BQ25713/BQ25713B 具有系统功率监测器和处理器热量监测器的 I²C 窄 VDC 降压/升压电池充电控制器

1 特性

- 与 BQ25703A 引脚对引脚和软件兼容
- 从各种输入源为 1 至 4 节电池充电
  - 3.5V 至 24V 输入工作电压
  - 支持 USB 2.0、USB 3.0、USB 3.1 (Type-C) 和 USB 电力输送 (USB-PD) 输入电流设置
  - 可在降压、降压/升压和升压操作之间进无缝转换
  - 提供输入电流和电压调节（IDPM 和 VDPM）以防电源过载
- 用于 CPU 节流的功率/电流监控器
  - 综合 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 设置，符合 IMVP8/IMVP9 要求
  - 输入和电池电流监控器
  - 系统功率监控器，符合 IMVP8/IMVP9 要求
- 窄电压 DC (NVDC) 电源路径管理
  - 即使没有电池或电池已深度放电亦可瞬时启动
  - 适配器满载时，电池可为系统补充电量
  - 电池 MOSFET 可在补电模式下实现理想二极管运行
- 通过电池给 USB 端口加电 (USB OTG)
  - 具有 8mV 分辨率的 3V 至 20.8V VOTG
  - 输出电流限值最高为 6.4A，且具有 50mA 分辨率
- TI 获得专利的直通模式 (PTM)，可提高系统功效并实现电池快速充电
- 当系统仅通过电池供电时，Vmin 有源保护 (VAP) 模式将会在系统峰值功率尖峰期间通过输入电容器为电池补电。
- 输入电流优化器 (ICO) 可获取最大输入功率
- 用于 2.2μH 至 1.0μH 电感器的 800kHz 或 1.2MHz 可编程开关频率
- 可通过主机控制接口实现灵活系统配置
  - I²C 端口优化系统性能与状态报告
  - 硬件引脚可用于设置输入电流限制，无需 EC 控制
- 集成型 ADC 可监控电压、电流和功率
- 高精度调节和监控
  - ±0.5% 充电电压调节
  - ±2% 输入/充电电流调节
  - ±2% 输入/充电电流监测
  - ±4% 功率监控器
- 安全
  - 热关断
  - 输入、系统和电池过压保护
  - 输入、MOSFET 和电感器过流保护
- 安全相关认证：
  - 经 IEC 62368-1 CB 认证
- 低电池静态电流
- 封装：32 引脚 4×4 WQFN

2 应用

- 无人机、蓝牙扬声器、IP 摄像头、可拆卸电脑、平板电脑和移动电源
- 工业和医疗设备
- 带可充电电池的便携式设备

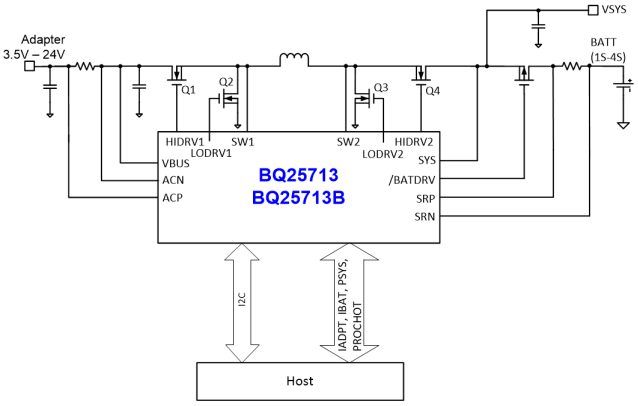
3 说明

此器件是一款同步 NVDC 降压/升压电池充电控制器，可为空间受限的 1-4 芯串联电池充电应用提供元件数很少的高效解决方案。

器件信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸（标称值）
BQ25713、BQ25713B	WQFN (32)	4.00mm × 4.00mm

(1) 要了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的可订购产品附录。



应用示意图

本文档旨在为方便起见，提供有关 TI 产品中文版本的信息，以确认产品的概要。有关适用的官方英文版本的最新信息，请访问 www.ti.com，其内容始终优先。TI 不保证翻译的准确性和有效性。在实际设计之前，请务必参考最新版本的英文版本。

内容

1 特性 1
2 应用 1
3 说明 1
4 修订历史记录 2
5 说明（续） 4
6 器件比较表 5
7 引脚配置和功能 6
8 规格 9
8.1 绝对最大额定值 9
8.2 ESD 等级 9
8.3 建议运行条件 9
8.4 热性能信息 10
8.5 电气特性 10
8.6 时序要求 18
8.7 典型特性 20
9 详细说明 22
9.1 概述 22
9.2 功能模块图 23
9.3 特性说明 24
9.4 器件功能模式 30
9.5 编程 31
9.6 寄存器映射 34
10 应用和实施 72
10.1 应用信息 72
10.2 典型应用 72
11 电源相关建议 79
12 布局 80
12.1 布局指南 80
12.2 布局示例 80
13 器件和文档支持 82
13.1 器件支持 82
13.2 文档支持 82
13.3 接收文档更新通知 82
13.4 支持资源 82
13.5 商标 82
13.6 静电放电警告 82
13.7 术语表 82
14 机械、封装和可订购信息 83

4 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 B (February 2021) to Revision C (May 2023) — **Page**

- 更改了图 9-1 中的 IVBUS 27
- 更改了 ChargeOption1 寄存器中的 EN_PROCHOT_LPWR 01b 和 10b 39
- 更改了 ProchotOption0 寄存器中的 ICRIT_DEG 01b、10b 和 11b 以及 INOM_DEG 0b 和 1b 45
- 更改了 ProchotOption1 寄存器中的 IDCHG_DEG 和 PROCHOT_PROFILE_VDPM 47
- 更改了 ProchotStatus 寄存器中的 PROCHOT_WIDTH 11b 53
- 更新了典型应用图 72

Changes from Revision A (July 2018) to Revision B (February 2021) — **Page**

- 向“特性”添加了“安全相关认证：IEC 62368-1 CB 认证” 1
- 更改了“电气特性”中多个参数的度量单位 10
- 更改了时序要求 18
- 在“从直流电源上电”中添加了要点 2 24
- 更改了“输入电压和电流限制设置”中的 3.25A 24
- 更改了 USB On-The-Go (OTG) 25
- 添加了“系统短路断续模式” 30
- 更改了 I^2C 串行接口 31
- 更改了 ChargeOption0 寄存器中的内容 36
- 更改了 ChargeOption2 寄存器中的内容 41
- 在 ProchotOption0 寄存器中进行了更改 45
- 在 ProchotStatus 寄存器中进行了更改 53
- 更改了输入电流寄存器 60
- 更改了具有 10mΩ 检测电阻的 IIN_DPM 寄存器 62
- 更改了 ADCIINCMPIN 寄存器中的内容 69
- 更新了典型应用图 72

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

- 更新了 ACP-ACN 输入滤波器图 73
- 更新了输入电容器 74
- 更新了输出电容器 74
- 更改了布局指南 80
- 在布局示例中添加了详细的布局参考 80

Changes from Revision * (June 2018) to Revision A (July 2018) **Page**

- 将 BQ25713 从“预告信息”更改为“量产数据”并添加了 BQ25713B 1

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

5 说明（续）

通过 NVDC 配置，可将系统电压稳定在电池电压水平，但无法将其降至低于系统最低电压。即便在电池完全放电或被取出时，系统也仍会继续工作。当负载功率超过输入源额定值时，电池会进入补电模式并防止系统崩溃。

BQ25713/BQ25713B 可通过包括 USB 适配器、高电压 USB PD 源和传统适配器在内的各种输入源为电池充电。

在加电期间，充电器基于输入源和电池状况，将转换器设置为降压、升压或降压/升压配置。充电器自动在降压、升压、降压/升压配置间转换，无需主机控制。

在无输入源的情况下，BQ25713/BQ25713B 可支持适用于 1 到 4 芯电池的 USB On-the-Go (OTG) 功能，从而在 VBUS 上生成具有 8mV 分辨率的 3V 至 20.8V 可调电压。OTG 输出电压压摆率是可配置的，这符合 USB PD 3.0 PPS 规范。

当仅通过电池为系统供电且 USB OTG 端口未连接任何外部负载时，BQ25713/BQ25713B 支持 Vmin 有源保护 (VAP) 特性，借助该特性，该器件会从电池给 VBUS 电压充电，从而将部分能量存储在输入解耦电容器中。在系统峰值功率尖峰期间，大量电流从电池流出，导致从电池到系统的阻抗上出现较大压降。存储在输入电容器中的能量会为系统补电，从而防止系统电压下降到最低系统电压之下进而导致系统崩溃。该 Vmin 主动保护 (VAP) 特性旨在在 SOC 高功率需求期间吸收系统功率峰值，Intel 强烈建议为具有 1 至 2 节电池的平台配备此特性。

BQ25713/BQ25713B 可监控适配器电流、电池电流和系统功率。灵活编程的 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 输出直达 CPU，可根据需要降低其频率。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

6 器件比较表

	BQ25700A	BQ25703A	BQ25708	BQ25710	BQ25718	BQ25713	BQ25713B
接口	SMBus	I2C	SMBus	SMBus	SMBus	I2C	I2C
器件地址	09h	6Bh	09h	09h	09h	6Bh	6Ah
适用于 IMVP9 的 VAP	否	否	否	是	是	是	是
直通模式	否	否	否	是	是	是	是
OTG 模式	是	是	否	是	否	是	是
OTG 电压范围	4.48V-20.8V	4.48V-20.8V	不适用	3.0V-20.8V	不适用	3.0V-20.8V	3.0V-20.8V
OTG 电压分辨率	64mV	64mV	不适用	8mV	不适用	8mV	8mV
充电电压分辨率	16mV	16mV	16mV	8mV	8mV	8mV	8mV

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

7 引脚配置和功能

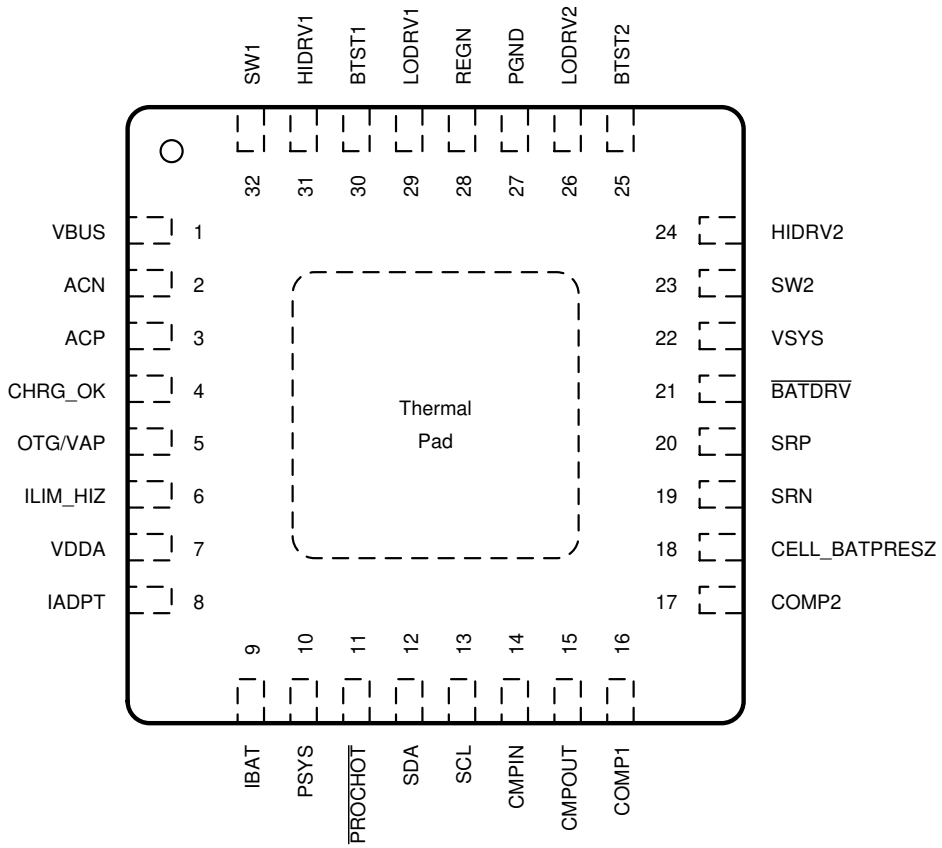


图 7-1. RSN 封装 32 引脚 WQFN 顶视图

表 7-1. 引脚功能

引脚		I/O	说明
名称	编号		
ACN	2	PWR	输入电流检测电阻负输入。ACP 和 ACN 上的漏电流匹配。需要在检测电阻与 ACN 引脚之间放置一个 R-C 低通滤波器，以抑制输入电流信号中的高频噪声。有关 ACP/ACN 滤波器设计，请参阅节 10。
ACP	3	PWR	输入电流检测电阻正输入。ACP 和 ACN 上的漏电流匹配。需要在检测电阻与 ACP 引脚之间放置一个 R-C 低通滤波器，以抑制输入电流信号中的高频噪声。有关 ACP/ACN 滤波器设计，请参阅节 10。
$\overline{\text{BATDRV}}$	21	O	P 沟道电池 FET (BATFET) 栅极驱动器输出。短接至 VSYS 可关断 BATFET。比 VSYS 低 10V 可完全导通 BATFET。BATFET 处于线性模式，以便在电池电量耗尽时将 VSYS 调节至最小系统电压。BATFET 在快速充电期间完全导通，并在补充模式下用作理想二极管。
BTST1	30	PWR	降压模式高侧功率 MOSFET 驱动器电源。在 SW1 和 BTST1 之间连接一个 0.047 µF 电容器。REGN 和 BTST1 之间的自举二极管为集成式二极管。
BTST2	25	PWR	升压模式高侧功率 MOSFET 驱动器电源。在 SW2 和 BTST2 之间连接一个 0.047 µF 电容器。REGN 和 BTST2 之间的自举二极管为集成式二极管。
CELL_BATPRESZ	18	I	用于 1-4 节电池设置的电芯选择引脚。CELL_BATPRESZ 引脚从 VDDA 偏置。CELL_BATPRESZ 引脚还将 1 节电池的 SYSOVP 阈值设置为 5V，2 节电池的 SYSOVP 阈值设置为 12V，3 节/4 节电池的 SYSOVP 阈值设置为 19.5V。CELL_BATPRESZ 引脚拉至低于 $V_{CELL_BATPRESZ_FALL}$ 以指示电池移除。器件退出学习模式并禁用充电。充电电压寄存器 REG0x05/04() 恢复为默认值。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 7-1. 引脚功能 (continued)

引脚		I/O	说明
名称	编号		
CHRG_OK	4	O	开漏高电平有效指示器，用于通知系统，正常电源已连接到充电器输入端。通过 10kΩ 电阻器连接到上拉电源轨。当 VBUS 升至 3.5V 以上或降至 24.5V 以下时，经过 50ms 抗尖峰脉冲时间后，CHRG_OK 为高电平。当 VBUS 降至 3.2V 以下或升至 26V 以上时，CHRG_OK 为低电平。发生任何故障时，CHRG_OK 置为低电平。
CMPIN	14	I	独立比较器的输入。独立比较器将 CMPIN 引脚上检测到的电压与内部基准电压进行比较，其输出位于 CMPOUT 引脚上。可通过 I²C 主机选择内部基准、输出极性和抗尖峰脉冲时间。极性为高电平 (REG0x30[6] = 1) 时，在 CMPIN 和 CMPOUT 之间放置一个电阻器，以对迟滞进行编程。极性为低电平 (REG0x30[6] = 0) 时，内部迟滞为 100mV。如果未使用独立比较器，则将 CMPIN 接地。
CMPOUT	15	O	独立比较器的开漏输出。将上拉电阻器从 CMPOUT 连接到上拉电源轨。可通过 I²C 主机选择内部基准、输出极性和抗尖峰脉冲时间。
COMP2	17	I	降压/升压转换器补偿引脚 2。有关 COMP2 引脚 RC 网络，请参阅 BQ2571X EVM 原理图。
COMP1	16	I	降压/升压转换器补偿引脚 1。有关 COMP1 引脚 RC 网络，请参阅 BQ2571X EVM 原理图。
OTG/VAP	5	I	高电平有效，以启用 OTG 或 VAP 模式。当 REG0x34[5]=1 时，拉高 OTG/VAP 引脚并设置 REG0x35[4]=1 可以启用 OTG 模式。当 REG0x34[5]=0 时，拉高 OTG/VAP 引脚将启用 VAP 模式。
HIDRV1	31	O	降压模式高侧功率 MOSFET (Q1) 驱动器。连接到高侧 N 沟道 MOSFET 栅极。
HIDRV2	24	O	升压模式高侧功率 MOSFET (Q4) 驱动器。连接到高侧 N 沟道 MOSFET 栅极。
IADPT	8	O	适配器电流监测输出引脚。$V_{(IADPT)}$ = 20 或 40 × ($V_{(ACP)}$ – $V_{(ACN)}$)，可在 REG0x00[4] 中选择比率。在 IADPT 引脚与接地端之间放置一个与所用电感相对应的电阻器。对于 2.2μH 电感，电阻器为 137kΩ。在 IADPT 引脚与接地端之间放置一个 100pF 或更小的陶瓷去耦电容器。IADPT 输出电压钳位在 3.3V 以下。
IBAT	9	O	电池电流监测输出引脚。对于充电电流，$V_{(IBAT)}$ = 8 或 16 × ($V_{(SRP)}$ – $V_{(SRN)}$)，对于放电电流，$V_{(IBAT)}$ = 8 或 16 × ($V_{(SRN)}$ – $V_{(SRP)}$)，可在 REG0x00[3] 中选择比率。在 IBAT 引脚与接地端之间放置一个 100pF 或更小的陶瓷去耦电容器。该引脚不使用时可以悬空。其输出电压钳制在 3.3V 以下。
ILIM_HIZ	6	I	输入电流限制设置引脚。通过在电源轨与 ILIM_HIZ 引脚之间连接一个电阻分压器并接地，对 ILIM_HIZ 电压进行编程。引脚电压的计算公式为：$V_{(ILIM_HIZ)}$ = 1V + 40 × IDPM × RAC，其中 IDPM 是目标输入电流。充电器使用的输入电流限制是 ILIM_HIZ 引脚和 REG0x0F/0E() 的较低设置。当引脚电压低于 0.4V 时，器件会以低静态电流进入高阻态模式。当引脚电压高于 0.8V 时，器件退出高阻态模式。
LODRV1	29	O	降压模式低侧功率 MOSFET (Q2) 驱动器。连接到低侧 N 沟道 MOSFET 栅极。
LODRV2	26	O	升压模式低侧功率 MOSFET (Q3) 驱动器。连接到低侧 N 沟道 MOSFET 栅极。
PGND	27	GND	器件电源接地。
$\overline{\text{PROCHOT}}$	11	O	处理器热量指示器的低电平有效开漏输出。它监测适配器输入电流、电池放电电流和系统电压。触发 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 曲线中的任何事件后，系统会将一个脉冲置为有效。可在 REG0x23[6:3] 中调节最小脉冲宽度。
PSYS	10	O	电流模式系统功率监测器。输出电流与适配器和电池的总功率成正比。可通过 I²C 选择增益。在 PSYS 与接地端之间放置一个电阻器以生成输出电压。该引脚不使用时可以悬空。其输出电压钳位在 3.3V 以下。将一个电容器与电阻器并联以进行滤波。
REGN	28	PWR	由 VBUS 或 VSYS 供电的 6V 线性稳压器输出。当 VBUS 高于 V_{VBUS_CONVEN} 时，LDO 处于活动状态。在 REGN 与电源地之间连接一个 2.2μF 或 3.3μF 陶瓷电容器。REGN 引脚输出用于功率级栅极驱动器。
SCL	13	I	I²C 时钟输入。连接到主机控制器或智能电池的时钟线。根据 I²C 规范连接一个 10kΩ 上拉电阻器。
SDA	12	I/O	I²C 开漏数据 I/O。连接到主机控制器或智能电池的数据线。根据 I²C 规范连接一个 10kΩ 上拉电阻器。
SRN	19	PWR	充电电流检测电阻负输入。SRN 引脚也用于电池电压检测。将带有可选 0.1μF 陶瓷电容器的 SRN 引脚连接到 GND 以实现共模滤波。在 SRP 和 SRN 之间连接一个 0.1μF 陶瓷电容器以提供差模滤波。SRP 和 SRN 上的漏电流匹配。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 7-1. 引脚功能 (continued)

引脚		I/O	说明
名称	编号		
SRP	20	PWR	充电电流检测电阻正输入。将带有可选 0.1 µ F 陶瓷电容器的 SRP 引脚连接到 GND 以实现共模滤波。在 SRP 和 SRN 之间连接一个 0.1 µ F 陶瓷电容器以提供差模滤波。SRP 和 SRN 上的漏电流匹配。
SW1	32	PWR	降压模式高侧功率 MOSFET 驱动器源。连接到高侧 N 沟道 MOSFET 的源极。
SW2	23	PWR	升压模式高侧功率 MOSFET 驱动器源。连接到高侧 N 沟道 MOSFET 的源极。
VBUS	1	PWR	充电器输入电压。建议使用 1 Ω 和 0.47µF (最小值) 的输入低通滤波器。
VDDA	7	PWR	内部基准偏置引脚。在 REGN 与 VDDA 之间连接一个 10 Ω 电阻器，在 VDDA 与电源地之间连接一个 1 µ F 陶瓷电容器。
VSYS	22	PWR	充电器系统电压检测。在 REG0x05/04() 和 REG0X0D/0C() 中对系统电压调节限制进行编程。
散热焊盘	–	-	IC 下方的外露焊盘。始终将散热焊盘焊接到电路板上，并在连接到电源接地层的散热焊盘平面上留有过孔。它用作散热焊盘以进行散热。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8 规格

8.1 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) (2)

		最小值	最大值	单位
电压	SRN、SRP、ACN、ACP、VBUS、VSYS	-0.3	30	V
	SW1, SW2	-2	30	
	BTST1、BTST2、HIDRV1、HIDRV2、/BATDRV	-0.3	36	
	LODRV1、LODRV2 (25nS)	-4	7	
	HIDRV1、HIDRV2 (25nS)	-4	36	
	SW1、SW2 (25nS)	-4	30	
	SDA、SCL、REGN、PSYS、CHRG_OK、OTG/VAP、CELL_BATPRESZ、ILIM_HIZ、LODRV1、LODRV2、VDDA、COMP1、COMP2、CMPIN、CMPOUT	– 0.3	7	
	/PROCHOT	– 0.3	5.5	
	IADPT、IBAT、PSYS	-0.3	3.6	
差分电压	BTST1-SW1、BTST2-SW2、HIDRV1-SW1、HIDRV2-SW2	– 0.3	7	V
	SRP-SRN、ACP-ACN	-0.5	0.5	
温度	结温范围，T_J	-40	155	°C
	贮存温度，T_{stg}	-40	155	°C

(1) 应力超出*绝对最大额定值*下所列的值可能会对器件造成永久损坏。这些列出的值仅仅是应力等级，这并不表示器件在这些条件下以及在*建议运行条件*以外的任何其他条件下能够正常运行。长时间在最大绝对额定条件下运行会影响器件可靠性。
(2) 除非另有说明，否则所有电压均以接地为基准。电流是指定端子的正输入、负输出。有关封装的热限制和注意事项，请参阅数据手册的“封装”部分。

8.2 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，所有引脚(1)	±2000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 JEDEC 规范 JESD22-C101，所有引脚(2)	±500	

(1) JEDEC 文件 JEP155 指出：500V HBM 可实现在标准 ESD 控制流程下安全生产。
(2) JEDEC 文件 JEP157 指出：250V CDM 可实现在标准 ESD 控制流程下安全生产。

8.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

		最小值	最大值	单位
电压	ACN、ACP、VBUS	0	24	V
	SRN、SRP、VSYS	0	19.2	
	SW1、SW2	-2	24	
	BTST1、BTST2、HIDRV1、HIDRV2、/BATDRV	0	30	
	SDA、SCL、REGN、PSYS、CHRG_OK、OTG/VAP、CELL_BATPRESZ、ILIM_HIZ、LODRV1、LODRV2、VDDA、COMP1、COMP2、CMPIN、CMPOUT	0	6.5	
	/PROCHOT	0	5.3	
	IADPT、IBAT、PSYS	0	3.3	
差分电压	BTST1-SW1、BTST2-SW2、HIDRV1-SW1、HIDRV2-SW2	0	6.5	V
	SRP-SRN、ACP-ACN	-0.5	0.5	

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.3 建议运行条件 (continued)

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

	最小值	最大值	单位
结温范围，T_J	-20	125	°C
自然通风条件下的工作温度范围，T_J	–40	85	°C

8.4 热性能信息

热指标(1)		BQ25713/BQ25713B RSN (WQFN) 32 引脚	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	37.2	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	26.1	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	7.8	°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.3	°C/W
Y_{JB}	结至电路板特征参数	7.8	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳（底部）热阻	2.3	°C/W

(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。

8.5 电气特性

测试条件为：T_J = -40°C 至 125°C（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{INPUT_OP}	输入电压工作范围		3.5		26	V
调节精度						
最大系统电压调节						
V_{SYSMAX_RNG}	系统电压调节，在 V_{SYS} 上测量（禁用充电）		1.024		19.2	V
V_{SYSMAX_ACC}	系统电压调节精度（禁用充电）	REG0x05/04() = 0x41A0H (16.800V)	V_{SRN} + 160mV			V
			-2%		2%	
		REG0x05/04() = 0x3138H (12.600V)	V_{SRN} + 160mV			V
			-2%		2%	
		REG0x05/04() = 0x20D0H (8.400V)	V_{SRN} + 160mV			V
			–3%		3%	
		REG0x05/04() = 0x1068H (4.200V)	V_{SRN} + 160mV			V
			–3%		3%	
最小系统电压调节						
V_{SYSMIN_RNG}	系统电压调节，在 V_{SYS} 上测量		1.024		19.2	V

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.5 电气特性 (continued)

测试条件为：T_J = -40°C 至 125°C (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{SYSMIN_REG_ACC}$	最小系统电压调节精度 (VBAT 低于 REG0x0D/0C() 设置)	REG0x0D/0C() = 0x3000H		12.288		V
			-2%		2%	
		REG0x0D/0C() = 0x2400H		9.216		V
			-2%		2%	
		REG0x0D/0C() = 0x1800H		6.144		V
			– 3%		3%	
		REG0x0D/0C() = 0x0E00H		3.584		V
			– 3%		3%	
充电电压调节						
V_{BAT_RNG}	电池电压调节		1.024		19.2	V
$V_{BAT_REG_ACC}$	电池电压调节精度 (充电启用) (0°C 至 85°C)	REG0x05/04() = 0x41A0H		16.8		V
			– 0.5%		0.5%	
		REG0x05/04() = 0x3138H		12.6		V
			– 0.5%		0.5%	
		REG0x05/04() = 0x20D0H		8.4		V
			– 0.6%		0.6%	
		REG0x05/04() = 0x1068H		4.2		V
			– 1.1%		1.2%	
快速充电中的充电电流调节						
$V_{IREG_CHG_RNG}$	充电电流调节差分电压范围	$V_{IREG_CHG} = V_{SRP} - V_{SRN}$	0		81.28	mV
$I_{CHRG_REG_ACC}$	充电电流调节精度 10mΩ 检测电阻，VBAT 高于 REG0x0D/0C() 设置 (0°C 至 85°C)	REG0x03/02() = 0x1000H		4096		mA
			– 3%		2%	
		REG0x03/02() = 0x0800H		2048		mA
			– 4%		3%	
		REG0x03/02() = 0x0400H		1024		mA
			-5%		6%	
		REG0x03/02() = 0x0200H		512		mA
			– 12%		12%	
LDO 模式下的充电电流调节						
I_{CLAMP}	预充电电流钳位	2 至 4 节串联电池		384		mA
		单节电池，VSRN < 3V		384		mA
		单节电池，3V < VSRN < VSYSMIN		2		A

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.5 电气特性 (continued)

测试条件为：T_J = -40°C 至 125°C（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{PRECHRG_REG_ACC}$	使用 10mΩ SRP/SRN 串联电阻、VBAT 低于 REG0x0D/0C() 设置（0°C 至 85°C）时的预充电电流调节精度	REG0x03/02() = 0x0180H		384		mA
		2S-4S	-15%		15%	
		1S	–25%		25%	
		REG0x03/02() = 0x0100H		256		mA
		2S-4S	-20%		20%	
		1S	-35%		35%	
		REG0x03/02() = 0x00C0H		192		mA
		2S-4S	–25%		25%	
		1S	-50%		50%	
		REG0x03/02() = 0x0080H		128		mA
		2S-4S	–30%		30%	
$I_{LEAK_SRP_SRN}$	SRP、SRN 漏电流失配（0°C 至 85°C）		–12		10	μA
输入电流调节						
$V_{IREG_DPM_RNG}$	输入电流调节差分电压范围	$V_{IREG_DPM} = V_{ACP} – V_{ACN}$	0.5		64	mV
$I_{DPM_REG_ACC}$	使用 10mΩ ACP/ACN 串联电阻时的输入电流调节精度（-40°C 至 105°C）	REG0x0F/0E() = 0x5000H	3800	3900	4000	mA
		REG0x0F/0E() = 0x3C00H	2800	2900	3000	mA
		REG0x0F/0E() = 0x1E00H	1300	1400	1500	mA
		REG0x0F/0E() = 0x0A00H	300	400	500	mA
$I_{LEAK_ACP_ACN}$	ACP、ACN 漏电流失配（-40°C 至 105°C）		–16		10	μA
$V_{IREG_DPM_RNG_ILIM}$	输入电流调节的电压范围（ILIM_HIZ 引脚）		1.15		4	V
$I_{DPM_REG_ACC_ILIM}$	ILIM_HIZ 引脚上的输入电流调节精度 V_{ILIM_HIZ} = 1V + 40 × I_{DPM} × R_{AC}，使用 10mΩ ACP/ACN 串联电阻	V_{ILIM_HIZ} = 2.6V	3800	4000	4200	mA
		V_{ILIM_HIZ} = 2.2V	2800	3000	3200	mA
		V_{ILIM_HIZ} = 1.6V	1300	1500	1700	mA
		V_{ILIM_HIZ} = 1.2V	300	500	700	mA
I_{LEAK_ILIM}	ILIM_HIZ 引脚漏电流		-1		1	μA
输入电压调节						
$V_{IREG_DPM_RNG}$	输入电压调节范围	VBUS 上的电压	3.2		19.52	V
$V_{DPM_REG_ACC}$	输入电压调节精度	REG0x0B/0A()=0x3C80H		18688		mV
			–3%		2%	
		REG0x0B/0A()=0x1E00H		10880		mV
			–4%		2.5%	
		REG0x0B/0A()=0x0500H		4480		mV
			-5%		5%	
OTG 电流调节						
$V_{IOTG_REG_RNG}$	OTG 输出电流调节差分电压范围	$V_{IOTG_REG} = V_{ACP} – V_{AC}N$	0		81.28	mV
I_{OTG_ACC}	使用 50mA LSB 和 10mΩ ACP/ACN 串联电阻时的 OTG 输出电流调节精度	REG0x09/08() = 0x3C00H	2800	3000	3200	mA
		REG0x09/08() = 0x1E00H	1300	1500	1700	mA
		REG0x09/08() = 0x0A00H	300	500	700	mA
OTG 电压调节						
$V_{OTG_REG_RNG}$	OTG 电压调节范围	VBUS 上的电压	3		20.8	V

