BQ25856-Q1：独立/I²C 控制型、1 至 14 节电池双向降压/升压电池充电控制器

1 特性

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准
  - 温度等级 1：−40°C ≤ T_A ≤ 150°C
- 宽输入电压工作范围：4.4V 至 70V
- 宽电池电压工作范围：高达 70V，支持多化合物电池：
  - 1 至 14 芯锂离子电池充电曲线
  - 1 至 16 芯磷酸铁锂电池充电曲线
  - 高达 70V 的超级电容器充电
- 具有 NFET 驱动器的同步降压/升压充电控制器
  - 可调节的 f_{SW}：200kHz 至 600kHz
  - 开关频率抖动可降低 EMI 噪声 (DRSS)
  - 可选择与外部时钟同步
  - 带有软启动的集成环路补偿
  - 可选栅极驱动器电源输入，可提高效率
- 双向转换器运行（反向模式），支持 USB-PD 扩展功率范围 (EPR)
  - 可调输入电压 (VAC) 调节范围为 3.3V 至 65V，步长为 20mV
  - 使用 5mΩ 电阻器实现可调输入电流调节 (R_{AC_SNS})，范围为 0.4A 至 20A，步长为 50mA
- 高精度
  - ±0.5% 充电电压调节
  - ±3% 充电/输入电流调节
  - ±2% 输入电压调节
- 通过 I²C 控制，用于通过电池可编程选项实现出色的系统性能
  - 硬件可调输入和输出电流限制
- 用于电压、电流和温度监控的集成 16 位 ADC
- 高安全集成
  - 可调输入过压和欠压保护
  - 电池过压和过流保护
  - 充电安全计时器
  - 热关断
- 状态输出
  - 输入电源存在状态 ($\overline{PG}$)
  - 充电器运行状态（STAT1、STAT2）
- 封装
  - 具有可湿性侧面的 36 引脚 5mm × 6mm QFN 封装
- 功能安全型
  - 可提供用于功能安全系统设计的文档

2 应用

- 低压电池系统
- 电池管理单元
- 域网关
- ADAS 域控制器
- 前门模块

3 说明

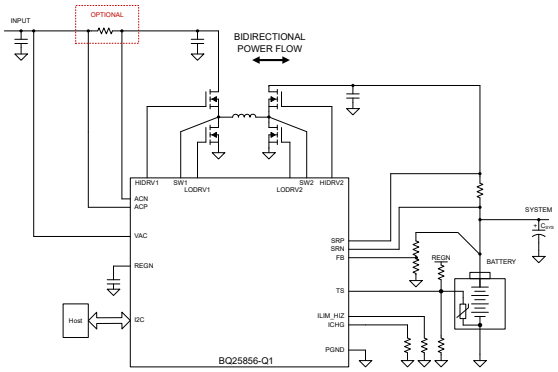
BQ25856-Q1 是一款具有双向功率流支持的汽车级、宽输入电压、开关模式降压/升压锂离子、锂聚合物或磷酸铁锂电池充电控制器。 该器件不仅能提供精确的充电电流和充电电压调节，还能提供自动充电预调节、充电终止和充电状态指示，可在宽电压范围内实现电池高效充电。该器件集成了降压/升压转换器的所有环路补偿功能，因此可提供易于使用的高密度解决方案。在反向模式下，该器件从电池获取电力，并通过添加的恒定电流环路调节输入端子电压来实现保护。

除了 I²C 主机控制的充电模式，该器件还通过电阻器可编程限制支持独立充电模式。输入电流、充电电流和充电电压调节目标可分别通过 ILIM_HIZ、ICHG 和 FB 引脚进行设置。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸(2)	封装尺寸（标称值）
BQ25856QWRRVRQ1	RRV (VQFN 36)	5.0mm x 6.0mm	5.0mm x 6.0mm

(1) 有关所有可用封装，请参阅节 13。
(2) 封装尺寸（长 × 宽）为标称值，并包括引脚（如适用）。



简化版原理图

本资源的原文使用英文撰写。 为方便起见，TI 提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，TI 不保证译文的准确性。 为确认准确性，请务必访问 ti.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

内容

1 特性 1
2 应用 1
3 说明 1
4 器件比较 3
5 引脚配置和功能 4
6 规格 7
6.1 绝对最大额定值 7
6.2 ESD 等级 7
6.3 建议运行条件 7
6.4 热性能信息 8
6.5 电气特性 9
6.6 时序要求 15
6.7 典型特性 16
7 详细说明 19
7.1 概述 19
7.2 功能方框图 20
7.3 特性说明 21
7.4 器件功能模式 37
7.5 BQ25856-Q1 寄存器 39
8 应用和实施 60
8.1 应用信息 60
8.2 典型应用 60
9 电源相关建议 72
10 布局 73
10.1 布局指南 73
10.2 布局示例 74
11 器件和文档支持 75
11.1 器件支持 75
11.2 接收文档更新通知 75
11.3 支持资源 75
11.4 商标 75
11.5 静电放电警告 75
11.6 术语表 75
12 修订历史记录 75
13 机械、封装和可订购信息 76

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

4 器件比较

器件型号	BQ25856-Q1	BQ25756	BQ25758A
主要特性	推出锂离子、LFP 和 DRSS 电池，TSHUT 增加→150 C，符合汽车标准	锂离子电池、LFP	锂离子
充电器拓扑	降压/升压	降压/升压	仅降压/升压转换器
电源拓扑	非电源路径	非电源路径	非电源路径
I^2C 地址	0X6B	0X6B	0X6B
默认充电曲线	锂离子电池（涓流、预充电、CC、CV）	锂离子电池（涓流、预充电、CC、CV）	CC/CV
配置	I^2C + 独立	I^2C + 独立	I^2C + 独立
工作 VIN	4.4V → 70V	4.4V → 70V	4.4V → 60V
引脚数	36	36	36
封装	5X6 QFN	5X6 QFN	5X6 QFN
TS 引脚功能	JEITA 曲线	JEITA 曲线	禁用

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

5 引脚配置和功能

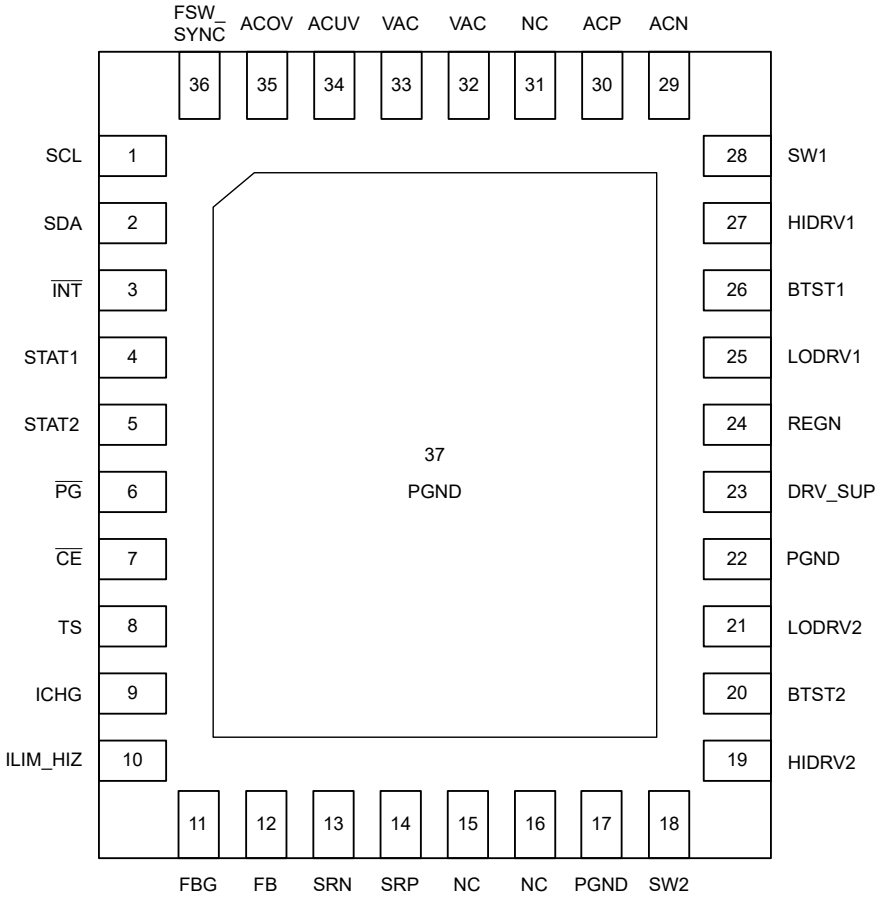


图 5-1. BQ25856-Q1 RRV 封装 36 引脚 VQFN 顶视图

表 5-1. 引脚功能

引脚		I/O	说明
名称	编号		
SCL	1	I	**I²C 接口时钟** – 通过 10kΩ 电阻器将 SCL 连接到逻辑轨。
SDA	2	IO	**I²C 接口数据** – 通过 10kΩ 电阻器将 SDA 连接到逻辑轨。
INT	3	O	**开漏中断输出** – 通过 10kΩ 电阻器将 INT 引脚连接到逻辑轨。INT 引脚向主机发送一个低电平有效的 256μs 脉冲，以报告充电器器件状态和故障。
STAT1	4	O	**开漏充电状态 1 输出** – STAT1 和 STAT2 表示各种充电器操作，请参阅表 7-6。通过 10kΩ 电阻器连接到上拉电源轨。当 DIS_STAT_PINS 位设置为 1 时，可以禁用 STAT1、STAT2 引脚功能。禁用后，该引脚可通过 FORCE_STAT1_ON 位用作通用指示器。
STAT2	5	O	**开漏充电状态 2 输出** – STAT1 和 STAT2 表示各种充电器操作，请参阅表 7-6。通过 10kΩ 电阻器连接到上拉电源轨。当 DIS_STAT_PINS 位设置为 1 时，可以禁用 STAT1、STAT2 引脚功能。禁用后，该引脚可通过 FORCE_STAT2_ON 位用作通用指示器。
PG	6	O	**开漏低电平有效电源正常状态指示器** – 通过 10kΩ 电阻器连接到上拉电源轨。如果 VAC 处于编程的 ACUV/ACOV 工作窗口之内，则 LOW 表示输入源良好。当 DIS_PG_PIN 位设置为 1 时，可以禁用 PG 引脚功能。禁用后，该引脚可通过 FORCE_STAT3_ON 位用作通用指示器。
CE	7	IO	**低电平有效充电使能引脚** – 当 EN_CHG 位为 1 且 CE 引脚为低电平时，会启用电池充电。必须将 CE 引脚拉至高电平或低电平，不要保持悬空。当 DIS_CE_PIN 位设置为 1 时，可以禁用 CE 引脚功能。禁用后，该引脚可通过 FORCE_STAT4_ON 位用作通用指示器。
TS	8	I	**温度鉴定电压输入** – 连接负温度系数热敏电阻。使用从 REGN 到 TS 再到 PGND 的电阻分压器对温度窗口进行编程。当 TS 引脚电压超出范围时，充电暂停。建议使用 103AT-2 10kΩ 热敏电阻。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 5-1. 引脚功能（续）

引脚		I/O	说明
名称	编号		
ICHG	9	I	**充电电流限制设置** – ICHG 引脚设置最大充电电流，并可用于监测充电电流。连接到 PGND 的编程电阻用于将充电电流限制设置为 $I_{CHG} = K_{ICHG}/R_{ICHG}$。当器件处于充电电流调节状态时，ICHG 引脚电压为 V_{REF_ICHG}。当 ICHG 引脚电压小于 V_{REF_ICHG} 时，实际充电电流可按下式计算：$IBAT = K_{ICHG} \times V_{ICHG} / (R_{ICHG} \times V_{REF_ICHG})$。实际充电电流限制是 ICHG 引脚或 ICHG_REG 寄存器位设置的限制中的较低者。当 EN_ICHG_PIN 位为 0 时，可以禁用该引脚功能。如果不使用 ICHG 引脚，该引脚应拉至 PGND，不要悬空。
ILIM_HIZ	10	I	**输入电流限制设置和高阻态模式控制引脚** – ILIM_HIZ 引脚设置最大输入电流限制，可用于监测输入电流，并可拉至高电平以强制器件进入高阻态模式。连接到 PGND 的编程电阻用于将输入电流限制设置为 $I_{LIM} = K_{ILIM}/R_{ILIM}$。当器件处于输入电流调节状态时，ILIM_HIZ 引脚上的电压为 V_{REF_ILIM}。当 ILIM_HIZ 引脚电压小于 V_{REF_ILIM} 时，实际输入电流可按下式计算：$IAC = K_{ILIM} \times V_{ILIM} / (R_{ILIM} \times V_{REF_ILIM})$。实际输入电流限制是 ILIM_HIZ 引脚或 IAC_DPM 寄存器位设置的限制中的较低者。当 EN_ILIM_HIZ_PIN 位为 0 时，可以禁用该引脚功能。如果不使用 ILIM_HIZ 引脚，该引脚应拉至 PGND，不要悬空。
FBG	11	I	**电压反馈分压器返回** – 连接到电池反馈电阻的底部。充电时，该引脚在内部被驱动至 PGND。当输入电压超出 ACUV/ACOV 工作窗口时，该引脚处于高阻抗状态，从而更大限度减少电池漏电流。
FB	12	I	**充电电压模拟反馈调节** – 将电阻分压器的输出从电池端子连接到该节点，以调整输出电池调节电压。
SRN	13	I	**充电电流检测电阻，负输入** – 在 SRN 和 SRP 之间放置一个 0.47 µF 陶瓷电容器，以提供差模滤波。在 SRN 引脚和 PGND 之间放置一个可选的 0.1 µF 陶瓷电容器，实现共模滤波。
SRP	14	I	**充电电流检测电阻，正输入** – 在 SRN 和 SRP 之间放置一个 0.47 µF 陶瓷电容器，以提供差模滤波。在 SRP 引脚和 PGND 之间放置一个 0.1 µF 陶瓷电容器，实现共模滤波。
NC	15	-	**未连接 -** 将此引脚悬空，不要连接到 PGND
NC	16	-	**未连接 -** 将此引脚悬空，不要连接到 PGND
PGND	17	-	将该引脚直接连接到 PGND。
SW2	18	P	**升压侧半桥开关节点** – 连接到升压 HS FET 的源极和升压 LS FET 的漏极。在 SW1 和 SW2 之间连接电感器。
HIDRV2	19	O	**升压侧高侧栅极驱动器** – 连接到升压高侧 N 沟道 MOSFET 栅极。
BTST2	20	P	**升压侧高侧功率 MOSFET 栅极驱动器电源** – 在 BTST2 和 SW2 之间连接一个 100nF 电容器，为高侧 MOSFET 栅极驱动器提供偏置。
LODRV2	21	O	**升压侧低侧栅极驱动器** – 连接到升压低侧 N 沟道 MOSFET 栅极。
PGND	22	P	**电源接地回路** – 低侧栅极驱动器的高电流接地连接。
DRV_SUP	23	P	**充电器栅极驱动电源输入** – 该引脚上的电压用于驱动降压/升压转换器开关 FET 的栅极。在 DRV_SUP 和电源地之间连接一个 4.7 µF 陶瓷电容器。通过将 REGN 连接到 DRV_SUP 引脚，REGN LDO 电压可用作所有开关 FET 的栅极驱动器电源。在高压应用中，可以通过外部电源直接提供高达 12V 的 DRV_SUP 电压，以实现更高的开关效率。有关更多详细信息，请参阅节 7.3.3.2。
REGN	24	P	**充电器内部线性稳压器输出** – 在 REGN 与电源地之间连接一个 4.7 µF 陶瓷电容器。通过将 REGN 连接到 DRV_SUP 引脚，REGN LDO 电压可用作所有开关 FET 的栅极驱动器电源。在高压应用中，可以通过外部电源直接提供高达 12V 的 DRV_SUP 电压，以实现更高的开关效率。有关更多详细信息，请参阅节 7.3.3.2。
LODRV1	25	O	**降压侧低侧栅极驱动器** – 连接到降压低侧 N 沟道 MOSFET 栅极。
BTST1	26	P	**降压侧高侧功率 MOSFET 栅极驱动器电源** – 在 BTST1 和 SW1 之间连接一个 100nF 电容器，为高侧 MOSFET 栅极驱动器提供偏置。
HIDRV1	27	O	**降压侧高侧栅极驱动器** – 连接到降压高侧 N 沟道 MOSFET 栅极。
SW1	28	P	**降压侧半桥开关节点 -** 连接到降压 HS FET 的源极和降压 LS FET 的漏极。在 SW1 和 SW2 之间连接电感器。
ACN	29	I	**适配器电流检测电阻，负输入** – 在 ACN 和 ACP 之间放置一个 0.47 µF 陶瓷电容器，以提供差模滤波。在 ACN 引脚和 PGND 之间放置一个可选的 0.1 µF 陶瓷电容器，实现共模滤波。
ACP	30	I	**适配器电流检测电阻，正输入** – 在 ACN 和 ACP 之间放置一个 0.47 µF 陶瓷电容器，以提供差模滤波。在 ACP 引脚和 PGND 之间放置一个 0.1 µF 陶瓷电容器，实现共模滤波
NC	31	-	**未连接 -** 将此引脚悬空，不要连接到 PGND

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 5-1. 引脚功能（续）

引脚		I/O	说明
名称	编号		
VAC	32 33	P	**输入电压检测和电源** – 在引脚和 PGND 之间连接一个 1μF 电容器。引脚 33 是为 IC 供电的输入偏置，ACOV/ACUV 电阻分压器应相对于引脚 33 连接。启用反向模式时，引脚 32 被调节为 VAC_REV。
ACUV	34	I	**交流欠压比较器输入** – 在 VAC 和 PGND 之间连接一个电阻分压器以对欠压保护进行编程。当该引脚低于 V_{REF_ACUV} 时，器件停止充电。输入电压调节基准的硬件限制为 V_{ACUV_DPM}。实际输入电压调节是引脚编程值和 VAC_DPM 寄存器值中的较高者。如果不使用 ACUV 编程，则将该引脚拉至 VAC，不要悬空。
ACOV	35	I	**交流过压比较器输入** – 在 VAC 和 PGND 之间连接一个电阻分压器以对过压保护进行编程。当该引脚升至高于 V_{REF_ACOV} 时，器件停止充电。如果不使用 ACOV 编程，则将该引脚拉至 PGND，不要悬空。
FSW_SYNC	36	I	**开关频率和同步输入** – 将外部电阻连接到 FSW_SYNC 引脚和 PGND 以设置标称开关频率。该引脚还可用于将 PWM 控制器与频率为 200kHz 至 600kHz 的外部时钟同步。
散热焊盘	37	P	**IC 下方的裸露焊盘** – 始终将散热焊盘焊接到电路板上，并在散热焊盘平面上通过过孔星形连接到 PGND 和大电流电源转换器的接地平面。它还用作散热焊盘以进行散热。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6 规格

6.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）(1)

		最小值	最大值	单位
电压	VAC、ACUV、ACOV、ACP、ACN、SRP、SRN、FB、FBG	-0.3	85	V
电压	SW1、SW2	-2	85	V
电压	SW1、SW2（40ns 瞬态）	-4	85	V
电压	$\overline{PG}$	-0.3	40	V
电压	BTST1、HIDRV1，以 SW1 为基准	-0.3	14	V
电压	BTST2、HIDRV2，以 SW2 为基准	-0.3	14	V
电压	DRV_SUP、LODRV1、LODRV2	-0.3	14	V
电压	ACP，以 ACN 为基准；SRP，以 SRN 为基准	-0.3	0.3	V
电压	$\overline{CE}$、FSW_SYNC、ICHG、ILIM_HIZ、$\overline{INT}$、REGN、SCL、SDA、MODE、STAT1、STAT2、TS	-0.3	6	V
输出灌电流	$\overline{CE}$、$\overline{PG}$、STAT1、STAT2		5	mA
T_J	结温	-40	150	°C
T_{stg}	贮存温度	-65	150	°C

(1) 超出*绝对最大额定值*下列出的应力可能会对器件造成永久性损坏。这些仅为应力等级，并不意味着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。长时间处于绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。

6.2 ESD 等级

				值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 AEC Q100-002 标准(1)		±2000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 AEC Q100-011 标准	转角引脚	±750	
			所有引脚	±500	

(1) AEC Q100-002 指示应当按照 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范执行 HBM 应力测试。

6.3 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	标称值	最大值	单位
V_{AC}	输入电压	4.4		70	V
V_{BAT}	电池电压	0		70	V
V_{DRV_SUP}	DRV_SUP 引脚直接驱动电压范围	4.0		12	V
F_{SW}	开关频率	200		600	kHz
C_{VAC}	VAC 电容器	1			µF
C_{IN}	降压/升压输入电容（降额后的最小值）	80			µF
C_{REGN}	REGN 电容器（降额前的标称值）	4.7			µF
C_{DRV_SUP}	DRV_SUP 电容器（降额前的标称值）	4.7			µF
L	开关电感器	2.2		15	µH
R_{DCR}	电感器直流电阻	1.75		60	mΩ
R_{AC_SNS}	输入电流检测电阻	0(1)	5	10	mΩ
R_{BAT_SNS}	电池电流检测电阻		5		mΩ
R_{ICHG}	ICHG 编程下拉电阻器	0.0(2)		100	kΩ
R_{ILIM_HIZ}	ILIM_HIZ 编程下拉电阻器	0.0(3)		50	kΩ

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

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	标称值	最大值	单位
T_J	工作结温(4)	-40		150	°C

(1) 当 R_{AC_SNS} 为 0mΩ 时，输入电流限制功能被禁用
(2) 当 R_{ICHG} 被拉至 GND 时，硬件充电电流限制被禁用，实际充电电流由 ICHG_REG 寄存器设置控制
(3) 当 R_{ILIM_HIZ} 被拉至 GND 时，硬件输入电流限制被禁用，实际输入电流由 IAC_DPM 寄存器设置控制
(4) 高结温会缩短工作寿命。结温高于 125°C 时，工作寿命会缩短。

6.4 热性能信息

热指标(1)		BQ25856-Q1 RRV 36 引脚	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻 (JEDEC(1))	29.7	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	19.6	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	10.5	°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.2	°C/W
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	10.5	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳（底部）热阻	2.5	°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。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性

典型值在 VAC = ACP = ACN = SYS = SRP = SRN = 28V、T_J = -40°C 至 +125°C 和 T_J = 25°C 条件下测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
静态电流						
I_{Q_BAT}	静态电池电流 (I_{SRN} + I_{SRP})	V_{BAT} = 28V，VAC = 0V，ADC_EN = 0，T_J < 105°C		17		μA
		V_{BAT} = 28V，VAC = 0V，ADC_EN = 1，T_J < 105°C		500	700	μA
I_{HIZ_VAC}	高阻态输入电流 (I_{VAC})	EN_HIZ = 1		400		μA
I_{Q_VAC}	静态输入电流 (I_{VAC})	不进行开关		0.75	1	mA
I_{Q_REV}	反向模式下的静态电池电流 (I_{SRN} + I_{SRP})	不进行开关		0.75	1	mA
VAC/BAT 上电						
V_{VAC_OP}	VAC 工作范围		4.4		70	V
V_{VAC_OK}	VAC 转换器启用阈值	VAC 上升，无电池	4.4			V
V_{VAC_OKZ}	VAC 转换器禁用阈值	VAC 下降，无电池			3.5	V
V_{REF_ACUV}	进入 VAC_UVP 的 ACUV 比较器阈值	V_{ACUV} 下降	1.089	1.1	1.108	V
$V_{REF_ACUV_HYS}$	ACUV 比较器阈值迟滞	V_{ACUV} 上升		50		mV
$V_{VAC_INT_OV}$	进入 VAC_OVP 的 VAC 内部阈值	IN 上升	72	74	76	V
$V_{VAC_INT_OVZ}$	退出 VAC_OVP 的 VAC 内部阈值	IN 下降	69	71	73	V
V_{REF_ACOV}	进入 VAC_OVP 的 ACOV 比较器阈值	V_{ACOV} 上升	1.184	1.2	1.206	V
$V_{REF_ACOV_HYS}$	ACOV 比较器阈值迟滞	V_{ACOV} 下降		50		mV
充电电压调节						
V_{VFB_RANGE}	反馈电压范围		1.504		1.566	V
V_{VFB_NOM}	标称反馈电压	VFB_REG = 0x10		1.536		V
V_{VFB_ACC}	反馈电压调节精度	T_J = 0°C 至 85°C	-0.5		0.5	%
		T_J = -40°C 至 125°C	-0.7		0.7	%
R_{FBG}	FBG 到 PGND 的电阻	I_{FBG} = 1mA		33	55	Ω
快速充电电流调节						
$I_{CHG_REG_RANGE}$	充电电流调节范围		0.4		20	A
$I_{CHG_REG_ACC}$	I^2C 设置充电电流调节精度	R_{BAT_SNS} = 5mΩ，VBAT = 12V、36V、55V。ICHG_REG = 0x012C		15		A
			-3		3	%
		R_{BAT_SNS} = 5mΩ，VBAT = 12V、36V、55V。ICHG_REG = 0x0064		5		A
			-3		3	%
		R_{BAT_SNS} = 5mΩ，VBAT = 12V、36V、55V。ICHG_REG = 0x0028		2		A
			-5		5	%
K_{ICHG}	硬件充电电流限制设置系数（ICHG 引脚上每 kΩ 充电电流的安培数）	R_{BAT_SNS} = 5mΩ，R_{ICHG} = 10kΩ、5kΩ 和 3.33kΩ	48	50	52	A x kΩ
V_{REF_ICHG}	ICHG 引脚处于调节状态时的 ICHG 引脚电压			2.0		V
预充电电流调节						
I_{PRECHG_RANGE}	预充电电流调节范围	V_{FB} < V_{BAT_LOWV} * V_{VFB_REG}	0.25		10	A

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

典型值在 VAC = ACP = ACN = SYS = SRP = SRN = 28V、T_J = -40°C 至 +125°C 和 T_J = 25°C 条件下测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{PRECHG_ACC}	I^2C 设置预充电电流精度	R_{BAT_SNS} = 5mΩ，V_{FB} < V_{BAT_LOWV} * V_{VFB_REG}。IPRECHG = 0x003C		3.0		A
			-4		4	%
		R_{BAT_SNS} = 5mΩ，V_{FB} < V_{BAT_LOWV} * V_{VFB_REG}。IPRECHG[1:0] = 0x0014		1.0		A
			-10		10	%
		R_{BAT_SNS} = 5mΩ，V_{FB} < V_{BAT_LOWV} * V_{VFB_REG}。IPRECHG[1:0] = 0x000A		0.50		A
			-30		30	%
充电终止						
I_{TERM_RANGE}	终止电流范围	V_{FB} = V_{VFB_REG}	0.25		10	A
I_{TERM_ACC}	终止电流精度	R_{BAT_SNS} = 5mΩ，VBAT = 12V、36V、55V。ITERM = 0x001E		1.5		A
			-7		7	%
		R_{BAT_SNS} = 5mΩ，VBAT = 12V、36V、55V。ITERM = 0x000A		0.50		A
			-20		20	%
		R_{BAT_SNS} = 5mΩ，VBAT = 12V、36V、55V。ITERM = 0x0005		0.250		A
			-50		50	%
电池电压比较器						
V_{BAT_SHORT}	涓流充电至预充电转换	V_{SRN} 上升	2.8	3	3.2	V
	预充电至涓流充电转换	V_{SRN} 下降	2.2	2.4	2.6	V
V_{BAT_LOWV}	预充电至快速充电转换	V_{FB} 上升（以 V_{FB_REG} 的百分比表示），VBAT_LOWV[2:0] = 3	69.0	71.7	73.8	%
		V_{FB} 上升（以 V_{FB_REG} 的百分比表示），VBAT_LOWV[2:0] = 2	64.3	66.7	69.0	%
		V_{FB} 上升（以 V_{FB_REG} 的百分比表示），VBAT_LOWV[2:0] = 1	52	55	58	%
		V_{FB} 上升（以 V_{FB_REG} 的百分比表示），VBAT_LOWV[2:0] = 0	27	30	33	%
$V_{BAT_LOWV_HYS}$	BAT_LOWV 迟滞			5		%
V_{RECHG}	锂离子和磷酸铁锂电池的电池充电阈值	V_{FB} 下降（以 V_{FB_REG} 的百分比表示），VRECHG[1:0] = 3		97.6		%
		V_{FB} 下降（以 V_{FB_REG} 的百分比表示），VRECHG[1:0] = 2		95.2		%
		V_{FB} 下降（以 V_{FB_REG} 的百分比表示），VRECHG[1:0] = 1		94.3		%
		V_{FB} 下降（以 V_{FB_REG} 的百分比表示），VRECHG[1:0] = 0		93.0		%
输入电流调节						
$I_{IREG_DPM_ACC}$	正向模式下的 I^2C 设置输入电流调节精度	R_{AC_SNS} = 5mΩ，IAC_DPM = 0x00A0		8		A
			-3		3	%
		R_{AC_SNS} = 5mΩ，IAC_DPM = 0x0050		4		A
			-4		4	%
		R_{AC_SNS} = 5mΩ，IAC_DPM = 0x0028		2		A
			-7		7	%
K_{ILIM}	硬件输入电流限制设置系数（ILIM_HIZ 引脚上每 kΩ 输入电流的安培数）	R_{AC_SNS} = 5mΩ，R_{ILIM} = 5kΩ、2.5kΩ 和 1.67kΩ	19.2	20	20.8	A x kΩ
$V_{REF_ILIM_HIZ}$	ILIM_HIZ 引脚处于调节状态时的 ILIM_HIZ 引脚电压			2.0		V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

