这两个帧的异或运算将生成 0，使得初始设置不受影响。这两个映像允许通过第一个映像更改某个值，然后通过第二个映像改回默认值。有关 OTP 编程和限制的更多信息，请参阅技术参考手册。

### 4.9 BQ769x2 OTP 存储器可以修改多少次？

OTP 存储器具有数据存储配置设置的两个完整映像，这两个映像都初始化为 0。每个帧上的每个位只能修改一次。由于该器件会对这两个帧进行异或运算，因此写入一个帧会将修改后的位变为高电平。通过将第二个帧中的相应位置为高电平，这两个高电平会在异或运算中抵消，从而将更改还原到默认值。

但是，对 OTP 的更改次数受到限制。共有 8 个签名值，每次对 OTP 进行更改时都会使用一个签名值。因此，可以对 OTP 进行的部分写入总数为 8 的倍数。每次写入都允许用户根据需要更改寄存器，但其限制是用户写入的位没有被修改两次。有关 OTP 编程和限制的更多信息，请参阅技术参考手册。

#### 4.10 对 OTP 存储器进行编程需要什么硬件？

要对 OTP 存储器进行编程，必须在 BAT 和 VC16 引脚上施加 10V 至 12V 的电压。在对 OTP 存储器进行编程时，电芯不得连接到器件。

#### 4.11 主机如何复位 ALERT 引脚中断？

ALERT 引脚可配置为在发生故障时向主机微控制器发送中断。当 ALERT 引脚用作警报信号时 (*Settings:Configuration:ALERT Pin Config[PIN\_FXN1:0] = 0b10*)，在触发警报时会设置标志。此时，只能通过 MCU 或外部器件发送的命令降低 ALERT。清除所需的命令是 *0x62 Alarm Status()*，其中位设置为“1”意味着清除相应的标志，而位设置为“0”则意味着保持标志不变。

#### 4.12 为什么我的子命令返回了不正确的数据？

在执行子命令后读数错误的一个常见根本原因是没有等待足够的时间来让器件完成操作。大多数子命令的执行时间通常为 500us。以下是确保器件已完成操作且数据可用的一些替代方案：

- **轮询**：主机控制器可以轮询子命令地址 ( *0x3E* 和 *0x3F* )，以确保先前写入的子命令值被读回。这样可以保证操作已被正确执行，并且数据现在位于读取传输缓冲区 (*0x40*) 中。TRM 的 [第 3.1 节“直接命令和子命令”](#) 提供了轮询子命令的详细伪代码。
- **等待**：最佳建议是为执行命令或仅包含命令的子命令留出足够的时间，这样可以确保执行已完成，并通过将主机置于空闲状态而不是轮询寄存器来节省处理器功耗。建议使用 2ms 的建议值，以确保为所有命令操作提供足够的裕度。

作为参考，[技术参考手册](#)中的表 9-2 “命令/子命令运行时间”介绍了完成命令和子命令操作所需的典型执行时间。

## 5 校准和温度检测常见问题解答

### 5.1 BQ769x2 是已经过校准，还是需要从外部进行校准？

BQ769x2 器件在出厂时经过初始校准，以确保其在数据表规定的限制范围内运行。此外，用户还可以执行校准以补偿电路板特定条件（例如寄生效应），并进一步优化器件的精度。要在客户端校准和配置的典型参数是热敏电阻模型系数以及 ADC 测量增益和偏移系数。

### 5.2 可以将自定义校准存储到 BQ769x2 上吗？

是的，该器件允许对各种测量进行自定义校准，这些校准包括电芯电压的增益和失调电压、电池包电压、电流增益和温度偏移。它们可以在器件上电后由微控制器进行编程，也可以使用 OTP 编程烧写到器件中，以便在上电期间进行配置。

### 5.3 如何修改 RAM 寄存器来更新校准？

RAM 的修改步骤如下：

1. 进入 FULL ACCESS 模式
2. 通过读取 `0x12 Battery Status[SEC1, SEC0]` 并观察是否为 `0x01`，验证 FULL ACCESS 模式
3. 通过发送 `0x0090 ENTER_CFG_UPDATE()` 子命令，进入配置更新模式
4. 根据需要修改 RAM 寄存器
5. 通过发送子命令 `0x0092`，退出配置更新模式
6. 读取修改后的寄存器以确认更改

