

# BQ25690: 独立I<sup>2</sup>C控制、34V、1-7节锂离子电池、3A降压/升压双向NVDC电池充电器，具备旁路模式和USB-PD OTG输出功能

## 1 特性

- 高度集成降压/升压正向（灌电流）模式充电器，适用于1-7节锂离子电池通过集成开关MOSFET和环路补偿支持USB PD充电档位
- 高效
  - 可编程开关频率范围为450kHz至1.2MHz
  - 旁路模式下，在3A电流下从20V输入进行USB-PD PPS直接充电，效率>98.0%
  - 可进行音频外(Out-of-Audio, OOA)运行的可选PFM，可提高轻负载效率
- 支持多种输入源，工作电压范围为2.5V至34V，绝对最大额定值为45V
  - 当V<sub>BAT</sub>>3.2V时，支持低至2.5V的V<sub>IN</sub>
  - USB PD输入
  - 输入电压动态电源管理(VINDPM)高达34V，可防止输入崩溃
  - 可选输入电流动态电源管理(IINDPM)高达3.3A，可实现最大功率限制
- 可选窄电压DC(NVDC)电源路径管理
  - 系统在电池耗尽或无电池的情况下可瞬时启动
  - 适配器满载时，电池可为系统补充电量
- 通过I<sup>2</sup>C控制，用于通过电阻可编程选项实现出色的系统性能
  - 硬件可选默认电芯数、充电电压、输入和充电电流限制
  - 3.3A充电电流，分辨率为20mA
- 反向/OTG（拉电流）模式从电池为输入端口供电
  - 3.5V至34V反向输出电压，分辨率为20mV，支持USB-PD PPS
  - 高达3.3A的反向输出电流调节，分辨率为20mA，而支持USB-PD PPS
- 低静态电流
  - 仅电池操作时为6.5μA
  - 转换器开关操作时为700μA
- 高精度
  - 充电电压调节范围为±0.5%
  - ±5%输入/输出电流调节
- 安全
  - 输入和电池OVP
  - 热调节和热关断
  - 转换器MOSFET OCP
  - 充电安全计时器

## 2 应用

- 可视门铃、智能家居控制
- 数据集中器、无线扬声器、电器
- 智能追踪器、智能扬声器
- 多参数患者监护仪、心电图(ECG)、超声波智能探头

## 3 说明

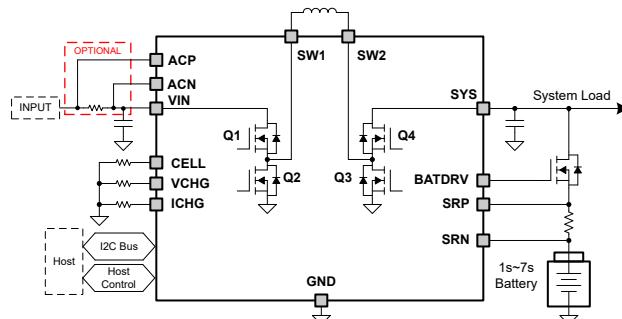
BQ25690是一款完全集成的开关模式降压/升压充电器，适用于1-7节锂离子电池和锂聚合物电池。2.5V至34V的宽输入电压范围支持由电池、标准USB-PD适配器及高压专用直流适配器供电的应用。该器件集成了4个开关MOSFET(Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>、Q<sub>3</sub>、Q<sub>4</sub>)，以及降压/升压转换器的所有环路补偿，设计简单，能实现小尺寸解决方案。该器件使用NVDC电源路径管理，将系统电压调节至稍高于电池电压的水平，但是不会下降至低于可配置的最小系统电压。当系统功率超过输入源额定值时，电池补充模式支持系统，不会使输入源过载。该器件还支持USB Type-C和USB供电(USB-PD)应用的完整输入(灌电流)和输出(反向或拉电流模式)电压范围。

### 封装信息

器件型号	封装 <sup>(1)</sup>	封装尺寸 <sup>(2)</sup>
BQ25690RBAR	RBA (WQFN, 26)	4.0mm×3.5mm

(1) 如需了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的可订购产品目录。

(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

<b>1 特性</b>	<b>1</b>	<b>7 应用和实施</b>	<b>61</b>
<b>2 应用</b>	<b>1</b>	7.1 应用信息	61
<b>3 说明</b>	<b>1</b>	7.2 典型应用设计示例	62
<b>4 引脚配置和功能</b>	<b>3</b>	7.3 电源相关建议	68
<b>5 规格</b>	<b>5</b>	7.4 布局	68
5.1 绝对最大额定值	5	<b>8 器件和文档支持</b>	<b>71</b>
5.2 ESD 等级	5	8.1 器件支持	71
5.3 建议运行条件	5	8.2 文档支持	71
5.4 热性能信息	6	8.3 接收文档更新通知	71
5.5 电气特性	6	8.4 支持资源	71
5.6 时序要求	12	8.5 商标	71
5.7 典型特性	13	8.6 静电放电警告	71
<b>6 详细说明</b>	<b>18</b>	8.7 术语表	71
6.1 概述	18	<b>9 修订历史记录</b>	<b>71</b>
6.2 功能方框图	19	<b>10 机械、封装和可订购信息</b>	<b>72</b>
6.3 特性说明	19	10.1 封装选项附录	73
6.4 器件功能模式	41	10.2 卷带包装信息	74
6.5 寄存器映射	42	10.3 机械数据	76

## 4 引脚配置和功能

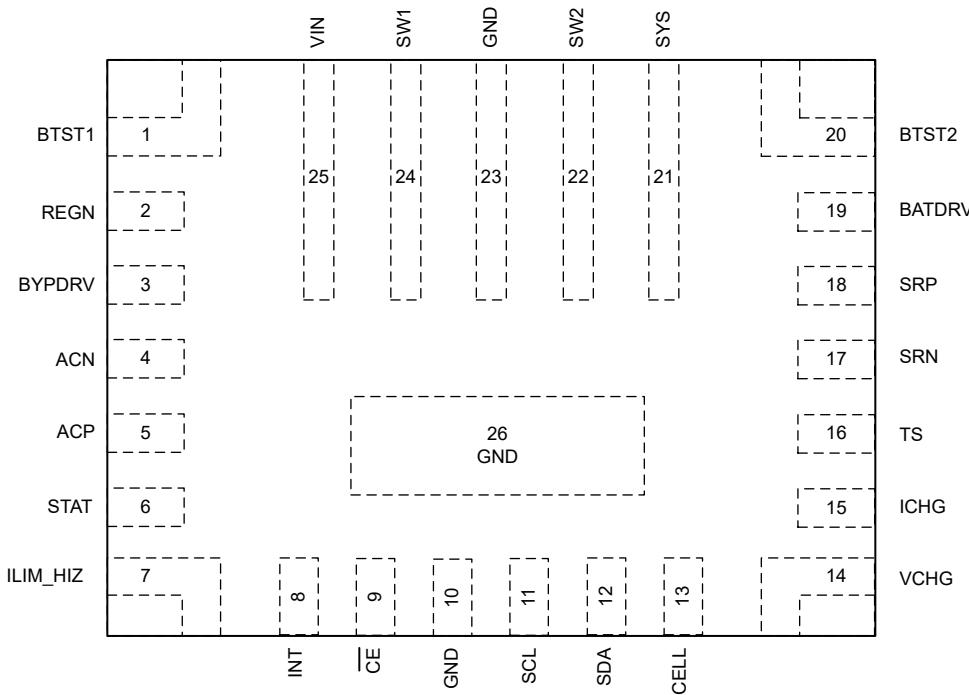


图 4-1. BQ25690 RBA 封装 26 引脚 WQFN 顶视图

表 4-1. 引脚功能

引脚		类型 <sup>(1)</sup>	说明
名称	编号		
ACN	4	AI	适配器电流检测电阻, 负输入 - 在 ACN 和 ACP 之间放置一个 $0.1 \mu F$ 陶瓷电容器, 以提供差模滤波。在 ACN 引脚和 GND 之间放置一个 $33nF$ 陶瓷电容器, 以实现共模滤波如果未使用输入电流检测功能, 则直接连接到 VIN。
ACP	5	AI	适配器电流检测电阻, 正输入 - 在 ACN 和 ACP 之间放置一个 $0.1 \mu F$ 陶瓷电容器, 以提供差模滤波。在 ACP 引脚和 GND 之间放置一个 $33nF$ 陶瓷电容器, 以实现共模滤波如果未使用输入电流检测功能, 则直接连接到 VIN。
BATDRV	19	P	<b>N 沟道电池 FET 棚极驱动</b> - 直接连接到 BATFET 棚极。将引脚驱动至比 SRP 高 $5V$ 可完全导通 BATFET。BATFET 处于线性模式, 会在电池电量消耗到 VSYSMIN 设置以下时将 VSYS 调节到 VSYSMIN。在快速充电模式、补充模式和仅电池模式下, BATFET 完全导通。
BTST1	1	P	<b>降压高侧功率 MOSFET 棚极驱动器电源</b> - 在 BTST1 和 SW1 之间连接一个 $47nF$ 陶瓷电容器和 $2.2\Omega$ 电阻器, 用于驱动高侧降压 MOSFET (Q1)。REGN 和 BTST1 之间的自举二极管为集成式二极管。
BTST2	20	P	<b>升压高侧功率 MOSFET 棚极驱动器电源</b> - 在 BTST2 和 SW2 之间连接一个 $47nF$ 陶瓷电容器和 $2.2\Omega$ 电阻器, 用于驱动高侧增压 MOSFET (Q4)。REGN 和 BTST2 之间的自举二极管为集成式二极管。
BYPDRV	3	P	<b>旁路 FET 棚极驱动器</b> - 直接连接到背对背外部旁路 FET 棚极。当 EN_BYPASS = 1 且 EN_EXT_BYPASS = 1 时, 引脚以相对于 SRN 5V 的电压驱动棚极, 以导通外部旁路 FET。将 15V 齐纳二极管从 BYPDRV 连接到外部旁路 FET 的共源。如果不使用外部旁路, 可使该引脚其保持悬空状态。
CE	9	DI	<b>低电平有效充电使能引脚</b> - 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。
电芯	13	AI	<b>电池节数计数程序</b> - 上电时, 充电器检测连接到 CELL 引脚的电阻, 以确定默认的电池节数计数并设置相应的 VSYSMIN 和充电电压。建议使用容差为 $\pm 1\%$ 或 $\pm 2\%$ 的表面贴装电阻器。
GND	10	P	<b>接地回路</b>
GND	23	P	<b>接地回路</b>

表 4-1. 引脚功能 (续)

引脚		类型 <sup>(1)</sup>	说明
名称	编号		
ICHG	15	AI	<b>充电电流程序</b> - 上电时，充电器检测连接到 ICHG 引脚的电阻，以确定默认的电池充电电流。建议使用容差为 $\pm 1\%$ 或 $\pm 2\%$ 的表面贴装电阻器。
ILIM_HIZ	7	AI	<b>输入电流限制设置</b> - ILIM_HIZ 引脚设置最大输入电流，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 GND 的编程电阻用于将输入电流限制设置为 $I_{IN\_MAX} = K_{ILIM} / R_{ILIM}$ 。当器件处于输入电流调节状态时，ILIM_HIZ 引脚上的电压为 1V。当 ILIM 引脚电压 ( $V_{ILIM}$ ) 小于 1V 时，实际输入电流可按下式计算： $I_{IN} = K_{ILIM} \times V_{ILIM} / (R_{ILIM} \times 1V)$ 。实际输入电流限制是 ILIM_HIZ 引脚或 IINDPM 寄存器位设置的限制中的较低者。当 EN_EXTILIM 位为 0 时，可以禁用该引脚功能。如果不使用 ILIM_HIZ 引脚，则将该引脚拉至 GND，不要悬空。
INT	8	DO	<b>开漏中断输出</b> - 使用 $10k\Omega$ 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 $256\mu s$ 脉冲，以报告充电器器件状态和故障。
REGN	2	P	<b>充电器内部线性稳压器输出</b> - 在 REGN 与接地之间连接一个 $4.7\mu F$ 陶瓷电容器。REGN LDO 输出用于 TS 引脚电阻分压器的内部 MOSFET 栅极驱动电压和电压偏置。
SCL	11	DI	<b>I2C 接口时钟</b> - 通过 $10k\Omega$ 电阻器将 SCL 连接到逻辑轨。
SDA	12	DIO	<b>I2C 接口数据</b> - 通过 $10k\Omega$ 电阻器将 SDA 连接到逻辑轨。
SRN	17	AI	<b>充电电流检测电阻，负输入</b> - 在 SRN 和 SRP 引脚之间需要放置一个陶瓷电容，以提供差模滤波。该电容的容值为： $0.1\mu F$ 。在 SRN 引脚和 GND 之间放置一个 $33nF$ 陶瓷电容器，以实现共模滤波
SRP	18	AI	<b>充电电流检测电阻，正输入</b> - 在 SRN 和 SRP 引脚之间需要放置一个陶瓷电容，以提供差模滤波。该电容的容值为： $0.1\mu F$ 。在 SRP 引脚和 GND 之间放置一个 $33nF$ 陶瓷电容器，以实现共模滤波
STAT	6	DO	<b>开漏状态输出</b> - 使用 $10k\Omega$ 电阻器连接到上拉电源轨。低电平表示正在充电。高电平表示充电完成或充电被禁用。当发生任何故障情况时，STAT 引脚以 $1Hz$ 的频率闪烁。当 DIS_STAT_PIN 位设置为 1 时，可以禁用 STAT 引脚功能。
SW1	24	P	<b>降压侧半桥开关节点</b> - 电感器连接到 Q1 和 Q2 开关的中点。
SW2	22	P	<b>升压侧半桥开关节点</b> - 电感器连接到 Q3 和 Q4 开关的中点。
SYS	21	P	<b>连接到系统的充电器输出电压</b> - 内部 N 沟道高侧 MOSFET (Q4) 的漏极连接到 SYS，源极连接到 SW2。这是开关转换器的输出，必须使用尽可能靠近引脚的陶瓷电容器进行去耦。结合使用 $0.1\mu F$ 和更高的电容值，在 SYS 与 GND 之间实现低阻抗连接。
散热焊盘	26	-	<b>IC 下方的外露焊盘</b> - 始终将散热焊盘焊接到电路板上并通过多个过孔连接到 GND 和电源接地平面。外露焊盘用于散热。
TS	16	AI	<b>温度鉴定电压输入</b> - 连接负温度系数热敏电阻。使用从 REGN 到 TS 再到 GND 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 $10k\Omega$ 热敏电阻。
VCHG	14	AI	<b>充电电压程充</b> - 上电时，充电器检测连接到 VCHG 引脚的电阻，以确定默认电池充电电压。建议使用容差为 $\pm 1\%$ 或 $\pm 2\%$ 的表面贴装电阻器。
VIN	25	P	<b>充电器输入电压</b> - 内部 N 沟道高侧 MOSFET (Q1) 的漏极连接到 VIN，源极连接到 SW1。这是开关转换器的输入，必须使用尽可能靠近引脚的陶瓷电容器进行去耦。结合使用 $0.1\mu F$ 和更高的电容值，在 VIN 与 GND 之间实现低阻抗连接。

(1) AI = 模拟输入、AIO = 模拟输入/输出、DI = 数字输入、DO = 数字输出、DIO = 数字输入/输出、P = 电源

## 5 规格

### 5.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明) <sup>(1)</sup>

		最小值	最大值	单位
电压	VIN、ACP、ACN、BATDRV、SYS、SRP、SRN	-0.3	45	V
	SW1、SW2	-0.3	45	V
	SW1、SW2 ( 50ns 瞬态 )	-2	45	V
	BYPDRV	-0.3	45	V
	BTST1, 以 SW1 为基准	-0.3	6	V
	BTST2, 以 SW2 为基准	-0.3	6	V
	REGN	-0.3	6	V
	BATDRV, 以 SRP 为基准	-0.3	10	V
	ACP, 以 ACN 为基准 ; SRP, 以 SRN 为基准	-0.3	0.3	V
	CELL、/CE、ICHG、ILIM_HIZ、/INT、SCL、SDA、STAT、TS、VCHG	-0.3	6	V
输出灌电流	/CE、STAT		5	mA
T <sub>J</sub>	结温	-40	150	°C
T <sub>stg</sub>	贮存温度	-65	150	°C

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

### 5.2 ESD 等级

			值	单位
V <sub>(ESD)</sub>	静电放电	人体放电模型 (HBM) , 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准 , 所有引脚 <sup>(1)</sup>	±2000	V
		充电器件模型 (CDM) , 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 标准 , 所有引脚 <sup>(2)</sup>	±250	

(1) JEDEC 文档 JEP155 指出 : 500V HBM 可通过标准 ESD 控制流程实现安全生产。

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

### 5.3 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 <sub>IN</sub>	输入电压	2.5	34	34	V
V <sub>BAT</sub>	电池电压	0	33	33	V
V <sub>I2C</sub>	SCL 和 SDA 上拉电压 VDD	1.8	5V	5V	V
F <sub>SW</sub>	开关频率	450	1,200	1,200	kHz
C <sub>VIN</sub>	VIN 总电容 ( 降额后的最小值 ) (C <sub>VIN</sub> = C <sub>VIN_ACN</sub> + C <sub>VIN_ACP</sub> ) (C <sub>VIN_ACP</sub> ≥ C <sub>VIN_ACN</sub> )	10			μF
C <sub>VIN_ACN</sub>	C <sub>VIN_ACN</sub> 电容 ( 降额后的最小值 )	100			nF
C <sub>SYS</sub>	SYS 电容 ( 降额后的最小值 )	15			μF
C <sub>SYS_1s-2s</sub>	SYS 电容 (1s、2s) ( 降额后的最小值 )	15			μF
C <sub>SYS_3s-7s</sub>	SYS 电容 (3s-7s) ( 降额后的最小值 )	8			μF
C <sub>BAT</sub>	BAT 电容 ( 降额后的最小值 )	5			μF

