

BQ41Z50 采用动态 Z-Track™ 技术的 2 节、3 节和 4 节串联电池组管理器

1 特性

- 完全集成的 2 节、3 节和 4 节串联锂离子、锂聚合物或磷酸铁锂电池包管理器和保护功能
- 超低功耗 32 位 RISC 处理器
- TI Dynamic Z-Track™ 算法
- 最高可耐受 40V 电压的电源引脚
- 具有可配置驱动强度的高侧 N 沟道保护 FET 驱动器
- 具有两个独立 16 位 ADC 的精密模拟前端：
 - 支持电流和电压同步采样
 - 支持多达四次外部热敏电阻测量和一个内部温度传感器
- 初级和次级保护
 - 过压和欠压保护
 - 充电和放电过流保护
 - 放电短路保护
 - 过热
 - 充电超时保护
 - CHG 和 DSG FET 驱动器
- 精密的充电算法
 - JEITA
 - 基于周期时间、运行时间和 SOH 的自适应充电
 - 电芯均衡
- 充电或者静止状态时具有集成的电芯均衡功能
- 支持 TURBO 模式
- 诊断使用寿命数据监控器和黑盒记录器
- 最多可选配三个 LED 显示屏
- 支持椭圆曲线加密 (ECC)、SHA-2 和 SHA-1 认证
- 高达 1MHz 的 SMBus v3.2 主机通信支持
- 紧凑型封装：32 引线 WQFN (RSN)

2 应用

- 笔记本/上网本
- 平板电脑
- 无人机
- 手持式真空吸尘器和扫地机器人
- 医疗和测试设备
- 便携式电子产品

3 说明

BQ41Z50 器件采用 Dynamic Z-Track™ 技术，是一个全集成、单芯片、基于电池包的解决方案，可为 2 节、3 节和 4 节串联锂离子、锂聚合物和磷酸铁锂电池包提供电量监测、保护和身份验证等各种特性。

利用其集成的高性能模拟外设和超低功耗 32 位 RISC 处理器，BQ41Z50 器件可测量并准确记录可用电芯容量、电压、电流、温度和其他关键电池参数，并通过 SMBus v3.2 兼容接口将这些参数报告给系统主机控制器。

BQ41Z50 器件采用 Dynamic Z-Track™ 技术，即使在动态负载条件下也能报告高度准确的荷电状态。这项技术还可为主机系统提供最大的功率和电流，从而提高 TURBO 模式的精度。

BQ41Z50 器件提供了一系列电池安全功能，包括过压、过热、放电过流、充电过流和放电短路保护。系统安全功能包含用于 N 沟道 FET 的 FET 保护功能和电芯断开检测功能。该器件固件可针对过压、欠压、过流、短路电流过热情况提供基于软件的 1 级和 2 级安全保护。与电池包和电芯相关的故障也通过基于固件的保护功能进行处理。



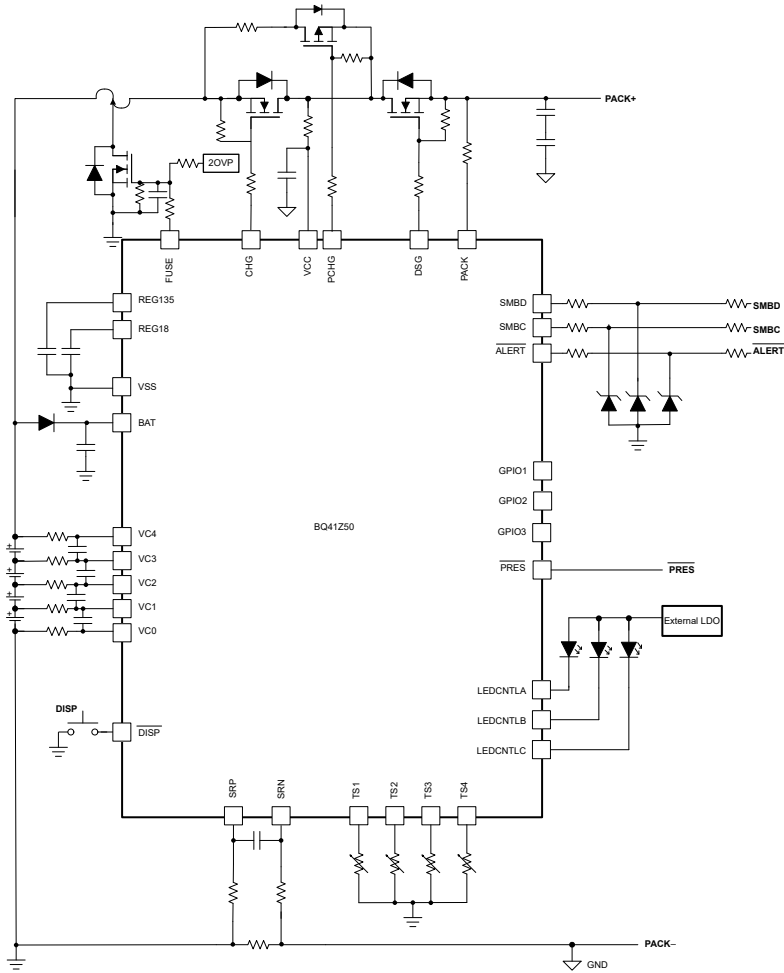
其他 BQ41Z50 特性：

- 全面的可编程保护功能
- 四个 GPIO，可配置为控制 3 段式 LED 显示屏或用作支持 5.5V 最大上拉电压的通用推挽 I/O 引脚
- 两个 GPIO，可用作通用推挽 I/O
- 一个 GPIO，可用作通用开漏 I/O
- 集成式二级化学保险丝 I/O
- 电芯均衡支持每节电芯高达 25mA 旁路电流
- 椭圆曲线加密 (ECC) 身份验证，提供稳健的电池包安全性：
 - 无需在主机端控制器上使用共享密钥
 - 233 位私钥存储在安全存储器中（无法从程序闪存访问）
 - 集成式硬件加速器可加快身份验证过程
- 支持 SHA-1 和 SHA-2 身份验证

封装信息

器件型号	封装 ⁽¹⁾	本体尺寸（标称值）
BQ41Z50RSN	RSN (32)	4.00mm × 4.00mm

(1) 如需更多信息，请参阅 节 12 部分。



BQ41Z50 简化原理图

内容

1 特性	1	5.28 OT、SCD、OCC、OCD1、OCD2 保护阈值 (SCOMP).....	24
2 应用	1	5.29 OT、SCD、OCC、OCD1、OCD2 保护时间 (SCOMP).....	25
3 说明	1	5.30 GPIO1、GPIO2、GPIO3、GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7.....	25
4 引脚配置和功能	4	5.31 椭圆曲线加密 (ECC).....	26
4.1 引脚等效图.....	6	5.32 SMBus 接口时序.....	26
5 规格	12	5.33 典型特性.....	29
5.1 绝对最大额定值.....	12	6 详细说明	32
5.2 ESD 等级.....	12	6.1 概述.....	32
5.3 建议运行条件.....	13	6.2 功能方框图.....	32
5.4 热性能信息.....	13	6.3 特性说明.....	33
5.5 电源电流.....	14	6.4 器件功能模式.....	36
5.6 电源控制.....	14	7 应用和实施	36
5.7 低压降稳压器.....	15	7.1 应用信息.....	36
5.8 内部振荡器.....	16	7.2 典型应用.....	37
5.9 电压基准.....	16	7.3 配置器件固件.....	49
5.10 电流唤醒检测器.....	16	8 电源相关建议	50
5.11 VC0、VC1、VC2、VC3、VC4 , PACK.....	17	9 布局	50
5.12 电芯均衡支持.....	17	9.1 布局指南.....	50
5.13 SMBD、SMBC.....	17	9.2 布局示例.....	53
5.14 PRES/SHUTDN , DISP.....	18	10 器件和文档支持	55
5.15 ALERT.....	18	10.1 第三方产品免责声明.....	55
5.16 LEDCNTLA、LEDCNTLB、LEDCNTLC.....	18	10.2 文档支持.....	55
5.17 库仑计.....	19	10.3 接收文档更新通知.....	55
5.18 库仑计数字滤波器 (CC1).....	19	10.4 支持资源.....	55
5.19 电流测量数字滤波器 (CC2).....	19	10.5 商标.....	55
5.20 模数转换器.....	20	10.6 静电放电警告.....	55
5.21 ADC 数字滤波器.....	21	10.7 术语表.....	55
5.22 CHG、DSG 高侧 NFET 驱动器.....	21	11 修订历史记录	55
5.23 预充电 (PCHG) FET 驱动器.....	22	12 机械、封装和可订购信息	55
5.24 FUSE 驱动器.....	22		
5.25 内部温度传感器.....	22		
5.26 TS1、TS2、TS3、TS4.....	23		
5.27 闪存存储器.....	23		

4 引脚配置和功能

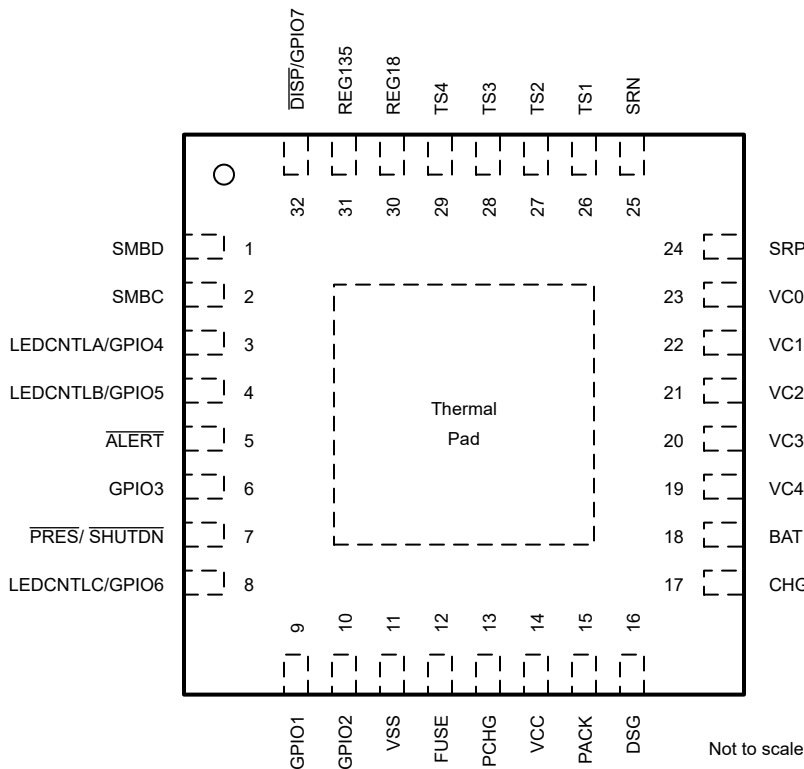


图 4-1. RSN 封装 32 引脚 VQFN (带外露散热焊盘) 顶视图

表 4-1. 引脚功能

引脚 ⁽²⁾		类型 ⁽¹⁾	说明
名称	编号		
SMBD	1	I/O	SMBus 数据引脚
SMBC	2	I/O	SMBus 时钟引脚
LEDCNTLA/GPIO4	3	I/O	LED 显示段, 可根据固件配置通过内部灌电流驱动外部 LED。或者, 此引脚为推挽引脚, 可配置为通用数字输入引脚或通用数字输出引脚。如果不使用此引脚, 可将其保持悬空或通过 20k Ω 电阻连接到 VSS。
LEDCNTLB/GPIO5	4	I/O	LED 显示段, 可根据固件配置通过内部灌电流驱动外部 LED。或者, 此引脚为推挽引脚, 可配置为通用数字输入引脚或通用数字输出引脚。如果不使用此引脚, 可将其保持悬空或通过 20k Ω 电阻连接到 VSS。
ALERT	5	O	向系统端主机输出告警数字信号。漏极开路引脚。如果不使用此引脚, 请将其保持悬空并相应地配置数据闪存。
GPIO3	6	I/O	多功能漏极开路引脚, 通用数字输入或通用数字输出。如果不使用此引脚, 请将其保持悬空并相应地配置数据闪存。
PRES/SHUTDN	7	I	可拆卸电池包的主机系统存在输入, 或嵌入式电池包的紧急系统关断输入
LEDCNTLC/GPIO6	8	I/O	LED 显示段, 可根据固件配置通过内部灌电流驱动外部 LED。或者, 此引脚为推挽引脚, 可配置为通用数字输入引脚或通用数字输出引脚。如果不使用此引脚, 可将其保持悬空或通过 20k Ω 电阻连接到 VSS。
GPIO1	9	I/O	多功能推挽引脚, 通用数字输入或通用数字输出。如果不使用此引脚, 请将其保持悬空并相应地配置数据闪存。
GPIO2	10	I/O	多功能推挽引脚, 通用数字输入或通用数字输出。如果不使用此引脚, 请将其保持悬空并相应地配置数据闪存。
VSS	11	P	器件接地

表 4-1. 引脚功能 (续)

引脚 ⁽²⁾		类型 ⁽¹⁾	说明
名称	编号		
FUSE	12	I/O	FUSE 检测输入引脚或驱动输出引脚。如果不使用,则直接连接到 VSS。
PCHG	13	O	PMOS 预充电 FET 驱动输出引脚。如果不使用此引脚,可将其保持悬空或通过 20k Ω 电阻连接到 VSS。
VCC	14	P	辅助电源输入
PACK	15	AI	电池包检测输入引脚
DSG	16	O	NMOS 放电 FET 驱动输出引脚。如果不使用此引脚,可将其保持悬空或通过 20k Ω 电阻连接到 VSS。
CHG	17	O	NMOS 充电 FET 驱动输出引脚。如果不使用此引脚,可将其保持悬空或通过 20k Ω 电阻连接到 VSS。
BAT	18	P	主电源输入引脚
VC4	19	AI	电池组底部第四个电芯的检测电压输入引脚,为电池组底部第四个电芯提供均衡电流输入
VC3	20	AI	电池组底部第三个电芯的检测电压输入引脚,为电池组底部第三个电芯提供均衡电流输入,并为电池组底部第四个电芯返回均衡电流
VC2	21	AI	电池组底部第二个电芯的检测电压输入引脚,为电池组底部第二个电芯提供均衡电流输入,并为电池组底部第三个电芯返回均衡电流
VC1	22	AI	电池组底部第一个电芯的检测电压输入引脚,为电池组底部第一个电芯提供均衡电流输入,并为电池组底部第二个电芯返回均衡电流
VC0	23	AI	电池组底部第一个电芯负极端子的检测电压输入引脚,为电池组底部第一个电芯返回均衡电流
SRP	24	AI	连接到内部库仑计的模拟输入引脚,用于在 SRP 和 SRN 之间集成一个小电压,其中 SRP 是感应电阻器的顶部。充电电流会在 SRP 处产生相对于 SRN 的正电压。
SRN	25	AI	连接到内部库仑计的模拟输入引脚,用于在 SRP 和 SRN 之间集成一个小电压,其中 SRN 是感应电阻器的底部。充电电流会在 SRP 处产生相对于 SRN 的正电压。
TS1	26	AI	温度传感器 1 热敏电阻输入引脚。连接到热敏电阻。如果不使用,则直接连接到 VSS 并相应地配置数据闪存。
TS2	27	AI	温度传感器 2 热敏电阻输入引脚。连接到热敏电阻。如果不使用,则直接连接到 VSS 并相应地配置数据闪存。
TS3	28	AI	温度传感器 3 热敏电阻输入引脚。连接到热敏电阻。如果不使用,则直接连接到 VSS 并相应地配置数据闪存。
TS4	29	AI	温度传感器 4 热敏电阻输入引脚。连接到热敏电阻。如果不使用,则直接连接到 VSS 并相应地配置数据闪存。
REG18	30	P	内部稳压器输出。需要将 C _{REG18} 连接到 VSS。
REG135	31	P	内部稳压器输出。需要将 C _{REG135} 连接到 VSS。
DISP/GPIO7	32	I/O	LED 显示控制。或者,此引脚为推挽引脚,可配置为通用数字输入引脚或通用数字输出引脚。如果不使用此引脚,可将其保持悬空或通过 20k Ω 电阻连接到 VSS。

(1) P = 电源连接, AI = 模拟输入, O = 数字输出, I = 数字输入

(2) 按照默认器件固件设置下的默认引脚位置列出了引脚名称和编号。某些引脚可以在数据闪存配置中分配到不同的功能。请参阅 [BQ41Z50 技术参考手册](#)。

4.1 引脚等效图

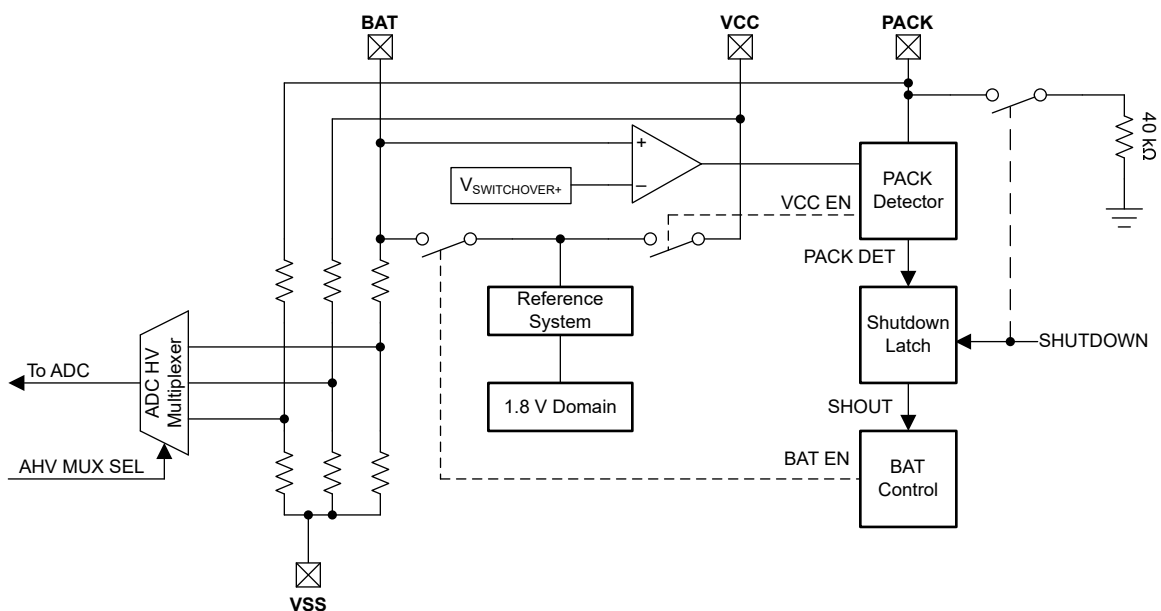


图 4-2. 电源引脚

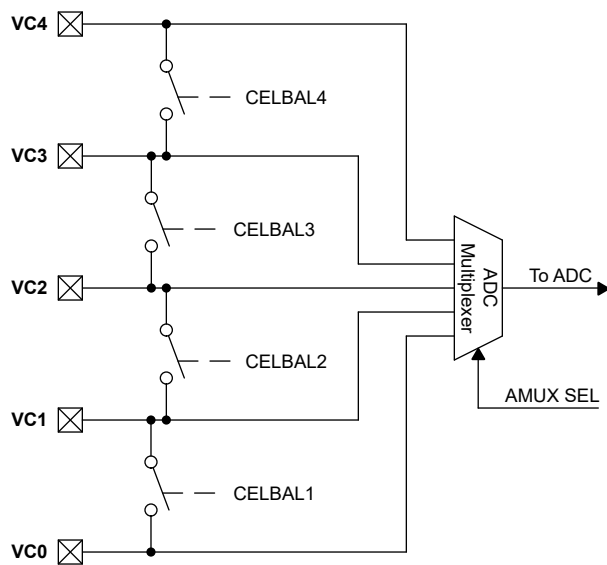


图 4-3. VCx 引脚

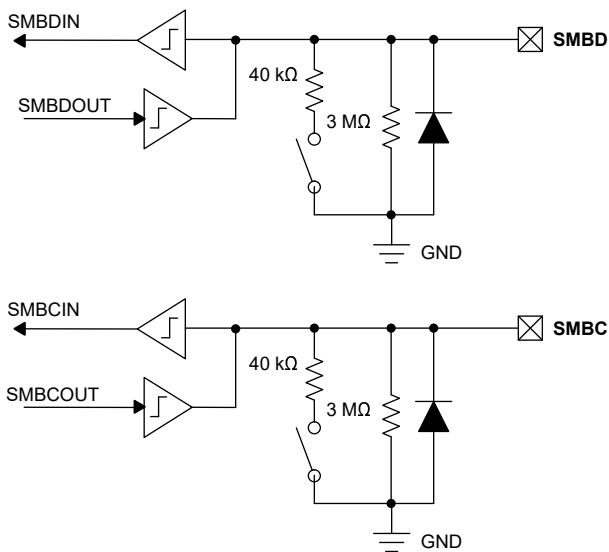


图 4-4. SMBD、SMBC 引脚

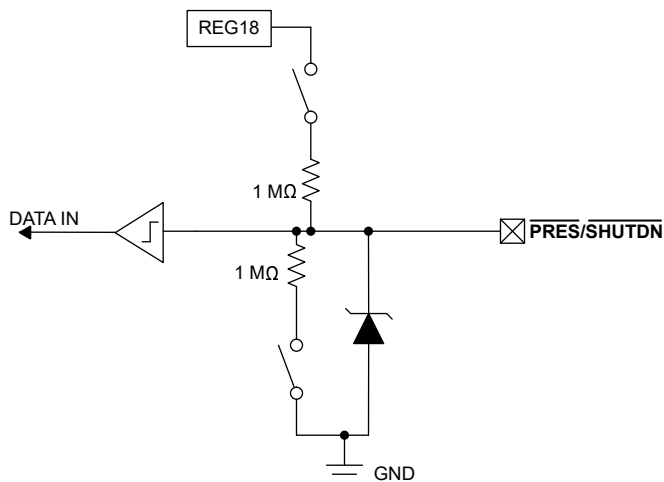


图 4-5. PRES/SHUTDN 引脚

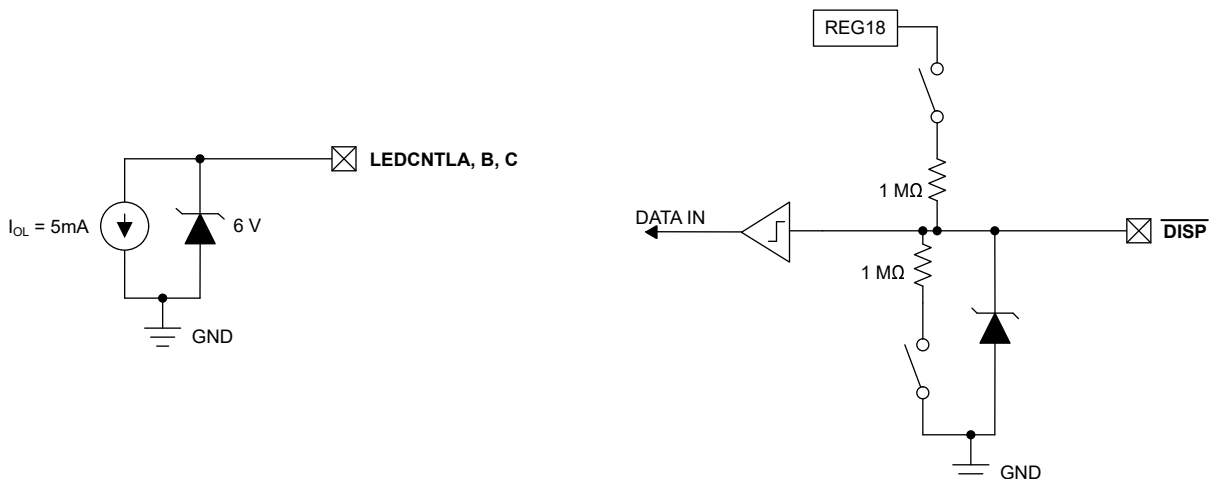
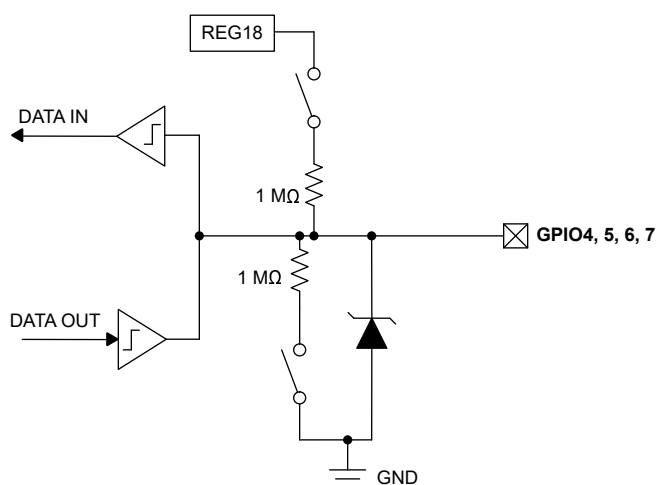
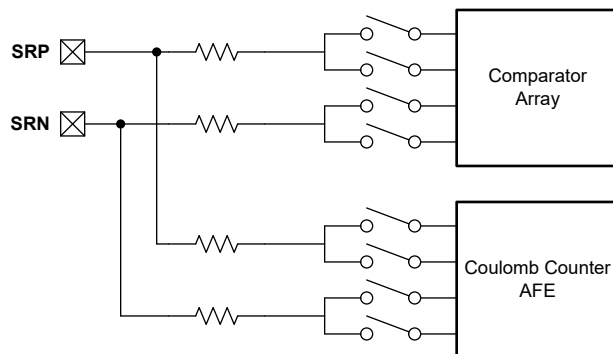
图 4-6. LEDCNTLA、LEDCNTLB、LEDCNTLC、 $\overline{\text{DISP}}$ 引脚 (LED 模式)图 4-7. LEDCNTLA、LEDCNTLB、LEDCNTLC、 $\overline{\text{DISP}}$ 引脚 (GPIO 模式)