### 5.4 每个电芯测量可以有自定义（偏移/增益）校准系数吗？

该器件支持针对所有 16 节电芯设置单独的自定义增益以及设置整体 PACK 增益。这些可以在 `Calibration:Voltage:Cell x Gain` 中配置。此外，电芯还具有一个可在 `Settings:Calibration:Vcell Offset` 中修改的电芯偏移值。

### 5.5 如何配置通用引脚用作热敏电阻？

BQ769x2 器件使用通用引脚支持多达 9 个外部热敏电阻。可用的引脚为 TS1、TS2、TS3、CFETOFF、DFETOFF、ALERT、HDQ、DCHG 和 DDSG。在实现外部热敏电阻时，通常建议与热敏电阻并联一个电容器。可以使用的上拉电阻器配置有两种，分别是  $18k\ \Omega$  和  $180k\ \Omega$ 。这些可以通过转到 `Setting:Configuration:[available pin]` 来设置。

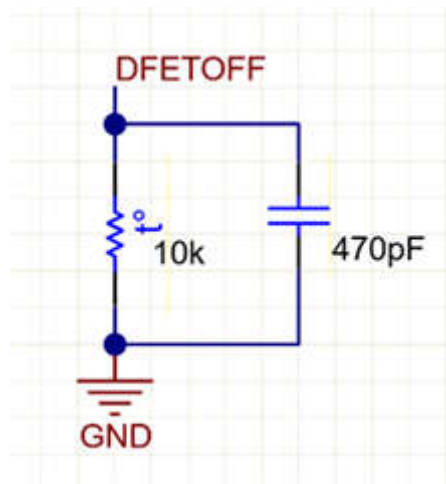


图 5-1. 采用 DFETOFF 的典型热敏电阻设置

图 5-2 突出显示了将该引脚正确配置为带有  $18k\ \Omega$  上拉电阻器的温度传感器所需的参数。在设置该器件时，需要配置这四个关键值，才能使该引脚用作温度检测引脚。圈出的值将该引脚配置为温度检测引脚，但在带有  $18k\ \Omega$  上拉电阻器时不会触发保护功能。

Bit	Function
OPT[5:4]	Pull-up control 00: selects 18 kΩ pull-up for thermistor measurement 01: selects 180 kΩ pull-up for thermistor measurement 10: selects no pull-up (used for ADCIN)
OPT[3:2]	Polynomial selection for thermistor temperature measurement 00: selects Calibration:18K Temperature Model 01: selects Calibration:180K Temperature Model 10: selects Calibration: Custom Temperature Model 11: no polynomial is used, raw ADC counts are reported.
OPT[1:0]	Measurement type 00: general purpose ADC input 01: thermistor temperature measurement, used for cell temperature protections 10: thermistor temperature measurement, reported but not used for protections 11: thermistor temperature measurement, used for FET temperature protection
PIN_FXN[1:0]	Selects Pin Function 00: Pin is used for communications, or not used at all. 01: General purpose digital output (GPO) 10: Alternate function (ALT) 11: Thermistor measurement or general purpose ADC input (AD)

图 5-2. 温度检测引脚的寄存器配置

### 5.6 该器件支持多少个热敏电阻？

该器件包含 3 个专用热敏电阻引脚：TS1、TS2 和 TS3。不过，该器件还具有 6 个多功能数字引脚，这些引脚可配置为温度检测引脚，从而提供总数达到 9 个的独立温度测量值。

### 5.7 是否可以禁用热保护，以及热敏电阻对于运行是否是必要的？

是的，热保护可通过修改存储器中的寄存器来禁用。该器件支持在 *Settings:Protection* 中禁用过热和低温情况下的保护功能。同样，该器件还支持在 *Settings:Protection* 中更改这些情况下的触发温度，可供设置的温度范围为 -40°C 至 120°C。

*Settings:Configuration:TSx Pin Config* 寄存器中的 [1:0] 位控制该器件是否使用热敏电阻。当配置为 0x0 时，该引脚不用于温度测量。当这些位设为 0x3 时，该引脚只用作温度检测输入。

### 5.8 为什么每个热敏电阻上都需要一个电容器？

不需要电容器，没有电容器时器件仍然可以正常工作。虽然不是必需的，但通常建议在热敏电阻上放置电容器，这样可以提供更一致的读数。重要的是，不要放置过大的电容器，因为这样会导致响应时间过长，而无法获得准确的测量结果。