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
L	建议用于 $f_{SW}$ 的电感器 : 450kHz 至 500kHz	6.8		15	$\mu\text{H}$
	建议用于 $f_{SW}$ 的电感器 : 550kHz 至 700kHz	4.7		10	$\mu\text{H}$
	$f_{SW} > 700\text{kHz}$ 时的建议电感器	2.2		4.7	$\mu\text{H}$
$R_{AC\_SNS}$	输入电流检测电阻	0	5	10	$\text{m}\Omega$
$R_{BAT\_SNS}$	电池电流检测电阻		5	10	$\text{m}\Omega$
$R_{CELL}$	CELL 下拉电阻器	4.6		27.4	$\text{k}\Omega$
$R_{VCHG}$	VCHG 下拉电阻器	4.6		27.4	$\text{k}\Omega$
$R_{ICHG}$	ICHG 下拉电阻器	4.6		27.4	$\text{k}\Omega$
$R_{ILIM\_HIZ}$	ILIM_HIZ 下拉电阻器	0.0		33	$\text{k}\Omega$
$T_A$	环境温度	-40		105	$^{\circ}\text{C}$
$T_J$	结温	-40		125	$^{\circ}\text{C}$

## 5.4 热性能信息

热指标 <sup>(1)</sup>		BQ25690	单位
		RBA (QFN)	
		26-PIN	
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻 (EVM <sup>(2)</sup> )	22.9	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻 (JEDEC <sup>(1)</sup> )	37.9	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JC(\text{top})}$	结至外壳 (顶部) 热阻	22.5	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	6.8	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$\Psi_{JT}$	结至顶部特征参数	0.9	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$\Psi_{JB}$	结至电路板特征参数	6.8	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

(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](#)应用手册。

(2) 在 70  $\mu\text{m}$  厚铜上测得, 4 层电路板。

## 5.5 电气特性

典型值在  $V_{VIN\_UVLOZ} < V_{VIN} < V_{VIN\_OVP}$ 、 $T_J = -40^{\circ}\text{C}$  至  $+125^{\circ}\text{C}$  且  $T_J = 25^{\circ}\text{C}$  的条件下测得 (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>静态电流</b>					
$I_{Q\_BAT}$	静态电池电流 ( $I_{SRN} + I_{SRP} + I_{SYS}$ )	$V_{SRP} = V_{SRN} = V_{SYS} = 20\text{V}$ 、 $VIN = 0\text{V}$ 、 $BATFET\_CTRL = 1$ 、 $T_J < 105^{\circ}\text{C}$	6.5	16	$\mu\text{A}$
		$V_{SRP} = V_{SRN} = V_{SYS} = 20\text{V}$ 、 $VIN = 0\text{V}$ 、 $BATFET\_CTRL = 0$ 、 $T_J < 105^{\circ}\text{C}$	6.5	20	$\mu\text{A}$
$I_{HIZ\_VIN}$	高阻态模式输入电流 ( $I_{ACP} + I_{ACN} + I_{VIN}$ )	$EN\_HIZ = 1$ 、 $VIN = 24\text{V}$	11		$\mu\text{A}$
$I_{Q\_VIN}$	静态输入电流 ( $I_{ACP} + I_{ACN} + I_{VIN}$ )	不进行开关	250	300	$\mu\text{A}$
		开关, $I_{SYS} = I_{CHG} = 0\text{A}$	700		$\mu\text{A}$
$I_{Q\_REV}$	反向模式下的静态电池电流 ( $I_{SRN} + I_{SRP} + I_{SYS}$ )	不进行开关	320	370	$\mu\text{A}$
		开关	700		$\mu\text{A}$
<b>VIN/VBAT 电源</b>					
$V_{VIN\_OP}$	VIN 工作范围	VBAT > 3.2V	2.5	34	V
		VBAT < 3.2V	3.2	34	V
$V_{VIN\_OK}$	VIN 转换器启用阈值	VIN 上升, 无电池	2.9		V

典型值在  $V_{VIN\_UVLOZ} < V_{VIN} < V_{VIN\_OVP}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C}$  至  $+125^\circ\text{C}$  且  $T_J = 25^\circ\text{C}$  的条件下测得 ( 除非另有说明 )

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{VIN\_OKZ}$	VIN 转换器禁用阈值	VIN 下降, 无电池			2.35	V
$V_{VIN\_OVP}$	VIN 过压上升阈值	VIN 上升	35.5	36.3	37	V
	VIN 内部过压下降阈值	VIN 下降	33.8	34.5	35.2	V
$V_{BAT\_OK}$	允许 OTG 运行的电池电压	$V_{SRN}$ 上升, 无输入		2.8		V
	启用 BATFET 的电池电压	$V_{SRN}$ 上升, 无输入	2.4			V
$V_{BAT\_OKZ}$	禁用 OTG 运行的电池电压	$V_{SRN}$ 下降, 无输入			2.4	V
	禁用 BATFET 的电池电压	$V_{SRN}$ 下降, 无输入			1.9	V
<b>电源路径管理</b>						
$V_{SYSMIN\_RANGE}$	最小系统电压调节范围		3.0	28		V
$V_{SYSMIN\_STEP}$	典型 $V_{SYS\_MIN}$ 调节步长		20			mV
$V_{SYSMIN\_REG}$	VBAT < $V_{SYS\_MIN}$ 时的默认系统调节电压	1 节电池、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用	3.5	3.7		V
		2 节至 7 节串联电池、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用。失调电压高于 $V_{SYS\_MIN}$ ( 3.1V/节 )		200		mV
	VBAT < $V_{SYS\_MIN}$ 时的系统调节电压。VBAT = 2.5V/节	2 节串联电池、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用	6.2	6.4		V
		3 节串联电池、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用	9.3	9.5		V
		4 节串联电池、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用	12.4	12.6		V
		5 节串联电池、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用	15.5	15.7		V
		6 节串联电池、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用	18.5	18.8		V
		7 节串联电池、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用	21.6	21.9		V
$V_{SYSMAX\_REG}$	VBAT > $V_{SYS\_MIN}$ 时的默认系统调节电压	1 节 - 7 节串联电池、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用、PFM 禁用。失调电压高于 VBAT		200		mV
	VBAT > $V_{SYS\_MIN}$ 时的系统调节电压。VBAT = 3.8V/节。	1 节、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用、PFM 禁用	4.000	4.1		V
		3 节、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用、PFM 禁用	11.600	11.7		V
		7 节、 $ISYS = 0\text{A}$ 、充电禁用、PFM 禁用	26.800	27.0		V
$V_{SYS\_OVP}$	$V_{SYS}$ 过压保护	$V_{SYS}$ 上升以停止开关, 以系统调节电压的百分比表示	104	106	110	%
		$V_{SYS}$ 下降以开始开关, 以系统调节电压的百分比表示	98	100	104	%
$V_{SYS\_SHORT}$	$V_{SYS}$ 短路电压上升阈值		2.085	2.2	2.3	V
	$V_{SYS}$ 短路电压下降阈值		1.9	2.0	2.1	V
<b>电池充电器</b>						
$V_{REG\_RANGE}$	典型充电电压调节范围		2.4	33.0		V
$V_{REG\_STEP}$	典型充电电压步长		10			mV
$V_{REG\_ACC}$	充电电压调节精度	1 节至 7 节电池、 $T_J = 0^\circ\text{C}$ 至 $85^\circ\text{C}$	-0.55	0.5		%
		1 节至 7 节电池、 $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $125^\circ\text{C}$	-1.15	0.9		%
	充电电压调节精度、4.2V/节	1 节、 $T_J = 0^\circ\text{C}$ 至 $85^\circ\text{C}$	4.1769	4.2	4.221	V
		2 节、 $T_J = 0^\circ\text{C}$ 至 $85^\circ\text{C}$	8.358	8.4	8.442	V
		3 节、 $T_J = 0^\circ\text{C}$ 至 $85^\circ\text{C}$	12.537	12.6	12.663	V
		4 节、 $T_J = 0^\circ\text{C}$ 至 $85^\circ\text{C}$	16.716	16.8	16.884	V
		5 节、 $T_J = 0^\circ\text{C}$ 至 $85^\circ\text{C}$	20.895	21.0	21.105	V
		6 节、 $T_J = 0^\circ\text{C}$ 至 $85^\circ\text{C}$	25.074	25.2	25.326	V
		7 节、 $T_J = 0^\circ\text{C}$ 至 $85^\circ\text{C}$	29.253	29.4	29.547	V
$I_{CHG\_RANGE}$	典型充电电流调节范围		40	3300		mA

典型值在  $V_{VIN\_UVLOZ} < V_{VIN} < V_{VIN\_OVP}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C}$  至  $+125^\circ\text{C}$  且  $T_J = 25^\circ\text{C}$  的条件下测得 ( 除非另有说明 )

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{CHG\_STEP}$	典型充电电流步长			20		mA
$I_{CHG\_ACC}$	充电电流调节精度 ( $VBAT > VSYS\_MIN$ )、 $VBAT = 4V$ /节、 $R_{BAT\_SNS} = 10m\Omega$	$VBAT = 12V, 20V, 28V$ 。 $ICHG = 1.5A$	1425	1500	1575	mA
		$VBAT = 12V, 20V, 28V$ 。 $ICHG = 0.5A$	450	500	550	mA
$I_{CHG\_ACC}$	充电电流调节精度 ( $VBAT > VSYS\_MIN$ )、 $VBAT = 3V$ /节、 $R_{BAT\_SNS} = 10m\Omega$	$VBAT = 9V, 15V, 21V$ 。 $ICHG = 1.5A$	1425	1500	1575	mA
		$VBAT = 9V, 15V, 21V$ 。 $ICHG = 0.5A$	450	500	550	mA
$I_{TERM\_RANGE}$	典型终止电流范围		20		620	mA
$I_{TERM\_STEP}$	典型终止电流阶跃			20		mA
$I_{TERM\_ACC}$	终止电流精度、 $VBAT = 4.2V$ /节、 $R_{BAT\_SNS} = 10m\Omega$	$VBAT = 12.6V, 21V, 29.4V$ 。 $ITERM = 160mA$	140	160	176	mA
		$VBAT = 12.6V, 21V, 29.4V$ 。 $ITERM = 80mA$	60	80	120	mA
$I_{PRECHG}$	典型预充电电流范围	$VBAT < V_{BAT\_LOWV}$	20		620	mA
$I_{PRECHG\_STEP}$	典型预充电电流步长			20		mA
$I_{PRECHG\_ACC}$	预充电电流精度、 $VBAT = 2.5V$ /节、 $R_{BAT\_SNS} = 10m\Omega$	$VBAT = 7.5V, 12.5V, 17.5V$ 。 $IPRECHG = 300mA$	250	300	330	mA
		$VBAT = 7.5V, 12.5V, 17.5V$ 。 $IPRECHG = 160mA$	110	160	190	mA
$I_{BAT\_SHORT}$	锂离子电池的涓流充电电流精度	$VBAT < V_{BAT\_SHORT}$		100		mA
$V_{BAT\_SHORT}$	涓流充电至预充电转换 ( 1 节-2 节 )	$VBAT$ 上升、每节的阈值		2.15		V
	预充电至涓流充电转换 ( 1 节-2 节 )	$VBAT$ 下降、每节的阈值		1.85		V
	涓流充电至预充电转换 ( 3 节-7 节 )	$VBAT$ 上升、每节的阈值		2.2		V
	预充电至涓流充电转换 ( 3 节-7 节 )	$VBAT$ 下降、每节的阈值		2.0		V
$V_{BAT\_LOWV}$	预充电至快速充电转换	$VBAT$ 上升 ( 以 $VREG$ 的百分比表示 )， $VBAT\_LOWV[2:0] = 3$	69.0	71.4	73.8	%
		$VBAT$ 上升 ( 以 $VREG$ 的百分比表示 )， $VBAT\_LOWV[2:0] = 2$	64.3	66.7	69.0	%
		$VBAT$ 上升 ( 以 $VREG$ 的百分比表示 )， $VBAT\_LOWV[2:0] = 1$	52	55	58	%
		$VBAT$ 上升 ( 以 $VREG$ 的百分比表示 )， $VBAT\_LOWV[2:0] = 0$	27	30	33	%
$V_{BAT\_LOWV\_HYS}$	$BAT\_LOWV$ 迟滞			5		%
$V_{RECHG}$	电池充电阈值	$VBAT$ 下降 ( 以 $VREG$ 的百分比表示 )， $VRECHG[1:0] = 3$		97		%
		$VBAT$ 下降 ( 以 $VREG$ 的百分比表示 )， $VRECHG[1:0] = 2$		95.5		%
		$VBAT$ 下降 ( 以 $VREG$ 的百分比表示 )， $VRECHG[1:0] = 1$		94.1		%
		$VBAT$ 下降 ( 以 $VREG$ 的百分比表示 )， $VRECHG[1:0] = 0$		92.7		%
$I_{SYS\_LOAD}$	系统 (SYS) 放电负载电流	$FORCE\_ISYS\_DSCHG = 1$	20		mA	
$I_{VIN\_LOAD}$	输入 (VIN) 放电负载电流	$FORCE\_VIN\_DSCHG = 1$	20		mA	
<b>BATFET 控制</b>						
$V_{BATDRV\_REG}$	BATFET 驱动电压	$V_{BATDRV} - V_{SRP}$ 、 $VIN < VBAT$		5		V

典型值在  $V_{VIN\_UVLOZ} < V_{VIN} < V_{VIN\_OVP}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C}$  至  $+125^\circ\text{C}$  且  $T_J = 25^\circ\text{C}$  的条件下测得 ( 除非另有说明 )

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{BATDRV\_REG}$	BATFET 电荷泵电流限制		$V_{BATDRV} - V_{SRP} = 5\text{V}$ 、 $VIN = 0\text{V}$		50	$\mu\text{A}$
<b>电池保护</b>						
$V_{BAT\_OVP}$	电池过压阈值	VBAT 上升, 以 VREG 的百分比表示	102	104	105.5	%
		VBAT 下降, 以 VREG 的百分比表示	100	102	103.5	%
<b>输入电压/电流调节</b>						
$V_{INDPM\_RANGE}$	输入电压 DPM 调节范围		2.5	34	34	V
$V_{INDPM\_STEP}$	典型的输入电压 DPM 调节阶跃			20		$\text{mV}$
$V_{INDPM\_ACC}$	输入电压 DPM 调节精度	$V_{INDPM} = 20\text{V}$	19.6	20	20.4	V
		$V_{INDPM} = 12\text{V}$	11.76	12	12.24	V
		$V_{INDPM} = 4.3\text{V}$	4.17	4.3	4.43	V
		$V_{INDPM} = 3\text{V}$	2.85	3	3.15	V
$I_{INDPM\_RANGE}$	输入电流压 DPM 调节范围		40	3300	3300	$\text{mA}$
$I_{INDPM\_STEP}$	典型输入电流 DPM 调节步长			20		$\text{mA}$
$I_{INDPM\_ACC}$	输入电流 DPM 调节精度	$I_{INDPM} = 3000\text{mA}$	2700	2850	3000	$\text{mA}$
		$I_{INDPM} = 1500\text{mA}$	1350	1425	1500	$\text{mA}$
		$I_{INDPM} = 900\text{mA}$	810	855	900	$\text{mA}$
		$I_{INDPM} = 500\text{mA}$	450	475	500	$\text{mA}$
$K_{ILIM}$	输入电流限制比例因子 ( $I_{IN\_MAX} = K_{ILIM} / R_{ILIM}$ )	$I_{IN\_MAX} = 1.6\text{A}、1\text{A}、0.5\text{A}$	2890	3333	3780	$\text{A} \times \Omega$
$V_{IH\_ILIM\_HIZ}$	进入高阻态模式的 $ILIM\_HIZ$ 输入高电平阈值	$V_{ILIM\_HIZ}$ 上升	1.77			V
<b>热调节和热关断</b>						
$T_{REG}$	结温调节精度	$T_{REG} = 120^\circ\text{C}$		120		$^\circ\text{C}$
		$T_{REG} = 80^\circ\text{C}$		80		$^\circ\text{C}$
$T_{SHUT}$	热关断上升阈值	温度上升		165		$^\circ\text{C}$
$T_{SHUTZ}$	热关断下降阈值	温度下降		130		$^\circ\text{C}$
<b>开关转换器</b>						
$F_{SW}$	开关频率	$FSW = b001$	382.5	450	517.5	KHZ
		$FSW = b010$	425	500	575	KHZ
		$FSW = b011$	467.5	550	632.5	KHZ
		$FSW = b100$	510	600	690	KHZ
		$FSW = b101$	595	700	805	KHZ
		$FSW = b110$	1020	1200	1380	KHZ
$R_{Q1\_ON}$	VIN 至到 SW1 MOSFET 导通电阻			37	67	$\text{m}\Omega$
$R_{Q2\_ON}$	SW1 至 GND MOSFET 导通电阻			77	140	$\text{m}\Omega$
$R_{Q3\_ON}$	SW2 至 GND MOSFET 导通电阻			77	140	$\text{m}\Omega$
$R_{Q4\_ON}$	SYS 至到 SW2 MOSFET 导通电阻			37	67	$\text{m}\Omega$
<b>旁路模式</b>						
$V_{BYPDRV\_REG}$	外部旁路 FET 驱动电压	$VIN = 4\text{V}、V_{BYP\_DRV} - V_{SRN}、VIN > VBAT、EN\_BYPASS = 1、EN\_EXT\_BYPASS = 1$		4.18		V
$I_{BYPDRV\_REG}$	外部旁路 FET 电荷泵电流限制	$V_{BYPDRV} - V_{SYS} = 5\text{V}$	16	23		$\mu\text{A}$
$I_{BYPDRV\_OFF}$	外部旁路 FET 关断电流			460		$\mu\text{A}$

典型值在  $V_{VIN\_UVLOZ} < V_{VIN} < V_{VIN\_OVP}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C}$  至  $+125^\circ\text{C}$  且  $T_J = 25^\circ\text{C}$  的条件下测得 ( 除非另有说明 )