图 4-8. SRN、SRP 引脚

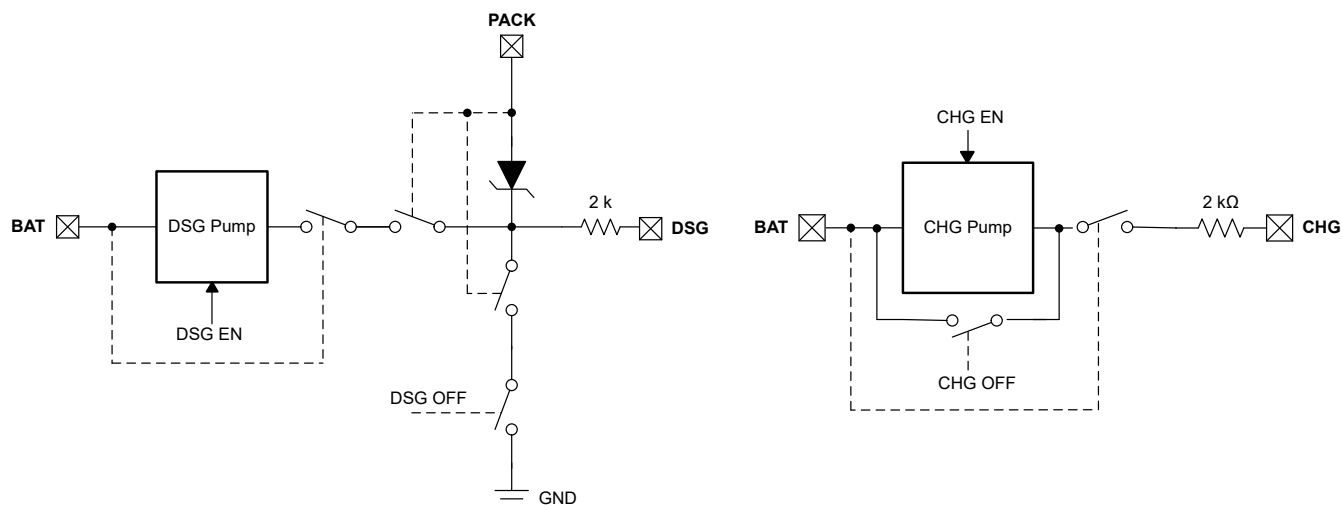


图 4-9. DSG、CHG 引脚

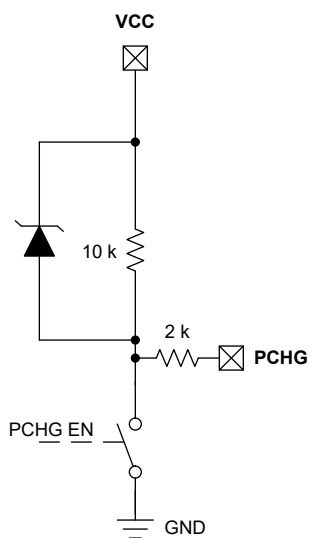


图 4-10. PCHG 引脚

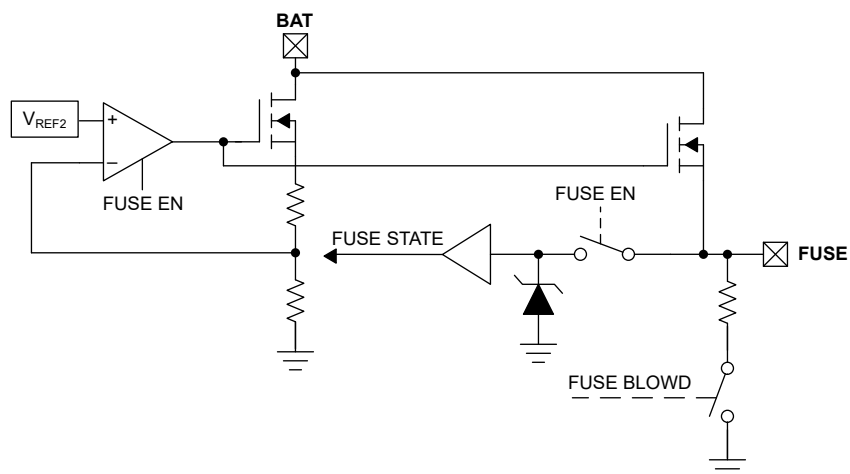


图 4-11. FUSE 引脚

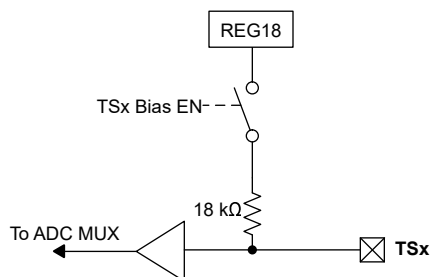


图 4-12. TSx 引脚

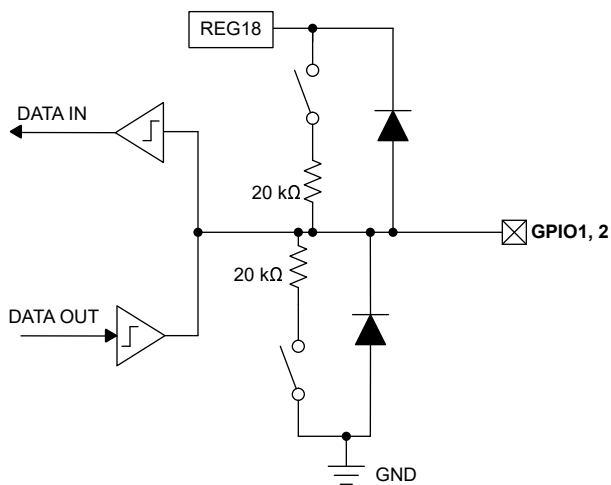


图 4-13. GPIO1、GPIO2 引脚

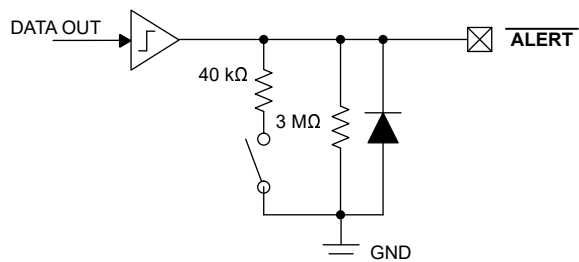


图 4-14. ALERT 引脚

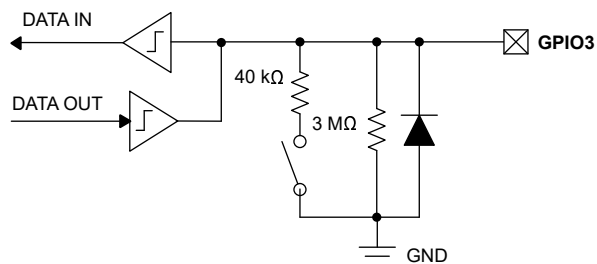


图 4-15. GPIO3 引脚

5 规格

5.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）⁽¹⁾

		最小值	最大值	单位
电源电压范围, V_{CC}	BAT、VCC	-0.3	40	V
输入电压范围, V_{IN}	PACK	-0.3	40	V
	SMBC、SMBD、 $\overline{PRES}$ / $\overline{SHUTDN}$ 、 $\overline{ALERT}$ 、GPIO3	-0.3	6	
	LEDCNTLA/GPIO4、LEDCNTLB/GPIO5、LEDCNTLC/GPIO6、DISP/GPIO7	-0.3	6	
	TS1、TS2、TS3、TS4	-0.3	$V_{REG18} + 0.3$	
	GPIO1、GPIO2	-0.3	$V_{REG18} + 0.3$	
	SRP、SRN	-0.3	2	
	VC4	$VC3 - 0.3$ 或 -0.03	$VC3 + 8.5$ 或 40	
	VC3	$VC2 - 0.3$ 或 -0.03	$VC2 + 8.5$ 或 40	
	VC2	$VC1 - 0.3$ 或 -0.03	$VC1 + 8.5$ 或 40	
	VC1	$VSS - 0.3$ 或 -0.03	$VSS + 8.5$ 或 40	
	VC0	-0.03	5	
输出电压范围, V_{OUT}	CHG、DSG、PCHG	-0.3	40	V
	FUSE	-0.3	BAT 的最小值或 28	
V_{REG18}	REG18	-0.3	2	V
V_{REG135}	REG135	-0.3	1.55	V
工作环境温度, T_F		-40	105	°C
贮存温度, T_{STG}		-65	150	°C
引线温度 (焊接, 10s) T_{SOLDER}			300	°C

(1) 超出“绝对最大额定值”运行可能会对器件造成永久损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议运行条件但在绝对最大额定值范围内，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能，并缩短器件寿命。

5.2 ESD 等级

			值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准 ⁽¹⁾	±1500	V
		充电器件模型 (CDM), 符合 JEDEC 规范 JESD22-C101 ⁽²⁾	±500	

(1) JEDEC 文档 JEP155 指出：500V HBM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

(2) JEDEC 文档 JEP157 指出：250V CDM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

5.3 建议运行条件

所述典型值的条件是 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 且 $V_{\text{BAT}} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{\text{BAT}} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

			最小值	标称值	最大值	单位
V_{DD}	电源电压	BAT 引脚, $I_{\text{REG18}} \leq 22\text{mA}$	$V_{\text{SWITCH OVER}}$		28	V
		VCC 引脚	5		28	
V_{IN}	输入电压范围	PACK	0		28	V
		FUSE	0		12	
		SMBC、SMBD、 $\overline{\text{PRES}}/\overline{\text{SHUTDN}}$ 、 $\overline{\text{ALERT}}$ 、GPIO3	0		5.5	
		LEDCNTLA/GPIO4、LEDCNTLB/GPIO5、LEDCNTLC/GPIO6、 $\overline{\text{DISP}}$ /GPIO7	0		5.5	
		TS1、TS2、TS3、TS4	0		$V_{\text{REG18}} + 0.3$	
		GPIO1、GPIO2			V_{REG18}	
		SRP、SRN	-0.25		0.5	
		VC4	$V_{\text{VC3}} - 0.2$		$V_{\text{VC3}} + 5$	
		VC3	$V_{\text{VC2}} - 0.2$		$V_{\text{VC2}} + 5$	
		VC2	$V_{\text{VC1}} - 0.2$		$V_{\text{VC1}} + 5$	
		VC1	$V_{\text{VC0}} - 0.2$		$V_{\text{VC0}} + 5$	
		VC0	- 0.2		0.5	
V_{OUT}	输出电压范围	CHG、DSG、PCHG	0		28	V
$C_{\text{BAT}}^{(1)}$	BAT 外部电容器	降额至 2.2V，50V 电容器	0.47	1		μF
$C_{\text{VCC}}^{(1)}$	VCC 外部电容器	降额至 2.2V，50V 电容器	0.47	1		μF
$C_{\text{REG18}}^{(1)}$	1.8V LDO 外部电容器	降额至 1.8V，10V 电容器	0.47	1	2.2	μF
$C_{\text{REG135}}^{(1)}$	1.35V LDO 外部电容器	降额至 1.35V，10V 电容器	0.47	1	2.2	μF
$R_{\text{RACK}}^{(1)}$	PACK 串联外部电阻	实现最低启动电压	8	10	12	$\text{k}\Omega$
$I_{\text{SS}}^{(1)}$	通过 VSS 引脚的最大电流	包括 LDO、GPIO 和电芯均衡			200	mA
T_{OPR}	工作温度	工作环境温度	-40		85	$^{\circ}\text{C}$

(1) 根据设计确定。未经生产测试。

5.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		BQ41Z50	单位
		RSN (QFN)	
		32 引脚	
$R_{\theta \text{ JA, High K}}$	结至环境热阻	39.2	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{\theta \text{ JC(top)}}$	结至外壳 (顶部) 热阻	25.7	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{\theta \text{ JB}}$	结至电路板热阻	12.7	$^{\circ}\text{C/W}$
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.6	$^{\circ}\text{C/W}$
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	12.7	$^{\circ}\text{C/W}$

热指标 ⁽¹⁾	单位	BQ41Z50
		RSN (QFN)
		32 引脚
$R_{\theta JC(bottom)}$ 结至外壳 (底部) 热阻	°C/W	3.6

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅[半导体](#)和[IC 封装热指标](#)应用报告。

5.5 电源电流

所述典型值的条件是 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I _{ACTIVE} ⁽¹⁾	ACTIVE 模式	DZT 电量监测配置 [PERF_MODE] ⁽³⁾ = 1、CHG 导通、DSG 导通、无闪存写入、无 SBS 通信		475		μA
		DZT 电量监测配置 [PERF_MODE] ⁽³⁾ = 0、CHG 导通、DSG 导通、无闪存写入、无 SBS 通信		315		
I _{SLEEP} ⁽²⁾	SLEEP 模式	DZT 电量监测配置 [PERF_MODE] ⁽³⁾ = 1、 测量电流 ≤ 休眠电流 ⁽³⁾ 、CHG 关断、DSG 导通、无 SBS 通信		165		μA
		DZT 电量监测配置 [PERF_MODE] ⁽³⁾ = 0、 测量电流 ≤ 休眠电流 ⁽³⁾ 、CHG 关断、DSG 导通、无 SBS 通信		155		
I _{SHUTDOWN}	SHUTDOWN 模式			0.8		μA

- (1) 在 ACTIVE 模式下使用默认固件设置时，平均电流超过 60 秒。器件功耗取决于固件配置和版本。
(2) 在 SLEEP 模式下使用默认固件设置时，平均电流超过 60 秒。器件功耗取决于固件配置和版本。
(3) 基于固件的参数。可以在 FULL ACCESS 模式下更改数据闪存配置值并将其锁定在 SEALED 模式。请参阅 [BQ41Z50 技术参考手册](#)。

5.6 电源控制

所述典型值的条件是 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源选择器						
V _{STARTUP}	PACK 上的启动电压	V _{PACK} > V _{STARTUP} 持续 1ms	3.5	4.5	5.5	V
V _{SWITCHOVER}	BAT 至 VCC 切换电压	V _{BAT} < V _{SWITCHOVER} -	2.5	2.75	3.0	V
V _{SWITCHOVER} +	VCC 至 BAT 切换电压	V _{BAT} > V _{SWITCHOVER} - + V _{HYS}	3.4	3.85	4.15	V
V _{HYS}	切换迟滞电压	V _{SWITCHOVER} + - V _{SWITCHOVER} -	1.1			V
T _{SD_ALERT} +	热关断升温警报		120 135			°C
T _{SD_ALERT} -	热关断降温警报	退出 RESET，启用 REG135	100	102		°C
T _{SD} +	热关断升温		140 148			°C
T _{SD} -	热关断降温	启用 REG18	122	130		°C
I _{LKG}	输入漏电流	BAT 引脚，BAT = 0V，VCC = 25V，PACK = 25V	1			μA
		PACK 引脚，BAT = 25V，VCC = 0V，PACK = 0V	1			
R _{PACK_PD}	内部下拉电阻	PACK 引脚	30	40	50	k Ω
上电复位						
V _{REG18POR} -	负向 V _{REG18} 输出 POR 电压	V _{REG18}	1.5	1.55	1.60	V
V _{HYS}	上电复位迟滞		65	85	110	mV

5.6 电源控制 (续)

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{RST_POR}^{(1)}$	上电复位时间：从施加有效输入电压到 MCU 释放 POR		2.5	4.0	ms
$t_{RST_ROM}^{(1)}$	上电复位时间：从施加有效输入电压到 CPU 准备执行 ROM 代码		5	10	ms
$t_{RST_EXE}^{(1)}$	上电复位时间：从施加有效输入电压到 CPU 准备执行闪存代码	不包括 ROM 执行的闪存阵列的 CRC	5	10	ms

(1) 根据设计确定。未经生产测试

5.7 低压降稳压器

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
1.35V LDO 稳压器						
V _{REG135}	稳压器输出电压	加载修整前	1.35			V
		加载修整后	-3%	1.35	3%	
$\Delta V_{\text{REG35TEMP}}$	温度调节, $\Delta V_{\text{REG135}}/V_{\text{REG135}}$	I _{REG135} = 1mA, 当处于低功耗模式时, I _{REG135} = 1μA	-1	±0.25	1	%
$\Delta V_{\text{REG135LINE}}$	线性调整率, $\Delta V_{\text{REG135}}/\Delta V_{\text{BAT}}$	I _{REG135} = 1mA, 当处于低功耗模式时, I _{REG135} = 1μA	-1		1	%
$\Delta V_{\text{REG135LOAD}}$	负载调整率, $\Delta V_{\text{REG135}}/\Delta I_{\text{REG135}}$	I _{REG135} = 1mA 至 5mA	-1		1	%
I _{REG135_SHOR T}	短路电流限值	V _{REG135} = 0V, I _{REG18} = 1mA	12	30	38	mA
1.8V LDO 稳压器						
V _{REG18}	稳压器输出电压	加载修整前, I _{REG18} = 1mA	1.6	1.8	2	V
		加载修整后, I _{REG18} = 1mA	-3%	1.8	3%	
t _{REG18}	启动时间	从 V _{IN} 2 > V _{IN(MIN)} 到 V _{REG18} 内的输出	600			μs
$\Delta V_{\text{REG18TEMP}}$	温度调节, $\Delta V_{\text{REG18}}/V_{\text{REG18}}$	I _{REG18} = 1mA	-1	±0.25	1	%
$\Delta V_{\text{REG18LINE}}$	线性调整率, $\Delta V_{\text{REG18}}/\Delta V_{\text{BAT}}$	I _{REG18} = 1mA	-1.1		0.9	%
$\Delta V_{\text{REG18LOAD}}$	负载调整率, $\Delta V_{\text{REG18}}/\Delta I_{\text{REG18}}$	I _{REG18} = 1mA 至 5mA	-2.5		2.5	%
		I _{REG18} = 1mA 至 22mA	-10		10	%
I _{REG18EXT}	外部负载能力				2	mA
I _{REG18_SHORT}	短路电流限值	V _{REG18} = 0V	23	40	75	mA

- 根据设计确定。未经生产测试
- V_{IN} 输入由电源选择器 $V_{SWITCHOVER}$ 确定

5.8 内部振荡器

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
低频振荡器						
F _{LOSC}	工作频率		252	262.144	271.5	kHz
F _{LOSC_RTC}	实时钟工作频率		31.5	32.768	33.9	kHz
F _{LOSC_DRIFT} ⁽¹⁾ ₍₂₎	频率漂移	-25°C 至 65°C	-2.25	±0.25	1.5	%
		-40°C 至 85°C	-3.25	±0.25	1.75	
高频振荡器						
F _{HOSC}	工作频率		32.768			MHz
F _{HOSC_DRIFT} ⁽¹⁾ ₍₂₎	频率漂移	-25°C 至 65°C	-2		2	%
		-40°C 至 85°C	-3.5		3.5	
t _{HFO_START}	HFO 启动时间	振荡器频率在标称值的 ±3% 以内，且启用输出	50			μs

(1) 根据设计确定。未经生产测试

(2) 包含频率漂移，并根据 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 下的修整频率测量该漂移，最大值和最小值基于特性，实际值存储在 OTP 中。

5.9 电压基准

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电压基准 1						
V _{REF1}	内部基准电压	T _A = 25°C	1.17	1.20	1.23	V
V _{REF1_DRIFT} ⁽¹⁾	内部基准电压漂移	T _A = -25°C 至 65°C	-0.35	±0.02	0.35	%
		T _A = -40°C 至 85°C	-0.85	±0.02	0.85	
电压基准 2						
V _{REF2}	内部基准电压	T _A = 25°C	1.204	1.224	1.234	V
V _{REF1_DRIFT} ⁽¹⁾	内部基准电压漂移	T _A = -25°C 至 65°C	-0.35	±0.02	0.35	%
		T _A = -40°C 至 85°C	-0.85	±0.02	0.85	

(1) 根据设计确定。未经生产测试

5.10 电流唤醒检测器

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明) (2)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{WAKE_CD}	放电唤醒电压阈值	标称设置，阈值基于 $V_{SRP} - V_{SRN}$			-7.5 -4.5 -0.5 mV
ΔV_{WAKE_CD}	放电唤醒电压阈值编程步骤	$V_{WAKE_CD} = V_{SRP} - V_{SRN}$			-0.5 mV
V_{WAKE_CC}	充电唤醒电压阈值	标称设置，阈值基于 $V_{SRP} - V_{SRN}$			0.5 4.5 7.5 mV
ΔV_{WAKE_CC}	充电唤醒电压阈值编程步骤	$V_{WAKE_CC} = V_{SRP} - V_{SRN}$			0.5 mV
$V_{WAKE_Cx_ERR}^{(1)}$	唤醒电压阈值误差	$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、所有 V_{WAKE_Cx} 设置、 $V_{WAKE} = V_{SRP} - V_{SRN}$			-350 350 μV
$t_{WAKE_CD}^{(1)}^{(3)}$	放电电流唤醒检测延迟时间	$t_{WAKE_CD} = (13 + \text{OCD 唤醒延迟}^{(4)}) \times 0.55 \text{ ms}$			1.1 288.2 ms

5.10 电流唤醒检测器 (续)

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明) ⁽²⁾

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_{WAKE_CC} ^{(1) (3)}	充电电流唤醒检测延迟时间 $t_{WAKE_CC} = (13 + \text{OCC 唤醒延迟}^{(4)}) \times 0.55 \text{ ms}$	1.1		288.2	ms

- (1) 根据设计确定。未经生产测试
(2) 电流唤醒特性利用硬件故障检测 (SCOMP) 模块检测 SRP 和 SRN 之间的电压
(3) 不包括 LFO 频率误差
(4) 基于固件的参数。可以在 FULL ACCESS 模式下更改数据闪存配置值并将其锁定在 SEALED 模式。请参阅 [BQ41Z50 技术参考手册](#)。