### 5.9 如何计算用于温度校准的热敏电阻系数？

温度传感器的默认参数基于 Semitec 103-AT (18k 型号) 和 204AP-2 (180k 型号) 热敏电阻。如果未使用这些热敏电阻，TI 提供了 BQ769x2 热敏电阻系数计算器。通过下载该 [工具](#) 并遵循 [热敏电阻系数计算器工具指南 - BQ769x2](#)，会生成一个 zip 文件，其中包含保存必要系数的文件。然后将这些系数添加到 *Calibration:Custom Temperature Model* 寄存器。

## 5.10 为什么热敏电阻系数计算器工具会出现错误？

热敏电阻系数计算器工具最常见的错误是“thermistor.txt”文件中的两个表格之间需要一定间距，如下所示。此外，请确保.txt文件的编码格式为UTF-8，而不是UTF-16。

```
855  
833  
814  
795  
776  
  
# Temperatures (degreesC)|  
-25  
-24  
-23  
-22  
-21  
-20
```

图 5-3. thermistor.txt 文件中的适当间距



## 6 电芯均衡常见问题解答

### 6.1 电芯均衡的工作原理

BQ769x2 采用被动电芯均衡。基本电路依赖于可由器件启用的内部 FET。启用后，电流可以流过现在连接的 VCx 电阻器。充电时，部分充电电流会重定向到此路径，而在放电期间，电流则来自电芯。多余的能量会通过电阻器和 FET 以热量形式耗散。均衡控制可由外部 MCU 处理，也可由 BQ769x2 的电芯均衡算法自主运行。有关更多信息，请参阅使用 BQ769x2 电池监测器实现电芯均衡应用手册。

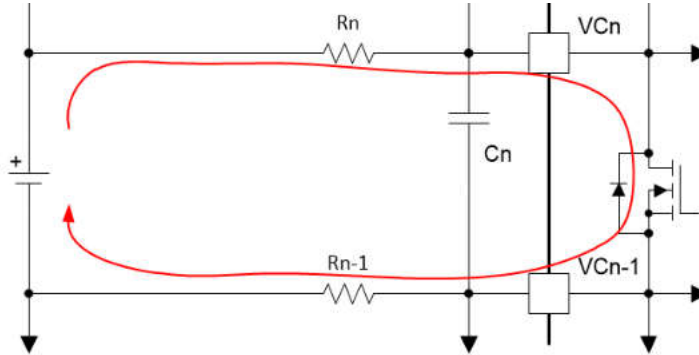


图 6-1. 电芯均衡的典型应用电路

### 6.2 所有电池电芯可以同时均衡吗？

虽然 BQ769x2 器件系列允许用户一次对所有（最多 16 节）电芯进行均衡，但不建议这样做。根据均衡电流的不同，这可能会导致芯片内部的温度大幅升高。在定义均衡算法时考虑热预算很重要。建议一次均衡所有其他电芯，以限制功率耗散。

### 6.3 BQ769x2 是否支持相邻电芯均衡？

是，如果使用手动电芯均衡，则可以对相邻电芯进行均衡。但是，在自主均衡下，电芯以奇偶模式进行均衡。如果在手动模式下使用相邻电芯均衡，则必须考虑避免超过 100mA 最大电芯均衡电流或 VC0 上的最大电压。在对相邻电芯进行均衡时，还会产生更多热量，因此必须考虑散热因素。通常建议将奇数电芯和偶数电芯一起进行均衡。

### 6.4 在 RELAX 模式下，电芯均衡是如何实现的？

当 CC1 电流测量值低于 `Settings:Configurations:Power Config[SLEEP]` 寄存器中设置的 SLEEP 阈值时，便会进入 RELAX 模式。在 RELAX 模式下，用户需要配置三个用于控制均衡的重要寄存器。

1. **Cell Balance Min Cell V**：该寄存器设置电压值，如果电池未在充电或放电，则禁用电芯均衡。
2. **Cell Balance Min Delta**：当不在充电或放电时，该寄存器保存在自动电芯均衡开始之前最高和最低电芯电压之间的最大允许差值。
3. **Cell Balance Stop Delta**：在 RELAX 模式下进行均衡时，该寄存器保存最高和最低电芯电压之间的最小可能差值。一旦测得的差值小于寄存器值，均衡就会停止。