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{EXTBYP\_OCP}$	退出旁路模式的外部旁路过流限制  $EN\_BYPASS = 1$ 、 $EN\_EXT\_BYPASS = 1$ 。 $R_{AC\_SNS} = 10m\Omega$	5.35	5.5		A
$I_{BYP\_OCP}$	退出旁路模式的内部旁路过流限制。  $EN\_BYPASS = 1$ 、 $EN\_EXT\_BYPASS = 0$ 、高于 $IINDPM$ 设置的百分比。 $R_{AC\_SNS} = 10m\Omega$		15		%
$I_{BYP\_LL}$	退出旁路模式的旁路轻负载电流限制  $EN\_BYPASS = 1$ 、电流下降。 $R_{AC\_SNS} = 10m\Omega$		130		mA
$I_{REV\_EXTBYP\_OCP}$	退出旁路模式的外部反向旁路过流限制  $EN\_REV = 1$ 、 $EN\_BYPASS = 1$ 、 $EN\_EXT\_BYPASS = 1$ 。 $R_{AC\_SNS} = 10m\Omega$	5.35	5.5		A
$I_{REV\_BYP\_OCP}$	退出旁路模式的内部反向旁路过流限制  $EN\_REV = 1$ 、 $EN\_BYPASS = 1$ 、 $EN\_EXT\_BYPASS = 0$ 、高于 $IIN\_REV$ 设置的百分比。 $R_{AC\_SNS} = 10m\Omega$		15		%
$I_{REV\_BYP\_LL}$	退出旁路模式的反向旁路轻负载电流限制  $EN\_BYPASS = 1$ 、 $EN\_EXT\_BYPASS = 0$ 、反向电流下降。 $R_{AC\_SNS} = 10m\Omega$		122		mA

#### 反向模式电压和电流调节

$V_{INREV\_RANGE}$	$VIN$ 处的反向模式电压调节范围		3.5	34	V
$V_{INREV\_STEP}$	$VIN$ 处的反向模式电压调节步长			20	mV
$V_{INREV\_ACC}$	VIN 处的反向模式电压调节 :	VIN_REV = 20V	19.8	20	20.2
		VIN_REV = 15V	14.8	15	15.2
		VIN_REV = 9V	8.8	9	9.2
		VIN_REV = 5V	4.8	5	5.2
$V_{INREV\_BACKUP}$	触发反向备用模式的 $VIN$ 下降阈值。定义为 $VINDPM$ 的百分比	VIN_BACKUP = 100%、 $VINDPM = 15V$	93.5	100	106.5
		VIN_BACKUP = 80%、 $VINDPM = 15V$	75	80	85
		VIN_BACKUP = 60%、 $VINDPM = 15V$	56	60	64
		VIN_BACKUP = 50%、 $VINDPM = 15V$	46	50	54
$I_{INREV\_RANGE}$	ACP/ACN 之间的反向模式电流调节范围		40	3300	mA
$I_{INREV\_STEP}$	ACP/ACN 之间的反向模式电流调节步长			20	mA
$I_{INREV\_ACC}$	ACP/ACN 之间上的反向模式电流调节精度	IIN_REV = 3000mA	2680	2850	3000
		IIN_REV = 1500mA	1300	1425	1500
		IIN_REV = 900mA	750	855	930
		IIN_REV = 500mA	380	475	560
$I_{BATREV\_ACC}$	SRP/SRN 之间的反向模式电池放电电流调节精度	IBAT_REV = 3.56A	3410	3560	3710
		IBAT_REV = 2.28A	2130	2280	2430
		IBAT_REV = 1A	850	1000	1150
$V_{INREV\_OV}$	反向模式 $VIN$ 上升阈值	$VIN$ 上升, 以 $VIN\_REV$ 的百分比表示	110		%
$V_{INREV\_UV}$	停止转换器的反向模式 $VIN$ 下降阈值	$VIN$ 下降		2.95	V

#### 电池包 NTC 监控器 ( 充电模式 )

$V_{T1\_RISE}$	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, $TS\_TH1 = 0^\circ\text{C}$ ( 带 103AT )	72.0	73.3	74.2	%
$V_{T1\_FALL}$	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, $TS\_TH1 = 0^\circ\text{C}$ ( 带 103AT )	71.0	72	73.5	%
$V_{T2\_RISE}$	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, $TS\_TH2 = 10^\circ\text{C}$ ( 带 103AT )	67.0	68.25	69.25	%

典型值在  $V_{VIN\_UVLOZ} < V_{VIN} < V_{VIN\_OVP}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C}$  至  $+125^\circ\text{C}$  且  $T_J = 25^\circ\text{C}$  的条件下测得 (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{T2\_FALL}$	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, $TS\_TH2 = 10^\circ\text{C}$ (带 103AT)	66.0	66.95	68.5 %
$V_{T3\_FALL}$	TS 引脚电压下降 T3 阈值, 低于该电压时重新充电至降低的 VREG。	以 REGN 的百分比表示, $TS\_TH3 = 45^\circ\text{C}$ (带 103AT)	43.75	44.75	45.75 %
$V_{T3\_RISE}$	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, $TS\_TH3 = 45^\circ\text{C}$ (带 103AT)	45.0	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, $TS\_TH5 = 60^\circ\text{C}$ (带 103AT)	33.5	34.375	34.875 %
$V_{T5\_RISE}$	TS 引脚电压上升 T5 阈值。高于该电压时以降低的 VREG 充电。	以 REGN 的百分比表示, $TS\_TH5 = 60^\circ\text{C}$ (带 103AT)	34.5	35.5	36 %

#### 电池包 NTC 监控器 (反向模式)

$V_{TS\_REV\_COLD\_RISE}$	TS 引脚电压上升 TS COLD 阈值。高于该电压时反向模式暂停	以 REGN 的百分比表示 ( $TS\_REV\_COLD = -20^\circ\text{C}$ , 带 103AT)	78.0	80	81.0 %
		以 REGN 的百分比表示 ( $TS\_REV\_COLD = -10^\circ\text{C}$ , 带 103AT)	75.0	77.15	78.0 %
$V_{TS\_REV\_COLD\_FALL}$	TS 引脚电压下降 TS COLD 阈值。低于该电压时反向模式恢复	以 REGN 的百分比表示 ( $TS\_REV\_COLD = -20^\circ\text{C}$ , 带 103AT)	77.5	78.7	80.0 %
		以 REGN 的百分比表示 ( $TS\_REV\_COLD = -10^\circ\text{C}$ , 带 103AT)	74.5	75.6	77.0 %
$V_{TS\_REV\_HOT\_FALL}$	TS 引脚电压下降 TS HOT 阈值。低于该电压时反向模式暂停	以 REGN 的百分比表示 ( $TS\_REV\_HOT = 55^\circ\text{C}$ , 带 103AT)	36.5	37.7	38.2 %
		以 REGN 的百分比表示 ( $TS\_REV\_HOT = 60^\circ\text{C}$ , 带 103AT)	33.5	34.375	34.875 %
		以 REGN 的百分比表示 ( $TS\_REV\_HOT = 65^\circ\text{C}$ , 带 103AT)	30.5	31.25	31.75 %
$V_{TS\_REV\_HOT\_RISE}$	TS 引脚电压上升 TS HOT 阈值。高于该电压时反向模式恢复	以 REGN 的百分比表示 ( $TS\_REV\_HOT = 55^\circ\text{C}$ , 带 103AT)	38.5	39	39.95 %
		以 REGN 的百分比表示 ( $TS\_REV\_HOT = 60^\circ\text{C}$ , 带 103AT)	34.5	35.5	36 %
		以 REGN 的百分比表示 ( $TS\_REV\_HOT = 65^\circ\text{C}$ , 带 103AT)	31.5	32.5	33 %

#### REGN LDO

$V_{REGN}$	REGN LDO 输出电压	$V_{IN} = 5\text{V}$ 、 $I_{REGN} = 20\text{mA}$	4.6	4.8	V
		$V_{IN} = 15\text{V}$ 、 $I_{REGN} = 20\text{mA}$	4.8	5	5.2 V
$I_{REGN}$	REGN LDO 电流限制	$V_{IN} = 5\text{V}$ 、 $V_{REGN} = 4.5\text{V}$	26		mA

#### I2C 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
$V_{OL}$	SDA 输出低阈值电平			0.4 V
$I_{IN\_BIAS}$	高电平漏电流		1	$\mu\text{A}$

#### 逻辑输入引脚 (CE)

$V_{IH}$	输入高阈值电平		1.3	V
$V_{IL}$	输入低阈值电平			0.4 V
$I_{IN\_BIAS}$	高电平漏电流	上拉电源轨 1.8V	1	$\mu\text{A}$

#### 逻辑输出引脚 (INT, STAT)

$V_{OL}$	输出低阈值电平	灌电流 = 5mA	0.4	V
----------	---------	-----------	-----	---

典型值在  $V_{VIN\_UVLOZ} < V_{VIN} < V_{VIN\_OVP}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C}$  至  $+125^\circ\text{C}$  且  $T_J = 25^\circ\text{C}$  的条件下测得 ( 除非另有说明 )

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{OUT\_BIAS}$	高电平漏电流 上拉电源轨 1.8V			2	$\mu\text{A}$

## 5.6 时序要求

参数	测试条件	最小值	标称值	最大值	单位
<b>电池充电器</b>					
$t_{TOP\_OFF}$	充电完成计时器精度	TOPOFF_TMR[1:0] = b01	12	15	18 min
		TOPOFF_TMR[1:0] = b10	24	30	36 min
		TOPOFF_TMR[1:0] = b11	36	45	54 min
$t_{SAFETY\_PRECHG}$	预充电中的充电安全计时器	PRECHG_TMR = b0	1.8	2	2.2 hr
$t_{SAFETY}$	充电安全计时器精度	CHG_TMR[1:0] = b00	4.5	5	5.5 hr
		CHG_TMR[1:0] = b01	7.2	8	8.8 hr
		CHG_TMR[1:0] = b10	10.8	12	13.2 hr
		CHG_TMR[1:0] = b11	21.6	24	26.4 hr
$t_{CV\_TMR}$	CV 计时器精度	CV_TMR = b1010	8.5	10	11.5 hr
$t_{TS\_DGL}$	TS 阈值交叉的抗尖峰脉冲时间			30	ms
<b>I2C 接口</b>					
$f_{SCL}$	SCL 时钟频率			1000	KHZ
$t_r$	SDA 信号的上升时间	$f_{SCL} = 1\text{MHz}$		120	ns
$t_r$	SDA 信号的上升时间	$f_{SCL} = 400\text{kHz}$		300	ns
$t_r$	SDA 信号的上升时间	$f_{SCL} = 100\text{kHz}$		1000	ns
$C_b$	每个总线的容性负载			550	pF
<b>看门狗计时器</b>					
$t_{LP\_WDT}$	看门狗复位时间	EN_HIZ = 1、WATCHDOG = 160s	100	160	s
$t_{WDT}$	看门狗复位时间	EN_HIZ = 0、WATCHDOG = 160s	136	160	s

## 5.7 典型特性

$C_{VIN} = 10 \times 4.7 \mu F$ ,  $C_{SYS} = 6 \times 4.7 \mu F$ ,  $C_{BAT} = 4 \times 4.7 \mu F$ ,  $L1 = 10 \mu H$  (SRP5050FA-100M)

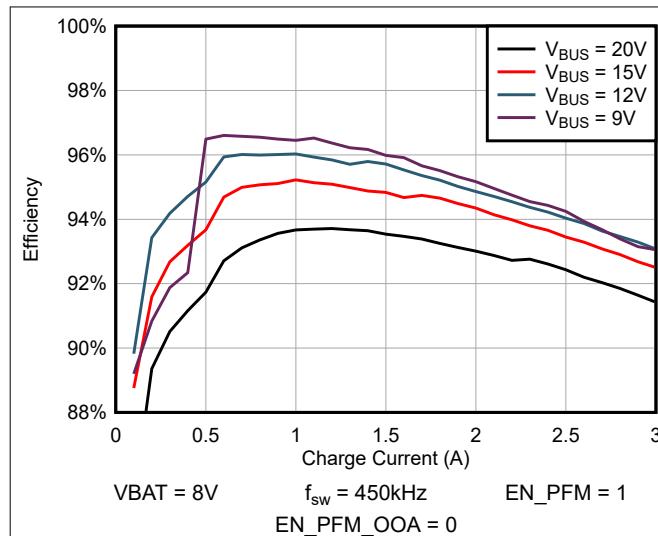


图 5-1.2 2 节串联电池充电效率与充电电流间的关系

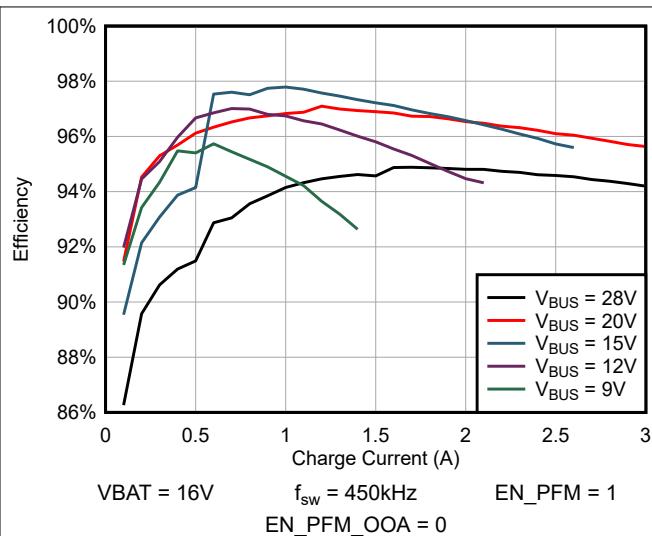


图 5-2.4 4 节串联电池充电效率与充电电流间的关系

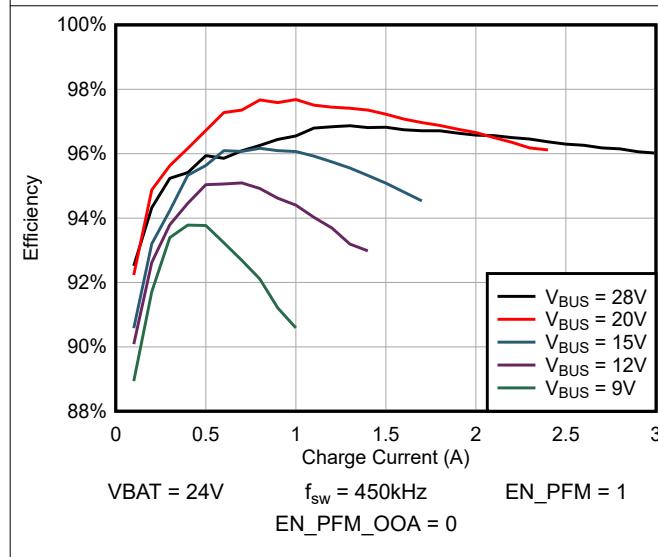


图 5-3.6 6 节串联电池充电效率与充电电流间的关系

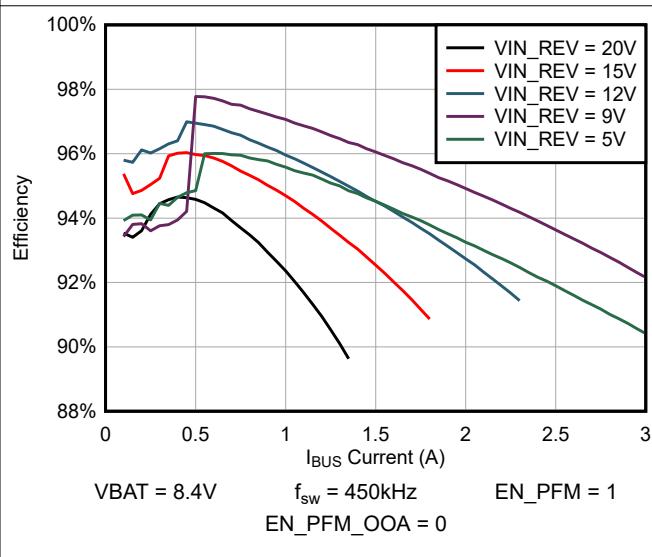


图 5-4.2 2 节电池 OTG 效率与 OTG 电流间的关系

## 5.7 典型特性 (续)

$C_{VIN} = 10 \times 4.7 \mu F$ ,  $C_{SYS} = 6 \times 4.7 \mu F$ ,  $C_{BAT} = 4 \times 4.7 \mu F$ ,  $L1 = 10 \mu H$  (SRP5050FA-100M)

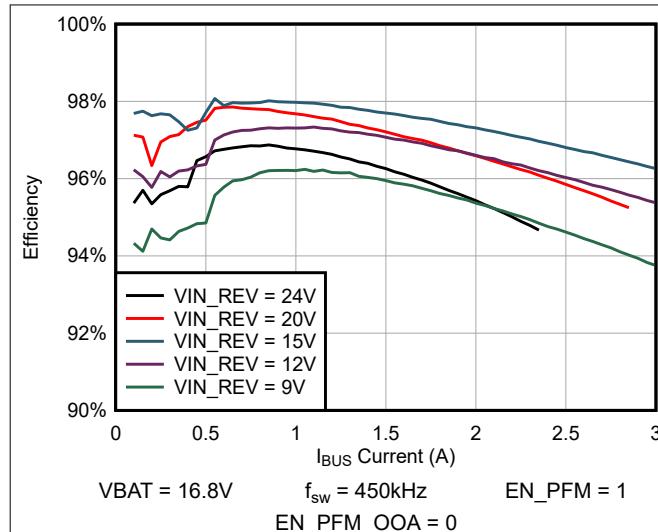


图 5-5.4 5 节电池 OTG 效率与 OTG 电流间的关系

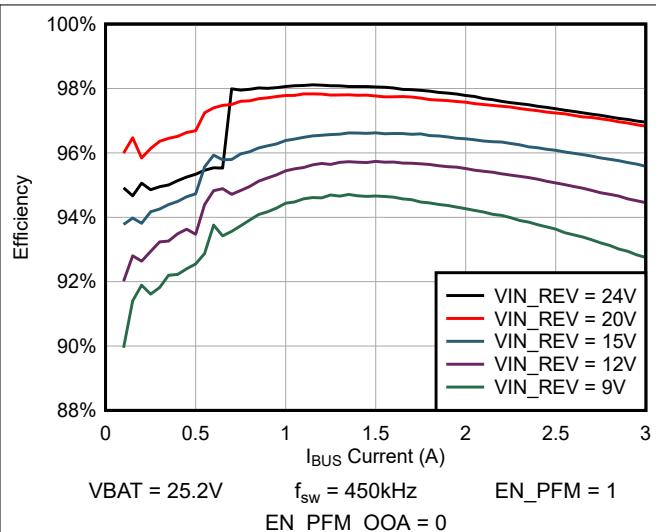


图 5-6.6 6 节电池 OTG 效率与 OTG 电流间的关系

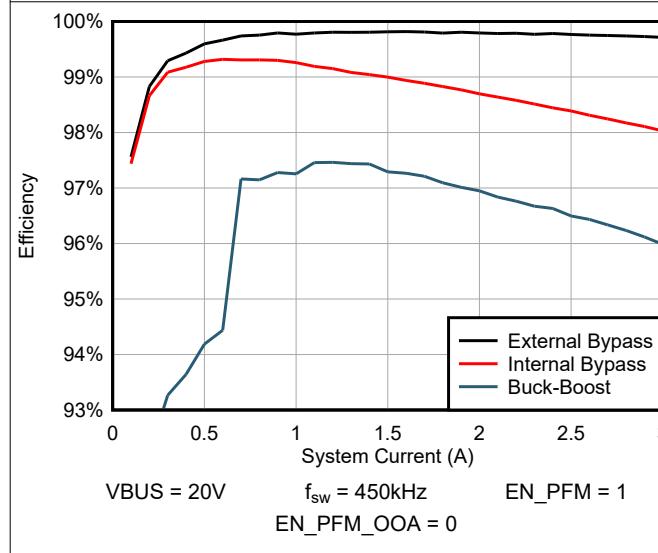


图 5-7. 旁路模式效率与系统电流间的关系

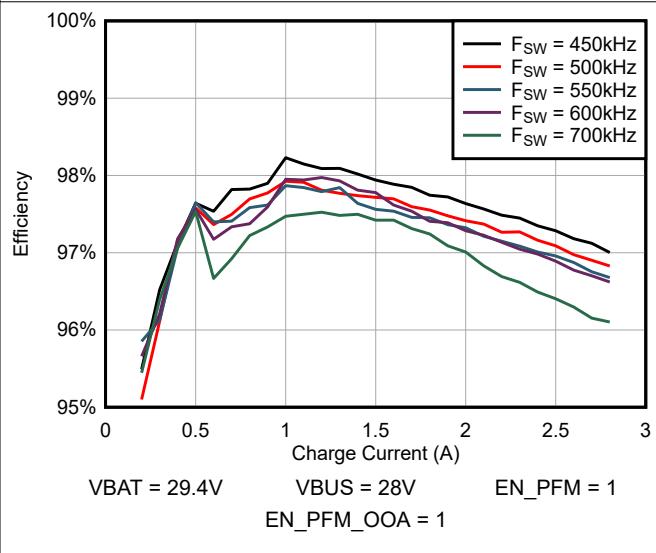


图 5-8. 不同开关频率下 7 节串联电池充电效率与充电电流间的关系

## 5.7 典型特性 (续)

$C_{VIN} = 10 * 4.7 \mu F$ ,  $C_{SYS} = 6 * 4.7 \mu F$ ,  $C_{BAT} = 4 * 4.7 \mu F$ ,  $L1 = 10 \mu H$  (SRP5050FA-100M)