典型值在 VAC = ACP = ACN = SYS = SRP = SRN = 28V、T_J = -40°C 至 +125°C 和 T_J = 25°C 条件下测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{IH_ILIM_HIZ}$	进入高阻态模式的 ILIM_HIZ 输入高电平阈值	V_{ILIM_HIZ} 上升	3.7			V
输入电压调节						
$V_{VREG_DPM_RANGE}$	输入电压 DPM 调节范围		4.4		65	V
$V_{VREG_DPM_ACC}$	I^2C 设置输入电压调节精度	VAC_DPM = 0x076C		38		V
			-2		2	%
$V_{VREG_DPM_ACC}$	正向模式下的 I^2C 设置输入电压调节精度	VAC_DPM = 0x04E2		25		V
			-2		2	%
		VAC_DPM = 0x03B6		19		V
			-2		2	%
V_{ACUV_DPM}	处于 VDPM 调节状态时的 ACUV 引脚电压		1.198	1.210	1.222	V
反向模式电压调节						
V_{REV_RANGE}	反向模式下的 VAC 电压调节范围		3.3		65	V
V_{REV_ACC}	反向模式下的电压调节精度	VAC_REV = 0x0960		48		V
			-2		2	%
		VAC_REV = 0x0578		28		V
			-2		2	%
V_{REV_ACC}	反向模式下的 VAC 电压调节精度	VAC_REV = 0x02EE		15		V
			-2		2	%
		VAC_REV = 0x00FA		5		V
			-2		2	%
反向模式电流调节						
I_{IREV_ACC}	反向模式下的输入电流调节精度	R_{AC_SNS} = 5mΩ，IAC_REV = 0x00A0		8		A
			-3.5		3.5	%
		R_{AC_SNS} = 5mΩ，IAC_REV = 0x0028		2		A
			-5.5		5.5	%
充电模式电池包 NTC 监控器						
V_{T1_RISE}	TS 引脚电压上升 T1 阈值，高于该电压时充电暂停。	以 REGN 的百分比表示，TS_T1 = 0°C（带 103AT）	72.75	73.25	73.85	%
V_{T1_FALL}	TS 引脚电压下降 T1 阈值，低于该电压时重新启用充电。	以 REGN 的百分比表示，TS_T1 = 0°C（带 103AT）	71.5	72	72.5	%
V_{T2_RISE}	TS 引脚电压上升 T2 阈值，高于该电压时重新充电至降低的 ICHG	以 REGN 的百分比表示，TS_T2 = 10°C（带 103AT）	67.75	68.25	68.75	%
V_{T2_FALL}	TS 引脚电压下降 T2 阈值。低于该电压时重新充电至正常状态	以 REGN 的百分比表示，TS_T2 = 10°C（带 103AT）	66.45	66.95	67.45	%
V_{T3_FALL}	TS 引脚电压下降 T3 阈值，低于该电压时充电至 ICHG 和降低的 V_{FB_REG}。	以 REGN 的百分比表示，TS_T3 = 45°C（带 103AT）	44.25	44.75	45.25	%
V_{T3_RISE}	TS 引脚电压上升 T3 阈值。高于该电压时重新充电至正常状态。	以 REGN 的百分比表示，TS_T3 = 45°C（带 103AT）	45.55	46.05	46.55	%
V_{T5_FALL}	TS 引脚电压下降 T5 阈值，低于该电压时充电暂停	以 REGN 的百分比表示，TS_T5 = 60°C（带 103AT）	33.875	34.375	34.875	%
V_{T5_RISE}	TS 引脚电压上升 T5 阈值。高于该电压时重新充电至 ICHG 和降低的 V_{FB_REG}。	以 REGN 的百分比表示，TS_T5 = 60°C（带 103AT）	35	35.5	36	%

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

典型值在 VAC = ACP = ACN = SYS = SRP = SRN = 28V、T_J = -40°C 至 +125°C 和 T_J = 25°C 条件下测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
反向模式电池包 NTC 监控器						
V_{BCOLD_RISE}	TS 引脚电压上升 TCOLD 阈值。高于该电压时反向模式暂停	以 REGN 的百分比表示（BCOLD = –20°C，带 103AT）	79.45	80.0	80.55	%
V_{BCOLD_RISE}	TS 引脚电压上升 TCOLD 阈值。高于该电压时反向模式暂停	以 REGN 的百分比表示（BCOLD = –10°C，带 103AT）	76.65	77.15	77.65	%
V_{BCOLD_FALL}	TCOLD 比较器下降阈值。	以 REGN 的百分比表示（–20°C，带 103AT）	78.2	78.7	79.2	%
V_{BCOLD_FALL}	TCOLD 比较器下降阈值。	以 REGN 的百分比表示（–10°C，带 103AT）	75.5	75.6	76.5	%
V_{BHOT_FALL}	TS 引脚电压下降 THOT 阈值。低于该电压时反向模式暂停	以 REGN 的百分比表示（BHOT = 55°C，带 103AT）	37.2	37.7	38.2	%
V_{BHOT_FALL}	TS 引脚电压下降 THOT 阈值。低于该电压时反向模式暂停	以 REGN 的百分比表示（BHOT = 60°C，带 103AT）	33.875	34.375	34.875	%
V_{BHOT_FALL}	TS 引脚电压下降 THOT 阈值。低于该电压时反向模式暂停	以 REGN 的百分比表示（BHOT 65°C，带 103AT）	30.75	31.25	31.75	%
V_{BHOT_RISE}	TS 引脚电压上升 THOT 阈值。高于该电压时允许进入反向模式	以 REGN 的百分比表示（BHOT = 55°C，带 103AT）	38.5	39.0	39.95	%
V_{BHOT_RISE}	TS 引脚电压上升 THOT 阈值。高于该电压时允许进入反向模式	以 REGN 的百分比表示（BHOT = 60°C，带 103AT）	35	35.5	36	%
V_{BHOT_RISE}	TS 引脚电压上升 THOT 阈值。高于该电压时允许进入反向模式	以 REGN 的百分比表示（BHOT 65°C，带 103AT）	32.0	32.5	33.0	%
电池充电器保护						
V_{BAT_OV}	电池过压阈值	V_{FB} 上升，以 V_{FB_REG} 的百分比表示	102.5	104	105.5	%
V_{BAT_OVZ}	电池过压下降阈值	V_{FB} 下降，以 V_{FB_REG} 的百分比表示	100.5	102	103.5	%
V_{ICHG_OC}	电池充电过流阈值	V_{SRP} - V_{SRN} 上升	120		170	mV
热关断						
T_{SHUT}	热关断上升阈值	温度升高		165		°C
	热关断下降阈值	温度降低		150		°C
REGN 稳压器和栅极驱动电源 (DRV_SUP)						
V_{REGN}	REGN LDO 输出电压	IREGN = 20mA	4.8	5	5.2	V
		VAC = 5V，IREGN = 20mA	4.35	4.6		V
I_{REGN}	REGN LDO 电流限制	VREGN = 4.5V	70			mA
V_{REGN_OK}	允许开关的 REGN 正常阈值	REGN 上升		3.55		V
V_{DRV_UVPZ}	允许开关的 DRV_SUP 欠压阈值	DRV_SUP 上升			3.7	V
V_{DRV_OVP}	禁用开关的 DRV_SUP 过压阈值	DRV_SUP 上升	12.8	13.2	13.6	V
电源路径管理器						
I_{AC_LOAD}	VAC 放电负载电流		16			mA
I_{BAT_LOAD}	电池 (SRP) 放电负载电流		16			mA
开关频率和同步						
f_{SW}	开关频率	R_{FSW_SYNC} = 133kΩ	212	250	288	kHz
		R_{FSW_SYNC} = 50kΩ	425	500	575	kHz
V_{IH_SYNC}	FSW_SYNC 输入高电平阈值		1.3			V
V_{IL_SYNC}	FSW_SYNC 输入低电平阈值				0.4	V
PW_{SYNC}	FSW_SYNC 输入脉冲宽度		80			ns
PWM 驱动器						

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

典型值在 VAC = ACP = ACN = SYS = SRP = SRN = 28V、T_J = -40°C 至 +125°C 和 T_J = 25°C 条件下测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
R_{HIDRV1_ON}	降压侧高侧导通电阻	V_{BTST1} - V_{SW1} = 5V		3.4		Ω
R_{HIDRV1_OFF}	降压侧高侧关断电阻	V_{BTST1} - V_{SW1} = 5V		1.0		Ω
$V_{BTST1_REFRESH}$	自举刷新比较器阈值电压	BTST1 下降，当请求低侧刷新脉冲时 V_{BTST1} - V_{SW1}	2.7	3.1	3.9	V
R_{LODRV1_ON}	降压侧低侧导通电阻	VREGN = 5V		3.4		Ω
R_{LODRV1_OFF}	降压侧低侧关断电阻	VREGN = 5V		1.0		Ω
t_{DT1}	降压侧死区时间，两个边沿			45		ns
R_{HIDRV2_ON}	升压侧高侧导通电阻	V_{BTST2} - V_{SW2} = 5V		3.4		Ω
R_{HIDRV2_OFF}	升压侧高侧关断电阻	V_{BTST2} - V_{SW2} = 5V		1.0		Ω
$V_{BTST2_REFRESH}$	自举刷新比较器阈值电压	BTST2 下降，当请求低侧刷新脉冲时 V_{BTST2} - V_{SW2}	2.7	3.1	3.9	V
R_{LODRV2_ON}	升压侧低侧导通电阻	VREGN = 5V		3.4		Ω
R_{LODRV2_OFF}	升压侧低侧关断电阻	VREGN = 5V		1.0		Ω
t_{DT2}	升压侧死区时间，两个边沿			45		ns
模数转换器 (ADC)						
t_{ADC_CONV}	转换时间，每次测量	ADC_SAMPLE[1:0] = 00		24		ms
		ADC_SAMPLE[1:0] = 01		12		ms
		ADC_SAMPLE[1:0] = 10		6		ms
ADC_{RES}	有效分辨率	ADC_SAMPLE[1:0] = 00	14	15		位
		ADC_SAMPLE[1:0] = 01	13	14		位
		ADC_SAMPLE[1:0] = 10	12	13		位
ADC 测量范围和 LSB						
I_{AC_ADC}	输入电流 ADC 读数（正或负）	使用 5mΩ R_{AC_SNS} 时的范围	-20000		20000	mA
		使用 5mΩ R_{AC_SNS} 时的 LSB		0.8		mA
I_{BAT_ADC}	电池电流 ADC 读数（正或负）	使用 5mΩ R_{BAT_SNS} 时的范围	-20000		20000	mA
		使用 5mΩ R_{BAT_SNS} 时的 LSB		2		mA
V_{AC_ADC}	输入电压 ADC 读数	范围	0		65534	mV
		LSB		2		mV
V_{BAT_ADC}	电池电压 ADC 读数	范围	0		65534	mV
		LSB		2		mV
TS_{ADC}	TS 电压 ADC 读数，以 REGN 的百分比表示	范围	0		99.9	%
		LSB		0.098		%
V_{FB_ADC}	FB 电压 ADC 读数	范围	0		2047	mV
		LSB		1		mV
I^2C 接口（SCL、SDA）						
V_{IH}	输入高阈值电平		1.3			V
V_{IL}	输入低阈值电平				0.4	V
V_{OL}	输出低阈值电平	灌电流 = 5mA			0.4	V
I_{IN_BIAS}	高电平漏电流	上拉电源轨 3.3V			1	μA
逻辑 I/O 引脚（$\overline{CE}$、$\overline{PG}$、STAT1、STAT2）						
V_{IH}	输入高阈值电平 ($\overline{CE}$)		1.3			V
V_{OL}	输出低阈值电平（$\overline{CE}$、$\overline{PG}$、STAT1、STAT2）	灌电流 = 5mA			0.4	V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

典型值在 VAC = ACP = ACN = SYS = SRP = SRN = 28V、T_J = -40°C 至 +125°C 和 T_J = 25°C 条件下测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IL}	输入低阈值电平 ($\overline{CE}$)				0.4	V
I_{OUT_BIAS}	高电平漏电流（$\overline{CE}$、$\overline{PG}$、STAT1、STAT2）	上拉电源轨 3.3V			1	μA

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

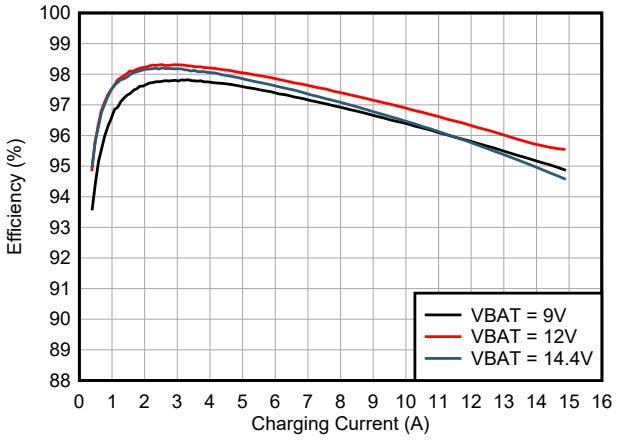
6.6 时序要求

		最小值	标称值	最大值	单位
VAC/BAT 上电					
t_{ACOV_DGL}	进入 ACOV 抗尖峰脉冲时间，ACOV 上升		100		μs
t_{ACOVZ_DGL}	退出 ACOV 抗尖峰脉冲时间，ACOV 下降		12		ms
t_{ACUV_DGL}	进入 ACUV 抗尖峰脉冲时间，ACUV 下降		100		μs
t_{ACUVZ_DGL}	退出 ACUV 抗尖峰脉冲时间，ACUV 上升		12		ms
电池充电器					
t_{TERM_DGL}	充电终止的抗尖峰脉冲时间，V_{SRP} - V_{SRN} 下降		220		ms
t_{RECHG_DGL}	充电阈值的抗尖峰脉冲时间，VFB 下降		200		ms
t_{PRECHG}	预充电安全计时器精度	1.7	2	2.3	hr
t_{SAFETY}	快速充电安全计时器精度，CHG_TMR = 8 小时	6.8	8	9.2	hr
t_{TOPOFF}	充电完成计时器精度，TOPOFF_TMR = 30 分钟	25.5	30	34.5	min
电池组 NTC 监控					
t_{TS_DGL}	TS 阈值交叉的抗尖峰脉冲时间		25		ms
I^2C 接口					
f_{SCL}	SCL 时钟频率			1000	kHZ
数字时钟和看门狗					
t_{LP_WDT}	I^2C 看门狗复位时间（EN_HIZ = 1，WATCHDOG[1:0] = 160s）	100	160		s
t_{WDT}	I^2C 看门狗复位时间（EN_HIZ = 0，WATCHDOG[1:0] = 160s）	130	160		s

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

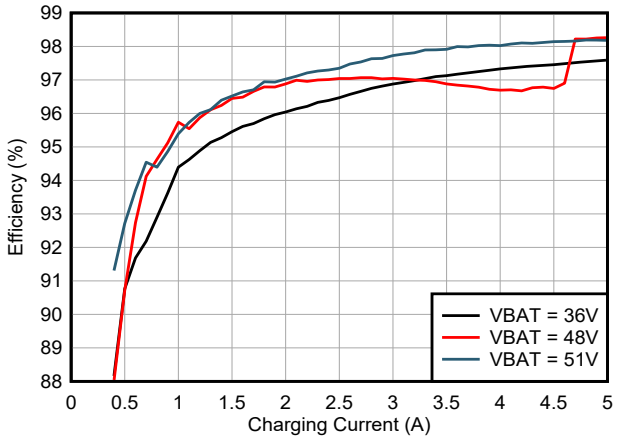
6.7 典型特性

C_{VAC} = 160µF，C_{OUT} = 160µF，f_{SW} = 250kHz，L = 10 µ H，T_A = 25°C（除非另有说明）



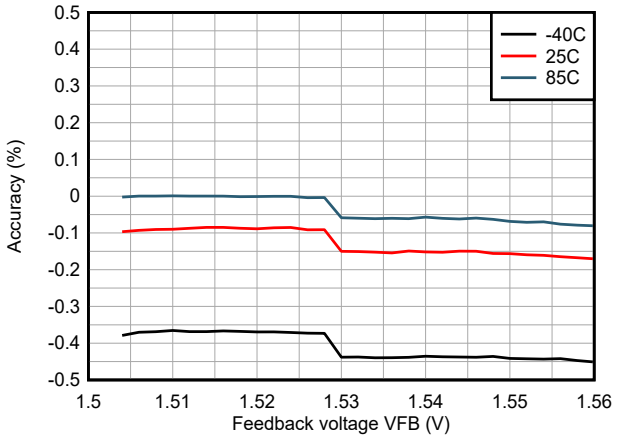
VAC = 12V

图 6-1. 充电效率与充电电流间的关系（4 节磷酸铁锂电池配置）



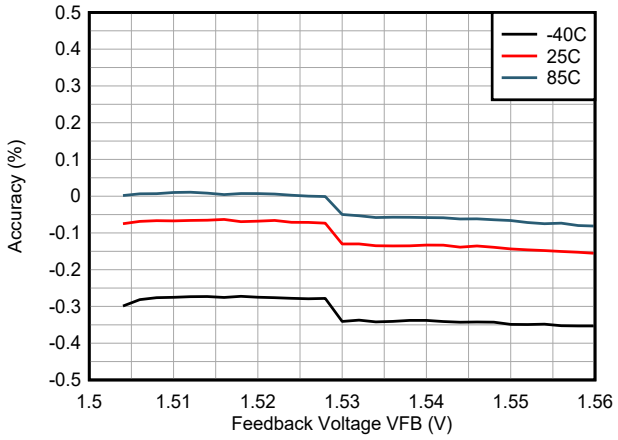
VAC = 48V

图 6-2. 充电效率与充电电流间的关系



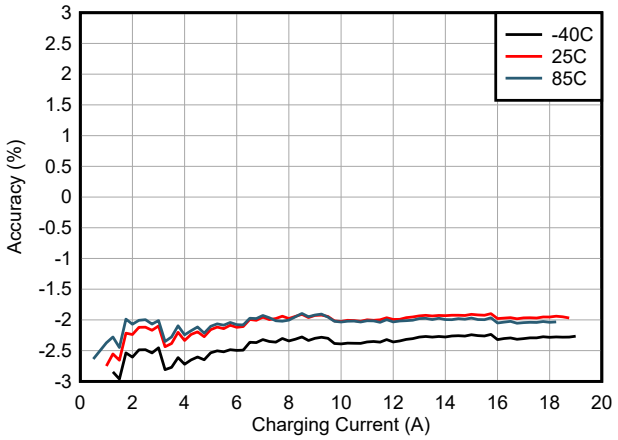
VAC = 12V VBAT = 12V

图 6-3. 反馈电压精度（在不同的温度下）



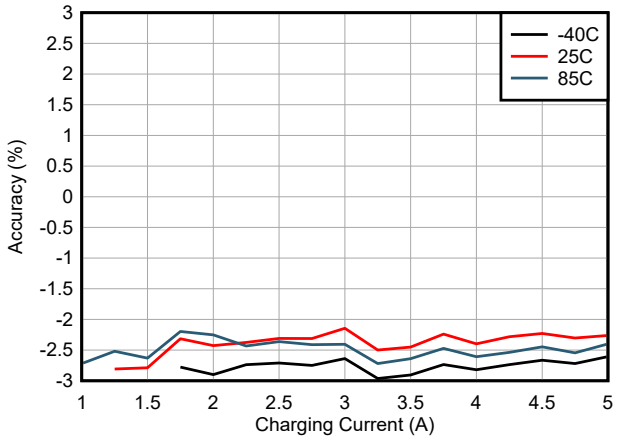
VAC = 48V VBAT = 48V

图 6-4. 反馈电压精度（在不同的温度下）



VAC = 12V VBAT = 12V

图 6-5. 充电电流精度（在不同的温度下）



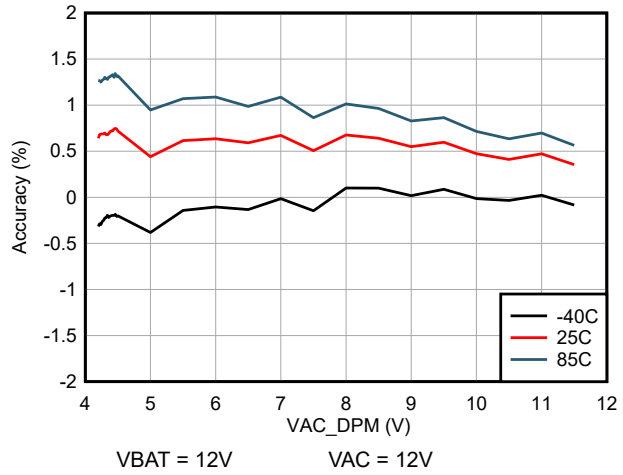
VAC = 48V VBAT = 48V

图 6-6. 充电电流精度（在不同的温度下）

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

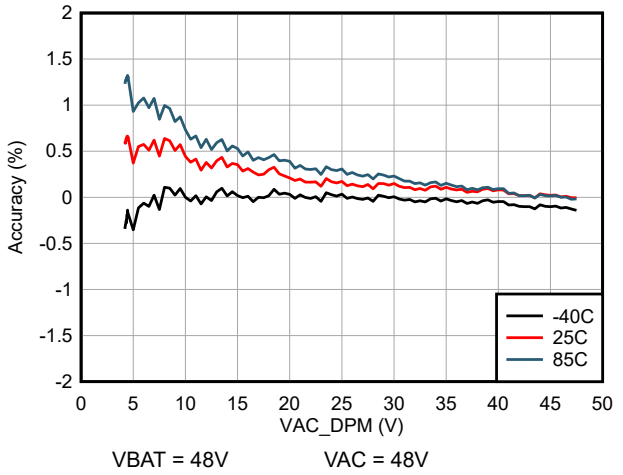
6.7 典型特性（续）

C_{VAC} = 160µF，C_{OUT} = 160µF，f_{SW} = 250kHz，L = 10 µ H，T_A = 25°C（除非另有说明）



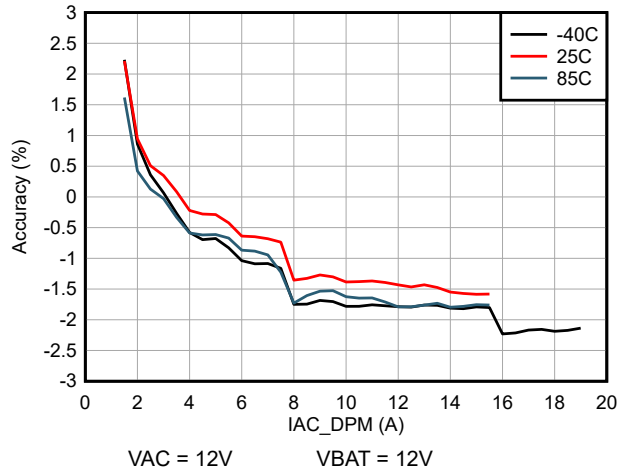
VBAT = 12V　　VAC = 12V

图 6-7. 输入电压 (VAC_DPM) 调节精度（在不同的温度下）



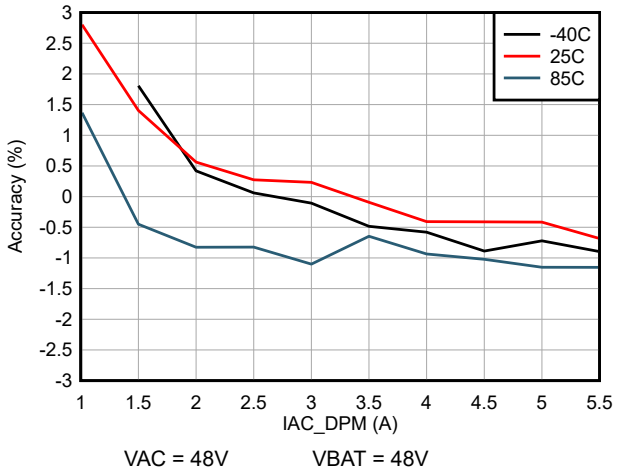
VBAT = 48V　　VAC = 48V

图 6-8. 输入电压 (VAC_DPM) 调节精度（在不同的温度下）



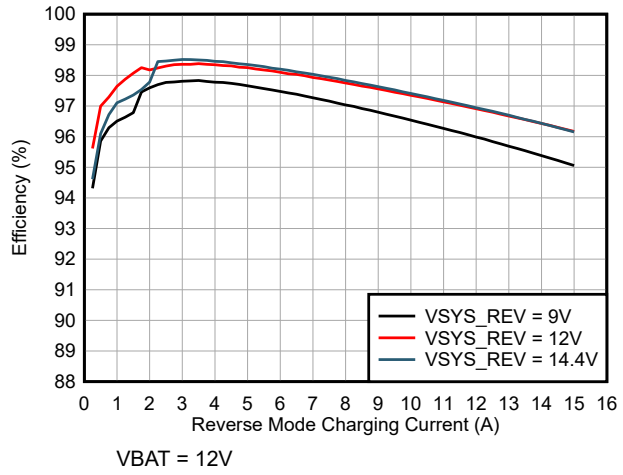
VAC = 12V　　VBAT = 12V

图 6-9. 输入电流 (IAC_DPM) 调节精度（在不同的温度下）



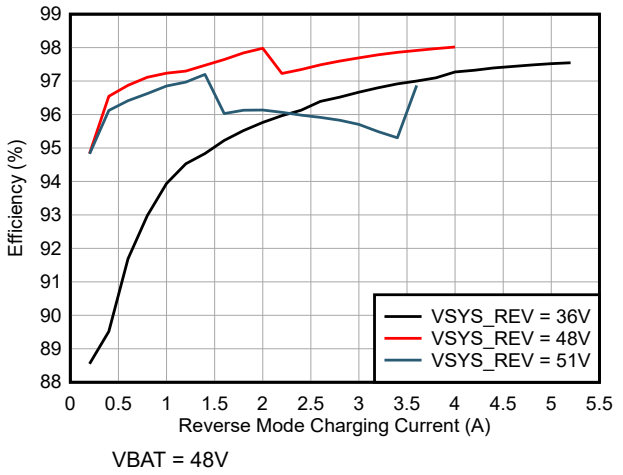
VAC = 48V　　VBAT = 48V

图 6-10. 输入电流 (IAC_DPM) 调节精度（在不同的温度下）



VBAT = 12V

图 6-11. 反向模式效率（4 节磷酸铁锂电池配置）



VBAT = 48V

图 6-12. 反向模式效率（12 节锂离子电池配置）

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.7 典型特性（续）

C_{VAC} = 160µF，C_{OUT} = 160µF，f_{SW} = 250kHz，L = 10 µ H，T_A = 25°C（除非另有说明）

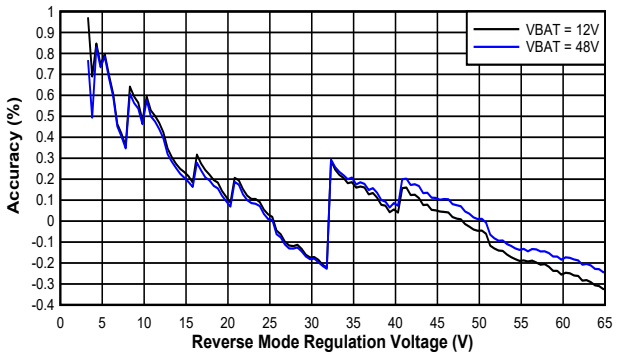


图 6-13. 反向模式输出电压精度与 VAC_REV 设置间的关系

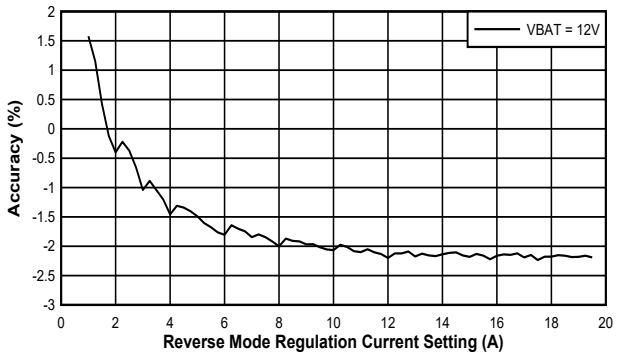


图 6-14. 反向模式输出电流精度与 IAC_REV 设置间的关系

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7 详细说明

7.1 概述

BQ25856-Q1 是一款宽输入电压、锂离子、锂聚合物、磷酸铁锂双向开关模式电池充电控制器。该器件不仅能提供精确且可编程的充电电流和充电电压调节，还能提供自动充电预调节、充电终止和充电状态指示，可在宽电压范围内实现电池高效充电。该器件集成了降压/升压转换器的所有环路补偿功能和 5V 栅极驱动器，因此可提供易于使用的高密度解决方案。器件的开关频率可进行编程，或通过 FSW_SYNC 引脚强制遵循外部时钟频率。在轻负载下进行开关时，该器件提供可选的脉冲频率调制 (PFM) 模式以提高效率。该充电器具有一个数字状态机，当转换器模拟反馈环路将控制权相互移交时，该状态机可以推进充电器的状态。它还管理故障保护比较器。环路进行调节，比较器与 I^2C 寄存器中的基准值进行比较，除非由外部电阻器进行钳位。