5.11 VC0、VC1、VC2、VC3、VC4, PACK

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IN}	VC1 - VC0、VC2 - VC1、VC3 - VC2、VC4 - VC3、VC4 - PACK	-0.2		5	V
	VC4 - VSS、VCC - VSS、PACK - VSS	-0.2		30	
$I_{LKG}^{(1)}$	VCELLn 输入漏电流 不进行 ADC 测量，无电芯均衡活动。			0.5	μA

- (1) 对于每个 VCn 输入，应使用外部串联电阻来限制电流

5.12 电芯均衡支持

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{CB}^{(2)}$	内部电芯均衡电流系统限制 电流介于 $V_{VC(n)}$ 和 $V_{VC(n-1)}$ 之间，其中 $2.5\text{V} \leq V_{VC(n)} \leq 5\text{V}$			25	mA
$R_{CB}^{(2)}$	内部电芯均衡电阻 $R_{DS(ON)}$ 用于内部 FET 开关， $V_{VC(n)} - V_{VC(n-1)} = 2.5\text{V}$ ， $2 \leq n \leq 4$ ， $V_{BAT} \geq 5\text{V}$	50	95	180	Ω
$R_{CB_DRFI}^{(1)T}$	内部电芯均衡电阻漂移 针对标称 R_{CB} - 40°C 至 $+85^\circ\text{C}$ 范围内的变化与 25°C 时的值	-50		50	Ω

- (1) 根据设计确定。未经生产测试
(2) 对于每个 VCn 输入，应使用外部串联电阻来限制电流

5.13 SMBD、SMBC

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明) ⁽¹⁾

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{BUS}	标称总线电压	1.8		5	V
	工作总线电压	1.62		5.5	
V_{IH}	输入电压高电平	1.35		V_{BUS}	V
V_{IL}	输入电压低电平			0.8	V
V_{OL}	输出低电压			0.4	V
$t_{SP}^{(1)}$	由输入滤波器进行抑制的模拟干扰尖峰脉冲宽度			50	ns
R_{BUSPD}	内部弱下拉电阻	1	3	5	M Ω

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明) ⁽¹⁾

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
R_{PD}	内部下拉电阻	35	40	50	$k\Omega$
$C_{IN}^{(1)}$	输入电容		1.8		pF
$C_B^{(1)}$	每条线路的总线电容			100	pF
$I_{LKG}^{(1)}$	输入漏电流		0.5	2	μA

(1) 根据设计确定。未经生产测试。

5.14 PRES/SHUTDN, DISP

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IN}	输入电压范围	-0.2		V_{REG18}	V
V_{IH}	高电平输入电压	$0.7 \times V_{REG18}$			V
V_{IL}	低电平输入电压			$0.3 \times V_{REG18}$	V
$V_{IOHYS}^{(1)}$	输入迟滞	75			mV
V_{OH}	输出电压高电平	$0.7 \times V_{REG18}$			V
V_{OL}	输出电压低电平			$0.3 \times V_{REG18}$	V
R_{WKPD}	内部弱下拉电阻	0.8	1	1.2	$M\Omega$
R_{WKPU}	内部弱上拉电阻	0.8	1	1.2	$M\Omega$
$C_I^{(1)}$	输入电容		5		pF
$I_{LKG}^{(1)}$	输入漏电流		1	2	μA

(1) 根据设计确定。未经生产测试

5.15 ALERT

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{OL}	输出电压低电平			0.35	V
R_{BUSPD}	内部弱下拉电阻	1	3	5	$M\Omega$
R_{PD}	内部下拉电阻	35	40	50	$k\Omega$
$C_I^{(1)}$	输入电容		1.8		pF
$I_{LKG}^{(1)}$	输入漏电流		0.5	2	μA

(1) 根据设计确定。未经生产测试

5.16 LEDCNTLA、LEDCNTLB、LEDCNTLC

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IN}	输入电压范围	-0.2		5.5	V

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{BAT}} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{\text{BAT}} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{CS}	灌电流	LEDCNTLA、LEDCNTLB、LEDCNTLC = 1V； LED 配置 [LEDC1、LEDC0] (2) = 0x1	2.1	3	3.9	mA
		LEDCNTLA、LEDCNTLB、LEDCNTLC = 1V； LED 配置 [LEDC1、LEDC0] (2) = 0x2	2.8	4	5.2	
		LEDCNTLA、LEDCNTLB、LEDCNTLC = 1V； LED 配置 [LEDC1、LEDC0] (2) = 0x3	3.5	5	6.5	
I_{CSX}	CSx 之间的电流匹配			5	10	%
C_1 (1)	输入电容	LEDCNTLA、LEDCNTLB、LEDCNTLC		5		pF
I_{kg} (1)	输入漏电流	LEDCNTLA、LEDCNTLB、LEDCNTLC		1	2	μA

(1) 根据设计确定。未经生产测试

(2) 基于固件的参数。可以在 FULL ACCESS 模式下更改数据闪存配置值并将其锁定在 SEALED 模式。请参阅 [BQ41Z50 技术参考手册](#)。

5.17 库仑计

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{BAT}} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{\text{BAT}} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{\text{CC_IN}}$ (2)	测量的输入电压范围	$V_{\text{SRP}} - V_{\text{SRN}}$	-0.2		0.2	V
$B_{\text{CC_INL}}$ (1) (2)	积分非线性	16 位，输入电压范围最佳拟合		± 5.2	± 22.3	LSB
$B_{\text{CC_DNL}}$ (2)	微分非线性	16 位，无丢码	-1		1	LSB
$V_{\text{CC_OFF}}$	偏移误差	16 位，未经校准	-2		2	LSB
$V_{\text{CC_OFF_DRIFT}}$	失调电压误差漂移	16 位，校准后	-0.035		0.035	LSB/ $^\circ\text{C}$
$B_{\text{CC_GAIN}}$	增益	16 位，在理想输入电压范围内。在闪存中测量和存储。		267200		LSB/V
$R_{\text{CC_IN}}$	有效输入电阻	当转换时		2		M Ω
I_{LKG}	SRP 和 SRN 输入漏电流	当库仑计数器不运行时			0.5	μA

(1) 根据设计确定。未经生产测试

(2) 由基准评估指定。未经生产测试。

5.18 库仑计数字滤波器 (CC1)

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{BAT}} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{\text{BAT}} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{\text{CC1_CONV}}$ (4)	CC1 转换时间	单次转换		1		s
$B_{\text{CC1_ER}}$ (1) (2) (3)	有效分辨率	每次转换 $t_{\text{CC1_CONV}} = 1\text{s}$		17.5		位

(1) 根据特征确定。未经生产测试

(2) 有效分辨率定义为数据在 $\pm 1\text{LSB}$ 范围内表现出 1σ 变化的分辨率。

(3) 输入信号 $\text{SRP-SRN} = 50\text{mV}$ ，直流 = $\pm 1\text{mV}$ ，无谐波满量程

(4) 时序精度相对于 F_{LFO} 精度。

5.19 电流测量数字滤波器 (CC2)

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{BAT}} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{\text{BAT}} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{\text{CC2_CONV}}$ (4)	转换时间	单次转换		2.93		ms

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V （除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
B _{CC2_ER} (1) (2) (3)	有效分辨率	单次转换, t _{CC2_CONV} = 2.93ms	13.5	15		位

- (1) 根据设计确定。未经生产测试
 (2) 有效分辨率定义为数据在 $\pm 1\text{LSB}$ 范围内表现出 1σ 变化的分辨率。
 (3) 输入信号交流 = $\pm 1\text{mV}$, $f = 10\text{kHz}$ ，无谐波满量程
 (4) 时序精度相对于 F_{LFO} 精度

5.20 模数转换器

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V （除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{ADC_FSR}	满量程范围相关	V _{REF} = V _{REF1} ，实际输入被限制为 V _{REG18}	-0.2		1.666 x V _{REF}	V
		V _{REF} = V _{REG18} ，实际输入被限制为 V _{REG18}	-0.2		1.666 x V _{REF}	
B _{ADC_INL} ^{(1) (4)}	积分非线性（ 当使用 V _{REF1} 和 VCn 电芯差分电压测量模式时 ）	0V 至 5.5V 的最佳拟合	-6.6		6.6	LSB ⁽²⁾
B _{ADC_DNL} ⁽¹⁾	微分非线性	无丢码，使用进行了偏移和增益补偿的电芯差分电压测量。		±1		LSB ⁽²⁾
B _{ADC_OFF_CELL}	差分 VCn 偏移误差	在 VCn 引脚上使用电芯差分电压模式	-5		5	LSB ⁽²⁾
B _{ADC_OFF_DIV}	分压器偏移误差	在 BAT、VCC 和 PACK 引脚上使用分压器模式	-4	0	4	LSB ⁽³⁾
B _{ADC_OFF_DRIFT_CELL} ⁽¹⁾	差分 VCn 偏移误差漂移	在 VCn 引脚上使用电芯差分电压模式		0.004	0.07	LSB/°C ⁽²⁾
B _{ADC_GAIN}	增益	在理想输入电压范围内测量的增益，VCn 电芯差分输入模式。测量并存储在闪存中		5410		LSB/V ⁽²⁾
B _{ADC_GAIN_DRIFT} ⁽¹⁾	增益漂移	在理想输入电压范围内测量的增益，VCn 电芯差分输入模式。作为相对于 30°C 下增益的工作温度范围内增益变化测量漂移值。	-0.25	-0.025	0.25	LSB/V/°C ⁽²⁾
K _{SCALE_FACTOR} ⁽¹⁾	换算系数	校准后，VC1 – VC0、VC2 – VC1、VC3 – VC2、VC4 – VC3、VC4 – PACK	0.198	0.2	0.202	
		校准后，VC4 – VSS、VCC – VSS、PACK – VSS	0.032	0.033	0.034	
		校准后，TSx – VSS	0.59	0.6	0.61	
R _{ADC_IN_CELL} ⁽¹⁾	有效输入电阻	测量时采用 VCn 电芯差分输入模式	180			k Ω
I _{LKG}	VCELLn 输入漏电流	不进行 ADC 测量，无电芯均衡活动。			0.5	μA

- (1) 根据特征确定。未经生产测试
 (2) VCn 电芯差分电压测量的 16 位 LSB 大小由以下公式给出： $1\text{LSB} = 5 \times V_{REF1}/2^{N-1} \approx 5 \times 1.2/2^{15} = 183\mu\text{V}$
 (3) 分压器电压测量的 16 位 LSB 大小由以下公式给出： $1\text{LSB} = 30 \times (5/3) \times V_{REF1}/2^{N-1} \approx 50 \times 1.2/2^{15} = 1.8\text{mV}$
 (4) 器件在 **NORMAL** 模式下运行、禁用电芯均衡、使用三个或更多热敏电阻并施加 5V 差分电压时的平均有效差分输入电阻。

5.21 ADC 数字滤波器

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{ADC_CONV}^{(2)}$	转换时间	单次转换		2.93		ms
B_{ADC_RES}	ADC 分辨率	无丢码	16			位
$B_{ADC_ER}^{(1)}$	有效分辨率	单次转换, $t_{ADC_CONV} = 2.93\text{ms}$	13.5	15		位

(1) 有效分辨率定义为数据在 $\pm 1\text{LSB}$ 范围内表现出 1σ 变化的分辨率。

(2) 时序精度相对于 F_{LFO} 精度。

5.22 CHG、DSG 高侧 NFET 驱动器

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{FETON}	相对于 BAT 的 CHG 引脚电压、 相对于 BAT 的 DSG 引脚电压， $5\text{V} \leq V_{BAT} \leq 28\text{V}$ ， $V_{PACK} \leq V_{DSG}$	$CHG/DSG\ C_L = 10\text{nF}$ ， $R_L = 10\text{M}\Omega$ ， $I_{LEAK} = 100\text{nA}$	8.5	10	12	V
V_{FETON_LOBAT}	相对于 BAT 的 CHG 引脚电压、 相对于 BAT 的 DSG 引脚电压， $V_{SWITCHOVER-(MAX)} \leq V_{BAT} < 5\text{V}$ ， $V_{PACK} \leq V_{DSG}$	$T_A = -25^\circ\text{C}$ 至 65°C ， $CHG/DSG\ C_L = 10\text{nF}$ ， $R_L = 10\text{M}\Omega$ ， $I_{LEAK} = 100\text{nA}$	3.95		12	V
V_{FETON_LOBAT}	相对于 BAT 的 CHG 引脚电压、 相对于 BAT 的 DSG 引脚电压， $V_{SWITCHOVER-(MAX)} \leq V_{BAT} < 5\text{V}$ ， $V_{PACK} \leq V_{DSG}$	$CHG/DSG\ C_L = 10\text{nF}$ ， $R_L = 10\text{M}\Omega$ ， $I_{LEAK} = 100\text{nA}$	3.3		12	V
$V_{CHGFETOFF}$	相对于 BAT 的 CHG 关断电压	$CHG/DSG\ C_L = 10\text{nF}$ ， $R_L = 10\text{M}\Omega$ ，稳态值			0.4	V
$V_{DSGFETOFF}$	相对于 PACK 的 DSG 关断电压	$CHG/DSG\ C_L = 10\text{nF}$ ， $R_L = 10\text{M}\Omega$ ，稳态值			0.7	V
t_{FET_ON}	CHG 和 DSG 上升时间	$CHG/DSG\ C_L = 10\text{nF}$ ， $R_L = 10\text{M}\Omega$ ， $R_{GATE} = 5.1\text{k}\Omega$ ， 0V 至 4V 栅源过驱， $V_{BAT} = V_{CC} \geq 3.6\text{V}$		90	200	μs
t_{FET_OFF}	DSG 下降时间	$V_{BAT} = V_{CC} \geq 3.6\text{V}$ ， $DSG\ C_L = 10\text{nF}$ ， $R_L = 10\text{M}\Omega$ ， $R_{GATE} = 5.1\text{k}\Omega$ ， $V_{(FETON)}$ 的 90% 至 15%		140	250	μs
		$V_{BAT} = V_{CC} < 3.6\text{V}$ ， $DSG\ C_L = 10\text{nF}$ ， $R_L = 10\text{M}\Omega$ ， $R_{GATE} = 5.1\text{k}\Omega$ ， $V_{(FETON)}$ 的 90% 至 15%		140	400	
	CHG 下降时间	$V_{BAT} = V_{CC} \geq 3.6\text{V}$ ， $CHG\ C_L = 10\text{nF}$ ， $R_L = 10\text{M}\Omega$ ， $R_{GATE} = 5.1\text{k}\Omega$ ， $V_{(FETON)}$ 的 90% 至 15%		110	160	
		$V_{BAT} = V_{CC} < 3.6\text{V}$ ， $CHG\ C_L = 10\text{nF}$ ， $R_L = 10\text{M}\Omega$ ， $R_{GATE} = 5.1\text{k}\Omega$ ， $V_{(FETON)}$ 的 90% 至 15%		110	160	

5.23 预充电 (PCHG) FET 驱动器

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{PCHG_ON}	输出电压, PCHG 导通	$V_{VCC} - V_{PCHG}$, $V_{VCC} \geq 8\text{V}$, $V_{BAT} \geq 5\text{V}$	7.5	8.4	9.7
		$V_{VCC} - V_{PCHG}$, $5\text{V} \leq V_{VCC} < 8\text{V}$, $V_{BAT} \geq 5\text{V}$, $V_{VCC} > V_{BAT}$	$V_{PACK} - 1.4$	V_{PACK}	
$I_{PULLDOWN}$	电流吸收能力	启用 PCHG, $V_{BAT} = 14.4\text{V}$	50		μA
$t_{R_PCHG}^{(1)}$	PCHG PFET 的开通时间	V_{PCHG} 为 $V_{(PCHG_ON)}$ 的 10% 至 90%, $V_{BAT} \geq 8\text{V}$, $C_L = 1\text{nF}$, PCHG 和 C_L 之间的电阻为 $5.1\text{k}\Omega$, 预充电 FET 栅极和源极之间的电阻为 $10\text{M}\Omega$	30	110	μs
$t_{F_PCHG}^{(1)}$	PCHG PFET 的关断时间	V_{PCHG} 为 $V_{(PCHG_ON)}$ 的 90% 至 10%, $V_{BAT} \geq 8\text{V}$, $C_L = 1\text{nF}$, PCHG 和 C_L 之间的电阻为 $5.1\text{k}\Omega$, 预充电 FET 栅极和源极之间的电阻为 $10\text{M}\Omega$	60	200	μs

(1) 根据设计确定。未经生产测试

5.24 FUSE 驱动器

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{OH}	输出电压高电平 (驱动保险丝)	$V_{BAT} \geq 8\text{V}$, $C_L = 10\text{nF}$, $5\text{k}\Omega$ 负载	6	6.5	7
V_{OH}	输出电压相对于 V_{BAT} 为高电平 (驱动保险丝)	$2.7\text{V} \leq V_{BAT} < 8\text{V}$, $C_L = 10\text{nF}$, $5\text{k}\Omega$ 负载	$V_{BAT} - 1.5$	V_{BAT}	
$R_{PD}^{(1)}$	内部下拉电阻	FUSE	6		$\text{k}\Omega$
V_{IH}	高电平输入 (保险丝检测)	流入器件引脚的电流必须被限制为最大 2mA	2		V
V_{IL}	低电平输入 (保险丝检测)			0.8	V
$C_{IN}^{(1)}$	输入电容		1.8		pF
$t_{RISE}^{(1)}$	输出上升时间 (驱动保险丝)	$V_{BAT} \geq 8\text{V}$, $C_L = 10\text{nF}$, $R_{SERIES} = 100\Omega$, $R_{LOAD} = 51\text{k}\Omega$, $V_{(OH)}$ = 最终稳定电压的 10% 至 90%	4.3		μs

(1) 根据设计确定。未经生产测试

5.25 内部温度传感器

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{TEMP}^{(1)}$	内部温度传感器电压漂移	ΔV_{BE} 测量	0.380	0.415	0.450
		V_{BE} 测量	-1.92		

(1) 根据设计确定。未经生产测试

5.26 TS1、TS2、TS3、TS4

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{BAT}} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{\text{BAT}} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IN}	输入电压范围	TS1、TS2、TS3、TS4, $V_{\text{BIAS}} = V_{\text{REG18}}$		-0.2	V_{REG18} V
$R_{\text{TS_PU}}$	内部上拉电阻	TS1、TS2、TS3, 标称 $18\text{k}\Omega$ 的设置		14.4	18 21.6 $\text{k}\Omega$
$R_{\text{TS4_PU}}^{(2)}$	TS4 的内部上拉电阻	TS4		17	18 19 $\text{k}\Omega$
$R_{\text{TSx_PU_DRIFT}}^{(1)}$	内部上拉电阻随温度的变化	针对标称 $18\text{k}\Omega$ - 40°C 至 $+85^\circ\text{C}$ 范围内的变化与 25°C 时的值		-200	200 Ω

(1) 根据设计确定。未经生产测试

(2) 内部上拉电阻仅包括 REG18 引脚与 ADC 检测电压的点之间的电阻

5.27 闪存存储器

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{BAT}} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{\text{BAT}} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{\text{DR}}^{(1)}$	数据保存时间	10	100		年
	闪存编程写入周期数 ⁽¹⁾	20000			周期
$t_{\text{FPWRUP}}^{(2)}$	闪存上电时间		150	200	μs
$t_{\text{FPWRDOWN}}^{(1)}$	闪存断电		6	15	μs
$t_{\text{ROWPROG}}^{(1)}$	字 (128 位) 编程时间		100		μs
$t_{\text{MASSERASE}}^{(1)}$	批量擦除时间		14	500	ms
$t_{\text{SECTORERASE}}^{(1)}$	扇区擦除时间		14	500	ms

(1) 根据设计确定。未经生产测试

(2) 经特性分析确认。未经生产测试

5.28 OT、SCD、OCC、OCD1、OCD2 保护阈值 (SCOMP)

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{BAT}} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{\text{BAT}} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
R _{OT} ⁽²⁾	过热 (OT) 检测电阻阈值	OT 阈值范围	893 至 108000		Ω	
		OT 阈值 = 35℃	7200			
		OT 阈值 = 40℃	6000			
		OT 阈值 = 45℃	4909			
		OT 阈值 = 50℃	4154			
		OT 阈值 = 55℃	3600			
		OT 阈值 = 60℃	3000			
		OT 阈值 = 65℃	2571			
		OT 阈值 = 70℃	2250			
		OT 阈值 = 75℃	1929			
		OT 阈值 = 80℃	1662			
		OT 阈值 = 85℃	1459			
		OT 阈值 = 90℃	1256			
		OT 阈值 = 95℃	1102			
		OT 阈值 = 100℃	973			
		OT 阈值 = 105℃	893			
R _{OT_ACC} ⁽¹⁾	过热检测电阻阈值精度	T _A = -25℃ 至 65℃	-4		4	%
		T _A = -40℃ 至 85℃	-6		6	
V _{SCD}	放电短路 (SCD) 电压阈值范围	标称设置, 阈值基于 V _{SRP} - V _{SRN}	-10		-250	mV
Δ V _{SCD}	SCD 检测阈值电压程序步骤	V _{SCD} = V _{SRP} - V _{SRN}		-2.5		mV
V _{SCD_ACC}	放电短路电压阈值检测精度	T _A = -25℃ 至 65℃, V _{SCD} < 20mV	-20		20	标称阈值的百分比
		T _A = -25℃ 至 65℃, V _{SCD} ≥ 20mV	-10		10	
		T _A = -40℃ 至 85℃, V _{SCD} < 20mV	-40		40	
		T _A = -40℃ 至 85℃, V _{SCD} ≥ 20mV	-15		15	
V _{OCC}	充电过流 (OCC) 电压阈值范围	标称设置, 阈值基于 V _{SRP} - V _{SRN}	2		254	mV
Δ V _{OCC}	OCC 检测阈值电压程序步骤	V _{OCC} = V _{SRP} - V _{SRN}		2		mV
V _{OCDx}	放电过流 (OCD1、OCD2) 电压阈值范围	标称设置, 阈值基于 V _{SRP} - V _{SRN}	-2		-254	mV
Δ V _{OCDx}	OCDx 检测阈值电压程序步骤	V _{OCDx} = V _{SRP} - V _{SRN}		-2		mV
V _{OC_ACC}	过流 (OCC、OCD1、OCD2) 检测电压阈值精度	阈值 < 20mV	-1.5		1.5	mV
		20mV ≤ 阈值 ≤ 56mV	-4		4	
		56mV ≤ 阈值 ≤ 100mV	-5		5	
		阈值 > 100mV	-5		5	

(1) 根据特征确定。未经生产测试。

(2) 使用 103AT NTC 热敏电阻时的预期温度阈值

5.29 OT、SCD、OCC、OCD1、OCD2 保护时间 (SCOMP)

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t _{OT} ⁽¹⁾⁽²⁾	OT 检测延迟时间	t _{OT} = 0.0011 + 1 × 过温延迟 ⁽³⁾	1		31	s
t _{SCD} ⁽¹⁾⁽²⁾	SCD 检测延迟时间	t _{SCD} = 短路放电延迟 [5:1] ⁽³⁾ × 91.5 + 短路放电延迟 [0] ⁽³⁾ × 30.5 + 61	91.5		2928	μ s
t _{OCC} ⁽¹⁾⁽²⁾	OCC 检测延迟时间	t _{OCC} = (1 + OCC 1 延迟 ⁽³⁾) × 0.55	1.1		1126.4	ms
t _{OCD1} ⁽¹⁾⁽²⁾	OCD1 检测延迟时间	t _{OCD1} = (1 + OCD 1 延迟 ⁽³⁾) × 0.55	1.1		1126.4	ms
t _{OCD2} ⁽¹⁾⁽²⁾	OCD2 检测延迟时间	t _{OCD2} = (1 + OCD 2 延迟 ⁽³⁾) × 0.55	1.1		1126.4	ms