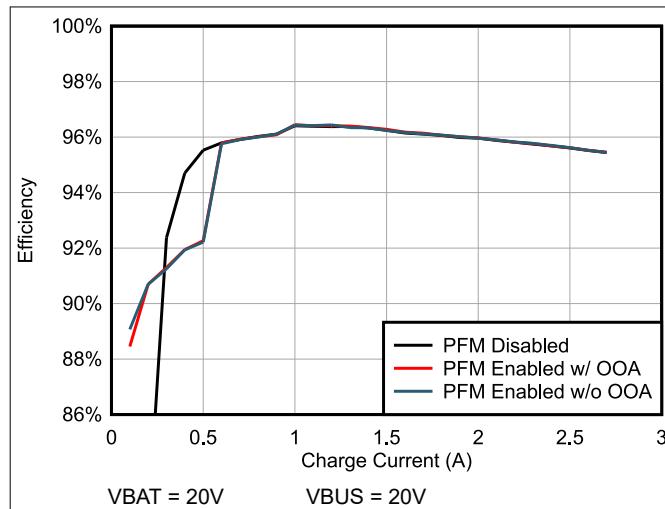


图 5-9. 不同 PWM/PFM/OOA 模式下 5 节串联电池充电效率与充电电流间的关系

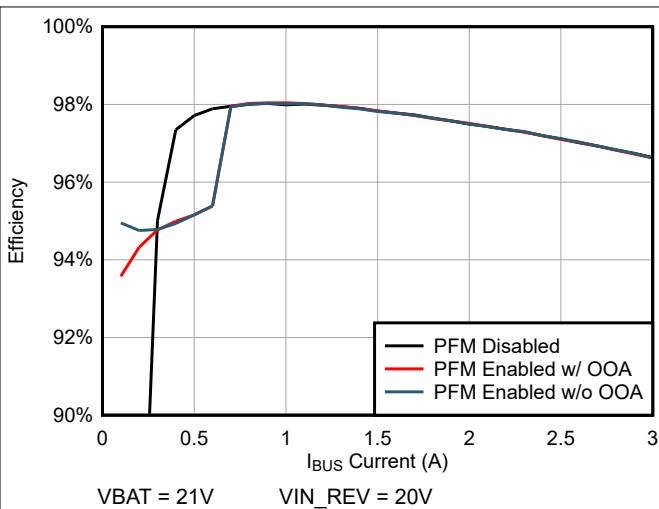


图 5-10. 不同 PWM/PFM/OOA 模式下 5 节串联电池 OTG 效率与充电电流间的关系

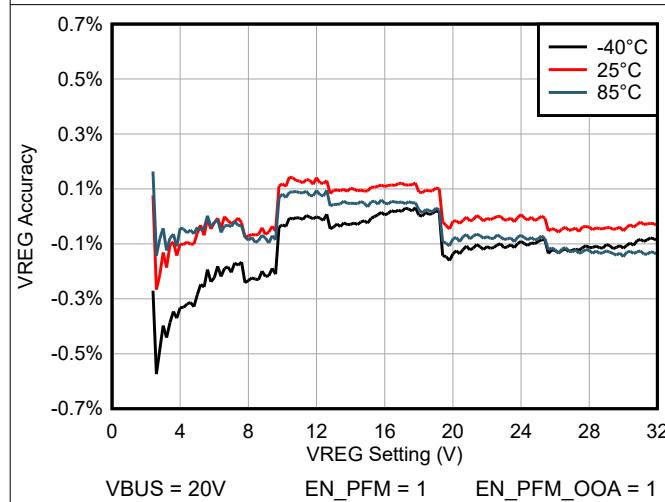


图 5-11. 充电电压精度

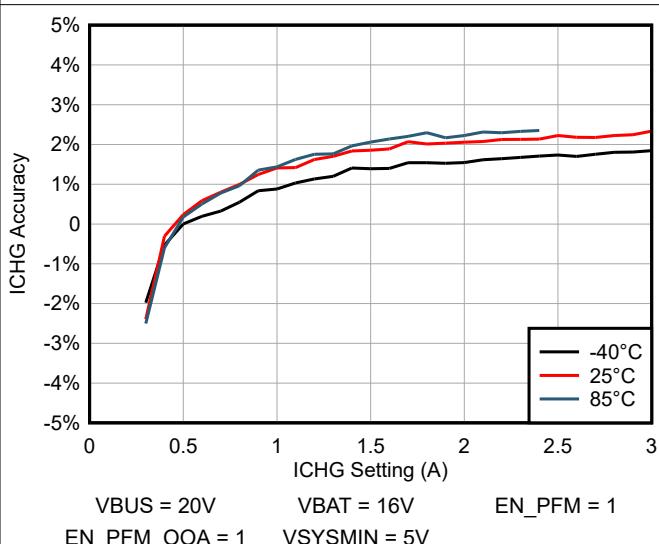


图 5-12. 充电电流精度 (VBAT > VSYSMIN)

## 5.7 典型特性 (续)

$C_{VIN} = 10 * 4.7\mu F$ ,  $C_{SYS} = 6 * 4.7\mu F$ ,  $C_{BAT} = 4 * 4.7\mu F$ ,  $L1 = 10\mu H$  (SRP5050FA-100M)

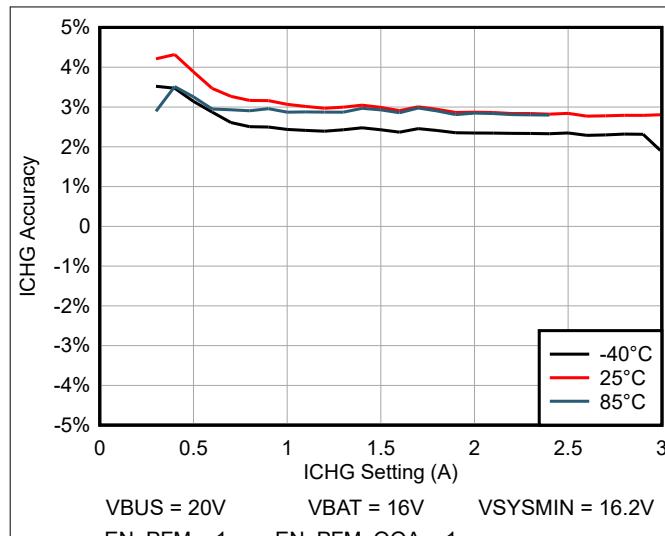


图 5-13. 充电电流精度 ( $VBAT < VSYSMIN$ )

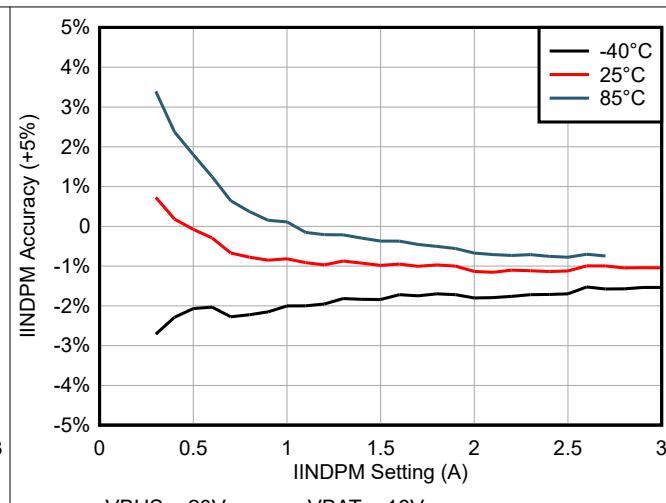


图 5-14. IINDPM 精度

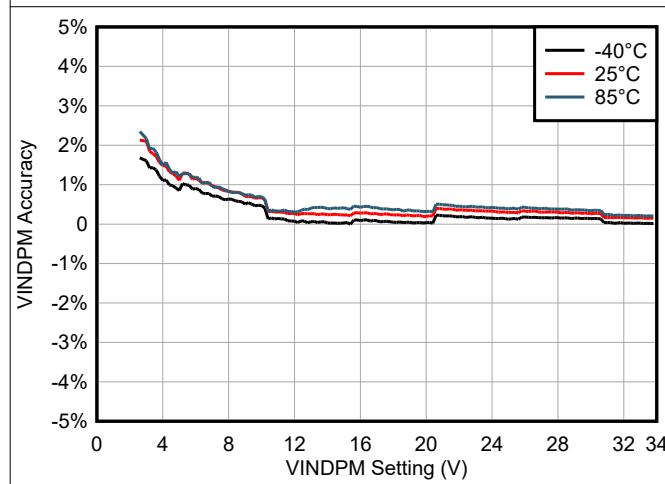


图 5-15. VINDPM 精度

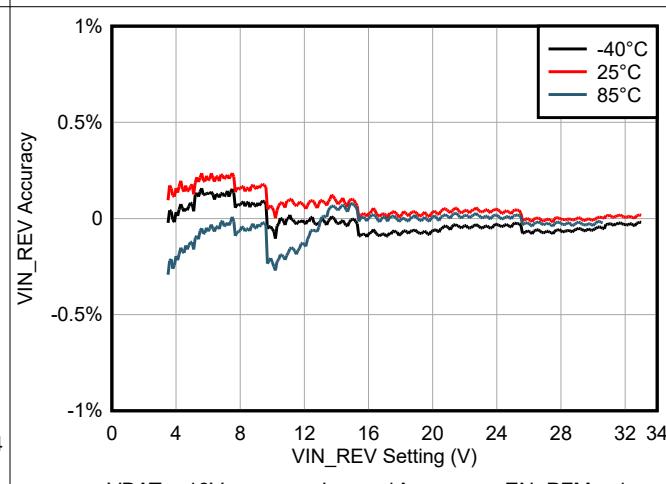


图 5-16. VIN\_REV 精度

## 5.7 典型特性 (续)

$C_{VIN} = 10 * 4.7\mu F$ ,  $C_{SYS} = 6 * 4.7\mu F$ ,  $C_{BAT} = 4 * 4.7\mu F$ ,  $L1 = 10\mu H$  (SRP5050FA-100M)

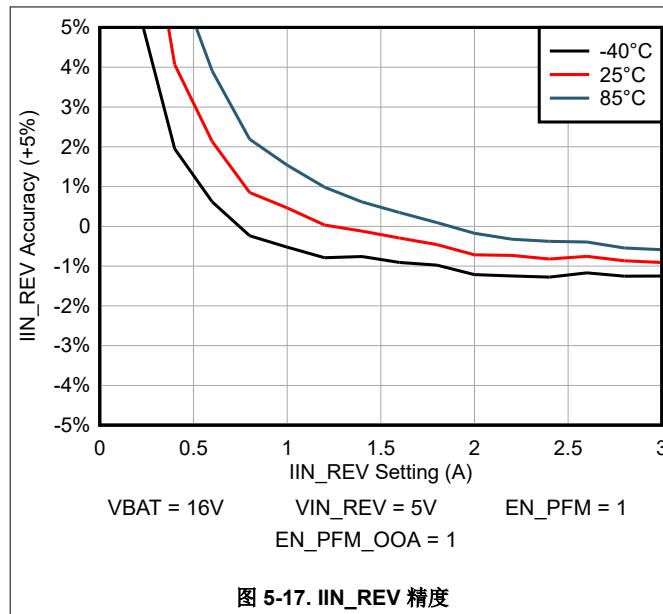


图 5-17. IIN\_REV 精度

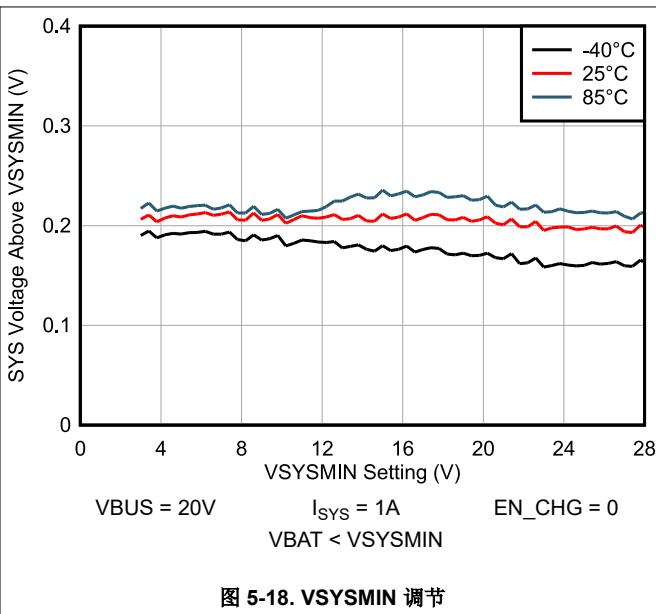


图 5-18. VSYSMIN 调节

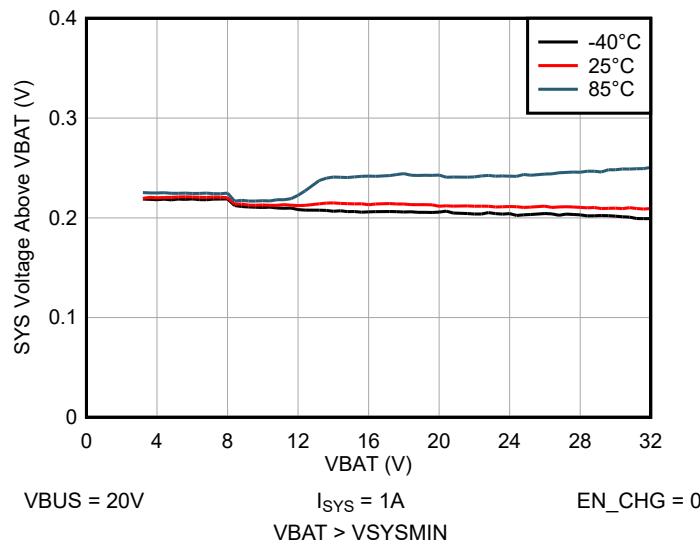


图 5-19. VSYSMAX 调节

## 6 详细说明

### 6.1 概述

BQ25690 是一款完全集成的开关模式降压/升压充电器，适用于 1-7 节锂离子电池和锂聚合物电池。2.5V 至 34V 的宽输入电压范围支持由电池、标准 USB-PD 适配器及高压专用直流适配器供电的应用。该器件集成了 4 个开关 MOSFET ( Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>、Q<sub>3</sub>、Q<sub>4</sub> )，以及降压/升压转换器的所有环路补偿，设计简单，能实现小尺寸解决方案。BQ25690 符合 USB 电力传输 (USB-PD) 功率规范，具有输入电流和电压调节功能。此外，输入电流优化器 (ICO) 还能够检测输入源未发生过载时的最大功率点。该器件还可以在反向模式下运行，可提供从电池到输入端口的电源，具有 USB-PD 功率分布兼容性。

BQ25690 使用窄范围 VDC (NVDC) 电源路径管理，将系统电压调节至稍高于电池电压的水平，但是不会下降至低于可配置的最小系统电压。即便在电池完全放电或被取出时，此架构仍能维持系统正常运行。当达到输入电流限值或输入电压限值时，电源路径管理系统会自动减小充电电流。如果系统负载持续增加，则电源路径会使电池放电，直到满足系统电源要求。该补充模式可防止输入源过载。