除了 I^2C 主机控制的充电模式，该器件还通过电阻器可编程限制支持自主充电模式。输入电流、充电电流和充电电压调节目标可分别通过 ILIM_HIZ、ICHG 和 FB 引脚进行更改。此器件可以在无需软件干预的情况下完成充电周期。充电功能通过 $\overline{CE}$ 引脚进行控制。

对于锂离子和磷酸铁锂化学电池，该器件会检查电池电压并相应地分不同阶段为电池充电：涓流充电、预充电、恒流 (CC) 充电和恒压 (CV) 充电。在充电周期的末尾，当充电电流低于恒压阶段中的终止电流限值时，充电器自动终止。当整个电池电压下降到低于充电阈值时，充电器会自动启动新的充电周期。

输入工作窗口通过 ACUV 和 ACOV 引脚进行编程。当输入电压超出编程窗口时，器件自动停止充电器，并且 $\overline{PG}$ 引脚拉至高电平。

该充电器为电池充电和系统运行提供各种安全功能，包括电池温度负热敏电阻 (NTC) 监控、充电计时器以及电池和输入的过压/过流保护。当结温超过 T_{SHUT} 限值时，热关断功能会阻止充电。

该器件支持降压/升压反向电源方向，可在适配器不存在时将电池电力输送到输入端。在反向模式下，可通过 I^2C 接口（VAC_REV 和 IAC_REV）对调节电压和电流进行编程，以提供支持 USB-PD 扩展功率范围 (EPR) 的 CC/CV 曲线。

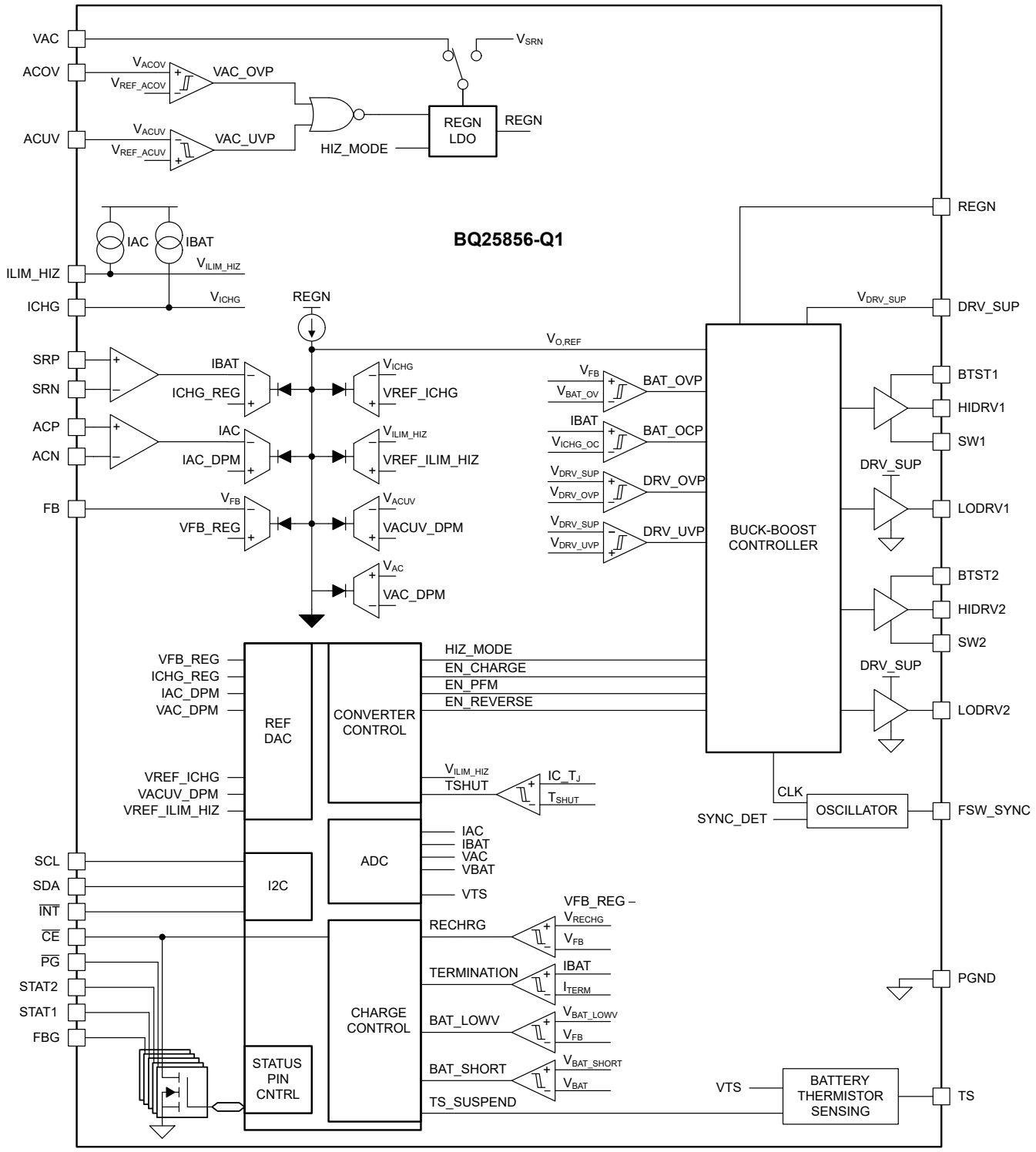
该器件具有三个状态引脚（STAT1、STAT2 和 $\overline{PG}$）来指示充电状态和输入电压状态。这些引脚可用于驱动 LED 或与主机处理器通信。如果需要，这些引脚还可以用作通用指示器，其状态直接由 I^2C 接口控制。此外，$\overline{CE}$ 引脚也可用作通用指示器。当器件状态发生变化（包括故障）时，$\overline{INT}$ 引脚会立即通知主机。

该器件还提供一个 16 位模数转换器 (ADC)，用于监控输入电流、充电电流和输入/电池/热敏电阻电压（IAC、IBAT、VAC、VBAT、TS）。

该器件采用 36 引脚 5mm × 6mm QFN 封装，引脚间距为 0.5mm。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2 功能方框图



Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3 特性说明

7.3.1 器件上电复位

内部偏置电路由 VAC 或 SRN 供电。当 VAC 升至 V_{VAC_OK} 以上时，允许充电。当 BAT 升至 3V 以上时，允许反向模式运行。

当其中一个电源上升至高于其相应的 V_{OK} 电平，而另一个电源低于其相应的 V_{OK} 电平时，就会发生 POR。POR 后，I^2C 接口已为通信做好准备，并且所有寄存器均复位至默认值。主机可以在 POR 后访问所有寄存器。

7.3.2 无输入源时通过电池实现器件上电

如果仅存在电池且电压高于 3V 阈值，则器件已为 I^2C 通信做好准备，并且转换器已为开始在反向模式下运行做好准备。REGN LDO 保持关闭状态，以最大程度地减小静态电流。ADC 可用于监控所有系统参数。

7.3.3 通过输入源实现器件上电

当检测到有效输入源（V_{VAC_OK} < VAC 且 VAC 处于 ACUV 和 ACOV 运行窗口内）时，$\overline{PG}$ 引脚被拉至低电平。如果启用充电，则器件继续启用 REGN LDO 并为降压/升压转换器上电。

7.3.3.1 VAC 操作窗口编程（ACUV 和 ACOV）

可以使用连接在 VAC 和 PGND 之间的三电阻分压器通过 ACUV 和 ACOV 引脚对 VAC 工作窗口进行编程，如图 7-1 所示。

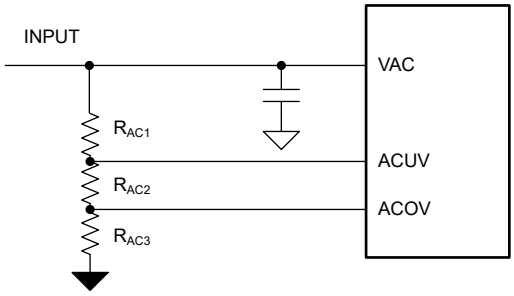


图 7-1. ACUV 和 ACOV 编程

当 V_{ACUV} 下降并达到 V_{ACUV_DPM} 时，器件进入输入电压调节，从而降低充电电流。V_{ACUV} 继续降至 V_{REF_ACUV} 以下，器件会自动停止转换器，$\overline{PG}$ 引脚拉至高电平。

当 V_{ACOV} 升至高于 V_{REF_ACOV} 时，器件会自动停止转换器，$\overline{PG}$ 引脚拉至高电平。

以下公式控制电阻分压器与 ACOV 和 ACUV 引脚编程的目标工作电压窗口之间的关系：

$$V_{ACOV_TARGET} = V_{REF_ACOV} \times \frac{R_{AC1} + R_{AC2} + R_{AC3}}{R_{AC3}} \quad (1)$$

$$V_{ACUV_TARGET} = V_{REF_ACUV} \times \frac{R_{AC1} + R_{AC2} + R_{AC3}}{R_{AC2} + R_{AC3}} \quad (2)$$

如果未使用，请将 ACUV 连接到 VAC，将 ACOV 连接到 PGND，以应用内部 VAC 工作窗口 (V_{VAC_OP})。

7.3.3.2 REGN 稳压器 (REGN LDO)

REGN LDO 稳压器为 IC 和 TS 外部电阻器提供稳压辅助电源。此外，通过将 DRV_SUP 引脚连接到 REGN，REGN 电压可用于直接驱动降压/升压开关 FET。$\overline{PG}$、STAT1 和 STAT2 的上拉电源轨也可连接至 REGN。满足以下条件时将启用 REGN LDO：

1. VAC 电压高于 V_{VAC_OK} 并且在正向模式下启用充电。
2. 反向模式下 BAT 电压高于 3.8V，且启用了反向模式 (EN_REV = 1)

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

在高输入电压和/或大栅极驱动要求下，通过 REGN LDO 进行栅极驱动的功率损耗可能会过大。栅极驱动器的电源可以通过使用 4.5V 至 12V 范围内的高效电源直接驱动 DRV_SUP 引脚来从外部提供。该电源应能够根据驱动开关 FET 栅极电荷的需要提供至少 50mA 或更大的电流。

通过 REGN LDO 驱动栅极的功率耗散为： $P_{REGN} = (VAC - V_{REGN}) \times Q_{G(TOT)1,2,3,4} \times f_{SW}$ ，其中 $Q_{G(TOT)1,2,3,4}$ 是所有开关 FET 的总栅极电荷之和，f_{SW} 是编程的开关频率。下面的安全工作区 (SOA) 基于 1W 的功率损耗限制。

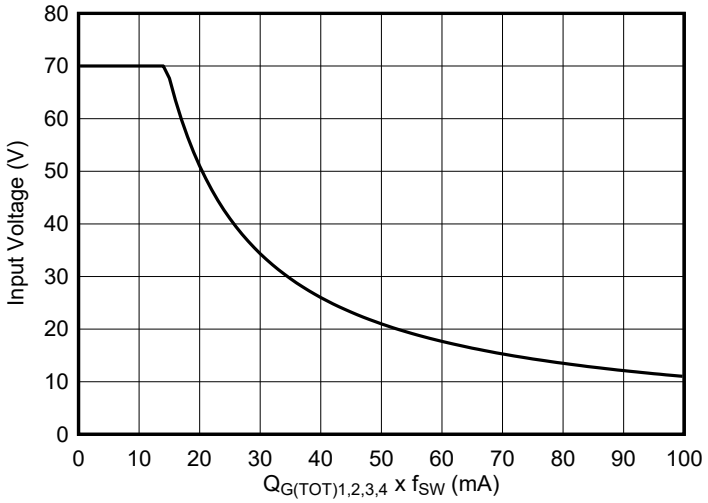


图 7-2. REGN LDO 安全工作区 (SOA)

7.3.3.3 无补偿降压/升压转换器运行

该器件集成了所有环路补偿功能，因此可提供易于使用的高密度解决方案。启动时，该器件会切换 SW 节点约 40ms，以确定给定的一组无源器件的正确补偿值。如果电池高于 VBAT_LOWV，则切换 SW2。否则会切换 SW1。

充电器采用同步降压/升压转换器，这允许从多种输入电压源进行充电。充电器以降压、降压/升压或升压模式运行。转换器可跨三种工作模式不间断地连续运行。在降压/升压模式期间，转换器交替使用 SW1 脉冲和 SW2 脉冲，有效开关频率在这些脉冲之间交错，以实现最高效率运行。

在升压模式运行期间，HS FET 在每个开关周期中被强制开启 225ns，以确保将电感器能量传递到输出，从而有效限制最大升压比。例如，当器件配置为以 500kHz 的频率开关时，开关周期为 2 µ s，产生的占空比限制为 (1 - 0.225 µ s/2 µ s) = 88.75%。假设效率为 100%，给定 5V 输入，这将转换为最大 44V 输出。真实输出将低于该理想限制。在较低的开关频率下，最大占空比会增加，从而使限制变得不那么重要。

表 7-1. 开关 MOSFET 运行

模式	降压	降压/升压	升压
HS 降压 FET	以 f_{SW} 频率进行开关	开关（f_{SW} 在 SW1 和 SW2 之间交错）	开
LS 降压 FET	以 f_{SW} 频率进行开关	开关（f_{SW} 在 SW1 和 SW2 之间交错）	关
LS 升压 FET	关	开关（f_{SW} 在 SW1 和 SW2 之间交错）	以 f_{SW} 频率进行开关
HS 升压 FET	开	开关（f_{SW} 在 SW1 和 SW2 之间交错）	以 f_{SW} 频率进行开关

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3.3.3.1 轻负载运行

为了提高转换器轻负载效率，当 EN_PFM 位被设置为 1 时，器件会在轻负载时切换到脉冲频率调制 (PFM) 控制。当输出负载降低时，有效开关频率将相应降低。

每次转换器启动并且在 FSW_SYNC 引脚上检测到有效的 SYNC 时钟输入时，EN_PFM 位都会自动清 0，从而确保无论输出电流如何，都以固定频率运行。即使存在 SYNC 信号，该位也可以被覆盖为 1，以在启动后允许 PFM。

可以通过将 EN_PFM 位清零来禁用轻负载 PFM 模式。在这种情况下，器件以固定开关频率在 PWM 模式下进行开关。建议在启用终止且设置低于 2A 时禁用 PFM 模式 (EN_PFM = 0)。

7.3.3.4 开关频率和同步 (FSW_SYNC)

可以使用连接在 FSW_SYNC 引脚和 PGND 之间的电阻器将器件开关频率编程为介于 200kHz 和 600kHz 之间的值。以下公式说明了 R_{FSW} 电阻器与标称开关频率 (f_{SW}) 之间的关系：

$$R_{FSW} = \frac{1}{10 \times \left(f_{SW} \times 5 \times 10^{-12} - 500 \times 10^{-9}\right)} \quad (3)$$

必须使用 R_{FSW} 将该引脚拉至 PGND，不要将其置于悬空状态。除了对标称开关频率进行编程之外，FSW_SYNC 引脚还可用于将内部振荡器与外部时钟信号同步。同步功能的工作范围与开关频率相同：200kHz 至 600kHz 范围。

表 7-2. 常见的 R_{FSW} 和开关频率值

R_{FSW} (kΩ)	开关频率 (kHz)
200	200
133	250
100	300
80	350
66.67	400
57.1	450
50	500
44.4	550
40	600

7.3.3.5 器件高阻态模式

当存在有效输入电源时，可以强制器件进入高阻态模式，从而禁用开关，禁用 REGN LDO。在该模式下系统负载由电池提供。当 EN_HIZ 位被设置为 1 或 ILIM_HIZ 引脚被拉至高于 $V_{IH_ILIM_HIZ}$ 时，充电器进入高阻态模式（请参阅节 7.3.5.1.1.1）。

如果器件在转换器开启的情况下在反向模式下运行，并且器件进入高阻态模式（EN_HIZ 位被设置为 1 或 ILIM_HIZ 引脚被拉至高于 $V_{IH_ILIM_HIZ}$），则开关停止。一旦主机清除高阻态模式条件，器件就会恢复反向模式运行，。

当 EN_HIZ 位被清除为 0 或 ILIM_HIZ 引脚被拉至 0.4V 以下时，器件退出 HIZ 模式。

7.3.4 电池充电管理

该器件可为 1 至 14 节锂离子电池和 1 至 16 节磷酸铁锂电池 充电。充电周期是自主的，不需要主机交互。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3.4.1 自主充电周期

当电池充电启用（EN_CHG 位 =1 且 $\overline{CE}$ 引脚为低电平）时，器件自主完成一个充电周期，而无需主机参与。器件充电参数可由硬件设置，通过 FB 引脚来设置调节电压，通过 ICHG 引脚来设置充电电流。主机始终可以通过 I^2C 写入相应的寄存器来控制充电操作并优化充电参数。

表 7-3. 锂离子和磷酸铁锂电池充电参数默认设置

参数	值
充电阶段	预充电 → 快速充电 (CC) → 恒压充电 (CV) → 终止 → 再充电
FB 电压调节目标 (VFB_REG)	1.536V
电池低电压 (VBAT_LOWV)	66.7% x VFB_REG = 1.0245V
再充电电压 (VRECHG)	97.6% x VFB_REG =1.4991V
充电电流硬件限制（ICHG 引脚）	ICHG = K_{ICHG}/R_{ICHG}
预充电电流硬件限制（ICHG 引脚）	20% x ICHG
终止电流硬件限制（ICHG 引脚）	10% x ICHG
NTC 温度曲线	JEITA
安全计时器	12 小时

当以下条件有效时，新的充电周期启动：

- VAC 处于 ACUV 和 ACOV 工作窗口之内
- 器件未处于 HIZ 模式（EN_HIZ = 0 并且 ILIM_HIZ 引脚电压低于 $V_{IH_ILIM_HIZ}$）
- REGN 高于 V_{REGN_OK}
- 电池充电启用（EN_CHG = 1 并且 $\overline{CE}$ 引脚为低电平）
- TS 上无热敏电阻故障
- 无安全计时器故障

对于锂离子电池充电，当充电电流低于终止阈值、充电电压高于充电阈值且器件不处于 DPM 模式时，充电器器件自动终止充电周期。当充满电的电池电压放电至低于再充电阈值（可以通过 VRECHG[1:0] 位选择阈值）时，器件会自动启动新的充电周期。充电完成后，切换 $\overline{CE}$ 引脚或 EN_CHG 位可以启动新的充电周期。

状态寄存器 (CHARGE_STAT) 指示不同的充电阶段，如下所示：

- 000 – 未充电
- 001 – 涓流充电 ($VFB < V_{BAT_SHORT}$)
- 010 – 预充电 ($V_{BAT_SHORT} < VFB < V_{BAT_LOWV}$)
- 011 – 快速充电（CC 模式）
- 100 – 恒压充电（CV 模式）
- 101 – 保留
- 110 – 充电完成计时器激活充电
- 111 – 充电终止完成

当充电器转换到任何这些状态时（包括充电周期完成时），一个 INT 脉冲被置为有效以通知主机。

当超级电容器电压较低时，不需要涓流充电或预充电区域。对于超级电容器充电，将 EN_PRECHG 位设置为 0 可以禁用这两个充电区域。在这种情况下，只要反馈电压 (V_{FB}) 低于 VFB_REG，充电器就会输出 ICHG 电流。建议对超级电容器充电采用以下设置：

- EN_PRECHG = 0
- EN_TERM = 0
- EN_CHG_TMR = 0

7.3.4.1.1 充电电流编程（ICHG 引脚和 ICHG_REG）

有两个不同的阈值用于限制充电电流（如果两者都启用，则其中的最低限制适用）：

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

1. ICHG 引脚下拉电阻器（硬件控制）
2. ICHG_REG 寄存器位（主机软件控制）

要使用 ICHG 引脚设置最大充电电流，需要使用一个连接到 PGND 的下拉电阻器。需要使用一个 5mΩ R_{BAT_SNS} 检测电阻。充电电流限制由以下公式控制：

$$I_{CHG_MAX} = \frac{K_{ICHG}}{R_{ICHG}} \quad (4)$$

预充电限流定义为 I_{PRECHG_MAX} = 20% x I_{CHG_MAX}，终止电流为 I_{TERM} = 10% x I_{CHG_MAX}。

实际充电电流限制是 ICHG 引脚设置和 I²C 寄存器设置 (ICHG_REG) 之间的较低值。例如，如果寄存器设置为 10A (0xC8)，并且 ICHG 引脚连接了一个接地的 10kΩ 电阻器 (K_{ICHG} = 50A-kΩ)，从而使电流为 5A，则实际充电电流限制为 5A。器件将 ICHG 引脚调节为 V_{REF_ICHG}。如果 ICHG 引脚电压超过 V_{REF_ICHG}，则器件进入充电电流调节状态。

当器件不处于充电电流调节状态时，也可使用 ICHG 引脚来监控充电电流。当未处于充电电流调节状态时，ICHG 引脚上的电压 (V_{ICHG}) 与实际充电电流成正比。ICHG 引脚可用于监控电池电流，其关系如下：

$$I_{BAT} = \frac{K_{ICHG} \times V_{ICHG}}{R_{ICHG} \times V_{REF_ICHG}} \quad (5)$$

例如，如果 ICHG 引脚使用 10kΩ 电阻器进行设置，ICHG 电压为 1.0V，则实际充电电流介于 2.4A 和 2.6A 之间（基于指定的 K_{ICHG}）。

如果 ICHG 引脚短接至 PGND，则充电电流限制由 ICHG_REG 寄存器设置。如果不需要硬件充电限流功能，建议将该引脚短接至 PGND。可以通过将 EN_ICHG_PIN 位设置为 0 来禁用 ICHG 引脚功能（建议在引脚短接至 PGND 时执行该操作）。当该引脚被禁用时，通过 ICHG 引脚实现的充电电流限制和监控功能不可用。

要使用 ICHG_REG 寄存器位设置最大充电电流，请对 ICHG_REG 寄存器位进行写入。充电电流限制范围为 400mA 至 20,000mA，阶跃为 50mA。默认 ICHG_REG 被设置为最大代码，从而允许 ICHG 引脚限制硬件中的电流。

7.3.4.2 锂离子电池充电曲线

该器件分五个阶段为电池充电：涓流充电、预充电、恒流充电、恒压充电和充电完成涓流充电（可选）。在充电周期开始时，器件会检查电池电压并相应地调节电流/电压。

表 7-4. 建议的锂离子电池充电设置

参数	I²C 寄存器位	值	4.2V 充电电压的等效值 (V)
电池低电压	VBAT_LOWV	0x3 = 71.4% x VFB_REG	3.0V
充电电压	VRECHG	0x3 = 97.6% x VFB_REG	4.1V

如果充电器器件在充电期间处于 DPM 调节状态，则实际充电电流将小于编程值。在这种情况下，终止被暂时禁用，并且充电安全计时器以时钟速率的一半进行计数，如“充电安全计时器”中所述。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

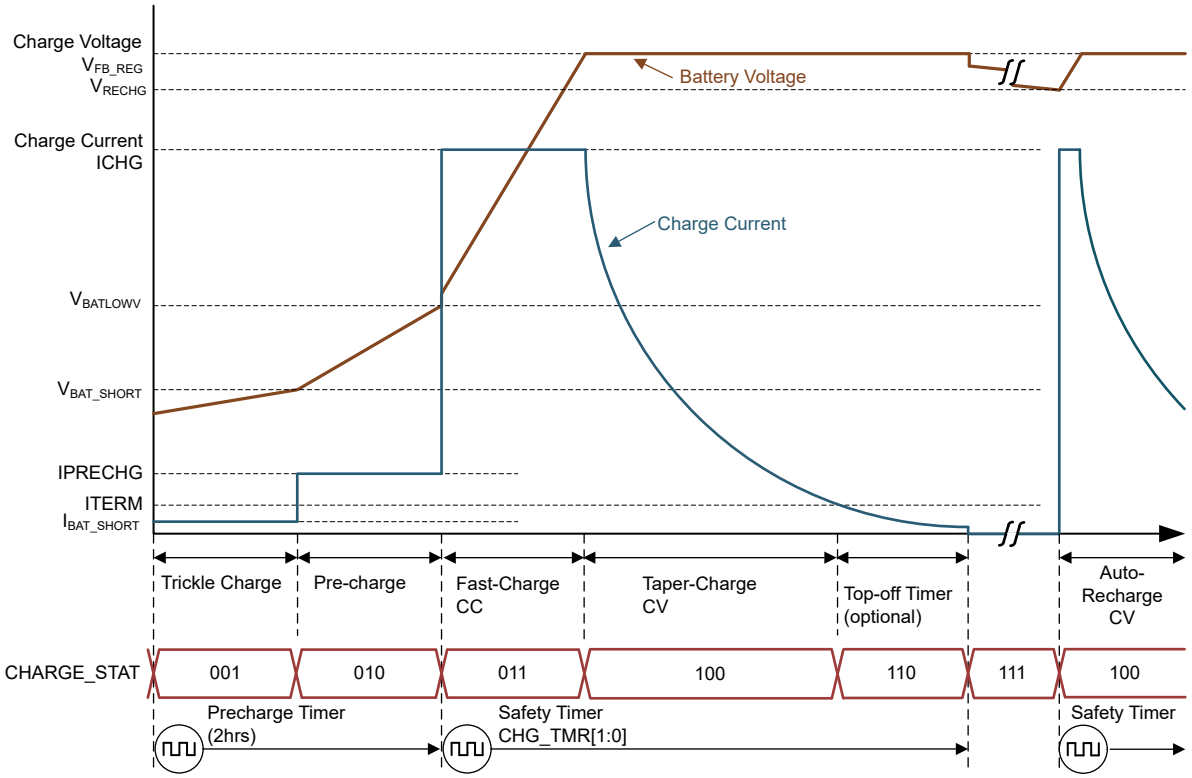


图 7-3. 典型的锂离子电池充电曲线

7.3.4.3 磷酸铁锂电池充电曲线

该器件分五个阶段为电池充电：涓流充电、预充电、恒流充电、恒压充电和充电完成涓流充电（可选）。在充电周期开始时，器件会检查电池电压并相应地调节电流/电压。

表 7-5. 建议的磷酸铁锂充电设置

参数	I²C 寄存器位	值	3.6V 充电电压的等效值 (V)
电池低电压	VBAT_LOWV	0x1 = 55% x VFB_REG	1.98V
充电电压	VRECHG	0x0 = 93% x VFB_REG	3.35V

如果充电器器件在充电期间处于 DPM 调节状态，则实际充电电流将小于编程值。在这种情况下，终止被暂时禁用，并且充电安全计时器以时钟速率的一半进行计数，如“充电安全计时器”中所述。磷酸铁锂的典型充电周期曲线与典型的锂离子电池充电曲线相同。

7.3.4.4 锂离子和磷酸铁锂电池的充电终止

当电池电压高于充电阈值且电流低于终止电流时，器件终止充电周期。终止电流阈值由 10% x ICHG 引脚设置或 ITERM 寄存器设置之间的较低选项控制。

在使用 ICHG 引脚对电流进行编程的独立应用中，终止阈值设置为 ICHG 引脚值的 10%（10A ICHG 引脚编程会产生 1A 终止）。

在主机控制型应用中，可以使用 ITERM 寄存器位对终止电流进行编程。ICHG 引脚仍可用于设置充电电流的硬件限制。

充电周期完成后，降压/升压转换器关闭。当终止发生时，状态寄存器 CHARGE_STAT 被设置为 111，并且一个 INT 脉冲被置为有效以发送至主机。当充电器器件处于输入电流或输入电压调节状态时，终止功能被暂时禁用。可以通过向 EN_TERM 写入 0 来永久禁用终止。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

在低终止电流下，由于比较器偏移，实际终止电流可能比终止目标高 20%。为了补偿比较器偏移，可在检测到终止后应用可编程充电完成计时器（默认禁用）。充电完成计时器遵循安全计时器限制，因此，如果安全计时器暂停，充电完成计时器也暂停。同样，如果安全计时器加倍，则充电完成计时器也会加倍。CHARGE_STAT 通过 110 代码报告充电完成计时器是否处于活动状态。充电完成计时器到期后，CHARGE_STAT 寄存器会被设置为 111，并且一个 INT 脉冲被置为有效以发送至主机。

7.3.4.5 充电安全计时器

该器件内置安全计时器，可防止因电池状况异常导致充电周期延长。用户可以通过 I^2C（CHG_TMR 位）对快速充电安全计时器进行编程。当安全计时器到期时，故障寄存器 CHG_TMR_STAT 位被设置为 1，并且一个 INT 脉冲被置为有效以发送至主机。可以通过清除 EN_CHG_TMR 位来禁用安全计时器功能。

在输入电压或输入电流调节期间，安全计时器以半时钟速率计数，因为实际充电电流可能低于编程设置。例如，如果充电器在整个充电周期内处于输入电流调节状态 (IAC_DPM_STAT=1)，并且安全计时器被设置为 5 小时，则计时器将在 10 小时后到期。计时器还以半时钟速率对 TS 引脚事件进行计数，从而减小充电电流（请参阅充电模式下的 JEITA 指南合规性一节）。可以通过设置 EN_TMR2X = 0 来禁用该半时钟速率功能。

在禁用充电的故障期间，计时器暂停。一旦故障消失，安全计时器就会恢复。如果充电周期停止并再次启动，计时器将复位（切换 $\overline{CE}$ 引脚或 EN_CHG 位会重新启动计时器）。