(1) 根据设计确定。未经生产测试

(2) 不包括 LFO 频率误差

(3) 基于固件的参数。可以在 FULL ACCESS 模式下更改数据闪存配置值并将其锁定在 SEALED 模式。请参阅 BQ41Z50 技术参考手册。

5.30 GPIO1、GPIO2、GPIO3、GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
GPIO1、GPIO2						
V _{IN}	输入电压范围	GPIO1、GPIO2	-0.2		V _{REG18}	V
V _{IH}	高电平输入电压	GPIO1、GPIO2	0.7 x V _{REG18}			V
V _{IL}	低电平输入电压	GPIO1、GPIO2			0.3 x V _{REG18}	V
V _{IOHYS} ⁽¹⁾	输入迟滞	GPIO1、GPIO2	75			mV
V _{OH}	输出电压高电平	GPIO1、GPIO2 : I _{OH} = -450μA	0.85 × V _{REG18}			V
V _{OL}	输出电压低电平	GPIO1、GPIO2 : I _{OH} = 1mA			0.35	V
R _{PD}	内部下拉电阻	GPIO1、GPIO2	15	20	30	k Ω
R _{PU}	内部上拉电阻	GPIO1、GPIO2	15	20	30	k Ω
C _I ⁽¹⁾	输入电容	GPIO1、GPIO2		1.5		pF
I _{kg} ⁽¹⁾	输入漏电流	GPIO1、GPIO2		1	2	μA
GPIO3						
V _{IN}	输入电压范围	GPIO3	-0.2		5.5	V
V _{IH}	高电平输入电压	GPIO3	0.7 x V _{REG18}			V
V _{IL}	低电平输入电压	GPIO3			0.3 x V _{REG18}	V
V _{IOHYS} ⁽¹⁾	输入迟滞	GPIO3	75			mV
V _{OL}	输出电压低电平	GPIO3 : I _{OH} = 3mA			0.35	V
R _{BUSPD}	内部弱下拉电阻	GPIO3，常开	1	3	5	M Ω
R _{PD}	内部下拉电阻	GPIO3	35	40	50	k Ω
C _I ⁽¹⁾	输入电容	GPIO3		1.8		pF
I _{kg} ⁽¹⁾	输入漏电流	GPIO3，包括常开 R _{BUSPD} 下拉电阻		0.5	2	μA
GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7 (启用 GPIO 模式，禁用 LED 模式)						

5.30 GPIO1、GPIO2、GPIO3、GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7 (续)

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{IN}	输入电压范围	GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7：用作漏极开路 GPIO（禁用内部弱上拉）	-0.2		5.5	V
		GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7：用作推挽 GPIO（启用内部弱上拉）	-0.2	V _{REG18}		
V _{IH}	高电平输入电压	GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7	0.7 × V _{REG18}			V
V _{IL}	低电平输入电压	GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7			0.3 × V _{REG18}	V
V _{IOHYS} ⁽¹⁾	输入迟滞	GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7	75			mV
V _{OH}	输出电压高电平	GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7：I _{OH} = -1mA	0.7 × V _{REG18}			V
V _{OL}	输出电压低电平	GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7：I _{OL} = 3mA			0.3 × V _{REG18}	V
R _{WKPD}	内部弱下拉电阻	GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7	0.8	1	1.2	M Ω
R _{WKPU}	内部弱上拉电阻	GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7	0.8	1	1.2	M Ω
C _I ⁽¹⁾	输入电容	GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7		5		pF
I _{lkg} ⁽¹⁾	输入漏电流	GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7		1	2	μA

(1) 根据设计确定。未经生产测试

5.31 椭圆曲线加密 (ECC)

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t _{ECC} ⁽¹⁾	EC-KCDSA 签名时间	从主机收到质询的时间，到数据准备好供主机器件读取的时间		100		ms

(1) 根据设计确定。未经生产测试

5.32 SMBus 接口时序

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明) ⁽¹⁾

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位	
SMBus 100kHz							
f _{SMB}	SMBus 工作频率	TARGET 模式，SMBC 50% 占空比	10		100	kHz	
f _{MAS}	SMBus 主机时钟频率		10		100	kHz	
t _{BUF}	开始和停止之间的总线空闲时间		4.7			μs	
t _{HD:START}	(重复) 开始后的保持时间		4			μs	
t _{SU:START}	重复启动建立时间		4.7			μs	
t _{SU:STOP}	停止设置时间		4			μs	
t _{HD:DATA}	数据保持时间		0			ns	
t _{SU:DATA}	数据建立时间		250			ns	
t _{TIMEOUT}	误差信号检测时间		25			35	ms
t _{LOW}	时钟低电平时间		4.7			μs	

5.32 SMBus 接口时序 (续)

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明) ⁽¹⁾

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_{HIGH}	时钟高电平周期		4		50	μs
$t_{\text{LOW(EXT)}}$	累计时钟低电平目标延长时间				25	ms
$t_{\text{LOW(MEXT)}}$	累计时钟低电平主机延长时间				10	ms
t_F	时钟下降时间	$V_{\text{IH(MIN)}} + 0.15$ 至 $V_{\text{IL(MAX)}} - 0.15$			300	ns
t_R	时钟上升时间	$V_{\text{IL(MAX)}} - 0.15$ 至 $V_{\text{IH(MIN)}} + 0.15$			1000	ns
t_{BUSLO}	器件的最大 SMBC/SMBD 低电平 (BUSLO) 信号检测时间	SBS 配置 [BLT1、BLT0] ⁽²⁾ = 0x1 至 0x3	1		3	s
Δt_{BUSLO}	BUSLO 检测时间程序步骤			0.5		s
C_D	每个总线的容性负载				400	pF
SMBus 400kHz						
f_{SMB}	SMBus 工作频率	TARGET 模式, SMBC 50% 占空比	10		400	kHz
f_{MAS}	SMBus 主机时钟频率		10		400	kHz
t_{BUF}	开始和停止之间的总线空闲时间		1.3			μs
$t_{\text{HD:START}}$	(重复) 开始后的保持时间		0.6			μs
$t_{\text{SU:START}}$	重复启动建立时间		0.6			μs
$t_{\text{SU:STOP}}$	停止设置时间		0.6			μs
$t_{\text{HD:DATA}}$	数据保持时间		0			ns
$t_{\text{SU:DATA}}$	数据建立时间		100			ns
t_{TIMEOUT}	误差信号检测时间		25		35	ms
t_{LOW}	时钟低电平时间		1.3			μs
t_{HIGH}	时钟高电平周期		0.6		50	μs
$t_{\text{LOW(EXT)}}$	累计时钟低电平目标延长时间				25	ms
$t_{\text{LOW(MEXT)}}$	累计时钟低电平主机延长时间				10	ms
t_F	时钟下降时间	$V_{\text{IH(MIN)}} + 0.15$ 至 $V_{\text{IL(MAX)}} - 0.15$			300	ns
t_R	时钟上升时间	$V_{\text{IL(MAX)}} - 0.15$ 至 $V_{\text{IH(MIN)}} + 0.15$			300	ns
t_{BUSLO}	器件的最大 SMBC/SMBD 低电平 (BUSLO) 信号检测时间	SBS 配置 [BLT1、BLT0] ⁽²⁾ = 0x1 至 0x3	1		3	s
Δt_{BUSLO}	BUSLO 检测时间程序步骤			0.5		s
C_D	每个总线的容性负载				400	pF
SMBus 1MHz						
f_{SMB}	SMBus 工作频率	TARGET 模式, SMBC 50% 占空比	10		1000	kHz
f_{MAS}	SMBus 主机时钟频率		10		1000	kHz
t_{BUF}	开始和停止之间的总线空闲时间		0.5			μs
$t_{\text{HD:START}}$	(重复) 开始后的保持时间		0.26			μs

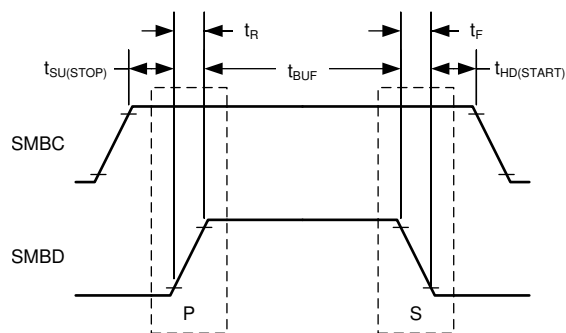
5.32 SMBus 接口时序 (续)

所述典型值的条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{BAT} = 14.4\text{V}$ ，最小值/最大值的条件是 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C 且 $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ 至 28V (除非另有说明) ⁽¹⁾

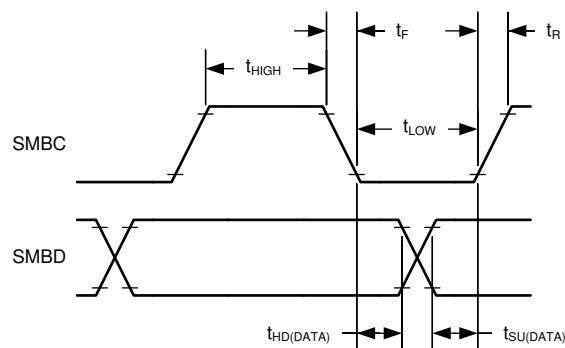
参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{SU:START}$	重复启动建立时间	0.26			μs
$t_{SU:STOP}$	停止设置时间	0.26			μs
$t_{HD:DATA}$	数据保持时间	0			ns
$t_{SU:DATA}$	数据建立时间	50			ns
$t_{TIMEOUT}$	误差信号检测时间	25		35	ms
t_{LOW}	时钟低电平时间	0.5			μs
t_{HIGH}	时钟高电平周期	0.26		50	μs
$t_{LOW(SEXT)}$	累计时钟低电平目标延长时间			25	ms
$t_{LOW(MEXT)}$	累计时钟低电平主机延长时间			10	ms
t_F	时钟下降时间	$V_{IH(MIN)} + 0.15$ 至 $V_{IL(MAX)} - 0.15$		120	ns
t_R	时钟上升时间	$V_{IL(MAX)} - 0.15$ 至 $V_{IH(MIN)} + 0.15$		120	ns
t_{BUSLO}	器件的最大 SMBC/ SMBD 低电平 (BUSLO) 信号检测时间	SBS 配置 [BLT1、BLT0] ⁽²⁾ = 0x1 至 0x3		3	s
Δt_{BUSLO}	BUSLO 检测时间程序步骤	0.5			s
C_D	每个总线的容性负载			100	pF

(1) 根据设计确定。未经生产测试

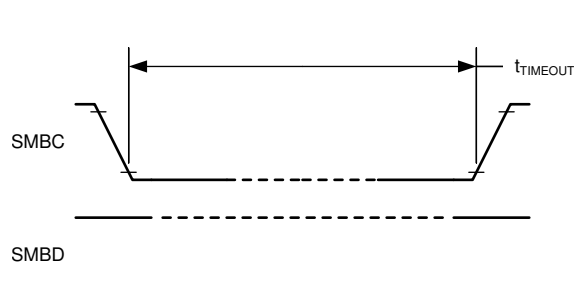
(2) 基于固件的参数。可以在 FULL ACCESS 模式下更改数据闪存配置值并将其锁定在 SEALED 模式。请参阅 BQ41Z50 技术参考手册。



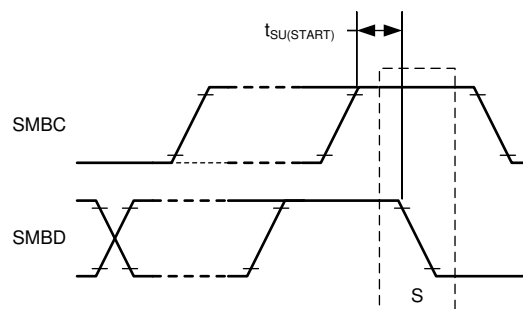
Start and Stop Condition



Wait and Hold Condition



Timeout Condition



Repeated Start Condition

图 5-1. SMBus 时序图

5.33 典型特性

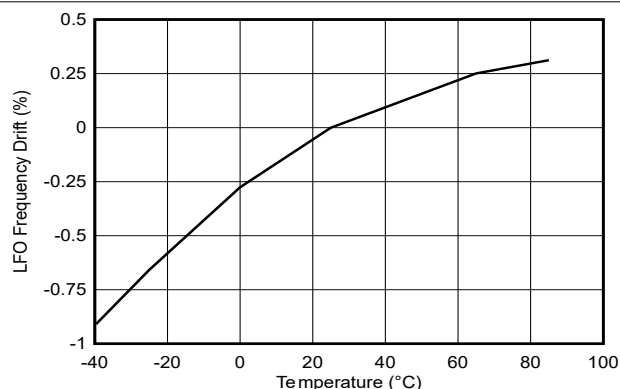


图 5-2. 低频振荡器漂移与温度间的关系

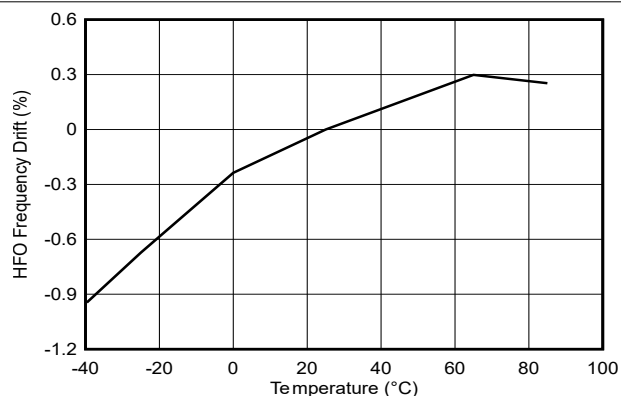


图 5-3. 高频振荡器漂移与温度间的关系

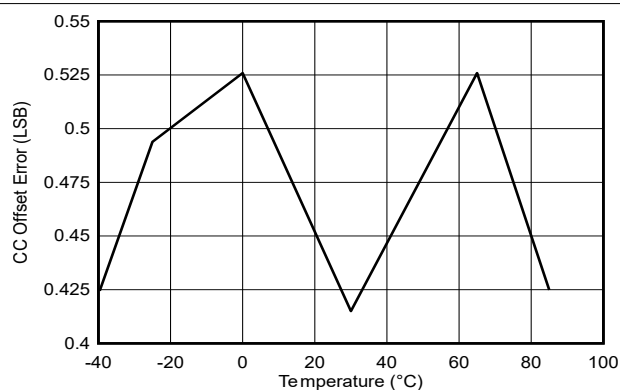
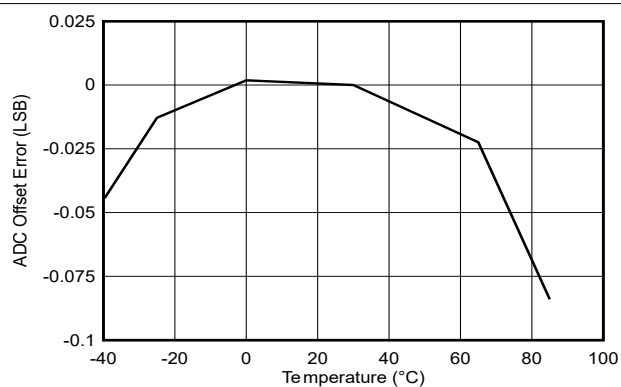
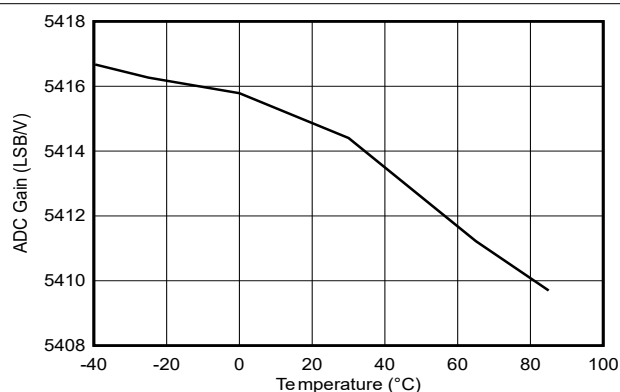


图 5-4. CC 失调电压误差与温度间的关系



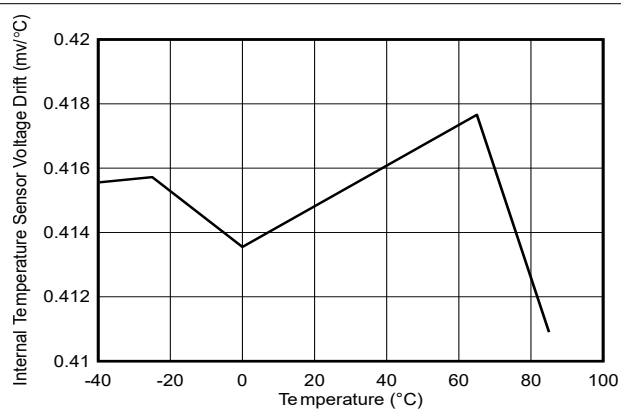
差分电芯输入模式

图 5-5. ADC 失调电压误差与温度间的关系



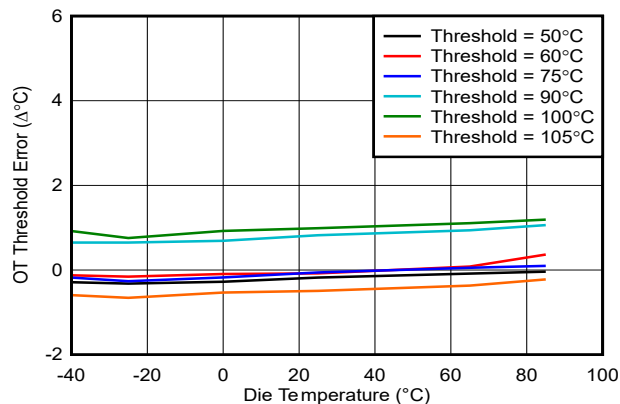
差分电芯输入模式

图 5-6. ADC 增益与温度间的关系



ΔV_{BE} 测量

图 5-7. 内部温度传感器电压漂移与温度间的关系



使用 103AT-2 NTC 收集的数据

图 5-8. 过热保护阈值与裸片温度间的关系

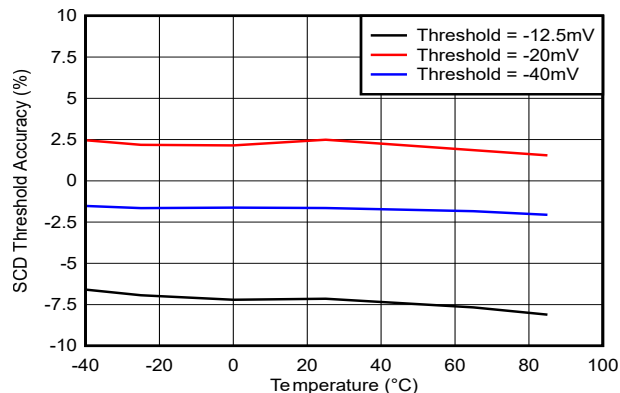
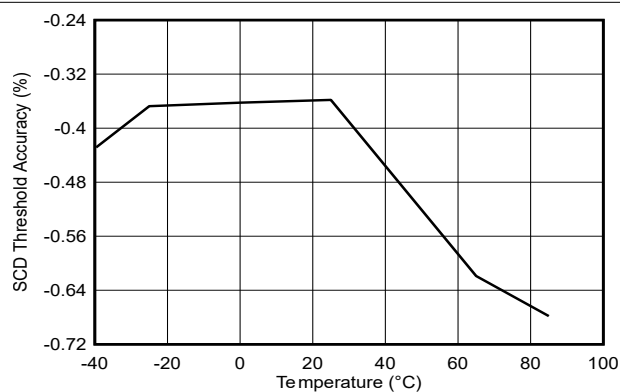


图 5-9. 放电短路保护阈值与温度间的关系



阈值设置为 -100mV

图 5-10. 放电短路保护阈值与温度间的关系

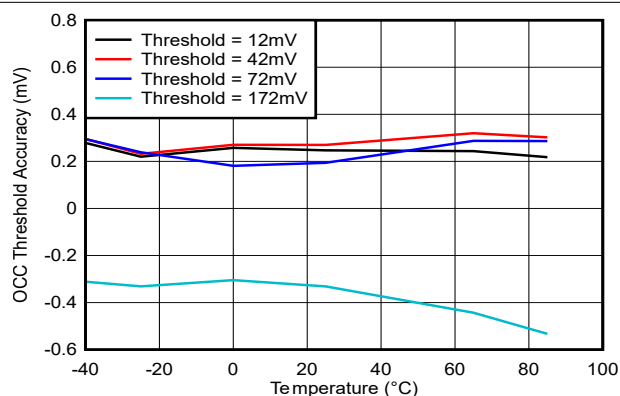


图 5-11. 充电过流保护阈值与温度间的关系

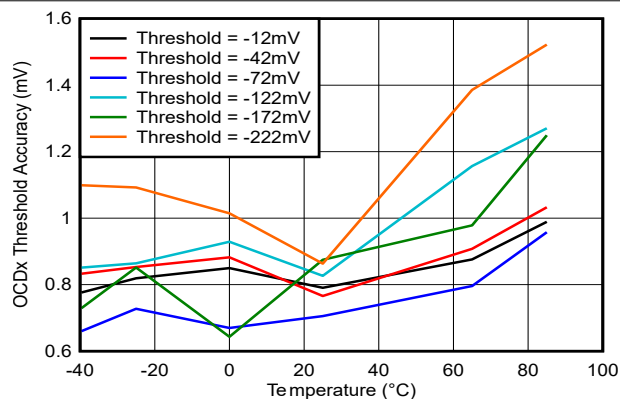
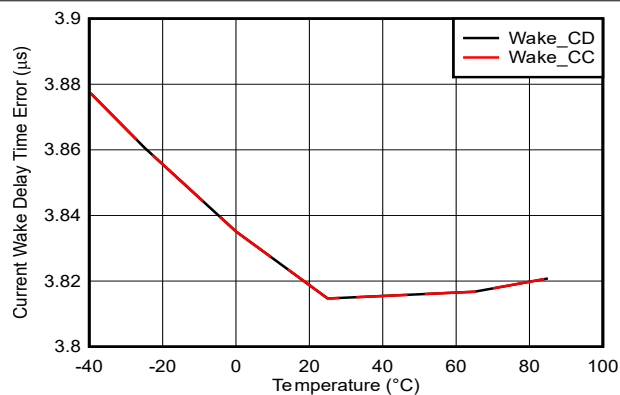
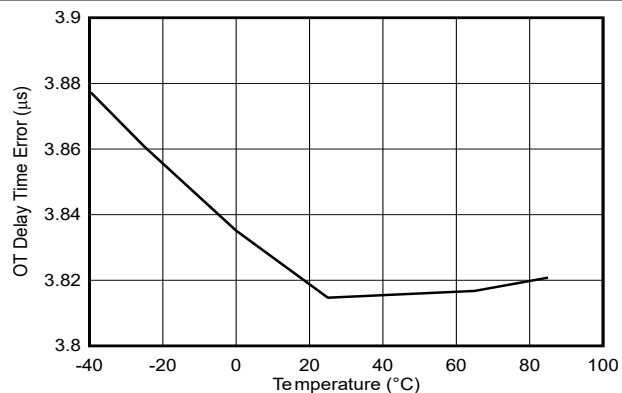