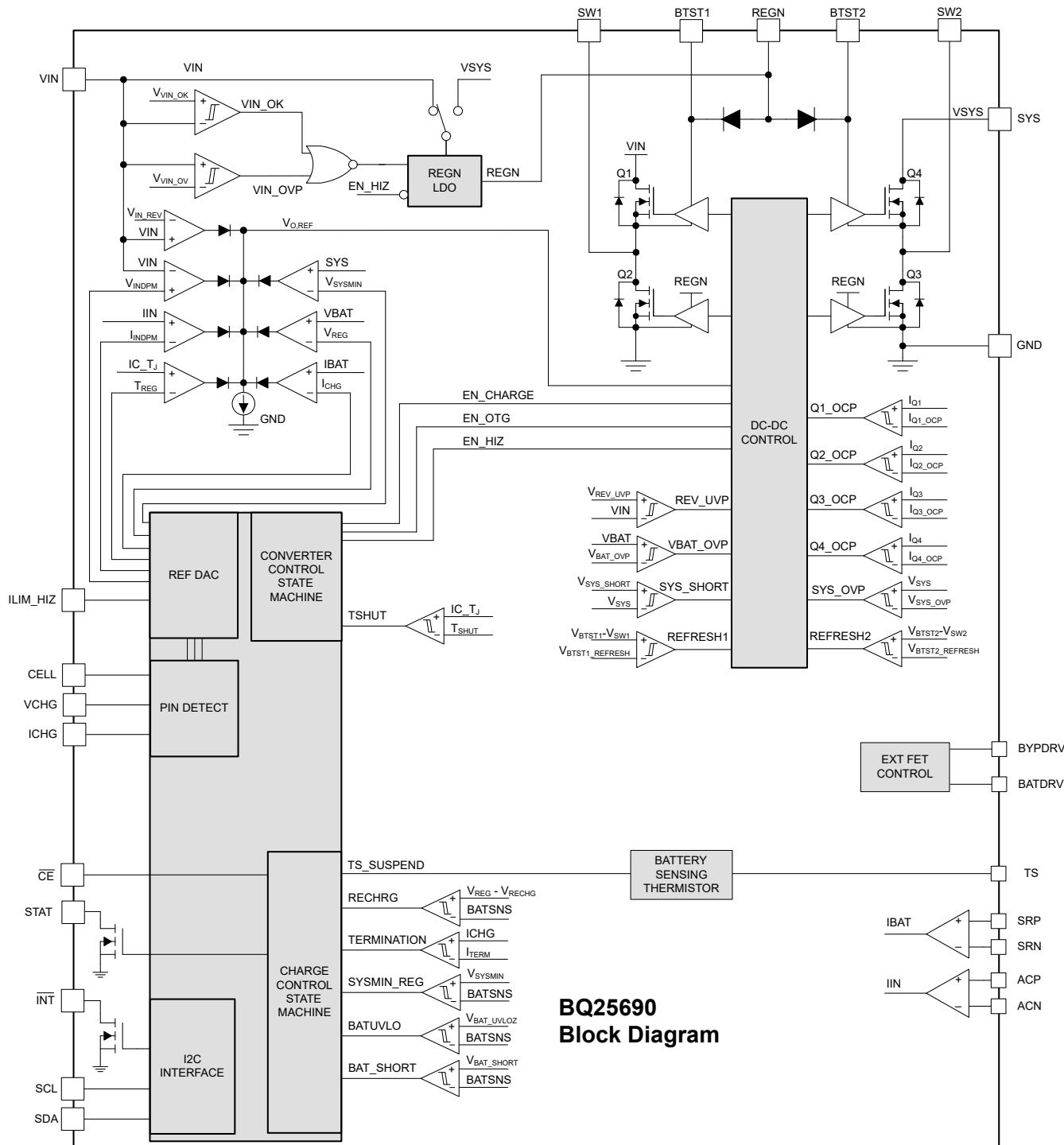
此器件无需主机控制即可启动并完成一个充电周期。启动时，器件会读取 CELL、VCHG 和 ICHG 引脚上的电阻值，确定充电曲线的正确设置，并相应更新寄存器设置。随后，器件会根据检测到的电池电压，分四个阶段为电池充电：涓流充电、预充电、恒流 (CC) 充电和恒压 (CV) 充电。在充电周期的末尾，当充电电流低于预设阈值并且电池电压高于再充电阈值时，充电器自动终止。TS 引脚 COOL、NORMAL 和 WARM 温度区域支持充电终止。当整个电池电压下降到低于可编程充电阈值时，充电器会自动启动新的充电周期。在没有主机控制时，充电器即可基于输入电压与电池电压，在降压、升压和降压/升压模式间无缝切换。

在无输入源的情况下，BQ25690 支持反向模式运行，使电池放电以在 VIN 上生成可调节 3.5V 至 34V 电压，步长为 20mV。该可调输出电压符合 USB PD 3.0 规范中定义的 PPS 特性。BQ25690 还使用相同的机制支持备用特性，在这种机制下，在移除适配器后，可为连接到 VIN 的系统负载提供可调反向模式电压。配置完成后，集成的备用比较器会自动触发转换器以使电池放电，抑制 VIN 节点并在无需主机干预的情况下转换到备用模式。

该充电器提供针对电池充电和系统运行的多种安全特性，其中包括电池负温度系数热敏电阻 (NTC) 监视、涓流充电、预充电和快速充电计时器以及电池和充电器电源输入引脚上的过压和过流保护。当裸片温度超过可编程的阈值时，热调节会减小充电电流。器件的 STAT 输出报告充电状态和任何故障状况。当发生故障或状态改变时，INT 引脚会立即通知主机。

该器件采用 WQFN 4mm × 3.5mm 26 引脚封装。

## 6.2 功能方框图



## 6.3 特性说明

### 6.3.1 器件上电复位

$V_{IN}$  或在 SRN 处连接的电池为充电器的内部偏置电路供电。验证器件上电的有效电压：当从  $V_{IN}$  供电时，需大于  $V_{VIN\_OK}$ ，当从电池供电时，需大于  $V_{BAT\_OK}$ 。

### 6.3.2 仅电池上电状态

当  $V_{IN}$  处没有有效输入源时，充电器进入仅电池模式。该器件已为  $I^2C$  通信做好准备，并且转换器已准备好在反向模式下运行。充电器处于低静态电流模式且  $BATFET$  导通，以支持系统负载并且  $REGN$  关断。

### 6.3.3 器件高阻态状态

高阻态状态是指一种充电器状态，在这种状态下，即使存在有效的适配器， $REGN$  LDO 也会处于关断状态并且转换器停止切换。器件从输入源消耗的电流为  $I_{HIZ\_VIN}$ ，并且系统负载由电池提供。

当  $EN\_HIZ$  位设置为 1 或  $ILIM\_HIZ$  引脚被拉至高于  $V_{IH\_ILIM\_HIZ}$  时，器件进入高阻态模式（请参阅  $ILIM\_HIZ$  引脚）。

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（ $EN\_HIZ$  位设置为 1 或  $ILIM\_HIZ$  引脚被拉至高于  $V_{IH\_ILIM\_HIZ}$ ），则切换停止。一旦主机清除高阻态模式条件，器件恢复反向模式运行。

当  $EN\_HIZ$  位被清零为 0，并且  $ILIM\_HIZ$  引脚不再被拉高时，器件将退出高阻态模式。器件通过  $ILIM\_HIZ$  引脚退出高阻态模式后， $CELL$ 、 $ICHG$  和  $VCHG$  引脚值就会更新，允许通过切换  $ILIM\_HIZ$  引脚来更新独立充电器的设置。

### 6.3.4 为 $REGN$ LDO 上电

当器件通过  $V_{IN}$  上电时，LDO 会在  $V_{VIN\_OK} < V_{IN} < V_{VIN\_OVP}$  时导通，并且由于  $EN\_HIZ$  位 =1，充电器未处于高阻态模式。当器件仅通过电池供电时，LDO 仅在反向模式下运行时导通，以便最大限度减小电池静态电流并延长电池寿命。

$REGN$  LDO 为内部偏置电路和 MOSFET 棚极驱动器供电。 $TS$  和  $STAT$  的上拉电源轨可连接至  $REGN$ 。使用  $\overline{INT}$  引脚上拉电源轨作为外部电压源，而不是  $REGN$ 。这是因为在仅电池供电的情况下， $REGN$  输出不可用。

### 6.3.5 默认 $VINDPM$ 设置

该器件支持用于高压充电的宽输入电压限制（2.5V - 34V）范围，并提供两种方法来设置输入电压限制（ $VINDPM$ ）阈值以方便自主检测。

#### 1. 绝对 $VINDPM$ ( $FORCE\_VINDPM = 1$ )

设置  $FORCE\_VINDPM = 1$  会禁用  $VINDPM$  阈值设置算法。寄存器  $VINDPM$  可写入并允许主机设置  $VINDPM$  功能的绝对阈值。

#### 2. 基于空载 $V_{IN}$ 电压的相对 $VINDPM$ ( $FORCE\_VINDPM = 0$ )

当  $FORCE\_VINDPM = 0$  时， $VINDPM$  阈值设置算法启用并且在下列情况下会自动更改  $VINDPM$  限制：

- 适配器插入 ( $V_{IN} > V_{IN\_OK}$ )
- 通过  $EN\_HIZ$  寄存器位退出高阻态模式

充电器自动将默认  $VINDPM$  阈值设置为：

- 空载  $V_{IN}$  的 84.375%， $V_{IN} \leq 6V$  (5V 输入设置 4.2V  $VINDPM$ ) 时
- 空载  $V_{IN}$  的 87.5%， $V_{IN} > 6V$  (20V 输入设置 17.5V  $VINDPM$ ) 时

当切换  $EN\_HIZ$  位时，会重新测量空载  $V_{IN}$ 。这导致转换器停止开关，并且系统会更新  $VINDPM$  寄存器字段。为了在高阻态切换事件期间保持系统电压，主机必须验证电池是否存在。

当空载  $V_{IN}$  超出  $VINDPM$  寄存器范围时，充电器根据需要将  $VINDPM$  寄存器设置为最小值（2.5V）或最大值（34V）。

### 6.3.6 具有 $CELL$ 、 $ICHG$ 和 $VCHG$ 引脚的默认充电曲线设置

该器件使用  $CELL$ 、 $ICHG$  和  $VCHG$  引脚提供独立的充电曲线编程。在启动时读取这些引脚上的电阻，该值用于确定器件的默认充电电压（ $CELL$  和  $VREG$  寄存器）以及充电电流（ $ICHG$  寄存器）。一旦器件使用  $ILIM\_HIZ$  引脚

脚退出 HIZ 模式，CELL、ICHG 和 VCHG 引脚值就会更新，从而允许通过切换 ILIM\_HIZ 引脚来更新独立的充电器设置。

引脚检测状态寄存器位 (VCHG\_PIN、CELL\_PIN、ICHG\_PIN) 存储引脚检测的结果。

表 6-1. CELL 引脚检测

CELL 电阻器 ( $k\Omega$ )	CELL_PIN	电芯数	VSYSMIN 寄存器默认值
<3.8	0	故障，不充电	故障，不充电
4.64	1	1s	3.5V
6.04	2	2s	6.2V
8.25	3	3s	9.3V
10.5	4	4s	12.4V
13.7	5	5s	15.5V
16.9	6	6s	18.6V
27.4	7	7s	21.7V
>46.8	0	故障，不充电	故障，不充电

表 6-2. VCHG 引脚检测

VCHG 电阻器 ( $k\Omega$ )	VCHG_PIN	充电电压 (VREG)
<3.8	0	故障，不充电
4.64	1	$3.5V \times \text{CELL 数}$
6.04	2	$3.6V \times \text{CELL 数}$
8.25	3	$4.0V \times \text{CELL 数}$
10.5	4	$4.1V \times \text{CELL 数}$
13.7	5	$4.2V \times \text{CELL 数}$
16.9	6	$4.3V \times \text{CELL 数}$
27.4	7	$4.35V \times \text{CELL 数}$
>46.8	0	故障，不充电

表 6-3. ICHG 引脚检测

ICHG 电阻器 ( $k\Omega$ )	ICHG_PIN	充电电流 (ICHG)	预充电和终止 (IPRECHG / ITERM)
<3.8	0	故障，不充电	故障，不充电
4.64	1	0.1A	40mA/40mA
6.04	2	0.5A	60mA/60mA
8.25	3	1.0A	100mA/100mA
10.5	4	1.5A	160mA/160mA
13.7	5	2.0A	200mA/200mA
16.9	6	2.5A	260mA/260mA
27.4	7	3.3A	340mA/340mA
>46.8	0	故障，不充电	故障，不充电

ICHG 引脚设置以  $10m\Omega$  检测电阻器为基准。使用  $5m\Omega$  检测电阻可提高效率。使用  $R_{BAT\_SNS}$  寄存器位将检测电阻值更改为  $5m\Omega$ 。将  $R_{BAT\_SNS}$  寄存器位设置为 1 可调节内部值，以便在使用  $5m\Omega$  检测电阻时提供相同的编程 ICHG。

CELL 引脚和 VCHG 引脚结果相结合，用于对 VREG 寄存器上的充电电压进行编程。例如，如果 CELL 引脚和 VCHG 引脚电阻器都是  $13.7k\Omega$ ，则产生的 VREG 电压为： $4.2V/\text{节} \times 5 \text{ 节} = 21V$ 。

CELL 引脚还用于对 VSYSMIN 寄存器进行编程。对于 1S 检测，VSYSMIN 编程为 3.5V，而所有更高的电池数都编程为每节 3.1V。回到之前的 13.7kΩ 示例，VSYSMIN 得到的值为 15.5V。

CELL 检测值存储在寄存器映射中的 CELL\_PIN 处，ICHG 检测值存储在 ICHG\_PIN 的寄存器映射中，VCHG 检测值存储在 VCHG\_PIN 寄存器的寄存器映射中。检测之后，ICHG 和 VREG 寄存器中的值会更新，检测到的值成为上限钳位。例如，如果 ICHG 引脚电阻器设置为 1.0A，则会忽略对 ICHG 寄存器的 I<sup>2</sup>C 写入请求 >1.0A。要覆盖钳位，必须首先将 ICHG\_PIN\_OVERRIDE 寄存器写入 1，然后 ICHG 寄存器可以使用完整的值范围。要求与 VREG 类似：要写入比引脚检测结果更高的值，必须向 VCHG\_PIN\_OVERRIDE 寄存器写入 1，然后才能更新 VREG 寄存器和 VSYSMIN。即使 VCHG\_PIN\_OVERRIDE=1，VREG 仍根据 CELL\_PIN 进行钳制（基于下表）：

表 6-4. VREG 上钳位 VCHG\_PIN\_OVERRIDE = 1

CELL_PIN	VREG 上钳位
1s	4.8V
2s	9.6V
3s - 4s	19.2V
5s - 7s	33V

要在 POR 后更改 CELL 数和/或增加充电电压 (VREG)，建议采用以下序列：

1. 禁用充电 (EN\_CHG = 0)
2. 设置 CELL\_PIN\_OVERRIDE = 1
3. 将 CELL\_PIN 寄存器更改为适当的值，以实现所需的电池数
  - a. 请注意，VREG 寄存器会根据 CELL\_PIN 选择自动更新
  - b. 请注意，SYSMIN 寄存器会根据 CELL\_PIN 选择自动更新
4. 设置 VCHG\_PIN\_OVERRIDE = 1
5. 将 VREG 更改为适当的值
  - a. 请注意，在 VCHG\_PIN\_OVERRIDE=1 时，VREG 仍根据 CELL\_PIN 选择进行钳制
6. 将 VSYSMIN 更改为适当的值

举例来说，如果 POR 检测时间为 5 秒 (CELL 电阻 = 13.7kΩ)，充电电压为 4.0V/节 (VCHG 电阻 = 8.25kΩ)，而需要将其更改为 4.2V/节充电、4 秒检测时间，则下表展示了所需的命令序列：

表 6-5. 更新 CELL 所需的 I<sup>2</sup>C 命令序列

寄存器	前值	新值
EN_CHG	1	0
CELL_PIN_OVERRIDE	0	1
CELL_PIN	5	4
VCHG_PIN_OVERRIDE	0	1
VREG	16.0V ( 4.0V/电芯 )	16.8V ( 4.2V/电芯 )
VSYSMIN	12.4V ( 3.1V/电芯 )	12.8V ( 3.2V/电芯 )
EN_CHG	0	1

如果在三个引脚中的任一个上检测到故障，器件不会自动启动充电周期（器件会将 EN\_CHG 清零）。使用 CELL\_PIN\_OVERRIDE、VCHG\_PIN\_OVERRIDE 或 ICHG\_PIN\_OVERRIDE 位覆盖引脚检测状态，以恢复故障。需要主机将所需的充电曲线寄存器编程为适当的值。最后，将 EN\_CHG 位重新设置为 1。在检测到引脚故障后，转换器会保持开启状态并将 SYS 调节至 VSYSMIN。

例如，以下是通过序列操作从 CELL 引脚故障中恢复，以实现 5 节电池充电的步骤：

1. 将 CELL\_PIN\_OVERRIDE 位设置为 1
2. 将 CELL\_PIN 寄存器设置为 5
3. 将 VSYSMIN 寄存器设置为 15.5V
4. 将 VREG 设置为充电电压 (对于 4.2V 充电电压, 使用 VREG = 21V )
5. 设置 EN\_CHG = 1

### 6.3.7 降压/升压转换器运行

充电器采用同步、4 开关降压/升压转换器，在 VIN 上为输入功率及 SYS 上为输出功率时支持正向 (灌电流) 运行，在 SRN 上为电池输入功率及 VIN 上为输出功率时支持反向 (拉电流) 运行，还支持将 VIN 和 SYS 连接在一起的旁路模式。

在正向和反向模式下，充电器根据不同的输入电压和输出电压组合作为降压、降压/升压或升压转换器运行。转换器可在降压、降压/升压和升压运行之间无缝转换。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。从降压或升压运行转换到降压/升压运行是占空比和负载电流的专有功能。为了使充电器为充电电流和系统负载提供完全支持，平均电感器电流的预计值不得超过 4A。

#### 6.3.7.1 脉冲频率调制 (PFM)

为了提高正向或反向运行中转换器的轻负载效率，当 EN\_PFM 位设置为 1 时，器件会在轻负载时切换到脉冲频率调制 (PFM) 控制。当系统负载降低时，有效开关频率相应降低。通过设置 EN\_PFM = 0 禁用 PFM 运行，在这种情况下，转换器保持在 PWM 模式开关频率并在轻负载条件下转换到 DCM 运行。如果通过设置 EN\_PFM\_OOA = 1 启用了 Out-of-Audio (OOA) 功能，则将 PFM 中的最低有效开关频率限制为 25kHz，以消除可闻噪声问题。