预充电安全计时器是一个在 VBAT < V_{BAT_LOWV} 时运行的固定 2 小时计数器。当 EN_PRECHG 位为 0 时，预充电安全计时器被禁用。

7.3.4.6 热敏电阻认证

充电器器件提供单个热敏电阻输入来监测电池温度。

7.3.4.6.1 充电模式下的 JEITA 指南合规性

为了提高锂离子电池充电的安全性，2007 年 4 月 20 日发布了 JEITA 指南。该指南强调了在特定的低温和高温范围内避免高充电电流和高充电电压的重要性。

要启动充电周期，TS 引脚上的电压必须处于 VT1 阈值至 VT5 阈值范围内。如果 TS 电压超过 T1 至 T5 范围，则控制器暂停充电并等待电池温度处于 T1 至 T5 范围内。

在凉温度（T1 至 T2）下，JEITA 建议将充电电流减小至充电电流的一半或更低。该器件允许将凉温度区域的充电电流编程为 T2 至 T3 范围充电电流的 20%、40% 或 100%，或者充电暂停，这由寄存器位 JEITA_ISETC 进行控制。如果在凉温度区域充电电流减小，则当 EN_TMR2X = 1 时，安全计时器以半时钟速率计数。

在温温度（T3 至 T5）下，JEITA 建议充电电压低于 4.1V/电芯。该器件提供 T3-T5 充电电压（电压偏移小于 T2 至 T3 的充电电压）或充电暂停可编程性，这由寄存器位 JEITA_VSET 进行控制。

该充电器还提供超出 JEITA 要求的灵活电压/电流设置。温温度 T3 至 T5 下的充电电流设置可配置为编程充电电流的 40% 或 100% 或暂停充电，这由寄存器位 JEITA_ISETH 进行编程。如果在 JEITA 温区域充电电流减小，则当 EN_TMR2X = 1 时，安全计时器以半时钟速率计数。

JEITA 默认的充电曲线如下图所示，其中蓝色线为默认设置，红色虚线为可编程选项。

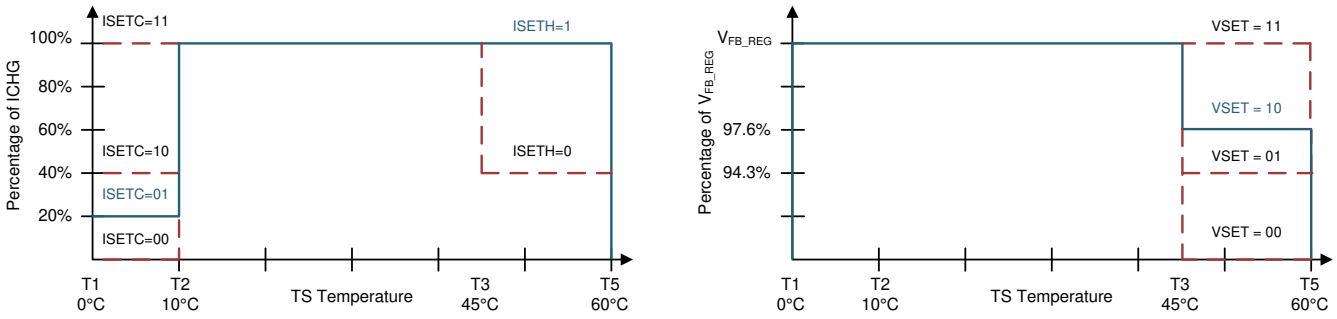
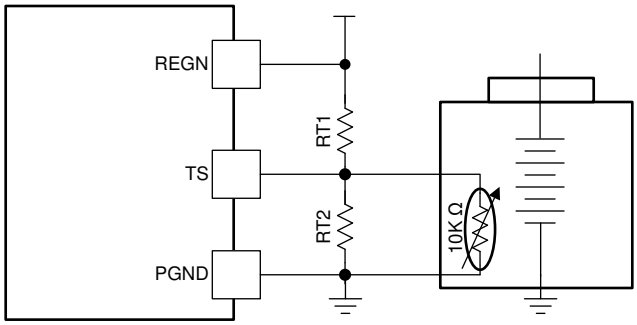


图 7-4. TS 充电值



假设电池包上有一个 103AT NTC 热敏电阻（如上图所示），RT1 和 RT2 的值可以通过以下公式确定：

$$RT2 = \frac{RTH_{COLD} \times RTH_{HOT} \times \left(\frac{1}{VT1} - \frac{1}{VT5}\right)}{RTH_{HOT} \times \left(\frac{1}{VT5} - 1\right) - RTH_{COLD} \times \left(\frac{1}{VT1} - 1\right)} \quad (6)$$

$$RT1 = \frac{\frac{1}{VT1} - 1}{\frac{1}{RT2} + \frac{1}{RTH_{COLD}}} \quad (7)$$

为锂离子或锂聚合物电池选择 0°C 至 60°C 范围：

RTH_{T1} = 27.28kΩ

RTH_{T5} = 3.02kΩ

RT1 = 5.24kΩ

RT2 = 30.31kΩ

该器件还通过 TS 充电阈值控制寄存器 (REG0x1B) 为所有阈值提供可编程性。这种灵活性有助于在软件中更改充电器的工作窗口。

可以通过将 EN_JEITA 寄存器位清零来禁用 JEITA 曲线。在这种情况下，器件仍将充电窗口限制为 T1 至 T5，但在凉（T1 至 T2）或温（T3 至 T5）区域内不采用特殊的充电曲线。

可以通过将 EN_TS 寄存器位清零来禁用 NTC 监控窗口。在这种情况下，TS 引脚电压被忽略，并且器件始终报告正常的 TS 状态。如果 EN_TS 被设置为 0，则 TS 引脚可以悬空或连接至 PGND。

7.3.4.6.2 反向模式下的冷/热温度窗口

为了在反向或自动反向模式运行期间保护电池，该器件会监控电池温度，使其处于 VBCOLD 至 VBHOT 阈值范围内。当温度超出阈值时，反向模式关闭。此外，EN_REV、EN_AUTO_REV 和 REVERSE_STAT 位被清除为 0，并且会报告相应的 TS_STAT（TS 冷或 TS 热）。通过将 EN_TS 位清除为 0 可以完全禁用反向模式下的温度保护。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

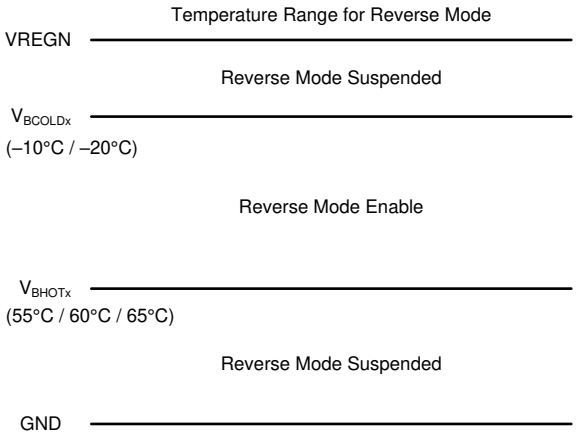


图 7-5. 反向模式下的 TS 引脚热敏电阻检测阈值

7.3.5 电源管理

该器件能够适应 4.4V 至 70V 的多种输入源。

7.3.5.1 动态电源管理：输入电压和输入电流调节

该器件具有动态电源管理 (DPM) 功能，可连续监控输入电流和输入电压。当输入源过载时，电流超过输入电流限制（IAC_DPM 和 ILIM_HIZ 引脚设置中的较低者），或者电压低于输入电压限制（VAC_DPM 和 ACUV 引脚设置 V_{ACUV_DPM} 中的较高者）。该器件随后会降低充电电流，直到输入电流降至输入电流限值以下以及输入电压上升至输入电压限值以上。

当充电电流降至零，但输入源仍然过载时，输入电压继续下降。一旦输入电压降至 ACUV 限制以下 (V_{ACUV} < V_{REF_ACUV})，充电器就停止开关。

7.3.5.1.1 输入电流调节

总输入电流是系统电源电流和电池充电电流的函数。系统电流通常会随着系统某些部分的上电或断电而波动。如果没有 DPM，电源必须能够同时提供最大系统电流和最大充电器输入电流。通过使用 DPM，当输入电流超过 IAC_DPM 寄存器低位或 ILIM_HIZ 引脚设置的输入电流限制时，电池充电器会降低充电电流。这允许降低输入源的电流能力，从而降低系统成本。

有两个阈值用于限制输入电流（如果两者都启用，则两者中的较低限制适用）：

1. IAC_DPM 寄存器位（主机软件控制）
2. ILIM_HIZ 下拉电阻器（硬件控制）

要使用 IAC_DPM 寄存器位设置最大电流，请对 IAC_DPM 寄存器位进行写入。使用 5mΩ 电阻器时，输入电流限制范围为 0.4A 至 20A，步长为 50mA。默认 IAC_DPM 被设置为最大代码，从而允许 ILIM_HIZ 引脚限制硬件中的电流。

要使用 ILIM_HIZ 引脚设置最大电流，请参阅节 7.3.5.1.1.1。

7.3.5.1.1.1 ILIM_HIZ 引脚

为了使用 ILIM_HIZ 引脚设置最大输入电流，使用了一个连接至 PGND 的下拉电阻器。在使用 5mΩ R_{AC_SNS} 电阻器时，输入电流限制由以下公式控制：$I_{AC_MAX} = K_{ILIM}/R_{ILIM_HIZ}$。

实际输入电流限制是 ILIM_HIZ 引脚设置和寄存器设置 (IAC_DPM) 之间的较低值。例如，如果寄存器设置为 20A，并且 ILIM_HIZ 引脚有一个 2kΩ 的接地电阻器 (K_{ILIM} = 20A-kΩ)，从而使电流为 10A，则实际输入电流限制为 10A。当 EN_ILIM_HIZ_PIN 位被设置为 1 时，ILIM_HIZ 引脚可用于设置输入电流限制。器件将引脚调节至 $V_{REF_ILIM_HIZ}$。如果引脚电压超过 $V_{REF_ILIM_HIZ}$，则器件进入输入电流调节。通过引脚进入输入电流调节会设置 IAC_DPM_STAT 和 FLAG 位，并向主机产生中断。可以通过 IAC_DPM_MASK 位屏蔽该中断。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

ILIM_HIZ 引脚还可用于监测输入电流。当未处于输入电流调节状态时，ILIM_HIZ 引脚上的电压 (V_{ILIM_HIZ}) 与输入电流成正比。引脚电压可用于监测输入电流，其关系如下：$IAC = K_{ILIM} \times V_{ILIM_HIZ} / (R_{ILIM_HIZ} \times V_{REF_ILIM_HIZ})$。

如果 ILIM_HIZ 引脚短路，则输入电流限制由 IAC_DPM 寄存器设置。如果不需要硬件输入电流限制功能，建议将该引脚短接至 GND。如果 ILIM_HIZ 引脚被拉至高于 $V_{IH_ILIM_HIZ}$，则器件进入高阻态模式（请参阅节 7.3.3.5）。可以通过将 EN_ILIM_HIZ_PIN 位设置为 0 来禁用 ILIM_HIZ 引脚功能。当该引脚被禁用时，通过该引脚实现的输入电流限制和监测功能以及高阻态模式控制不可用。

K_{ILIM} 被定义为以 5mΩ 检测电阻为基准的 20A×kΩ。

尽管默认 R_{AC_SNS} 为 5mΩ，但可以使用 0 和 10mΩ 之间的其他值。如果使用 0mΩ，则输入电流限制功能被禁用。如果使用 2mΩ 电阻器，K_{ILIM} 将为 50A×kΩ，并且需要一个 5kΩ 接地电阻器来实现 10A 限制。

7.3.5.1.2 输入电压调节

除了输入电流调节之外，该器件还提供输入电压调节功能以限制输入功率。这在处理太阳能电池板等输入源时特别有用，因为必须控制工作电压才能获取最大功率。或者，如果输入源电流限制未知，则可以使用输入电压调节来限制输入源的功耗。通过使用输入电压调节，当输入电压低于由 VAC_DPM 寄存器较高位或 ACUV 引脚设置的输入电压限制时，电池充电器会降低充电电流。

有两个阈值来限制输入电压（其中的较高限制适用）

1. VAC_DPM 寄存器位（主机软件控制）
2. ACUV 引脚下降阈值（硬件控制）

要使用 VAC_DPM 寄存器位设置最小输入电压，请将所需值直接写入 VAC_DPM 寄存器位。默认 VAC_DPM 被设置为最小代码，从而允许 ACUV 引脚限制硬件中的输入电压。

要使用 ACUV 引脚设置最小输入电压，请参阅节 7.3.3.1。

7.3.6 开关频率抖动功能

通常，IC 以固定频率进行开关，此频率可通过 FSW_SYNC 引脚进行调整。该充电器还支持频率抖动功能，以便提高 EMI 性能并有助于满足 IEC-CISPR 32 规范。启动时，抖动默认为 EN_DITHER = 00b，因此处于禁用状态。可通过设置 EN_DITHER = 01/10/11b 来启用此功能。启用抖动后，开关频率不是固定的，而是在通过将 EN_DITHER 设置为 01/10/11b 来确定的范围内变化，该设置对应于 ±2%/4%/6% 开关频率变化。抖动范围越大，EMI 噪声峰值越小，但较大的抖动范围也会导致略微更大的输出电压纹波。因此，选择抖动频率范围时需要在 EMI 噪声峰值和输出电压纹波之间进行权衡，建议选择可满足 IEC-CISPR 32 规范的最低抖动范围。获得专利的抖动模式可以在最高 30MHz 范围（可涵盖整个传导 EMI 噪声范围）内的开关频率下提高 EMI 性能。

应注意的是，如果提供了外部时钟，抖动功能将不起作用。

7.3.7 反向模式电源方向

该器件支持 CC/CV 曲线降压/升压反向电源方向，可在适配器不存在时将电池电力输送到输入端。反向模式输出电压调节在 VAC_REV 寄存器位中进行设置。反向模式还通过 R_{AC_SNS} 电阻器提供输出电流调节。该参数由 IAC_REV 寄存器位控制。如果满足以下条件，则可以启用反转模式运行：

1. SRN 大于 3.8V。
2. DRV_SUP 电压处于有效工作窗口之内 ($V_{DRV_UVP} < V_{DRV} < V_{DRV_OVP}$)。
3. 反向模式运行启用 (EN_REV = 1)
4. TS（热敏电阻）引脚上的电压处于反向温度监视器配置的范围之内（由 BHOT 和 BCOLD 寄存器位配置）

当反向模式有效时，器件将 REVERSE_STAT 位设置为 1。主机可以随时通过将 EN_REV 位设置为 0 来禁用反向运行。

该充电器还在反向模式下监控和调节电池放电电流。当电池放电电流升至 IBAT_REV 寄存器设置以上时，充电器会降低反向模式功率流以限制放电电流。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3.7.1 自动反转模式

在某些应用中，当适配器电源被移除后，需要稳定的电压。BQ25856 集成了自动反向功能，一旦输入电源被移除，该功能就会反向使用降压/升压转换器提供稳定的电压。

当通过将 AUTO_REV 寄存器位设置为 1 来启用时，自动反向模式可用于在输入电源移除后立即提供稳定的电压。当输入低于 ACUV 阈值时，器件会转换为反向模式。

如果满足以下条件，将自动启用自动反转模式运行：

1. SRN 电压高于 V_{SRN_OK}
2. VAC 处于 ACOV/ACUV 运行窗口之外，或 VAC < V_{VAC_OK}，或 VAC > $V_{VAC_INT_OV}$
3. 启用自动反向模式运行 (EN_AUTO_REV = 1)
4. TS（热敏电阻）引脚上的电压处于反向温度监视器配置的范围之内（由 BHOT 和 BCOLD 寄存器位配置）

当自动反向模式有效时，器件将 REVERSE_STAT 位设置为 1。主机可以随时通过使用 I2C 命令设置 EN_AUTO_REV = 0 和 EN_REV = 0 来禁用自动反向运行。

7.3.8 用于监测的集成 16 位 ADC

该器件包括一个 16 位 ADC，用于根据器件的运行模式监视关键系统信息。如果 V_{VAC}>V_{VAC_OK} 或 VBAT>V_{REGN_OK} 有效，则允许 ADC 运行。ADC_EN 位可用于启用和禁用 ADC 以节省功耗。ADC_RATE 位可控制连续转换或单次转换行为。单次转换完成后，ADC_EN 位清零，必须重新被置为有效才能开始新的转换。

ADC_SAMPLE 位控制 ADC 的分辨率和采样速度。默认情况下，除非在 ADC 功能禁用寄存器中进行禁用，否则 ADC 通道都将以单次转换或连续转换模式进行转换。如果通过设置相应的位禁用了某个 ADC 参数，则相应寄存器中的读回值将是来自最后一次有效 ADC 转换的值或是默认的 POR 值（如果没有发生任何转换则为全零）。如果在 ADC 测量周期中间禁用某个 ADC 参数，则器件会完成该参数的转换，但不会在下一个转换周期开始时转换该参数。如果在单次转换模式下禁用所有通道，则 ADC_EN 位被清零。

仅在单次转换模式下完成转换时，ADC_DONE_STAT 和 ADC_DONE_FLAG 位产生信号。该事件产生一个 INT 脉冲，可以使用 ADC_DONE_MASK 屏蔽该脉冲。在连续转换模式期间，ADC_DONE_STAT 位没有任何意义，将为“0”。在连续转换模式下，ADC_DONE_FLAG 位将保持不变。

无论器件中是否存在故障，都会运行 ADC 转换。即使发生故障（例如导致功率级禁用的故障），ADC 转换也会继续，主机必须设置 ADC_EN = “0”以禁用 ADC。ADC 读数仅对直流状态有效，对瞬态无效。当主机写入 ADC_EN = 0 时，ADC 立即停止，ADC 测量值对应于上次有效的 ADC 读数。

如果主机需要更平稳地退出 ADC，则可以执行以下任一操作：

1. 向 ADC_RATE 写入单次转换，ADC 将在一个完整的转换周期结束时停止，或者
2. 禁用所有 ADC 转换通道，ADC 将在电流测量结束时停止。

当系统负载由电池供电（输入源被移除或器件处于高阻态模式）时，ADC 会自动为 REGN 供电并增大静态电流。为了保持低电池漏电流，建议为 ADC 设置占空比或完全将其禁用。

7.3.9 状态输出（$\overline{PG}$、STAT1、STAT2 和 $\overline{INT}$）

7.3.9.1 电源正常状态指示器 ($\overline{PG}$)

当检测到有效的 VAC 电压时，PG_STAT 位变为高电平，$\overline{PG}$ 引脚拉至低电平以指示输入源良好。$\overline{PG}$ 引脚可驱动一个 LED。必须满足所有条件才能指示电源正常：

1. V_{VAC_OK} < V_{VAC} < $V_{VAC_INT_OV}$
2. V_{ACUV} > V_{REF_ACUV}
3. V_{ACOV} < V_{REF_ACOV}
4. 器件未处于高阻态模式

可以通过 DIS_PG_PIN 位禁用 $\overline{PG}$ 引脚。禁用时，可以使用 FORCE_STAT3_ON 位控制该引脚被拉至低电平。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3.9.2 充电状态指示器（STAT1、STAT2 引脚）

该器件在开漏 STAT1 和 STAT2 引脚上指示充电状态。STAT1、STAT2 引脚可以驱动 LED。

表 7-6. STAT1、STAT2 引脚状态

充电状态	STAT1	STAT2
正在进行充电（包括再充电）	开	关
充电完成	关	开
检测到充电故障（TS 超出范围、安全计时器故障等）	开	开
禁用充电（EN_CHG = 0 或 $\overline{CE}$ 引脚为高电平）	关	关

可以通过 DIS_STAT_PINS 位来禁用 STAT1、STAT2 引脚功能。禁用时，可以使用 FORCE_STAT1_ON 和 FORCE_STAT2_ON 位控制这些引脚单独拉至低电平。STAT 引脚不受反向模式的影响，在该模式下保持关闭状态。

7.3.9.3 主机中断 ($\overline{INT}$)

在某些应用中，主机并不总是监视充电器的运行情况。$\overline{INT}$ 引脚向系统主机通知有关器件运行的信息。默认情况下，以下事件将生成低电平有效的 256μs INT 脉冲。

1. 检测到有效的输入源条件（请参阅 $\overline{PG}$ 引脚的条件）
2. 消除了有效的输入源条件（请参阅 $\overline{PG}$ 引脚的条件）
3. 通过寄存器或 ILIM_HIZ 引脚进入 IAC_DPM 调节
4. 通过寄存器或 ACUV 引脚进入 VAC_DPM 调节
5. I^2C 看门狗计时器到期
6. 充电器状态改变状态（CHARGE_STAT 值改变），包括充电完成
7. TS_STAT 改变状态（TS_STAT 值改变）
8. 结温关断 (TSHUT)
9. 检测到电池过压 (BATOVP)
10. 任何 *_STAT 位的上升沿

这些 INT 源中的每一个都可以被屏蔽，以防止 INT 脉冲在发生时被发送出去。针对这些事件中的每一个存在三个位：

- STAT 位保存每个 INT 源的*当前状态*
- FLAG 位保存有关哪个源生成 INT 的信息，无论当前状态如何都是如此
- MASK 位用于防止器件为每个特定事件发送 INT

当上述条件之一发生（任何 *_STAT 位上的上升沿）时，器件发出 INT 脉冲并通过标志寄存器跟踪哪个源生成 INT。主机读取标志寄存器位后，这些位会自动复位为零，并且需要 STAT 位上的新边沿才能重新将 FLAG 置为有效。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

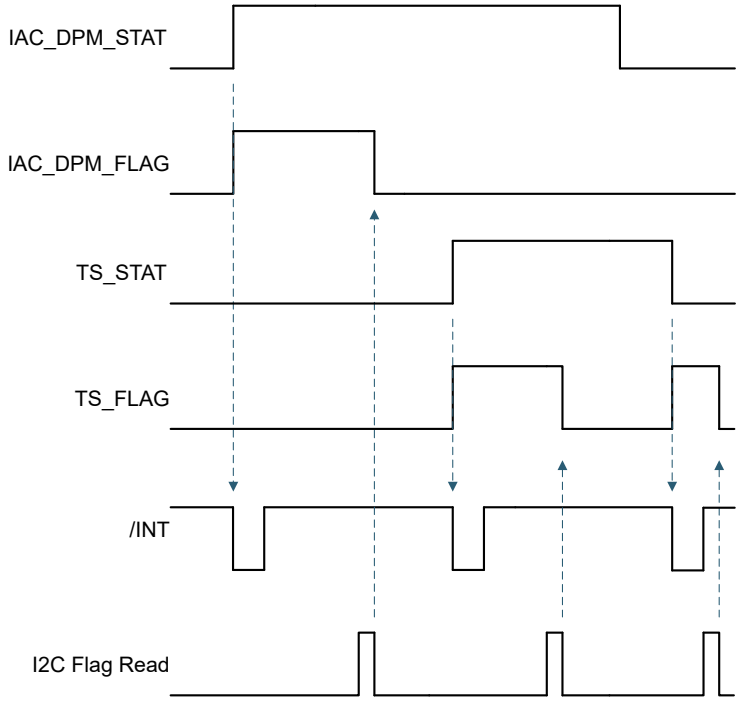


图 7-6. INT 生成行为示例

7.3.10 保护功能

该器件密切监控输入和电池电压以及开关 FET 电流，以实现安全的开关模式运行。

7.3.10.1 电压和电流监测

7.3.10.1.1 VAC 过压保护 (VAC_OVP)

为了保护系统轨上的下游器件，可以使用 ACOV 引脚将输入过压阈值编程为 V_{VACOV} = V_{REF_ACOV}（请参阅节 7.3.3.1）。该器件还具有预设为 $V_{VAC_INT_OV}$ 的内部过压保护功能。当输入电压升至这两个阈值中的较低者以上时，器件禁用充电器。在输入过压期间，一个 INT 脉冲被置为有效以向主机发送信号，并且 VAC_OV_STAT 和 _FLAG 位被设置。此外，PG_STAT 位会被清零并且 $\overline{PG}$ 引脚会拉至高电平。该器件会自动在过压情况消除后恢复充电操作。

7.3.10.1.2 VAC 欠压保护 (VAC_UVP)

为了维持系统轨上的最小工作电压，可以使用 ACUV 引脚将输入欠压阈值编程为 V_{VACUV} = V_{REF_ACUV}（请参阅节 7.3.3.1）。该器件还具有预设为 V_{VAC_OK} 的内部欠压保护功能。当输入电压降至这两个阈值中的较高者以下时，器件禁用充电器。在输入欠压期间，一个 INT 脉冲被置为有效以向主机发送信号，并且 VAC_UV_STAT 和 _FLAG 位被设置。此外，PG_STAT 位会被清零并且 $\overline{PG}$ 引脚会拉至高电平。该器件会自动在欠压情况消除后恢复充电操作。

7.3.10.1.3 电池过压保护 (BAT_OVP)

该器件使用 BAT_OVP 比较器防止电池过度充电。当 FB 电压超过 V_{BAT_OV} 时，转换器立即停止开关，防止高侧 FET 导通，直到电池反馈电压降至 V_{BAT_OVZ} 以下。这允许对过压情况（例如在负载移除或电池断开时发生的过压情况）进行单周期响应。在 BAT_OVP 事件期间，I_{BAT_LOAD} 开启并将电流从 SRP 灌入 GND，从而释放输出电容器中存储的能量。BAT_OVP 还会暂停安全计时器和充电完成计时器。

7.3.10.1.4 电池过流保护 (BAT_OCP)

该器件使用 BAT_OCP 比较器保护电池免受过流情况的影响。该器件监视充电电流，防止电流超过 V_{ICHG_OC} 除以 R_{BAT_SNS}。如果达到 V_{ICHG_OC} 阈值，器件将停止充电并在一秒后尝试重新启动。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3.10.1.5 反向模式过压保护 (REV_OVP)

当转换器以反向模式运行时，该器件会监控反向电压 V_{VAC}。当 V_{VAC} 升至调节目标之上并超过 V_{REV_OVP} 时，器件停止开关，并等待电压降至阈值以下以恢复开关。一个 INT 脉冲被置为有效以发送至主机。

7.3.10.1.6 反向模式欠压保护 (REV_UVP)

当转换器以反向模式运行时，该器件会监控反向电压 V_{VAC}。当 V_{VAC} 低于欠压阈值（可通过 SYSREV_UV 寄存器位编程）时，器件停止开关，将 EN_REV 位清零并退出反向模式。在过压事件持续时间内，REVERSE_STAT 位被清零，并且 REVERSE_FLAG 位被设置为指示反向模式下出现的故障。一个 INT 脉冲也被置为有效以发送至主机

7.3.10.1.7 DRV_SUP 欠压和过压保护 (DRV_OKZ)

DRV_SUP 引脚必须保持介于 DRV_UVP 和 DRV_OVP 之间的有效电压，以便开关电源转换器级正常运行。在充电模式和反向模式下都是如此。

当 DRV_SUP 引脚电压低于 DRV_UVP 阈值时，开关转换器停止工作，一个 INT 脉冲被置为有效以向主机发送信号，DRV_OKZ_STAT 和 DRV_OKZ_FLAG 位被设置以发出故障信号。此外，STAT1 和 STAT2 引脚将发生变化以反映充电器功能被禁用。

当 DRV_SUP 引脚电压高于 DRV_OVP 阈值时，开关转换器停止工作，一个 INT 脉冲被置为有效以向主机发送信号，DRV_OKZ_STAT 和 DRV_OKZ_FLAG 位被设置以发出故障信号。此外，STAT1 和 STAT2 引脚将发生变化以反映充电器功能被禁用。

当 DRV 引脚返回正常工作范围时，器件会自动恢复故障前配置的充电或反向模式开关。

7.3.10.1.8 REGN 欠压保护 (REGN_OKZ)

REGN 引脚由内部稳压器驱动，并且必须将电压维持在 REGN_OKZ 以上才能保证器件正常运行。在充电模式和反向模式下以及 ADC 在仅电池模式下工作时都是如此。

如果内部稳压器在外部过载，则引脚电压可能会下降。当 REGN 低于 REGN_OKZ 阈值时，开关转换器停止工作。此外，STAT1 和 STAT2 引脚将发生变化以反映充电器功能被禁用。当故障消除后，REGN 电压会自动恢复，开关会按照故障前的配置以充电或反向模式恢复。

7.3.10.2 热关断 (TSHUT)

该器件具有热关断功能，可在 IC 表面温度超过 TSHUT 时关断转换器。故障寄存器位 TSHUT_STAT 和 TSHUT_FLAG 被设置，并且一个 INT 脉冲被置为有效以发送至主机。当 IC 温度低于 TSHUT_HYS 时，转换器重新开启。请注意，TSHUT 保护在充电和反向运行模式下均有效。

7.3.11 串行接口

该器件使用与 I^2C 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。I^2C 是一种双向 2 线制串行接口。只需要两条开漏总线线路：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，器件可被视为控制器或目标。控制器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目标。

该器件作为地址为 0x6B 的目标器件运行，通过“寄存器映射”中定义的寄存器从控制器器件（例如微控制器或数字信号处理器）接收控制输入。读取的寄存器超出映射中定义的值，返回 0xFF。I^2C 接口支持标准模式（高达 100kb/s）、快速模式（高达 400kb/s）和超快速模式（高达 1Mb/s）。当总线空闲时，两条线路都为高电平。SDA 和 SCL 引脚为漏极开路，必须通过电流源或上拉电阻器连接到正电源电压。