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.5 电气特性 (continued)

测试条件为：T_J = -40°C 至 125°C (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{OTG_REG_ACC}$	OTG 电压调节精度	REG0x07/06() = 0x23F8H REG0x34[2] = 0		20.002		V
			-2%		2%	
		REG0x07/06() = 0x1710H REG0x34[2] = 1		12.004		V
			-2%		2%	
		REG0x07/06() = 0x099CH REG0x34[2] = 1		5.002		V
			– 3%		3%	
基准和缓冲器						
REGN 稳压器						
V_{REGN_REG}	REGN 稳压器电压 (0mA – 60mA)	V_{VBUS} = 10V	5.7	6	6.3	V
$V_{DROPOUT}$	压降模式下的 REGN 电压	V_{VBUS} = 5V，I_{LOAD} = 20mA	3.8	4.3	4.6	V
$I_{REGN_LIM_Charging}$	启用转换器时的 REGN 电流限制	V_{VBUS} = 10V，强制 V_{REGN} =4V	50	65		mA
C_{REGN}	需要 REGN 输出电容器来实现稳定性	I_{LOAD} = 100μA 至 50mA	2.2			μF
C_{VDDA}	需要 REGN 输出电容器来实现稳定性	I_{LOAD} = 100μA 至 50mA	1			μF
静态电流						
$I_{BAT_BATFET_ON}$	由电池供电的系统。BATFET 开启。I_{SRN} + I_{SRP} + I_{SW2} + I_{BTST2} + I_{SW1} + I_{BTST1} + I_{ACP} + I_{ACN} + I_{VBUS} + I_{VSYS}	VBAT = 18V，REG0x01[7] = 1，在低功耗模式下		22	45	μA
		VBAT = 18V，REG0x01[7] = 1，REG0x31[5] = 1，REGN 关闭		125	195	μA
		VBAT = 18V，REG0x01[7] = 0，REG0x31[4] = 0，REGN 开启，DIS_PSYS		880	1170	μA
		VBAT = 18V，REG0x01[7] = 0，REG0x31[4] = 1，REGN 开启，EN_PSYS		980	1270	μA
$I_{AC_SW_LIGHT_buck}$	降压模式下 PFM 期间的输入电流，无负载，I_{VBUS} + I_{ACP} + I_{ACN} + I_{VSYS} + I_{SRP} + I_{SRN} + I_{SW1} + I_{BTST} + I_{SW2} + I_{BTST2}	VIN = 20V，VBAT = 12.6V，3s，REG0x01[2] = 0；MOSFET Qg = 4nC		2.2		mA
$I_{AC_SW_LIGHT_boost}$	升压模式下 PFM 期间的输入电流，无负载，I_{VBUS} + I_{ACP} + I_{ACN} + I_{VSYS} + I_{SRP} + I_{SRN} + I_{SW1} + I_{BTST2} + I_{SW2} + I_{BTST2}	VIN = 5V，VBAT = 8.4V，2s，REG0x01[2] = 0；MOSFET Qg = 4nC		2.7		mA
$I_{AC_SW_LIGHT_buckboost}$	降压/升压模式下 PFM 期间的输入电流，无负载，I_{VBUS} + I_{ACP} + I_{ACN} + I_{VSYS} + I_{SRP} + I_{SRN} + I_{SW1} + I_{BTST1} + I_{SW2} + I_{BTST2}	VIN = 12V，VBAT = 12V，REG0x01[2] = 0；MOSFET Qg = 4nC		2.4		mA

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.5 电气特性 (continued)

测试条件为：T_J = -40°C 至 125°C (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{OTG_STANDBY}$	OTG 模式下 PFM 期间的静态电流 I_{VBUS} + I_{ACP} + I_{ACN} + I_{VSYS} + I_{SRP} + I_{SRN} + I_{SW1} + I_{BTST2} + I_{SW2} + I_{BTST2}	VBAT = 8.4V，VBUS = 5V，800kHz 开关频率，MOSFET Qg = 4nC		3		mA
		VBAT = 8.4V，VBUS = 12V，800kHz 开关频率，MOSFET Qg = 4nC		4.2		mA
		VBAT = 8.4V，VBUS = 20V，800kHz 开关频率，MOSFET Qg = 4nC		6.2		mA
V_{ACP/N_OP}	输入共模范围	ACP/ACN 上的电压	3.8		26	V
V_{IADPT_CLAMP}	I_{ADPT} 输出钳位电压		3.1	3.2	3.3	V
I_{IADPT}	I_{ADPT} 输出电流				1	mA
A_{IADPT}	输入电流检测增益	$V_{(IADPT)}$ / $V_{(ACP-ACN)}$，REG0x00[4] = 0		20		V/V
		$V_{(IADPT)}$ / $V_{(ACP-ACN)}$，REG0x00[4] = 1		40		V/V
V_{IADPT_ACC}	输入电流监控器精度	$V_{(ACP-ACN)}$ = 40.96mV	-2%		2%	
		$V_{(ACP-ACN)}$ = 20.48mV	-3%		3%	
		$V_{(ACP-ACN)}$ =10.24mV	-6%		6%	
		$V_{(ACP-ACN)}$ = 5.12mV	-10%		10%	
C_{IADPT_MAX}	IADPT 引脚的最大电容				100	pF
V_{SRP/N_OP}	电池共模范围	SRP/SRN 上的电压	2.5		18	V
V_{IBAT_CLAMP}	IBAT 输出钳位电压		3.05	3.2	3.3	V
I_{IBAT}	IBAT 输出电流				1	mA
A_{IBAT}	IBAT 引脚上的充电和放电电流检测增益	$V_{(IBAT)}$ / $V_{(SRN-SRP)}$，REG0x00[3] = 0，		8		V/V
		$V_{(IBAT)}$ / $V_{(SRN-SRP)}$，REG0x00[3] = 1，		16		V/V
$I_{IBAT_CHG_ACC}$	IBAT 引脚上的充电和放电电流监控器精度	$V_{(SRN-SRP)}$ = 40.96mV	-2%		2%	
		$V_{(SRN-SRP)}$ = 20.48mV	-4%		4%	
		$V_{(SRN-SRP)}$ =10.24mV	-7%		7%	
		$V_{(SRN-SRP)}$ = 5.12mV	-15%		15%	
C_{IBAT_MAX}	IBAT 引脚处的最大电容				100	pF
系统功率检测放大器						
V_{PSYS}	PSYS 输出电压范围		0		3.3	V
I_{PSYS}	PSYS 输出电流		0		160	µA
A_{PSYS}	PSYS 系统增益	$V_{(PSYS)}$ / ($P_{(IN)}$ +$P_{(BAT)}$)，REG0x31[1] = 1		1		µA/W
V_{PSYS_ACC}	PSYS 增益精度 (REG0x31[1] = 1)	仅适用于系统电源 = 19.5V / 45W、TA = -40°C 至 85°C 的适配器	-4%		4%	
		仅适用于系统电源 = 11V / 44W、TA = -40°C 至 85°C 的电池	-3%		3%	
V_{PSYS_CLAMP}	PSYS 钳位电压		3		3.3	V
比较器						
VBUS 欠压锁定比较器						
V_{VBUS_UVLOZ}	VBUS 欠压上升阈值	VBUS 上升	2.30	2.55	2.80	V

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.5 电气特性 (continued)

测试条件为：T_J = -40°C 至 125°C (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{VBUS_UVLO}	VBUS 欠压下降阈值	VBUS 下降	2.18	2.40	2.62	V
$V_{VBUS_UVLO_HYST}$	VBUS 欠压迟滞			150		mV
V_{VBUS_CONVEN}	VBUS 转换器使能上升阈值	VBUS 上升	3.2	3.5	3.9	V
$V_{VBUS_CONVENZ}$	VBUS 转换器使能下降阈值	VBUS 下降	2.9	3.2	3.5	V
$V_{VBUS_CONVEN_HYST}$	VBUS 转换器使能迟滞			400		mV
电池欠压锁定比较器						
V_{VBAT_UVLOZ}	VBAT 欠压上升阈值	VSRN 上升	2.35	2.55	2.75	V
V_{VBAT_UVLO}	VBAT 欠压下降阈值	VSRN 下降	2.2	2.4	2.6	V
$V_{VBAT_UVLO_HYST}$	VBAT 欠压迟滞			150		mV
V_{VBAT_OTGEN}	VBAT OTG 使能上升阈值	VSRN 上升	3.25	3.55	3.85	V
V_{VBAT_OTGENZ}	VBAT OTG 使能下降阈值	VSRN 下降	2.2	2.4	2.6	V
$V_{VBAT_OTGEN_HYST}$	VBAT OTG 使能迟滞			1100		mV
VBUS 欠压比较器 (OTG 模式)						
$V_{VBUS_OTG_UV}$	VBUS 欠压下降阈值	以 REG0x07/06() 的百分比表示		85		%
$t_{VBUS_OTG_UV}$	VBUS 欠压抗尖峰脉冲时间			7		ms
VBUS 过压比较器 (OTG 模式)						
$V_{VBUS_OTG_OV}$	VBUS 过压上升阈值	以 REG0x07/06() 的百分比表示		110		%
$t_{VBUS_OTG_OV}$	VBUS 过压抗尖峰脉冲时间			10		ms
预充电到快速充电转换						
$V_{BAT_SYSMIN_RISE}$	LDO 模式至快速充电模式阈值，VSRN 上升	以 0x0D/0C() 的百分比表示	98	100	102	%
$V_{BAT_SYSMIN_FALL}$	LDO 模式至快速充电模式阈值，VSRN 下降	以 0x0D/0C() 的百分比表示		97.5		%
$V_{BAT_SYSMIN_HYST}$	快速充电模式至 LDO 模式阈值迟滞	以 0x0D/0C() 的百分比表示		2.5		%
电池 LOWV 比较器 (1S 的预充电至快速充电阈值)						
V_{BATLV_FALL}	BATLOWV 下降阈值	1s		2.8		V
V_{BATLV_RISE}	BATLOWV 上升阈值			3		V
V_{BATLV_RHYST}	BATLOWV 迟滞			200		mV
输入过压比较器 (ACOVP)						
V_{ACOV_RISE}	VBUS 过压上升阈值	VBUS 上升	25	26	27	V
V_{ACOV_FALL}	VBUS 欠压下降阈值	VBUS 下降	23.5	24.5	25	V
V_{ACOV_HYST}	VBUS 过压迟滞			1.5		V
$t_{ACOV_RISE_DEG}$	VBUS 抗尖峰脉冲过压上升	VBUS 转换器上升到停止转换器		100		µs
$t_{ACOV_FALL_DEG}$	VBUS 抗尖峰脉冲过压下降	VBUS 转换器下降以启动转换器		1		ms
输入过流比较器 (ACOC)						
V_{ACOC}	ACP 至 ACN 上升阈值，基准为 REG0x37[7:4] 中的 ILIM2	输入检测电阻两端的电压上升，REG0x32[2] = 1	1.8	2	2.2	
V_{ACOC_FLOOR}	在 ACP 和 ACN 之间进行测量	将 IDPM 设置为最小值	44	50	56	mV
$V_{ACOC_CEILING}$	在 ACP 和 ACN 之间进行测量	将 IDPM 设置为最大值	172	180	188	mV
$t_{ACOC_DEG_RISE}$	上升抗尖峰脉冲时间	触发 ACOC 的抗尖峰脉冲时间		250		µs
t_{ACOC_RELAX}	放松时间	转换器再次启动之前的放松时间		250		ms
系统过压比较器 (SYSOVP)						

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.5 电气特性 (continued)

测试条件为：T_J = -40°C 至 125°C (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{SYSOVP_RISE}	关闭转换器的系统过压上升阈值	1s	4.85	5	5.1	V
		2s	11.7	12	12.2	V
		3s，4s	19	19.5	20	V
V_{SYSOVP_FALL}	系统欠压下降阈值	1s		4.8		V
		2s		11.5		V
		3s，4s		19		V
I_{SYSOVP}	触发 SYSOVP 停止开关时的放电电流	在 SYS 上		20		mA
BAT 过压比较器 (BATOVP)						
V_{BATOVP_RISE}	过压上升阈值占 REG0x05/04() 中 VBAT_REG 的百分比	1s，4.2V	102.5	104	106	%
		2s - 4s	102.5	104	105	%
V_{BATOVP_FALL}	过压下降阈值占 REG0x05/04() 中 VBAT_REG 的百分比	1s	100	102	104	%
		2s - 4s	100	102	103	%
V_{BATOVP_HYST}	过压迟滞占 REG0x05/04() 中 VBAT_REG 的百分比	1s		2		%
		2s - 4s		2		%
I_{BATOVP}	BATOVP 期间的放电电流	在 VSYS 引脚上		20		mA
t_{BATOVP_RISE}	关闭 BATDRV 以禁用充电的过压上升抗尖峰脉冲			20		ms
转换器过流比较器 (Q2)						
VOCP_limit_Q2	转换器过流限制	REG0x32[5] = 1		150		mV
		REG0x32[5] = 0		210		mV
VOCP_limit_SYSSHORT_Q2	系统短路或 SRN < 2.4V	REG0x32[5] = 1		45		mV
		REG0x32[5] = 0		60		mV
转换器过流比较器 (ACX)						
VOCP_limit_ACX	转换器过流限制	REG0x32[4] = 1		150		mV
		REG0x32[4] = 0		280		mV
VOCP_limit_SYSSHORT_ACX	系统短路或 SRN < 2.4V	REG0x32[4] = 1		90		mV
		REG0x32[4] = 0		150		mV
热关断比较器						
T_{SHUT_RISE}	热关断上升温度	温度升高		155		°C
T_{SHUTF_FALL}	热关断下降温度	温度降低		135		°C
T_{SHUT_HYS}	热关断迟滞			20		°C
t_{SHUT_RDEG}	热抗尖峰脉冲关断上升			100		µs
t_{SHUT_FHYS}	热抗尖峰脉冲关断下降			12		ms
VSYS PROCHOT 比较器						
VSYS_TH1	VSYS_TH1 比较器下降阈值	REG0x36[7:4] = 0111，2s - 4s		6.6		V
		REG0x36[7:4] = 0100，1s		3.5		V
VSYS_TH2	VSYS_TH2 比较器下降阈值	REG0x36[3:2] = 10，2s - 4s		6.5		V
		REG0x36[3:2] = 10，1s		3.5		V
$t_{SYS_PRO_falling_DEG}$	用于节流的 V_{SYS} 下降抗尖峰脉冲			4		µs
ICRIT PROCHOT 比较器						

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.5 电气特性 (continued)

测试条件为：T_J = -40°C 至 125°C (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{ICRIT_PRO}	用于节流的输入电流上升阈值以比 ILIM2 (REG0x37[7:3]) 高 10% 表示	仅当 ILIM2 设置高于 2A 时	105	110	117	%
INOM PROCHOT 比较器						
V_{INOM_PRO}	INOM 上升阈值以比 IIN (REG0x0F/0E()) 高 10% 表示		105	110	116	%
IDCHG PROCHOT 比较器						
V_{IDCHG_PRO}	IDSCHG 6A 节流的 IDCHG 阈值	REG0x39[7:2] = 001100		6272		mA
			95		103	%
独立比较器						
V_{INDEP_CMP}	独立比较器阈值	REG0x30[7] = 1，CMPIN 下降	1.17	1.2	1.23	V
		REG0x30[7] = 0，CMPIN 下降	2.27	2.3	2.33	V
$V_{INDEP_CMP_HYS}$	独立比较器迟滞	REG0x30[7] = 0，CMPIN 下降		100		mV
功率 MOSFET 驱动器						
PWM 振荡器和斜坡						
F_{SW}	PWM 开关频率	REG0x01[1] = 0	1020	1200	1380	kHz
		REG0x01[1] = 1	680	800	920	kHz
BATFET 栅极驱动器 (BATDRV)						
V_{BATDRV_ON}	BATFET 上的栅极驱动电压		8.5	10	11.5	V
V_{BATDRV_DIODE}	理想二极管运行期间 BATFET 上的漏源电压			30		mV
R_{BATDRV_ON}	通过向 BATDRV 提供 10μA 电流进行测量		2.5	4	6	kΩ
R_{BATDRV_OFF}	通过从 BATDRV 灌入 10μA 电流进行测量			1.2	2.1	kΩ
PWM 高侧驱动器 (HIDRV Q1)						
$R_{DS_HI_ON_Q1}$	高侧驱动器 (HSD) 导通电阻	V_{BTST1} - V_{SW1} = 5V		6		Ω
$R_{DS_HI_OFF_Q1}$	高侧驱动器关断电阻	V_{BTST1} - V_{SW1} = 5V		1.3	2.2	Ω
$V_{BTST1_REFRESH}$	自举刷新比较器下降阈值电压	当请求低侧刷新脉冲时 V_{BTST1} - V_{SW1}	3.2	3.7	4.6	V
PWM 高侧驱动器 (HIDRV Q4)						
$R_{DS_HI_ON_Q4}$	高侧驱动器 (HSD) 导通电阻	V_{BTST2} - V_{SW2} = 5V		6		Ω
$R_{DS_HI_OFF_Q4}$	高侧驱动器关断电阻	V_{BTST2} - V_{SW2} = 5V		1.5	2.4	Ω
$V_{BTST2_REFRESH}$	自举刷新比较器下降阈值电压	当请求低侧刷新脉冲时 V_{BTST2} - V_{SW2}	3.1	3.7	4.5	V
PWM 低侧驱动器 (LODRV Q2)						
$R_{DS_LO_ON_Q2}$	低侧驱动器 (LSD) 导通电阻	V_{BTST1} - V_{SW1} = 5.5V		6		Ω
$R_{DS_LO_OFF_Q2}$	低侧驱动器关断电阻	V_{BTST1} - V_{SW1} = 5.5V		1.7	2.6	Ω
PWM 低侧驱动器 (LODRV Q3)						
$R_{DS_LO_ON_Q3}$	低侧驱动器 (LSD) 导通电阻	V_{BTST2} - V_{SW2} = 5.5V		7.6		Ω
$R_{DS_LO_OFF_Q3}$	低侧驱动器关断电阻	V_{BTST2} - V_{SW2} = 5.5V		2.9	4.6	Ω
充电使能期间的内部软启动						
SSSTEP_DAC	软启动步长			64		mA
SSSTEP_DAC	软启动步长时间			8		μs
集成 BTST 二极管 (D1)						

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.5 电气特性 (continued)

测试条件为：T_J = -40°C 至 125°C (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{F_D1}	正向偏置电压	25°C 时 IF = 20mA		0.8		V
V_{R_D1}	反向击穿电压	25°C 时 IR = 2μA			20	V
集成 BTST 二极管 (D2)						
V_{F_D2}	正向偏置电压	25°C 时 IF = 20mA		0.8		V
V_{R_D2}	反向击穿电压	25°C 时 IR = 2μA			20	V
接口						
逻辑输入 (SDA、SCL、OTG/VAP)						
V_{IN_LO}	输入低阈值	I2C			0.4	V
V_{IN_HI}	输入高阈值	I2C	1.3			V
逻辑输出开漏 (SDA、CHRG_OK、CMPOUT)						
V_{OUT_LO}	输出饱和电压	5mA 漏极电流			0.4	V
V_{OUT_LEAK}	漏电流	V = 7V	-1		1	μA
逻辑输出开漏 SDA						
$V_{OUT_LO_SDA}$	输出饱和电压	5mA 漏极电流			0.4	V
$V_{OUT_LEAK_SDA}$	漏电流	V = 7V	-1		1	μA
逻辑输出开漏 CHRG_OK						
$V_{OUT_LO_CHRG_OK}$	输出饱和电压	5mA 漏极电流			0.4	V
$V_{OUT_LEAK_CHRG_OK}$	漏电流	V = 7V	-1		1	μA
逻辑输出开漏 CMPOUT						
$V_{OUT_LO_CMPOUT}$	输出饱和电压	5mA 漏极电流			0.4	V
$V_{OUT_LEAK_CMPOUT}$	漏电流	V = 7V	-1		1	μA
逻辑输出开漏 (PROCHOT)						
$V_{OUT_LO_PROCHOT}$	输出饱和电压	50Ω 上拉至 1.05V/5mA			300	mV
$V_{OUT_LEAK_PROCHOT}$	漏电流	V = 5.5V	-1		1	μA
模拟输入 (ILIM_HIZ)						
V_{HIZ_LO}	退出 HIZ 模式的电压	ILIM_HIZ 引脚上升	0.8			V
V_{HIZ_HIGH}	启用 HIZ 模式的电压	ILIM_HIZ 引脚下降			0.4	V
模拟输入 (CELL_BATPRESZ)						
V_{CELL_4S}	4S	REGN 的 REGN = 6V，以百分比形式表示	68.4	75		%
V_{CELL_3S}	3S	REGN 的 REGN = 6V，以百分比形式表示	51.7	55	65	%
V_{CELL_2S}	2S	REGN 的 REGN = 6V，以百分比形式表示	35	40	49.1	%
V_{CELL_1S}	1S	REGN 的 REGN = 6V，以百分比形式表示	18.4	25	31.6	%
$V_{CELL_BATPRESZ_RISE}$	存在电池	CELL_BATPRESZ 上升	18			%
$V_{CELL_BATPRESZ_FALL}$	电池被移除	CELL_BATPRESZ 下降			15	%

8.6 时序要求

		最小值	标称值	最大值	单位
I2C 时序特性					
t_r	SCLK/SDATA 上升时间			300	ns

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

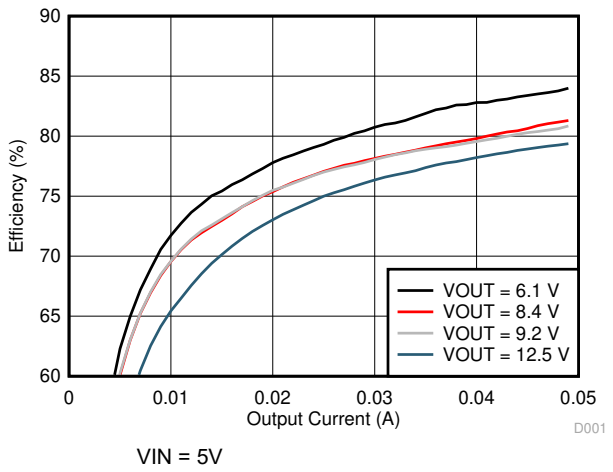
8.6 时序要求 (continued)

		最小值	标称值	最大值	单位
t_f	SCLK/SDATA 下降时间			300	ns
$t_{W(H)}$	SCLK 脉冲宽度高电平	0.6		50	µs
$t_{W(L)}$	SCLK 脉冲宽度，低电平	1.3			µs
$t_{SU(STA)}$	START 条件的建立时间	0.6			µs
$t_{H(STA)}$	START 条件保持时间，在此时间之后生成第一个时钟脉冲	0.6			µs
$t_{SU(DAT)}$	数据设置时间	100			ns
$t_{H(DAT)}$	数据保持时间	300			ns
$t_{SU(STOP)}$	STOP 条件的建立时间	0.6			µs
$t_{(BUF)}$	START 和 STOP 条件之间的总线空闲时间	1.3			µs
$F_{S(CL)}$	时钟频率	10		400	kHz
主机通信故障					
$t_{timeout}$	I2C 总线释放超时(1)	25		35	ms
t_{Deg_WD}	针对看门狗复位信号的抗尖峰脉冲	10			ms
t_{WDI}	看门狗超时周期，ChargeOption() 位 [14:13] = 01(2)	4	5.5	7	s
	看门狗超时周期，ChargeOption() 位 [14:13] = 10(2)	70	88	105	s
	看门狗超时周期，ChargeOption() 位 [14:13] = 11(2)	140	175	210	s

(1) 如有任何时钟低电平超过 25ms 最小超时周期时，则参与传输的器件将超时。检测到超时条件的器件必须在不晚于 35ms 的最大超时周期内复位通信。主器件和从器件都必须遵守指定的最大值，因为它包含主器件 (10ms) 和从器件 (25ms) 的累积拉伸限制。
(2) 用户可通过 I2C ChargeOption() REG0x01/00() 调整阈值。

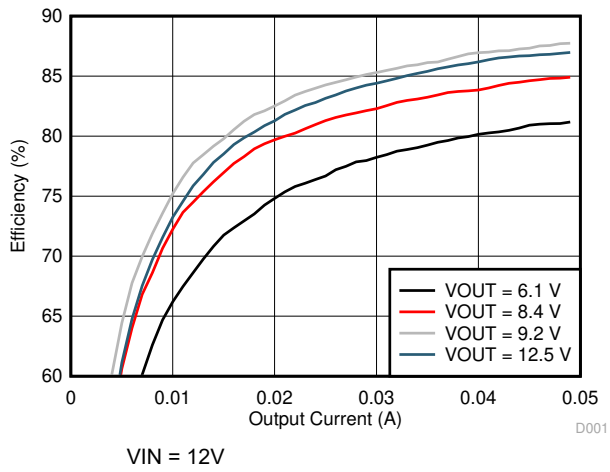
Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.7 典型特性



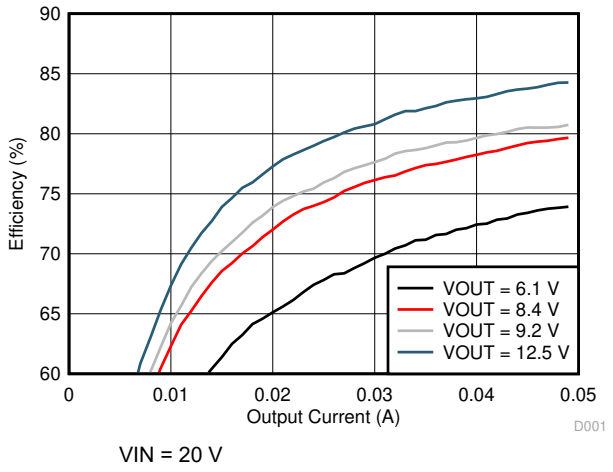
VIN = 5V

图 8-1. 轻负载效率



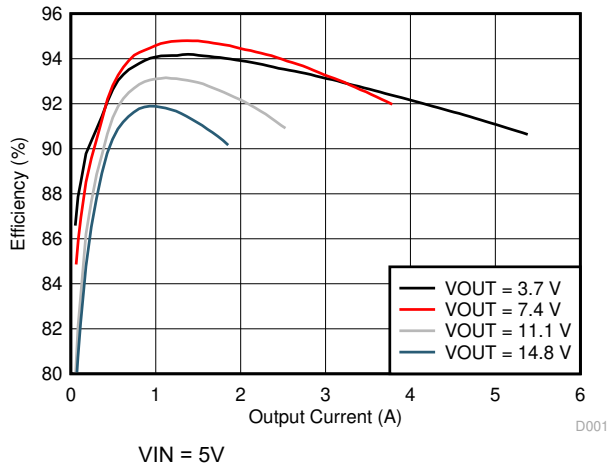
VIN = 12V

图 8-2. 轻负载效率



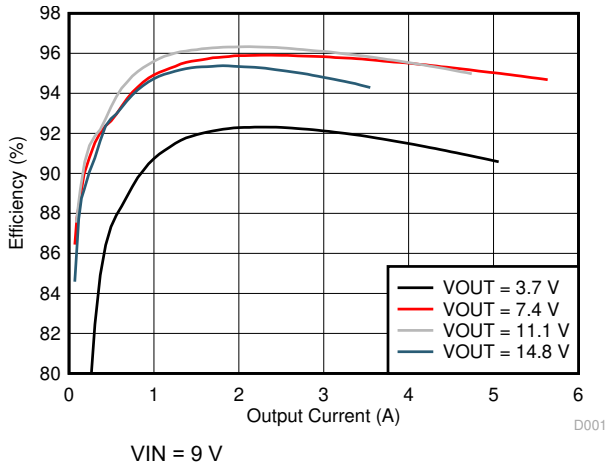
VIN = 20 V

图 8-3. 轻负载效率



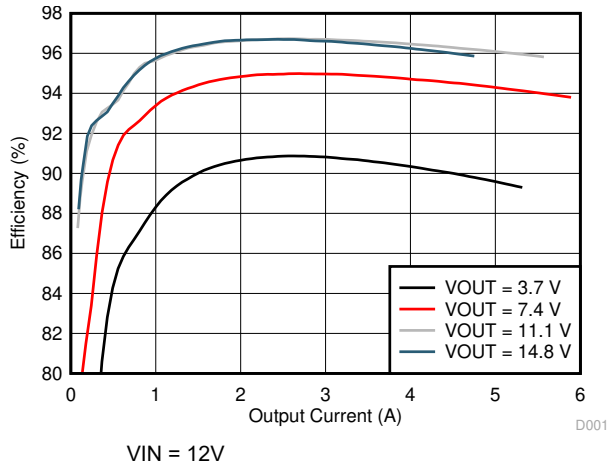
VIN = 5V

图 8-4. 系统效率



VIN = 9 V

图 8-5. 系统效率

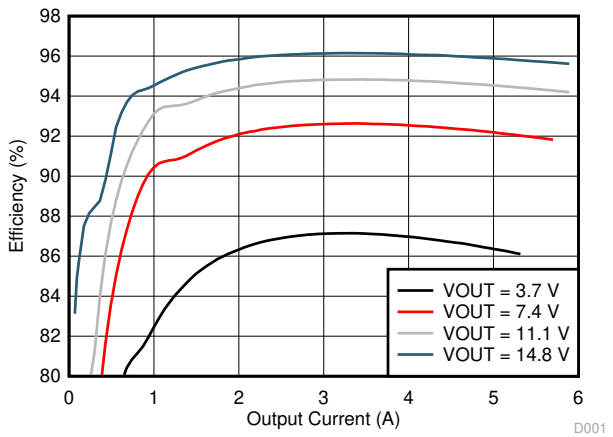


VIN = 12V

图 8-6. 系统效率

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

8.7 典型特性 (continued)