#### 6.3.7.2 开关频率和抖动功能

通常情况下，器件将以固定频率工作。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 22 规范。默认情况下会设置 EN\_DITHER = 00b，即禁用此抖动功能。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。开关频率在 EN\_DITHER 设置确定的范围内变化，01/10/11b 对应于  $\pm 2\% / 4\% / 6\%$  开关频率。所选抖动范围越大，EMI 噪声峰值就越小；但是，会产生稍大的 VIN/VSYS 电容器电压纹波。因此，在选择抖动频率范围时需要在 EMI 噪声峰值和 VIN/VSYS 电压纹波之间进行权衡。选择符合 IEC-CISPR 22 规范的最低抖动范围。获得专利的抖动模式可以提高从开关频率到最高 30MHz 的高频范围 (涵盖整个传导 EMI 噪声范围) 的 EMI 性能。

### 6.3.8 正向 (灌电流) 运行

当 VIN 上的输入电源处于正向 (灌电流) 运行时，充电器的转换器将 SYS 调节为 VSYSMIN\_REG，并在 SYS 引脚上为系统提供负载电流。如果电池连接到 SRN，则充电器首先向 SYS 负载提供电流，然后为电池充电。一旦电池电压达到 VSYSMIN 电压，SYS 电压就会跟随电池电压并达到稳压值。

#### 6.3.8.1 电源路径管理

该器件能够适应 2.5V 至 34V 的宽输入电压范围，支持由电池、标准 USB-PD 适配器及高压专用直流适配器供电的应用。该器件提供自动电源路径选择功能，可通过输入源和/或电池为系统供电，同时防止输入源崩溃。

##### 6.3.8.1.1 窄 VDC 架构

该器件部署窄 VDC 架构 (NVDC)，BATFET 可将系统与电池分离。最小系统电压由 VSYSMIN 位设置。即使电池电量完全耗尽，也可将系统电压调节至高于最小系统电压。上电复位 (POR) 时，默认最小系统电压根据 CELL 引脚配置电阻器来确定。

NVDC 架构还能在电池完全充满电时提供充电终止功能。通过关闭 BATFET，可优先使用适配器电源为系统供电，从而避免即使存在适配器，电池仍被系统负载持续充放电的情况。这对于延长电池使用寿命至关重要。

当电池电压低于最小系统电压设置时，BATFET 以线性模式 (LDO 模式) 运行，并且系统电压被调节至比最小系统电压设置高约 200mV 的水平。当电池电压上升到高于最小系统电压时，BATFET 将完全导通，系统和电池之间

的电压差为 **BATFET** 的  $R_{DS(ON)}$  乘以充电电流。当电池充电被禁用并且电池电压高于最小系统电压设置，或者充电终止时，系统电压将调节至比电池电压高 200mV ( 典型值 ) 的水平。

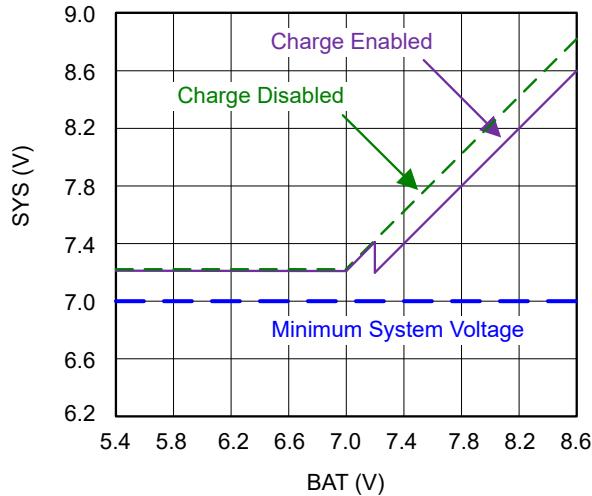


图 6-1.2 节电池配置下，系统电压与电池电压的典型关系曲线

#### 6.3.8.1.2 动态电源管理

为了在不使适配器过载的情况下利用输入电源的最大可用电流，充电器具有动态电源管理 (DPM) 功能。DPM 会持续监测输入电流和输入电压。当输入功率 ( $P_{IN}$ ) 低于所需的输出功率 ( $P_{SYS} + P_{BAT}$ ) 时，充电器会启用 **IINDPM** 以限制输入电流，或启用 **VINDPM** 以防止 **VIN** 引脚电压进一步降低。

当系统电压调节为 **VSYSMIN** 且 **SYS** 电压暂时降至 **VSYSMIN** 以下时，**VSYSMIN** 环路会降低充电电流，使 **SYS** 电压保持在 **VSYSMIN** 电平。若充电电流降至零，但输入源仍处于过载状态，**SYS** 电压会进一步下降。一旦 **SYS** 电压降至电池电压以下，器件会自动进入补充模式，且电池 **FET** 会导通。此时电池开始放电，系统将同时由输入源和电池提供支持。

在 DPM 模式期间，状态寄存器位 **VINDPM\_STAT** 和/或 **IINDPM\_STAT** 会置高。图 6-2 显示了使用 5V/3A 适配器、6.4V 电池、1.5A 充电电流和 6.8V 最小系统电压设置时的 DPM 响应。

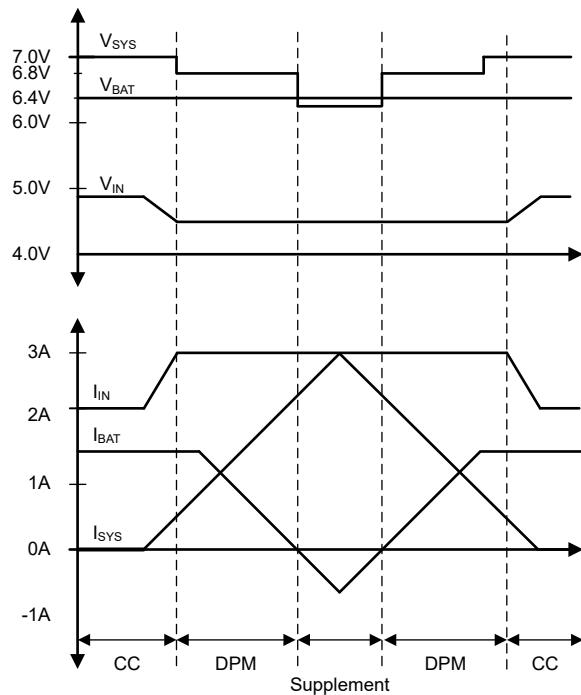


图 6-2. DPM 响应

#### 6.3.8.1.2.1 *ILIM\_HIZ* 引脚

使用连接到 **GND** 的下拉电阻器和 *ILIM\_HIZ* 引脚设置的最大输入电流。在使用  $10\text{m}\Omega$  *R<sub>AC\_SNS</sub>* 电阻器时，输入电流限制由以下公式控制：

$$I_{IN\_MAX} = K_{ILIM} \div R_{ILIM} \quad (1)$$

实际输入电流限制是 *ILIM\_HIZ* 引脚设置和寄存器设置 (*IINDPM*) 之间的较低值。例如，如果寄存器设置为 **3.3A**，并且 *ILIM\_HIZ* 引脚有一个  $6.04\text{k}\Omega$  的接地电阻器，从而使电流为 **0.551A**，则实际输出电流限制为 **0.551A**。当 *EN\_EXTLIM* 位设置为 **1** 时，使用 *ILIM\_HIZ* 引脚设置输入电流限制。

使用 *ILIM\_HIZ* 引脚监测输入电流。*ILIM\_HIZ* 引脚上的电压 ( $V_{ILIM\_HIZ}$ ) 与实际输入电流成正比。引脚电压可用于监测输入电流，其关系如下：

$$I_{IN} = K_{ILIM} \times V_{ILIM\_HIZ} / (R_{ILIM} \times 1V) \quad (2)$$

例如，如果引脚设置了  $3.32\text{k}\Omega$  的电阻器，引脚电压为 **0.5V**，则实际输入电流介于 **451mA** 和 **552mA** 之间（基于指定的  $K_{ILIM}$ ）。

随着输入电流的上升，引脚电压成比例上升至 **1V**。一旦器件进入输入电流调节状态，*ILIM* 引脚电压就会钳位至 **1V**。通过引脚进入输入电流调节会设置 *IINDPM\_STAT* 和 *FLAG* 位，并向主机产生中断。可以通过 *IINDPM\_MASK* 位屏蔽该中断。

如果 *ILIM\_HIZ* 引脚接地短路，则 *IINDPM* 寄存器设置输入电流限值。如果不需硬件输入电流限制功能，请将该引脚短接至 **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 [器件高阻态状态](#)）。可以通过将 *EN\_EXTLIM* 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。

$K_{ILIM}$  以  $10\text{m}\Omega$  检测电阻为基准。使用  $5\text{m}\Omega$  检测电阻可提高效率。使用 *R<sub>AC\_SNS</sub>* 寄存器位将检测电阻值更改为  $5\text{m}\Omega$ 。在使用  $5\text{m}\Omega$  检测电阻时，将 *R<sub>AC\_SNS</sub>* 寄存器位设置为 **1** 以调节内部值，从而提供相同的  $A \times \Omega$ 。

### 6.3.8.1.2.2 输入电流优化器 (ICO)

该器件提供输入电流优化器 (ICO) , 可在不使输入源过载的情况下确定输入源最大功率点。该算法自动确定未知电源的最大输入电流限制并正确设置充电器 IINDPM 寄存器, 防止进入充电器输入电压 (VINDPM) 调节。该功能由 EN\_ICO 寄存器位控制。

动态电源管理使用实际输入电流限制会在 ICO\_IINDPM 寄存器中报告, 无论该寄存器是由 ICO 设置 (如果启用) 还是由 IINDPM 寄存器设置 (如果未启用)。此外, 除非 EN\_EXTILIM 位为 0, 否则 ILIM\_HIZ 引脚电阻器设置会钳制最大电流限制, 以禁用 ILIM\_HIZ 引脚功能。IINDPM 寄存器不报告钳位值。

当  $V(BAT) > VSYSMIN$  时, ICO 算法开始时使用设置为 500mA 的最大允许输入电流, 然后持续增大该限值, 直到找到理想限值。当  $VBAT < VSYSMIN$  时, 如果转换器限制为 500mA 并随后由 ICO 算法斜升, 则电池电压可能会过低, 无法补充较大系统负载。因此, 当  $VBAT < VSYSMIN$  时, ICO 算法开始时使用 IINDPM 寄存器中允许的最大输入电流, 然后持续降低该限值, 直到找到理想的输入电流限制。

确定最佳输入电流后, 就会设置 ICO\_STAT 和 ICO\_FLAG 位。实际输入电流在 ICO\_IINDPM 寄存器中报告并且不会改变, 除非以下事件再次触发算法:

1. 插入了新的输入源, 或者 EN\_HIZ 位被切换
2. IINDPM 寄存器被改变
3. VINDPM 寄存器被更改
4. FORCE\_ICO 位被设置为 1
5. VIN\_OVP 事件

这些事件还会将 ICO\_STAT[1:0] 位复位为 01

如果未识别最佳电流 (例如, 如果输出功率 < 最大输入功率), ICO 例程将暂停, 直到需要输入提供更多功率。在这种情况下, ICO\_STAT 位设置为 0b11。

### 6.3.8.2 电池充电管理

该器件以高达 3.3A 的充电电流为 1 节至 7 节串联锂离子电池充电, 适用于大容量电池。不同阶段的电池充电根据电池电压在内部进行控制。低外部 BATFET 可提高充电效率, 并在放电期间最大限度减小压降。

#### 6.3.8.2.1 电池检测

对于使用可拆卸电池的应用, 该器件提供一个电池检测例程, 旨在保持稳定的系统电压, 同时检查是否再次使用电池。

如果启动时  $VBAT < V_{BAT\_SHORT}$ , 则器件会使用涓流充电电流将 SRN 引脚充电至  $V_{BAT\_DET}$  (可通过 I<sup>2</sup>C 编程)。随后, 允许 SRN 放电 200mV。如果 SRN 引脚在  $V_{BAT\_DET}$  和  $V_{BAT\_DET} - 200mV$  之间成功变动, 则不存在电池并且 BAT\_FAULT\_STAT 设置为 01。在电池检测期间, 转换器继续将 SYS 调节为  $V_{BAT\_DET} + 400mV$  或  $V_{SYSMIN} + 200mV$  (以较高者为准), 即使在没有电池的情况下也能实现系统不间断运行。如果在任何时候 SRN 引脚未在 2 秒内充电至  $V_{BAT\_DET}$  或放电至  $V_{BAT\_DET}-200mV$ , 则表示电池已插入。一旦检测到电池插件, 充电恢复正常, 内部调节目标将上移至 VREG 且 BAT\_FAULT\_STAT 设置为 00。

如果在充电周期中移除电池, 器件将继续为 SRN 引脚充电至 VREG 并非常快速地终止。如果器件在 20 秒内检测到 4 个终止事件, 则在第 4 次终止时假定存在无电池条件并且 BAT\_FAULT\_STAT 设置为 01。然后, 该器件返回上述运行, 在  $V_{BAT\_DET}$  和  $V_{BAT\_DET} - 200mV$  之间对 SRN 引脚电压进行充电和放电。同时, 转换器将 SYS 调节为  $V_{BAT\_DET} + 400mV$  或  $V_{SYSMIN} + 200mV$  (以较高者为准)。

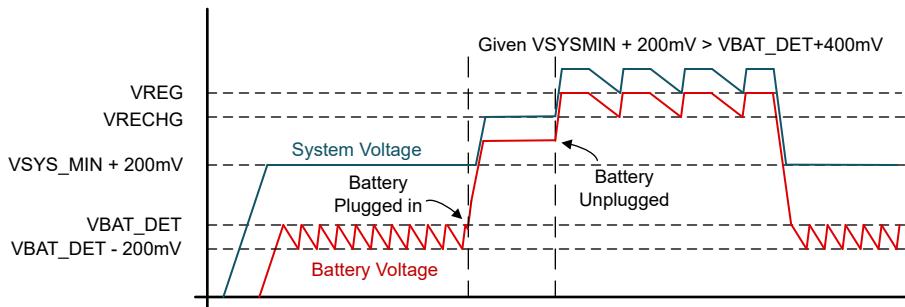


图 6-3. 电池检测

可以通过设置 `EN_BAT_DETECT = 0` 来禁用电池检测功能。

#### 6.3.8.2.2 自主充电周期

当电池充电启用 ( `EN_CHG` 位 =1 且 `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。[表 6-6](#) 中列出了器件的默认充电参数。主机可以通过  $I^2C$  写入相应的寄存器来控制充电操作并优化充电参数。

表 6-6. 充电参数默认设置

默认模式	BQ25690
充电电压 (VREG)	基于 <code>VCHG</code> 引脚和 <code>CELL</code> 引脚的电阻值
再充电电压阈值 (VRECHG)	$95.5\% \times VREG$ ( 锂离子电池为 $\approx 190mV/节$ )
预充电转快速充电电压阈值 (VBAT_LOWV)	$71.4\% \times VREG$ ( 锂离子电池为 $\approx 3V/节$ )
快速充电电流 (ICHG)	基于 <code>ICHG</code> 引脚上的电阻
预充电电流 (IPRECHG)	基于 <code>ICHG</code> 引脚上的电阻
涓流充电电流 (固定值)	100mA
终止电流 (ITERM)	基于 <code>ICHG</code> 引脚上的电阻
温度曲线	JEITA
快速充电安全计时器 (CHG_TMR)	12 小时
预充电安全计时器 (PRECHG_TMR)	2 小时

当以下条件有效时，新的充电周期启动：

- $VIN > V_{VIN\_OK}$
- $VBAT < V_{RECHG}$
- 通过将寄存器位 `EN_CHG = 1` 和 `CE` 引脚设置为低电平以启用电池充电
- `TS` 引脚上无热敏电阻故障
- 无安全计时器故障

当充电电流低于终止阈值、充电电压高于再充电阈值且器件不处于 DPM 模式或热调节状态时，该充电器自动终止充电周期。当充满电的电池的电压放电至再充电阈值以下时，器件会自动启动新的充电周期。充电终止后，切换 `CE` 引脚或 `EN_CHG` 位也会启动一个新的充电周期。此外，该器件还提供专用 `CV` 计时器，可在 `CV` 模式下的可编程周期 (`CV_TMR` 位) 后停止充电，无论充电电流值如何都是如此。

充电状态寄存器 (`CHARGE_STAT`) 指示不同的充电阶段，如下所示：

- 000 - 未充电
- 001 - 涓流充电 ( $VBAT < V_{BAT\_SHORT}$ )
- 010 - 预充电 ( $V_{BAT\_SHORT} < VBAT < V_{BAT\_LOWV}$ )
- 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  $\overline{\text{INT}}$  脉冲被置为有效以通知主机。

### 6.3.8.2.3 电池充电曲线

器件分五个阶段对电池进行充电：

1. 涓流充电
2. 预充电
3. 恒定电流
4. 恒定电压
5. 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和电压。

**表 6-7. 默认充电电流设置**

VBAT	充电电流	寄存器默认设置	CHARGE_STAT
$< V_{\text{BAT\_SHORT}}$	$I_{\text{BAT\_SHORT}}$	100mA ( 固定值 )	001
$V_{\text{BAT\_SHORTZ}} \text{ 至 } V_{\text{BAT\_LOWV}}$	$I_{\text{PRECHG}}$	基于 ICHG 引脚上的电阻	010
$> V_{\text{BAT\_LOWV}}$	ICHG	基于 ICHG 引脚上的电阻	011

如果充电器在充电期间处于 DPM 调节或热调节状态，则实际充电电流小于编程值。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。

在 BATFET LDO 运行时的 VSYSMIN 调节期间，充电电流根据[表 6-8](#) 进行限制。这有助于保护 BATFET 免受过大功率耗散的影响。启用该钳位时，ICHG 寄存器的实际值不会修改。

**表 6-8. VSYSMIN 电池充电电流钳位**

VSYSMIN - V <sub>BAT</sub>	ICHG 钳位	IPRECHG 钳位
<0.6V	3.3A	0.62A
>0.6V、<1.6V	1.26A	0.62A
>1.6V	0.3A	0.3A

$V_{\text{BAT\_SHORTZ}}$  是从涓流充电转换到预充电时的电池电压阈值，即 2.2V/节。当电池电压低于  $V_{\text{BAT\_SHORTZ}}$  时，VSYSMIN 受到钳制，以保护 BATFET 免受过大功率耗散的影响。