图 5-12. 放电过流保护阈值与温度间的关系



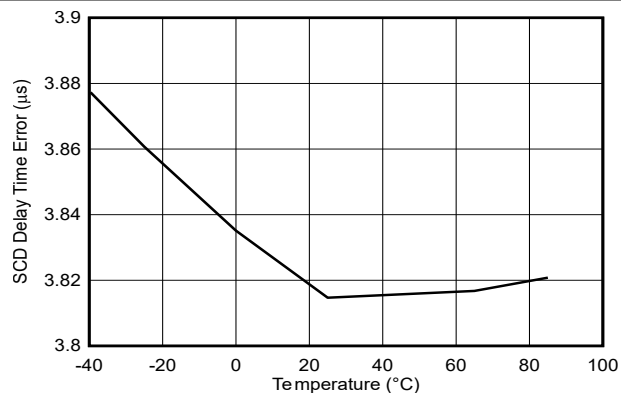
包括内部延迟和 LFO 误差

图 5-13. 电流唤醒延迟时间误差与温度间的关系



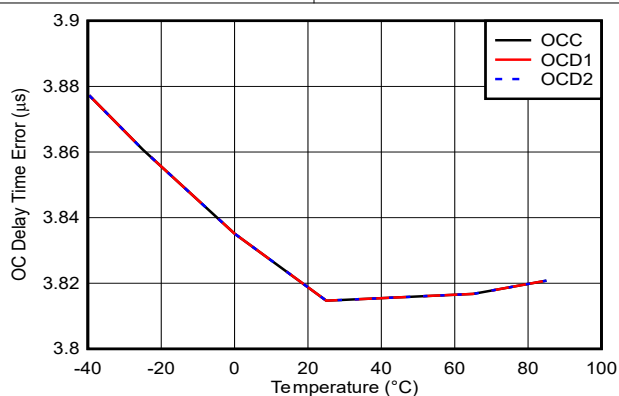
包括内部延迟和 LFO 误差

图 5-14. 过热延迟时间误差与温度间的关系



包括内部延迟和 LFO 误差

图 5-15. 放电短路保护延迟时间误差与温度间的关系



包括内部延迟和 LFO 误差

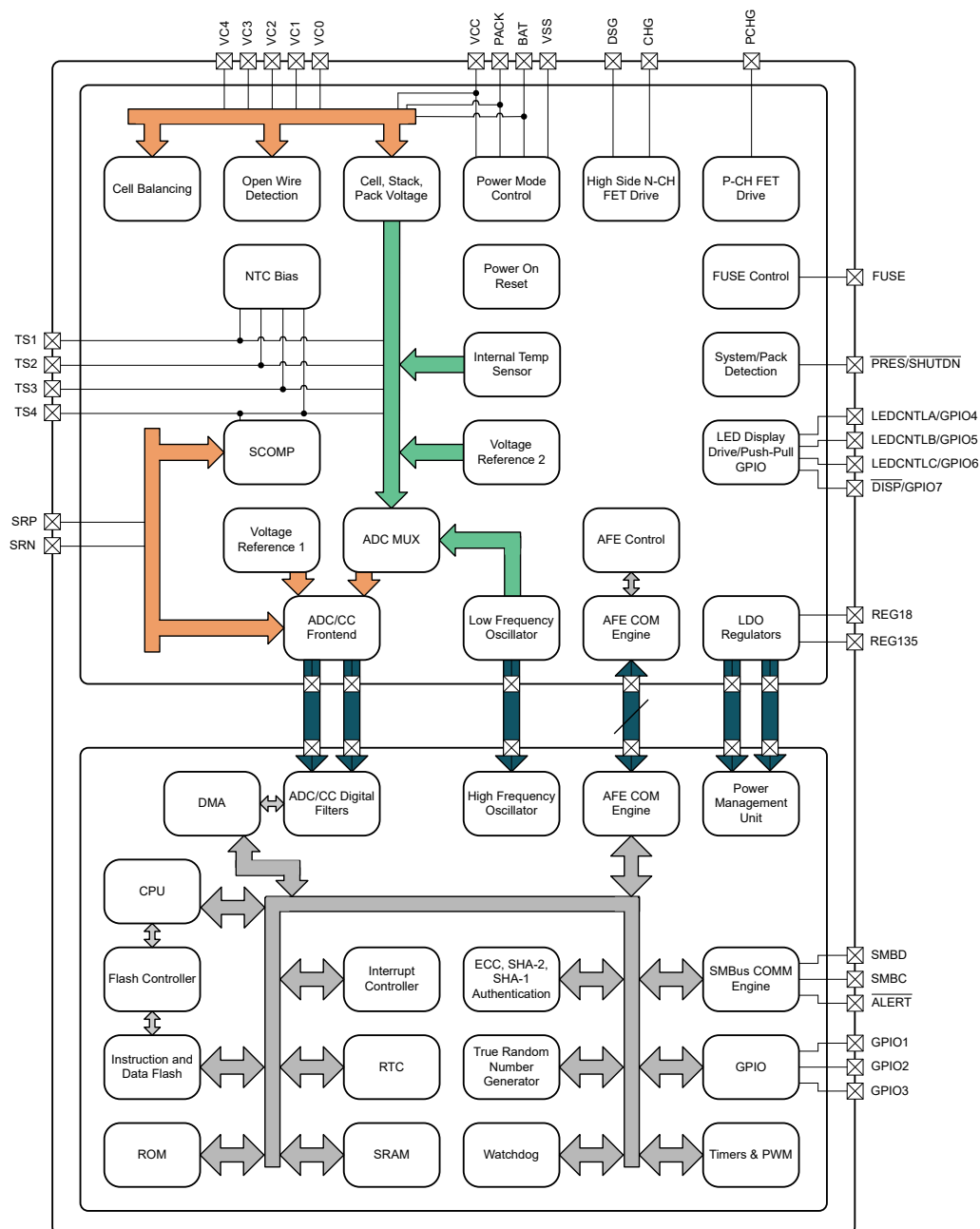
图 5-16. 过流保护延迟时间误差与温度间的关系

6 详细说明

6.1 概述

BQ41Z50 器件采用已获专利的 **Dynamic Z-Track™** 技术，是一款高度集成的器件。它采用基于闪存的固件和集成硬件保护，可为包含 2 至 4 节串联电芯的电池组架构提供完整的解决方案，并使用先进的超低功耗 32 位 RISC 处理器处理指令和数据。这种完全集成式、单芯片、基于封装的解决方案可测量并准确记录锂离子或锂聚合物电池的可用容量、电压、电流、温度和其他关键参数（包括诊断使用寿命数据监控器和黑盒记录器），并通过 SMBus v3.2 兼容接口将这些信息报告给系统主机控制器。

6.2 功能方框图



6.3 特性说明

6.3.1 初级 (一级) 安全特性

BQ41Z50 支持各种可以轻松配置的电池和系统保护特性。

主要保护特性包括：

- 电芯欠压 (CUV)
- 电芯过压 (COV)
- AFE 过热 (OT)
- 放电短路 (SCD)
- 充电过流 (OCC)
- 放电过流 1 (OCD1)
- 放电过流 2 (OCD2)
- 充电过热 (OTC)
- 放电过热 (OTD)
- 过热 FET (OTF)
- 充电欠温 (UTC)
- 放电欠温 (UTD)
- 主机看门狗 (HWD)
- 预充电超时 (PTO)
- 充电超时 (CTO)
- 过充电 (OC)
- 过充电电压 (CHGV)
- 过充电电流 (CHGC)
- 过预充电电流 (PCHGC)

6.3.2 次级 (二级) 安全特性

BQ41Z50 的次级安全特性可用于通过 FUSE 引脚指示更严重的故障。这个引脚可用来熔断内嵌式保险丝，从而永久禁止电池包充电或放电。

次级安全特性可针对以下情况提供保护：

- 电芯欠压安全 (SUV)
- 电芯过压安全 (SOV)
- 电池包过压安全 (SOVP)
- 充电过流安全 (SOCC)
- 放电过流安全 (SOCD)
- 过热安全 (SOT)
- FET 过热安全 (SOF)
- 开路检测 (OWD)
- 热敏电阻开路
- 静止时电压不平衡 (VIMR)
- 运行时电压不平衡 (VIMA)
- CHG FET 故障 (CFET)
- DSG FET 故障 (DFET)
- 预充电容量过大 (OPC)
- 保险丝故障 (FUSE)
- AFE 寄存器故障 (AFER)
- AFE 通信故障 (AFEC)
- 二级保护器跳闸 (2LVL)
- 指令闪存校验和故障 (IFC)

- 电芯连接开路 (OPNCELL)
- 数据闪存磨损故障 (DFW)

6.3.3 充电控制特性

BQ41Z50 充电控制特性包括：

- 支持 JEITA 温度范围。根据工作温度范围报告充电电压和充电电流
- 允许将标准温度范围拆分为两个子范围，并允许根据电芯电压来改变充电电流，以适应更复杂的充电模式
- 使用 SMBus 广播报告恒流充电所需的适当充电电流，以及为智能充电器进行恒压充电所需的适当充电电压
- 在充电过程中，利用基于电压的电芯均衡算法，逐步减小电池包在充满电状态下电池电芯的电荷差。可以设置电压阈值，以激活电芯均衡功能。这可防止充满电的电芯过度充电和性能过度下降，还可通过防止过早终止充电来增加电池包的可用能量。
- 支持预充电
- 支持在电池包温度超出温度范围时的充电禁止和充电暂停功能
- 报告充电故障并通过充电和放电警报指示荷电状态

6.3.4 Gas Gauging

BQ41Z50 使用 Dynamic Z-Track™ 算法测量和计算电池电芯的可用容量。BQ41Z50 器件累积记录充电和放电电流，并在充电电流测量中补偿电池温度、荷电状态和弛豫时间常数的影响。BQ41Z50 会估算电池的自放电，并且还根据温度调整自放电估算。该器件还支持 TURBO 模式，使 BQ41Z50 能够为 MCU 提供必要的信息，以确定可应用的峰值功耗水平，不会导致系统复位或瞬态电池电压电平尖峰触发终止标志。

有关动态 Z-Track™ 算法的理论和实现的更多信息，请参阅 [DZT 应用手册](#)。

6.3.5 寿命数据记录特性

BQ41Z50 可为多个关键电池参数提供寿命数据记录特性。如果检测到 RAM 和数据闪存中的值存在差异，则以下参数每 10 小时更新一次：

- 最大和最小电芯电压
- 最大电芯电压差
- 最大充电电流
- 最大放电电流
- 最大平均放电电流
- 最大平均放电功率
- 最高和最低电芯温度
- 最大电芯温度差
- 最高和最低内部传感器温度
- 最高 FET 温度
- 安全事件发生次数以及发生事件的最后一个周期
- 有效充电终止次数以及有效充电终止的最后一个周期
- Qmax 和 Ra 更新次数以及 Qmax 和 Ra 更新的最后一个周期
- 关断事件数量
- 每个电芯的电芯均衡时间（如果检测到差异，则该数据每 2 小时更新一次。）
- FW 总运行时间和在每个温度范围内所用的时间（如果检测到差异，则该数据每 2 小时更新一次。）

6.3.6 身份验证

除了基于 SHA-1 和 SHA-2 的身份验证之外，BQ41Z50 器件还支持主机使用椭圆曲线加密 (ECC) 进行身份验证，该技术在身份验证过程中使用 233 位密钥系统。BQ41Z50 器件采用 EC-KCDSA 版本的 ECC 身份验证。此外，ECC 私钥只需存储在电池包管理器中，这使得基于 ECC 的密钥管理更加简单安全。签名时间将小于 100ms，支持此响应时间的 FW 架构可实现更高级别的保护。

有关 BQ41Z50 器件上 ECC 身份验证的更多信息，请参阅 [ECC 应用手册](#)。

6.3.7 配置

6.3.7.1 振荡器功能

BQ41Z50 完全集成了系统振荡器，无需任何外部元件即可支持此特性。

6.3.7.2 实时时钟

BQ41Z50 包含可提供以下信息的实时时钟 (RTC)：

- 日历
 - 4 位数年份，可自动调整闰年
 - 月份
 - 月中某天
 - 周中某天
- 一天中的时间
 - 小时 (24 小时制，可选择夏令时调整)
 - 分钟
 - 秒

RTC 源自集成的低频振荡器，可在除 SHUTDOWN 外的所有功耗模式下启用。

6.3.7.3 系统存在运行

BQ41Z50 会定期 (250ms) 检查 $\overline{\text{PRES}}$ 引脚。如果 $\overline{\text{PRES}}$ 输入被外部系统拉至接地，BQ41Z50 会将这种情况检测为系统存在。

6.3.7.4 紧急关断

为了进行电池维护，取出电池之前，紧急关断特性可通过连接 $\overline{\text{SHUTDN}}$ 引脚的按钮操作来关断嵌入式电池包系统。 $\overline{\text{SHUTDN}}$ 引脚的高电平至低电平转换会向 BQ41Z50 发送信号，以关闭 CHG 和 DSG FET，从而断开系统的电源以安全地取出电池包。当 $\overline{\text{SHUTDN}}$ 引脚检测到另一个高电平至低电平转换，或在达到数据闪存可配置超时的情况下，CHG 和 DSG FET 可再次导通。

6.3.7.5 2、3 或 4 节串联电芯配置

在 2 节串联电芯配置中，VC4 短接至 VC3 和 VC2。在 3 节串联电芯配置中，VC4 短接至 VC3。

6.3.7.6 电芯均衡

在充电或静止状态时，该器件通过旁通每节电芯的电流来支持电芯均衡。如果使用该器件的内部旁路，最多可以旁通 25mA 电流，并可同时旁通多节电芯。通过使用外部电芯均衡电路，可以实现更高的电芯均衡电流。在外部电芯均衡模式下，一次只能对一节电芯进行均衡。

电芯均衡算法可确定需要旁通的电荷量，以均衡所有电芯的容量。

6.3.7.7 LED 显示

BQ41Z50 具有内部电流阱来支持 3 段式 LED 显示屏，用于指示剩余容量和/或永久故障 (PF) 错误代码。必须使用外部 LDO 来驱动 LED 显示屏。

6.3.8 电池参数测量

6.3.8.1 充电和放电计数

BQ41Z50 使用一个积分 Δ - Σ 模数转换器 (ADC) 来测量库仑和电流，并使用第二个 Δ - Σ ADC 来测量单个电芯及电池的电压和温度。积分 Δ - Σ ADC 通过测量 SRP 和 SRN 端子之间的小值检测电阻上的压降来测量电池的充电/放电流，其连接方式应使 BQ41Z50 能够在 $V_{\text{SR}} = V_{\text{SRP}} - V_{\text{SRN}}$ 为正时检测到充电活动，在 $V_{\text{SR}} = V_{\text{SRP}} - V_{\text{SRN}}$ 为负时检测到放电活动。积分 ADC 可测量 -0.2V 至 0.2V 范围内的双极信号。BQ41Z50 使用内部低频振荡器，在一段时间内对信号进行连续积分。

6.3.8.2 电压

BQ41Z50 以 250 毫秒的间隔更新各个串联电芯电压。BQ41Z50 的内部 ADC 测量电压，然后适当地对其进行缩放和校准。该数据还用于计算电芯阻抗，用于实现 Dynamic Z-Track™ 电量监测。

6.3.8.3 电流

BQ41Z50 使用 SRP 和 SRN 输入来测量和计算电池充电和放电电流（采用 $0.5\text{m}\Omega$ 至 $3\text{m}\Omega$ 典型值检测电阻）。

6.3.8.4 温度

BQ41Z50 具有一个内部温度传感器和用于四个外部温度传感器的输入。所有五个温度传感器选项均可针对电芯或 FET 温度用途单独启用和配置。除了使用不同热敏电阻曲线的 FET 温度外，还提供了两种可配置的热敏电阻模型用于监控电芯温度。

TS4 用作硬件故障检测 (SCOMP) 块的温度输入，以实现 AFE 过热 (OT) 初级安全特性。如果使用 AFE OT 保护，则在 TS4 引脚和 VSS 之间连接一个外部热敏电阻。

6.3.8.5 通信

BQ41Z50 支持具有符合 SBS 规范的数据包错误检查 (PEC) 选项的双线制 SMBus v3.2 接口。

6.3.8.5.1 SMBus 开启和关闭状态

BQ41Z50 在 SMBC 和 SMBD 处于逻辑低电平的时间不低于一秒时检测到 SMBus 关闭状态。清除此状态需要 SMBC 或 SMBD 转换为高电平。通信总线将在 1ms 内恢复活动。

6.3.8.5.2 SBS 命令

有关更多详细信息，请参阅 [BQ41Z50 技术参考手册](#)。

6.4 器件功能模式

BQ41Z50 支持多种电源模式以降低功耗：

- 在正常模式下，BQ41Z50 器件以 250ms 的间隔执行测量、计算、保护决策和数据更新。在这些间隔之间，BQ41Z50 器件处于降低的功率级。
- 在 SLEEP 模式下，BQ41Z50 器件以可调节的时间间隔执行测量、计算、保护决策和数据更新。在这些间隔之间，BQ41Z50 器件处于降低的功率级。BQ41Z50 具有唤醒功能，可在检测到电流流动或故障时退出 SLEEP 模式。
- 在关断模式下，BQ41Z50 被完全禁用。

7 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规格，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户负责确定元件是否适合其用途，以及验证和测试其设计实现以确认系统功能。

7.1 应用信息

BQ41Z50 是一款具有初级保护支持的电量监测计，可与 2 至 4 节串联锂离子或锂聚合物电池包搭配使用。要为特定电池包实施和设计一组全面的参数，用户可以使用 Battery Management Studio (bqStudio)，它是开发过程中安装在 PC 上的图形用户界面工具。bqStudio 工具中安装的固件具有这款产品的默认值。使用 bqStudio 工具时，一旦知道系统参数，例如用于保护的故障触发阈值、启用和禁用某些运行特性、电芯配置和适合所用电芯的化学成分等，就可以在开发过程中更改这些默认值以满足特定的应用要求。该数据称为“黄金映像”。

IC ground should be connected to the 1N cell tab.

图 7-1. 应用原理图

7.2.1 设计要求

表 7-1 展示了主要参数的默认设置。使用 bqStudio 工具更新设置，以满足特定应用或电池包配置要求。

进行任何电量监测测试之前，应校准该器件。按照 bqStudio **Calibration** 页面对器件进行校准，并使用 bqStudio **Chemistry** 页面为器件更新匹配的化学成分曲线。

表 7-1. 设计参数

设计参数	示例
电芯配置	3S1P (3 节串联 + 1 节并联) ⁽¹⁾
设计容量	4400mAh
器件化学成分	1210 (LiCoO ₂ /石墨化碳)
标准温度下的电芯过压	4300mV
电芯欠压	2500mV
关断电压	2300mV
充电模式下的过流	6000mA
放电模式下的过流	-6000mA
放电模式下的短路	0.1V/R _{Sense} (SRP、SRN 上)
过压保护	4500mV
电芯均衡	禁用
内部和外部温度传感器	使用外部温度传感器。
欠温充电	0°C
欠温放电	0°C
BROADCAST 模式	禁用

(1) 首次使用该器件时，如果使用 2S 电池包，则应将充电器或电源连接到 PACK+ 端子，以防止器件关断。然后，在断开充电器连接之前，更新电芯配置。

7.2.2 详细设计过程

7.2.2.1 高电流通路

高电流通路从电池包的 PACK+ 端子开始。当充电电流从 PACK+ 端子流出时，它会流经保护 FET、化学保险丝、锂离子电芯和电芯连接点、检测电阻，然后返回到 PACK- 端子 (请参阅图 7-2)。此外，一些元件放置在 PACK+ 和 PACK- 端子之间，可减少静电放电的影响。

7.2.2.1.1 保护 FET

为给定应用选择 N 沟道充电和放电 FET。CSD17308Q3 非常适合大多数便携式电池应用。有关详细信息，请参阅 [CSD17308Q3 30V N 沟道 NexFET™ 功率 MOSFET](#)。TI CSD17308Q3 是一款 47A、30V 器件，在栅极驱动电压为 8V 时具有 8.2mΩ 的 R_{DS(ON)}。

如果使用预充电 FET，则需要计算 R2，以将预充电电流限制为所需的速率。请务必考虑串联电阻的功率损耗。预充电电流限制为 (V_{CHARGER} - V_{BAT})/R2，最大功率耗散为 (V_{CHARGER} - V_{BAT})²/R2。

所有保护 FET 的栅极均由栅极和源极之间的高阻值电阻拉至源极，以确保在栅极驱动开路时将其关断。

电容器 C1 和 C2 有助于在 ESD 事件期间保护 FET。使用两个器件可确保在其中一个器件短路时正常运行。为了提供良好的 ESD 保护，电容器引线的覆铜布线电感必须设计为尽可能短且宽。确保 C1 和 C2 的额定电压足以在其中一个电容器短路时抑制施加的电压。

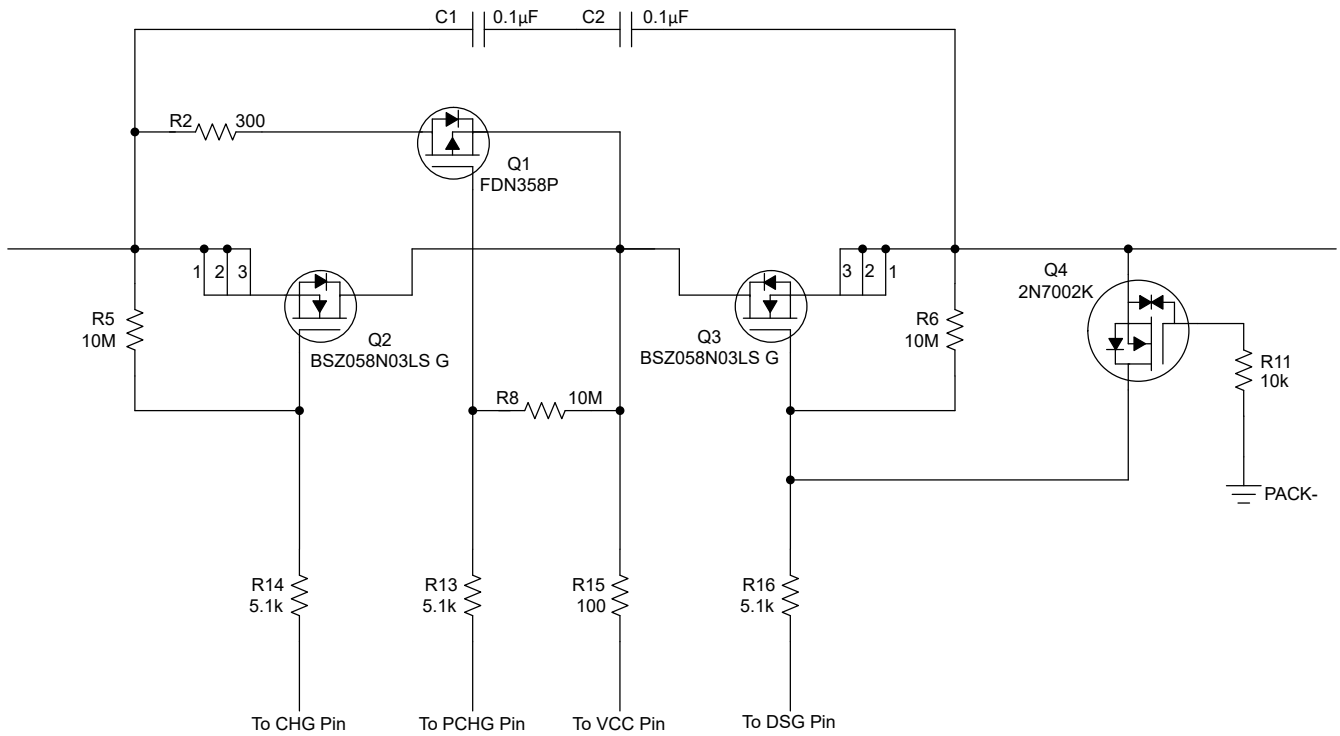


图 7-2. BQ41Z50 保护 FET

7.2.2.1.2 化学保险丝

化学保险丝 (Dexerials、Uchihashi 等) 在 BQ296103 次级电压保护 IC 或 BQ41Z50 电量监测计 FUSE 引脚的指令下点燃。更多相关信息，请参阅 [BQ296xxx 具有稳压输出电源且适用于 2 节、3 节和 4 节串联锂离子电池的过压保护器](#)。其中任一事件都会给 Q6 的栅极施加正电压，如图 7-3 所示，然后从保险丝的第三个端子灌入电流，使保险丝点燃并永久断开。