VIN = 20 V

图 8-7. 系统效率

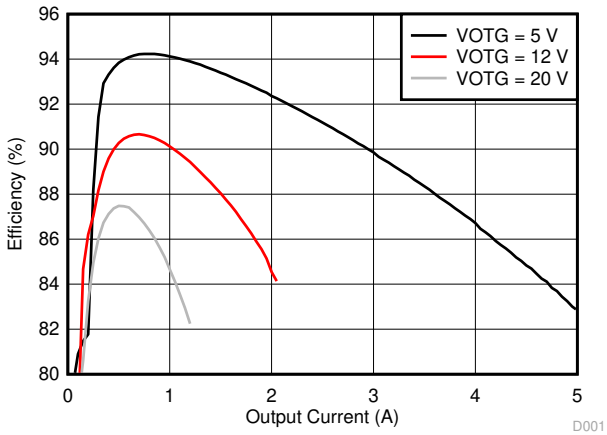


图 8-8. 使用 1 节电池时的 OTG 效率

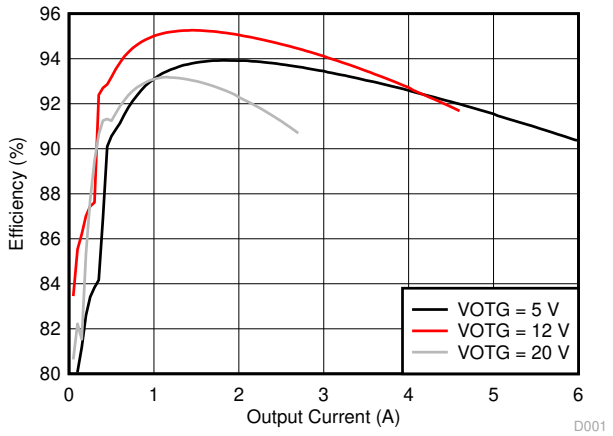


图 8-9. 使用 2 节电池时的 OTG 效率

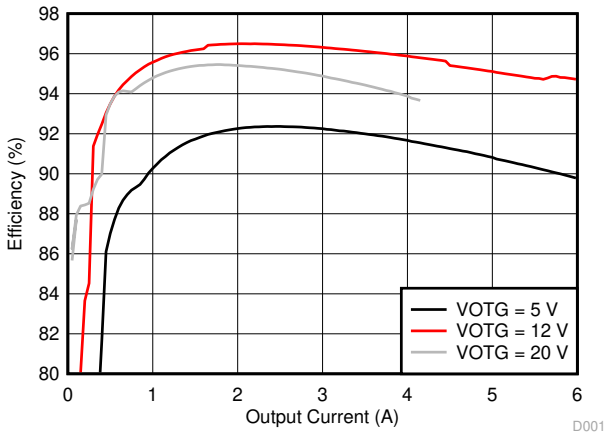


图 8-10. 使用 3 节电池时的 OTG 效率

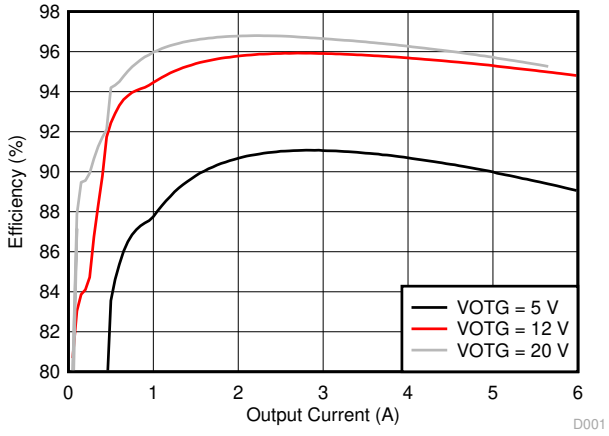


图 8-11. 使用 4 节电池时的 OTG 效率

9 详细说明

9.1 概述

BQ25713/BQ25713B 是一款窄 VDC 降压/升压充电器控制器，适用于笔记本电脑、可拆卸笔记本、超极本、平板电脑和其他带可充电电池的移动设备等便携式电子产品。它可在不同的转换器运行模式（降压、升压或降压/升压）之间无缝转换，提供快速瞬态响应和较高的轻负载效率。

BQ25713/BQ25713B 支持多种电源，包括 USB PD 端口、传统 USB 端口、传统交流/直流适配器等。它的输入电压为 3.5V 至 24V，可为 1-4 节串联电池充电。在无输入源的情况下，BQ25713/BQ25713B 支持 1-4 节电池的 USB On-the-Go (OTG) 功能，在 USB 端口生成具有 8mV 分辨率的 3V 至 20.8V 可调电压。OTG 输出电压转换压摆率是可配置的，这符合 USB Power Delivery 3.0 PPS 规范。

仅当通过电池为系统供电且 USB OTG 端口未连接外部负载时，BQ25713/BQ25713B 提供 Vmin 主动保护 (VAP) 特性。在 VAP 运行期间，BQ25713/BQ25713B 首先对输入去耦电容器进行充电，使其电压达到 VBUS，以存储一定的能量。在系统峰值功率尖峰期间，大量电流从电池流出，导致从电池到系统的阻抗出现较大压降。然后，存储在输入电容器中的能量会为系统补电，从而防止在系统电压下降到最低系统电压之下时出现系统黑屏。该 VAP 设计用于在高需求期间吸收系统功率峰值，以提高系统涡轮性能，Intel 强烈建议为具有 1 至 2 节串联电池的平台配备此特性。

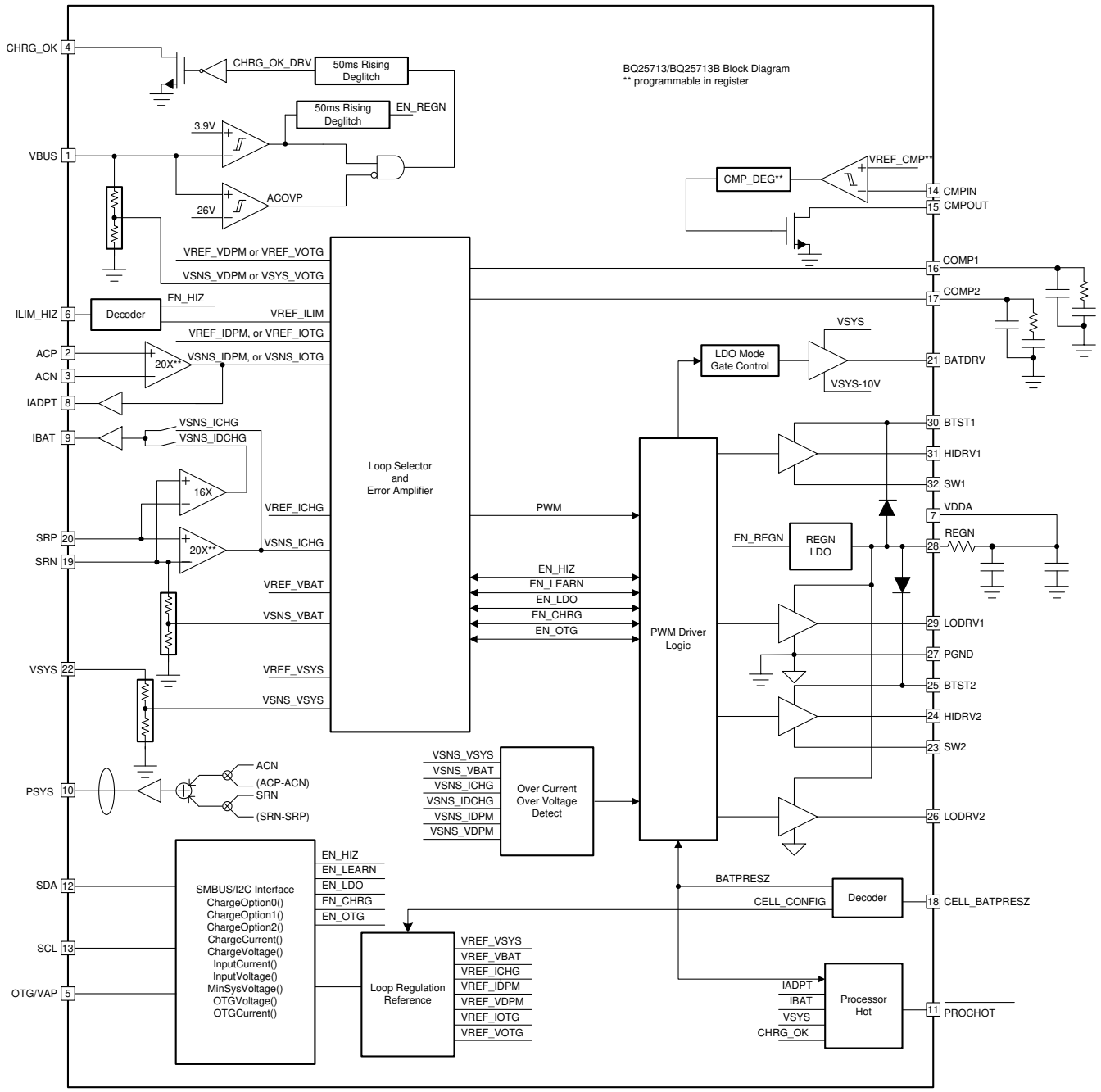
BQ25713/BQ25713B 具有动态电源管理 (DPM) 功能，可限制输入功率并避免交流适配器过载。在电池充电期间，随着系统功耗的增加，充电电流将降低，以便保持总输入电流低于适配器额定值。如果系统功耗需求暂时超过适配器额定值，则 BQ25713/BQ25713B 支持 NVDC 架构，让电池释放能量来补充系统电力。有关详细信息，请参阅节 9.6.5.1。

为了与符合 Intel IMVP8/IMVP9 标准的系统兼容，BQ25713/BQ25713B 包含 PSYS 功能，可监测适配器和电池的平台总功率。除了 PSYS 之外，该器件还提供独立的输入电流缓冲器 (IADPT) 和具有高精度电流检测放大器的电池电流缓冲器 (IBAT)。如果平台功率超过适配器和电池的可用功率，则系统会向 CPU 发出 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 信号，以便 CPU 根据系统的可用功率优化其性能。

I^2C 通过高分辨率、高精度调节限制来控制输入电流、充电电流和充电电压寄存器。它还设置 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 时序和阈值曲线来满足系统要求。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.2 功能模块图


BQ25713/BQ25713B Block Diagram
** programmable in register
CHRG_OK
CHRG_OK_DRV
50ms Rising Deglitch
EN_REGN
3.9V
VBUS
26V
ACOVP
VREF_VDPM or VREF_VOTG
VSNS_VDPM or VSYS_VOTG
EN_HIZ
ILIM_HIZ
Decoder
VREF_ILIM
VREF_IDPM, or VREF_IOTG
ACP
ACN
20X**
VSNS_IDPM, or VSNS_IOTG
IADPT
IBAT
VSNS_ICHG
VSNS_IDCHG
16X
VREF_ICHG
SRP
SRN
20X**
VSNS_ICHG
VREF_VBAT
VSNS_VBAT
VSYS
VREF_VSYS
VSNS_VSYS
Loop Selector and Error Amplifier
PWM
EN_HIZ
EN_LEARN
EN_LDO
EN_CHRG
EN_OTG
PWM Driver Logic
CMP_DEG**
VREF_CMP**
CMPIN
CMPOUT
COMP1
COMP2
LDO Mode Gate Control
VSYS
VSYS-10V
BATDRV
BTST1
HIDRV1
SW1
VDDA
EN_REGN
REGN LDO
REGN
LODRV1
PGND
BTST2
HIDRV2
SW2
LODRV2
PSYS
ACN
(ACP-ACN)
SRN
(SRN-SRP)
VSNS_VSYS
VSNS_VBAT
VSNS_ICHG
VSNS_IDCHG
VSNS_IDPM
VSNS_VDPM
Over Current Over Voltage Detect
BATPRESZ
CELL_CONFIG
Decoder
CELL_BATPRESZ
SDA
SCL
OTG/VAP
SMBUS/I2C Interface
ChargeOption0()
ChargeOption1()
ChargeOption2()
ChargeCurrent()
ChargeVoltage()
InputCurrent()
InputVoltage()
MinSysVoltage()
OTGVoltage()
OTGCurrent()
EN_HIZ
EN_LEARN
EN_LDO
EN_CHRG
EN_OTG
Loop Regulation Reference
VREF_VSYS
VREF_VBAT
VREF_ICHG
VREF_IDPM
VREF_VDPM
VREF_IOTG
VREF_VOTG
IADPT
IBAT
VSYS
CHRG_OK
Processor Hot
PROCHOT

9.3 特性说明

9.3.1 从不带直流电源的电池上电

如果仅存在电池且电压高于 V_{VBAT_UVLOZ}，则 BATFET 导通并将电池连接到系统。默认情况下，充电器处于低功耗模式 (REG0x01[7] = 1) 且静态电流极低。LDO 保持关闭状态。当器件进入性能模式 (REG0x01[7] = 0) 时，主机可通过 I²C 启用 IBAT 缓冲器来监测放电电流。主机也可通过 I²C 命令启用 PSYS、$\overline{\text{PROCHOT}}$ 或独立比较器。在性能模式下，始终可以使用 REGN LDO 为其他特性提供精确的基准。

9.3.2 仅电池模式下的 Vmin 主动保护 (VAP)

在 VAP 模式运行期间，降压/升压充电器从电池输送能量，以便为输入去耦电容器 (VBUS) 充电，使其电压尽可能高（如 20V）。如果 SoC 和主板系统尖峰重合，则 2S1P 或 1S2P 系统的系统峰值功率脉冲可高达 100W。这些尖峰预计非常罕见，但还是有可能出现。在这些高功率尖峰期间，充电器应对电池进行补充（从充电器的输入去耦电容器汲取能量），以防止系统电压下降。VAP 允许 SoC 为 SoC 设置高得多的峰值功率级别，从而提供更好的涡轮性能。

按照以下步骤进入 VAP 运行模式：

1. 在 REG0x07/06() 中设置电压限制，为 VBUS 充电。
2. 在 REG0x09/08() 和 REG0x39[7:2] 中设置电流限制，为 VBUS 充电。
3. 在 REG0x0D[5:0] 中设置系统电压调节点，当输入电容补充电池时，VSYS_MIN 调节环路将在该调节点保持 VSYS。
4. 在 REG0x36[7:4] 中设置 PROCHOT_VSYS_TH1 阈值，触发 VAP 将 VBUS 放电。
5. 在 REG0x36[3:2] 中设置 PROCHOT_VSYS_TH2 阈值，将节流 SoC 的 /PROCHOT 低电平有效信号置为有效。
6. 启用 VAP 模式，方法是设置 REG0x34[5] = 0、REG0x35[4] = 0 并将 OTG/VAP 引脚拉至高电平。

要退出 VAP 模式，主机应写入 REG0x34[5] = 1 或将 OTG/VAP 引脚拉至低电平。

任何处于 VAP 模式的充电器常规故障条件都将复位 REG0x34[5] = 1，充电器将自动退出 VAP 模式。

9.3.3 从直流电源上电

当输入源插入时，充电器会检查输入源电压以开启 LDO 和所有偏置电路。它会在转换器启动前设置输入电流限制。

直流电源的上电顺序如下：

1. VBUS 高于 V_{VBUS_CONVEN} 之后 50ms，启用 6V LDO 并且 CHRG_OK 变为高电平
2. 在 VBUS 首次升至高于 V_{VBUS_UVLOZ} 后 50ms 执行 VBUS 认证。如果

   V_{VBUS_UVLOZ} < VBUS < V_{VBUS_CONVEN}，则充电器未通过 VBUS 认证，充电器将每隔 2s 重新验证一次 VBUS。
3. 输入电压和电流限制设置
4. 电池电芯配置
5. VBUS 高于 V_{VBUS_CONVEN} 之后 150ms，转换器上电。

9.3.3.1 CHRG_OK 指示器

CHRG_OK 是一个高电平有效开漏指示器。当满足以下条件时，它指示充电器处于正常工作状态：

- VBUS 高于 V_{VBUS_CONVEN}
- VBUS 低于 V_{ACOV}
- 无 MOSFET/电感器或过压、过流、热关断故障

9.3.3.2 输入电压和电流限制设置

在 CHRG_OK 变为高电平后，充电器会将 REG0x0F/0E() 中的默认输入电流限制设置为 3.25A。器件采用的实际输入电流限制是 REG0x0F/0E() 和 ILIM_HIZ 引脚的较低设置。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

在启用转换器之前，充电器会在没有任何负载（空载时的 VBUS）的情况下启动 VBUS 电压测量。VBUS 空载时的默认 VINDPM 阈值为 1.28V。

设置输入电流和电压限值后，充电器器件准备加电。在充电器加电后，主机始终可以根据输入源类型对输入电流和电压限制进行编程。

9.3.3.3 电池电芯配置

CELL_BATPRESZ 引脚通过从 REGN 至 CELL_BATPRESZ 至 GND 的电阻分压器进行偏置。激活 VDDA LDO 后，器件会通过 CELL_BATPRESZ 引脚偏置电压检测电池配置。有关电芯设置阈值，请参阅表 9-1。

表 9-1. 电池电芯配置

电芯数	引脚电压，以 VDDA 为基准	电池电压 (REG0x05/04)	SYSOVP
4S	75%	16.800 V	19.5 V
3S	55%	12.592 V	19.5 V
2S	40%	8.400 V	12V
1S	25%	4.192 V	5V

9.3.3.4 器件高阻态状态

当 ILIM_HIZ 引脚电压低于 0.4V 或 REG0x35[7] 设置为 1 时，充电器进入高阻态模式。在高阻态模式下，输入源存在，并且充电器处于低静态电流模式，同时启用了 REGN LDO。

9.3.4 USB On-The-Go (OTG)

该器件支持 USB OTG 运行，可通过 USB 端口从电池向其他便携式器件供电。在 REG0x07/06() 中设置 OTG 模式输出电压。在 REG0x09/08() 中设置 OTG 模式输出电流。如果条件有效，则可以启用 OTG 操作：

- 有效电池电压在 REG0x05/04() 中设置，该电池电压不应触发 BATOVP 阈值，否则转换器将停止开关。
- OTG 输出电压在 REG0x07/06() 和 REG0x34[2] 中设置，如果 REG0x34[2] = 0，则 VOTG 数字 DAC 偏移 1.28V，以实现 4.28V 至 20.8V 的更大范围，如果 REG0x34[2] = 1，则 VOTG 数字 DAC 的范围为 3V 至 19.52V。
- OTG 输出电流在 REG0x09/08() 中设置。
- EN_OTG 引脚为高电平，REG0x35[4] = 1 且 REG0x34[5] = 1。
- VBUS 低于 $V_{VBUS_CONVENZ}$。
- 上述条件有效后的 10ms，转换器启动，VBUS 斜升至目标电压。如果 REG0x01[3] = 1，则 CHRG_OK 引脚变为高电平。

9.3.5 转换器运行

充电器采用同步降压/升压转换器，这允许从标准 5V 电源或高压电源进行充电。充电器以降压、降压/升压和升压模式运行。降压/升压可跨三种工作模式不间断地连续运行。

表 9-2. MOSFET 运行

MODE	BUCK	BUCK-BOOST	升压
Q1	开关	开关	打开
Q2	开关	开关	OFF
Q3	OFF	开关	开关
Q4	打开	开关	开关

9.3.5.1 通过 IADPT 引脚检测电感

在转换器启动之前，充电器通过连接到 IADPT 引脚的电阻读取电感值。1uH、2.2uH、3.3uH 电感的推荐阻值分别为 93kΩ、137kΩ 和 169kΩ。必须使用容差为 ±3% 或更高的表面贴装芯片电阻器来实现精确的电感检测。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-3. 通过 IADPT 电阻进行电感器检测

使用中的电感器	IADPT 引脚上的电阻
1μH	93kΩ
2.2 μH	137kΩ
3.3μH	169kΩ

9.3.5.2 连续导通模式 (CCM)

在具有足够的充电电流或系统电流的情况下，电感器电流不会超过 0A，这定义为 CCM。控制器开始一个新的周期，斜坡从 200mV 上升。只要误差放大器输出电压高于斜坡电压，高侧 MOSFET (HSFET) 就会保持导通状态。当斜坡电压超过误差放大器输出电压时，HSFET 关断，低侧 MOSFET (LSFET) 导通。在周期结束时，斜坡会复位且 LSFET 关断，为下一个周期做好准备。在转换过程中始终存在先断后合逻辑，以防止跨导和击穿。在两个 MOSFET 均关断的死区时间内，低侧功率 MOSFET 的体二极管传导电感器电流。

在 CCM 期间，电感器电流始终流动并形成固定的双极系统。在 HSFET 处于关断状态时使 LSFET 导通，这可保持较低的功耗，并允许在大电流下安全充电。

9.3.5.3 脉冲频率调制 (PFM)

为了提高转换器轻负载效率，BQ25713/BQ25713B 在轻负载时切换到 PFM 运行模式。当系统负载降低时，有效开关频率将相应降低。启用 OOA 特性后（ChargeOption0() 位 [10]=1），最小频率可限制为 25kHz。

9.3.6 电流和功率监控器

9.3.6.1 高精度电流检测放大器（IADPT 和 IBAT）

作为行业标准，高精度电流检测放大器 (CSA) 用于在正向充电模式期间监测充电器输入电流，或在 OTG 模式 (IADPT) 期间监测输出电流以及电池充电/放电电流 (IBAT)。IADPT 电压是 ACP 和 ACN 两端差分电压的 20 倍或 40 倍。IBAT 电压是 SRP 和 SRN 两端电压差的 8 倍/16 倍（充电期间）或 8 倍/16 倍（放电期间）。输入电压或电池电压高于 UVLO 后，IADPT 输出变为有效。为了降低电流监控上的电压，可以使用从 CSA 输出到 GND 的电阻分压器，并且仍然可以实现整个温度范围内的精度。

- $V_{(IADPT)}$ = 20 或 40 × ($V_{(ACP)}$ – $V_{(ACN)}$)（在正向模式期间），或 20 或 40 × ($V_{(ACN)}$ – $V_{(ACP)}$)（在反向 OTG 模式期间）。
- $V_{(IBAT)}$ = 8 或 16 × ($V_{(SRP)}$ – $V_{(SRN)}$)（对于电池充电电流）。
- $V_{(IBAT)}$ = 8 或 16 × ($V_{(SRN)}$ – $V_{(SRP)}$)（对于电池放电电流）。

为了对高频噪声进行去耦，建议在输出端连接一个最大值为 100pF 的电容器。如果需要额外的滤波，则可选择附加的 RC 滤波器。请注意，添加滤波也会增加额外的响应延迟。CSA 输出电压被钳位在 3.3V。

9.3.6.2 高精度功率检测放大器 (PSYS)

充电器监控系统总功率。在正向模式期间，输入适配器为系统供电。在反向 OTG 模式下，电池为系统和 VBUS 输出供电。PSYS 引脚输出电流与系统总功率之比 K_{PSYS} 可被设定为 REG0x31[1]，默认值为 1μA/W。在 REG0x31[3:2] 中选择输入和充电检测电阻（RAC 和 RSR）。PSYS 电压可通过方程式 1 计算得出，其中当充电器在连接适配器的情况下正向充电时，I_{IN}>0 I_{BAT}<0，当电池处于放电模式时 I_{BAT}>0。

$$V_{PSYS} = R_{PSYS} \times K_{PSYS} (V_{ACP} \times I_{IN} + V_{BAT} \times I_{BAT}) \quad (1)$$

为确保 PSYS 功能正常，RAC 和 RSR 值限制在 10mΩ 和 20mΩ。

为了尽可能减小静态电流，默认情况下会禁用 PSYS 功能。可通过设置 REG0x31[4] = 1 来启用此功能。

9.3.7 输入源动态电源管理

请参阅节 9.6.6。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.3.8 两级适配器电流限制（峰值功率模式）

通常，适配器可在几毫秒至几十毫秒内提供高于直流额定值的电流。该充电器采用两级输入电流限制或峰值功率模式，以充分利用过载能力，并在 CPU 涡轮模式期间尽可能地减少电池放电。在 REG0x33[5:4] 中启用峰值功率模式。直流电流限制 (I_{LIM1}) 与 REG0x0F/0E() 中设置的适配器直流电流相同。过载电流 (I_{LIM2}) 在 REG0x37[7:3] 中设置为 I_{LIM1} 的百分比。

当充电器检测到负载瞬态导致的输入电流浪涌和电池放电（适配器和电池一起支持系统）时，或者当充电器检测到负载瞬态导致系统电压开始下降（只有适配器支持系统）时，充电器将首先在 REG0x33[7:6] 中为 T_{OVLD} 施加 I_{LIM2}，然后在长达 T_{MAX} – T_{OVLD} 的时间内施加 I_{LIM1}。在 REG0x33[1:0] 中对 T_{MAX} 进行编程。在 T_{MAX} 之后，如果负载仍处于高电平，则开始另一个峰值下电上电。在 T_{MAX} 期间禁用充电；一旦 T_{MAX} 到期，便继续充电。如果 T_{OVLD} 编程为等于 T_{MAX}，则峰值功率模式始终开启。

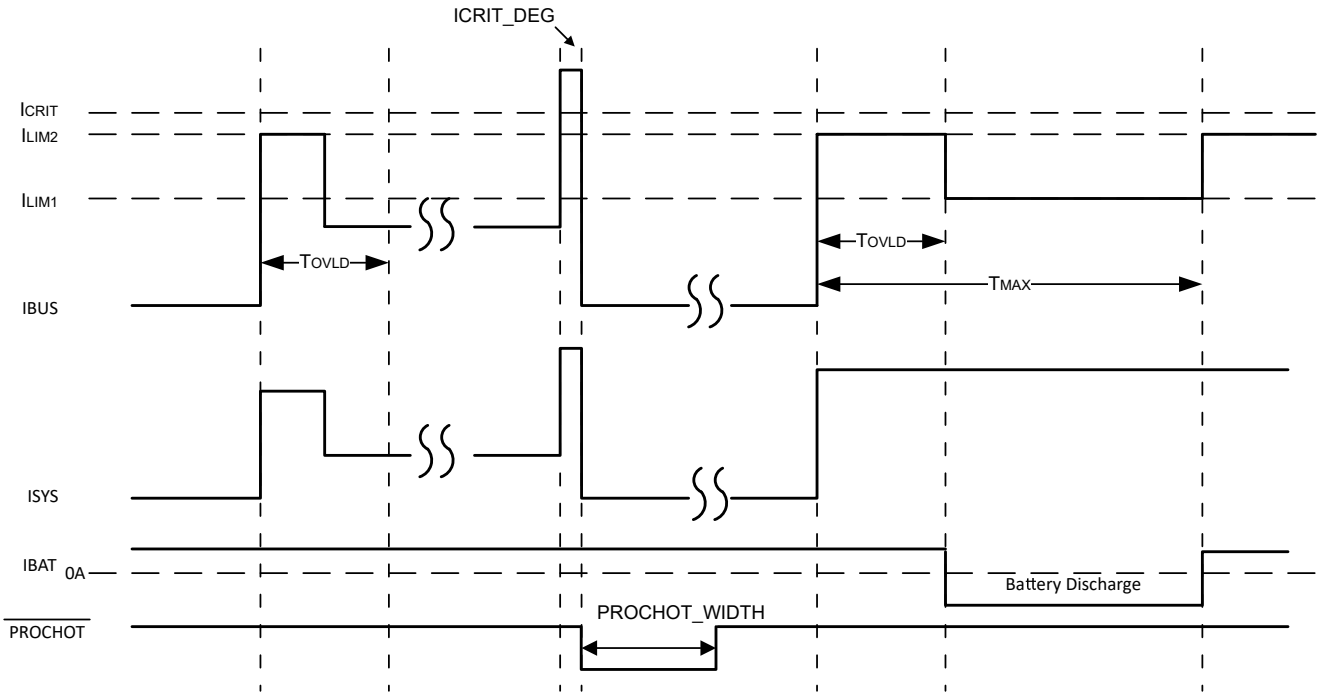


图 9-1. 两级适配器电流限制时序图

9.3.9 处理器热量指示

当 CPU 运行涡轮模式时，系统峰值功率可能会超过适配器和电池的可用功率总和。适配器电流和电池放电峰值电流或系统压降表明系统功耗过高。充电器处理器热量函数会监测这些事件，如果系统功耗过高，则 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲将置为有效。一旦 CPU 从充电器接收到 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲，它就会减慢速度以降低系统功耗。由处理器热量函数监测的事件包括：

- ICRIT：适配器峰值电流，为 I_{LIM2} 的 110%
- INOM：适配器平均电流（输入电流限制的 110%）
- IDCHG：电池放电电流
- VSYS：VSYS 上的系统电压
- 适配器移除：移除适配器后（CHRG_OK 引脚从高电平变为低电平）
- 电池移除：移除电池后（CELL_BATPRESZ 引脚变为低电平）
- CMPOUT：独立比较器输出（CMPOUT 引脚从高电平变为低电平）
- VDPM：VBUS 低于 VINDPM 阈值的 80%/90%/100%。
- EXIT_VAP：每当充电器退出 VAP 模式时。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