**表 6-9.  $V_{\text{BAT}} < V_{\text{BAT\_SHORTZ}}$  时 VSYSMIN 钳位与电池计数间的关系**

电芯	VSYSMIN 上限钳位
1s - 2s	每节电池 5V
3s	每节电池 4.4V
4s	每节电池 3.9V
5s - 7s	每节电池 3.2V

$V_{\text{BAT\_LOWV}}$  是从预充电转换到快速充电时的电池电压阈值。 $V_{\text{BAT\_LOWV}}$  是电池电压调节限值 (VREG) 的比率。

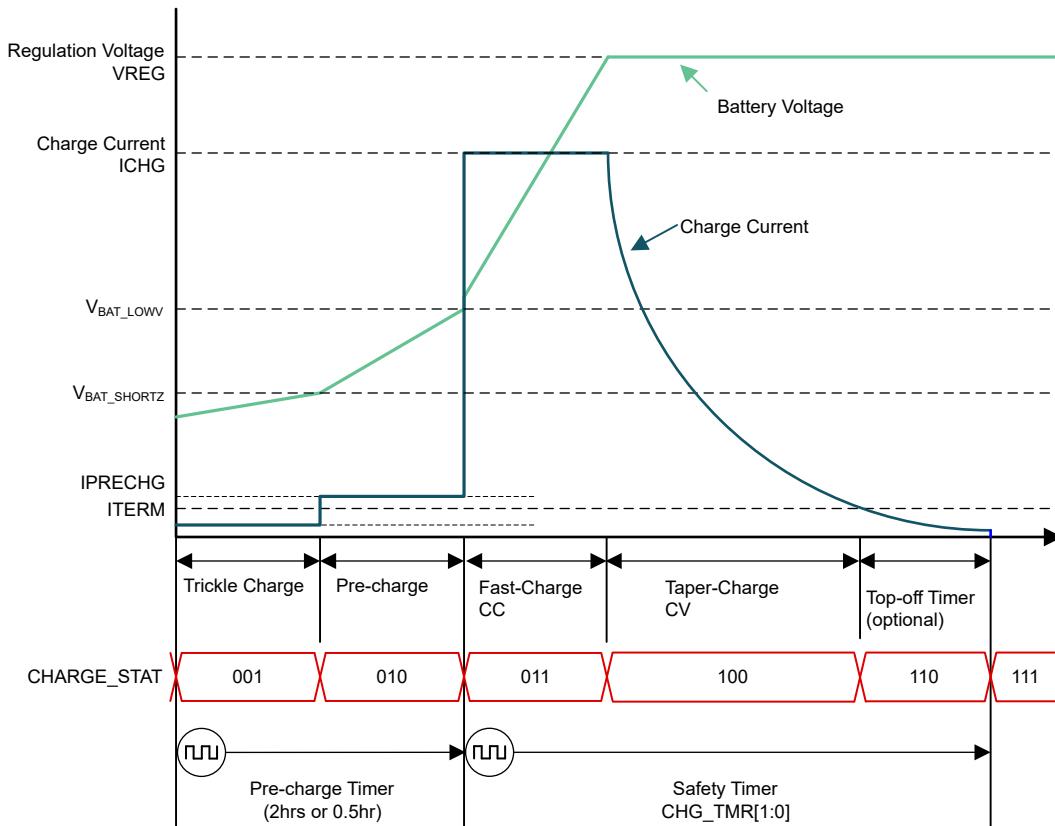


图 6-4. 电池充电曲线

#### 6.3.8.2.4 充电终止

器件会在电池电压高于再充电阈值、转换器在电池恒压调节环路中运行以及充电电流低于设定的终止电流时终止充电周期 (ITERM)。充电周期完成后，BATFET 关闭。转换器继续运行以为系统供电。如果触发补充模式，BATFET 将再次导通。

当终止完成时，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 (IINDPM)、输入电压 (VINDPM) 或热 (TREG) 调节状态时，充电终止功能被暂时禁用。在充电终止之前，可以通过向 EN\_TERM 位写入 0 来永久禁用终止。当终止已经发生或处于充电完成阶段时，向 EN\_TERM 写入 0 不会禁用终止，直到下一个充电周期重新启动。如果在有效充电周期内通过设置 EN\_TERM = 1 来启用终止，则会立即应用更改。

在低终止电流 (< 160mA) 下，由于比较器偏移，实际终止电流可能比终止目标高  $\approx 20\%$  至  $\approx 40\%$ 。要补偿比较器偏移，请在终止后激活可编程充电完成计时器（默认禁用）。当充电完成计时器运行时，器件继续以恒压模式为电池充电（BATFET 保持导通状态），直到充电完成时间到期。充电完成计时器遵循安全计时器限制：如果安全计时器暂停，充电完成计时器也暂停；如果安全计时器加倍，充电完成计时器也是如此。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，充电终止，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。

对于以下任一情况，充电完成计时器会复位（设置为 0 并在适当时候恢复计数）：

1. 充电禁用转换为启用
2. 终止状态从低电平变为高电平
3. 设置 REG\_RST 寄存器位（禁用充电完成计时器）

充电器检测到终止后，充电器会读取充电完成计时器 (TOPOFF\_TMR) 设置。在充电终止后，对补充充电定时器进行数值编程，将触发定时器复位。仅当满足充电器的终止标准时，充电完成计时器才开始计数。如果 **EN\_TERM = 0**，则充电器永远不会终止充电，因此充电完成计时器不会开始计数，即使计时器被启用也是如此。当充电完成计时器开始计数，以及充电完成计时器到期时，一个 **INT** 被置为有效以发送至主机。**CHG\_MASK** 位可以屏蔽所有与充电周期相关的 **INT** 脉冲（包括充电完成计时器 **INT** 脉冲）。

#### 6.3.8.2.5 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<sup>2</sup>C ( **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。通过清除 **EN\_CHG\_TMR** 位来禁用安全计时器功能。

在输入电压、输入电流或热调节期间，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 (**IINDPM\_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。设置 **EN\_TMR2X = 0** 以禁用半时钟速率功能。

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 **CE** 引脚或 **EN\_CHG** 位会重新启动计时器）。

当 **VBAT < V<sub>BAT\_LOW</sub>** 时，预充电安全计时器运行。使用 **PRECHG\_TMR** 位将计时器持续时间编程为 30 分钟或 2 小时。在暂停和计数复位方面，预充电安全计时器和快速充电安全计时器遵循相同规则。然而，预充电安全计时器不受 **EN\_TMR2X** 位的影响，始终计数固定时间（30 分钟或 2 小时）。当 **EN\_PRECHG** 位为 0 时，预充电安全计时器被禁用。

#### 6.3.8.2.6 CV 计时器

在某些应用中，例如高漏电流电池或与系统负载并联的电池，在 CV 模式下电池电流未必能达到 **ITERM** 阈值。该器件提供专用 CV 计时器来控制充电器保持在 CV 模式的时间。

当器件进入 CV 模式时，CV 计时器开始计数，计时器持续时间可通过 **CV\_TMR** 寄存器位进行编程。请注意，**CV\_TMR = 0** 会完全禁用计时器。CV 计时器是绝对计时器，**EN\_TMR2X** 寄存器位对计时器没有影响。

在禁用充电的故障期间或当器件由于 **IAC\_DPM** 或 **VAC\_DPM** 而下降到 CV 调节范围之外时，CV 计时器会暂停。一旦器件返回至 CV 模式，CV 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 **CE** 引脚或 **EN\_CHG** 位会重新启动计时器）。

当 CV 计时器到期时，一个 **INT** 被置为有效以发送至主机。使用 **CV\_TMR\_MASK** 位屏蔽 **INT**。

#### 6.3.8.2.7 热敏电阻认证

充电器器件会提供一个热敏电阻输入来监测电池温度。

##### 6.3.8.2.7.1 充电模式下的 JEITA 指南合规性

2007 年 4 月 20 日的 JEITA 指南重点介绍了提高锂离子电池充电安全性的信息。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，请确认 **TS** 引脚上的电压处于 **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。在温温度（**T3** 至 **T5**）下，JEITA 建议充电电压低于 4.1V/节。

在凉温度 **T1** 至 **T2** 时，JEITA 建议将充电电流减小至低于正常温度 **T2** 至 **T3** 充电电流的一半。该器件支持在 **T1** 至 **T2** 温度区间将充电电流编程为 **T2** 至 **T3** 区间充电电流的 20%、40% 或 100%，亦可设置为充电暂停，此功能通过寄存器位 **JEITA\_ISETC** 进行控制。

在温温度（**T3** 至 **T5**）下，JEITA 建议充电电压低于 4.1V/节。该器件提供 **T3** 至 **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。

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。

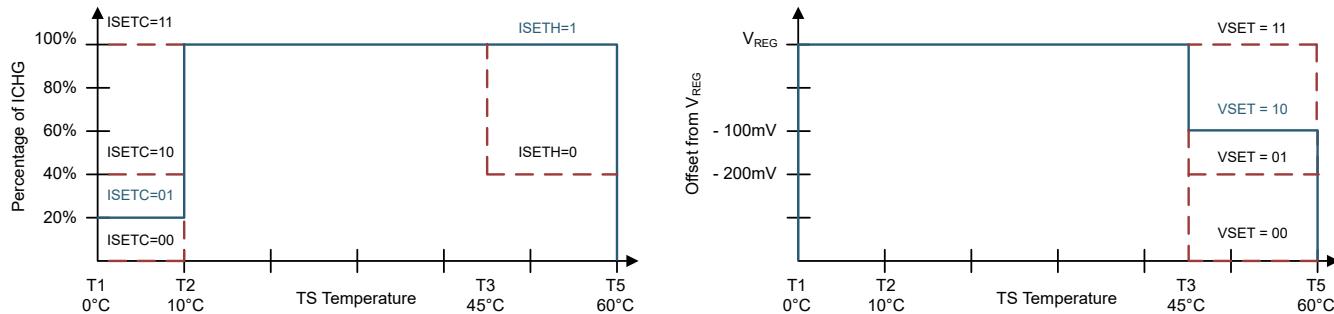


图 6-5. TS 充电值

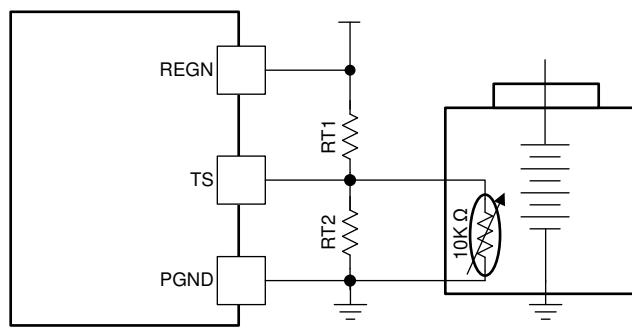


图 6-6. TS 电阻器网络

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：

$$RT2 = \frac{RTH_{COLD} \times RTH_{HOT} \times \left( \frac{1}{VT1} - \frac{1}{VT5} \right)}{RTH_{HOT} \times \left( \frac{1}{VT5} - 1 \right) - RTH_{COLD} \times \left( \frac{1}{VT1} - 1 \right)} \quad (3)$$

$$RT1 = \frac{\frac{1}{VT1} - 1}{\frac{1}{RT2} + \frac{1}{RTH_{COLD}}} \quad (4)$$

为锂离子或锂聚合物电池选择 0°C 至 60°C 范围：

- $RTH_{T1} = 27.28\text{k}\Omega$
- $RTH_{T5} = 3.02\text{k}\Omega$
- $RT1 = 5.36\text{k}\Omega$
- $RT2 = 41.2\text{k}\Omega$

该器件还通过 TS 充电阈值控制寄存器，为所有阈值提供可编程性。这种灵活性有助于通过软件修改充电器的工作窗口。

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。

### 6.3.8.2.7.2 反向模式下的冷/热温度窗口

为了在反向或备用模式运行期间保护电池，该器件会监控电池温度，使其处于 TS COLD 至 TS HOT 阈值范围内。当温度超出阈值时，反向模式暂停并且转换器停止开关。会报告 TS\_STAT ( TS COLD 或 TS HOT )。通过将 EN\_TS 位清 0，在反向模式下完全禁用温度保护。清除故障条件后，器件自动恢复反向模式运行。在 TS 故障期间，REGN 保持导通状态。

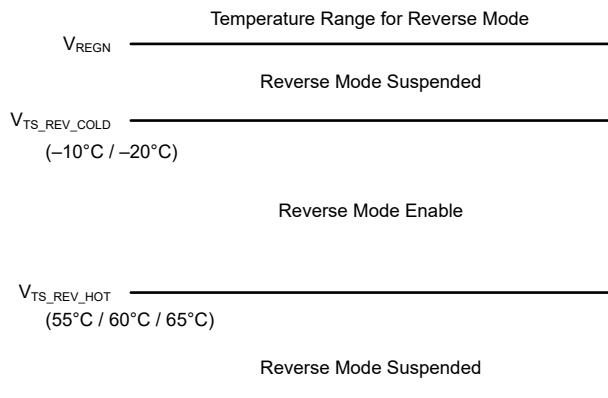


图 6-7. 反向模式下的 TS 引脚热敏电阻检测阈值

### 6.3.8.3 旁路模式

该器件支持旁路模式，允许 VSYS = VIN ( 无需调节 ) 并实现出色效率。在该运行模式下，降压和升压高侧 FET ( Q1 和 Q4 ) 均导通，而降压和升压低侧 FET ( Q2 和 Q3 ) 保持关断。输入功率直接通过功率级传递到输出。MOSFET 的开关损耗和电感器磁芯损耗被消除，从而提供出色效率。通过将 EN\_BYPASS 寄存器位设置为 1 启用旁路模式。旁路模式需要 R<sub>AC\_SNS</sub> 电阻器来检测过流和轻负载条件。

将 USB-PD 可编程电源 (PPS) 用作输入适配器时，可以利用旁路模式在电池快速充电周期中实现闪充。通过启用闪充，可以使用更大的充电电流进一步提高充电效率。在预充电和恒压 (CV) 充电阶段，充电器可以返回降压/升压模式。

当器件处于旁路模式时，流过 R<sub>AC\_SNS</sub> 的电流受到监测并与 IINDPM 寄存器设置进行比较。如果输入电流超过 I<sub>BYP\_OCP</sub> ( 比 IINDPM 设置高 15% ) 且持续时间达到 t<sub>BYP\_OCP</sub>，则器件自动退出旁路模式并返回到 PWM 调节模式 ( 开关功率级已启用 )。EN\_BYPASS 位清零，BYPASS\_FLAG 位设置，并且 INT 脉冲被置为有效以向主机表明 BYPASS\_MASK 是否被清除。

当 VSYS 电压处于 VIN 电压的 0.5V 以内时，方可进入旁路模式，以避免浪涌电流误触发旁路电路的过流保护。典型用例是先更改 VSYSMIN 设置以实现 VSYS 约等于 VIN 条件，然后设置 EN\_BYPASS = 1。

如果电池充电启用，当器件处于旁路模式时，BATFET 在线性稳压模式下运行以控制进入电池的充电电流。若要使 Q1 和 Q4 保持持续导通，SRN/SRP 的电压必须与 VIN/VSYS 的电压相差在大约 2V 以内。如果 VSYS-VBAT > 2V，则会进行自举刷新。

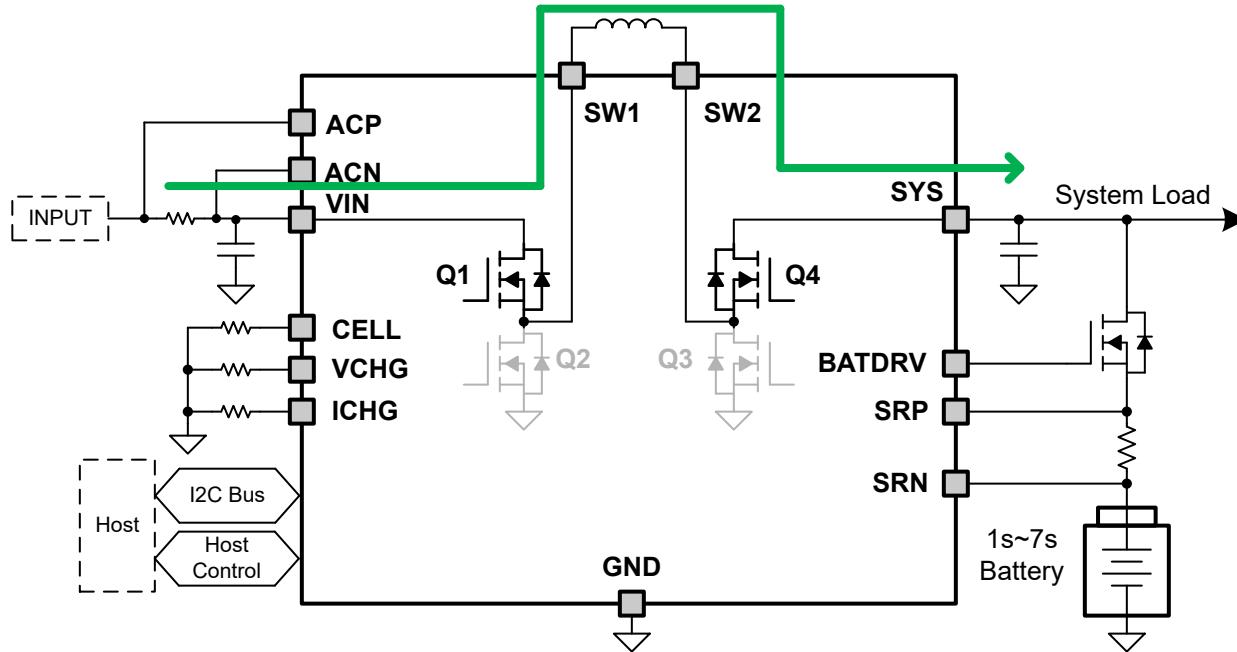


图 6-8. 内部旁路模式

除了内部旁路模式，该器件还提供外部旁路模式，可实现最高效率且电流高达 5A。在这种情况下，BYPDRV 引脚驱动外部背对背 MOSFET，以便将 VIN 直接连接到 SYS。可以通过设置 `EN_EXT_BYPASS = 1` 以及 `EN_BYPASS = 1` 来启用外部旁路模式。如果在 `EN_BYPASS = 0` 时 `EN_EXT_BYPASS = 1`，则不会进入旁路模式。`EN_BYPASS` 位决定是否启用旁路模式。如果 `EN_BYPASS = 1`，则 `EN_EXT_BYPASS` 决定是否启用外部旁路。在器件通过 `EN_BYPASS` 进入旁路模式之前或之后设置 `EN_EXT_BYPASS`。