请务必仔细检查保险丝规格，并将所需的点火电流与 N 沟道 FET 提供的电流进行匹配。确保对该器件使用适当的电压、电流和 $R_{DS(ON)}$ 额定值。第 7.2.2.2.5 中详细讨论了保险丝控制电路。

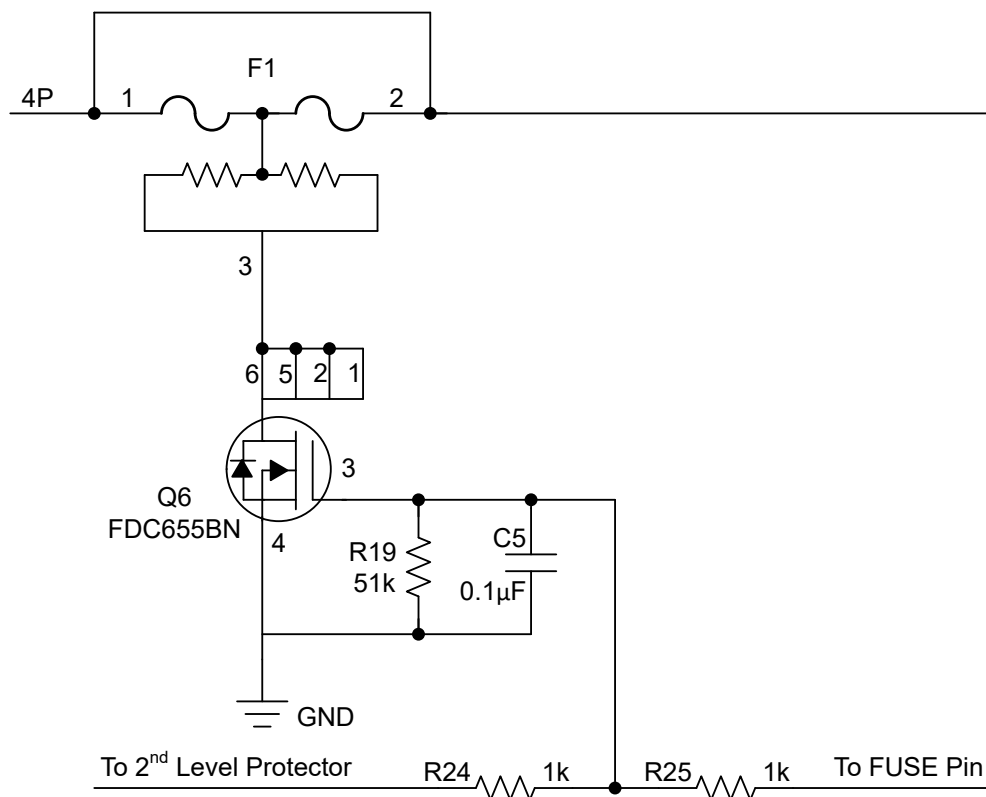


图 7-3. FUSE 电路

7.2.2.1.3 锂离子电芯连接

关于电芯连接，必须记住的一点是，高电流会流经顶部和底部连接点；因此，这些位置的电压检测引线必须采用开尔文连接，避免由于高电流铜布线上的压降导致任何误差。图 7-4 中标记为 4P 的位置表示最正极电池节点的开尔文连接。当电量监测计测量底部电芯电压时，需要在 1N 与低电流接地端之间进行单点连接，以避免长布线产生不必要的压降。

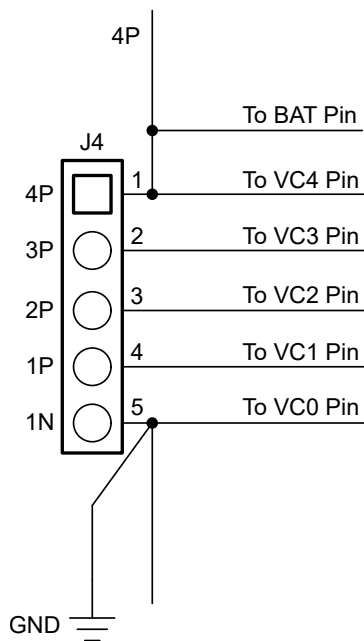


图 7-4. 锂离子电芯连接

7.2.2.1.4 检测电阻

与电芯连接一样，检测电阻上的开尔文连接质量至关重要。检测电阻的温度系数不得大于 50ppm，以更大程度地减小电流测量随温度的漂移。选择检测电阻的值，使其与 BQ41Z50 可用的过流和短路范围相对应。选择尽可能小的值，以便更大限度地减小短路期间 BQ41Z50 V_{SS} 节点上产生的负电压。该引脚的绝对最小值为 -0.3V。只要确保良好的开尔文检测，就可以使用并联电阻。该器件设计支持 0.5m Ω 至 3m Ω 检测电阻。

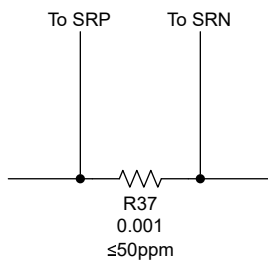


图 7-5. 检测电阻

7.2.2.1.5 降低 ESD

在 PACK+ 和 PACK- 端子之间放置一对串联 0.1 μ F 陶瓷电容器，有助于缓解外部静电放电。串联的两个器件可确保在其中一个电容器短路时电池包能够继续运行。

或者，可以选择在端子上放置诸如 SMBJ2A 或火花隙之类的 tranzorb，以进一步提高 ESD 抗扰度。

7.2.2.2 电量监测计电路

电量监测计电路包括 BQ41Z50 及其外设元件。这些元件分为以下几组：库仑计数器差分低通滤波器、LDO、系统存在、SMBus 通信、保险丝电路和 LED。

7.2.2.2.1 库仑计数接口

BQ41Z50 使用一个积分 Δ - Σ ADC 来测量电流。在检测电阻与器件的 SRP 和 SRN 输入之间添加 100 Ω 电阻 (R35 和 R36)。在 SRP 和 SRN 输入端放置一个 0.1 μ F (C20) 滤波电容器。如果电路需要，可在器件的 SRP 和 SRN 输入端添加可选的 0.1 μ F 滤波电容器，以进行额外的噪声滤波。

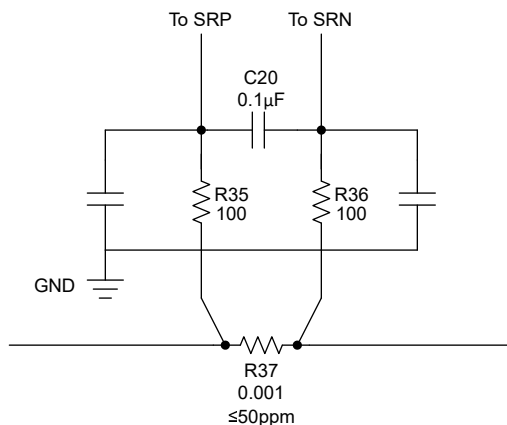


图 7-6. 差分滤波器

7.2.2.2.2 低压降稳压器 (LDO)

BQ41Z50 包含两个支持该器件的低压降稳压器：REG18 和 REG135。

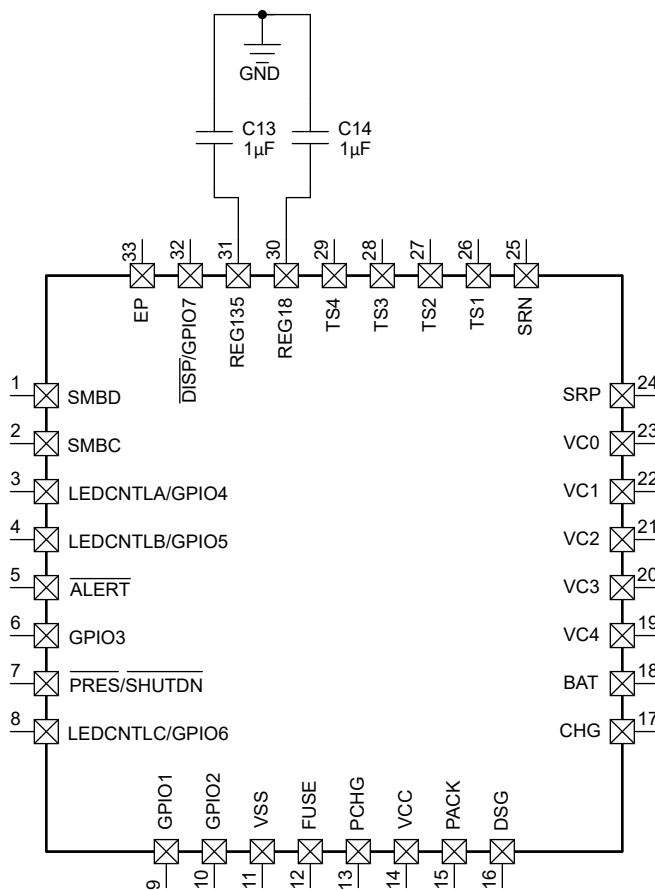


图 7-7. LDO 的外部电容器

7.2.2.2.2.1 REG18

需要在尽可能靠近 REG18 引脚的位置连接一个 $1\ \mu\text{F}$ 电容器 (C14)，以实现出色运行。

LDO 具有输出短路保护功能。

REG18 引脚可在器件外部用于为其他电路供电，但最大电流不得超过 $I_{REG18EXT}$ 。

7.2.2.2.2 REG135

需要在尽可能靠近 REG135 引脚的位置连接一个 $1\mu F$ 电容器 (C13)，以实现出色运行。

REG135 输出不可用于外部电路。

7.2.2.2.3 系统存在

系统存在信号用于通知电量监测计是将电池包安装在系统中还是从系统中卸下。在主机系统中，该引脚接地。在带有可拆卸电池包的应用中，偶尔会对 BQ41Z50 $\overline{PRES}$ 引脚进行采样，以测试系统存在情况。为了省电，电量监测计在每 250ms 一次的短暂采样脉冲期间使用 $\overline{PRES}$ 引脚上的内部弱上拉电阻。可以使用电阻将信号拉至低电平，并且总电阻不得大于 $340k\Omega$ ，以确保测试脉冲低于 VIL 限制。上拉电压源自 REG18。

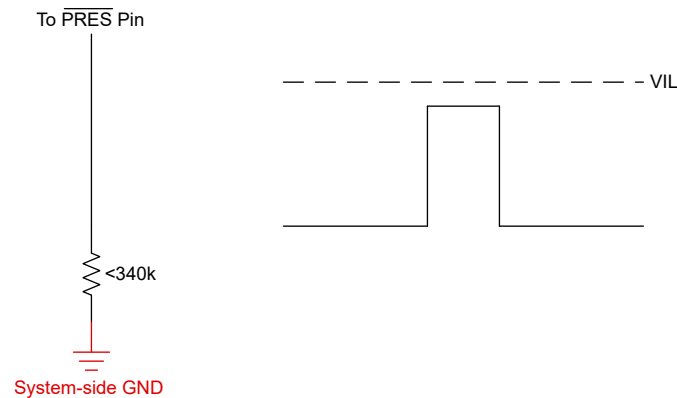


图 7-8. 系统存在下拉电阻

由于系统存在信号是与外界连接的电池包连接器的一部分，因此必须防止其受到外部静电放电事件的影响。 $\overline{PRES}$ 引脚具有集成的 ESD 保护电路。但是，ESD TVS 二极管 (U3) (例如 ESD 触点额定值为 30kV 的 TPD1E10B06) 可用于针对此类事件提供补充保护。

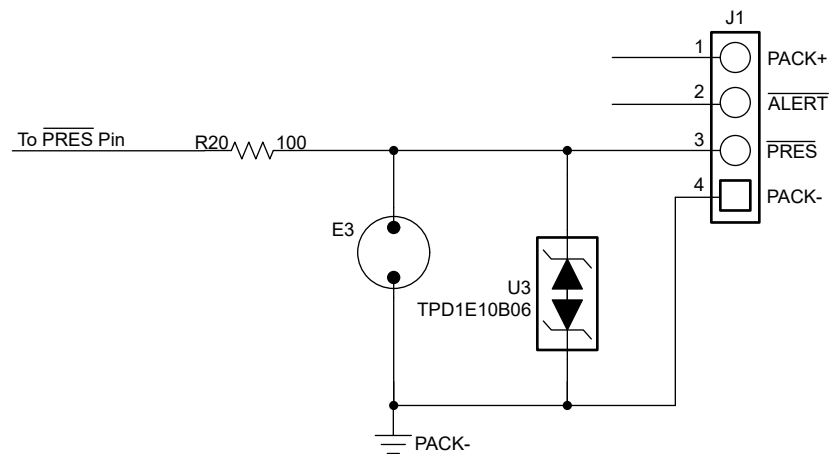


图 7-9. 系统存在 ESD 和短路保护

7.2.2.2.4 SMBus 通信

SMBus 时钟和数据引脚具有集成式高压 ESD 保护电路；但是，添加齐纳二极管或 ESD TVS 二极管 (U5 和 U6) 可提供更强大的 ESD 性能。

$\overline{\text{ALERT}}$ 引脚也具有集成式高压 ESD 保护电路。与 SMBus 引脚类似，可以添加齐纳二极管或 ESD TVS 二极管 (U2) 来提供更强大的 ESD 性能。

SMBus 时钟和数据线具有内部下拉电阻。当电量监测计检测到两条线路都为低电平时 (例如在取出电池包期间)，器件会进入 SLEEP 模式以节省电量。

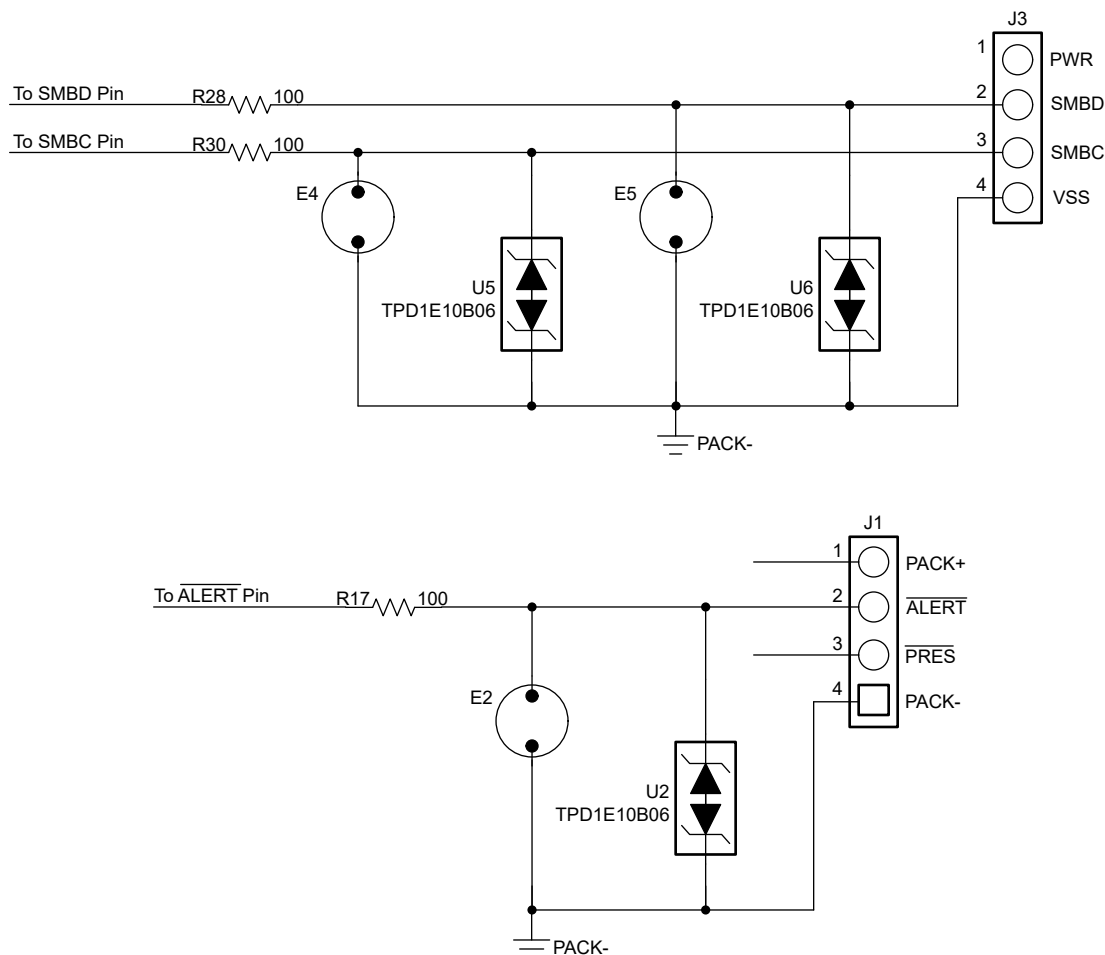


图 7-10. 针对 SMB 通信的 ESD 保护

7.2.2.2.5 FUSE 电路

BQ41Z50 的 FUSE 引脚设计为在违反各种安全标准之一时点燃化学保险丝。FUSE 引脚还会监控次级电压保护 IC 的状态。Q6 在化学保险丝的栅极处于高电平时将其点燃。BQ41Z50 的 6.5V 输出经 R24 和 R25 分压，可为 Q6 提供足够的栅极驱动，同时可在 FUSE 信号为高电平时，防止过大的反向电流进入 BQ296103。

使用 C5 通常是一种很好的做法，尤其在 RFI 抗扰度方面。如果需要，可以去除 C5，因为化学保险丝是相对较慢的器件，不受电芯连接过程中 FUSE 输出产生的任何亚微秒干扰的影响。

如果未使用 FUSE 引脚，则应将其连接到 VSS。

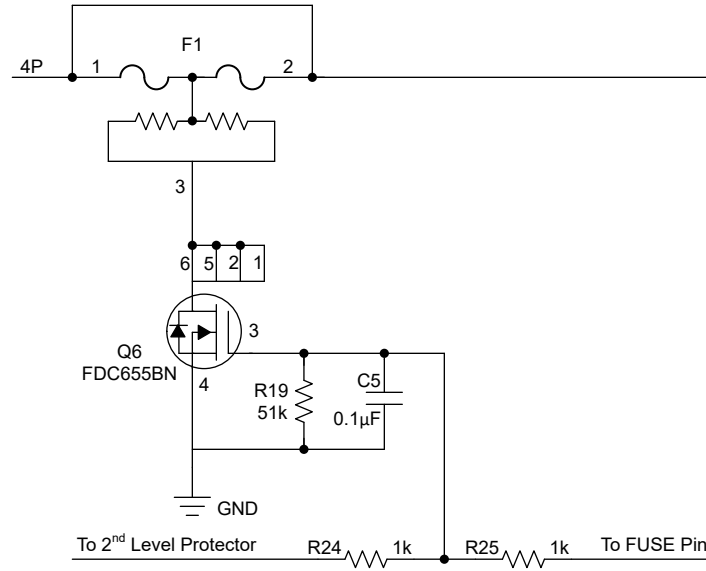


图 7-11. FUSE 电路

7.2.2.3 次级电流保护

BQ41Z50 提供次级过流和短路保护、电芯均衡、电芯电压多路复用和电压转换功能。以下内容探讨了电芯和电池输入、电池包和 FET 控制、温度输出和电芯均衡。

7.2.2.3.1 电芯和电池输入

每个电芯输入均由一个简单的 RC 滤波器进行调节，该滤波器在电芯连接期间提供 ESD 保护，并用于滤除不必要的电压瞬变。电阻值可在电芯均衡和安全保护之间进行某种权衡。

借助集成的电芯均衡 FET，AFE 能够绕过某个给定电芯或多个电芯周围的电芯电流，从而有效地均衡整个电池组。放置在电芯连接和 VCx 引脚之间的外部串联电阻用于设置均衡电流大小。内部 FET 的典型电阻为 95 Ω。建议在 100 Ω 和 1k Ω 之间连接串联输入电阻，以实现有效的电芯均衡。

在发生由短路事件引起的电压瞬态骤降时，BAT 输入使用二极管 (D2) 将其与电芯隔离并将其解耦。

此外，如 [节 7.2.2.1](#) 所述，必须在电池连接处用开尔文连接检测电芯的顶部和底部节点，以防大电流 PCB 铜层压降引起的电压检测误差。

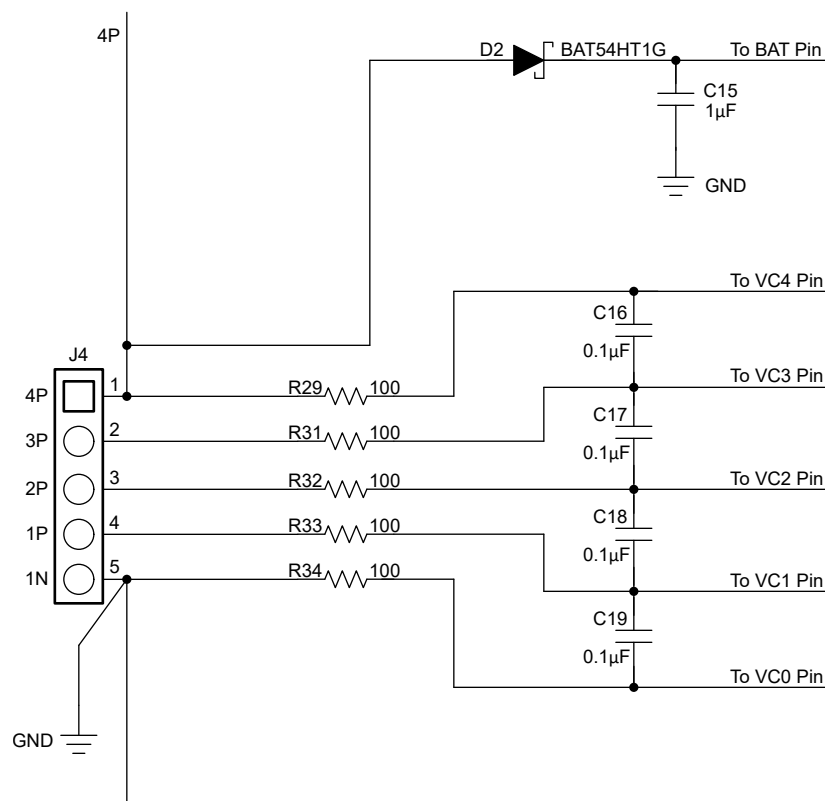


图 7-12. 电芯和 BAT 输入

7.2.2.3.2 外部电芯均衡

内部电芯均衡功能最多只能支持 25mA 的电流。外部电芯均衡是另一种实现更快电芯均衡的选项。有关详细信息，请参阅“[采用外部 MOSFET 快速实现电芯均衡](#)”应用手册。

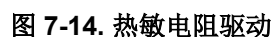
7.2.2.3.3 PACK 和 FET 控制

PACK 和 V_{CC} 输入通过充电器为 BQ41Z50 供电。PACK 输入还提供了一种测量和检测充电器是否存在的方法。



BQ41Z50 器件能够提供一个限流充电路径，通常用于低电池电压或低温充电。BQ41Z50 器件使用由 PCHG 控制的外部 P 沟道预充电 FET (Q1)。

对于 BQ41Z50 器件, TS1、TS2、TS3 和 TS4 在固件控制下提供热敏电阻驱动。每个引脚均通过集成式 $18\text{k}\Omega$ (典型值) 线性化上拉电阻启用, 以支持使用 $10\text{k}\Omega$ (25°C) NTC 外部热敏电阻, 例如 Mitsubishi BN35-3H103。该参考设计包含四个 $10\text{k}\Omega$ 热敏电阻: RT1、RT2、RT3 和 RT4。BQ41Z50 器件最多支持四个外部热敏电阻。将未使用的热敏电阻引脚连接到 VSS 并相应地配置数据闪存, 以禁用未使用热敏电阻引脚上的温度测量。