可通过 I²C 对 ICRIT、IDCHG、VSYS 或 VDPM 的阈值以及 ICRIT、INOM、IDCHG 或 CMPOUT 的抗尖峰脉冲时间进行编程。除了 PROCHOT_EXIT_VAP 始终处于启用状态外，其他触发事件可在 REG0x38[7:0] 中单独启用。触发 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 曲线中的任何已启用事件后，$\overline{\text{PROCHOT}}$ 在单脉冲中被置为低电平，其最小宽度可在 REG0x23[5:4] 中编程。在单脉冲结束时，如果 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 事件仍处于活动状态，则脉冲会扩展，直到事件被移除。

如果通过设置 REG0x23[6] = 1 启用 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲扩展模式，即使触发事件已被移除，$\overline{\text{PROCHOT}}$ 引脚也将保持低电平，直到主机写入 REG0x23[3]21[11] = 0。

如果触发了 PROCHOT_VDPM 或 PROCHOT_EXIT_VAP，则无论 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 处于单脉冲模式还是扩展模式，$\overline{\text{PROCHOT}}$ 引脚都将始终保持低电平，直到主机将其清除。

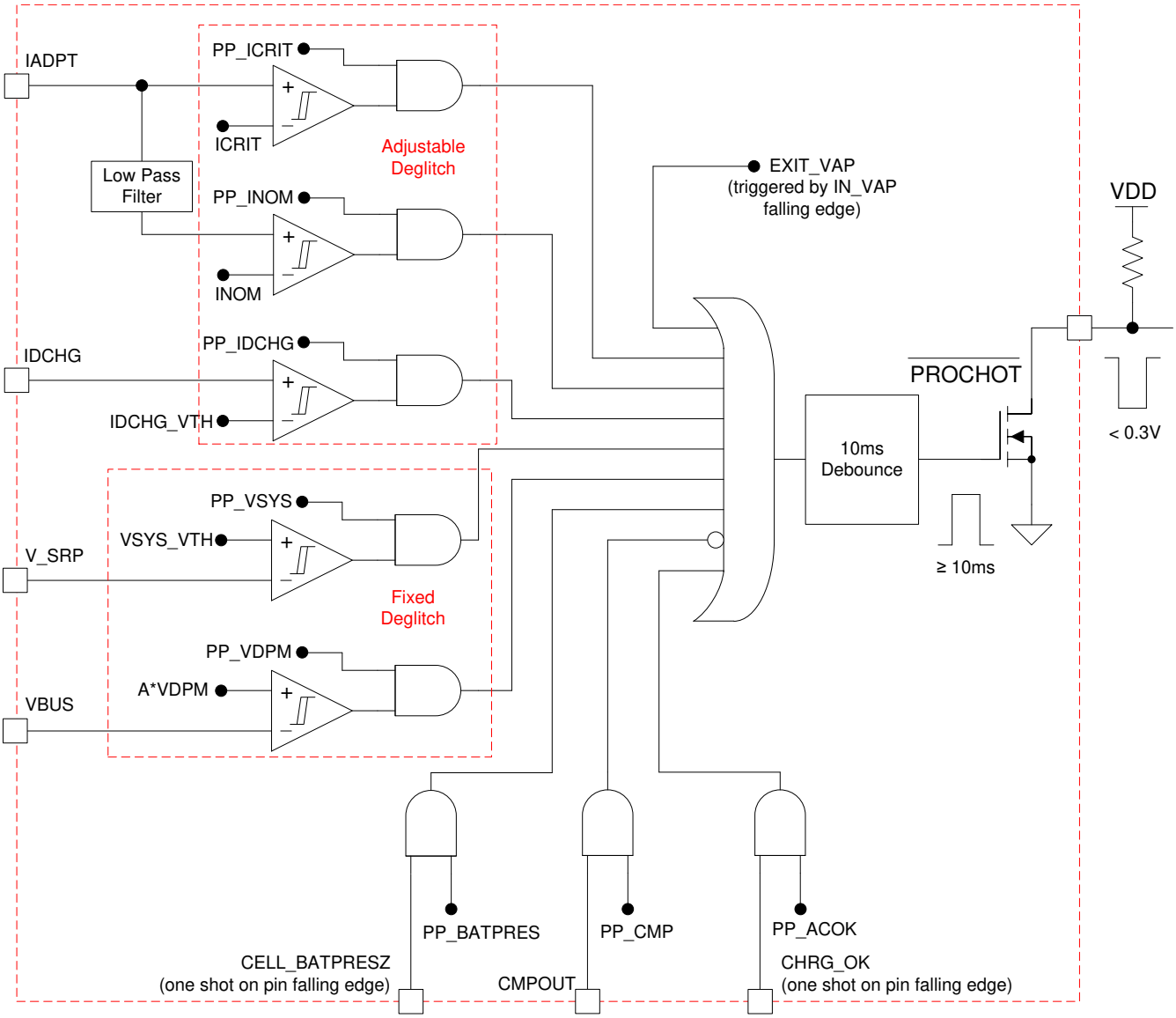


图 9-2. $\overline{\text{PROCHOT}}$ 曲线

9.3.9.1 低功耗模式期间的 $\overline{\text{PROCHOT}}$

在低功耗模式 (REG0x01[7] = 1) 期间，充电器提供一个具有极低静态电流消耗 (~150 µA) 的低功耗 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 函数，该函数使用独立比较器来监测系统电压，并在系统功耗过高时向 CPU 发出 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 指令。

下面列出了在低功耗模式下启用 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 监测系统电压的寄存器设置。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

- REG0x01[7] = 1 可启用充电器低功耗模式。
- REG0x38[7:0] = 00h
- REG0x30[6:4] = 100
- 独立比较器阈值始终为 1.2V
- 当 REG0x31[5] = 1 时，充电器监测系统电压。将 CMPIN 连接到与系统成正比的电压。当 CMPIN 电压上升到 1.2V 以上时，$\overline{\text{PROCHOT}}$ 将触发，从高电平变为低电平。

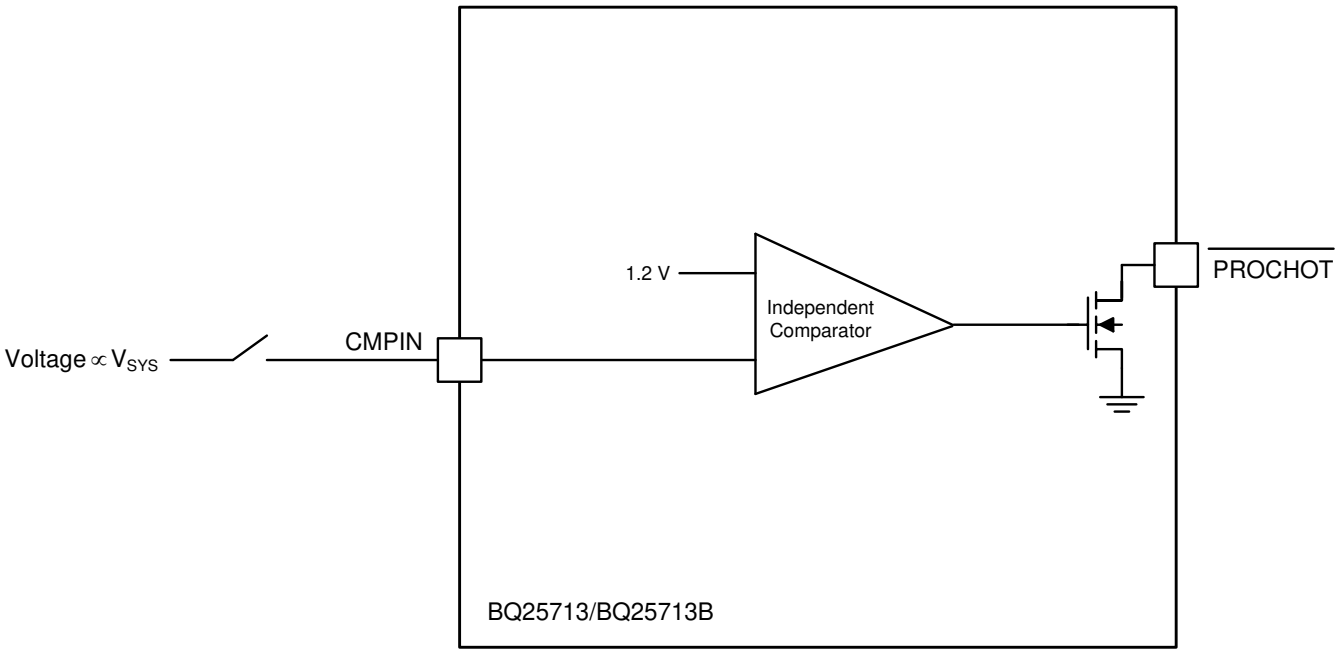


图 9-3. $\overline{\text{PROCHOT}}$ 低功耗模式实现

9.3.9.2 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 状态

REG0x22[7:0] 和 REG0x23[0] 将报告在相应位设置为 1 的情况下，曲线中的哪个事件会触发 $\overline{\text{PROCHOT}}$。如果当前 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 事件不再处于活动状态，则状态位被主机读取后可复位回 0。

假设有两个 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 事件：事件 A 和事件 B。事件 A 首先触发 $\overline{\text{PROCHOT}}$，但事件 B 也处于活动状态。两个状态位都将为高电平。在 10ms $\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲结束时，如果任何 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 事件仍处于活动状态（A 或 B），则 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲将扩展。

9.3.10 器件保护

9.3.10.1 看门狗计时器

如果充电器在 175s 内没有接收到写入 MaxChargeVoltage() 或写入 ChargeCurrent() 命令（可通过 REG0x01[6:5] 进行调节），则充电器包括用于终止充电的看门狗计时器。如果发生看门狗超时，则除了 ChargeCurrent() 复位为零之外，所有寄存器值都保持不变。电池充电暂停。必须重新发送写入 MaxChargeVoltage() 或写入 ChargeCurrent() 命令，以复位看门狗计时器并恢复充电。写入 REG0x01[6:5] = 00 禁用看门狗计时器也会恢复充电。

9.3.10.2 输入过压保护 (ACOV)

充电器具有固定的 ACOV 电压。当 VBUS 引脚电压高于 ACOV 时，它被视为适配器过压。CHRG_OK 将被拉低，转换器将被禁用。当系统电压低于电池电压时，BATFET 将导通。当 VBUS 引脚电压降至 ACOV 以下时，被认为适配器电压恢复到正常电压。CHRG_OK 由外部上拉电阻器拉高。如果启用条件有效，转换器将恢复。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.3.10.3 输入过流保护 (ACOC)

如果输入电流超过 I_{LIM2_VTH} (REG0x37[7:3]) 设定值的 1.33× 或 2× (REG0x32[2])，转换器将停止开关。300ms 后，转换器再次开始开关。

9.3.10.4 系统过压保护 (SYSOVP)

当转换器启动时，BQ25713/BQ25713B 读取 CELL 引脚配置并设置 MaxChargeVoltage() 和 SYSOVP 阈值（1s – 5V，2s – 12V，3s/4s – 19.5V）。在主机写入 REGx05/04() 之前，电池配置将随 CELL 引脚电压而变化。发生 SYSOVP 时，器件会锁存转换器。REG0x20[4] 设置为 1。用户可通过向 SYSOVP 位写入 0 或者通过移除并重新插入适配器来清除锁存。清除锁存后，转换器再次启动。

9.3.10.5 电池过压保护 (BATOVP)

在充电过程中取出电池或用户插入错误的电池时，可能会发生电池过压。BATOVP 阈值为在 REG0x05/04() 中设置的调节电压的 104% (1s) 或 102%（2s 至 4s）。

9.3.10.6 电池短路

如果 BAT 电压在充电期间降至低于 SYSMIN，则最大电流限制为 384mA。

9.3.10.7 系统短路断续模式

VSYS 引脚正在监测系统电压，当 VSYS 低于 2.4V 时，经过 2ms 抗尖峰脉冲时间后，充电器将关断并持续 500ms。充电器将重启 10ms 并再次测量 VSYS，如果仍低于 2.4V，则充电器将再次关断。系统将持续尝试该断续模式，如果在 90 秒内充电器重启失败 7 次，充电器将被锁存。REG0x20[3] 将设置为 1 以报告系统短路故障。仅当主机写入 REG0x20[3]= 0 时，充电器才可以再次启用。

可通过写入 REG0x00[6]= 1 来禁用充电器系统短路断续模式。

9.3.10.8 热关断 (TSHUT)

WQFN 封装具有低热阻抗，可提供从器件到环境的良好热传导，从而保持低结温。随着保护等级的增加，只要结温超过 155°C，充电器转换器就会关闭以实现自我保护。充电器保持关断状态，直到结温降至 135°C 以下。在热关断期间，LDO 电流限制降至 16mA，REGN LDO 保持关断状态。当温度降至 135°C 以下时，可通过软启动恢复充电。

9.4 器件功能模式

9.4.1 正向模式

当输入源连接到 VBUS 时，BQ25713/BQ25713B 处于正向模式以调节系统和为电池充电。

9.4.1.1 采用窄 VDC 架构的系统电压调节

BQ25713/BQ25713B 采用窄 VDC 架构 (NVDC)，BATFET 将系统与电池分离。最小系统电压由 MinSystemVoltage() 设置。即使电池电量深度耗尽，也可将系统调节至高于最小系统电压。

当电池电压低于最小系统电压设置时，BATFET 以线性模式（LDO 模式）运行。

当电池电压升至高于最小系统电压时，BATFET 在充电或补充模式下完全导通，系统和电池之间的电压差为 BATFET 的 VDS。BATFET 关断（无充电或无补充电流）时，系统电压调节为高于电池电压 160mV。

$\overline{\text{BATDRV}}$ 引脚只能在 Ciss 低于 5nF 的情况下驱动电池 MOSFET。建议使用 1nF 至 3nF 范围内的 Ciss。

有关系统电压调节和寄存器编程的详细信息，请参阅节 9.6.5.1。

9.4.1.2 电池充电

BQ25713/BQ25713B 以恒定电流 (CC) 和恒定电压 (CV) 模式为 1-4 芯电池充电。根据 CELL_BATPREZ 引脚设置，充电器将默认电池电压 4.2V/芯设置为 ChargeVoltage() 或 REG0x05/04()。根据电池容量，主机将适当的充电电流编程为 ChargeCurrent() 或 REG0x03/02()。当电池充满或电池未处于良好状态供充电时，主机通过将 REG0x00[0] 设置为 1 或将 ChargeCurrent() 设置为零来终止充电。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

有关寄存器编程的详细信息，请参阅节 9.3。

9.4.2 USB On-The-Go

BQ25713/BQ25713B 支持 USB OTG 功能，可通过 USB 端口从电池向其他便携式器件供电（反向模式）。OTG 输出电压符合 USB PD 规范，包括 5V、9V、15V 和 20V。输出电流调节符合 USB Type C 规范，包括 500mA、1.5A、3A 和 5A。

与正向运行类似，该器件在轻负载时从 PWM 运行切换到 PFM 运行，以提高效率。

9.4.3 直通模式 (PTM)

当系统处于睡眠模式或轻负载条件时，充电器可在直通模式下运行以提高轻负载效率。在 TI 获得专利的直通模式 (PTM) 下，降压和升压高侧 FET 均导通，而降压和升压低侧 FET 均关断。输入功率直接通过充电器传递到系统。节省了 MOSFET 的开关损耗和电感器磁芯损耗。

器件将通过以下方式从正常的降压/升压运行转换为 PTM 运行：

- 设置 REG0x32[7] = 0，以禁用 EN_EXITILIM。
- 设置 REG0x31[0] = 1。
- 设置 REG0x30[2] = 1。
- 将 ILIM_HIZ 引脚接地。

器件将通过以下方式退出具有主机控制功能的 PTM 模式：

- 设置 REG0x30[2] = 0。
- 将 ILIM_HIZ 引脚拉至高电平。
- 如果 VINDPM 跳闸，器件将退出 PTM 以进行降压/升压操作。
- 在故障条件下，器件将退出 PTM 以进行降压/升压操作

9.5 编程

充电器支持使用写入字或读取字协议的电池充电器命令，如节 9.5.1 所述。I2C 地址为 D6h。分配的 ManufacturerID 和 DeviceID 寄存器用于识别充电器器件。ManufacturerID 寄存器命令始终返回 40h。

9.5.1 I²C 串行接口

BQ25713/BQ25713B 使用与 I²C 兼容的接口，可实现灵活的充电参数编程和瞬时器件状态报告。I²C 是一种双向 2 线制串行接口。只需要两条总线线路：一条串行数据线 (SDA) 和一条串行时钟线 (SCL)。在执行数据传输时，器件可被视为主器件或从器件。主器件是在总线上发起数据传输并生成时钟信号以允许该传输的器件。此时，任何被寻址的器件都被视为从器件。

该器件作为地址为 D6H 的从器件运行，通过 REG00-REG3A 接收来自微控制器或数字信号处理器等主器件的控制输入。I²C 接口支持标准模式（高达 100kbit）和快速模式（高达 400kbit）。通过电流源或上拉电阻器连接到正电源电压。当总线空闲时，两条线路都为高电平。SDA 和 SCL 引脚为开漏。

9.5.1.1 数据有效性

在时钟的高电平期间，SDA 线上的数据必须保持稳定。数据线的高电平或低电平状态只能在 SCL 线上的时钟信号为低电平时发生变化。为每个已传输的数据位生成一个时钟脉冲。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

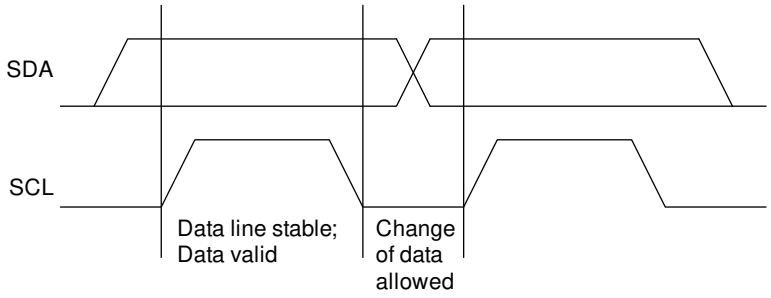


图 9-4. 在 I²C 总线上的位传输

9.5.1.2 START 和 STOP 条件

所有事务均以 START (S) 开始，并可由 STOP (P) 终止。当 SCL 为高电平时，SDA 线上从低电平到高电平的转换将定义 START 条件。当 SCL 为高电平时，SDA 线上从低电平到高电平的转换定义了 STOP 条件。

START 和 STOP 条件始终由主器件产生。总线在 START 条件之后被视为繁忙状态，在 STOP 条件之后被视为空闲状态。

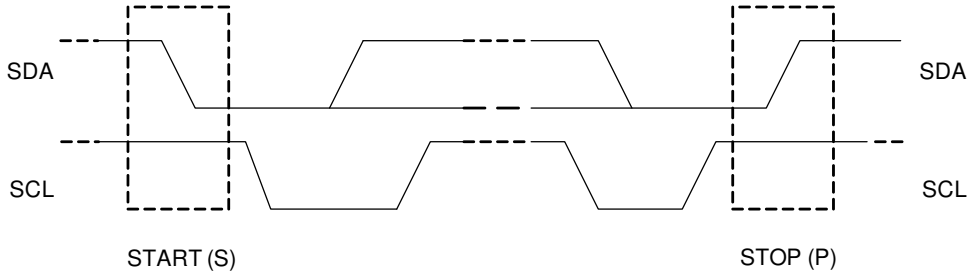


图 9-5. START 和 STOP 条件

9.5.1.3 字节格式

SDA 线上每个字节的长度都必须为 8 位。每次传输所要传输的字节数不受限制。每个数据字节必须后跟一个确认位。传输数据时，最高有效位 (MSB) 优先。如果从器件在已执行某个其他功能之前，无法接收或发送另外一个完整的数据字节，则它可以将时钟线 SCL 保持为低电平，以强制主器件进入等待状态（时钟延展）。当从器件准备好接收另一个数据字节并释放时钟线 SCL 时，数据传输将继续。

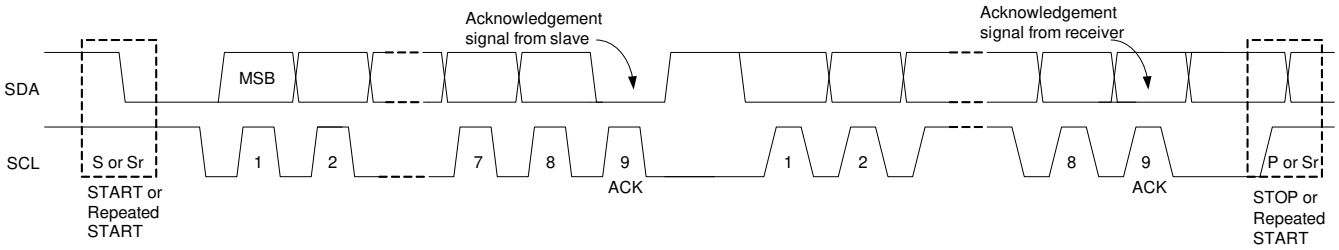


图 9-6. I²C 总线上的数据传输

9.5.1.4 确认 (ACK) 和否定确认 (NACK)

确认会在每个字节之后发生。确认位允许接收器向发送器发送信号，指示已成功接收该字节且可发送另一个字节。所有时钟脉冲（包括确认第 9 个时钟脉冲）均由主器件生成。

发送器在确认时钟脉冲期间释放 SDA 线，因此接收器可以将 SDA 线拉至低电平，并在此时钟脉冲的高电平期间保持稳定的低电平。

当 SDA 在第 9 个时钟脉冲期间保持高电平时，这是“否定确认”信号。然后，主器件可以生成 STOP（停止）来中止传输，或者生成重复的 START（开始）来开始新的传输。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.5.1.5 从器件地址和数据方向位

在 START 之后，发送从器件地地址。该地址为 7 位长，后跟第八位作为数据方向位（位 R/W）。零表示传输 (WRITE)，一表示数据请求 (READ)。

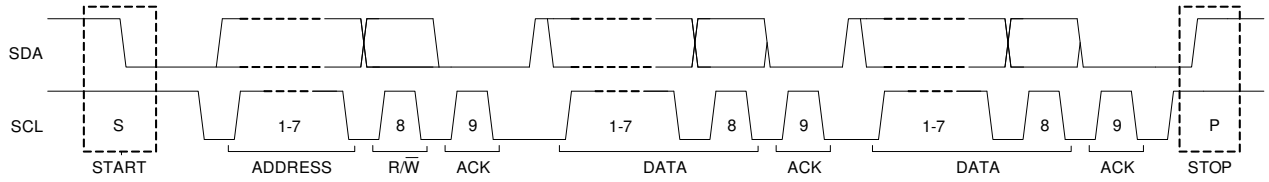


图 9-7. 完整数据传输

9.5.1.6 单独读取和写入

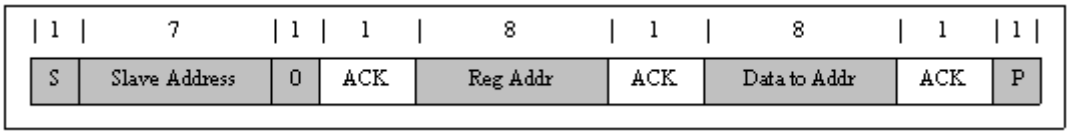


图 9-8. 单独写入

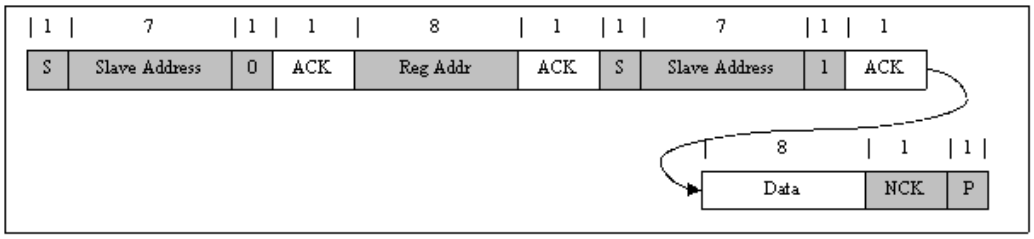


图 9-9. 单次读取

如果未定义寄存器地址，则充电器 IC 发回 NACK 并返回到空闲状态。

9.5.1.7 多重读取和多重写入

充电器器件支持多重读取和多重写入。

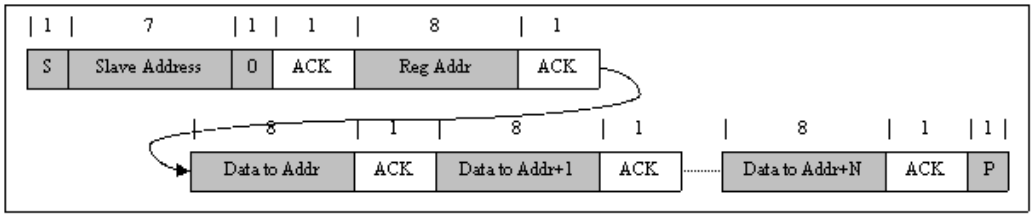


图 9-10. 多重写入



图 9-11. 多重读取

9.5.1.8 写入 2 字节 I²C 命令

一些 I²C 命令将两个 8 位寄存器组合在一起，形成一个完整值。这些命令包括：

- ChargeCurrent()
- MaxChargeVoltage()
- IIN_DPM()
- OTGVoltage()
- InputVoltage()

主机必须先写入 LSB 命令，然后再写入 MSB 命令。这两次写入之间不能插入其他命令。充电器等待对两个寄存器的完整写入，以决定是接受还是忽略新值。

LSB 和 MSB 字节完成后，这两个字节将同时更新。如果主机首先写入 MSB 字节，则会忽略该命令。如果 LSB 和 MSB 字节写入之间的时间超过看门狗计时器的时间，则 LSB 和 MSB 命令都将忽略。

9.6 寄存器映射

表 9-4. 充电器命令摘要

I²C ADDR (MSB/LSB)	寄存器名称	类型	说明	链接
01/00h	ChargeOption0()	R/W	充电选项 0	转到
03/02h	ChargeCurrent()	R/W	7 位充电电流设置 LSB 64mA，范围：0mA – 8128mA	转到
05/04h	MaxChargeVoltage()	R/W	12 位充电电压设置 LSB 8mV，默认值：1S-4200mV、 2S-8400mV、3S-12600mV、4S-16800mV	转到
31/30h	ChargeOption1()	R/W	充电选项 1	转到
33/32h	ChargeOption2()	R/W	充电选项 2	转到
35/34h	ChargeOption3()	R/W	充电选项 3	转到
37/36h	ProchotOption0()	R/W	$\overline{\text{PROCHOT}}$ 选项 0	转到
39/38h	ProchotOption1()	R/W	$\overline{\text{PROCHOT}}$ 选项 1	转到
3B/3Ah	ADCOption()	R/W	ADC 选项	转到
21/20h	ChargerStatus()	R	充电器状态	转到
23/22h	ProchotStatus()	R	Prochot 状态	转到
25/24h	IIN_DPM()	R	使用中的 7 位输入电流限制 LSB：50mA，范围：50mA - 6400mA	转到
27/26h	ADCVBUS/PSYS()	R	输入电压的 8 位数字输出， 系统电源的 8 位数字输出 PSYS：完整范围：3.06V，LSB：12mV VBUS：完整范围：3.2V - 19.52V，LSB 64mV	转到
29/28h	ADCIBAT()	R	电池充电电流的 8 位数字输出， 电池放电电流的 8 位数字输出 ICHG：完整范围 8.128A，LSB 64mA IDCHG：完整范围：32.512A，LSB：256mA	转到
2B/2Ah	ADCIINCMPIN()	R	输入电流的 8 位数字输出， CMPIN 电压的 8 位数字输出 POR 状态 - IIN：完整范围：12.75A，LSB 50mA CMPIN：完整范围 3.06V，LSB：12 mV	转到
2D/2Ch	ADCVSYSVBAT()	R	系统电压的 8 位数字输出， 电池电压的 8 位数字输出 VSYS：完整范围：2.88V - 19.2V，LSB：64mV VBAT：完整范围：2.88V - 19.2V，LSB 64mV	转到
07/06h	OTGVoltage()	R/W	12 位 OTG 电压设置 LSB 8mV，范围：3000 mV – 20800 mV	转到

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-4. 充电器命令摘要 (continued)

I²C ADDR (MSB/LSB)	寄存器名称	类型	说明	链接
09/08h	OTGCurrent()	R/W	7 位 OTG 输出电流设置 LSB 50mA，范围：0A – 6350mA	转到
0B/0Ah	InputVoltage()	R/W	8 位输入电压设置 LSB 64mV，范围：3200 mV – 19520 mV	转到
0D/0Ch	MinSystemVoltage()	R/W	6 位最小系统电压设置 LSB：256mV，范围：1024mV - 16182mV 默认值：1S-3.584V、2S-6.144V、3S-9.216V、4S-12.288V	转到
0F/0Eh	IIN_HOST()	R/W	由主机设置的 6 位输入电流限制 LSB：50mA，范围：50mA - 6400mA	转到
2Eh	ManufacturerID()	R	制造商 ID - 0x0040H	转到
2Fh	DeviceID()	R	器件 ID	转到

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.1 设置充电和 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 选项

9.6.1.1 ChargeOption0 寄存器（I²C 地址 = 01/00h）[复位 = E70Eh]

图 9-12. ChargeOption0 寄存器（I²C 地址 = 01/00h）[复位 = E70Eh]

7	6	5	4	3	2	1	0
EN_LWPWR	WDTMR_ADJ		IDPM_AUTO_DISABLE	OTG_ON_CHRGOK	EN_OOA	PWM_FREQ	PTM_LL_EFF
R/W	R/W		R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0
保留	SYS_SHORT DISABLE	EN_LEARN	IADPT_GAIN	IBAT_GAIN	EN_LDO	EN_IDPM	CHRG_INHIBIT
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-5. ChargeOption0 寄存器（I²C 地址 = 01h）字段说明