### 6.5 BQ769x2 支持外部均衡吗？

是的，该器件支持在均衡电路中使用外部 N 沟道或 P 沟道 FET，以支持使用更高的电流进行电芯均衡，同时允许更大的输入电阻器。此外，与内部均衡相比，外部 FET 有助于散发产生的热量，并使器件保持更低的温度。由于可用于外部电芯均衡的电流更大，该器件可以更快地进行电芯均衡以产生更好的结果，同时避免芯片上的热应力。

## 6.6 VCx 输入引脚上的电流检测电阻器可以有多大？

建议输入电阻器介于  $20\ \Omega$  和  $100\ \Omega$  之间。这是为了限制均衡期间的总电流，以防止器件过热，同时仍以合理的速度进行均衡。由于流经 VC16 的电流较高，因此建议将该值保持在  $20\ \Omega$ ，而不管其他引脚电阻如何。此外，还建议在每个电芯输入端添加一个  $0.22\ \mu\text{F}$  电容器。

## 6.7 电芯均衡是否影响电压测量？

当电芯均衡处于启用状态时，对于正在均衡的每节电芯，会有额外的电流流入顶部电芯输入端。产生的电流会导致顶部输入电阻器上出现小幅的  $IR$  压降，从而导致电压测量值稍低。考虑到该压降，通常最好在 VC16 上使用较低的输入电阻（通常为  $20\ \Omega$ ）。虽然所有电芯都存在压降，但顶部的压降更大，因为 VC16 为内部电芯均衡 FET 提供电流。

## 6.8 为什么各个电芯均衡的时间不同？

根据系统配置，电芯均衡时间可能会略有不同，这在具有未使用输入电芯以及这些输入电芯短接方式的应用中更为明显。尽管我们倾向于将未使用的引脚连接到一个节点，但这可能导致端接在该节点处的同一电芯被多次测量。因此，最好将未使用的电芯均匀分布到所有连接中，而不仅仅是在一个中心区域，以获得最佳的均衡结果。下面显示了使用 BQ76952 在 12 节串联配置下实现良好电池均衡分布的示例。

Cell-1	1
Cell-2	1
Cell-3	0
Cell-4	1
Cell-5	1
Cell-6	0
Cell-7	1
Cell-8	1
Cell-9	1
Cell-10	0
Cell-11	1
Cell-12	1
Cell-13	1
Cell-14	0
Cell-15	1
Cell-16	1

图 6-2. 未使用电芯的分布示例（1 = 已使用，0 = 未使用）

## 7 器件电源和状态开关常见问题解答

### 7.1 该器件支持的电池包的最大电压是多少？

除了 VC0 引脚外，VCx 引脚的额定电压均为 85V。如果使用单芯片解决方案，这会将大多数设计的最大电压限制为 85V。如果需要更高的电压，可以将多个 BQ769x2 串联堆叠，以支持超过 16 节设置的更高电压电池包。如需更多信息，请查看技术文档[如何为高电芯数工业应用堆叠电池监测器](#)。

### 7.2 使用电荷泵时允许的最大电池包电压是多少？

使用电荷泵时，电池包电压不能超过 80V。由于 BQ769x2 的引脚额定电压为 85V，因此在接近 85V 时，用户在使用高侧驱动时需要小心。当电荷泵处于运行状态时，使用 5.5V 电荷泵支持高达 80V 的 V<sub>BAT</sub>。如果使用 11V 电荷泵，则峰值电压必须降低到 74V。

### 7.3 是否有必要将 BAT- 连接到 VSS？

是的，在使用器件时，BAT- 必须连接到 VSS。否则会导致电压测量不正确，因为 VC0（电池的接地端）和 VSS（芯片的接地端）是不同的。大多数应用使用网带或 0 Ω 电阻器来连接系统中的两个节点，以便区分 BQ IC 接地布线 and 用于电池包的大功率接地布线。

### 7.4 其他信号 GND 需要如何连接到 PACK- 吗？

要将 MCU 等敏感电子器件连接到与电池包相同的 GND，建议在信号 GND 和 PACK- 之间使用网带或 0 Ω 电阻器来提供连接，同时仍将大多数高电流路径与低电流路径隔离开来。必须将此起始接地连接放置在 BQ769x2 器件附近。