7.2.2.3.5 LED

三个 LED 控制输出端提供恒定电流阱来驱动外部 LED。这些输出端经过配置，可为多达 3 个 LED 提供电压和控制。必须使用外部偏置电压来驱动 LED 显示屏。LDO (如 [TPS70933DBVR](#))，可用于驱动 LED 显示屏。未使用的 LEDCNTLx 引脚可保持开路或可通过 20k Ω 电阻连接至 VSS。如果不使用 LED 功能，DISP 引脚应悬空或通过 20k Ω 电阻器连接到 VSS。

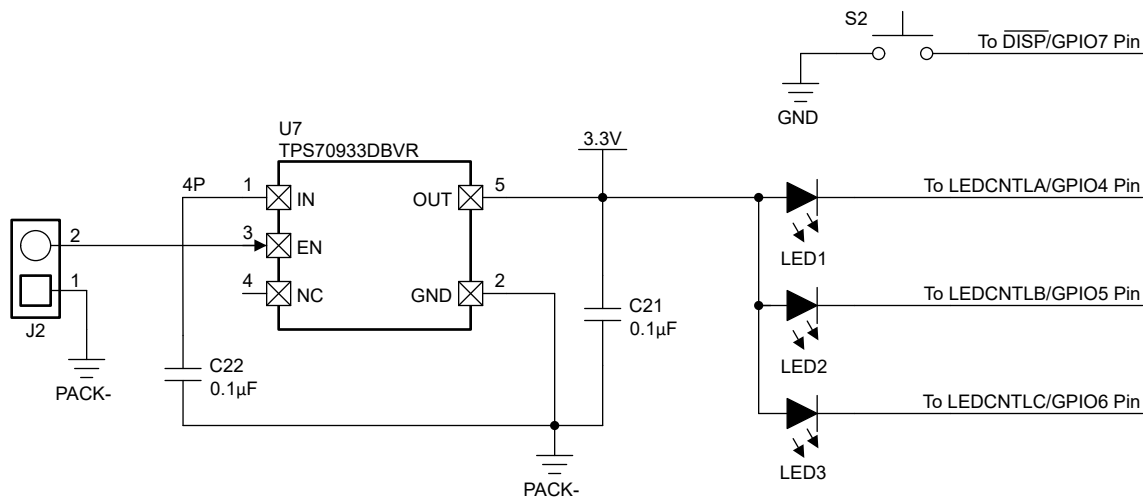
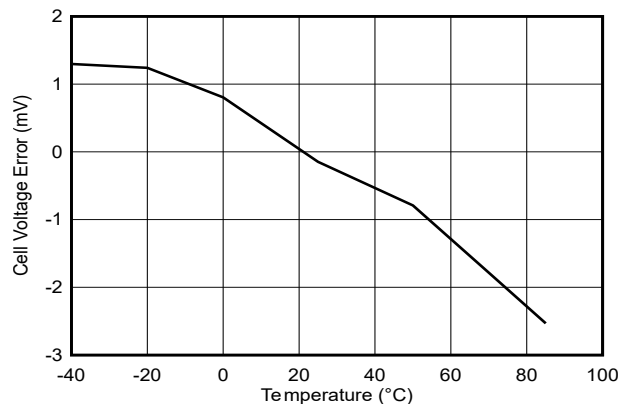


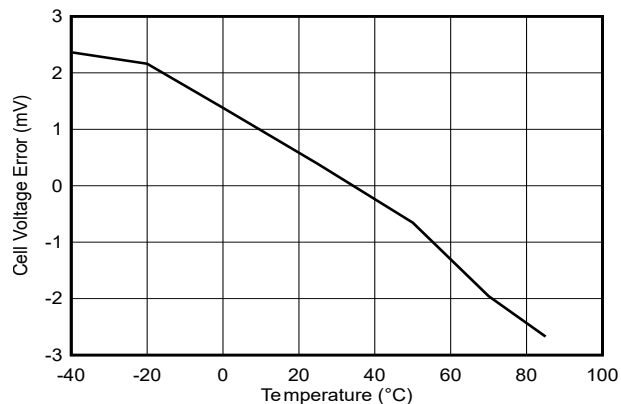
图 7-15. LED

7.2.3 应用曲线



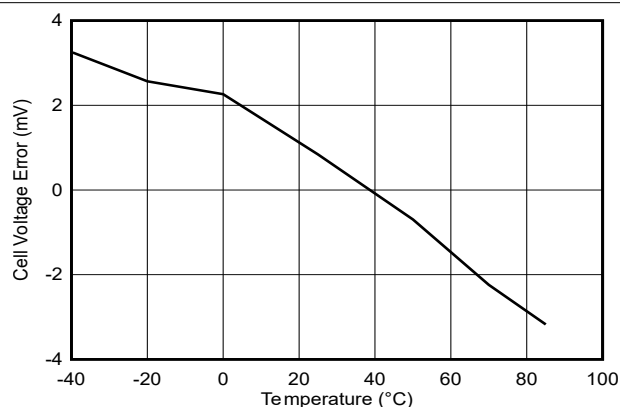
这是四个电芯之间的平均 V_{CELL} 。

图 7-16. 2.5V 下的 V_{CELL} 测量误差与温度间的关系



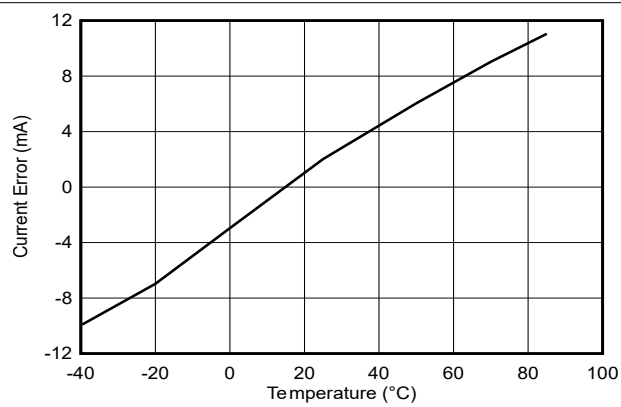
这是四个电芯之间的平均 V_{CELL} 。

图 7-17. 3.5V 下的 V_{CELL} 测量误差与温度间的关系



这是四个电芯之间的平均 V_{CELL} 。

图 7-18. 4.3V 下的 V_{CELL} 测量误差与温度间的关系



$I_{SET} = 1000\text{mA}$

图 7-19. 电流测量误差与温度间的关系

7.3 配置器件固件

有关开始使用 BQ41Z50 器件配置器件固件和测试的详细指导信息，请参阅 [BQ41Z50 EVM 用户指南](#)。

8 电源相关建议

器件根据运行条件动态管理其电源电压。通常，BAT 输入是器件的主电源。BAT 引脚应连接到电池组的正极端子。BAT 引脚的输入电压范围为 3V 至 28V。

VCC 引脚是辅助电源输入，在 BAT 电压降至最小 VCC 以下时激活。这样便可通过连接到 PACK 引脚的充电器（如有）为器件供电。VCC 引脚应连接到 CHG 和 DSG FET 的共漏极。充电器输入应连接到 PACK 引脚。

BAT 输入需要将一个 $1\mu\text{F}$ 电容器连接到 VSS，并尽可能靠近 BAT 引脚放置。BAT 输入还需要在电池组顶部和输入电容器之间使用一个二极管，以便在 PACK 短接至 VSS 时输入电容器不会放电。

VCC 输入不需要电容器，但如果添加了电容器，则应在尽可能靠近 VCC 引脚的位置连接一个 $1\mu\text{F}$ 电容器。

9 布局

9.1 布局指南

由于高电流布线和超低电流半导体器件基本不相容，因此电池电量监测计电路板是一个具有挑战性的环境。防止不必要的布线到布线耦合的妥善方法是采用元件放置，如图 9-1 所示，其中高电流部分位于电路板与电子器件相对的一侧。显然，由于机械方面的限制，许多情况下无法做到这一点。尽管如此，仍应尽力使高电流布线远离直接进入 BQ41Z50 的信号布线。IC 基准和寄存器可能会受到干扰，在极少数情况下，会因来自高电流路径的磁耦合和电容耦合而损坏。请注意，在浪涌电流和 ESD 事件期间，高电流布线会出现电感现象，会将不必要的噪声耦合到电量监测计电子器件的敏感节点中，如图 9-2 中所示。

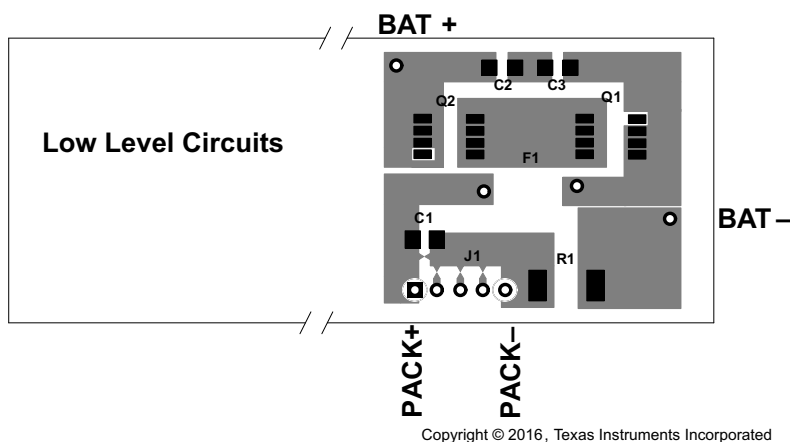


图 9-1. 分离高电流部分和低电流部分可提高抗噪能力

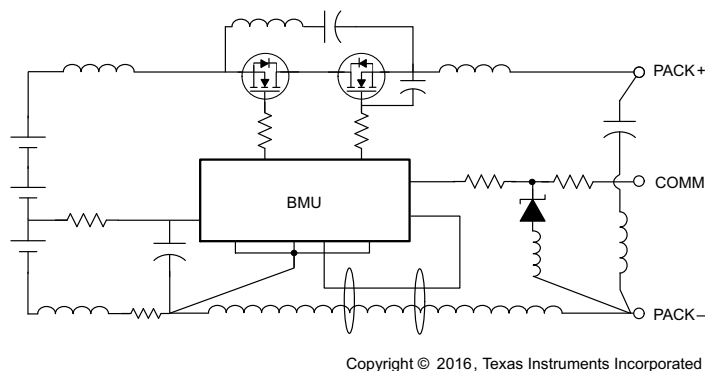


图 9-2. 避免高电流和低电平信号线之间的间距过近

开尔文电压检测对于精确测量电流以及顶部和底部电芯电压极其重要。所有滤波器元件尽可能靠近器件放置。从检测电阻到滤波器电路的布线应并联。在滤波器网络周围添加接地平面可提供额外的抗噪能力。图 9-3 和 图 9-4 展示了正确的开尔文电流检测。

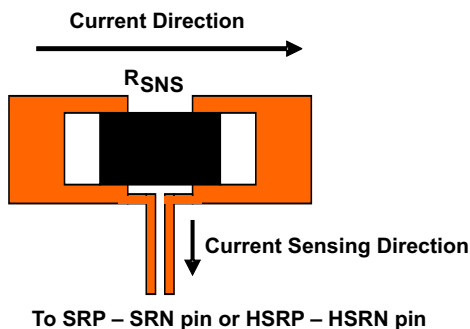


图 9-3. 检测电阻 PCB 布局

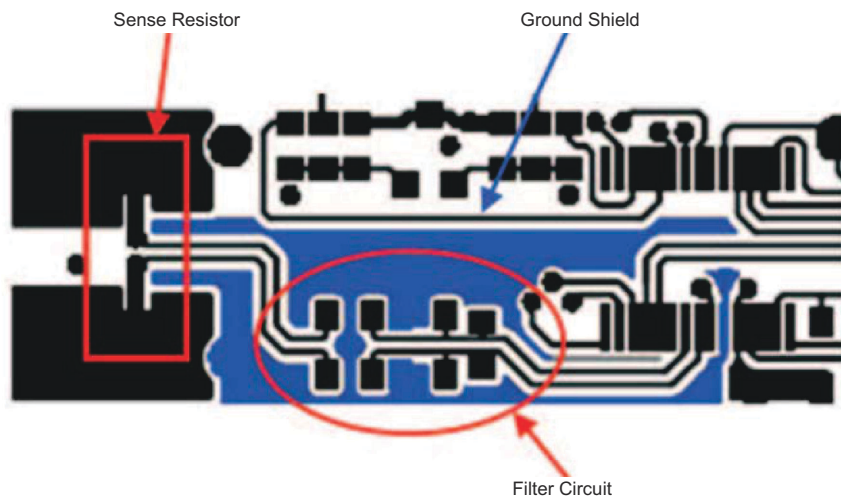


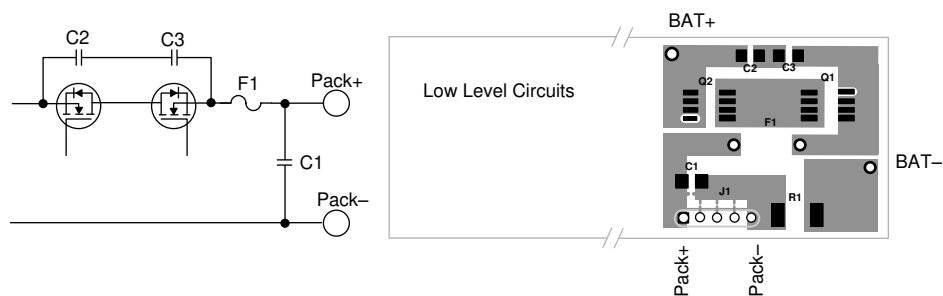
图 9-4. 检测电阻、接地屏蔽和滤波器电路布局

测试了一些提高系统级 ESD 弹性的建议，并显著提高了性能：

- 添加接地平面 — 接地平面用于向布局本身添加分布式电容，这会降低 IC 引脚上的电压。对于多层 PCB，请使用接地平面来分离信号层。添加更多层以提高 ESD 系统级性能。
- 确保安装 VCC 电容，并尽可能靠近监测计 IC。

9.1.1 保护器 FET 旁路电容器和电池包端子旁路电容器

一般原理是使用宽覆铜布线来降低旁路电容器电路的电感。图 9-5 中的布局示例演示了这项技术。



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 9-5. 使用宽覆铜布线降低旁路电容器 C1、C2 和 C3 的电感

9.1.2 ESD 火花隙

通过连接器位置的火花隙可保护 SMBus 时钟、数据和其他通信线路免受 ESD 影响。建议使用图 9-6 中的模式，使点与点之间的间距保持为 0.2mm。

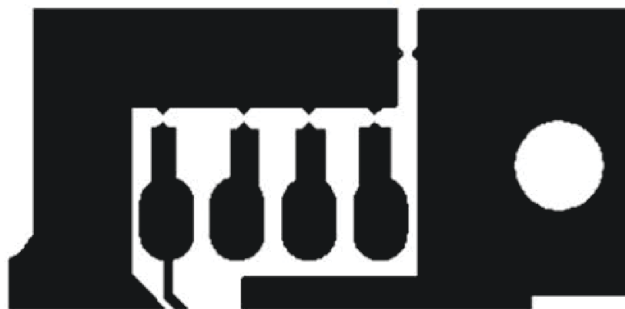


图 9-6. 建议的火花隙模式有助于保护通信线路免受 ESD 影响

9.2 布局示例

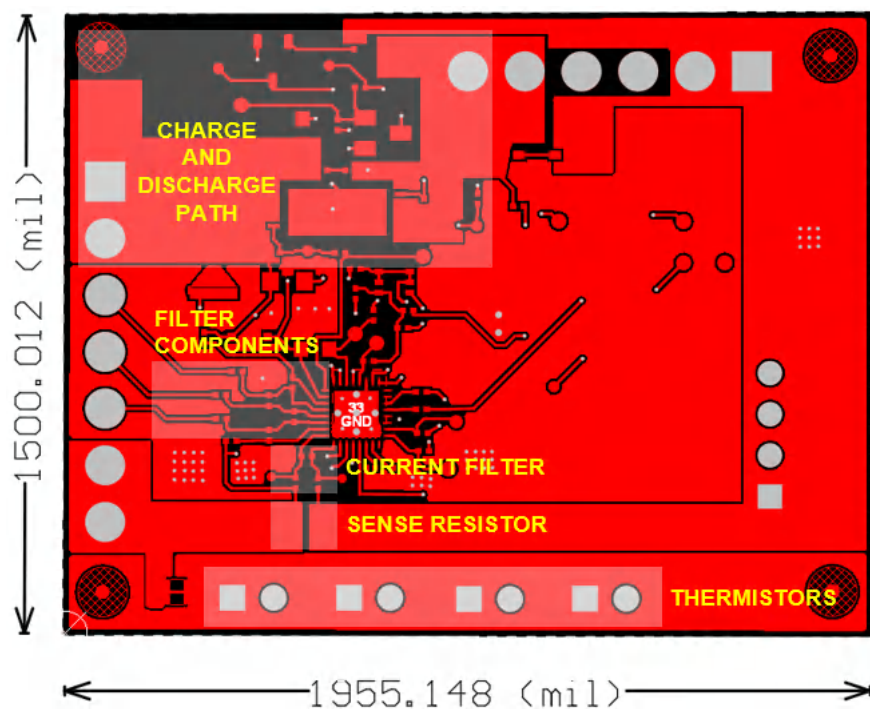


图 9-7. 顶层

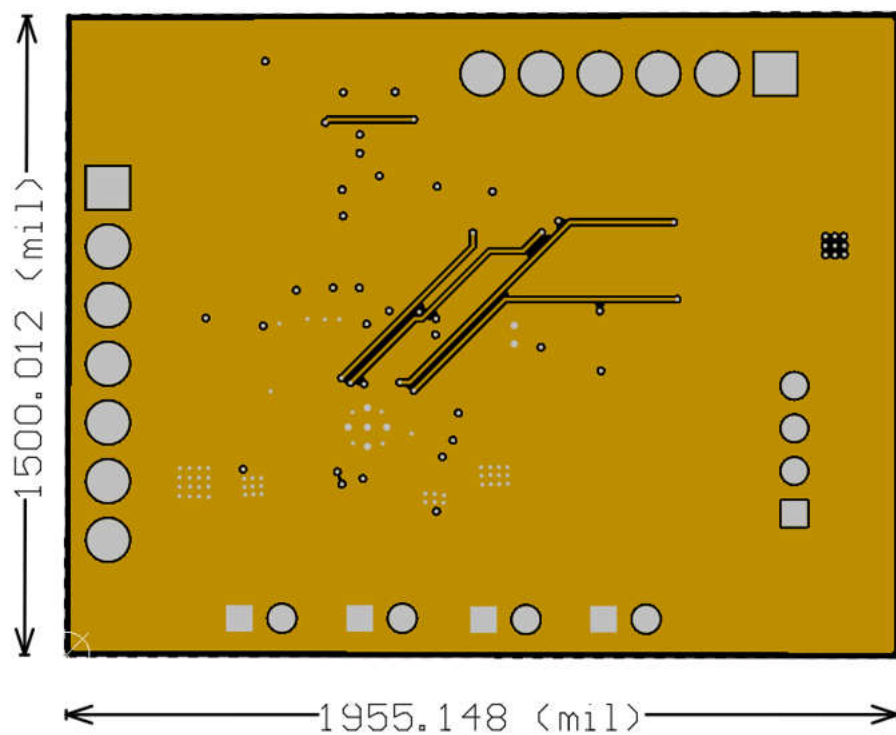


图 9-8. 内层 1

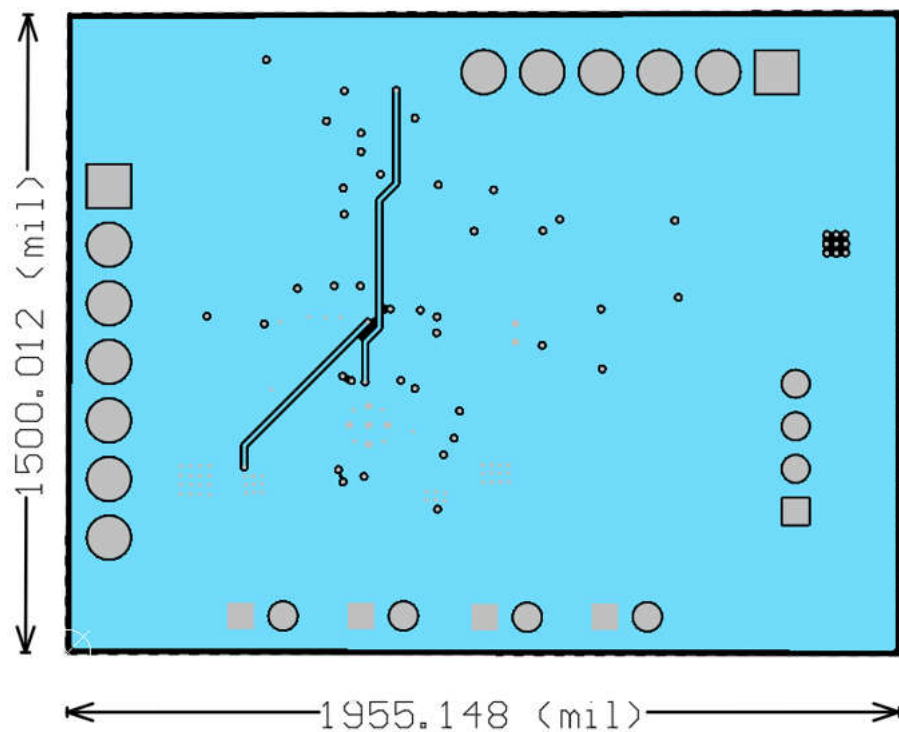


图 9-9. 内层 2

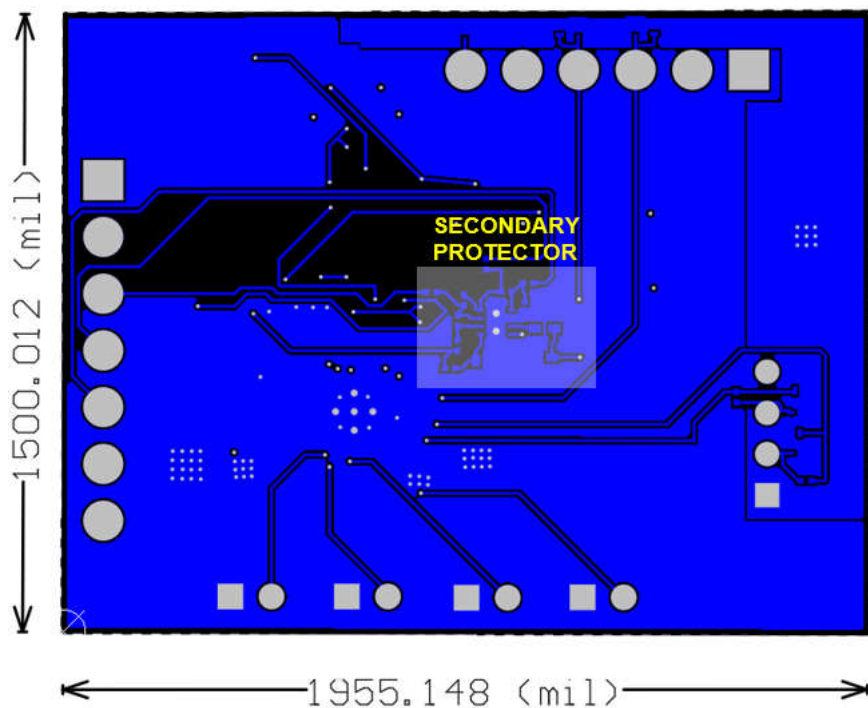


图 9-10. 底层

10 器件和文档支持

10.1 第三方产品免责声明

TI 发布的与第三方产品或服务有关的信息，不能构成与此类产品或服务或保修的适用性有关的认可，不能构成此类产品或服务单独或与任何 TI 产品或服务一起的表示或认可。