I²C 01h	字段	类型	复位	说明
7	EN_LWPWR	R/W	1b	低功耗模式启用 0b：禁用低功耗模式。器件处于性能模式，仅使用电池。$\overline{\text{PROCHOT}}$、电流/功率监控缓冲器和比较器遵循寄存器设置。 1b：启用低功耗模式。器件处于低功耗模式，仅使用电池，以实现最低静态电流。LDO 关断。$\overline{\text{PROCHOT}}$、放电电流监控缓冲器、电源监控缓冲器和独立比较器被禁用。ADC 在低功耗模式下不可用。可通过将 REG0X31()[6] 或 [5] 设置为 1 来启用独立比较器。<POR 时的默认值>
6-5	WDTMR_ADJ	读/写	11b	看门狗计时器调节 设置充电电压或充电电流命令的连续 I²C 写入之间的最大延迟。 如果器件在看门狗时间段内未收到对 REG0x05/04() 或 REG0x03/02() 的写入，则会通过将 REG0x03/02() 设置为 0mA 来暂停充电器。 到期后，计时器将在写入 REG0x03/02()、REG0x05/04() 或 REG0x01[6:5] 时恢复。如果值有效，充电器将恢复。 00b：禁用看门狗计时器 01b：已启用，5 秒 10b：已启用，88 秒 11b：启用看门狗计时器，175 秒 <POR 时的默认值>
4	IDPM_AUTO_DISABLE	R/W	0b	IDPM 自动禁用 当 CELL_BATPRESZ 引脚为低电平时，充电器通过将 EN_IDPM (REG0x00[1]) 设置为 0 来自动禁用 IDPM 功能。主机稍后可以通过向 EN_IDPM 位 (REG0x00[1]) 写入 1 来启用 IDPM 功能。 0b：禁用此功能。当 CELL_BATPRESZ 变为低电平时，不禁用 IDPM。<POR 时的默认值> 1b：启用此功能。当 CELL_BATPRESZ 变为低电平时，禁用 IDPM。
3	OTG_ON_CHRGOK	R/W	0b	将 OTG 添加到 CHRG_OK 当器件处于 OTG 模式时，将 CHRG_OK 驱动为高电平。 0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用
2	EN_OOA	R/W	1b	Out-of-Audio 启用 0b：PFM 突发频率无限制 1b：将最小 PFM 突发频率设置为高于 25kHz，以避免音频噪声 <POR 时的默认值>

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-5. ChargeOption0 寄存器（I²C 地址 = 01h）字段说明 (continued)

I²C 01h	字段	类型	复位	说明
1	PWM_FREQ	R/W	1b	开关频率 两个转换器开关频率。一个用于小电感器，另一个用于大电感器。 推荐 800kHz 和 2.2μH 或 3.3μH，以及 1.2MHz 和 1μH 或 1.5μH。主机必须在器件 POR 后设置正确的 PWM 频率。 0b：1200 kHz 1b：800kHz <POR 时的默认值>
0	LOW_PTM_RIPPLE	R/W	1b	PTM 模式输入电压和电流纹波降低 0b：禁用 1b：启用 <POR 时的默认值>

表 9-6. ChargeOption0 寄存器（I²C 地址 = 00h）字段说明

I²C 00h	字段	类型	复位	说明
7	保留	R/W	0b	保留
6	SYS_SHORT_DISABLE	R/W	0b	在系统短路保护期间禁用断续模式。 0b：当 VSYS 短路至低于 2.4V 时，充电器进入断续模式 <POR 时的默认值> 1b：在系统短路故障期间禁用充电器断续模式
5	EN_LEARN	R/W	0b	借助 LEARN（学习）功能，电池能够在适配器存在时放电。它在一个完整的放电/充电周期内校准电池电量监测计。当电池电压低于电池电量耗尽阈值时，主机将系统切换回适配器输入。当 CELL_BATPRESZ 引脚为低电平时，器件退出学习模式并且该位设回为 0。 0b：禁用学习模式 <POR 时的默认值> 1b：启用学习模式
4	IADPT_GAIN	R/W	0b	IADPT 放大器比率 IADPT 上的电压与 ACP 和 ACN 上的电压之比。 0b：20× <POR 时的默认值> 1b：40×
3	IBAT_GAIN	R/W	1b	IBAT 放大器比率 IBAT 上的电压与 SRP 和 SRN 上的电压之比 0b：8× 1b：16× <POR 时的默认值>
2	EN_LDO	R/W	1b	LDO 模式启用 当电池电压低于最小系统电压 (REG0x0D/0C()) 时，充电器在启用 LDO 模式的情况下进行预充电。 0b：禁用 LDO 模式，BATFET 完全开启。预充电电流由电池包内部电阻器设置。系统由 MaxChargeVoltage 寄存器调节。 1b：启用 LDO 模式，预充电电流由 ChargeCurrent 寄存器设置并钳位在低于 384mA（2 芯 – 4 芯）或 2A（1 芯）。系统由 MinSystemVoltage 寄存器进行调节。<POR 时的默认值>
1	EN_IDPM	R/W	1b	IDPM 启用 主机写入此位以启用 IDPM 调节环路。当充电器禁用 IDPM 时（请参阅 IDPM_AUTO_DISABLE），该位变为低电平。 0b：IDPM 已禁用 1b：IDPM 已启用 <POR 时的默认值>

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-6. ChargeOption0 寄存器（I²C 地址 = 00h）字段说明 (continued)

I²C 00h	字段	类型	复位	说明
0	CHRG_INHIBIT	R/W	0b	充电禁止 当该位为 0 时，电池充电将以 MaxChargeVoltage 寄存器和 ChargeCurrent 寄存器中的有效值开始。 0b：启用充电 <POR 时的默认值> 1b：禁止充电

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.1.2 ChargeOption1 寄存器（I²C 地址 = 31/30h）[复位 = 0211h]

图 9-13. ChargeOption1 寄存器（I²C 地址 = 31/30h）[复位 = 0211h]

7	6	5	4	3	2	1	0
EN_IBAT	EN_PROCHOT_LPWR		EN_PSYS	RSNS_RAC	RSNS_RSR	PSYS_RATIO	PTM_PINSEL
R/W	R/W		R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0
CMP_REF	CMP_POL	CMP_DEG		FORCE_ LATCHOFF	EN_PTM	EN_SHIP_ DCHG	AUTO_ WAKEUP_EN
R/W	R/W	R/W		R/W	R/W	R/W	R/W

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-7. ChargeOption1 寄存器（I²C 地址 = 31h）字段说明

I²C 31h	字段	类型	复位	说明
7	EN_IBAT	R/W	0b	IBAT 启用 启用 IBAT 输出缓冲器。在低功耗模式下 (REG0x01[7] = 1)，无论该位值如何，IBAT 缓冲器始终处于禁用状态。 0b 关闭 IBAT 缓冲器以尽可能减小 Iq <POR 时的默认值> 1b：打开 IBAT 缓冲器
6-5	EN_PROCHOT _LPWR	读/写	00b	在仅电池低功耗模式期间启用 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 仅使用电池，在 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 中以低功耗启用 VSYS。请勿在存在适配器的情况下启用此功能。更多详细信息，请参阅节 9.3.9.1。 00b：禁用低功耗 $\overline{\text{PROCHOT}}$ <POR 时的默认值> 01b：启用 VSYS 低功耗 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 10b：保留 11b：保留
4	EN_PSYS	R/W	0b	PSYS 启用 启用 PSYS 检测电路和输出缓冲器（整个 PSYS 电路）。在低功耗模式 (REG0x01[7]= 1) 下，无论该位值如何，PSYS 检测和缓冲器始终处于禁用状态。 0b：关闭 PSYS 缓冲器以尽可能减小 Iq <POR 时的默认值> 1b：打开 PSYS 缓冲器
3	RSNS_RAC	R/W	0b	输入检测电阻 RAC 0b：10mΩ <POR 时的默认值> 1b：20 mΩ
2	RSNS_RSR	R/W	0b	充电检测电阻 RSR 0b：10mΩ <POR 时的默认值> 1b：20 mΩ
1	PSYS_RATIO	R/W	1b	PSYS 增益 PSYS 输出电流与总输入和电池功率之比，检测电阻为 10mΩ。 0b：0.25μA/W 1b：1μA/W <POR 时的默认值>
0	PTM_PINSEL	R/W	0b	选择 ILIM_HIZ 引脚功能 0b：当拉低 ILIM_HIZ 引脚时，充电器进入高阻态模式。<POR 时的默认值> 1b：当拉低 ILIM_HIZ 引脚时，充电器进入 PTM。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-8. ChargeOption1 寄存器（I²C 地址 = 30h）字段说明

I²C 30h	字段	类型	复位	说明
7	CMP_REF	R/W	0b	独立比较器内部基准。 0b：2.3V <POR 时的默认值> 1b：1.2V
6	CMP_POL	R/W	0b	独立比较器输出极性 0b：当 CMPIN 高于内部阈值时，CMPOUT 为低电平（内部迟滞）<POR 时的默认值> 1b：当 CMPIN 低于内部阈值时，CMPOUT 为低电平（外部迟滞）
5-4	CMP_DEG	读/写	01b	独立比较器抗尖峰脉冲时间，仅适用于 CMPOUT 的下降沿（高电平 → 低电平）。 00b：独立比较器已禁用 01b：独立比较器启用，输出抗尖峰脉冲时间为 1µs <POR 时的默认值> 10b：启用独立比较器，输出抗尖峰脉冲时间为 2ms 11b：启用独立比较器，输出抗尖峰脉冲时间为 5 秒
3	FORCE_LATCHOFF	R/W	0b	强制电源路径关闭 当触发独立比较器时，充电器会关闭 Q1 和 Q4（与禁用转换器相同），从而使系统与输入源断开连接。同时，CHRG_OK 信号变为低电平以通知系统。 0b：禁用此功能 <POR 时的默认值> 1b：启用此功能
2	EN_PTM	R/W	0b	PTM 启用寄存器位 0b：禁用 PTM。<POR 时的默认值> 1b：启用 PTM。
1	EN_SHIP_DCHG	R/W	0b	运输模式的放电 SRN 当该位为 1 时，SRN 引脚在 140ms 内放电至低于 3.8V。当 140ms 结束时，该位复位为 0。 0b：禁用运输模式 <POR 时的默认设置> 1b：启用运输模式
0	AUTO_WAKEUP_EN	R/W	1b	自动唤醒启用 当此位为高电平时，如果电池低于最小系统电压 (REG0x0D/0C())，器件将自动启用 128mA 充电电流达 30 分钟。当电池充电超过最低系统电压时，充电将终止，该位复位为低电平。 0b：禁用 1b：启用 <POR 时的默认值>

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.1.3 ChargeOption2 寄存器（I²C 地址 = 33/32h）[复位 = 02B7h]

图 9-14. ChargeOption2 寄存器（I²C 地址 = 33/32h）[复位 = 02B7h]

7	6	5	4	3	2	1	0
PKPWR_TOVLD_DEG		EN_PKPWR_IDPM	EN_PKPWR_VSYS	PKPWR_OVLD_STAT	PKPWR_RELAX_STAT	PKPWR_TMAX[1:0]	
R/W		R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
7	6	5	4	3	2	1	0
EN_EXTILIM	EN_ICHG_IDCHG	Q2_OCP	ACX_OCP	EN_ACOC	ACOC_VTH	EN_	_VTH
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-9. ChargeOption2 寄存器（I²C 地址 = 33h）字段说明

I²C 33h	字段	类型	复位	说明
7-6	PKPWR_TOVLD_DEG	读/写	00b	峰值功率模式下的输入过载时间 00b：1ms <POR 时的默认值> 01b：2ms 10b：10ms 11b：20ms
5	EN_PKPWR_IDPM	R/W	0b	启用由输入电流过冲触发的峰值功率模式 如果 REG0x33[5:4] 为 00b，则禁用峰值功率模式。移除适配器后，这些位复位为 00b。 0b：禁用由输入电流过冲触发的峰值功率模式 <POR 时的默认值> 1b：启用由输入电流过冲触发的峰值功率模式。
4	EN_PKPWR_VSYS	R/W	0b	启用由系统电压下冲触发的峰值功率模式 如果 REG0x33[5:4] 为 00b，则禁用峰值功率模式。移除适配器后，这些位复位为 00b。 0b：禁用由系统电压下冲触发的峰值功率模式 <POR 时的默认值> 1b：启用由系统电压下冲触发的峰值功率模式。
3	PKPWR_OVLD_STAT	R/W	0b	指示器件处于过载周期。写入 0 以退出过载周期。 0b：未处于峰值功率模式。<POR 时的默认值> 1b：处于峰值功率模式。
2	PKPWR_RELAX_STAT	R/W	0b	指示器件处于弛豫周期。写入 0 以退出弛豫周期。 0b：未处于弛豫周期。<POR 时的默认值> 1b：处于弛豫模式。
1-0	PKPWR_TMAX[1:0]	读/写	10b	峰值功率模式过载和弛豫周期时间。 当 REG0x33[7:6] 编程时间长于 REG0x33[1:0] 时，没有弛豫时间。 00b：5ms 01b：10ms 10b：20ms <POR 时的默认值> 11b：40ms

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-10. ChargeOption2 寄存器（I²C 地址 = 32h）字段说明

I²C 32h	字段	类型	复位	说明
7	EN_EXTILIM	R/W	1b	启用 ILIM_HIZ 引脚以设置输入电流限制 0b：输入电流限制由 REG0x0F/0E 设置。 1b：输入电流限制由 ILIM_HIZ 引脚和 REG0x0F/0E 的较低值设置。 <POR 时的默认值>
6	EN_ICHG _IDCHG	R/W	0b	0b：IBAT 引脚作为放电电流。<POR 时的默认值> 1b：IBAT 引脚作为充电电流。
5	Q2_OCP	R/W	1b	通过检测 Q2 VDS 获得 Q2 OCP 阈值 0b：210mV 1b：150mV <POR 时的默认值>
4	ACX_OCP	R/W	1b	通过检测 ACP-ACN 获得输入电流 OCP 阈值。 0b：280mV 1b：150mV <POR 时的默认值>
3	EN_ACOC	R/W	0b	ACOC 启用 通过检测 ACP 和 ACN 上的电压实现输入过流 (ACOC) 保护。实施 ACOC 后（100µs 消隐时间后），转换器被禁用。 0b：禁用 ACOC <POR 时的默认值> 1b：ACOC 阈值 133% 或 200% ILIM2
2	ACOC_VTH	R/W	1b	ACOC 限制 将 MOSFET OCP 阈值设置为 IDPM 的百分比，电流从 R_{AC} 检测到。 0b：133% 的 ILIM2 1b：200% 的 ILIM2 <POR 时的默认值>
1	EN_BATOC	R/W	1b	BATOC 启用 通过检测 SRN 和 SRP 上的电压实现电池放电过流 (BATOC) 保护。实施 BATOC 后，转换器被禁用。 0b：禁用 BATOC 1b：BATOC 阈值 133% 或 200% $\overline{\text{PROCHOT}}$ IDCHG <POR 时的默认值>
0	BATOC_VTH	R/W	1b	将电池放电过流阈值设置为 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 电池放电电流限制的百分比。 0b：133% 的 $\overline{\text{PROCHOT}}$ IDCHG 1b：200% 的 $\overline{\text{PROCHOT}}$ IDCHG <POR 时的默认值>

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.1.4 ChargeOption3 寄存器（I²C 地址 = 35/34h）[复位 = 0030h]

图 9-15. ChargeOption3 寄存器（I²C 地址 = 35/34h）[复位 = 0030h]

7	6	5	4	3	2	1	0
EN_HIZ	RESET_REG	RESET_VINDPM	EN_OTG	EN_ICO MODE	保留		
读/写	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W		
7	6	5	4	3	2	1	0
保留	EN_CONS VAP	OTG_VAP _MODE	IL_AVG		OTG_RANGE _LOW	BATFETOFF_ HIZ	PSYS_OTG_ IDCHG
R/W	R/W	R/W	R/W		R/W	R/W	R/W

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-11. ChargeOption3 寄存器（I²C 地址 = 35h）字段说明

I²C 35h	字段	类型	复位	说明
7	EN_HIZ	R/W	0b	器件高阻态模式启用 当充电器处于高阻态模式时，器件消耗的静态电流最小。且 VBUS 高于 UVLO。REGN LDO 保持开启状态，系统由电池供电。 0b：器件未处于高阻态模式 <POR 时的默认值> 1b：器件处于高阻态模式
6	RESET_REG	R/W	0b	复位寄存器 除 VINDPM 寄存器外，所有寄存器都恢复为默认设置。VSYS_MIN 将始终返回到 1S 默认设置 (3.584V)，并且根据电芯引脚设置，充电电压将恢复到默认值。 0b：空闲 <POR 时的默认值> 1b：将所有寄存器复位为默认值。复位后，该位返回到 0。 当电池电压低于最低系统电压或电池被移除时，不建议使用该位将寄存器复位为默认值。
5	RESET_VINDPM	R/W	0b	复位 VINDPM 阈值 0b：空闲 1b：禁用转换器以测量 VINDPM 阈值。完成 VINDPM 测量后，该位返回到 0，转换器启动。
4	EN_OTG	R/W	0b	OTG 模式启用 当 EN_OTG 引脚为高电平时，在 OTG 模式下启用器件。 0b：禁用 OTG <POR 时的默认值> 1b：启用 OTG 模式，以从电池为 VBUS 供电。
3	EN_ICO_MODE	R/W	0b	启用 ICO 算法 0b：禁用 ICO 算法。<POR 时的默认值> 1b：启用 ICO 算法。
2-0	保留	R/W	0b	保留

表 9-12. ChargeOption3 寄存器（I²C 地址 = 34h）字段说明

I²C 34h	字段	类型	复位	说明
7	保留	R/W	0b	保留
6	EN_CON_VAP	R/W	0b	启用保守 VAP 模式。 0b：已禁用 <POR 时的默认值> 1b：被启用

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-12. ChargeOption3 寄存器 (I²C 地址 = 34h) 字段说明 (continued)

I²C 34h	字段	类型	复位	说明
5	OTG_VAP_MODE	R/W	1b	外部 OTG/VAP 引脚控制的选择。 0b：外部 OTG/VAP 引脚控制 EN/DIS VAP 模式 1b：外部 OTG/VAP 引脚控制 EN/DIS OTG 模式 <POR 时的默认值>
4-3	IL_AVG	读/写	10b	4 级电感器平均电流钳位。 00b：6A 01b：10A 10b：15A <POR 时的默认值> 11b：被禁用
2	OTG_RANGE_LOW	R/W	0b	选择不同的 OTG 输出电压范围。 0b：VOTG 高范围 4.28V - 20.8V <POR 时的默认值> 1b：VOTG 低范围 3V - 19.52V
1	BATFETOFF_ HIZ	R/W	0b	在高阻态模式期间控制 BATFET。 0b：BATFET 在高阻态模式期间开启 <POR 时的默认值> 1b：BATFET 在高阻态模式期间关闭
0	PSYS_OTG_ IDCHG	R/W	0b	OTG 模式期间的 PSYS 功能。 0b：PSYS 作为电池放电功率减去 OTG 输出功率 <POR 时的默认值> 1b：PSYS 仅用作电池放电电源

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.1.5 ProchotOption0 寄存器（I²C 地址 = 37/36h）[复位 = 4A65h]

图 9-16. ProchotOption0 寄存器（I²C 地址 = 37/36h）[复位 = 4A65h]

7-3	2-1	0
ILIM2_VTH	ICRIT_DEG	PROCHOT_VDPM_80_90
R/W	R/W	R/W

7-4	3-2	1	0
VSYS_TH1	VSYS_TH2	INOM_DEG	LOWER_PROCHOT_VDPM
R/W	R/W	R/W	R/W

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-13. ProchotOption0 寄存器（I²C 地址 = 37h）字段说明

I²C 37h	字段	类型	复位	说明
7-3	ILIM2_VTH	R/W	01001b	I_{LIM2} 阈值 5 位，0x0F/0EH 中 IDPM 的百分比。测量 ACP 和 ACN 之间的电流。 当电流高于此阈值时触发： 00001b - 11001b：110% - 230%，阶跃 5% 11010b - 11110b：250% - 450%，阶跃 50% 11111b：超出范围（忽略） 默认为 150%，或 01001
2-1	ICRIT_DEG	读/写	01b	ICRIT 抗尖峰脉冲时间 ICRIT 设置为 I_{LIM2} 的 110%。 触发 $\overline{PROCHOT}$ 的典型 ICRIT 抗尖峰脉冲时间。 00b：15μs 01b：120μs <POR 时的默认值> 10b：500μs 11b：1ms
0	PROCHOT_VDPM_80_90	R/W	0b	PROCHOT_VDPM 比较器的阈值下限 当 REG0x36[0]=1 时，PROCHOT_VDPM 比较器的阈值由该位设置决定。 0b：VinDPM 阈值的 80% <POR 时的默认值>。 1b：VinDPM 阈值的 90%

表 9-14. ProchotOption0 寄存器（I²C 地址 = 36h）字段说明

I²C 36h	字段	类型	复位	说明
7-4	VSYS_TH1	R/W	0110b	VAP 模式下用于触发 VBUS 放电的 VSYS 阈值。 使用固定的 5μs 抗尖峰脉冲时间测量 VSYS。当 SYS 引脚电压低于阈值时触发。 2-4 节电池 0000b - 1111b：5.9V 至 7.4V，步长为 0.1V。 1 节电池 0000b - 0111b：3.1V 至 3.8V，步长为 0.1V。 1000b - 1111b：3.1V 至 3.8V，步长为 0.1V。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-14. ProchotOption0 寄存器 (I²C 地址 = 36h) 字段说明 (continued)

I²C 36h	字段	类型	复位	说明
3-2	VSYS_TH2	读/写	01b	用于将 /PROCHOT_VSYS 置为有效的 VSYS 阈值。 使用固定的 5µs 抗尖峰脉冲时间测量 VSYS。当 SYS 引脚电压低于阈值时触发。 2-4 节电池 00b：5.9V；01b：6.2V <POR 时的默认值>； 10b：6.5V；11b：6.8V。 1 节电池 00b：3.1V；01b：3.3V <POR 时的默认值>； 10b：3.5V；11b：3.7V。
1	INOM_DEG	R/W	0b	INOM 抗尖峰脉冲时间 在 0x0F/0EH 中，INOM 始终比 IDPM 高 10%。测量 ACP 和 ACN 之间的电流。当电流高于此阈值时触发。 0b：1ms <POR 时的默认值> 1b：50ms
0	LOWER_ PROCHOT _VDPM	R/W	1b	启用 PROCHOT_VDPM 比较器的阈值下限 0b：PROCHOT_VDPM 比较器的阈值遵循相同的 VinDPM REG0x0A/0B() 设置。 1b：PROCHOT_VDPM 比较器的阈值较低，由 REG0x37[0] 设置确定。<POR 时的默认值>

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.1.6 ProchotOption1 寄存器（I²C 地址 = 39/38h）[复位 = 81A0h]

图 9-17. ProchotOption1 寄存器（I²C 地址 = 39/38h）[复位 = 81A0h]

7-2						1-0	
IDCHG_VTH						IDCHG_DEG	
R/W						R/W	
7	6	5	4	3	2	1	0
PP_VDPM	PROCHOT_PROFILE_IC	PP_ICRIT	PP_INOM	PP_IDCHG	PP_VSYS	PP_BATPRES	PP_ACOK
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

当 REG0x38[7:0] 设置为禁用时，将不再在 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 状态寄存器 REG0x22[7:0] 中报告与该位关联的 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 事件，如果发生该事件，$\overline{\text{PROCHOT}}$ 引脚将不再拉至低电平。

表 9-15. ProchotOption1 寄存器（I²C 地址 = 39h）字段说明

I²C 39h	字段	类型	复位	说明
7-2	IDCHG_VTH	R/W	100000b	IDCHG 阈值 6 位，范围，范围为 0A 至 32256mA，阶跃 512mA。有一个 128mA 的偏移量。 测量 SRN 和 SRP 之间的电流。 当放电电流高于阈值时触发。 如果该值编程为 000000b，则始终会触发 $\overline{\text{PROCHOT}}$。 默认值： 16384mA 或 100000b
1-0	IDCHG_DEG	读/写	01b	典型 IDCHG 抗尖峰脉冲时间 00b：2ms 01b：130µs <POR 时的默认值> 10b：8ms 11b：16ms

表 9-16. ProchotOption1 寄存器（I²C 地址 = 38h）字段说明

I²C 38h	字段	类型	复位	说明
7	PROCHOT_PROFILE_VDPM	R/W	1b	$\overline{\text{PROCHOT}}$ 曲线 当所有 REG0x38[7:0] 位都为 0 时，将禁用 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 函数。 Bit7 PP_VDPM 检测 VBUS 电压 0b：禁用 1b：启用 <POR 时的默认值>
6	PROCHOT_PROFILE_COMP	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用
5	PROCHOT_PROFILE_ICRIT	R/W	1b	0b：禁用 1b：启用 <POR 时的默认值>
4	PROCHOT_PROFILE_INOM	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用
3	PROCHOT_PROFILE_IDCHG	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用
2	PROCHOT_PROFILE_VSYS	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-16. ProchotOption1 寄存器 (I²C 地址 = 38h) 字段说明 (continued)

I²C 38h	字段	类型	复位	说明
1	PROCHOT _PROFILE_BATPRES	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用 (触发单稳态下降沿) 如果取出电池后在 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 中启用了 BATPRES，它将立即发出单稳态 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲。
0	PROCHOT _PROFILE_ACOK	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用 ChargeOption0[15] = 0，可在移除适配器后将 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲置为有效。 如果移除适配器后在 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 中启用了 PROCHOT_PROFILE_ACOK，则会将其拉至低电平。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.1.7 ADCOption 寄存器 (I²C 地址 = 3B/3Ah) [复位 = 2000h]

图 9-18. ADCOption 寄存器 (I²C 地址 = 3B/3Ah) [复位 = 2000h]

7	6	5	4-0
ADC_CONV	ADC_START	ADC_ FULLSCALE	保留
读/写	R/W	R/W	R/W

7	6	5	4	3	2	1	0
EN_ADC_ CMPIN	EN_ADC_ VBUS	EN_ADC_ PSYS	EN_ADC_ IIN	EN_ADC_ IDCHG	EN_ADC_ ICHG	EN_ADC_ VSYS	EN_ADC_ VBAT
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

ADC 寄存器的读取顺序如下：VBAT、VSYS、ICHG、IDCHG、IIN、PSYS、VBUS、CMPIN。在低功率模式下禁用 ADC。启用 ADC 时，器件在仅使用电池工作时会退出低功耗模式。

表 9-17. ADCOption 寄存器 (I²C 地址 = 3Bh) 字段说明

I²C 3Bh	字段	类型	复位	说明
7	ADC_CONV	R/W	0b	典型的 ADC 转换时间为 10ms。 0b：一次性更新。在 ADC_START = 1 后，对寄存器 REG0x27/26()、REG0x29/28()、REG0x2B/2A() 和 REG0x2D/2C() 执行一组转换更新。 1b：持续更新。每 1 秒对寄存器 REG0x27/26()、REG0x29/28()、REG0x2B/2A() 和 REG0x2D/2C() 执行一组转换更新。
6	ADC_START	R/W	0b	0b：无 ADC 转换 1b：开始 ADC 转换。一次性更新完成后，该位自动复位为零
5	ADC_ FULLSCALE	R/W	1b	ADC 输入电压范围。当输入电压低于 5V 或电池为 1S 时，建议使用完整范围 2.04V。 0b：2.04 V 1b：3.06V <POR 时的默认值>
4-0	保留	读/写	00000b	保留

表 9-18. ADCOption 寄存器 (I²C 地址 = 3Ah) 字段说明

I²C 3Ah	字段	类型	复位	说明
7	EN_ADC_CMPIN	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用
6	EN_ADC_VBUS	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用
5	EN_ADC_PSYS	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用
4	EN_ADC_IIN	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用
3	EN_ADC_IDCHG	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用
2	EN_ADC_ICHG	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-18. ADCOption 寄存器（I²C 地址 = 3Ah）字段说明 (continued)

I²C 3Ah	字段	类型	复位	说明
1	EN_ADC_VSYS	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用
0	EN_ADC_VBAT	R/W	0b	0b：禁用 <POR 时的默认值> 1b：启用

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.2 充电和 PROCHOT 状态

9.6.2.1 ChargerStatus 寄存器 (I²C 地址 = 21/20h) [复位 = 0000h]

图 9-19. ChargerStatus 寄存器 (I²C 地址 = 21/20h) [复位 = 0000h]

7	6	5	4	3	2	1	0
AC_STAT	ICO_DONE	IN_VAP	IN_VINDPM	IN_IINDPM	IN_FCHRG	IN_PCHRG	IN_OTG
R	R	R	R	R	R	R	R
7	6	5	4	3	2	1	0
故障 ACOV	故障 BATOC	故障 ACOC	SYSOVP _STAT	故障 SYS _SHORT	故障闭锁	Fault_OTG _OVP	Fault_OTG _OCP
R	R	R	R/W	R/W	R	R	R

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-19. ChargerStatus 寄存器 (I²C 地址 = 21h) 字段说明

I²C 21h	字段	类型	复位	说明
7	AC_STAT	R	0b	输入源状态，与 CHRG_OK 位相同 0b：输入不存在 1b：输入存在
6	ICO_DONE	R	0b	ICO 例程成功执行后，该位变为 1。 0b：ICO 未完成 1b：ICO 完成
5	IN_VAP	R	0b	0b：充电器未在 VAP 模式下运行 1b：充电器在 VAP 模式下运行
4	IN_VINDPM	R	0b	0b：充电器在正向模式期间不处于 VINDPM 状态，或在 OTG 模式期间不处于电压调节状态 1b：充电器在正向模式期间处于 VINDPM 状态，或在 OTG 模式期间处于电压调节状态
3	IN_IINDPM	R	0b	0b：充电器不处于 IINDPM 状态 1b：充电器处于 IINDPM 状态
2	IN_FCHRG	R	0b	0b：充电器未处于快速充电状态 1b：充电器处于快速充电状态
1	IN_PCHRG	R	0b	0b：充电器未处于预充电状态 1b：充电器处于预充电状态
0	IN_OTG	R	0b	0b：充电器未处于 OTG 模式 1b：充电器处于 OTG 模式

表 9-20. ChargerStatus 寄存器 (I²C 地址 = 20h) 字段说明

I²C 20h	字段	类型	复位	说明
7	故障 ACOV	R	0b	故障锁存，直到从主机读取。 0b：无故障 1b：ACOV
6	故障 BATOC	R	0b	故障锁存，直到从主机读取。 0b：无故障 1b：BATOC