7.3.11.1 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 © 2024 Texas Instruments Incorporated

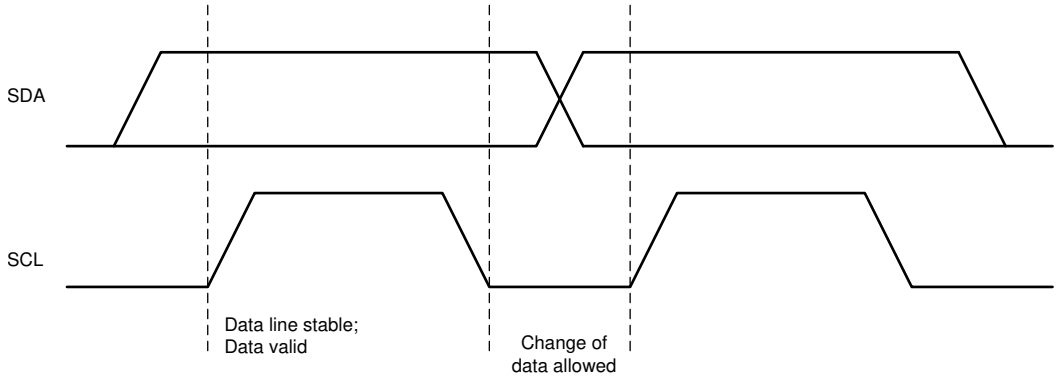


图 7-7. I²C 总线上的位传输

7.3.11.2 启动条件和停止条件

所有事务均以 START (S) 开始，并以 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 线路从低电平转换为高电平定义 STOP 条件。

START 和 STOP 条件始终由控制器产生。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。当满足超时条件（例如启动条件有效超过 2 秒并且没有触发停止条件）时，充电器 I²C 通信将自动复位，通信线路空闲，可进行另一次传输。

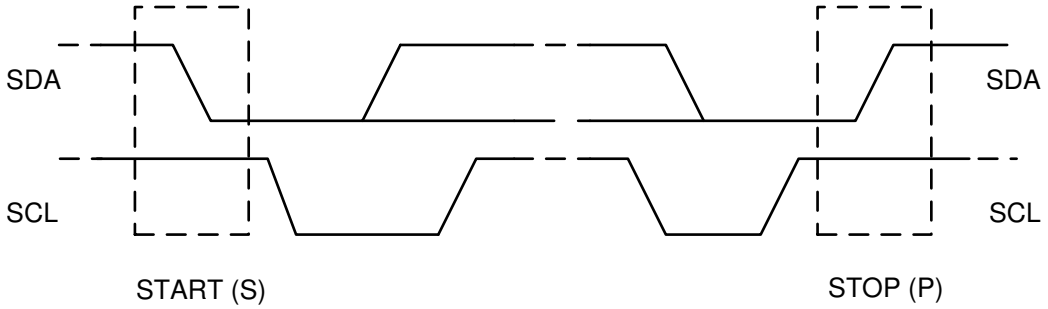


图 7-8. I²C 总线上的 START 和 STOP 条件

7.3.11.3 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 (ACK) 位。传输数据时，最高有效位 (MSB) 优先。如果目标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 SCL 线保持为低电平，以强制控制器进入等待状态（时钟延展）。当目标准备好接收另一个数据字节并释放 SCL 线时，数据传输将继续。

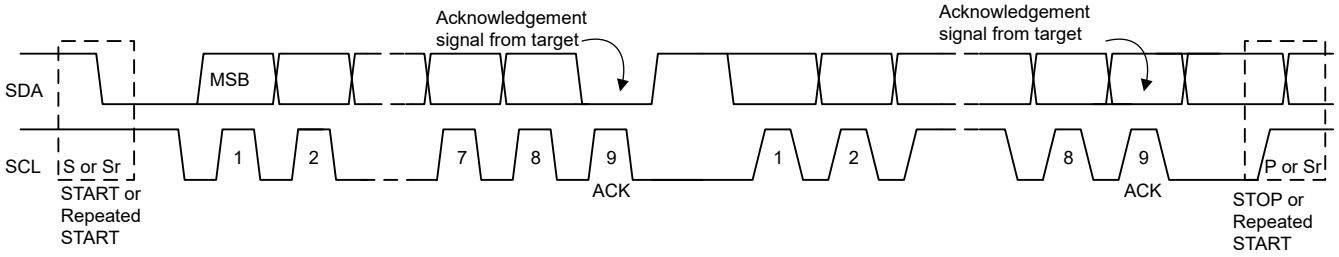


图 7-9. I²C 总线上的数据传输

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3.11.4 确认 (ACK) 和否定确认 (NACK)

ACK 信令在传输字节之后发生。ACK 位允许目标向控制器发送信号，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）均由控制器生成。

控制器在确认时钟脉冲期间释放 SDA 线，让目标可以将 SDA 线拉至低电平，并在此第 9 个时钟脉冲的高电平期间保持稳定的低电平。

当 SDA 线在第 9 个时钟脉冲期间保持高电平时，会发出 NACK 信号。然后，控制器可以生成 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。

7.3.11.5 目标地址和数据方向位

在 START 信号之后会发送目标地址。该地址为 7 位长，后跟第 8 位作为数据方向位（位 R/$\overline{W}$）。零表示传输 (WRITE)，一表示数据请求 (READ)。器件 7 位地址默认定义为 1101 011' (0x6B)。

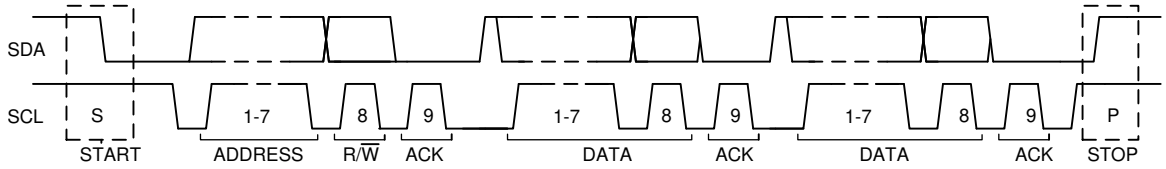


图 7-10. I²C 总线上的完整数据传输

7.3.11.6 单独写入和读取

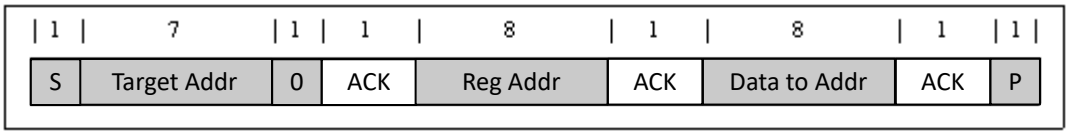


图 7-11. 单独写入

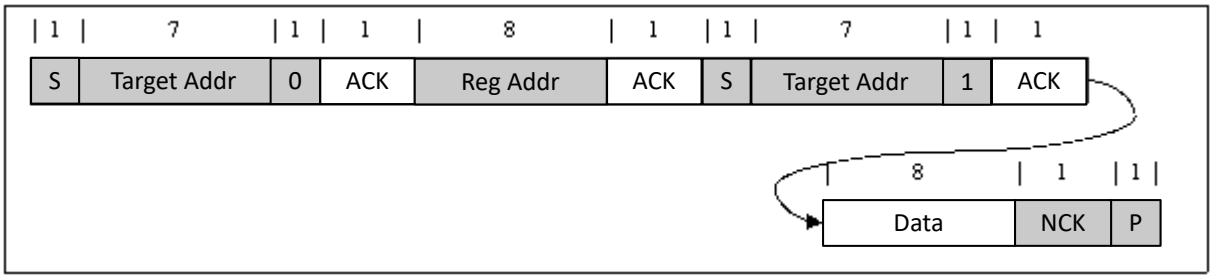


图 7-12. 单次读取

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。

7.3.11.7 多个写入和多个读取

充电器器件支持对所有寄存器进行多重读取和多重写入。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

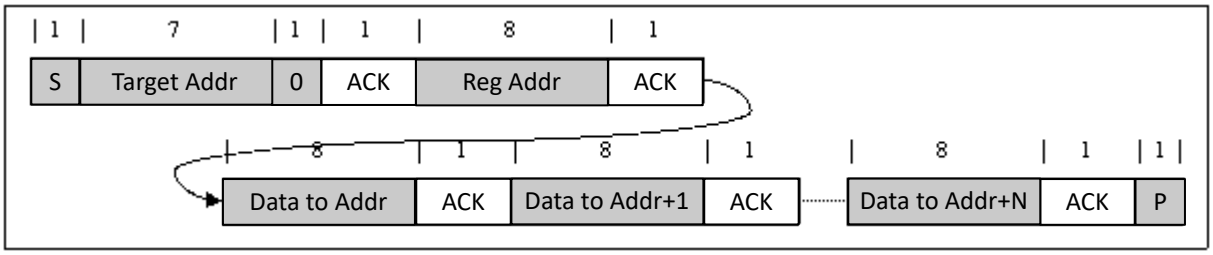


图 7-13. 多重写入

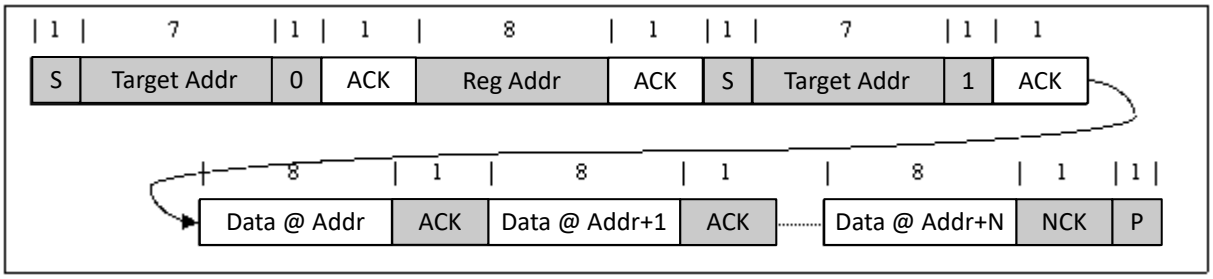


图 7-14. 多重读取

7.4 器件功能模式

7.4.1 主机模式和默认模式

该器件是主机控制的充电器，但可在默认模式下运行，无需主机管理。在默认模式下，该器件可用作无主机或主机处于睡眠模式的自主充电器。当充电器处于默认模式时，WD_STAT 位变为高电平，WD_FLAG 设置为 1，$\overline{INT}$ 置为低电平以提醒主机（除非被 WD_MASK 屏蔽）。在第一次读取时，WD_FLAG 位读取值为“1”，在后续读取时读取值为“0”。当充电器处于主机模式时，WD_STAT 位为低电平。

上电复位后，该器件在看门狗计时器到期的状态下以默认模式启动。所有寄存器均处于默认设置。

在默认模式下，该器件通过默认的 2 小时预充电安全计时器和 12 小时快速充电安全计时器为电池充电。在 2 小时或 12 小时计时器到期时，如果未检测到终止，则充电将停止。

对任何 I^2C 寄存器的写入值均会将充电器从默认模式转换为主机模式，并启动看门狗计时器。主机可对所有器件参数进行编程。为了使器件保持在主机模式下，主机必须在看门狗计时器到期（WD_STAT 位被置位）之前通过向 WD_RST 位写入 1 来复位看门狗计时器，或者通过设置 WATCHDOG 位 = 00 来禁用看门狗计时器。

当看门狗计时器到期时，器件恢复默认模式，并且选择的寄存器复位至默认值，“寄存器映射”部分对此进行了详细介绍。如果看门狗计时器已过期，则在进行任何写入时都会将看门狗计时器复位。当看门狗计时器到期时，WD_STAT 和 WD_FLAG 被设置为 1，/INT 被置为低电平以提醒主机（除非被 WD_MASK 屏蔽）。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

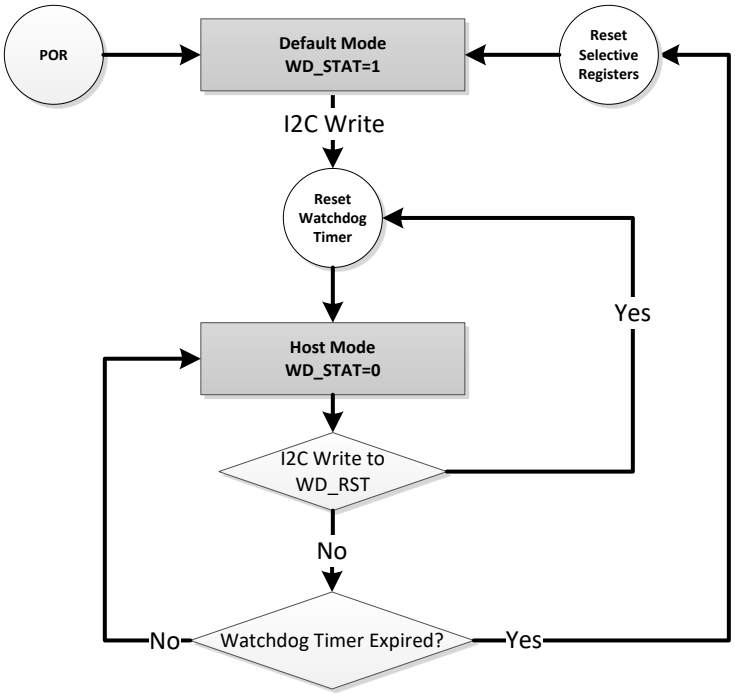


图 7-15. 看门狗计时器流程图

7.4.2 复位寄存器位

除了在默认模式下由看门狗计时器复位寄存器外，还可以通过向 REG_RST 位写入 1 将寄存器和计时器复位为默认值。寄存器映射一节中针对可由 REG_RST 位进行复位的寄存器位进行了说明。寄存器复位后，REG_RST 位将自动从 1 恢复为 0。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5 BQ25856-Q1 寄存器

表 7-7 列出了 BQ25856-Q1 寄存器的存储器映射寄存器。表 7-7 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

表 7-7. BQ25856-Q1 寄存器

地址	首字母缩写词	寄存器名称	部分
0x0	REG0x00_Charge_Voltage_Limit	充电电压限值	转到
0x2	REG0x02_Charge_Current_Limit	充电电流限制	转到
0x6	REG0x06_Input_Current_DPM_Limit	输入电流 DPM 限制	转到
0x8	REG0x08_Input_Voltage_DPM_Limit	输入电压 DPM 限制	转到
0xA	REG0x0A_Reverse_Mode_Input_Current_Limit	反向模式输入电流限制	转到
0xC	REG0x0C_Reverse_Mode_Input_Voltage_Limit	反向模式输入电压限制	转到
0x10	REG0x10_Precharge_Current_Limit	预充电电流限制	转到
0x12	REG0x12_Termination_Current_Limit	终止电流限制	转到
0x14	REG0x14_Precharge_and_Termination_Control	预充电和终止控制	转到
0x15	REG0x15_Timer_Control	计时器控制	转到
0x17	REG0x17_Charger_Control	充电器控制	转到
0x18	REG0x18_Pin_Control	引脚控制	转到
0x19	REG0x19_Power_Path_and_Reverse_Mode_Control	电源路径和反向模式控制	转到
0x1A	REG0x1A_Frequency_Dither_Control	频率抖动控制	转到
0x1B	REG0x1B_TS_Charging_Threshold_Control	TS 充电阈值控制	转到
0x1C	REG0x1C_TS_Charging_Region_Behavior_Control	TS 充电区域行为控制	转到
0x1D	REG0x1D_TS_Reverse_Mode_Threshold_Control	TS 反向模式阈值控制	转到
0x1E	REG0x1E_Reverse_Undervoltage_Control	反向欠压控制	转到
0x21	REG0x21_Charger_Status_1	充电器状态 1	转到
0x22	REG0x22_Charger_Status_2	充电器状态 2	转到
0x23	REG0x23_Charger_Status_3	充电器状态 3	转到
0x24	REG0x24_Fault_Status	故障状态	转到
0x25	REG0x25_Charger_Flag_1	充电器标志 1	转到
0x26	REG0x26_Charger_Flag_2	充电器标志 2	转到
0x27	REG0x27_Fault_Flag	故障标志	转到
0x28	REG0x28_Charger_Mask_1	充电器屏蔽 1	转到
0x29	REG0x29_Charger_Mask_2	充电器屏蔽 2	转到
0x2A	REG0x2A_Fault_Mask	故障屏蔽	转到
0x2B	REG0x2B_ADC_Control	ADC 控制	转到
0x2C	REG0x2C_ADC_Channel_Control	ADC 通道控制	转到
0x2D	REG0x2D_IAC_ADC	IAC ADC	转到
0x2F	REG0x2F_IBAT_ADC	IBAT ADC	转到
0x31	REG0x31_VAC_ADC	VAC ADC	转到
0x33	REG0x33_VBAT_ADC	VBAT ADC	转到
0x37	REG0x37_TS_ADC	TS ADC	转到

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-7. BQ25856-Q1 寄存器（续）

地址	首字母缩写词	寄存器名称	部分
0x39	REG0x39_VFB_ADC	VFB ADC	转到
0x3B	REG0x3B_Gate_Driver_Strength_Control	栅极驱动器强度控制	转到
0x3C	REG0x3C_Gate_Driver_Dead_Time_Control	栅极驱动器死区时间控制	转到
0x3D	REG0x3D_Part_Information	器件信息	转到
0x62	REG0x62_Reverse_Mode_Battery_Discharge_Current	反向模式电池放电电流	转到

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。表 7-8 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 7-8. BQ25856-Q1 访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
写入类型		
W	W	写入
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

7.5.1 REG0x00_Charge_Voltage_Limit 寄存器（地址 = 0x0）[复位 = 0x0010]

表 7-9 展示了 REG0x00_Charge_Voltage_Limit。

返回到汇总表。

I2C REG0x01=[15:8]，I2C REG0x00=[7:0]

表 7-9. REG0x00_Charge_Voltage_Limit 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:5	RESERVED	R	0x0		保留
4:0	VFB_REG	R/W	0x10	复位方式： REG_RESET	FB 电压调节限制： POR：1536mV (10h) 范围：1504mV-1566mV (0h-1Fh) 位步长：2mV 偏移：1504mV

7.5.2 REG0x02_Charge_Current_Limit 寄存器（地址 = 0x2）[复位 = 0x0640]

表 7-10 展示了 REG0x02_Charge_Current_Limit。

返回到汇总表。

I2C REG0x03=[15:8]，I2C REG0x02=[7:0]

表 7-10. REG0x02_Charge_Current_Limit 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:11	RESERVED	R	0x0		保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-10. REG0x02_Charge_Current_Limit 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	注释	说明
10:2	ICHG_REG	R/W	0x190	复位方式： REG_RESET 看门狗	使用 5mΩ RBAT_SNS 时的快速充电电流调节限制： 实际充电电流是 ICHG_REG 和 ICHG 引脚中的较低者 POR：20000mA (190h) 范围：400mA-20000mA (8h-190h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：50mA
1:0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.3 REG0x06_Input_Current_DPM_Limit 寄存器（地址 = 0x6）[复位 = 0x0640]

表 7-11 展示了 REG0x06_Input_Current_DPM_Limit。

返回到汇总表。

I2C REG0x07=[15:8]，I2C REG0x06=[7:0]

表 7-11. REG0x06_Input_Current_DPM_Limit 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:11	RESERVED	R	0x0		保留
10:2	IAC_DPM	R/W	0x190	复位方式： REG_RESET	使用 5mΩ RAC_SNS 时的输入电流 DPM 调节限制： 实际输入电流限制是 IAC_DPM 和 ILIM_HIZ 引脚中的较低者 POR：20000mA (190h) 范围：400mA-20000mA (8h-190h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：50mA
1:0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.4 REG0x08_Input_Voltage_DPM_Limit 寄存器（地址 = 0x8）[复位 = 0x0348]

表 7-12 展示了 REG0x08_Input_Voltage_DPM_Limit。

返回到汇总表。

I2C REG0x09=[15:8]，I2C REG0x08=[7:0]

表 7-12. REG0x08_Input_Voltage_DPM_Limit 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:14	RESERVED	R	0x0		保留
13:2	VAC_DPM	R/W	0xD2	复位方式： REG_RESET	输入电压调节限制： POR：4400mV (DCH) 范围：4400mV-65000mV (DCh-CB2h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：20mV
1:0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.5 REG0x0A_Reverse_Mode_Input_Current_Limit 寄存器（地址 = 0xA）[复位 = 0x0640]

表 7-13 展示了 REG0x0A_Reverse_Mode_Input_Current_Limit。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

返回到汇总表。

I2C REG0x0B=[15:8]，I2C REG0x0A=[7:0]

表 7-13. REG0x0A_Reverse_Mode_Input_Current_Limit 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:11	RESERVED	R	0x0		保留
10:2	IAC_REV	R/W	0x190	复位方式： REG_RESET	使用 5mΩ RAC_SNS 时反向模式下的输入电流调节： POR：20000mA (190h) 范围：400mA-20000mA (8h-190h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：50mA
1:0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.6 REG0x0C_Reverse_Mode_Input_Voltage_Limit 寄存器（地址 = 0xC）[复位 = 0x03E8]

表 7-14 展示了 REG0x0C_Reverse_Mode_Input_Voltage_Limit。

返回到汇总表。

I2C REG0x0D=[15:8]，I2C REG0x0C=[7:0]

表 7-14. REG0x0C_Reverse_Mode_Input_Voltage_Limit 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:14	RESERVED	R	0x0		保留
13:2	VAC_REV	R/W	0xFA	复位方式： REG_RESET	反向模式下的 VAC 电压调节： POR：5000mV (FAh) 范围：3300mV-65000mV (A5h-CB2h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：20mV
1:0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.7 REG0x10_Precharge_Current_Limit 寄存器（地址 = 0x10）[复位 = 0x0140]

表 7-15 展示了 REG0x10_Precharge_Current_Limit。

返回到汇总表。

I2C REG0x11=[15:8]，I2C REG0x10=[7:0]

表 7-15. REG0x10_Precharge_Current_Limit 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:10	RESERVED	R	0x0		保留
9:2	IPRECHG	R/W	0x50	实际预充电电流是 IPRECHG 和 ICHG 引脚中的较低者 复位方式： REG_RESET	使用 5mΩ RBAT_SNS 时的预充电电流调节限制： POR：4000mA (50h) 范围：250mA-10000mA (5h-C8h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：50mA
1:0	RESERVED	R	0x0		保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.8 REG0x12_Termination_Current_Limit 寄存器（地址 = 0x12）[复位 = 0x00A0]

表 7-16 展示了 REG0x12_Termination_Current_Limit。

返回到汇总表。

I2C REG0x13=[15:8]，I2C REG0x12=[7:0]

表 7-16. REG0x12_Termination_Current_Limit 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:10	RESERVED	R	0x0		保留
9:2	ITERM	R/W	0x28	实际终止电流是 ITERM 和 ICHG 引脚中的较低者（如果启用这两项功能） 复位方式： REG_RESET	使用 5mΩ RBAT_SNS 时的终止电流阈值： POR：2000mA (28h) 范围：250mA-10000mA (5h-C8h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：50mA
1:0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.9 REG0x14_Precharge_and_Termination_Control 寄存器（地址 = 0x14）[复位 = 0x0F]

表 7-17 展示了 REG0x14_Precharge_and_Termination_Control。

返回到汇总表。

表 7-17. REG0x14_Precharge_and_Termination_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:4	RESERVED	R	0x0		保留
3	EN_TERM	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	启用终止控制 0b = 禁用 1b = 启用
2:1	VBAT_LOWV	R/W	0x3	复位方式： REG_RESET	PRECHG 到 FASTCHG 转换的电池阈值，以 VFB_REG 的百分比表示： 00b = 30% x VFB_REG 01b = 55% x VFB_REG 10b = 66.7% x VFB_REG 11b = 71.4% x VFB_REG
0	EN_PRECHG	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	启用预充电和 BAT_SHORT 功能： 0b = 禁用 1b = 启用

7.5.10 REG0x15_Timer_Control 寄存器（地址 = 0x15）[复位 = 0x1D]

表 7-18 展示了 REG0x15_Timer_Control。

返回到汇总表。

表 7-18. REG0x15_Timer_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:6	TOPOFF_TMR	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	充电完成计时器控制： 00b = 禁用 01b = 15 分钟 10b = 30 分钟 11b = 45 分钟

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-18. REG0x15_Timer_Control 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	注释	说明
5:4	看门狗	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	看门狗计时器控制： 00b = 禁用 01b = 40s 10b = 80s 11b = 160s
3	EN_CHG_TMR	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET 看门狗	启用充电安全计时器： 0b = 禁用 1b = 启用
2:1	CHG_TMR	R/W	0x2	复位方式： REG_RESET	充电安全计时器设置： 00b = 5 小时 01b = 8 小时 10b = 12 小时 11b = 24 小时
0	EN_TMR2X	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	DPM 中的充电安全计时器速度： 0b = 计时器始终正常计数 1b = 输入 DPM 期间计时器速度减半

7.5.11 REG0x17_Charger_Control 寄存器（地址 = 0x17）[复位 = 0xC9]

表 7-19 展示了 REG0x17_Charger_Control。

返回到汇总表。

表 7-19. REG0x17_Charger_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:6	VRECHG	R/W	0x3	复位方式： REG_RESET	电池自动充电阈值，以 VFB_REG 的百分比表示： 00b = 93.0% x VFB_REG 01b = 94.3% x VFB_REG 10b = 95.2% x VFB_REG 11b = 97.6% x VFB_REG
5	WD_RST	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	I2C 看门狗计时器复位控制： 0b = 正常 1b = 复位（计时器复位后位恢复为 0）
4	DIS_CE_PIN	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	禁用 /CE 引脚功能： 0b = 启用 CE 引脚 1b = 禁用 CE 引脚
3	EN_CHG_BIT_RESET_BEHAVIOR	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	控制 WATCHDOG 到期时的 EN_CHG 位行为： 0b = EN_CHG 位复位为 0 1b = EN_CHG 位复位为 1
2	EN_HIZ	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗 适配器插入	启用高阻态模式： 0b = 禁用 1b = 启用
1	EN_IBAT_LOAD	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	启用电池负载 (IBAT_LOAD)： 将电流从 SRP 灌入 GND。建议在该位有效时禁用 IBAT ADC (IBAT_ADC_DIS = 1)。 0b = 禁用 1b = 启用

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-19. REG0x17_Charger_Control 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	注释	说明
0	EN_CHG	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET 看门狗	充电启用控制： 0b = 禁用 1b = 启用

7.5.12 REG0x18_Pin_Control 寄存器（地址 = 0x18）[复位 = 0xC0]

表 7-20 展示了 REG0x18_Pin_Control。

返回到汇总表。

表 7-20. REG0x18_Pin_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	EN_ICHG_PIN	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET 看门狗	启用 ICHG 引脚功能： 0b = 禁用 ICHG 引脚 1b = 启用 ICHG 引脚
6	EN_ILIM_HIZ_PIN	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET 看门狗	启用 ILIM_HIZ 引脚功能： 0b = 禁用 ILIM_HIZ 引脚 1b = 启用 ILIM_HIZ 引脚
5	DIS_PG_PIN	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	禁用 PG 引脚功能： 0b = 启用 PG 引脚 1b = 禁用 PG 引脚
4	DIS_STAT_PINS	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	禁用 STAT1、STAT2 引脚功能： 0b = 启用 STAT 引脚 1b = 禁用 STAT 引脚
3	FORCE_STAT4_ON	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	CE_STAT4 引脚覆盖： 仅当 DIS_CE_PIN = 1 时才能强制开启 0b = CE_STAT4 开漏关闭 1b = CE_STAT4 拉至低电平
2	FORCE_STAT3_ON	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	PG_STAT3 引脚覆盖： 仅当 DIS_PG_PIN = 1 时才可能强制开启 0b = PG_STAT3 开漏关闭 1b = PG_STAT3 拉至低电平
1	FORCE_STAT2_ON	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	STAT2 引脚覆盖： 仅当 DIS_STAT_PINS = 1 时才能强制开启 0b = STAT2 开漏关闭 1b = STAT2 拉至低电平
0	FORCE_STAT1_ON	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	STAT1 引脚覆盖： 仅当 DIS_STAT_PINS = 1 时才能强制开启 0b = STAT1 开漏关闭 1b = STAT1 拉至低电平

7.5.13 REG0x19_Power_Path_and_Reverse_Mode_Control 寄存器（地址 = 0x19）[复位 = 0x00]

表 7-21 展示了 REG0x19_Power_Path_and_Reverse_Mode_Control。

返回到汇总表。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-21. REG0x19_Power_Path_and_Reverse_Mode_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	REG_RST	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	寄存器复位为默认值： 0b = 不复位 1b = 复位（寄存器复位后位恢复为 0）
6	EN_IAC_LOAD	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	启用 VAC 负载 (IAC_LOAD)： 0b = 禁用 1b = 启用
5	EN_PFM	R/W	0x0	建议在 ITERM < 2A 时禁用 PFM 复位方式： REG_RESET	在轻负载下启用 PFM 模式： 请注意，在 FSW_SYNC 引脚上检测到有效的 SYNC 信号时，该位会复位。即使存在有效的 SYNC 输入，主机也可以将该位重新设置为 1 以强制实现 PFM 运行 0b = 禁用（FPWM 运行） 1b = 启用（PFM 运行）
4	RESERVED	R	0x0		保留
3	RESERVED	R	0x0		保留
2	RESERVED	R	0x0		保留
1	EN_AUTO_REV	R/W	0x0	要退出反向模式，建议清除 EN_AUTO_REV 和 EN_REV 位 复位方式： REG_RESET 看门狗	当 VBAT < VSYS_REV 寄存器时启用自动反向模式来调节 SYS： 0b = 禁用自动反向 1b = 启用自动反向
0	EN_REV	R/W	0x0	要退出反向模式，建议清除 EN_AUTO_REV 和 EN_REV 位 复位方式： REG_RESET 看门狗 适配器插入	反向模式控制： 0b = 禁用 1b = 启用