10.2 文档支持

10.2.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI)，[BQ296xxx 适用于 2 节、3 节和 4 节串联锂离子电池且具有稳压输出电源的过压保护器](#)
- 德州仪器 (TI)，[CSD17308Q3 30V N 沟道 NexFET™ 功率 MOSFET](#)

10.3 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 [ti.com](#) 上的器件产品文件夹。点击右上角的 **通知我** 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

10.4 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、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](#)。

10.5 商标

动态 Z-Track™, Dynamic Z-Track™, and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

10.6 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

10.7 术语表

[TI 术语表](#) 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

11 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (June 2024) to Revision A (April 2025)	Page
• 将状态从“预告信息”更改为“量产数据”	1
• 更改了 节 5.33	29
• 更改了 节 7.2.3	49

12 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
BQ41Z50RSNR	Active	Production	QFN (RSN) 32	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ41Z50
BQ41Z50RSNR.A	Active	Production	QFN (RSN) 32	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ41Z50
BQ41Z50RSNR.B	Active	Production	QFN (RSN) 32	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ41Z50
PBQ41Z50RSNT	Active	Preproduction	QFN (RSN) 32	250 SMALL T&R	-	Call TI	Call TI	-40 to 85	
PBQ41Z50RSNT.A	Active	Preproduction	QFN (RSN) 32	250 SMALL T&R	-	Call TI	Call TI	-40 to 85	
PBQ41Z50RSNT.B	Active	Preproduction	QFN (RSN) 32	250 SMALL T&R	-	Call TI	Call TI	-40 to 85	

⁽¹⁾ **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

⁽²⁾ **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

⁽³⁾ **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

⁽⁴⁾ **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

⁽⁵⁾ **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

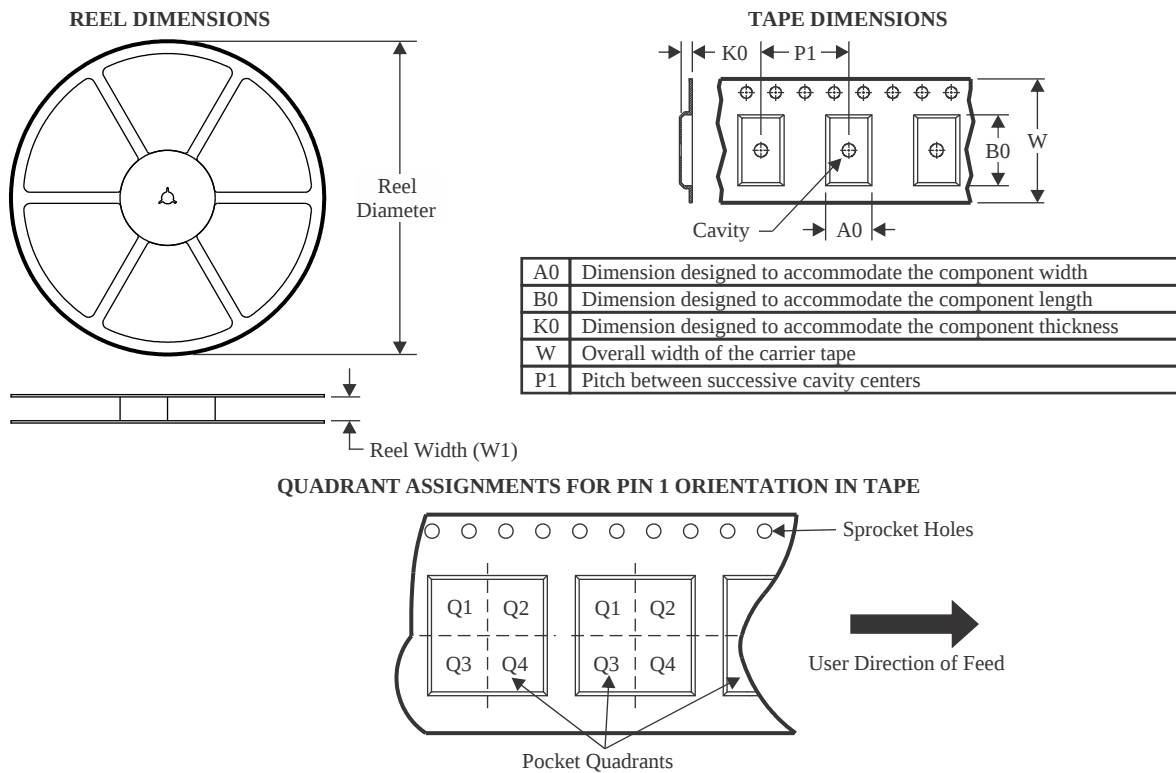
⁽⁶⁾ **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
BQ41Z50RSNR	QFN	RSN	32	3000	330.0	12.4	4.25	4.25	1.15	8.0	12.0	Q2

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

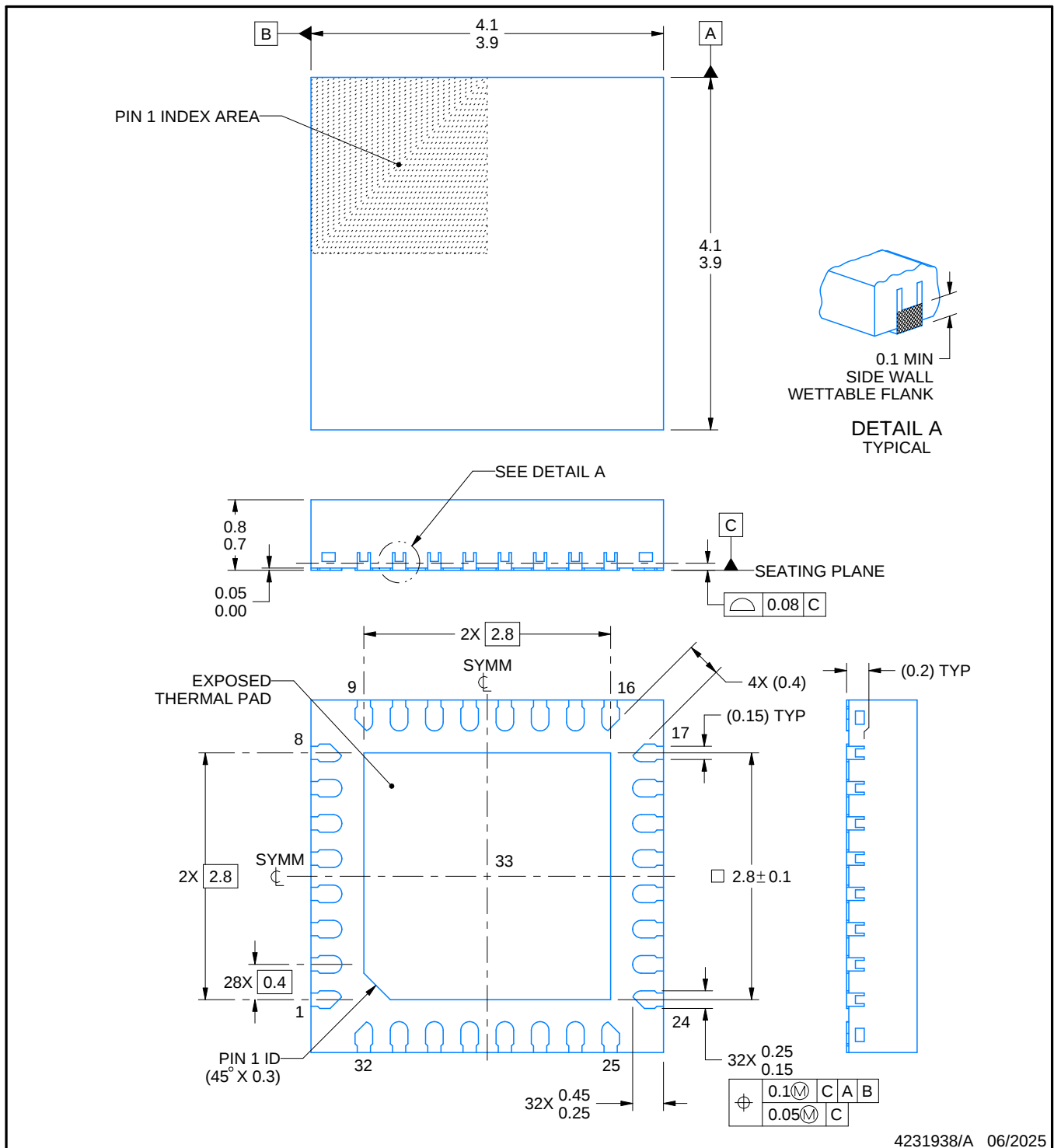
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
BQ41Z50RSNR	QFN	RSN	32	3000	367.0	367.0	35.0

RSN0032C

PACKAGE OUTLINE

WQFN - 0.8 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



NOTES:

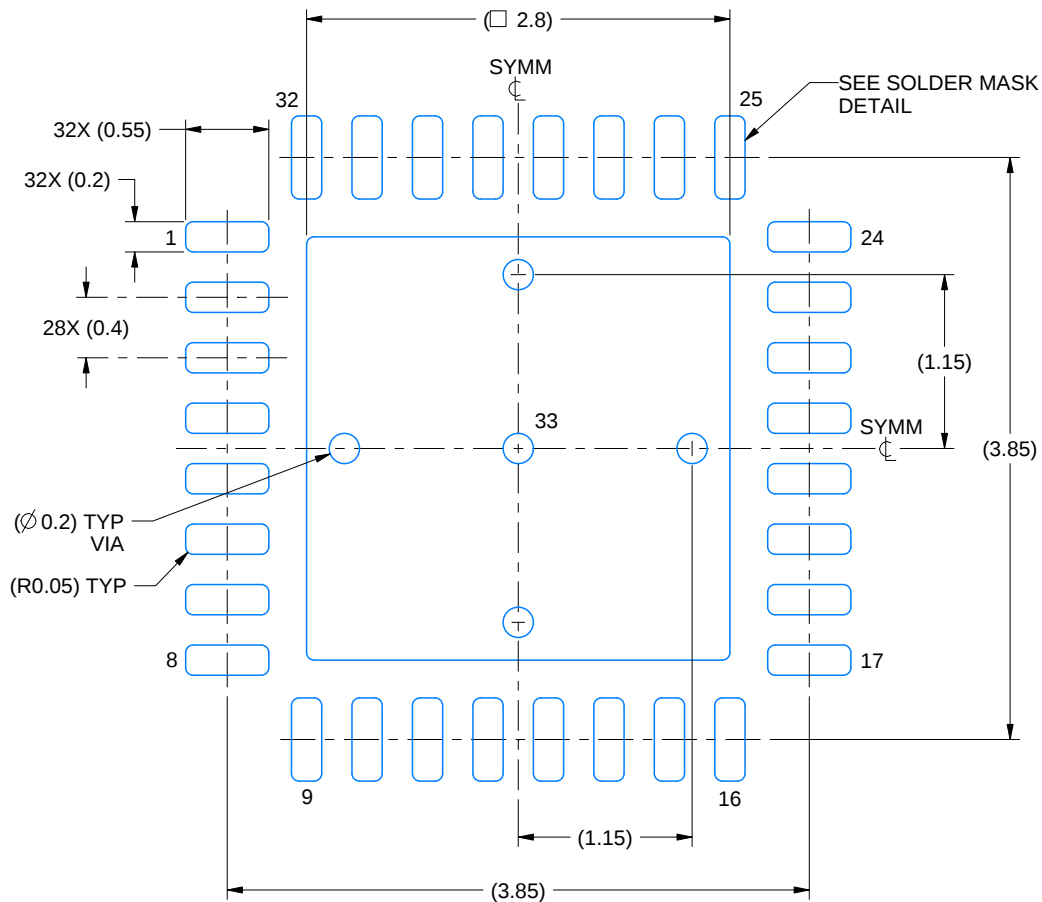
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for thermal and mechanical performance.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

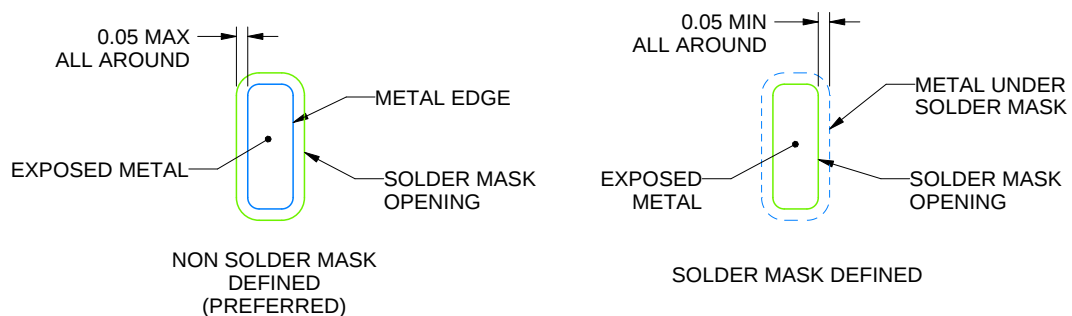
RSN0032C

WQFN - 0.8 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 20X



SOLDER MASK DETAILS

4231938/A 06/2025

NOTES: (continued)

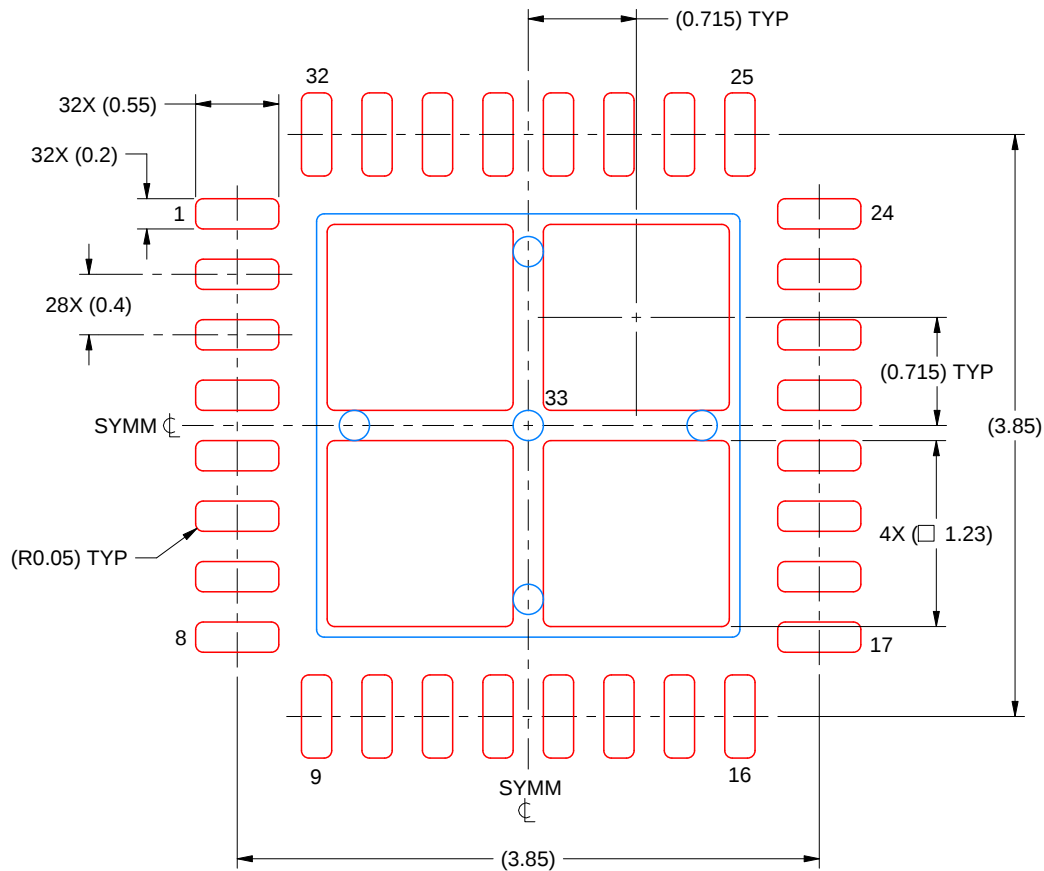
4. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/sluea271).
5. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

RSN0032C

WQFN - 0.8 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.1 MM THICK STENCIL
SCALE: 20X

EXPOSED PAD 33
77% PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE

4231938/A 06/2025

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

RSN (S-PWQFN-N32)

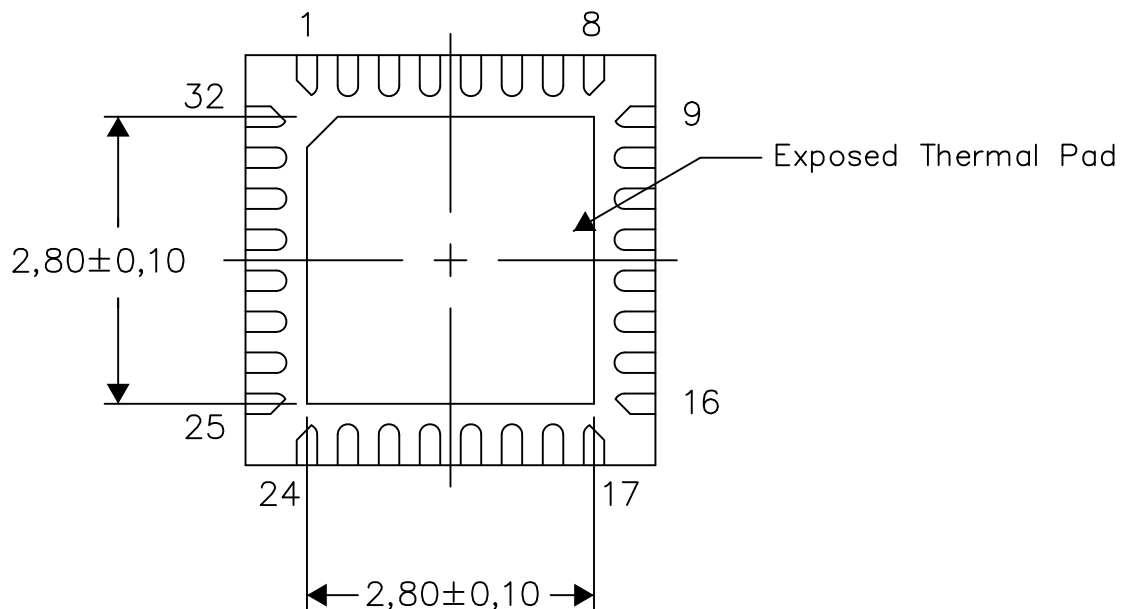
PLASTIC QUAD FLATPACK NO-LEAD

THERMAL INFORMATION

This package incorporates an exposed thermal pad that is designed to be attached directly to an external heatsink. The thermal pad must be soldered directly to the printed circuit board (PCB). After soldering, the PCB can be used as a heatsink. In addition, through the use of thermal vias, the thermal pad can be attached directly to the appropriate copper plane shown in the electrical schematic for the device, or alternatively, can be attached to a special heatsink structure designed into the PCB. This design optimizes the heat transfer from the integrated circuit (IC).

For information on the Quad Flatpack No-Lead (QFN) package and its advantages, refer to Application Report, QFN/SON PCB Attachment, Texas Instruments Literature No. SLUA271. This document is available at www.ti.com.

The exposed thermal pad dimensions for this package are shown in the following illustration.



Bottom View

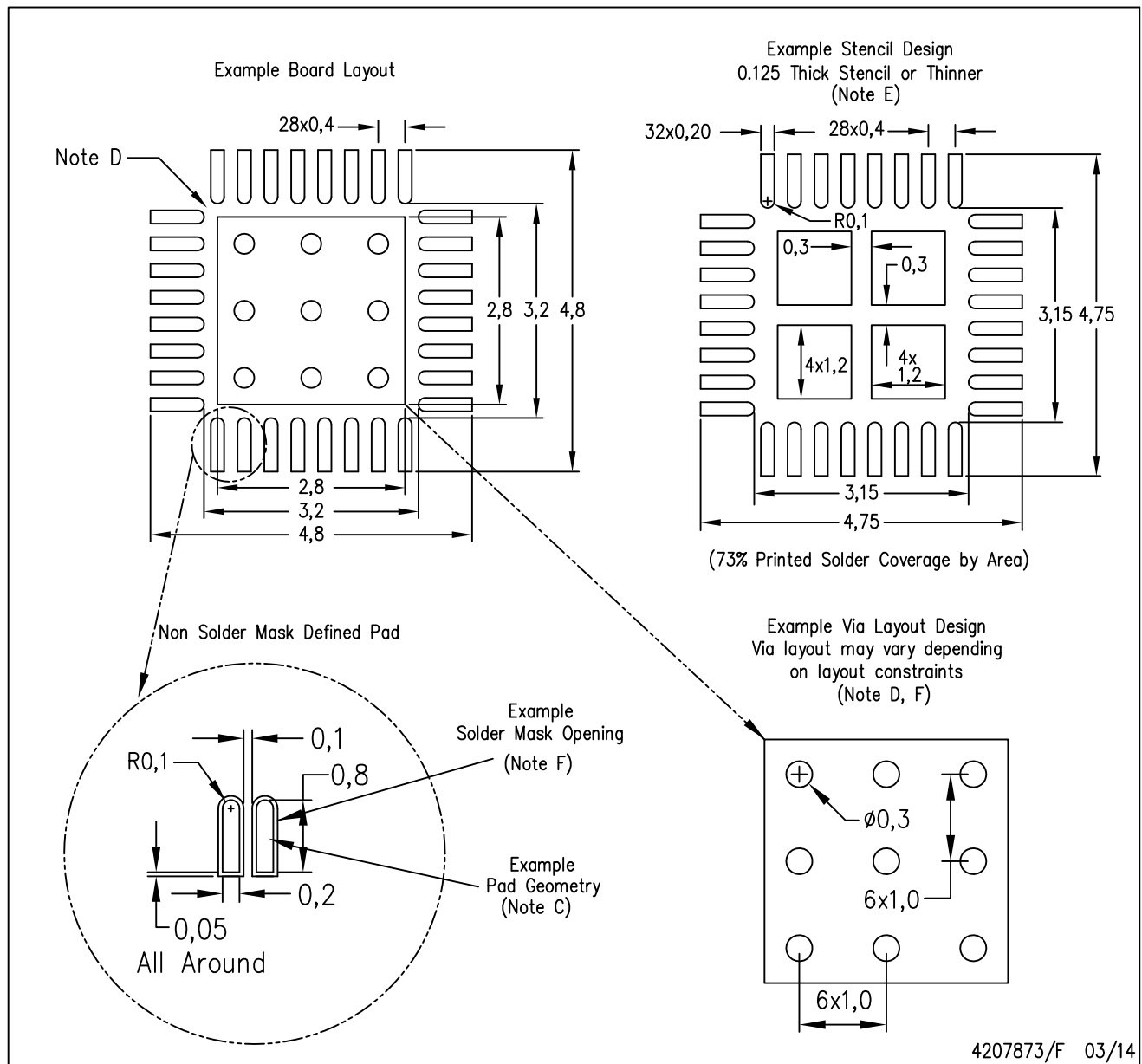
Exposed Thermal Pad Dimensions

4209775-2/F 03/14

NOTE: All linear dimensions are in millimeters

RSN (S-PWQFN-N32)

PLASTIC QUAD FLATPACK NO-LEAD



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. Refer to Application Note, Quad Flat-Pack Packages, Texas Instruments Literature No. SLUA271, and also the Product Data Sheets for specific thermal information, via requirements, and recommended board layout. These documents are available at www.ti.com <<http://www.ti.com>>.
 - Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC 7525 for stencil design considerations.
 - Customers should contact their board fabrication site for recommended solder mask tolerances and via tenting recommendations for vias placed in the thermal pad.

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