### 7.5 是否需要在 VC0 和 VC1 之间放置一个电容器？

否，VC0 和 VC1 之间不得放置电容器。对于 VC1，电容器必须连接到 GND，而不是 VC0，如图 7-1 所示的 C9。通过直接连接到 GND，当发生短路瞬态时，VC1 不太可能出现低于 VSS 的尖峰。

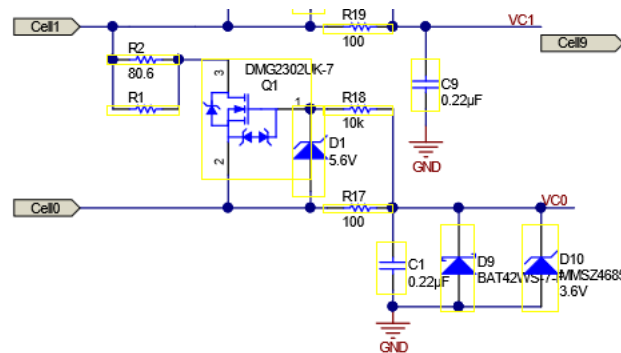


图 7-1. CELL1 输入端电容器 (C9) 的正确连接

### 7.6 对于我的原理图设计，推荐的典型无源器件值是多少？

1. 虽然 REG1 和 REG2 都使用 1μF 电容器，但 REGIN 在使用时需要使用一个 22nF 电容器连接到 VSS。
2. 为 BREG BJT 添加串联电阻器有助于将功率耗散分散到多个器件上，并降低单个器件上的热应力。
3. VC0 与 VC1、VC1 与 VC2 以及 VC15 与 VC16 不能短接。
4. 配置 BAT 引脚时，建议在 BAT+ 和 BAT 引脚之间放置一个二极管，然后通过一个电容器连接到 GND。这样，当发生短路而导致电池组电压降至零时，该器件仍能保持上电状态。典型电容值为 1μF。
5. SRP 和 SRN 之间必须有一个 0.1μF 电容器。如需额外滤波，可以在 SRP 和 SRN 与 VSS 之间添加 0.1μF 电容器。
6. 在使用时，每个 SRP 和 SRN 引脚都必须通过一个 100 Ω 电阻器连接到检测电阻器的相应端，如下所示。

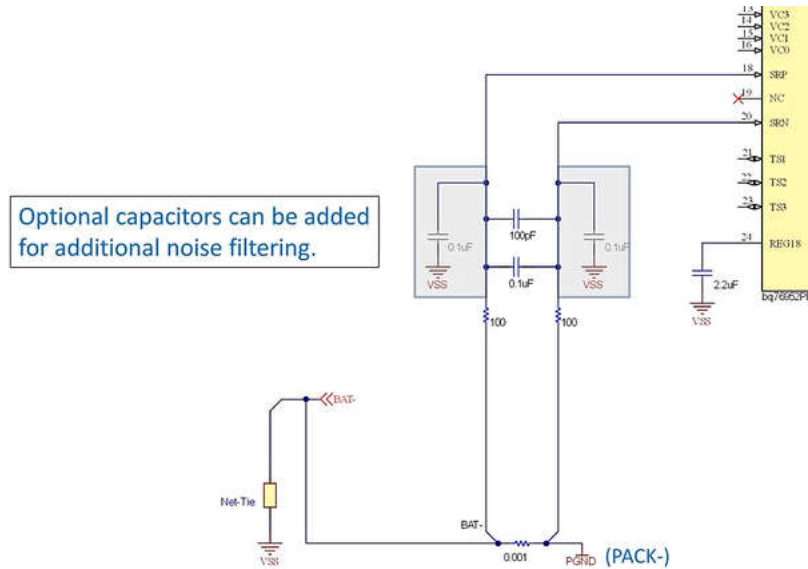


图 7-2. SRP 和 SRN 引脚的正确配置

- 使用  $18\text{k}\Omega$  热敏电阻时，建议使用  $470\text{nF}$  电容器，但使用  $180\text{k}\Omega$  热敏电阻时，两端的电容不得超过  $400\text{pF}$ 。
- FET 栅极使用的电阻越小，器件的导通和关断速度就越快。但是，导通速度过快可能会导致 FET 损坏，因此大多数单 FET 应用会使用超过  $10\text{k}\Omega$  的电阻。
- 对于 SRP/SRN 检测电阻，建议电阻为  $1\text{m}\Omega$ ，但可根据应用灵活调整。但是，重要的是电阻器需要具有  $50\text{ppm}$  的热系数。