7.5.14 REG0x1A_Frequency_Dither_Control 寄存器（地址 = 0x1A）[复位 = 0x20]

表 7-22 展示了 REG0x1A_Frequency_Dither_Control。

返回到汇总表。

表 7-22. REG0x1A_Frequency_Dither_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:5	RESERVED	R	0x1		保留
4:3	EN_DITHER	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	频率抖动配置 00b = 禁用 01b = 1X 10b = 2X 11b = 3X
2:1	RESERVED	R	0x0		保留
0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.15 REG0x1B_TS_Charging_Threshold_Control 寄存器（地址 = 0x1B）[复位 = 0x96]

表 7-23 展示了 REG0x1B_TS_Charging_Threshold_Control。

返回到汇总表。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-23. REG0x1B_TS_Charging_Threshold_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:6	TS_T5	R/W	0x2	复位方式： REG_RESET	TS T5（热）阈值控制： 00b = 41.2% (50C) 01b = 37.7% (55C) 10b = 34.375% (60C) 11b = 31.25% (65C)
5:4	TS_T3	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	JEITA TS T3（温）阈值控制： 00b = 48.4% (40C) 01b = 44.8% (45C) 10b = 41.2% (50C) 11b = 37.7% (55C)
3:2	TS_T2	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	JEITA TS T2（凉）阈值控制： 00b = 71.1% (5C) 01b = 68.4% (10C) 10b = 65.5% (15C) 11b = 62.4% (20C)
1:0	TS_T1	R/W	0x2	复位方式： REG_RESET	TS T1（冷）阈值控制： 00b = 77.15% (-10C) 01b = 75.32% (-5C) 10b = 73.25% (0C) 11b = 71.1% (5C)

7.5.16 REG0x1C_TS_Charging_Region_Behavior_Control 寄存器（地址 = 0x1C）[复位 = 0x57]

表 7-24 展示了 REG0x1C_TS_Charging_Region_Behavior_Control。

返回到汇总表。

表 7-24. REG0x1C_TS_Charging_Region_Behavior_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	RESERVED	R	0x0		保留
6:5	JEITA_VSET	R/W	0x2	复位方式： REG_RESET	JEITA 温 (T3 < TS < T5) 调节电压设置，以 VFB_REG 的百分比表示： 00b = 充电暂停 01b = 94.3% x VFB_REG 10b = 97.6% x VFB_REG 11b = 100% x VFB_REG
4	JEITA_ISETH	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	JEITA 温 (T3 < TS < T5) 调节电流设置，以 ICHG_REG 的百分比表示： 0b = 40% x ICHG_REG 1b = 100% x ICHG_REG
3:2	JEITA_ISETC	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	JEITA 凉 (T1 < TS < T2) 调节电流设置，以 ICHG_REG 的百分比表示： 00b = 充电暂停 01b = 20% x ICHG_REG 10b = 40% x ICHG_REG 11b = 100% x ICHG_REG
1	EN_JEITA	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	JEITA 曲线控制： 0b = 禁用（仅冷/热控制） 1b = 启用（冷/凉/温/热控制）

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-24. REG0x1C_TS_Charging_Region_Behavior_Control 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	注释	说明
0	EN_TS	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	TS 引脚功能控制（适用于正向充电和反向放电模式）： 0b = 禁用（忽略 TS 引脚） 1b = 启用

7.5.17 REG0x1D_TS_Reverse_Mode_Threshold_Control 寄存器（地址 = 0x1D）[复位 = 0x40]

表 7-25 展示了 REG0x1D_TS_Reverse_Mode_Threshold_Control。

返回到汇总表。

表 7-25. REG0x1D_TS_Reverse_Mode_Threshold_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:6	BHOT	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	反向模式 TS 热温度阈值控制： 00b = 37.7% (55C) 01b = 34.2% (60C) 10b = 31.25% (65C) 11b = 禁用
5	BCOLD	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	反向模式 TS 冷温度阈值控制： 0b = 77.15% (-10C) 1b = 80% (-20C)
4:0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.18 REG0x1E_Reverse_Undervoltage_Control 寄存器（地址 = 0x1E）[复位 = 0x00]

表 7-26 展示了 REG0x1E_Reverse_Undervoltage_Control。

返回到汇总表。

表 7-26. REG0x1E_Reverse_Undervoltage_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	RESERVED	R	0x0		保留
6	RESERVED	R	0x0		保留
5	SYSREV_UV	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	反向模式系统 UVP： 0b = VSYS_REV 目标的 80% 1b = 固定为 3.3V
4	RESERVED	R	0x0		保留
3	RESERVED	R	0x0		保留
2	RESERVED	R	0x0		保留
1	RESERVED	R	0x0		保留
0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.19 REG0x21_Charger_Status_1 寄存器（地址 = 0x21）[复位 = 0x08]

表 7-27 展示了 REG0x21_Charger_Status_1。

返回到汇总表。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-27. REG0x21_Charger_Status_1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	ADC_DONE_STAT	R	0x0		ADC 转换状态（仅限单次触发模式）： 0b = 转换未完成 1b = 转换完成
6	IAC_DPM_STAT	R	0x0		输入电流调节状态： 0b = 正常 1b = 处于输入电流调节状态（ILIM 引脚或 IAC_DPM）
5	VAC_DPM_STAT	R	0x0		输入电压调节状态： 0b = 正常 1b = 处于输入电压调节状态（VAC_DPM 或 VSYS_REV）
4	RESERVED	R	0x0		保留
3	WD_STAT	R	0x1		I2C 看门狗计时器状态： 0b = 正常 1b = WD 计时器到期
2:0	CHARGE_STAT	R	0x0		充电周期状态： 000b = 未充电 001b = 涓流充电 (VBAT < VBAT_SHORT) 010b = 预充电 (VBAT < VBAT_LOWV) 011b = 快速充电（CC 模式） 100b = 恒压充电（CV 模式） 101b = 浮充电 110b = 充电完成计时器充电 111b = 充电终止完成

7.5.20 REG0x22_Charger_Status_2 寄存器（地址 = 0x22）[复位 = 0x00]

表 7-28 展示了 REG0x22_Charger_Status_2。

返回到汇总表。

表 7-28. REG0x22_Charger_Status_2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	PG_STAT	R	0x0		输入电源正常状态： 0b = 电源不正常 1b = 电源正常
6:4	TS_STAT	R	0x0		TS（电池 NTC）状态： 000b = 正常 001b = TS 温 010b = TS 凉 011b = TS 冷 100b = TS 热
3:0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.21 REG0x23_Charger_Status_3 寄存器（地址 = 0x23）[复位 = 0x00]

表 7-29 展示了 REG0x23_Charger_Status_3。

返回到汇总表。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-29. REG0x23_Charger_Status_3 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:6	RESERVED	R	0x0		保留
5:4	FSW_SYNC_STAT	R	0x0		FSW_SYNC 引脚状态： 00b = 正常，未检测到外部时钟 01b = 检测到有效的外部时钟 10b = 引脚故障（频率超出范围） 11b = 保留
2	REVERSE_STAT	R	0x0		转换器反向模式状态： 0b = 反向模式关闭 1b = 反向模式开启
1	RESERVED	R	0x0		保留
0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.22 REG0x24_Fault_Status 寄存器（地址 = 0x24）[复位 = 0x00]

表 7-30 展示了 REG0x24_Fault_Status。

返回到汇总表。

表 7-30. REG0x24_Fault_Status 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	VAC_UV_STAT	R	0x0		输入欠压状态： 0b = 输入正常 1b = 器件处于输入欠压保护状态
6	VAC_OV_STAT	R	0x0		输入过压状态： 0b = 输入正常 1b = 器件处于输入过压保护状态
5	IBAT_OCP_STAT	R	0x0		电池过流状态： 0b = 电池电流正常 1b = 检测到电池过流
4	VBAT_OV_STAT	R	0x0		电池过压状态： 0b = 正常 1b = 器件处于电池过压保护状态
3	TSHUT_STAT	R	0x0		热关断状态： 0b = 正常 1b = 器件处于热关断保护状态
2	CHG_TMR_STAT	R	0x0		充电安全计时器状态： 0b = 正常 1b = 充电安全计时器到期
1	DRV_OKZ_STAT	R	0x0	在禁用 ADC 的仅电池模式下，该位始终为“1”	DRV_SUP 引脚电压状态： 0b = 正常 1b = DRV_SUP 引脚电压超出有效范围
0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.23 REG0x25_Charger_Flag_1 寄存器（地址 = 0x25）[复位 = 0x08]

表 7-31 展示了 REG0x25_Charger_Flag_1。

返回到汇总表。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-31. REG0x25_Charger_Flag_1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	ADC_DONE_FLAG	R	0x0		ADC 转换 INT 标志（仅限单次触发模式）： 注意：在连续模式下始终为 0 访问：R (ClearOnRead) 0b = 转换未完成 1b = 转换完成
6	IAC_DPM_FLAG	R	0x0		输入电流调节 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 器件进入输入电流调节状态
5	VAC_DPM_FLAG	R	0x0		输入电压调节 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 器件进入输入电压调节状态
4	RESERVED	R	0x0		保留
3	WD_FLAG	R	0x1		I2C 看门狗计时器 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 检测到 WD_STAT 上升沿
2	RESERVED	R	0x0		保留
0	CHARGE_FLAG	R	0x0		充电周期 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 未充电 1b = CHARGE_STAT[2:0] 位已更改（转换至任何状态）

7.5.24 REG0x26_Charger_Flag_2 寄存器（地址 = 0x26）[复位 = 0x00]

表 7-32 展示了 REG0x26_Charger_Flag_2。

返回到汇总表。

表 7-32. REG0x26_Charger_Flag_2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	PG_FLAG	R	0x0		输入电源正常 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 检测到 PG 信号切换
6	RESERVED	R	0x0		保留
5	RESERVED	R	0x0		保留
4	TS_FLAG	R	0x0		TS（电池 NTC）INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = TS_STAT[2:0] 位已更改（转换至任何状态）
3	REVERSE_FLAG	R	0x0		反向模式 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 检测到反向模式切换
2	RESERVED	R	0x0		保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-32. REG0x26_Charger_Flag_2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	注释	说明
1	FSW_SYNC_FLAG	R	0x0		FSW_SYNC 引脚信号 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = FSW_SYNC 状态已更改
0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.25 REG0x27_Fault_Flag 寄存器（地址 = 0x27）[复位 = 0x00]

表 7-33 展示了 REG0x27_Fault_Flag。

返回到汇总表。

表 7-33. REG0x27_Fault_Flag 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	VAC_UV_FLAG	R	0x0		输入欠压 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 进入输入欠压故障状态
6	VAC_OV_FLAG	R	0x0		输入过压 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 进入输入过压故障状态
5	IBAT_OCP_FLAG	R	0x0		电池过流 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 进入电池过流故障状态
4	VBAT_OV_FLAG	R	0x0		电池过压 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 进入电池过压故障状态
3	TSHUT_FLAG	R	0x0		热关断 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 进入 TSHUT 故障状态
2	CHG_TMR_FLAG	R	0x0		充电安全计时器 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 检测到充电安全计时器到期上升沿
1	DRV_OKZ_FLAG	R	0x0		DRV_SUP 引脚电压 INT 标志： 访问：R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 检测到 DRV_SUP 引脚故障
0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.26 REG0x28_Charger_Mask_1 寄存器（地址 = 0x28）[复位 = 0x00]

表 7-34 展示了 REG0x28_Charger_Mask_1。

返回到汇总表。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-34. REG0x28_Charger_Mask_1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	ADC_DONE_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	ADC 转换 INT 屏蔽（仅限单次触发模式）： 0b = ADC_DONE 生成 INT 脉冲 1b = ADC_DONE 不生成 INT 脉冲
6	IAC_DPM_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	输入电流调节 INT 屏蔽： 0b = IAC_DPM_FLAG 产生 INT 脉冲 1b = IAC_DPM_FLAG 不产生 INT 脉冲
5	VAC_DPM_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	输入电压调节 INT 屏蔽： 0b = VAC_DPM_FLAG 产生 INT 脉冲 1b = VAC_DPM_FLAG 不产生 INT 脉冲
4	RESERVED	R	0x0		保留
3	WD_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	I2C 看门狗计时器 INT 屏蔽： 0b = WD 到期产生 INT 脉冲 1b = WD 到期不产生 INT 脉冲
2	RESERVED	R	0x0		保留
0	CHARGE_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	充电周期 INT 屏蔽： 0b = CHARGE_STAT 变化产生 INT 脉冲 1b = CHARGE_STAT 变化不产生 INT 脉冲

7.5.27 REG0x29_Charger_Mask_2 寄存器（地址 = 0x29）[复位 = 0x00]

表 7-35 展示了 REG0x29_Charger_Mask_2。

返回到汇总表。

表 7-35. REG0x29_Charger_Mask_2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	PG_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	输入电源正常 INT 屏蔽： 0b = PG 切换产生 INT 脉冲 1b = PG 切换不产生 INT 脉冲
6	RESERVED	R	0x0		保留
5	RESERVED	R	0x0		保留
4	TS_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	TS（电池 NTC）INT 屏蔽： 0b = TS_STAT 变化产生 INT 脉冲 1b = TS_STAT 变化不产生 INT 脉冲
3	REVERSE_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	反向模式 INT 屏蔽： 0b = REVERSE_STAT 切换产生 INT 脉冲 1b = REVERSE_STAT 切换不产生 INT 脉冲
2	RESERVED	R	0x0		保留
1	FSW_SYNC_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	FSW_SYNC 引脚信号 INT 屏蔽： 0b = FSW_SYNC 状态变化产生 INT 脉冲 1b = FSW_SYNC 状态变化不产生 INT 脉冲
0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.28 REG0x2A_Fault_Mask 寄存器（地址 = 0x2A）[复位 = 0x00]

表 7-36 展示了 REG0x2A_Fault_Mask。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

返回到汇总表。

表 7-36. REG0x2A_Fault_Mask 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	VAC_UV_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	输入欠压 INT 屏蔽： 0b = 输入欠压事件产生 INT 脉冲 1b = 输入欠压事件不产生 INT 脉冲
6	VAC_OV_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	输入过压 INT 屏蔽： 0b = 输入过压事件产生 INT 脉冲 1b = 输入过压事件不产生 INT 脉冲
5	IBAT_OCP_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	电池过流 INT 屏蔽： 0b = 电池过流事件产生 INT 脉冲 1b = 电池过流事件不产生 INT 脉冲
4	VBAT_OV_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	电池过压 INT 屏蔽： 0b = 电池过压事件产生 INT 脉冲 1b = 电池过压事件不产生 INT 脉冲
3	TSHUT_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	热关断 INT 屏蔽： 0b = TSHUT 事件产生 INT 脉冲 1b = TSHUT 事件不产生 INT 脉冲
2	CHG_TMR_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	充电安全计时器 INT 屏蔽： 0b = 计时器到期上升沿产生 INT 脉冲 1b = 计时器到期上升沿不产生 INT 脉冲
1	DRV_OKZ_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	DRV_SUP 引脚电压 INT 屏蔽： 0b = DRV_SUP 引脚故障产生 INT 脉冲 1b = DRV_SUP 引脚故障不产生 INT 脉冲
0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.29 REG0x2B_ADC_Control 寄存器（地址 = 0x2B）[复位 = 0x60]

表 7-37 展示了 REG0x2B_ADC_Control。

返回到汇总表。

表 7-37. REG0x2B_ADC_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	ADC_EN	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	ADC 控制： 0b = 禁用 ADC 1b = 启用 ADC
6	ADC_RATE	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	ADC 转换率控制： 0b = 连续转换 1b = 单次转换
5:4	ADC_SAMPLE	R/W	0x2	复位方式： REG_RESET	ADC 采样速度： 00b = 15 位有效分辨率 01b = 14 位有效分辨率 10b = 13 位有效分辨率 11b = 保留
3	ADC_AVG	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	ADC 平均值控制： 0b = 单个值 1b = 运行平均值

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-37. REG0x2B_ADC_Control 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	注释	说明
2	ADC_AVG_INIT	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	ADC 平均初始值控制： 0b = 使用现有寄存器值开始计算平均值 1b = 使用新的 ADC 转换开始计算平均值
1:0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.30 REG0x2C_ADC_Channel_Control 寄存器（地址 = 0x2C）[复位 = 0x0A]

表 7-38 展示了 REG0x2C_ADC_Channel_Control。

返回到汇总表。

表 7-38. REG0x2C_ADC_Channel_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	IAC_ADC_DIS	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	IAC ADC 控制 0b = 启用 1b = 禁用
6	IBAT_ADC_DIS	R/W	0x0	建议在 EN_IBAT_LOAD 位为 1 时禁用 IBAT ADC 通道 复位方式： REG_RESET	IBAT ADC 控制 0b = 启用 1b = 禁用
5	VAC_ADC_DIS	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	VAC ADC 控制 0b = 启用 1b = 禁用
4	VBAT_ADC_DIS	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	VBAT ADC 控制 0b = 启用 1b = 禁用
3	RESERVED	R	0x1		保留
2	TS_ADC_DIS	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	TS ADC 控制 0b = 启用 1b = 禁用
1	VFB_ADC_DIS	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	VFB ADC 控制 建议在启用充电时禁用该通道 0b = 启用 1b = 禁用
0	RESERVED	R	0x0		保留

7.5.31 REG0x2D_IAC_ADC 寄存器（地址 = 0x2D）[复位 = 0x0000]

表 7-39 展示了 REG0x2D_IAC_ADC。

返回到汇总表。

I2C REG0x2E=[15:8]，I2C REG0x2D=[7:0]

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-39. REG0x2D_IAC_ADC 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:0	IAC_ADC	R	0x0		使用 5mΩ RAC_SNS 时的 IAC ADC 读数： 报告为二进制补码 POR：0mA (0h) 格式：二进制补码 范围：-20000mA - 20000mA (9E58h-61A8h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位阶跃：0.8mA

7.5.32 REG0x2F_IBAT_ADC 寄存器（地址 = 0x2F）[复位 = 0x0000]

表 7-40 展示了 REG0x2F_IBAT_ADC。

返回到汇总表。

I2C REG0x30=[15:8]，I2C REG0x2F=[7:0]

表 7-40. REG0x2F_IBAT_ADC 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:0	IBAT_ADC	R	0x0		使用 5mΩ RBAT_SNS 时的 IBAT ADC 读数： 报告为二进制补码 POR：0mA (0h) 格式：二进制补码 范围：-20000mA-20000mA (D8F0h-2710h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位阶跃：2mA

7.5.33 REG0x31_VAC_ADC 寄存器（地址 = 0x31）[复位 = 0x0000]

表 7-41 展示了 REG0x31_VAC_ADC。

返回到汇总表。

I2C REG0x32=[15:8]，I2C REG0x31=[7:0]

表 7-41. REG0x31_VAC_ADC 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:0	VAC_ADC	R	0x0		VAC ADC 读数： 报告为无符号整数 POR：0mV (0h) 格式：二进制补码 范围：0mV-65534mV (0h-7FFFh) 钳位至低电平 位步长：2mV

7.5.34 REG0x33_VBAT_ADC 寄存器（地址 = 0x33）[复位 = 0x0000]

表 7-42 展示了 REG0x33_VBAT_ADC。

返回到汇总表。

I2C REG0x34=[15:8]，I2C REG0x33=[7:0]

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-42. REG0x33_VBAT_ADC 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:0	VBAT_ADC	R	0x0		VBAT ADC 读数： 报告为无符号整数 POR：0mV (0h) 格式：二进制补码 范围：0mV-65534mV (0h-7FFFh) 钳位至低电平 位步长：2mV

7.5.35 REG0x37_TS_ADC 寄存器（地址 = 0x37）[复位 = 0x0000]

表 7-43 展示了 REG0x37_TS_ADC。

返回到汇总表。

I2C REG0x38=[15:8]，I2C REG0x37=[7:0]

表 7-43. REG0x37_TS_ADC 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:0	TS_ADC	R	0x0		以 REGN 的百分比表示的 TS ADC 读数： 报告为无符号整数 POR：0%(0h) 格式：二进制补码 范围：0% - 99.90234375% (0h-3FFh) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：0.09765625%

7.5.36 REG0x39_VFB_ADC 寄存器（地址 = 0x39）[复位 = 0x0000]

表 7-44 展示了 REG0x39_VFB_ADC。

返回到汇总表。

I2C REG0x3A=[15:8]，I2C REG0x39=[7:0]

表 7-44. REG0x39_VFB_ADC 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:0	VFB_ADC	R	0x0		VFB ADC 读数： POR：0mV (0h) 格式：二进制补码 范围：0mV-2047mV (0h-7FFh) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：1mV

7.5.37 REG0x3B_Gate_Driver_Strength_Control 寄存器（地址 = 0x3B）[复位 = 0x00]

表 7-45 展示了 REG0x3B_Gate_Driver_Strength_Control。

返回到汇总表。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-45. REG0x3B_Gate_Driver_Strength_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:6	BOOST_HS_DRV	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	升压高侧 FET 栅极驱动器强度： 00b = 最快 01b = 较快 10b = 较慢 11b = 最慢
5:4	BUCK_HS_DRV	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	降压高侧 FET 栅极驱动器强度： 00b = 最快 01b = 较快 10b = 较慢 11b = 最慢
3:2	BOOST_LS_DRV	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	升压低侧 FET 栅极驱动器强度： 00b = 最快 01b = 较快 10b = 较慢 11b = 最慢
1:0	BUCK_LS_DRV	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	降压低侧 FET 栅极驱动器强度： 00b = 最快 01b = 较快 10b = 较慢 11b = 最慢

7.5.38 REG0x3C_Gate_Driver_Dead_Time_Control 寄存器（地址 = 0x3C）[复位 = 0x00]

表 7-46 展示了 REG0x3C_Gate_Driver_Dead_Time_Control。

返回到汇总表。

表 7-46. REG0x3C_Gate_Driver_Dead_Time_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:4	RESERVED	R	0x0		保留
3:2	BOOST_DEAD_TIME	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	升压侧 FET 死区时间控制： 00b = 45ns 01b = 75ns 10b = 105ns 11b = 135ns
1:0	BUCK_DEAD_TIME	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	降压侧 FET 死区时间控制： 00b = 45ns 01b = 75ns 10b = 105ns 11b = 135ns

7.5.39 REG0x3D_Part_Information 寄存器（地址 = 0x3D）[复位 = 0x00]

表 7-47 展示了 REG0x3D_Part_Information。

返回到汇总表。

表 7-47. REG0x3D_Part_Information 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:6	RESERVED	R	0x0		保留
5:3	PART_NUM	R	0x0		器件型号： 000 - BQ25856-Q1

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-47. REG0x3D_Part_Information 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	注释	说明
2:0	DEV_REV	R	0x0		器件修订版本：

7.5.40 REG0x62_Reverse_Mode_Battery_Discharge_Current 寄存器（地址 = 0x62）[复位 = 0x02]

表 7-48 展示了 REG0x62_Reverse_Mode_Battery_Discharge_Current。

返回到汇总表。

表 7-48. REG0x62_Reverse_Mode_Battery_Discharge_Current 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:6	IBAT_REV	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	反向模式电池放电电流限制： 00b = 20A 01b = 15A 10b = 10A 11b = 5A
5:2	RESERVED	R	0x0		保留
1	EN_CONV_FAST_TRANSIENT	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	0b = 禁用 1b = 启用
0	RESERVED	R	0x0		保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8 应用和实施

备注

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

8.1 应用信息

8.2 典型应用

8.2.1 典型应用

该器件可配置为双向降压/升压充电控制器。双向性允许电池充电并在反向模式下为输入供电。图 8-1 显示了使用该器件作为双向电池充电器时的典型原理图，其中输入电压为 48V，输出电压为 50.4V。功率流的充电参数和方向可通过 I²C 寄存器进行编程。

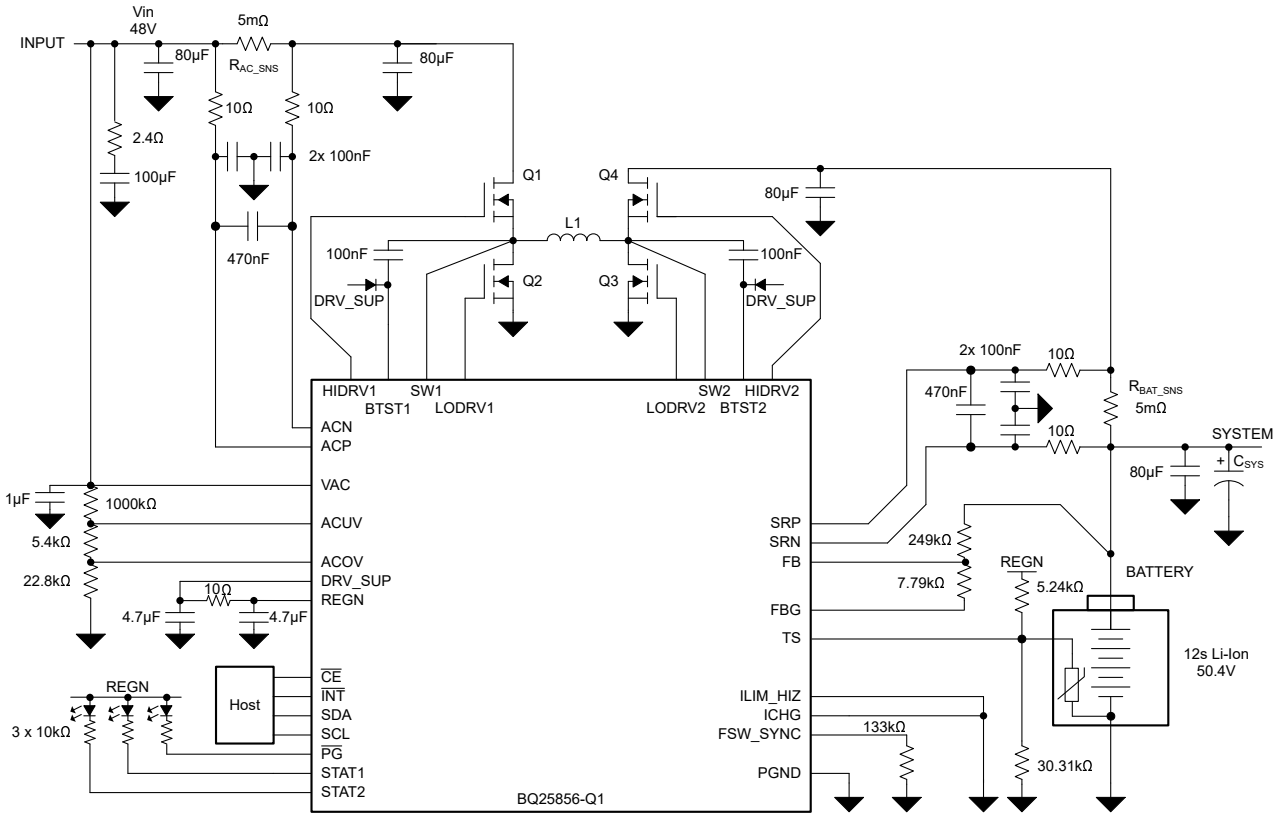


图 8-1. BQ25856-Q1：通过 48V 输入双向充电，为 12 节锂离子汽车电池充电

表 8-1. 建议的器件型号：

元件	值	建议的器件型号
Q1、Q2、Q3、Q4	80V，30mΩ	IAUZ20N08S5L300ATMA1
L1	10µH，23mΩ	SRP1050WA-100M

8.2.1.1 设计要求

本设计示例使用下表中显示的参数。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 8-2. 设计参数

参数	值
输入电压工作范围 (V_{AC})	48V
输入电流限制 (I_{AC})	5A
输出电流额定值 (I_{OUT})	5A
电池充电电压 (V_{BAT_REG})	50.4V
开关频率	250kHz

8.2.1.2 详细设计过程

8.2.1.2.1 ACUV/ACOV 输入电压运行窗口编程

输入电压运行窗口通过 ACUV/ACOV 窗口以及连接在 VAC 和 GND 之间的电阻分压器进行编程。顶部电阻器 RAC1 通常选择为 1,000kΩ，以更大限度地减小输入电压漏电流。假设欠压和过压保护所需的跳闸点被标记为 V_{VACUVP} 和 V_{VACOVP}，则可以通过以下公式来计算所需的电阻分压器。

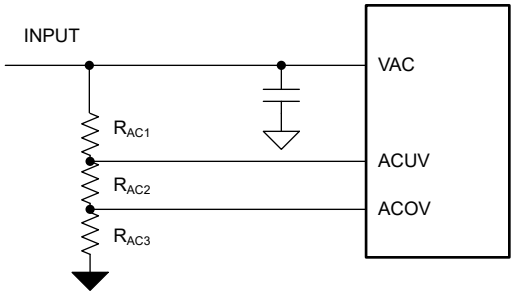


图 8-2. ACUV 和 ACOV 电阻分压器

$$V_{VACOVP} = \frac{1.2V(1{,}000k\Omega + R_{AC2} + R_{AC3})}{R_{AC3}} \quad (8)$$

$$V_{VACUVP} = \frac{1.1V(1{,}000k\Omega + R_{AC2} + R_{AC3})}{R_{AC2} + R_{AC3}} \quad (9)$$