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-20. ChargerStatus 寄存器 (I²C 地址 = 20h) 字段说明 (continued)

I²C 20h	字段	类型	复位	说明
5	故障 ACOC	R	0b	故障锁存，直到从主机读取。 0b：无故障 1b：ACOC
4	SYSOVP_STAT	R/W	0b	SYSOVP 状态和清除 当 SYSOVP 发生时，该位为高电平。在 SYSOVP 期间，转换器被禁用。 移除 SYSOVP 后，用户必须向该位写入 0 或拔下适配器来清除 SYSOVP 条件，从而再次启用转换器。 0b：未处于 SYSOVP 状态 <POR 时的默认值> 1b：处于 SYSOVP 状态。当移除 SYSOVP 时，写入 0 以清除 SYSOVP 锁存。
3	故障 SYS_SHORT	R/W	0b	故障锁存，直到通过向该位写入 0 来从主机清除。 0b：无故障 <POR 时的默认值> 1b：当 SYS 低于 2.4V 时，则 7 次重启尝试失败。
2	故障闭锁	R	0b	故障锁存，直到从主机读取。 0b：无故障 1b：闭锁 (REG0x30[3])
1	Fault_OTG_OVP	R	0b	故障锁存，直到从主机读取。 0b：无故障 1b：OTG OVP
0	Fault_OTG_UVP	R	0b	故障锁存，直到从主机读取。 0b：无故障 1b：OTG UVP

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.2.2 ProchotStatus 寄存器（I²C 地址 = 23/22h）[复位 = A800h]

图 9-20. ProchotStatus 寄存器（I²C 地址 = 23/22h）[复位 = A800h]

7	6	5	4	3	2	1	0
保留	EN_PROCHOT _EXIT	PROCHOT_WIDTH		PROCHOT _CLEAR	保留	STAT_VAP _FAIL	STAT_EXIT _VAP
R	R/W	R/W		R/W	R	R/W	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0
STAT_VDPM	STAT_COMP	STAT_ICRIT	STAT_INOM	STAT_IDCHG	STAT_VSYS	STAT_BAT _Removal	STAT_ADPT _Removal
R/W	R	R	R	R	R	R	R

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-21. ProchotStatus 寄存器（I²C 地址 = 23h）字段说明

I²C 23h	字段	类型	复位	说明
7	保留	R	1b	保留
6	EN_PROCHOT _EXIT	R/W	0b	$\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲扩展启用。启用脉冲扩展后，保持 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 引脚电压为低电平，直到主机写入 REG0x23[3] = 0。 0b：禁用脉冲扩展 <POR 时的默认值> 1b：启用脉冲扩展
5-4	PROCHOT _WIDTH	读/写	10b	$\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲宽度。 当 REG0x23[6] = 0 时，$\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲宽度最小 00b：100us 01b：1ms 10b：10ms <POR 时的默认值> 11b：5ms
3	PROCHOT _CLEAR	R/W	1b	$\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲清除。 当 0x23[6] = 1 时清除 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲。 0b：清除 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 脉冲并将 $\overline{\text{PROCHOT}}$ 引脚驱动为高电平 1b：空闲 <POR 时的默认值>
2	保留	R	0b	保留
1	STAT_VAP_FAIL	R/W	0b	该状态位报告在 VAP 模式下 VBUS 连续 7 次加载失败，这表明电池电压可能不足以进入 VAP 模式，或 VAP 负载电流设置过高。 0b：不是 VAP 故障 <POR 时的默认值> 1b：在 VAP 故障时，充电器退出 VAP 模式并锁存，直到主机将该位写为 0。
0	STAT_EXIT_VAP	R/W	0b	当充电器在 VAP 模式下运行时，如果通过主机禁用或存在任何充电器故障，则该充电器可以退出 VAP。 0b：PROCHOT_EXIT_VAP 处于非活动状态 <POR 时的默认值> 1b：PROCHOT_EXIT_VAP 处于活动状态，$\overline{\text{PROCHOT}}$ 引脚为低电平，直到主机将该状态位写为 0。

表 9-22. ProchotStatus 寄存器（I²C 地址 = 22h）字段说明

I²C 22h	字段	类型	复位	说明
7	STAT_VDPM	R/W	0b	0b：未触发 1b：触发

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-22. ProchotStatus 寄存器 (I²C 地址 = 22h) 字段说明 (continued)

I²C 22h	字段	类型	复位	说明
6	STAT_COMP	R	0b	0b：未触发 1b：触发
5	STAT_ICRIT	R	0b	0b：未触发 1b：触发
4	STAT_INOM	R	0b	0b：未触发 1b：触发
3	STAT_IDCHG	R	0b	0b：未触发 1b：触发
2	STAT_VSYS	R	0b	0b：未触发 1b：触发
1	STAT_Battery_Removal	R	0b	0b：未触发 1b：触发
0	STAT_Adapter_Removal	R	0b	0b：未触发 1b：触发

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.3 ChargeCurrent 寄存器（I²C 地址 = 03/02h）[复位 = 0000h]

要设置充电电流，请使用图 9-21、表 9-23 和表 9-24 中列出的数据格式编写一个 16 位的 ChargeCurrent() 命令 (REG0x03/02h())。

该充电器具有 10mΩ 检测电阻，可提供 64mA 至 8.128A 的充电电流范围，步进分辨率为 64mA。POR 后，当自动唤醒未激活时，ChargeCurrent() 为 0A。导致 CHRG_OK 为低电平的任何条件（ACOV 除外）都会将 ChargeCurrent() 复位为零。CELL_BATPRESZ 变为低电平（移除电池）会将 ChargeCurrent() 寄存器复位为 0A。

在 ACOC、TSHUT、电源路径闭锁 (REG0x30[1]) 和 SYSOVP 中，充电电流不会复位。

建议在 SRP 和 SRN 之间使用一个 0.1μF 的电容器进行差模滤波；在 SRN 和接地之间使用一个可选的 0.1μF 电容器，并在 SRP 和接地之间使用一个可选的 0.1μF 电容器，来进行共模滤波。同时，SRP 上的电容不应高于 0.1μF，以便正确检测 SRP 和 SRN 两端的电压，来实现逐周期电流检测。

SRP 和 SRN 引脚用于检测 RSR（默认值为 10mΩ）两端的压降。但是，也可以使用其他值的电阻。对于更大的检测电阻，会提供更大的检测电压和更高的调节精度；但会以更高的导通损耗为代价。建议电流检测电阻值不超过 20mΩ。

图 9-21. 带 10mΩ 检测电阻的 ChargeCurrent 寄存器（I²C 地址 = 03/02h）[复位 = 0h]

7	6	5	4	3	2	1	0
保留			充电电流，位 6	充电电流，位 5	充电电流，位 4	充电电流，位 3	充电电流，位 2
R/W			R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0
充电电流，位 1	充电电流，位 0	保留	保留				
读/写	R/W	R/W	R/W				

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-23. 带 10mΩ 检测电阻的 ChargeCurrent 寄存器 (14h)（I²C 地址 = 03h）字段说明

I²C 03h	字段	类型	复位	说明
7-5	保留	读/写	000b	未使用。1 = 无效写入。
4	充电电流，位 6	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的充电器电流。 1 = 增加 4096mA 的充电器电流。
3	充电电流，位 5	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的充电器电流。 1 = 增加 2048mA 的充电器电流。
2	充电电流，位 4	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的充电器电流。 1 = 增加 1024mA 的充电器电流。
1	充电电流，位 3	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的充电器电流。 1 = 增加 512mA 的充电器电流。
0	充电电流，位 2	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的充电器电流。 1 = 增加 256mA 的充电器电流。

表 9-24. 带 10mΩ 检测电阻的 ChargeCurrent 寄存器 (14h)（I²C 地址 = 02h）字段说明

I²C 02h	字段	类型	复位	说明
7	充电电流，位 1	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的充电器电流。 1 = 增加 128mA 的充电器电流。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-24. 带 10mΩ 检测电阻的 ChargeCurrent 寄存器 (14h) (I²C 地址 = 02h) 字段说明 (continued)

I²C 02h	字段	类型	复位	说明
6	充电电流，位 0	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的充电器电流。 1 = 增加 64mA 的充电器电流。
5-0	保留	R/W	000000b	未使用。忽略值。

9.6.3.1 电池预充电电流钳位

在预充电期间，BATFET 在线性模式或 LDO 模式下工作 (默认 REG0x00[2] = 1) 。对于 2-4 芯电池，系统在 REG0x0D/0C() 中调节至最小系统电压，并且预充电电流钳位在 384mA。对于 1 芯电池，预充电至快速充电阈值为 3V，预充电电流钳位在 384mA。然而，BATFET 保持为 LDO 模式运行，直到电池电压高于最小系统电压 (~3.6V)。在 3V 至 3.6V 的电池电压范围内，快速充电电流钳位在 2A。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.4 MaxChargeVoltage 寄存器（I²C 地址 = 05/04h）[基于 CELL_BATPRESZ 引脚设置的复位值]

要设置输出充电电压，请使用图 9-22、表 9-25 和表 9-26 中列出的数据格式编写一个 16 位 ChargeVoltage 寄存器命令 (REG0x05/04())。该充电器的充电电压范围为 1.024V 至 19.200V，步进分辨率为 8mV。任何低于 1.024V 或高于 19.200V 的写入将会被忽略。

POR 时，REG0x05/04() 默认设置为 4200mV（持续 1s）、8400mV（持续 2s）、12600mV（持续 3s）或 16800mV（持续 4s）。在 CHRG_OK 变为高电平后，当主机将充电电流写入 REG0x03/02() 时，将开始充电，如果未对 REG0x05/04() 进行编程，则使用默认充电电压。如果电池不同于 4.2V/节，则主机必须在写入 REG0x03/02() 之前写入 REG0x05/04()，以实现正确的电池电压设置。将 REG0x05/04() 写为 0 将会根据 CELL_BATPRESZ 引脚将 REG0x05/04() 设置为默认值，并强制 REG0x03/02() 为零以禁用充电。

SRN 引脚可检测电池电压以进行电压调节，应尽可能靠近电池进行连接，并直接将去耦电容器（建议 0.1μF）放置在尽可能靠近器件的位置，以对高频噪声进行去耦。

图 9-22. MaxChargeVoltage 寄存器（I²C 地址 = 05/04h）[基于 CELL_BATPRESZ 引脚设置的复位值]

7	6	5	4	3	2	1	0
保留	最大充电电压，第 11 位	最大充电电压，第 10 位	最大充电电压，第 9 位	最大充电电压，第 8 位	最大充电电压，第 7 位	最大充电电压，第 6 位	最大充电电压，第 5 位
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0
最大充电电压，第 4 位	最大充电电压，第 3 位	最大充电电压，第 2 位	最大充电电压，第 1 位	最大充电电压，第 1 位	保留		
读/写	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W		

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-25. MaxChargeVoltage 寄存器（I²C 地址 = 05h）字段说明

I²C 05h	字段	类型	复位	说明
7	保留	R/W	0b	未使用。1 = 无效写入。
6	最大充电电压，第 11 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 16384mV 的充电器电压。
5	最大充电电压，第 10 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 8192mV 的充电器电压。
4	最大充电电压，第 9 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 4096mV 的充电器电压。
3	最大充电电压，第 8 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 2048mV 的充电器电压。
2	最大充电电压，第 7 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 1024mV 的充电器电压。
1	最大充电电压，第 6 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 512mV 的充电器电压。
0	最大充电电压，第 5 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 256mV 的充电器电压。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-26. MaxChargeVoltage 寄存器（I²C 地址 = 04h）字段说明

I²C 04h	字段	类型	复位	说明
7	最大充电电压，第 4 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 128mV 的充电器电压。
6	最大充电电压，第 3 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 64mV 的充电器电压。
5	最大充电电压，第 2 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 32mV 的充电器电压。
4	最大充电电压，第 1 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 16mV 的充电器电压。
3	最大充电电压，第 0 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的充电器电压。 1 = 增加 8mV 的充电器电压。
2-0	保留	读/写	000b	未使用。忽略值。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.5 MinSystemVoltage 寄存器（I²C 地址 = 0D/0Ch）[基于 CELL_BATPRESZ 引脚设置复位值]

要设置最小系统电压，请使用 图 9-23、表 9-27 和表 9-28 中列出的数据格式写入 16 位 MinSystemVoltage 寄存器命令 (REG0x0D/0C())。此充电器提供 1.024V 至 16.128V 的最小系统电压范围，步进分辨率为 256mV。将忽略任何低于 1.024V 或高于 16.128V 的写入。POR 后，MinSystemVoltage 寄存器的值如下：1S 为 3.584V；2S 为 6.144V；3S 为 9.216V；4S 为 12.288V。

图 9-23. MinSystemVoltage 寄存器（I²C 地址 = 0D/0Ch）[基于 CELL_BATPRESZ 引脚设置复位值]

7	6	5	4	3	2	1	0
保留		最小系统电压，第 5 位	最小系统电压，第 4 位	最小系统电压，第 3 位	最小系统电压，第 2 位	最小系统电压，第 1 位	最小系统电压，第 0 位
R/W		R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0
保留							
读/写							

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-27. MinSystemVoltage 寄存器（I²C 地址 = 0Dh）字段描述

I²C 0Dh	字段	类型	复位	说明
7-6	保留	读/写	00b	未使用。1 = 无效写入。
5	最小系统电压，第 5 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的系统电压。 1 = 增加 8192mV 的系统电压。
4	最小系统电压，第 4 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的系统电压。 1 = 增加 4096mV 的系统电压。
3	最小系统电压，第 3 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的系统电压。 1 = 增加 2048mV 的系统电压。
2	最小系统电压，第 2 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的系统电压。 1 = 增加 1024mV 的系统电压。
1	最小系统电压，第 1 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的系统电压。 1 = 增加 512mV 的系统电压。
0	最小系统电压，第 0 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的系统电压。 1 = 增加 256mV 的系统电压。

表 9-28. MinSystemVoltage 寄存器（I²C 地址 = 0Ch）字段描述

I²C 0Ch	字段	类型	复位	说明
7-0	保留	读/写	00000000b	未使用。忽略值。

9.6.5.1 系统电压调节

该器件采用窄 VDC 架构 (NVDC)，BATFET 可将系统与电池分离。最小系统电压由 REG0x0D/0C() 设置。即使电池电量深度耗尽，也可通过 BATFET 将系统调节至高于最小系统电压。

当电池电压低于最小系统电压设置时，BATFET 以线性模式（LDO 模式）运行，并且系统调节至高于最小系统电压设置。当电池电压升至高于最小系统电压时，BATFET 在充电或补充模式下完全导通，系统和电池之间的电压差为 BATFET 的 VDS。BATFET 关断（无充电或无补充电流）时，系统电压调节为高于电池电压 160mV。

移除 BATFET 后，系统节点 VSYS 将被短接至 SRP。在转换器开始运行之前，需要禁用 LDO 模式。要在没有 BATFET 的情况下配置充电器，需要按顺序执行以下操作。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

1. 在适配器插入之前，将充电器置于高阻态模式。（将引脚 6 ILIM_HIZ 拉至接地，或将 REG0x35[7] 设置为 1）
2. 将 0x00[2] 设置为 0 以禁用 LDO 模式。
3. 将 0x30[0] 设置为 0 以禁用自动唤醒模式。
4. 检查是否已正确对电池电压进行编程 (REG0x05/04)
5. 设置预充电/充电电流 (REG0x03/02)
6. 将器件退出高阻态模式。（从接地释放 ILIM_HIZ 并将 REG0x35[7] 设置为 0）。

为了防止任何意外的软件错误，主机会在器件退出高阻态模式时设置低输入电流限制（几百毫安）。

9.6.6 用于动态电源管理的输入电流和输入电压寄存器

充电器支持动态电源管理 (DPM)。通常，输入电源为系统负载供电或为电池充电。当输入电流超过输入电流设置或输入电压降至输入电压设置以下时，充电器会降低充电电流，以优先为系统负载提供保护。随着系统电流的上升，可用的充电电流相应地下降至零。如果系统负载在充电电流降至零后持续增加，则系统电压开始下降。当系统电压降至低于电池电压时，电池将放电以提供重系统负载。

9.6.6.1 输入电流寄存器

要设置最大输入电流限制，请使用表 9-29 和表 9-30 中列出的数据格式写入一个 16 位 IIN_HOST 寄存器命令 (REG0x0F/0E())。使用 10mΩ 检测电阻时，充电器提供 50mA 至 6400mA 的输入电流限制范围，分辨率为 50mA。默认电流限制为 3.25A。由于 USB 电流设置要求，寄存器设置会指定最大电流而不是典型电流。移除适配器后，输入电流限制重置为默认值 3.25A。使用代码 0，输入电流限制为 50mA。

ACP 和 ACN 引脚用于检测 R_{AC}，默认值为 10mΩ。对于 20mΩ 的检测电阻，可提供更大的检测电压和更高的调节精度，但以更高的传导损耗为代价。

用户可以构建外部输入电流调节环路，而不是使用内部 DPM 环路，并在 ILIM_HIZ 引脚上提供反馈信号。

$$V_{ILIM_HIZ} = 1V + 40 \times (V_{ACP} - V_{ACN}) = 1 + 40 \times I_{DPM} \times R_{AC} \quad (2)$$

为了禁用 ILIM_HIZ 引脚，主机可以写入 0x32[7] 以禁用 ILIM_HIZ 引脚，或将 ILIM_HIZ 引脚拉至 4.0V 以上。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.6.1.1 具有 10mΩ 检测电阻的 IIN_HOST 寄存器（I²C 地址 = 0F/0Eh）[复位 = 4100h]

使用代码 0 时，输入电流限制读回为 50mA。

图 9-24. 具有 10mΩ 检测电阻的 IIN_HOST 寄存器（I²C 地址 = 0F/0Eh）[复位 = 4100h]

7	6	5	4	3	2	1	0
保留	主机设置的输入电流，第 6 位	主机设置的输入电流，第 5 位	主机设置的输入电流，第 4 位	主机设置的输入电流，第 3 位	主机设置的输入电流，第 2 位	主机设置的输入电流，第 1 位	主机设置的输入电流，第 0 位
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0
保留							
R							

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-29. 具有 10mΩ 检测电阻的 IIN_HOST 寄存器（I²C 地址 = 0Fh）字段说明

I²C 0Fh	字段	类型	复位	说明
7	保留	R/W	0b	未使用。1 = 无效写入。
6	主机设置的输入电流，第 6 位	R/W	1b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 3200mA 的输入电流。
5	主机设置的输入电流，第 5 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 1600mA 的输入电流。
4	主机设置的输入电流，第 4 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 800mA 的输入电流。
3	主机设置的输入电流，第 3 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 400mA 的输入电流。
2	主机设置的输入电流，第 2 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 200mA 的输入电流。
1	主机设置的输入电流，第 1 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 100mA 的输入电流。
0	主机设置的输入电流，第 0 位	R/W	1b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 50mA 的输入电流。

表 9-30. 具有 10mΩ 检测电阻的 IIN_HOST 寄存器（I²C 地址 = 0Eh）字段说明

I²C 0Eh	字段	类型	复位	说明
7-0	保留	R	00000000b	未使用。忽略值。

9.6.6.1.2 具有 10mΩ 检测电阻的 IIN_DPM 寄存器（I²C 地址 = 25/24h）[复位 = 4100h]

IIN_DPM 寄存器反映了寄存器中编程的实际输入电流限制，无论是来自主机还是来自 ICO。

ICO 之后，DPM 调节使用的电流限制可能与 IIN_HOST 寄存器设置不同。实际 DPM 限制在 REG0x25/24() 中报告。使用代码 0 时，输入电流限制读回为 50mA。

图 9-25. 具有 10mΩ 检测电阻的 IIN_DPM 寄存器（I²C 地址 = 25/24h）[复位 = 4100h]

7	6	5	4	3	2	1	0
保留	DPM 中的输入电流，第 6 位	DPM 中的输入电流，第 5 位	DPM 中的输入电流，第 4 位	DPM 中的输入电流，第 3 位	DPM 中的输入电流，第 2 位	DPM 中的输入电流，第 1 位	DPM 中的输入电流，第 0 位
R	R	R	R	R	R	R	R
7	6	5	4	3	2	1	0
保留							
R							

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-31. 具有 10mΩ 检测电阻的 IIN_DPM 寄存器（I²C 地址 = 25h）字段说明

I²C 25h	字段	类型	复位	说明
7	保留	R	0b	未使用。1 = 无效写入。
6	DPM 中的输入电流，第 6 位	R	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 3200mA 的输入电流。
5	DPM 中的输入电流，第 5 位	R	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 1600mA 的输入电流。
4	DPM 中的输入电流，第 4 位	R	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 800mA 的输入电流
3	DPM 中的输入电流，第 3 位	R	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 400mA 的输入电流。
2	DPM 中的输入电流，第 2 位	R	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 200mA 的输入电流。
1	DPM 中的输入电流，第 1 位	R	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 100mA 的输入电流。
0	DPM 中的输入电流，第 0 位	R	0b	0 = 增加 0mA 的输入电流。 1 = 增加 50mA 的输入电流。

表 9-32. 具有 10mΩ 检测电阻的 IIN_DPM 寄存器（I²C 地址 = 24h）字段说明

I²C 24h	字段	类型	复位	说明
7-0	保留	R	00000000b	未使用。忽略值。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.6.1.3 InputVoltage 寄存器（I²C 地址 = 0B/0Ah）[复位 = VBUS-1.28V]

要设置输入电压限制，请使用图 9-26、表 9-33 和表 9-34 中列出的数据格式写入一个 16 位 InputVoltage 寄存器命令 (REG0x0B/0A())。

如果输入电压降幅超过 InputVoltage 寄存器允许的值，器件会进入 DPM 并减小充电电流。默认失调电压比空载 VBUS 电压低 1.28V。直流失调电压为 3.2V (0000000)。

图 9-26. InputVoltage 寄存器（I²C 地址 = 0B/0Ah）[复位 = VBUS-1.28V]

7	6	5	4	3	2	1	0
保留		输入电压，第 7 位	输入电压，第 6 位	输入电压，第 5 位	输入电压，第 4 位	输入电压，第 3 位	输入电压，第 2 位
R/W		R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0
输入电压，第 1 位	输入电压，第 0 位	保留					
读/写	R/W	R/W					

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-33. InputVoltage 寄存器（I²C 地址 = 0Bh）字段说明

I²C 0Bh	字段	类型	复位	说明
7-6	保留	读/写	00b	未使用。1 = 无效写入。
5	输入电压，第 7 位	R/W	0b	0 = 添加 0mV 的输入电压。 1 = 添加 8192mV 的输入电压。
4	输入电压，第 6 位	R/W	0b	0 = 添加 0mV 的输入电压。 1 = 添加 4096mV 的输入电压。
3	输入电压，第 5 位	R/W	0b	0 = 添加 0mV 的输入电压。 1 = 添加 2048mV 的输入电压。
2	输入电压，第 4 位	R/W	0b	0 = 添加 0mV 的输入电压。 1 = 添加 1024mV 的输入电压。
1	输入电压，第 3 位	R/W	0b	0 = 添加 0mV 的输入电压。 1 = 添加 512mV 的输入电压。
0	输入电压，第 2 位	R/W	0b	0 = 添加 0mV 的输入电压。 1 = 添加 256mV 的输入电压。

表 9-34. InputVoltage 寄存器（I²C 地址 = 0Ah）字段说明

I²C 0Ah	字段	类型	复位	说明
7	输入电压，第 1 位	R/W	0b	0 = 添加 0mV 的输入电压。 1 = 添加 128mV 的输入电压。
6	输入电压，第 0 位	R/W	0b	0 = 添加 0mV 的输入电压。 1 = 添加 64mV 的输入电压
5-0	保留	R/W	000000b	未使用。忽略值。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.7 OTGVoltage 寄存器（I²C 地址 = 07/06h）[复位 = 0000h]

要设置 OTG 输出电压限制，请使用图 9-27、表 9-35 和表 9-36 中列出的数据格式写入 REG0x07/06()。

DAC 在数字核心中被钳制在最小 3V 和最大 20.8V。任何低于最小值或高于最大值的寄存器写入都将被忽略。当 REG0x34[2] = 1 时，不存在 DAC 失调电压。当 REG0x34[2] = 0 时，DAC 偏移 1.28V

图 9-27. OTGVoltage 寄存器（I²C 地址 = 07/06h）[复位 = 0000h]

7	6	5	4	3	2	1	0
保留		OTG 电压，第 11 位	OTG 电压，第 10 位	OTG 电压，第 9 位	OTG 电压，第 8 位	OTG 电压，第 7 位	OTG 电压，第 6 位
R/W		R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0
OTG 电压，第 5 位	OTG 电压，第 4 位	OTG 电压，第 3 位	OTG 电压，第 2 位	OTG 电压，第 1 位	OTG 电压，第 0 位	保留	
读/写	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-35. OTGVoltage 寄存器（I²C 地址 = 07h）字段描述

I²C 07h	字段	类型	复位	说明
7-6	保留	读/写	00b	未使用。1 = 无效写入。
5	OTG 电压，第 11 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 16656mV 的 OTG 电压。
4	OTG 电压，第 10 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 8328mV 的 OTG 电压。
3	OTG 电压，第 9 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 4164mV 的 OTG 电压。
2	OTG 电压，第 8 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 2082mV 的 OTG 电压。
1	OTG 电压，第 7 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 1041mV 的 OTG 电压。
0	OTG 电压，第 6 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 521mV 的 OTG 电压。

表 9-36. OTGVoltage 寄存器（I²C 地址 = 06h）字段描述

I²C 06h	字段	类型	复位	说明
7	OTG 电压，第 5 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 260mV 的 OTG 电压。
6	OTG 电压，第 4 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 130mV 的 OTG 电压。
5	OTG 电压，第 3 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 65mV 的 OTG 电压。
4	OTG 电压，第 2 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 33mV 的 OTG 电压。
3	OTG 电压，第 1 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 16mV 的 OTG 电压。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

表 9-36. OTGVoltage 寄存器（I²C 地址 = 06h）字段描述 (continued)

I²C 06h	字段	类型	复位	说明
2	OTG 电压，第 0 位	R/W	0b	0 = 增加 0mV 的 OTG 电压。 1 = 增加 8.1mV 的 OTG 电压。
1-0	保留	读/写	00b	未使用。忽略值。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.8 OTGCurrent 寄存器（I²C 地址 = 09/08h）[复位 = 0000h]

要设置 OTG 输出电流限制，请使用图 9-28、表 9-37 和表 9-38 中列出的数据格式写入 REG0x09/08()。

图 9-28. OTGCurrent 寄存器（I²C 地址 = 09/08h）[复位 = 0000h]

7	6	5	4	3	2	1	0
保留	由主机设置的 OTG 电流，第 6 位	由主机设置的 OTG 电流，第 5 位	由主机设置的 OTG 电流，第 4 位	由主机设置的 OTG 电流，第 3 位	由主机设置的 OTG 电流，第 2 位	由主机设置的 OTG 电流，第 1 位	由主机设置的 OTG 电流，第 0 位
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0
保留							
读/写							

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-37. OTGCurrent 寄存器（I²C 地址 = 09h）字段描述

I²C 09h	字段	类型	复位	说明
7	保留	R/W	0b	未使用。1 = 无效写入。
6	由主机设置的 OTG 电流，第 6 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的 OTG 电流。 1 = 增加 3200mA 的 OTG 电流。
5	由主机设置的 OTG 电流，第 5 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的 OTG 电流。 1 = 增加 1600mA 的 OTG 电流。
4	由主机设置的 OTG 电流，第 4 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的 OTG 电流。 1 = 增加 800mA 的 OTG 电流。
3	由主机设置的 OTG 电流，第 3 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的 OTG 电流。 1 = 增加 400mA 的 OTG 电流。
2	由主机设置的 OTG 电流，第 2 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的 OTG 电流。 1 = 增加 200mA 的 OTG 电流。
1	由主机设置的 OTG 电流，第 1 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的 OTG 电流。 1 = 增加 100mA 的 OTG 电流。
0	由主机设置的 OTG 电流，第 0 位	R/W	0b	0 = 增加 0mA 的 OTG 电流。 1 = 增加 50mA 的 OTG 电流。

表 9-38. OTGCurrent 寄存器（I²C 地址 = 08h）字段描述

I²C 08h	字段	类型	复位	说明
7-0	保留	读/写	00000000b	未使用。忽略值。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.9 ADCVBUS/PSYS 寄存器（I²C 地址 = 27/26h）

- PSYS：完整范围：3.06V，LSB：12 mV
- VBUS：完整范围：3200mV 至 19520mV，LSB：64 mV

图 9-29. ADCVBUS/PSYS 寄存器（I²C 地址 = 27/26h）

7	6	5	4	3	2	1	0
R	R	R	R	R	R	R	R
7	6	5	4	3	2	1	0
R	R	R	R	R	R	R	R

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-39. ADCVBUS/PSYS 寄存器（I²C 地址 = 27h）字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0		R		输入电压的 8 位数字输出

表 9-40. ADCVBUS/PSYS 寄存器（I²C 地址 = 26h）字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0		R		系统电源的 8 位数字输出

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.10 ADCIBAT 寄存器（I²C 地址 = 29/28h）

- ICHG：完整范围：8.128A，LSB：64mA
- IDCHG：完整范围：32.512A，LSB：256 mA

图 9-30. ADCIBAT 寄存器（I²C 地址 = 29/28h）

7	6	5	4	3	2	1	0
保留	R	R	R	R	R	R	R
7	6	5	4	3	2	1	0
保留	R	R	R	R	R	R	R

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-41. ADCIBAT 寄存器（I²C 地址 = 29h）字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	保留	R		未使用。忽略值。
6-0		R		电池充电电流的 7 位数字输出

表 9-42. ADCIBAT 寄存器（I²C 地址 = 28h）字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	保留	R		未使用。忽略值。
6-0		R		电池放电电流的 7 位数字输出

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.11 ADCIINCMPIN 寄存器（I²C 地址 = 2B/2Ah）

- IIN：完整范围：12.75A，LSB：50mA。对于 10mΩ 检测电阻，IIN 完整范围 = 6.4A
- CMPIN：完整范围：3.06V，LSB：12 mV