### 7.7 两个可编程 LDO 能够提供多大的电流？

每个 LDO 能够在  $1.8\text{V}$ 、 $2.5\text{V}$ 、 $3\text{V}$ 、 $3.3\text{V}$  或  $5\text{V}$  条件下提供  $45\text{mA}$ 。LDO 由 REGIN 引脚供电，该引脚可通过 BJT 连接到 BAT+。

### 7.8 可以将 LDO 输入晶体管连接到电池包中比 BAT+ 电压低的电芯来提高效率吗？

不可以，不建议采用此配置，因为会影响电池包的效率。因为 LDO 在运行时可汲取最高约  $90\text{mA}$  的电流。假设晶体管连接到第 2 个电芯，这样底部的两个电芯会额外汲取  $90\text{mA}$  的电流。由于其他电芯没有接收到这个额外的电流，这会导致电芯之间的不平衡，需要对顶部 10 个左右的电芯进行均衡以匹配底部的两个电芯。这会在器件对其余电芯进行均衡时产生额外的热量。

### 7.9 在参考设计中，为什么要在 VC16 和 PACK+ 之间以及 PACK+ 和 PACK- 之间放置两个电容器？

这些电容器（下方图 10-1 中的 C28、C29、C30 和 C31）称为 ESD 电容器。这些电容器在发生 ESD 事件时提供了一条电流路径来绕过 FET 和电池。作为额外的安全措施，两个电容器串联在一起，这样当一个电容器发生故障时，两条路径之间不会出现短路路径。

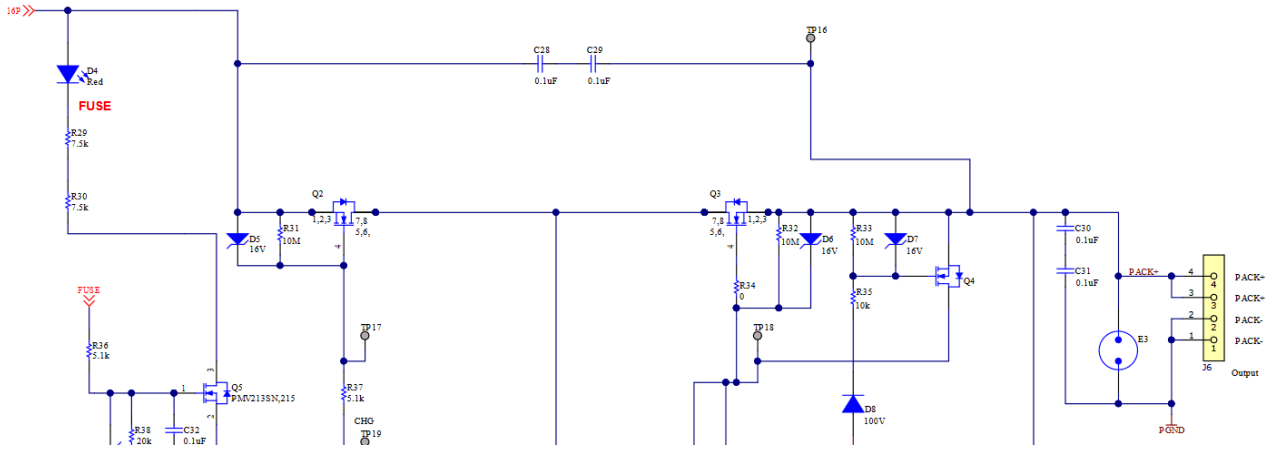


图 7-3. 数据表中具有 ESD 电容器的原理图

### 7.10 BQ769x2 器件系列有哪些不同的低功耗模式？

该器件具有以下四种模式：NORMAL、SLEEP、DEEPSLEEP 和 SHUTDOWN。NORMAL 模式用于在施加最大负载时以最高性能和最高功耗运行。SLEEP 模式最适合用于故障风险较低的轻负载情况。DEEPSLEEP 模式专为保持 MCU 上电但几乎不做其他操作而优化，功耗极低。SHUTDOWN 模式是功耗最低的模式，非常适合用于长期储存器件。