对于 4.4V 至 60V 的默认器件运行窗口，ACUV 可以被直接上拉至 VAC，而 ACOV 可以被直接拉至 GND。

8.2.1.2.2 充电电压选择

使用连接到 FB 引脚的电阻分压器对电池调节电压进行编程。默认内部电压基准为 1.536V，可以通过 VFB_REG 寄存器位进行更改。电阻分压器的顶部选择为 249kΩ。

R_{TOP} = 249 kΩ

可以通过以下公式来计算底部电阻器：

$$R_{BOT} = R_{TOP} \times \frac{V_{FB}}{V_{BATREG} - V_{FB}} - R_{FBG} \quad (10)$$

其中

- V_{FB} 是通过 I^2C 编程的目标反馈电压（默认为 1.536V），
- V_{BATREG} 是所需的电池调节目标值（在本例中为 50.4V）
- R_{FBG} 是内部 FBG 下拉电阻器 (33Ω)

R_{FB_BOT} = 7.79kΩ。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

选择最接近的 0.1% 电阻器阻值，可得出 R_{FB_BOT} = 7.79kΩ，标称充电电压为 50.4V。通过改变内部反馈基准可以实现调节电压的进一步微调。例如，如果很难获得精确的电阻器，为了使用所选电阻分压器将调节电压准确地设置为 50.4V，可以通过 VFB_REG 更改内部电压基准。

建议使用精度为 0.1% 的电阻器来更大限度地提高充电电压精度。

8.2.1.2.3 开关频率选择

通过连接在 FSW_SYNC 引脚和 PGND 之间的电阻器来设置开关频率。可以使用方程式 3 或表 7-2 来计算设置目标频率所需的 RFSW 电阻器。选择了 133kΩ 的 0.1% 标准电阻器来设置 f_{SW} = 250kHz。

8.2.1.2.4 电感器选型

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电感器电流 (I_L) 加上一半的纹波电流 (I_{RIPPLE})：

$$I_{SAT} \geq I_L + \frac{1}{2} I_{RIPPLE} \tag{11}$$

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

$$I_{RIPPLE_BUCK} = \frac{V_{AC} \times D_{BUCK} \times (1 - D_{BUCK})}{f_{SW} \times L} \tag{12}$$

在升压运行期间，占空比为：D_{BOOST} = 1 – (V_{AC}/V_{BAT})。电感器纹波电流为：

$$I_{RIPPLE_BOOST} = \frac{V_{AC} \times D_{BOOST}}{f_{SW} \times L} \tag{13}$$

最大电感器纹波电流发生在 D = 0.5 或接近 0.5 时。如果适用，应对正向和反向运行模式的纹波计算进行分析。

通常，电感器纹波的设计范围为 (20 – 40%) 最大电感器电流（采用正向或反向模式），这是实际设计中电感器尺寸和效率之间的折衷。

8.2.1.2.5 输入 (VAC) 电容器

输入电容器应具有足够的纹波电流等级以吸收输入开关纹波电流。当正向降压模式或反向升压模式下的占空比为 0.5 时，最坏情况下的 RMS 纹波电流为输出的一半。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 14 估算得出：

$$I_{CIN} = I_{CHG} \times \sqrt{D \times (1 - D)} \tag{14}$$

应使用陶瓷电容器和大容量电容器的组合来为高 di/dt 电流提供短路径并降低电压纹波。陶瓷电容器应靠近开关半桥放置。考虑到总大容量输入电容，建议在 R_{AC_SNS} 的任一侧均匀分布。完整的原理图是处理典型应用中的输入电容器的良好起点。

8.2.1.2.6 输出 (VBAT) 电容器

在正向升压模式或反向降压模式下，输出电容器会传导高纹波电流。输出电容器 RMS 纹波电流由下式给出，其中最小 VAC 对应于最大电容器电流。

$$I_{CBAT} = I_{BAT} \sqrt{\frac{V_{BAT}}{V_{AC}} - 1} \tag{15}$$

5mΩ 输出电容器 ESR 会产生 74mV 的输出电压纹波，如下所示：

$$\Delta V_{RIPPLE(ESR)} = I_{BAT} \times \frac{V_{BAT}}{V_{AC,min}} \times ESR \tag{16}$$

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

140 µF 输出电容器会产生 66mV 的电容纹波电压，如下所示：

$$\Delta V_{RIPPLE(CBAT)} = I_{BAT} \times \frac{\left(1 - \frac{V_{AC,min}}{V_{BAT}}\right)}{C_{BAT} \times f_{SW}} \quad (17)$$

应使用陶瓷电容器和大容量电容器的组合来提供低 ESR 和高纹波电流容量。陶瓷电容器应靠近开关半桥放置。考虑到总大容量输出电容，建议在 R_{BAT_SNS} 的任一侧均匀分布。完整的原理图是处理典型应用中的 C_{BAT} 的良好起点。

8.2.1.2.7 检测电阻（R_{AC_SNS} 和 R_{BAT_SNS}）和电流编程

SRP 和 SRN 之间的电池电流检测电阻固定为 5mΩ；不建议使用不同的值。ACP 和 ACN 之间的输入电流检测电阻通常为 5mΩ，但可以在 2mΩ 到 10mΩ 之间变化。在 USB-PD EPR 应用中，建议使用 5mΩ 检测电阻以实现步长为 50mA 的可编程性。此外，如果不需要输入电流限制功能，则可以将 ACP 和 ACN 短接在一起。对于这两个检测电阻，建议使用滤波器网络，如典型应用中所示。

对于输入电流和输出电流，可以分别使用 I²C 接口或 ILIM_HIZ 和 ICHG 引脚上的外部编程电阻器对限制进行编程。

参数	公式	值
输入电流硬件限制	未使用	将 ILIM_HIZ 引脚拉至 GND
输入电流软件限制	未使用	REG06 = 0x00A0 (5A)
输出电流硬件限制	未使用	将 ICHG 引脚拉至 GND
输出电流软件限制	ICHG = 5A	REG02 = 0x0190 (5A)

默认输入检测电阻 (R_{AC_SNS}) 为 5mΩ，寄存器允许高达 20A 的输入电流限制。

8.2.1.2.8 功率 MOSFET 选择

四个外部 N 沟道 MOSFET 用于同步开关降压/升压电池充电器。栅极驱动器集成到具有 5V 栅极驱动电压的 IC 中。可将外部栅极驱动电压直接提供至 DRV_SUP 引脚，以提高效率。

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。

$$FOM_{top} = R_{DS(on)} \cdot Q_{GD};\ FOM_{bottom} = R_{DS(on)} \cdot Q_G \quad (18)$$

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。以降压模式运行为例，功率损耗是占空比 ($D=V_{OUT}/V_{IN}$)、充电电流 (I_{CHG})、MOSFET 导通电阻 ($R_{DS(ON)_top}$)、输入电压 (V_{IN})、开关频率 (f_S)、开通时间 (t_{on}) 和关断时间 (t_{off}) 的函数：

$$P_{top} = P_{con_top} + P_{sw_top} \quad (19)$$

$$P_{con_top} = D \cdot I_{L_RMS}^{2} \cdot R_{DS(on)_top}; \quad (20)$$

$$I_{L_RMS}^{2} = I_{L_DC}^{2} + I_{ripple}^{2}/12 \quad (21)$$

- I_{L_DC} 平均电感器直流电流；
- I_{ripple} 是电感器电流纹波峰峰值；

$$P_{sw_top} = P_{IV_top} + P_{Qoss_top} + P_{Gate_top}; \quad (22)$$

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

第一项 P_{con_top} 表示直接的导通损耗。第二项 P_{sw_top} 表示顶部 MOSFET 中的多个开关损耗项，包括电压和电流重叠损耗 (P_{IV_top})、MOSFET 寄生输出电容损耗 (P_{Qoss_top}) 和栅极驱动损耗 (P_{Gate_top})。计算电压和电流重叠损耗 (P_{IV_top})：

$$P_{IV_top} = 0.5 \times V_{IN} \cdot I_{valley} \cdot t_{on} \cdot f_S + 0.5 \times V_{IN} \cdot I_{peak} \cdot t_{off} \cdot f_S \quad (23)$$

$$I_{valley} = I_{L_DC} - 0.5 \cdot I_{ripple} \text{ (inductor current valley value)}; \quad (24)$$

$$I_{peak} = I_{L_DC} + 0.5 \cdot I_{ripple} \text{ (inductor current peak value)}; \quad (25)$$

- t_{on} 是 MOSFET 开通时间，即 V_{DS} 从 V_{IN} 到几乎为零的下降时间（MOSFET 开启导通电压）；
- t_{off} 是 MOSFET 关断时间，即 I_{DS} 从 I_{peak} 到零的下降时间；

MOSFET 导通时间和关断时间的计算公式如下：

$$t_{on} = \frac{Q_{SW}}{I_{on}}, \quad t_{off} = \frac{Q_{SW}}{I_{off}} \quad (26)$$

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：

$$Q_{sw} = Q_{GD} + Q_{GS} \quad (27)$$

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：

$$I_{on} = \frac{V_{REGN} - V_{plt}}{R_{on}}, \quad I_{off} = \frac{V_{plt}}{R_{off}} \quad (28)$$

计算顶部 MOSFET 寄生输出电容损耗 (P_{Qoss_top})：

$$P_{Qoss_top} = 0.5 \cdot V_{IN} \cdot Q_{oss} \cdot f_S \quad (29)$$

- Q_{oss} 是 MOSFET 寄生输出电荷，可以在 MOSFET 数据表中找到。建议限制总开关节点电容 C_{SW} (nF) < 160/VIN；例如，对于 60V 应用，建议保持总 C_{SW} < 2.67nF

计算顶部 MOSFET 栅极驱动损耗 (P_{Gate_top})：

$$P_{Gate_top} = V_{IN} \cdot Q_{Gate_top} \cdot f_S \quad (30)$$

- Q_{Gate_top} 是顶部 MOSFET 栅极电荷，可在 MOSFET 数据表中找到；
- 请注意，此处使用 V_{IN} 而不是实际栅极驱动电压，因为栅极驱动是基于 LDO 通过 V_{IN} 生成的，当使用 V_{IN} 进行栅极驱动损耗计算时，所有与栅极驱动相关的损耗都被考虑在内。
- 或者，栅极驱动电压可以由外部高效电源直接提供到 DRV_SUP 引脚。在这种情况下，驱动栅极的功率损耗变为：$P_{Gate_top} = V_{DRV_SUP} \cdot Q_{Gate_top} \cdot f_S$

底部 MOSFET 损耗还包括导通损耗和开关损耗：

$$P_{bottom} = P_{con_bottom} + P_{sw_bottom} \quad (31)$$

$$P_{con_bottom} = (1 - D) \cdot I_{L_RMS}^2 \cdot R_{DS(on)_bottom}; \quad (32)$$

$$P_{sw_bottom} = P_{RR_bottom} + P_{Dead_bottom} + P_{Gate_bottom}; \quad (33)$$

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

第一项 P_{con_bottom} 表示直接的导通损耗。第二项 P_{sw_bottom} 表示底部 MOSFET 中的多个开关损耗项，包括反向恢复损耗 (P_{RR_bottom})、死区时间体二极管导通损耗 (P_{Dead_bottom}) 和栅极驱动损耗 (P_{Gate_bottom})。下面提供了详细计算：

$$P_{RR_bottom}=V_{IN} \cdot Q_{rr} \cdot f_S \quad (34)$$

- Q_{rr} 是底部 MOSFET 反向恢复电荷，可在 MOSFET 数据表中找到；

$$P_{Dead_bottom}=V_F \cdot I_{valley} \cdot f_S \cdot t_{dead_rise}+V_F \cdot I_{peak} \cdot f_S \cdot t_{dead_fall} \quad (35)$$

- V_F 是体二极管正向导通压降；
- t_{dead_rise} 是顶部和底部 MOSFET 之间的 SW 上升沿死区时间，约为 40 ns；
- t_{dead_fall} 是顶部和底部 MOSFET 之间的 SW 下降沿死区时间，约为 30 ns；

P_{Gate_bottom} 可以遵循与顶部 MOSFET 栅极驱动损耗计算方法相同的方法。

8.2.1.2.9 转换器快速瞬态响应

该器件集成了所有环路补偿功能，因此可提供易于使用的高密度解决方案。为了在反向运行模式下实现更快的瞬态响应，可将 EN_CONV_FAST_TRANSIENT 位设置为 1。如果未在反向升压运行模式下使用该器件，则可以忽略该部分。

当转换器在升压模式下运行时，流向负载的非连续电感器电流会产生右半平面 (RHP) 零点。RHP 零点位置为：

$$RHPz = \frac{V_{IN,boost}}{I_{IN,boost}} \frac{1}{2\pi L} \quad (36)$$

为了获得良好的相位裕度，转换器的单位带宽增益积 (UGBW) 应约为 RHPz 的 1/3。需要调整升压输出电容器 (C_{load}) 和转换器瞬态参数（R_1、gm_1）以移动转换器 UGBW 的位置。

$$1 \approx \frac{Adiv \times gm_1(sR_1C_1+1)}{sC_1}\left[\frac{V_i}{I_O \times 50m}\right]\left[\frac{1}{1+s\frac{C_{load}R_{load}}{2}}\right] \quad (37)$$

该器件会根据输出电压和 EN_CONV_FAST_TRANSIENT 位设置来调整 *Adiv*、gm_1 和 R_1，如下表所示。在某些升压情况下，需要调整 C_{load} 以限制转换器带宽。

升压输出电压	*Adiv*	C_1	EN_CONV_FAST_TRANSIENT = 0		EN_CONV_FAST_TRANSIENT = 1	
			gm_1	R_1	gm_1	R_1
≤8V	1/5	75pF	0.4 µ	600k Ω	2 µ	1.3M Ω
8V 至 16V	1/10	75pF	0.47 µ	1M Ω	2 µ	1.8M Ω
16V 至 32V	1/20	75pF	0.67 µ	2.8M Ω	2 µ	2.8M Ω
>32V	1/40	75pF	2 µ	2.8M Ω	2 µ	2.8M Ω

例如，假设器件采用 5V 电源在反向升压模式下运行以提供 7V 升压输出电压，负载高达 5A，电感器为 10 µH。RHPz 大约位于：

$$RHPz = \frac{V_{IN,boost}}{I_{IN,boost}} \frac{1}{2\pi L} = 11.4kHz \quad (38)$$

为了获得理想稳定性，转换器的 UGBW 应限制为 RHP 零点的 1/3 或 3.8kHz。如果 EN_CONV_FAST_TRANSIENT = 1，则公式变为：

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

$$1 \approx \frac{0.2 \times 2\mu\,(j\omega \times 1.3M\Omega \times 75pF + 1)}{j\omega \times 75pF}\left[\frac{5V}{5A \times 50m}\right]\left[\frac{1}{1 + j\omega\frac{C_{load} \times 1.4}{2}}\right] \quad (39)$$

求解上式中的 C_{load}，可得到电容器 ≥674 µF 的要求。

相反，如果 EN_CONV_FAST_TRANSIENT = 0，则 UGBW 公式变为：

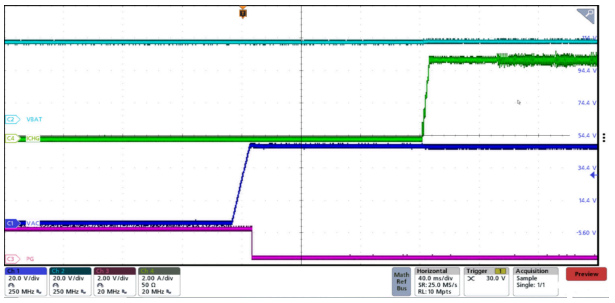
$$1 \approx \frac{0.2 \times 0.4\mu\,(j\omega \times 0.6M\Omega \times 75pF + 1)}{j\omega \times 75pF}\left[\frac{5V}{5A \times 50m}\right]\left[\frac{1}{1 + j\omega\frac{C_{load} \times 1.4}{2}}\right] \quad (40)$$

求解上式中的 C_{load}，可得到电容器 ≥51 µF 的要求。然而，为了保证转换器的稳定性，建议的最小电容器为 80 µF，因此应使用该最小值。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

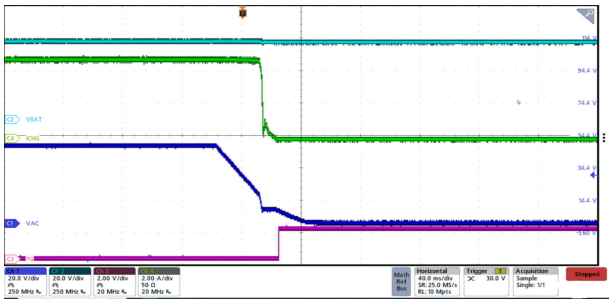
8.2.1.3 应用曲线

C_{VAC} = 160µF，C_{OUT} = 160µF，V_{VAC} = 48V，V_{BAT} = 48V（除非另有说明）



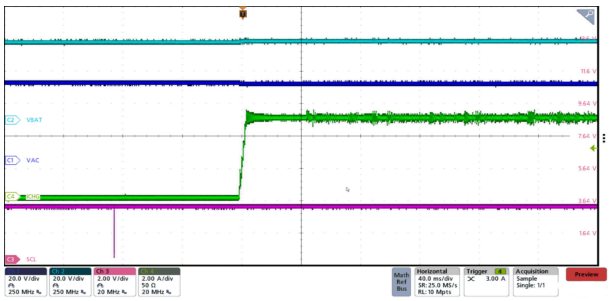
VAC = 48V　　VBAT = 48V　　ICHG = 5A

图 8-3. 5A ICHG 下的 VAC 插入上电



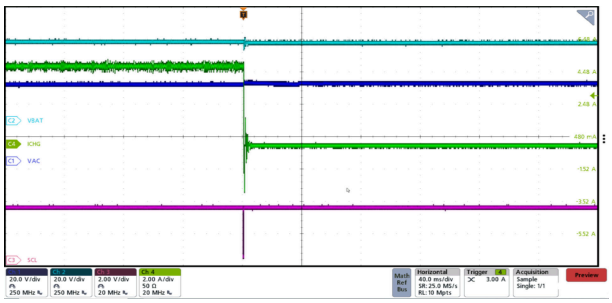
VAC = 48V → 0V　　VBAT = 48V　　ICHG = 5A

图 8-4. 5A ICHG 下的 VAC 拔下断电



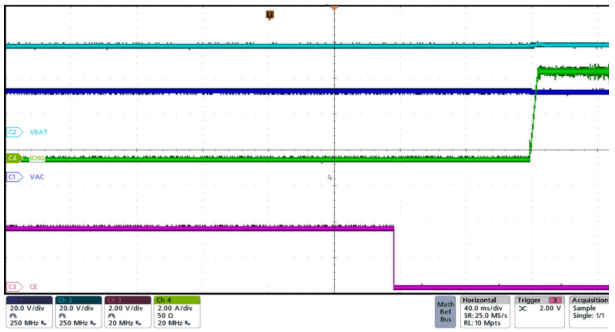
VAC = 48V　　VBAT = 48V　　ICHG = 5A

图 8-5. 5A ICHG 下通过 I²C 实现的充电启用



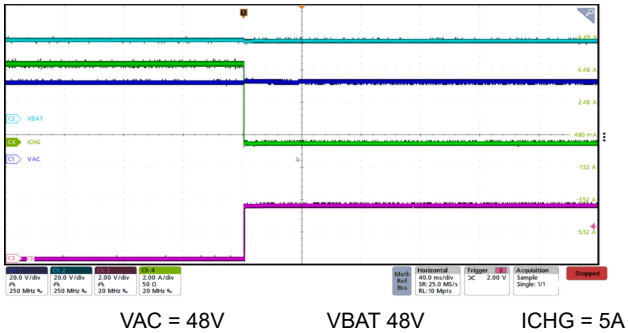
VAC = 48V　　VBAT = 48V　　ICHG = 5A

图 8-6. 5A ICHG 下通过 I²C 实现的充电禁用



VAC = 48V　　VBAT = 48V　　ICHG = 5A

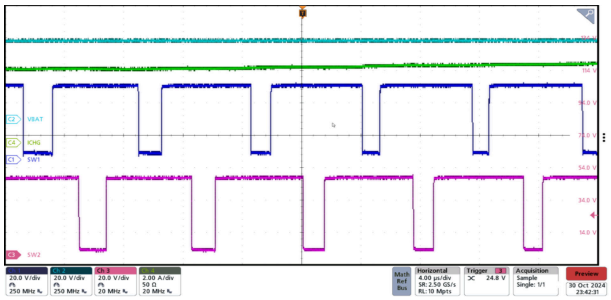
图 8-7. 5A ICHG 下通过 $\overline{CE}$ 引脚实现的充电启用



VAC = 48V　　VBAT 48V　　ICHG = 5A

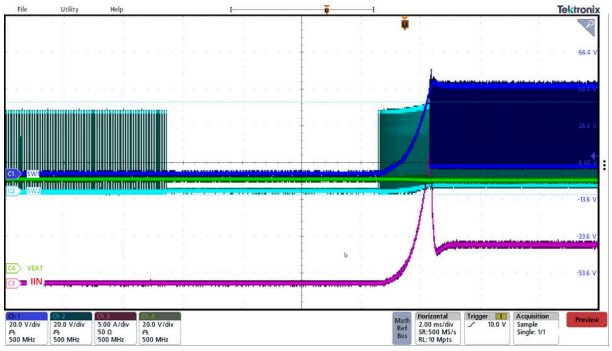
图 8-8. 5A ICHG 下通过 $\overline{CE}$ 引脚实现的充电禁用

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated



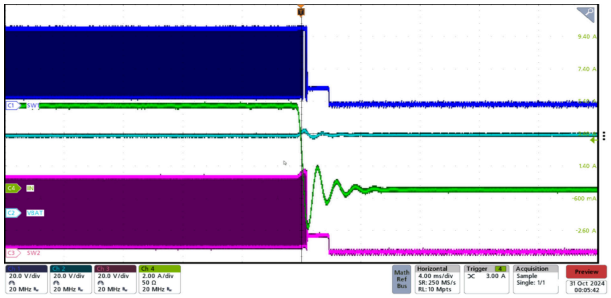
VAC = 48V VBAT = 48V ICHG = 5A

图 8-9. 降压/升压开关波形



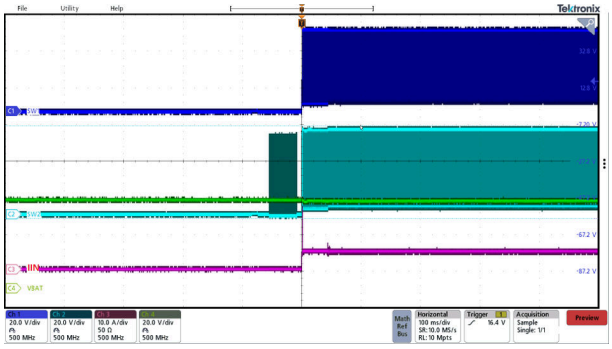
VBAT = 48V VAC_REV = 48V ILOAD = 5A

图 8-10. 反向模式上电



VBAT = 48V VAC_REV = 48V ILOAD = 5A

图 8-11. 反向模式断电



VBAT = 48V VAC_REV = 48V ILOAD = 5A

图 8-12. 自动反转模式启动

8.2.2 典型应用（4 节磷酸铁锂汽车电池配置）

该器件可配置为双向降压/升压充电器。双向性允许电池充电并在反向模式下为输入供电。图 8-13 显示了使用该器件作为 4 节磷酸铁锂电池的降压/升压充电器时的典型原理图，具有双向输出，适用于 200W 应用。14.4V 电池设计的设计过程与 50.4V 电池设计相同。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

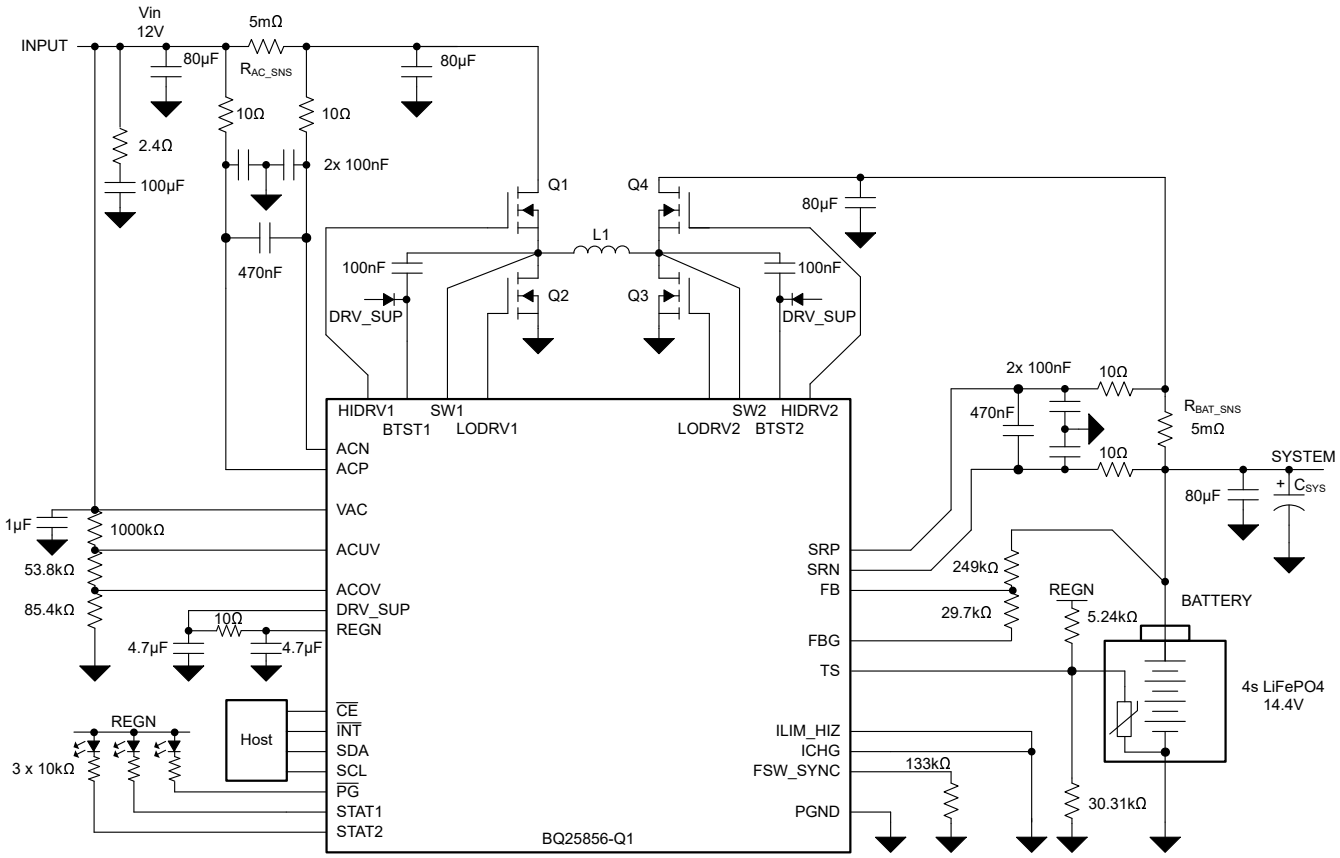


图 8-13. BQ25856-Q1：从 12V 输入双向充电，为 4 节磷酸铁锂汽车电池充电

表 8-3. 建议的器件型号：

元件	值	建议的器件型号
Q1、Q2、Q3、Q4	40V，7.4mΩ	IPZ40N04S5L7R4ATMA1
L1	10µH、13mΩ	SRP1770TA-100M

8.2.2.1 设计要求

本设计示例使用下表中显示的参数。

表 8-4. 设计参数

参数	值
输入电压工作范围 (V_{AC})	12V
输入电流限制 (I_{AC})	15A
充电电流限制 (I_{CHG})	15A
电池充电电压 (V_{BAT_REG})	14.4V
开关频率	250kHz

8.2.3 典型应用（电容器备用）

电容器备用或“最后关头”应用可在主电源发生故障时提供短暂的功率提升。对于需要在掉电后短时间运行以便能够以受控的方式关闭的系统，它十分有用。通过存储高于 VBUS 电压的滞留能量，电容量可显著减少，从而降低解决方案的尺寸和成本，同时提高可靠性。在汽车应用中，这可用于确保正确存储数据，从而使 EV 中的计算机存储器不会损坏，计算机可以安全关闭，汽车可以安全熄火。电容器备用的另一个重要应用是提供电源，以便