图 9-31. ADCIINCMPIN 寄存器（I²C 地址 = 2B/2Ah）

7	6	5	4	3	2	1	0
R	R	R	R	R	R	R	R
7	6	5	4	3	2	1	0
R	R	R	R	R	R	R	R

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-43. ADCIINCMPIN 寄存器（I²C 地址 = 2Bh）字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0		R		输入电流的 8 位数字输出

表 9-44. ADCIINCMPIN 寄存器（I²C 地址 = 2Ah）字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0		R		CMPIN 电压的 8 位数字输出

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.12 ADCVSYSVBAT 寄存器（I²C 地址 = 2D/2Ch）

- VSYS：完整范围：2.88V 至 19.2V，LSB：64 mV
- VBAT：完整范围：2.88V 至 19.2V，LSB：64 mV

图 9-32. ADCVSYSVBAT 寄存器（I²C 地址 = 2D/2Ch）

7	6	5	4	3	2	1	0
R	R	R	R	R	R	R	R
7	6	5	4	3	2	1	0
R	R	R	R	R	R	R	R

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-45. ADCVSYSVBAT 寄存器（I²C 地址 = 2Dh）字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0		R		系统电压的 8 位数字输出

表 9-46. ADCVSYSVBAT 寄存器（I²C 地址 = 2Ch）字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0		R		电池电压的 8 位数字输出

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

9.6.13 ID 寄存器

9.6.13.1 ManufactureID 寄存器 (I²C 地址 = 2Eh) [复位 = 0040h]

图 9-33. ManufactureID 寄存器 (I²C 地址 = 2Eh) [复位 = 0040h]

7-0
MANUFACTURE_ID
R

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-47. ManufactureID 寄存器字段说明

I2C 2Eh	字段	类型	复位	说明 (只读)
7-0	MANUFACTURE_ID	R		40h

9.6.13.2 器件 ID (DeviceAddress) 寄存器 (I²C 地址 = 2Fh) [复位 = 0h]

图 9-34. 器件 ID (DeviceAddress) 寄存器 (I²C 地址 = 2Fh) [复位 = 0h]

7-0
DEVICE_ID
R

说明：R/W = 读/写；R = 只读；-n = 复位后的值

表 9-48. 器件 ID (DeviceAddress) 寄存器字段说明

I2C 2Fh	字段	类型	复位	说明 (只读)
7-0	DEVICE_ID	R	0b	I2C：88h (BQ25713)；8Ah (BQ25713B)

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

10 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 器件规格的范围，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客 户应负责确定器件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计，以确保系统功能。

10.1 应用信息

BQ2571xEVM-017 评估模块 (EVM) 是一个完整的充电器模块，用于评估 BQ25713/BQ25713B。应用曲线是使用 BQ2571xEVM-017 绘制的。有关 EVM 的信息，请参阅 EVM 用户指南。

10.2 典型应用

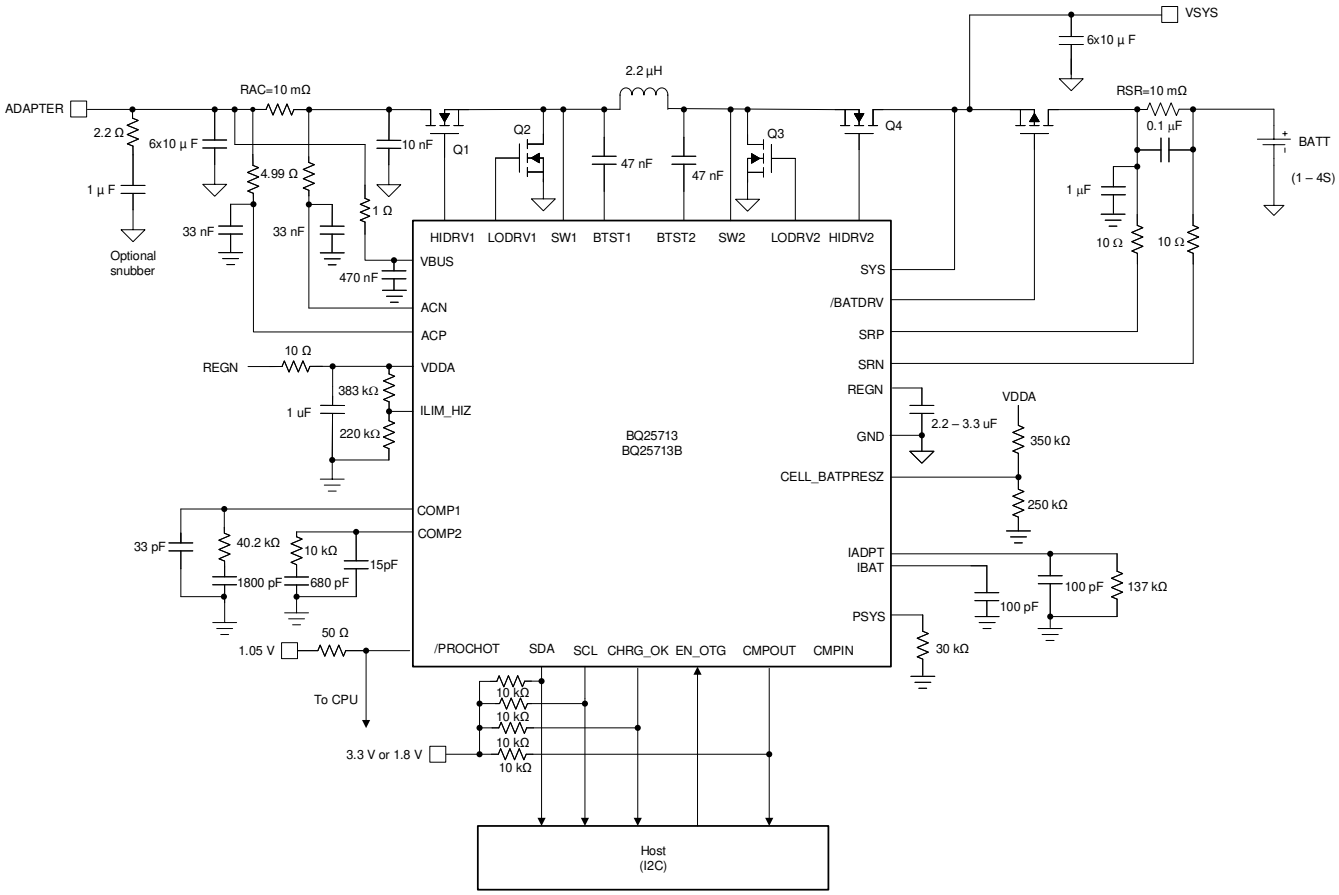


图 10-1. 应用示意图

10.2.1 设计要求

设计参数	示例值
输入电压(2)	3.5V < 适配器电压 < 24V
输入电流限制 (2)	对于 65W 适配器为 3.2A
电池充电电压(1)	对于 2 芯串联电池为 8400mV
电池充电电流(1)	对于 2 芯串联电池为 3072mA
最小系统电压(1)	对于 2 芯串联电池为 6144mV

(1) 有关设置，请参阅电池规格。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

(2) 有关输入电压和输入电流限制的设置，请参阅适配器规格。

10.2.2 详细设计过程

可使用评估软件对这些参数进行配置。简化版应用电路（请参阅图 10-1，应用示意图）显示了最低元件要求。本节的其余部分将介绍电感器、电容器和 MOSFET 选择。有关完整的应用原理图，请参阅 EVM 用户指南。

10.2.2.1 ACP-ACN 输入滤波器

BQ25713/BQ25713B 具有平均电流模式控制。通过 ACP/ACN 进行输入电流检测对于恢复电感器电流纹波至关重要。板载寄生电感将在 ACP-ACN 上产生高频振铃，这会淹没转换器检测到的电感器电流信息，因此很难管理基于不同 PCB 布局产生的寄生电感。更大的寄生电感将产生更大的检测电流振铃，这将导致平均电流控制环路进入振荡状态。

对于实际的系统板条件，我们建议使用以下电路设计来获得最佳结果，并滤除由不同 PCB 寄生因素引起的噪声。由于滤波器的时间常数为 47ns 至 200ns，因此对振铃进行滤波是有效的，同时，检测到的信号的延迟很小，因此不需要考虑平均电流模式控制。

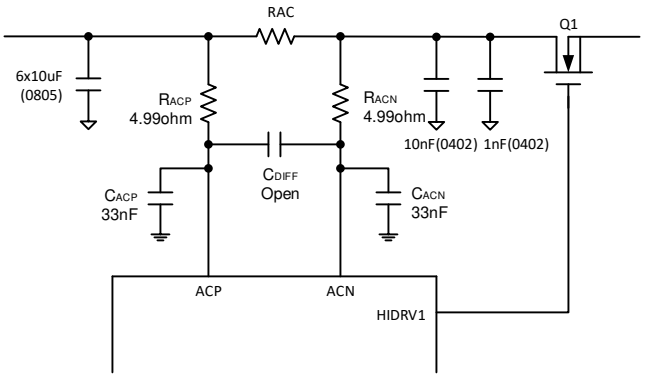


图 10-2. ACN-ACP 输入滤波器

10.2.2.2 电感器选型

BQ25713/BQ25713B 具有两种可选的固定开关频率。更高的开关频率允许使用更小的电感器和电容器值。电感器饱和电流应高于充电电流 (I_{CHG}) 加上一半的纹波电流 (I_{RIPPLE})：

$$I_{SAT} \geq I_{CHG} + (1/2)\, I_{RIPPLE} \tag{3}$$

降压运行模式下的电感器纹波电流取决于输入电压 (V_{IN})、占空比 ($D_{BUCK} = V_{OUT}/V_{IN}$)、开关频率 ($f_S$) 和电感 (L)：

$$I_{RIPPLE_BUCK} = \frac{V_{IN} \times D \times (1 - D)}{f_S \times L} \tag{4}$$

在升压运行期间，占空比为：

$D_{BOOST} = 1 - (V_{IN}/V_{BAT})$

纹波电流为：

$I_{RIPPLE_BOOST} = (VIN \times D_{BOOST}) / (f_S \times L)$

最大电感器纹波电流发生在 D = 0.5 或接近 0.5 时。例如，3 节电池组成的电池包的电池充电电压范围为 9V 至 12.6V。对于 20V 适配器电压，10V 电池电压可提供最大电感器纹波电流。另一个示例是 4 节电池，电池电压范围为 12V 至 16.8V，12V 电池电压可提供最大的电感器纹波电流。

通常，电感器纹波的设计范围为 (20 – 40%) 最大充电电流，这是实际设计中电感器尺寸和效率之间的折衷。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

10.2.2.3 输入电容器

输入电容器应具有足够的额定纹波电流以吸收输入开关纹波电流。在降压模式下，当占空比为 0.5 时，最坏情况下的 RMS 纹波电流是充电电流的一半（加上有任何系统负载时的系统电流）。如果转换器不以 50% 的占空比运行，则最坏情况下的电容器 RMS 电流发生在占空比最接近 50% 的位置，可通过方程式 5 估算得出：

$$I_{CIN} = I_{CHG} \times \sqrt{D \times (1 - D)} \quad (5)$$

X7R 或 X5R 等低 ESR 陶瓷电容是输入去耦电容的首选，应放置在 R_{AC} 电流检测的前面，并尽可能靠近功率级半桥 MOSFET。功率级半桥之前 R_{AC} 后的电容应限制为 10nF + 1nF，请参见图 10-2。这是因为，如果 R_{AC} 后的电容过大，可能会滤除 R_{AC} 电流检测纹波信息。电容器的额定电压必须高于正常输入电压电平，19V 至 20V 输入电压下最好使用 25V 额定电压或更高的电容器。表 10-1 给出了最小输入有效电容建议。

陶瓷电容器 (MLCC) 显示了直流偏置效应。在陶瓷电容器上施加直流偏置电压时，这种效应可减小有效电容，就像是在充电器的输入电容器上一样。这种影响可能会导致显著的电容压降，尤其是对于高输入电压和小型电容器封装。请参阅制造商的数据表，了解施加直流偏置电压时的降额性能。为了在运行点获得所需的有效电容值，也许有必要选择一个更高的额定电压或者标称电容值。考虑到 25V 0603 封装 MLCC 电容在 19V 至 20V 输入电压下降额，建议的实际电容配置也可在表 10-1 中找到。钽电容器 (POSCAP) 可避免直流偏置效应和温度变化影响，推荐用于功率更高的 90W 至 130W 应用。

表 10-1. 最小输入电容要求

输入电容器与总输入功率的关系	65W	90W	130W
最低有效输入电容	4 µF	6 µF	13 µF
最小实际输入电容器配置	4 个 10 µF (0603 25V MLCC)	6 个 10 µF (0603 25V MLCC)	3 个 10 µF (0603 25V MLCC) 1 个 10 µF（25V 至 35V POSCAP）

10.2.2.4 输出电容器

输出电容器还应具有足够的纹波电流额定值，以吸收输出开关纹波电流。为获得良好的环路稳定性，输出电感器和输出电容器的谐振频率应设计为 10kHz 至 20kHz。输出电容器的首选陶瓷电容器为 25V X7R 或 X5R。建议将至少 7 个 10 µF 0603 封装电容器放置在尽可能靠近 Q3 和 Q4 半桥的位置（在 Q4 漏极端子和 Q3 源极端子之间）。沿 VSYS 配电线路的总最小输出有效电容为 50 µF，请参阅表 10-2。建议在充电电流检测电阻之后放置至少 20 µF 的 MLCC 电容器，以实现出色的稳定性。

陶瓷电容器表现出直流偏置效应。在陶瓷电容器上施加直流偏置电压时，这种效应可减小有效电容，就像是在充电器的输出电容器上一样。这种影响可能会导致显著的电容压降，尤其是对于高输出电压和小型电容器封装。请参阅制造商的数据表，了解施加直流偏置电压时的降额性能。为了在运行点获得所需的电容值，也许有必要选择一个更高的额定电压或者标称电容值。考虑到 25V 0603 封装 MLCC 电容在 21V 至 23V 输出电压下降额，VSYS 输出端子处的建议实际电容器配置也可在表 10-2 中找到。钽电容器 (POSCAP) 可避免直流偏置效应和温差效应，建议沿 VSYS 输出配电线路使用，以满足总最小有效输出电容要求。

表 10-2. 最小输出电容要求

输出电容器与总输入功率间的关系	65W	90W	130W
最小有效输出电容	50 µF	50 µF	50 µF
充电器 VSYS 输出端子上的最小输出电容器	7*10 µF (0603 25V MLCC)	9*10 µF (0603 25V MLCC)	9*10 µF (0603 25V MLCC)
沿 VSYS 配电线路的附加输出电容器	2*22 µF（25V 至 35V POSCAP）	2*22 µF（25V 至 35V POSCAP）	2*22 µF（25V 至 35V POSCAP）

10.2.2.5 功率 MOSFET 选择

四个外部 N 沟道 MOSFET 用于同步开关电池充电器。栅极驱动器在内部集成到具有 6V 栅极驱动电压的 IC 中。对于 19V 至 20V 输入电压，首选 30V 或更高额定电压的 MOSFET。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

品质因数 (FOM) 通常用于根据导通损耗和开关损耗之间的权衡来选择合适的 MOSFET。对于顶部 MOSFET，FOM 定义为 MOSFET 导通电阻 $R_{DS(ON)}$ 与栅漏电荷 Q_{GD} 的乘积。对于底部 MOSFET，FOM 定义为 MOSFET 导通电阻 $R_{DS(ON)}$ 与总栅极电荷 Q_G 的乘积。

$$FOM_{top} = R_{DS(on)} \times Q_{GD} \text{；} FOM_{bottom} = R_{DS(on)} \times Q_G \quad (6)$$

FOM 值越低，总功率损耗越低。通常，在相同的封装尺寸下，较低的 $R_{DS(ON)}$ 具有较高的成本。

顶部 MOSFET 损耗包括导通损耗和开关损耗。它是占空比 ($D=V_{OUT}/V_{IN}$)、充电电流 (I_{CHG})、MOSFET 导通电阻 ($R_{DS(ON)}$)、输入电压 (V_{IN})、开关频率 (f_S)、导通时间 (t_{on}) 和关断时间 (t_{off}) 的函数：

$$P_{top} = D \times I_{CHG}^2 \times R_{DS(on)} + \frac{1}{2} \times V_{IN} \times I_{CHG} \times (t_{on} + t_{off}) \times f_s \quad (7)$$

第一项表示导通损耗。通常，MOSFET $R_{DS(ON)}$ 在结温升高 100°C 时增加 50%。第二项表示开关损耗。MOSFET 导通时间和关断时间的计算公式如下：

$$t_{on} = \frac{Q_{SW}}{I_{on}}, \quad t_{off} = \frac{Q_{SW}}{I_{off}} \quad (8)$$

其中 Q_{sw} 是开关电荷，I_{on} 是导通栅极驱动电流，I_{off} 是关断栅极驱动电流。如果 MOSFET 数据表中未给出开关电荷，则可通过栅漏电荷 (Q_{GD}) 和栅源电荷 (Q_{GS}) 来估算开关电荷：

$$Q_{SW} = Q_{GD} + \frac{1}{2} \times Q_{GS} \quad (9)$$

可通过栅极驱动器的 REGN 电压 (V_{REGN})、MOSFET 平坦电压 (V_{plt})、总导通栅极电阻 (R_{on}) 和关断栅极电阻 (R_{off}) 来估算栅极驱动电流：

$$I_{on} = \frac{V_{REGN} - V_{plt}}{R_{on}}, \quad I_{off} = \frac{V_{plt}}{R_{off}} \quad (10)$$

当底部 MOSFET 在同步连续导通模式下运行时，其导通损耗的计算公式如下：

$$P_{bottom} = (1 - D) \times I_{CHG}^2 \times R_{DS(on)} \quad (11)$$

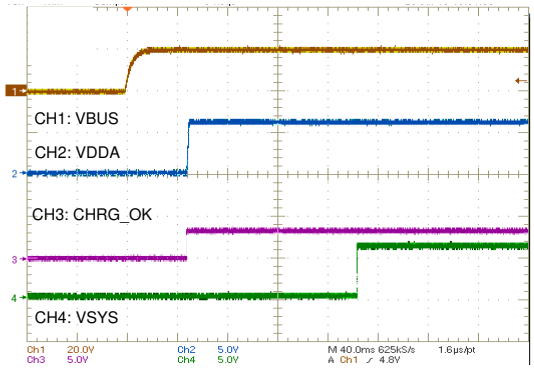
当充电器在非同步模式下运行时，底部 MOSFET 关断。因此，所有续流电流都流过底部 MOSFET 的体二极管。体二极管功率损耗取决于其正向压降 (V_F)、非同步模式充电电流 ($I_{NONSYNC}$) 和占空比 (D)。

$$P_D = V_F \times I_{NONSYNC} \times (1 - D) \quad (12)$$

对于 10mΩ 充电电流检测电阻，非同步模式下的最大充电电流可达 0.25A，如果电池电压低于 2.5V，则可达 0.5A。当电池电压最低时，占空比最小。选择具有能够承载最大非同步模式充电电流的内部肖特基二极管或体二极管的底部 MOSFET。

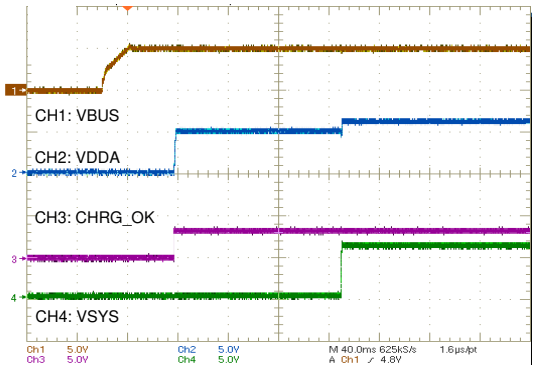
Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

10.2.3 应用曲线



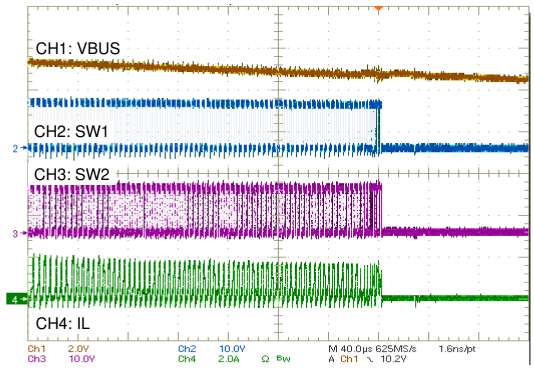
2 芯不带电池

图 10-3. 从 20V 上电



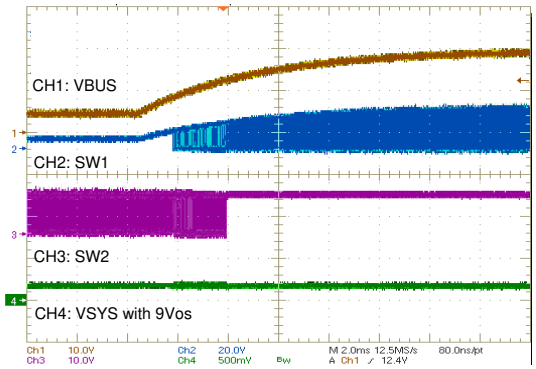
2 芯不带电池

图 10-4. 从 5V 上电



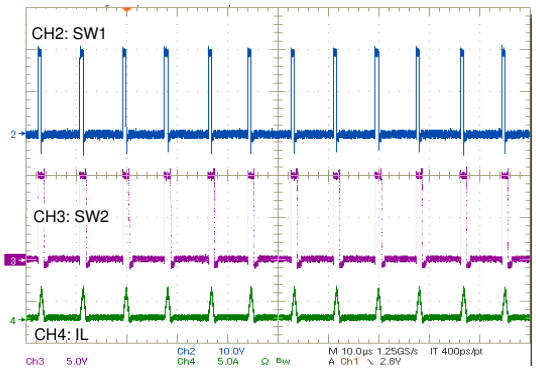
3 芯 VBAT = 10V

图 10-5. 从 12V 断电



VBUS 5V 至 20V

图 10-6. 系统调节



VBUS = 20V，VSYS = 10V，ISYS = 200mA

图 10-7. PFM 运行

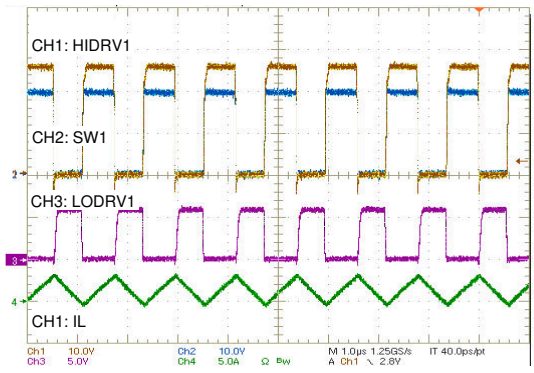
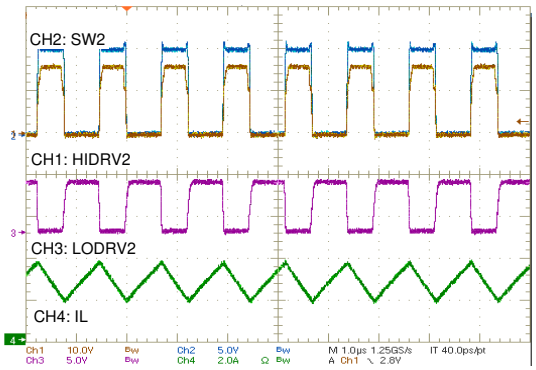


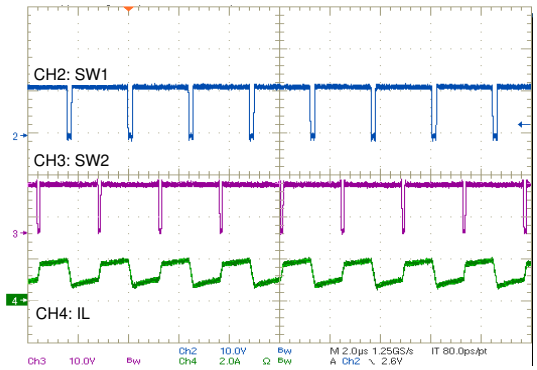
图 10-8. PWM 运行

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated



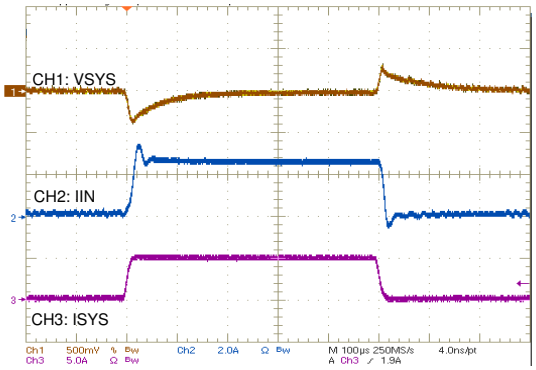
VBUS = 5V，VBAT = 10V

图 10-9. 升压模式期间切换



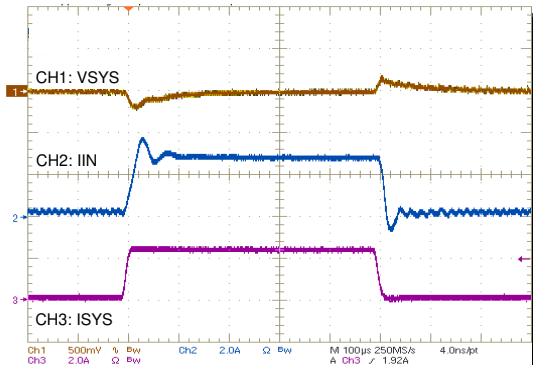
VBUS = 12V，VBAT = 12V

图 10-10. 降压/升压模式期间切换



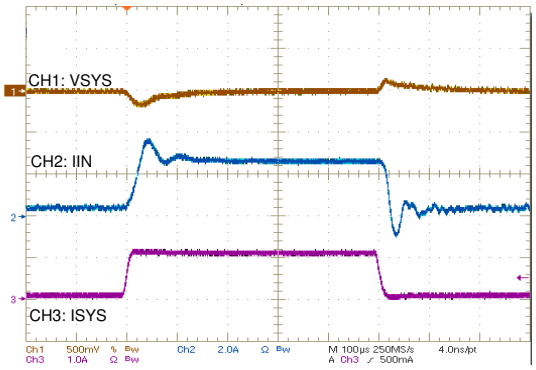
VBUS = 12V/3.3A，3 芯，VSYS = 9V，无电池

图 11. 降压模式下的系统调节



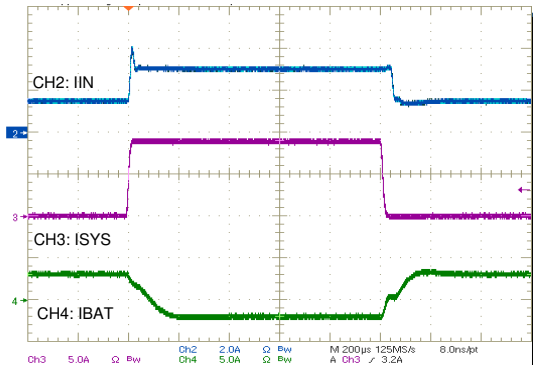
VBUS = 9V/3.3A，3 芯，VSYS = 9V，无电池

图 10-12. 降压/升压模式下的系统调节



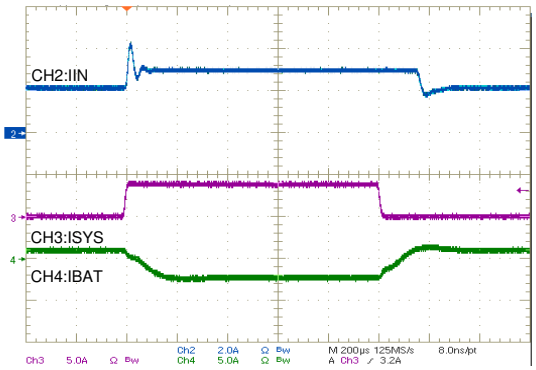
VBUS = 5V/3.3A，3 芯，VSYS = 9V，无电池

图 10-13. 升压模式下的系统调节



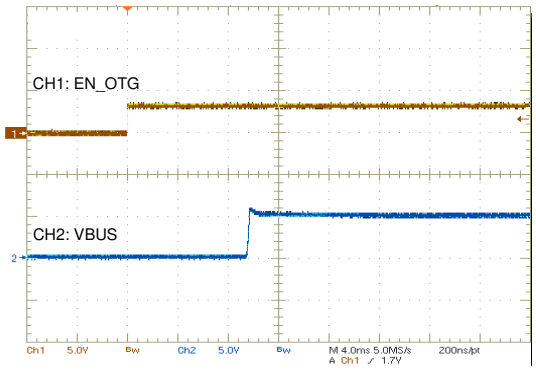
VBUS = 20V/3.3V，VBAT = 7.5V

图 10-14. 降压模式下的输入电流调节



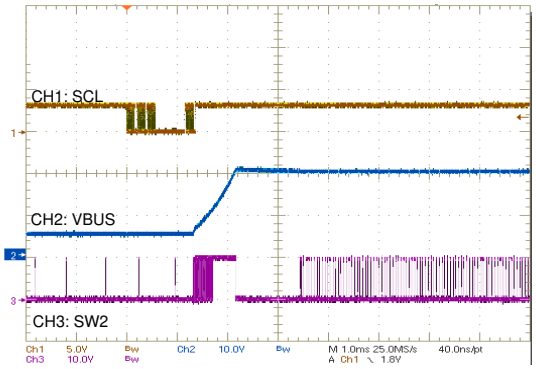
VBUS = 5V/3.3V，VBAT = 7.5V

图 10-15. 升压模式下的输入电流



VBUS = 5 V

图 10-16. OTG 通过 8V 电池上电



VBAT = 10V，VBUS 5V 至 20V，IOTG = 500mA

图 10-17. OTG 电压斜升

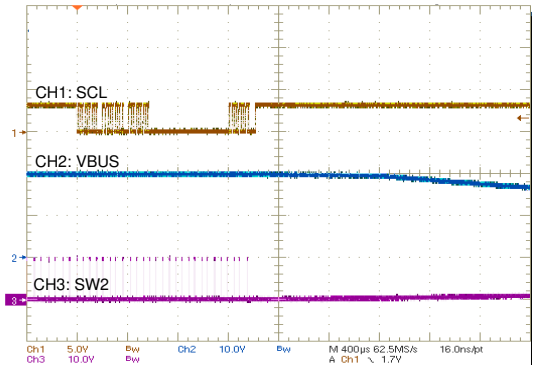
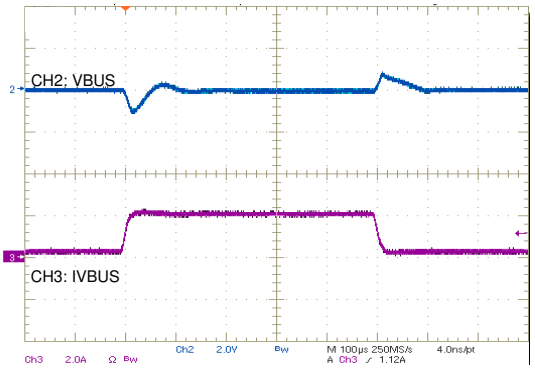