1. NORMAL 模式：所有保护功能均启用，CFET 和 DFET 都可以开启，并且提供恒定电压、电流和温度测量功能，同时 LDO 已启用并可编程。
2. SLEEP 模式：大多数保护功能均启用，DFET 开启但 CFET 关闭，ADC 进行间歇采样，LDO 仍在运行，并且器件可以通过电流上升、通信、充电器或复位信号退出 SLEEP 模式。
3. DEEPSLEEP 模式：大多数电路均关闭，FET 关断，不进行 ADC 或 CC 采样，保护功能未启用，LDO 仍在运行，并且可以通过通信、充电器或复位信号退出该模式。
4. SHUTDOWN 模式：除了唤醒检测器外，所有电路均关闭，不进行测量也不提供保护，LDO 禁用，并且该器件可通过将 TS2 拉至 GND 或连接充电器来退出该模式。

### 7.11 MCU 如何知道 BQ769x2 处于关断状态？

要确定 BQ76952 是否处于关断状态，最好的办法是测量 REG18 的电压。如果该引脚上的电压为零，则该器件处于关断状态。如果该引脚配置为用于 SHUTDOWN 模式，则另一种选择是使用 TS2 引脚。如果该器件处于关断状态，则 TS2 的读数必须约为 5V。

### 7.12 是否可以禁用 SHUTDOWN 模式？

可以，通过将 TS2 引脚下拉至 VSS，该器件便无法进入 SHUTDOWN 模式。务必在 *Settings: Configuration: Power Config* 寄存器中将 SHUT\_TS2 位设为高电平，从而使改器件不依赖该引脚进入 SHUTDOWN 模式。

### 7.13 BQ769x2 如何退出 SHUTDOWN 模式？

当 TS2 引脚被拉低至 VSS 时，器件退出关断状态。同样地，如果 LD 引脚的电压高于 1.45V，该器件也会退出关断模式并进入正常模式。如果在最初尝试进入 SHUTDOWN 模式时未满足所有条件，器件将进入软关断模式。这是由于启用了关断序列所致，但 TS2 或 LD 引脚电压过高，而无法安全地禁用所有保护功能。

### 7.14 什么是软关断？如何退出软关断模式？

软关断用作 SHUTDOWN 模式和 NORMAL 模式的中间状态。在此模式下，FET、保护、测量和通信功能均被禁用，但在退出软关断之前，该器件无法完全关断。

该器件可通过三种方式退出软关断模式。第一种方式是将 LD 电压降到  $V_{WAKEONLD}$  以下，然后再升高到上述电压以上，即可启动器件。第二种方式是将 RST\_SHUT 引脚保持高电平不到 1 秒，然后再降低。然后这会执行部分

复位，以清除关断标志。最后一种方式是清除触发软关断的条件并让器件进入 SHUTDOWN 模式。这可以通过将 LD 引脚降低到低于  $V_{WAKEONLD}$  或将 TS2 引脚升高到高于  $V_{WAKEONTS2}$  来实现。

## 8 评估模块和 BQStudio 常见问题解答

### 8.1 BQ769x2 系列是否有任何 EVM ？

是，BQ76942 和 BQ76952 都有 EVM 模块。此类模块可在 TI 网站上每个器件产品页面的“硬件开发”下找到。

### 8.2 EVM 在运行时消耗多大的电流？

当使用单电源和电池仿真器为 EVM 上电时，建议使用至少能够提供 250mA 电流的电源。这个电源必须置于 BAT- 和 CELL16 之间。确保使用电阻器填充电芯 1、2 和 16，以模拟引脚上的电芯。

### 8.3 可以减少 EVM 上启用的电芯数量吗？

可以，要减少所测试的电芯数量，只需将未使用的电芯短接到输入端子块上。确保在 VC0 与 VC1 之间、VC1 与 VC2 之间以及 VC15 与 VC16 之间始终有一个电芯或电阻器。

### 8.4 当堆叠多个 EVM 时，可将多个 EVM 连接到一台计算机吗？

虽然在非堆叠应用中可以将多个 EVM 连接到一台计算机，但前提是为要使用的每个 EVM 打开了一个唯一的 BQStudio 窗口。

对于堆叠应用，需要注意的是，当堆叠多个 EVM 时，如果所有 EVM 连接到同一台计算机，则每个板的 GND 在计算机内部短接在一起。在堆叠应用中，每个电路板都有不同的 GND，因此这种短路可能会损坏计算机。因此，建议在堆叠时使用不同的计算机连接到 EVM。