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

在电池发生故障时打开车门。下图显示了在电容器备用应用中使用该器件时的典型原理图。此应用可成功与超级电容器以及常规电容器配合使用。

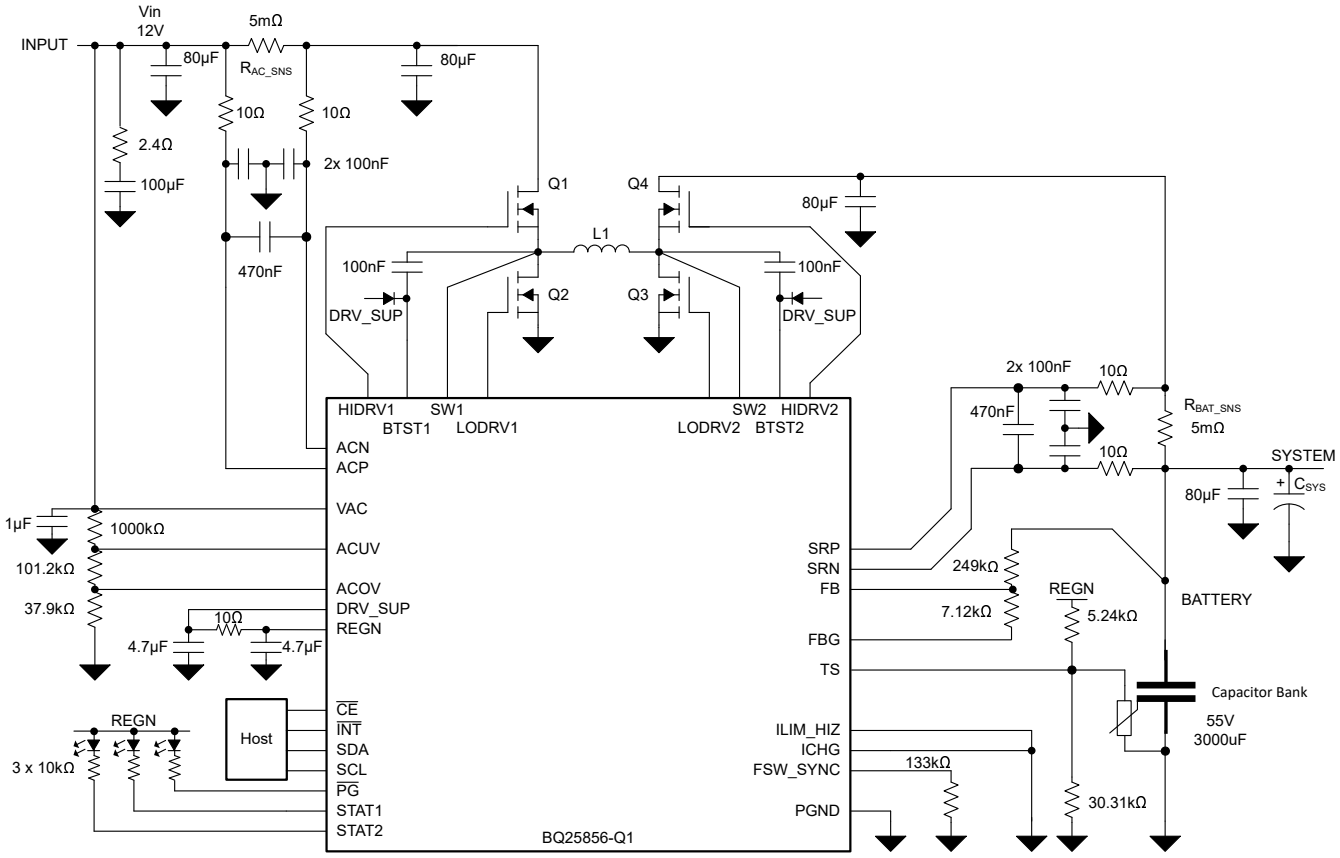


图 8-14. BQ25856-Q1：备用电容器或最后关头应用示意图

表 8-5. 建议的器件型号：

元件	值	建议的器件型号
Q1、Q2、Q3、Q4	100V，22mΩ	IPG20N10S4L22ATMA1
L1	15µH，30mΩ	SRP1050WA-150M

8.2.3.1 设计要求

本设计示例使用下表中显示的参数。

表 8-6. 设计参数

参数	值
输入电压 (V_{AC})	12V（汽车电池）
输出电压 (V_{OUT})	55V 时为 3mF 电容器组
充电电流限制 (I_{CHG})	1A
输入欠压限制 (V_{ACUV})	9V
输入过压限制 (V_{ACOV})	36V
VAC_REV	5V
EN_AUTO_REVERSE	1b
EN_PRECHG	0b
EN_TERM	0b

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 8-6. 设计参数（续）

参数	值
EN_CHG_TMR	0b

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9 电源相关建议

器件的电源可以是指定输入范围内的任何直流电压源。电源还应该能够根据编程的输入电流限制提供足够的电流。应使用电解电容器和陶瓷电容器的组合来旁路输入电源，以避免由于连接电缆的寄生阻抗而产生振铃。

当器件反向运行时，输出端的电源应遵循与上述输入电源相同的建议。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

10 布局

10.1 布局指南

为了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非常重要。以下是正确布局的 PCB 布局优先级列表。

表 10-1. PCB 布局指南

元件	功能	影响	指南
降压高侧 FET、降压低侧 FET、输入电容器	降压输入环路	高频噪声、纹波、效率	由于降压输入端的脉动电流，该路径形成高频开关环路。将元件放置在电路板的同一侧。更大限度地减小环路面积以减小寄生电感。更大限度地增加引线宽度以减小寄生电阻。将输入陶瓷电容器放置在靠近开关 FET 的位置。
升压低侧 FET、升压高侧 FET、输出电容器	升压输出环路	高频噪声、纹波、效率	由于升压输出端的脉动电流，该路径形成高频开关环路。将元件放置在电路板的同一侧。更大限度地减小环路面积以减小寄生电感。更大限度地增加引线宽度以减小寄生电阻。将输出陶瓷电容器放置在靠近开关 FET 的位置。
检测电阻、开关 FET、电感器	电流路径	效率	通过功率级和检测电阻器从输入到输出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，过孔数量可估算出每个过孔 1A 至 2A。
开关 FET、电感器	功率级	热性能、效率	开关 FET 和电感器是功率损耗最高的元件。留出足够的铜面积来散热。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。
DRV_SUP、BTST1、BTST2 电容器	开关 FET 栅极驱动	高频噪声、寄生振铃、栅极驱动完整性	DRV_SUP 电容器用于提供驱动低侧 FET 的电源。BTST 电容器用于驱动高侧 FET。建议将电容器尽可能靠近 IC 放置。
LODRV1、LODRV2	低侧栅极驱动	高频噪声、寄生振铃、栅极驱动完整性	LODRV1 和 LODRV2 提供栅极驱动电流以导通低侧 FET。LODRV1 和 LODRV2 返回至 PGND。由于电流采用阻抗最小的路径，因此建议使用靠近低侧栅极驱动引线的接地平面。更大限度地减小栅极驱动长度并争取实现至少 20mil 的栅极驱动引线宽度。
HIDRV1、HIDRV2、SW1（引脚引线）、SW2（引脚引线）	高侧栅极驱动	高频噪声、寄生振铃、栅极驱动完整性	HIDRV1 和 HIDRV2 提供栅极驱动电流以导通高侧 FET。HIDRV1 和 HIDRV2 分别返回至 SW1 和 SW2。将 HIDRV1/SW1 和 HIDRV2/SW2 对彼此相邻布线，以减小栅极驱动寄生电感。更大限度地减小栅极驱动长度并争取实现至少 20mil 的栅极驱动引线宽度。
限流电阻器、FSW_SYNC 电阻器	IC 可编程设置	调节精度、开关完整性	引脚电压决定输入电流限制、输出电流限制和开关频率的设置。这些引脚上的接地噪声可能会导致不准确。更大限度地减小从这些电阻器到 IC 接地引脚的接地回路。
输入（ACP、ACN）和输出（SRP、SRN）电流检测	电流调节	调节精度	对输入和输出电流检测电阻使用开尔文检测技术。将电流检测引线连接到焊盘的中心，并将电流检测引线作为差分对进行排布，使其远离开关节点。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 10-1. PCB 布局指南（续）

元件	功能	影响	指南
输入 (ACUV) 和输出（FB、VO_SNS）电压检测	电压检测和调节	调节精度	ACUV 分压器设置正向模式下的内部输入电压调节 (V_{ACUV_DPM})。FB 分压器设置正向模式下的电池电压调节 (V_{FB_ACC})。将分压器点的顶部排布至目标调节位置。避免在靠近大功率开关节点的位置布线。
旁路电容器	噪声滤波器	噪声抗扰度	容值最小的电容器要最靠近 IC 放置。

10.2 布局示例

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

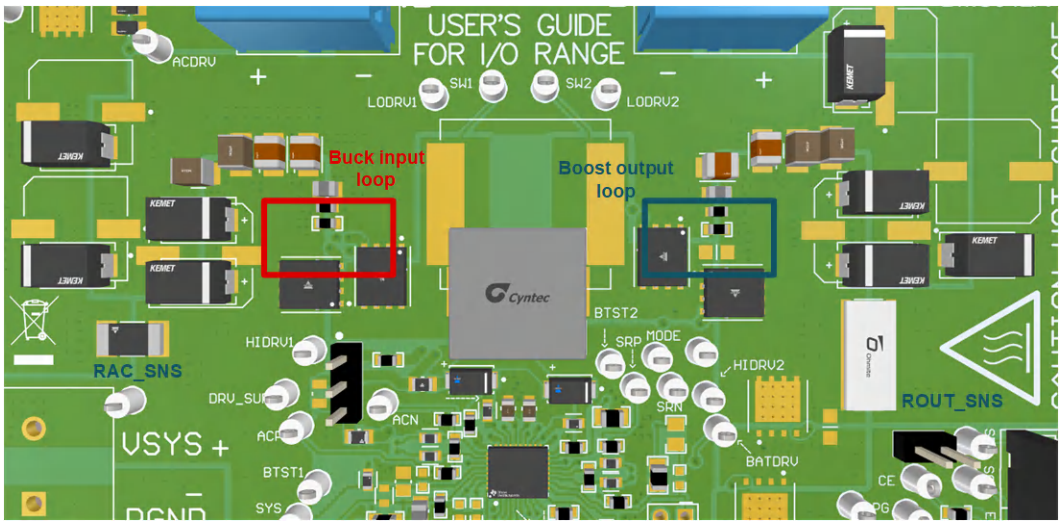


图 10-1. PCB 布局参考示例顶视图

对于输入和输出电流检测电阻器，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 20mil。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。

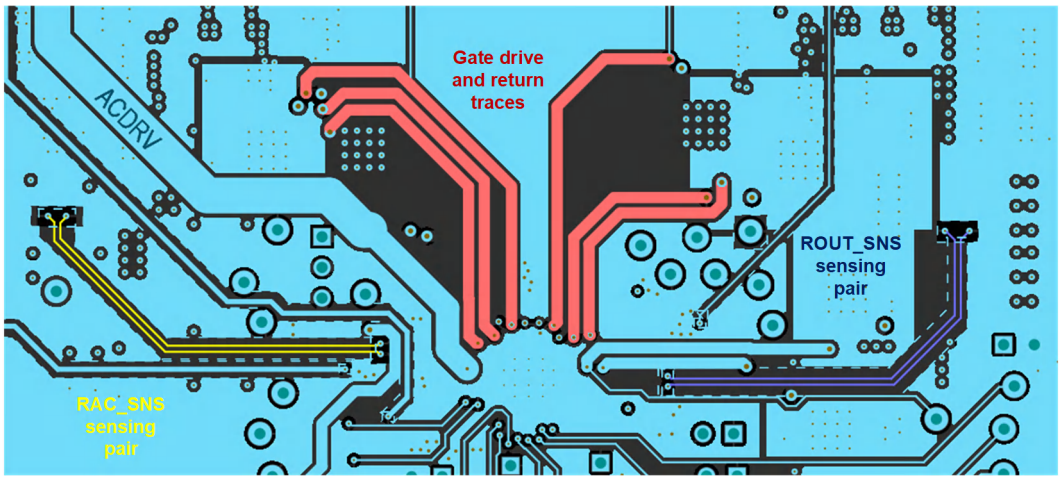


图 10-2. PCB 布局栅极驱动和电流检测信号层布线

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

11 器件和文档支持

11.1 器件支持

11.1.1 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。

11.2 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*通知* 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。

11.3 支持资源

TI E2E™ 中文支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的使用条款。

11.4 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。

11.5 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。

11.6 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。

12 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 * (May 2024) to Revision A (October 2024)	Page
• 将数据表状态从“预告信息”更改为“量产数据”	1

13 机械、封装和可订购信息

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

Copyright © 2024 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)
BQ25856QWRRVRQ1	Active	Production	VQFN (RRV) | 36	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	BQ25856
BQ25856QWRRVRQ1.A	Active	Production	VQFN (RRV) | 36	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	BQ25856

(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.

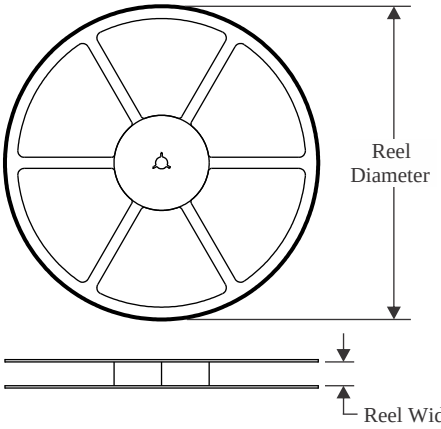
Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

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.

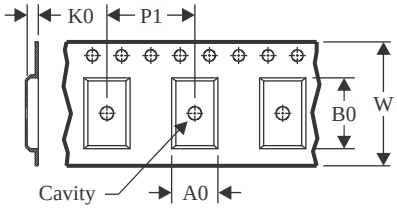
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

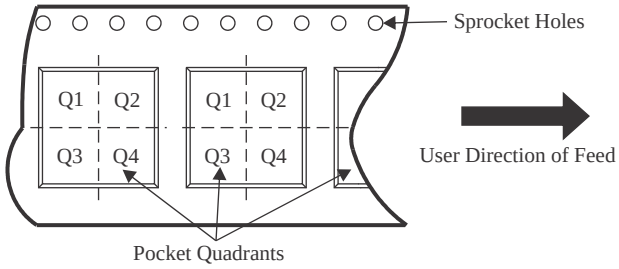


TAPE DIMENSIONS



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

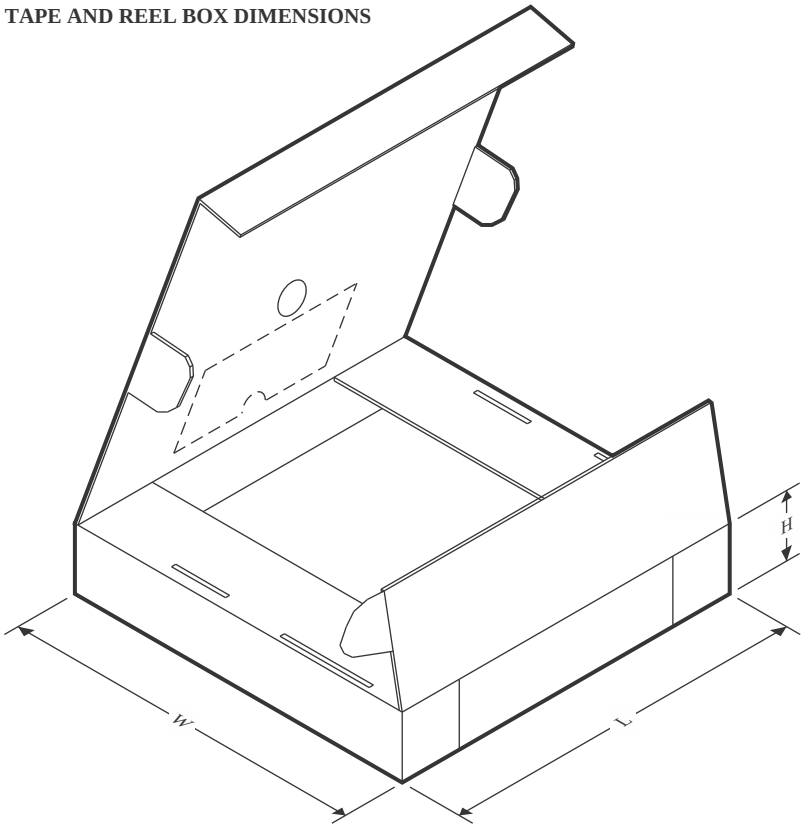
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*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
BQ25856QWRRVRQ1	VQFN	RRV	36	3000	330.0	12.4	5.3	6.3	1.15	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
BQ25856QWRRVRQ1	VQFN	RRV	36	3000	367.0	367.0	35.0

GENERIC PACKAGE VIEW

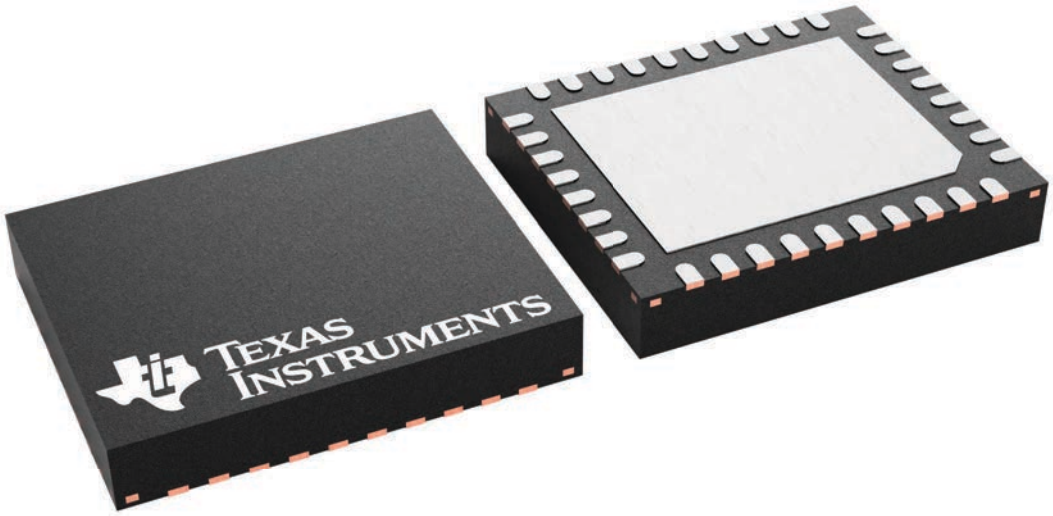
RRV 36

VQFN - 1 mm max height

5 x 6, 0.5 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.



4229484/A

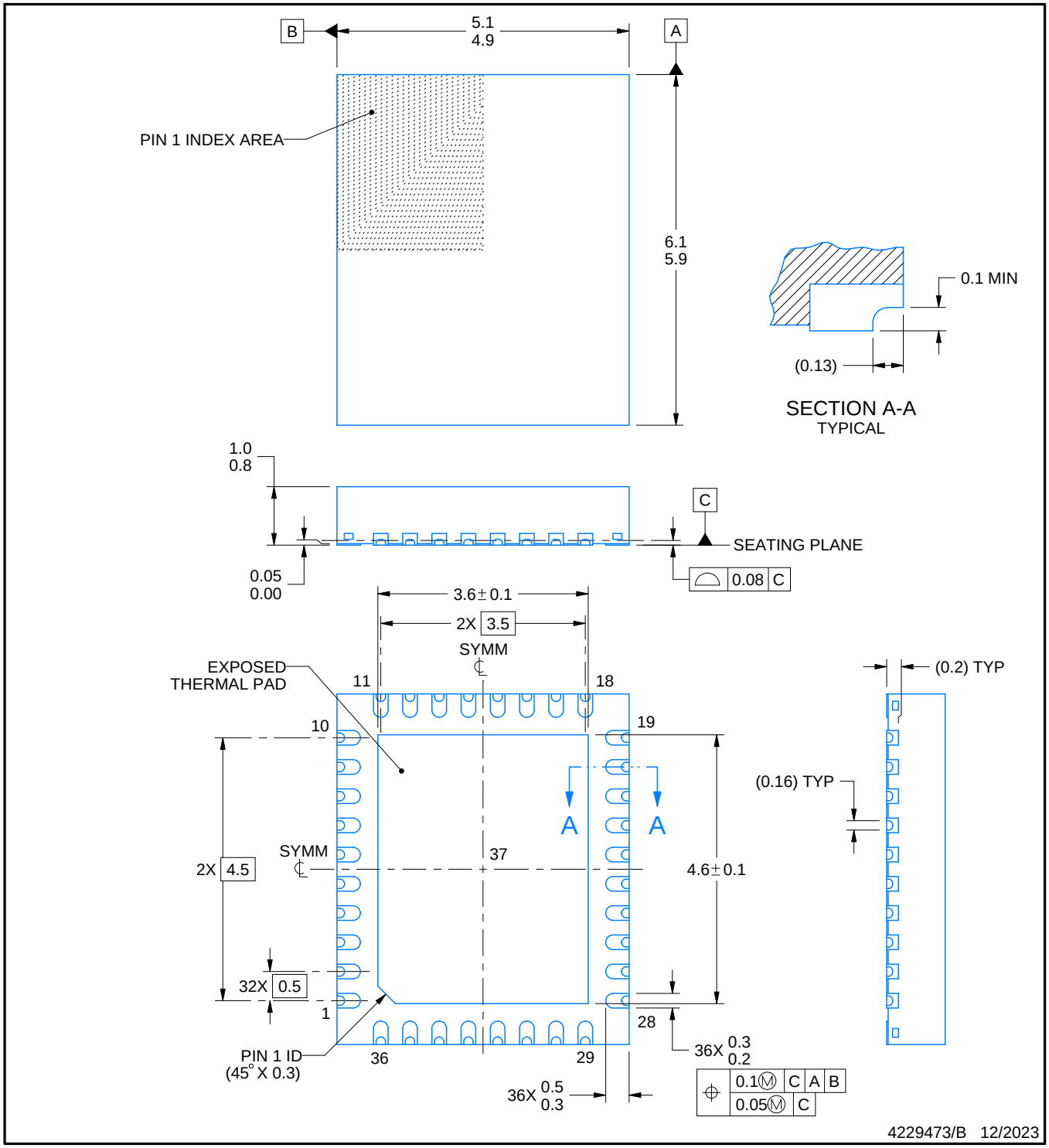
RRV0036B



PACKAGE OUTLINE

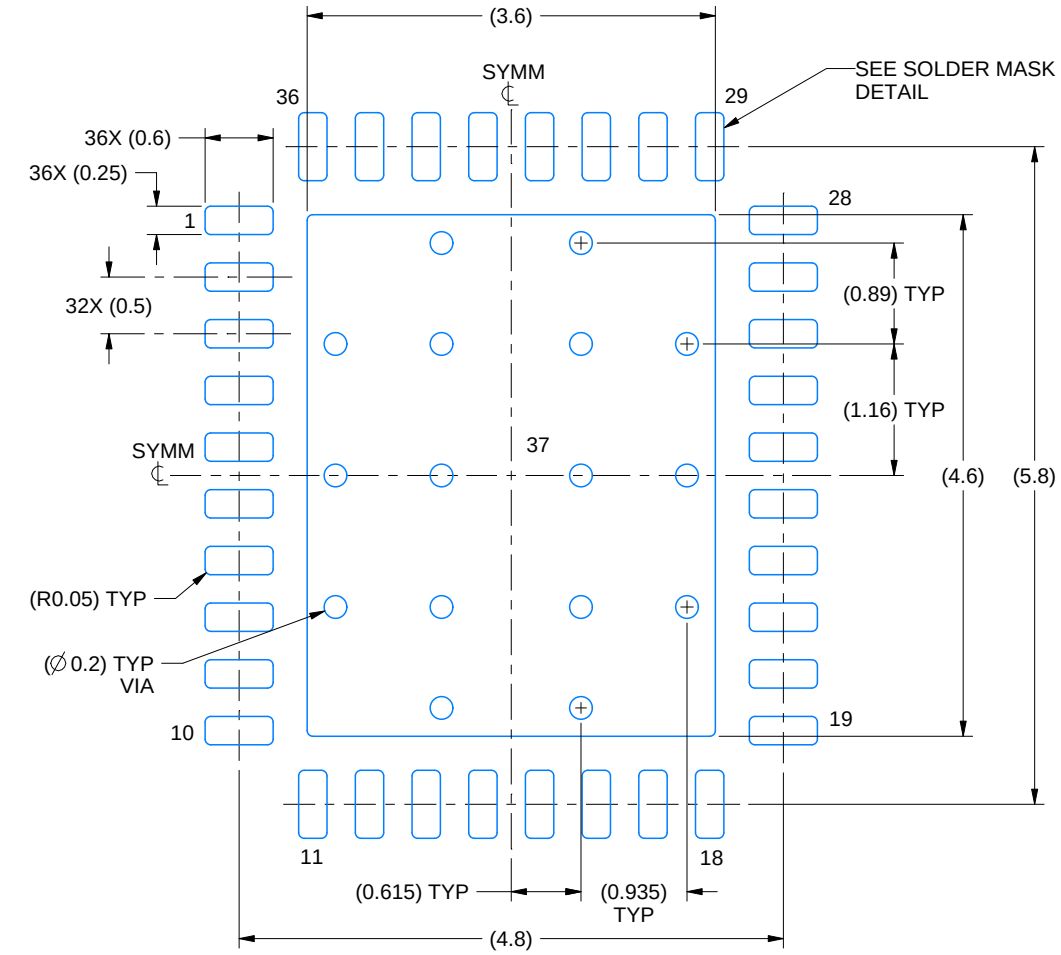
VQFN - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD

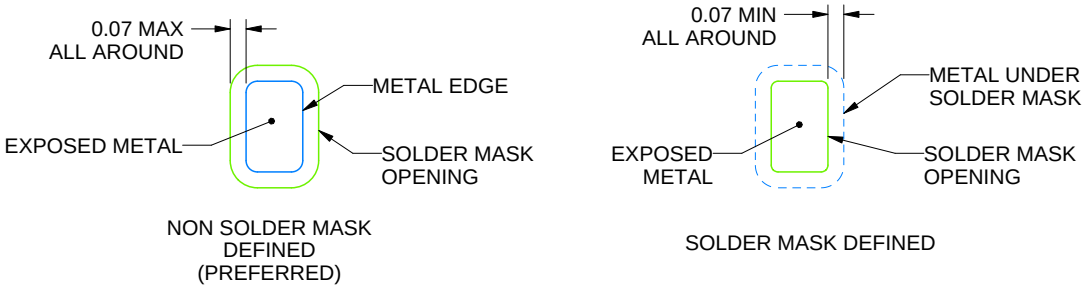


NOTES:

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: 15X

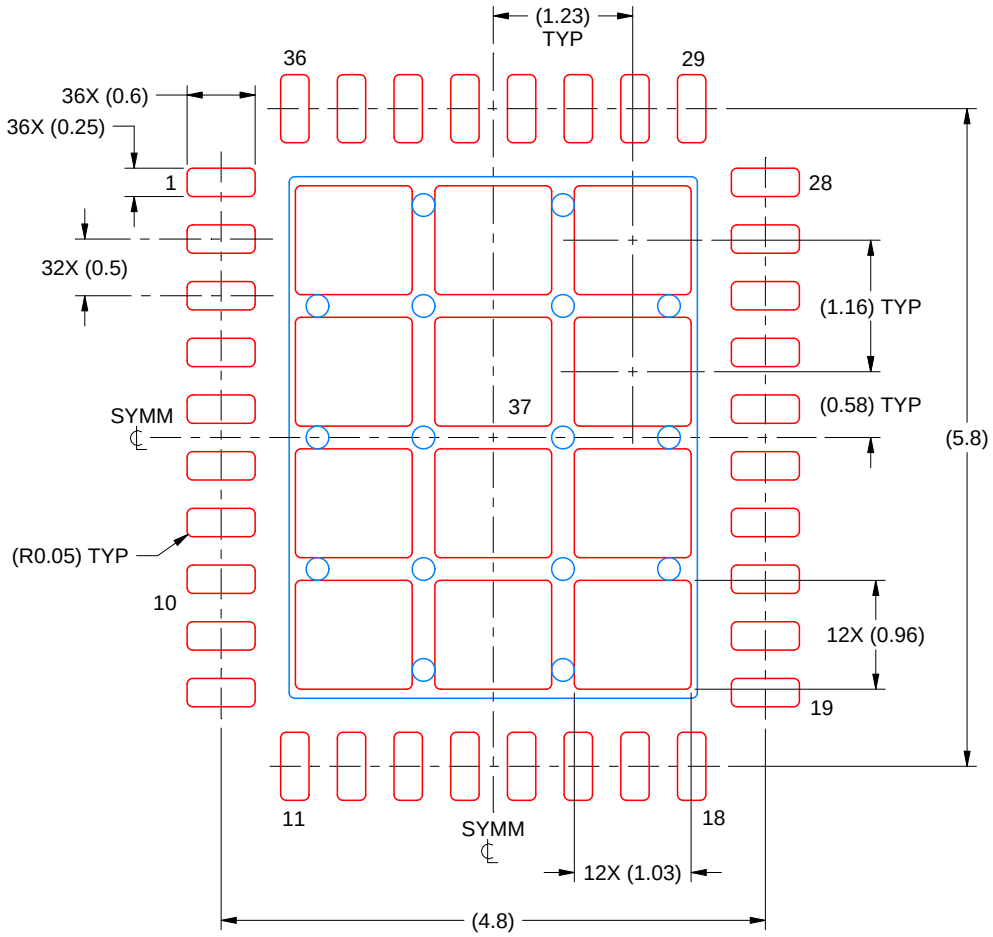


SOLDER MASK DETAILS

4229473/B 12/2023

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 0.125 MM THICK STENCIL
SCALE: 15X

EXPOSED PAD 37
72% PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE

4229473/B 12/2023

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 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月