图 10-18. OTG 断电



VBAT = 10V，VBUS = 20V

图 10-19. OTG 负载瞬态

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

11 电源相关建议

适配器的有效电压范围为 3.5V (V_{VBUS_CONVEN}) 至 24V (ACOV)，额定电流至少为 500mA。当 CHRG_OK 变为高电平时，系统通过充电器从适配器供电。移除适配器后，系统通过 BATFET 连接到电池。通常，电池电量耗尽阈值应大于最小系统电压，从而可以充分利用电池容量，以实现较长的电池寿命。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

12 布局

12.1 布局指南

对于防止电场和磁场辐射以及高频谐振问题，采用合适的元件布局来尽可能简化高频电流路径环路（参阅节 12.2）非常重要。以下是正确布局的 PCB 布局优先级列表。

表 12-1. PCB 布局指南

规则	元件	功能	影响	指南
1		PCB 层堆叠	热性能、效率、信号完整性	建议使用多层 PCB。至少分配一个接地层。BQ257XXEVM 使用 4 层 PCB（顶层、接地层、信号层和底层）。
2	CBUS、RAC、Q1、Q2	输入环路	高频噪声，纹波	VBUS 电容器、RAC、Q1 和 Q2 构成一个小环路 1。最好将它们放在同一侧。用大面积的铜连接它们以减少寄生电阻。将部分 CBUS 移到 PCB 的另一侧，以实现高密度设计。在 Q1 和 Q2 功率级之前的 RAC 之后，建议将 10nF + 1nF（0402 封装）去耦电容器尽可能靠近 IC 放置，以便对开关环路高频噪声进行去耦。
3	R_{AC}、Q1、L1、Q4	电流路径	效率	从 VBUS 到 VSYS 通过 R_{AC}、Q1、L1、Q4 的电流路径具有低阻抗。请留意过孔电阻是否不在同一侧。对于 1oz 铜厚度的 10mil 过孔，过孔数量可估算为 1A 至 2A/过孔。
4	CSYS、Q3、Q4	输出环路	高频噪声，纹波	VSYS 电容器 Q3 和 Q4 构成一个小环路 2。最好将它们放在同一侧。用大面积的铜连接它们以减少寄生电阻。将部分 CSYS 移到 PCB 的另一侧，以实现高密度设计。
5	QBAT、R_{SR}	电流路径	效率、电池电压检测	将 QBAT 和 R_{SR} 放置在电池端子附近。从 VBAT 到 VSYS 通过 R_{SR} 和 QBAT 的电流路径具有低阻抗。请留意过孔电阻是否不在同一侧。该器件通过电池端子附近的 SRN 检测电池电压。
6	Q1、Q2、L1、Q3、Q4	功率级	热性能、效率	将 Q1、Q2、L1、Q3 和 Q4 彼此相邻放置。留出足够的铜面积来散热。建议铜面积为焊盘尺寸的 2 到 4 倍。多个散热过孔可用于将更多铜层连接在一起并散发更多热量。
7	R_{AC}、R_{SR}	电流检测	调节精度	对 R_{AC} 和 R_{SR} 电流检测电阻使用开尔文检测技术。将电流检测走线连接到焊盘的中心，并将电流检测走线用作差分对。
8	小电容	IC 旁路电容器	噪声、抖动、纹波	将 VBUS 电容、VCC 电容、REGN 电容靠近 IC 放置。
9	BST 电容器	HS 栅极驱动	高频噪声，纹波	将 HS MOSFET 升压自举电路电容器放置在靠近 IC 的位置并位于 PCB 板的同一侧。建议电容器 SW1/2 节点使用宽铜多边形连接到功率级，建议电容器 BST1/2 节点使用至少 8mil 的迹线连接到 IC BST1/2 引脚。
10		接地分区	测量精度、调节精度、抖动、纹波	优先选择单独的模拟接地 (AGND) 和电源接地 (PGND)。PGND 应用于所有功率级相关的接地网。AGND 应用于所有检测、补偿和控制网络接地，例如 ACP/ACN/COMP1/COMP2/CMPIN/CMPOUT/IADPT/IBAT/PSYS。将所有模拟接地端连接到专用的低阻抗覆铜平面，该覆铜平面连接到 IC 外露焊盘下方的电源接地端。如果可能，请使用专用的 COMP1、COMP2 AGND 布线。使用电源板作为单一接地连接点，将模拟接地和电源接地连接在一起。

12.2 布局示例

12.2.1 布局示例参考顶视图

根据上述布局指南，降压/升压充电器布局示例顶视图如下所示，其中包括所有关键电源元件。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

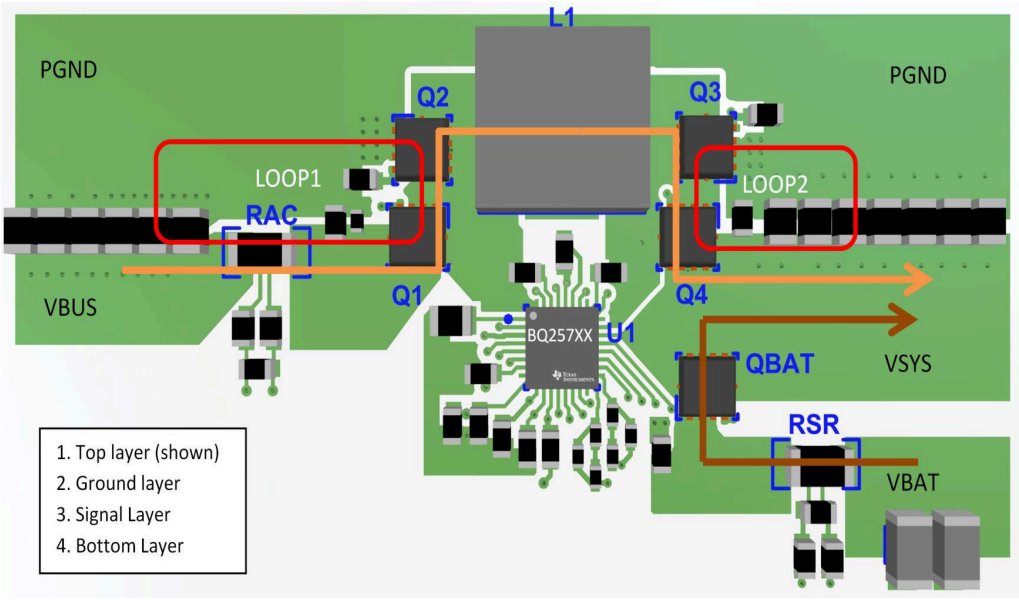


图 12-1. 降压/升压充电器布局参考示例顶视图

12.2.2 内层布局和布线示例

对于输入检测电阻器和充电电流检测电阻，建议使用差分检测和布线方法，如下图中突出显示的那样。栅极驱动布线使用宽迹线，迹线宽度最小为 15mil。将所有模拟接地端连接到专用的低阻抗覆铜平面，该覆铜平面连接到 IC 外露焊盘下方的电源接地端。建议使用专用的 COMP1、COMP2 模拟接地线迹，如下图所示。

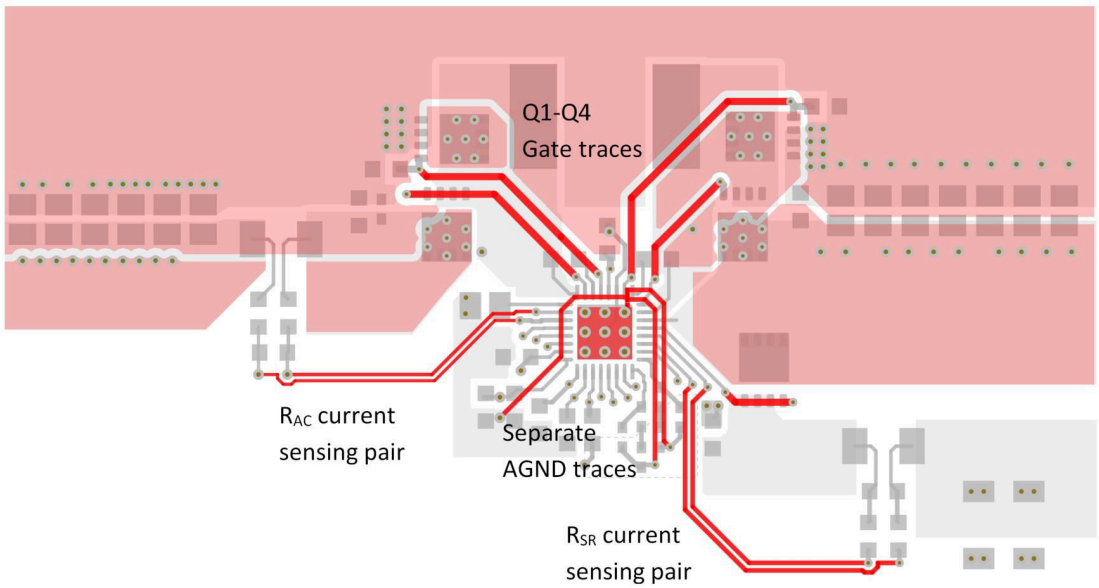


图 12-2. 降压/升压充电器栅极驱动/电流检测/AGND 信号层布线示例

13 器件和文档支持

13.1 器件支持

13.1.1 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。

13.2 文档支持

13.2.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- *“半导体和 IC 封装热指标”应用报告*
- *BQ2571x 评估模块用户指南*
- *“QFN/SON PCB 连接”应用报告*

13.3 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 *订阅更新* 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。

13.4 支持资源

TI E2E™ 支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家获得快速、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可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》。

13.5 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

13.6 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。

13.7 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。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

14 机械、封装和可订购信息

下述页面包含机械、封装和订购信息。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。

Copyright © 2023 Texas Instruments Incorporated

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)
BQ25713BRSNR	Active	Production	QFN (RSN) | 32	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU | NIPDAUAG	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ 25713B
BQ25713BRSNR.A	Active	Production	QFN (RSN) | 32	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ 25713B
BQ25713BRSNR.B	Active	Production	QFN (RSN) | 32	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ 25713B
BQ25713BRSNT	Active	Production	QFN (RSN) | 32	250 | SMALL T&R	Yes	NIPDAU | NIPDAUAG	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ 25713B
BQ25713BRSNT.A	Active	Production	QFN (RSN) | 32	250 | SMALL T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ 25713B
BQ25713BRSNT.B	Active	Production	QFN (RSN) | 32	250 | SMALL T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ 25713B
BQ25713RSNR	Active	Production	QFN (RSN) | 32	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU | NIPDAUAG	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ25713
BQ25713RSNR.A	Active	Production	QFN (RSN) | 32	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ25713
BQ25713RSNR.B	Active	Production	QFN (RSN) | 32	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ25713
BQ25713RSNRG4	Active	Production	QFN (RSN) | 32	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ25713
BQ25713RSNRG4.A	Active	Production	QFN (RSN) | 32	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ25713
BQ25713RSNRG4.B	Active	Production	QFN (RSN) | 32	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ25713
BQ25713RSNT	Active	Production	QFN (RSN) | 32	250 | SMALL T&R	Yes	NIPDAU | NIPDAUAG	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ25713
BQ25713RSNT.A	Active	Production	QFN (RSN) | 32	250 | SMALL T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ25713
BQ25713RSNT.B	Active	Production	QFN (RSN) | 32	250 | SMALL T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	BQ25713

(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.

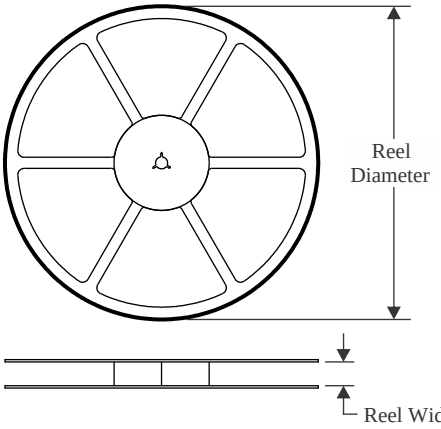
Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

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.

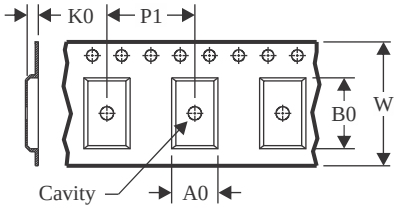
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

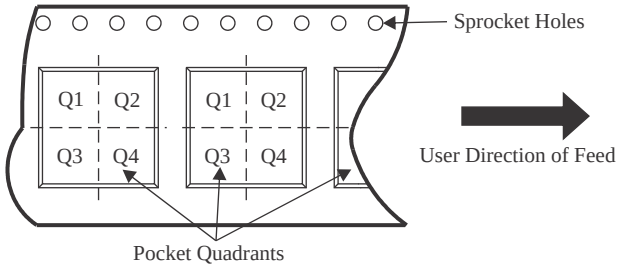


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

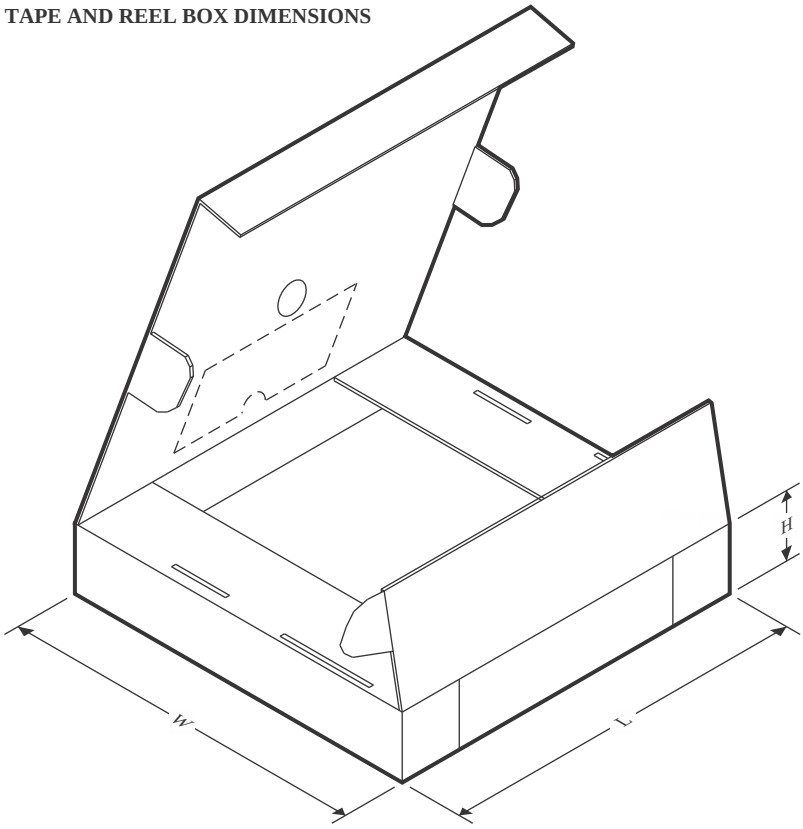
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*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
BQ25713BRSNR	QFN	RSN	32	3000	330.0	12.4	4.25	4.25	1.15	8.0	12.0	Q2
BQ25713BRSNT	QFN	RSN	32	250	180.0	12.4	4.25	4.25	1.15	8.0	12.0	Q2
BQ25713RSNR	QFN	RSN	32	3000	330.0	12.4	4.3	4.3	1.3	8.0	12.0	Q2
BQ25713RSNR	QFN	RSN	32	3000	330.0	12.4	4.25	4.25	1.15	8.0	12.0	Q2
BQ25713RSNRG4	QFN	RSN	32	3000	330.0	12.4	4.25	4.25	1.15	8.0	12.0	Q2
BQ25713RSNT	QFN	RSN	32	250	180.0	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)
BQ25713BRSNR	QFN	RSN	32	3000	360.0	360.0	36.0
BQ25713BRSNT	QFN	RSN	32	250	210.0	185.0	35.0
BQ25713RSNR	QFN	RSN	32	3000	353.0	353.0	32.0
BQ25713RSNR	QFN	RSN	32	3000	360.0	360.0	36.0
BQ25713RSNRG4	QFN	RSN	32	3000	367.0	367.0	35.0
BQ25713RSNT	QFN	RSN	32	250	210.0	185.0	35.0

GENERIC PACKAGE VIEW

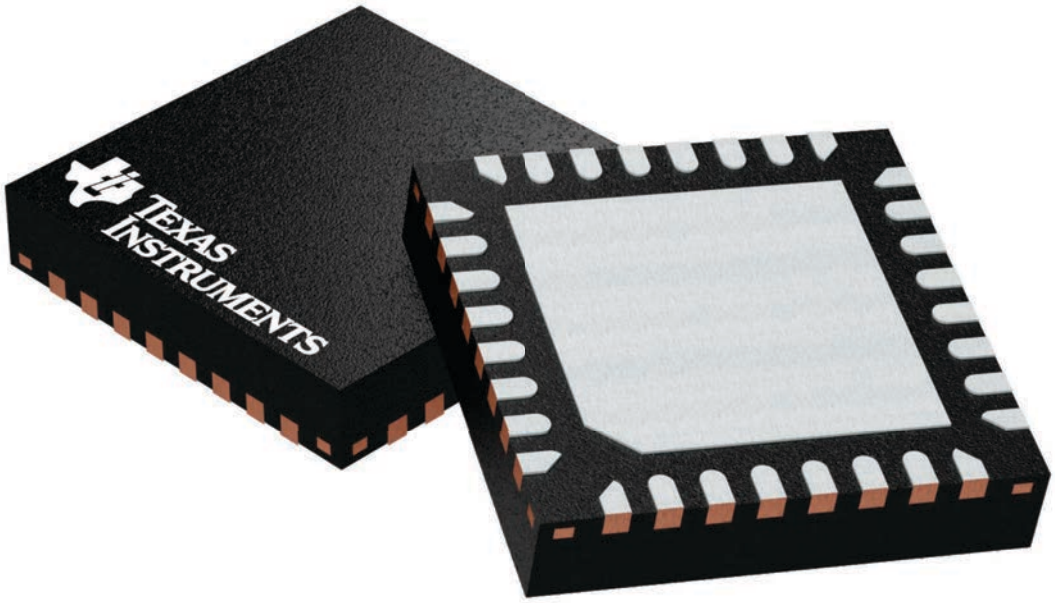
RSN 32

WQFN - 0.8 mm max height

4 x 4, 0.4 mm pitch

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD

This image is a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.



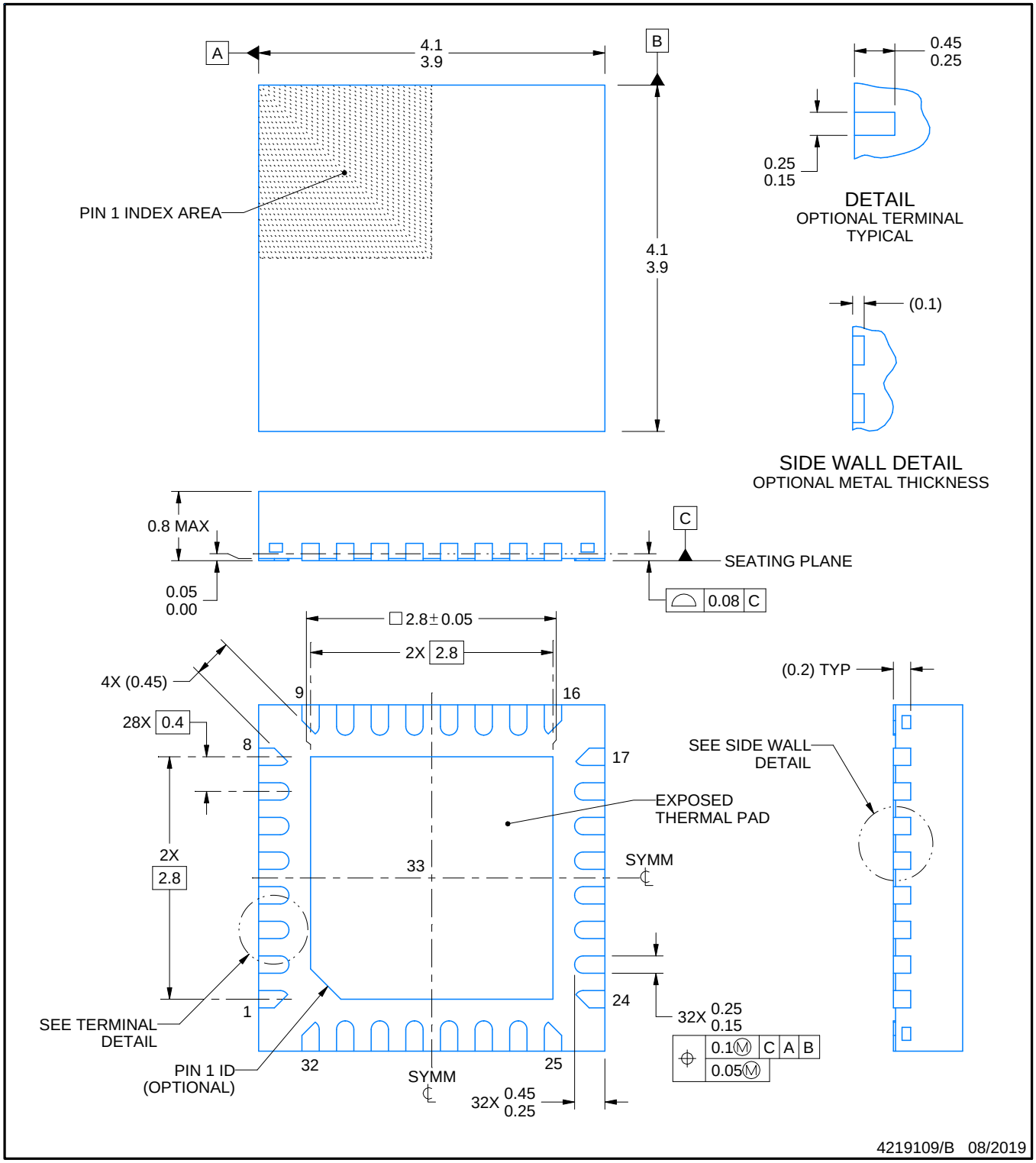
4225265/A

PACKAGE OUTLINE

RSN0032B

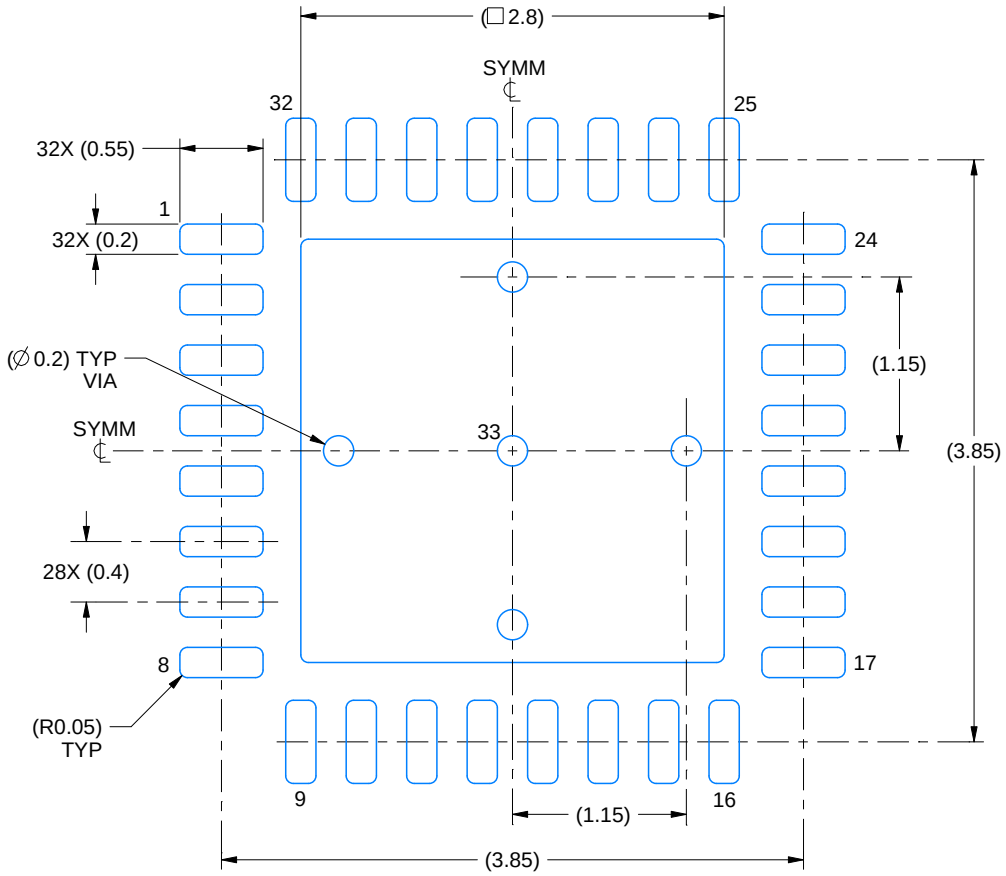
WQFN - 0.8 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD

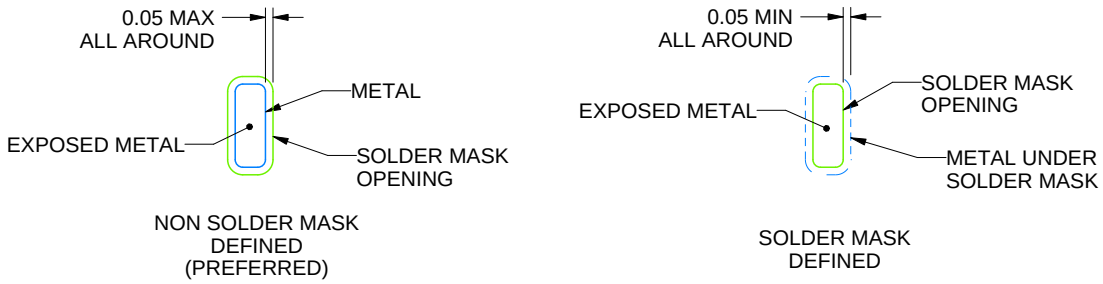


NOTES:

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.



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE:20X

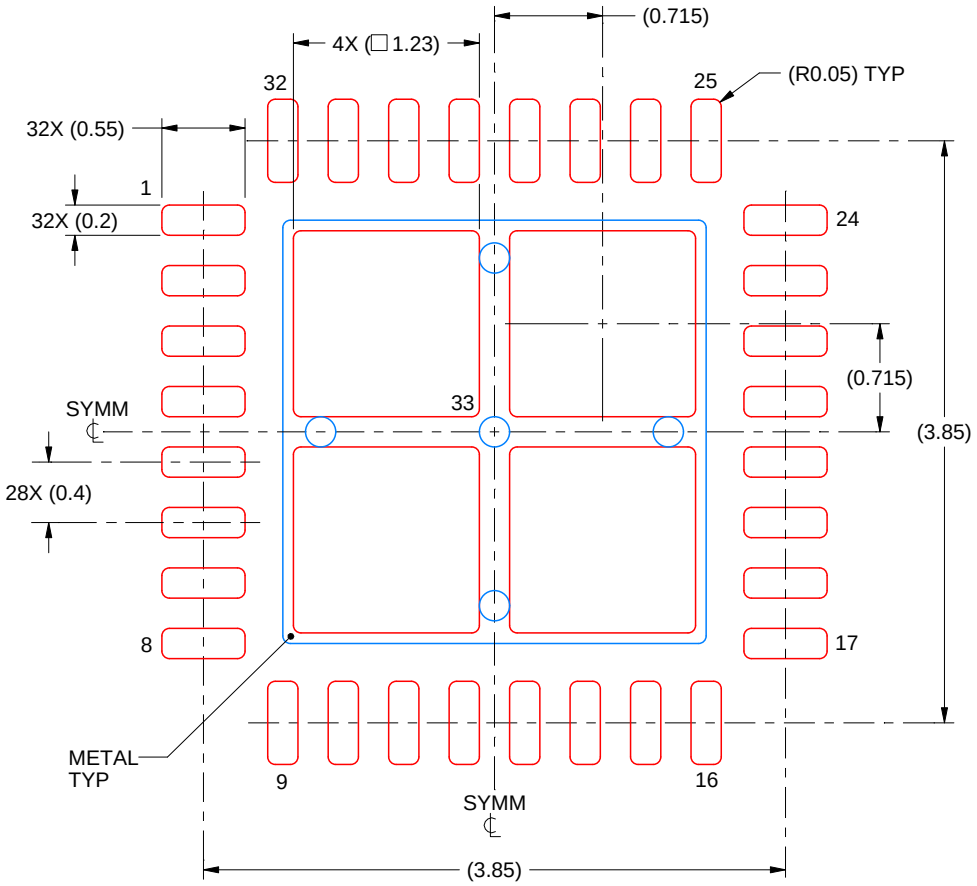


SOLDER MASK DETAILS

4219109/B 08/2019

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/slua271).
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.



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.1 mm THICK STENCIL

EXPOSED PAD 33:
77% PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE
SCALE:20X

4219109/B 08/2019

NOTES: (continued)

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

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出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 销售条款)、TI 通用质量指南 或 ti.com 上其他适用条款或 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。 除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月