### 8.5 该器件能否与 SMBus 和 SPI 同时连接？

SMBus 在运行时利用 I<sup>2</sup>C 与 BQ769x2 器件进行通信。当 SMBus 通过 I<sup>2</sup>C 进行通信时，用户不得尝试从另一个微控制器写入 SPI 消息。SMBus 处于运行状态时，绝不能使用 SPI。

### 8.6 为什么 BQStudio 无法检测到 BQ769x2EVM ？

要调试与 BQStudio 的连接问题，请先确认您运行的是 [BQStudio](#) 的最新版本，它是 BQSTUDIO-TEST 文件。

然后，继续按照 EVM “快速入门”部分中的步骤进行操作

1. 在 BAT+ 和 BAT- 之间连接电源。
2. 通过 USB 电缆将计算机连接到 EVM。连接计算机时，三个绿色 LED 指示灯会亮起。
3. 检查 BQStudio 的仪表板，确认板载微控制器已连接，并查看正在使用的固件。
4. 每个独立的 BQStudio 窗口只能将一个 EVM 连接到笔记本电脑。

## 9 其他指导材料

### 9.1 如何访问 FMEDA 和引脚 FMEA 等功能安全文档？

要查看这些文档，需要签订 NDA 协议。您所在地区的当地 TI 销售代表可以帮助您进行设置。

### 9.2 是否有任何适用于 BQ769x2 的微控制器代码示例？

代码示例可在产品文件夹中找到，并可在[此处](#)下载。

[此处](#)提供了一个视频，其中介绍了如何使用 BQStudio 配置来启动您的代码。

### 9.3 BQ769x2 有没有任何参考设计？

产品页面上提供了参考设计，可以在[此处](#)找到。

目前，BQ769x2 系列有三种参考设计：

1. 具有低侧 MOSFET 控制功能的 16 节串联电池包：<https://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-010216>
2. 具有高侧 MOSFET 控制功能的 10 节至 16 节串联电池包：<https://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-010208>
3. 采用堆叠式监测器且具有高侧 MOSFET 控制功能的 32 节串联电池包：<https://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-010247>

### 9.4 是否有任何关于堆叠多个 BQ769x2 器件的文档？

TI 目前提供了多种资源，帮助用户使用多个 BQ769x2 器件来支持更高的电芯节数。以下是一些重要示例：

- 低侧 FET 堆叠：[https://e2e.ti.com/blogs\\_/b/powerhouse/posts/how-to-stack-battery-monitors-for-high-cell-count-industrial-applications](https://e2e.ti.com/blogs_/b/powerhouse/posts/how-to-stack-battery-monitors-for-high-cell-count-industrial-applications)
- 高侧 FET 堆叠：<https://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDA-010247>

### 9.5 在哪里可以找到培训视频来详细了解电池监测器和保护器？

TI 在[此处](#)提供了关于 BQ769x2 系列器件的多个培训视频。

此链接不仅提供了电池管理系统的总体概述，还可以通过导航到右侧标记为“*Battery Monitors*”（电池监测器）的主题类别，深入了解 BQ769x2 系列的相关材料。

## 10 参考资料

1. BQ76972 3 节至 16 节高精度锂电池监测器和保护器 数据表 ([SLUSFC9](#))
2. BQ76952 3 节至 16 节高精度锂电池监测器和保护器 数据表 ([SLUSE13B](#))
3. BQ76942 3 节至 10 节高精度锂电池监测器和保护器 数据表 ([SLUSE14B](#))
4. BQ769142 3 节至 14 节高精度锂电池监测器和保护器 数据表 ([SLUSE91B](#))
5. BQ76972 技术参考手册 ([SLUUCW9](#))
6. BQ76952 技术参考手册 ([SLUUBY2B](#))
7. BQ76942 技术参考手册 ([SLUUBY1B](#))
8. BQ769142 技术参考手册 ([SLUUCF2C](#))
9. BQ769x2 校准和 OTP 编程指南 ([SLUAA32A](#))
10. BQ769x2 软件开发指南 ([SLUAA11B](#))
11. 使用 BQ769x2 电池监测器实现电芯均衡 ([SLUAA81A](#))
12. BQ76952EVM 用户指南 ([SLUUC33A](#))
13. BQ76942EVM 用户指南 ([SLUUC32A](#))



## 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