当器件处于外部旁路模式时，流经  $R_{AC\_SNS}$  的电流受到监测。如果  $R_{AC\_SNS}$  电流超过  $I_{EXTBYP\_OCP}$  且持续时间达到  $t_{BYP\_OCP}$ ，器件自动退出外部旁路模式并返回到 PWM 调节模式（开关功率级已启用）。`EN_BYPASS` 位清零，`BYPASS_FLAG` 位设置，并且 INT 脉冲被置为有效以向主机表明 `BYPASS_MASK` 是否被清除。请注意 `EN_EXT_BYPASS` 位不变。

充电器处于旁路模式时为防止在移除输入源后发生反向升压，提供了轻负载旁路自动退出功能。充电器进行监测直到输入电流降至  $I_{BYP\_LL}$  以下，此时充电器会自动退出旁路模式并返回 PWM 调节模式。在内部和外部旁路模式下，该保护功能均处于活动状态。通过设置 `EN_BYPASS_LL_EXIT = 0` 禁用该保护功能。`EN_BYPASS` 位清零，`BYPASS_FLAG` 位设置，并且 INT 脉冲被置为有效以向主机表明 `BYPASS_MASK` 是否被清除。

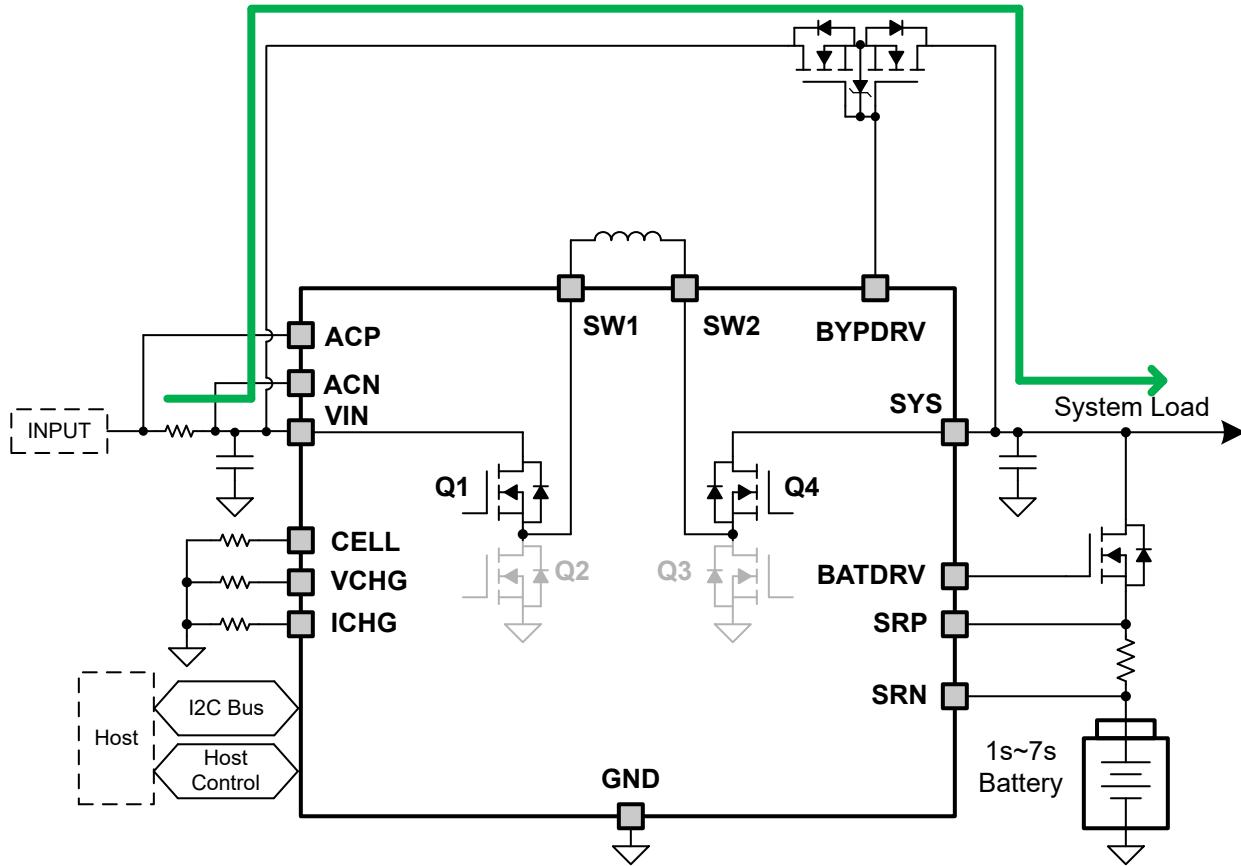


图 6-9. 外部旁路模式

### 6.3.9 反向 ( 拉电流 ) 模式 (USB On-The-Go)

#### 6.3.9.1 反向 ( 拉电流 ) 模式运行

该器件支持反向模式运行，可通过电池向连接到输入端口的其他器件提供稳压电源。反向模式电压调节 (CV) 目标在 **VIN\_REV** 寄存器位上设置。反向模式 **R<sub>AC\_SNS</sub>** 电流调节 (CC) 目标在 **IIN\_REV** 寄存器位上行设置。要启用反向模式运行，必须满足以下条件：

- 电池电压高于  $V_{BAT\_OK}$
- $VIN$  低于  $V_{VIN\_OK}$
- $TS$  引脚上的电压在 **TS\_REV\_HOT** 和 **TS\_REV\_COLD** 寄存器位配置的范围内
- 电池检测已禁用 (**EN\_BAT\_DETECT** = 0)

当 **R<sub>AC\_SNS</sub>** 反向模式电流低于 **IIN\_REV** 寄存器位时，器件调节  $VIN$  反向模式电压。当所需负载增加到 **IIN\_REV** 寄存器以上时，器件调节通过 **R<sub>AC\_SNS</sub>** ( CC 模式 ) 的电流并且  $VIN$  处的输出电压下降。**REV\_STAT** 位设置为 0x2，并且  $\overline{INT}$  脉冲被置为有效。如果  $VIN$  电压降至  $V_{INREV_UV}$  以下，器件退出反向模式，将 **EN\_REV** 清除为 0 并将 **REV\_STAT** 位设置为 0x3，直到充电器改变状态，例如，直到主机设置 **EN\_REV=1** 重新启用反向模式或者连接输入源以进入正向/充电模式。而且， $\overline{INT}$  脉冲被置为有效。

该充电器还在反向模式期间调节电池放电电流。当电池电流升至高于 **IBAT\_REV** 寄存器设置时，充电器减小通过转换器的电池放电电流，并优先处理系统负载电流 (如果有)。如果 **IINDPM\_MASK** 设置为 0，则 **IINDPM\_STAT** 和 **IINDPM\_FLAG** 位设置为 1 并且  $\overline{INT}$  脉冲被置为有效。如果电池放电调节环路将反向模式输入电流降至零，并且系统负载拉取更多电流，则充电器无法再限制电池放电电流。

充电器可以通过 **EN\_FAST\_VOTG\_RESPONSE** 位在反向模式下实现更激进的瞬态响应。当 **EN\_FAST\_VOTG\_RESPONSE=1** 时，转换器将实现更快的瞬态响应；但是，所需的电感和电容建议运行条件为：

**表 6-10. EN\_FAST\_VOTG\_RESPONSE = 1 电感器和电容要求**

<b>EN_FAST_VOTG_RESPONSE = 1</b>		<b>最小值</b>	<b>最大值</b>	<b>单位</b>
<b>CIN</b>	VIN 总电容 ( 降额后的最小值 )	20		$\mu\text{F}$
<b>L</b>	$f_{sw} \leq 700\text{kHz}$ 时的建议电感器	4.7	10	$\mu\text{H}$
	$f_{sw} > 700\text{kHz}$ 时的建议电感器	2.2	3	$\mu\text{H}$

为了防止反向模式下小 **IIN\_REV** 负载电流消耗电池，在反向模式下运行时会提供轻负载条件指示 **REV\_TERM\_STAT**。轻负载条件指示阈值由用户通过 **ITERM** 寄存器控制，并且当流经 **RAC\_SNS** 的反向电流降至 2 倍 **ITERM** 以下时触发。如果 **REV\_MASK = 0**，则在超过阈值且 **REV\_FLAG** 设置为 1 时，**INT** 脉冲被置为有效。**EN\_TERM=0** 禁用该状态。

### 6.3.9.2 备用电源模式

利用充电器反向降压/升压运行，**BQ25690** 支持备用电源模式。在此模式下，充电器释放存储在电池或电容器中的能量，以便在适配器断开连接后将 **VIN** 电压保持一段时间。仅当 **VIN** 为高电平时，才能通过设置 **EN\_BACKUP = 1** 启用备用模式。当 **VIN** 变为低电平时，充电器将 **EN\_BACKUP** 位复位为 0。

比较器监测 **VIN** 电压。一旦适配器断开连接且 **VIN** 降至低于 **VIN\_BACKUP** 阈值，充电器终止正向充电模式，强制 **EN\_REV = 1**，开始对电池或超级电容器放电，以将 **VIN** 电压调节到 **VIN\_REV** 寄存器设置。充电器进入备用模式后，**REV\_STAT** 会相应地更改。同时，如果 **REV\_MASK = 0**，则 **INT** 脉冲被置为有效并将 **REV\_FLAG** 设置为 1。

监测 **VIN** 以触发备用模式的比较器阈值在 **VIN\_BACKUP** 寄存器位中编程为 **VINDPM** 值的比率。仅当 **EN\_BACKUP = 1** 且 **VIN** 降至阈值以下时，充电器才会强制 **EN\_REV = 1** 以进入备用模式。

如果充电器在备用模式下运行，则以下任何条件都会强制充电器退出备用运行：

- 电池或超级电容器电压放电至低于 **V<sub>BAT\_OKZ</sub>**
- 主机将 **EN\_REV** 位从 1 设置为 0
- 由于其他故障退出反向模式（请参阅[反向（拉电流）模式运行](#)）
- **VIN** 在 **VIN\_REV + 6%** 反向模式期间高于调节窗口

当充电器处于备用模式时，比较器在 **VIN** 上处于工作状态，检查适配器是否重新连接。如果 **VIN** 高于 **VIN\_REV + 6%** 的调节窗口，器件自动退出备用模式并恢复正向充电。例如，如果 **VIN\_REV = 15V** 且转换器在备用模式下运行，并且 **20V** 适配器已连接：**VIN** 升至 **15.9V** 以上，触发器件退出备用模式并正常继续进行正常上电例程。

由于在重新启动序列期间不测量 **VIN**，因此不会更新 **VINDPM**。在大多数应用中，该器件应支持单个适配器，以便之前设置的 **VINDPM** 值仍然准确。对于可能存在不同适配器电压的应用，用户可以手动设置 **VINDPM** 值。

如果启用了 **IBAT\_REV**（设置为 0、1 或 2），则在备用模式期间电池放电电流会受到限制。为了获得最佳响应，在使用备用模式时设置 **IBAT\_REV = 0x3**（禁用）。根据 **VIN** 处的负载，可能需要额外的高达 **200  $\mu\text{F}$**  的低 **ESR** 电容，以防 **VIN** 降至 **VINDPM** 设定点以下。

### 6.3.9.3 反向旁路模式

该器件支持反向旁路模式，允许 **VIN = VSYS**（无需调节）并实现出色效率。在反向旁路运行模式下，降压和升压高侧 **FET**（**Q1** 和 **Q4**）均导通，而降压和升压低侧 **FET**（**Q2** 和 **Q3**）保持关断。电池功率直接通过功率级传递到输入。MOSFET 的开关损耗和电感器磁芯损耗被消除，从而提供出色效率。通过将 **EN\_REV** 和 **EN\_BYPASS** 寄存器位设置为 1 启用反向旁路模式。反向旁路模式需要 **R<sub>AC\_SNS</sub>** 电阻器来检测过流和轻负载条件。

当器件处于反向旁路模式时，流过 **R<sub>AC\_SNS</sub>** 的电流受到监测并与 **IIN\_REV** 寄存器设置进行比较。如果输入电流超过 **I<sub>REV\_BYP\_OCP</sub>**（比 **IIN\_REV** 设置高 15%）且持续时间达到 **t<sub>BYP\_OCP</sub>**，则器件自动退出旁路模式并返回到 **PWM**

调节模式 (开关功率级已启用)。EN\_BYPASS 位清零，BYPASS\_FLAG 位设置，并且 INT 脉冲被置为有效以向主机表明 BYPASS\_MASK 是否被清除。

为避免浪涌电流误启动旁路过流保护，在 VIN 处于 VSYS 的 0.5V 以内时进入旁路模式。典型用例是先确保 EN\_BAT\_DETECT = 0，然后启用反向模式 (EN\_REV = 1)，然后更改 VIN\_REV 设置以实现 VIN 约等于 VSYS 条件，然后设置 EN\_BYPASS = 1。

当器件处于旁路模式时，系统负载具有优先级。如果由于  $I_{REV\_BYP\_OCP}$  而退出旁路模式，则 BATFET 应保持导通。

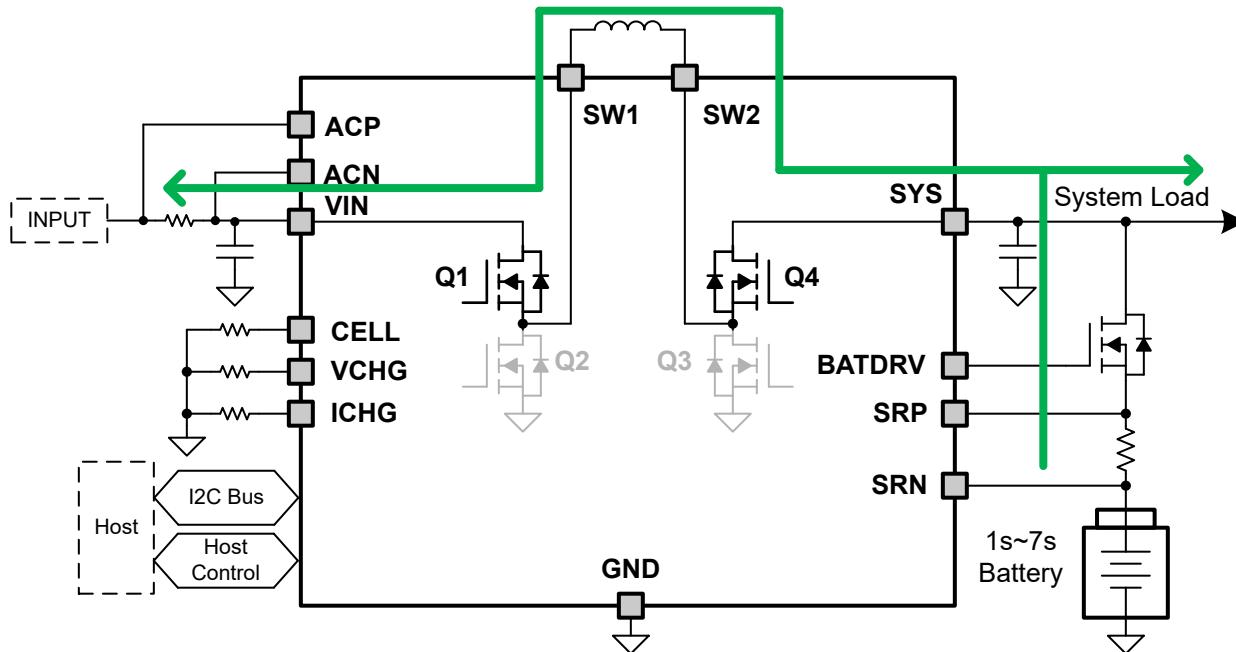


图 6-10. 内部反向旁路模式

除了内部反向旁路模式，该器件还提供外部反向旁路模式，可实现最高效率且电流高达 5A。在这种情况下，BYPDRV 引脚驱动外部背对背 MOSFET，以便将 VIN 直接连接到 SYS。可以通过设置 EN\_REV = EN\_EXT\_BYPASS = EN\_BYPASS = 1 来启用外部反向旁路模式。如果 EN\_REV = EN\_EXT\_BYPASS = 1 时 EN\_BYPASS = 0，则不会进入反向旁路模式。EN\_BYPASS 位决定是否启用旁路模式。如果 EN\_REV = EN\_BYPASS = 1，则 EN\_EXT\_BYPASS 确定是否启用外部反向旁路。在器件通过 EN\_BYPASS 进入旁路模式之前或之后设置 EN\_EXT\_BYPASS。

当器件处于外部反向旁路模式时，流经  $R_{AC\_SNS}$  的电流受到监测。如果  $R_{AC\_SNS}$  电流超过  $I_{REV\_EXTBYP\_OCP}$  且持续时间达到  $t_{BYP\_OCP}$ ，器件自动退出外部反向旁路模式并返回到 PWM 调节模式 (开关功率级已启用)。EN\_BYPASS 位清零，BYPASS\_FLAG 位设置，并且 INT 脉冲被置为有效以向主机表明 BYPASS\_MASK 是否被清除。请注意 EN\_EXT\_BYPASS 位不变。

为避免浪涌电流误启动旁路过流保护，在 VIN 处于 VSYS 的 0.5V 以内时进入反向旁路模式。典型用例是先确保 EN\_BAT\_DETECT = 0，然后启用反向模式 (EN\_REV = 1)，然后更改 VIN\_REV 设置以实现 VIN 约等于 VSYS 条件，然后设置 EN\_EXT\_BYPASS = EN\_BYPASS = 1。

轻负载旁路自动退出功能可防止在反向旁路模式期间出现反向电流方向流动。充电器进行监测直到输入电流降至  $I_{REV\_BYP\_LL}$  以下，此时充电器会自动退出旁路模式并返回 PWM 调节模式。在内部和外部旁路模式期间，该保护功能均处于活动状态，但可以通过设置 EN\_BYPASS\_LL\_EXIT = 0 来禁用。EN\_BYPASS 位清零，BYPASS\_FLAG 位设置，并且 INT 脉冲被置为有效以向主机表明 BYPASS\_MASK 是否被清除。

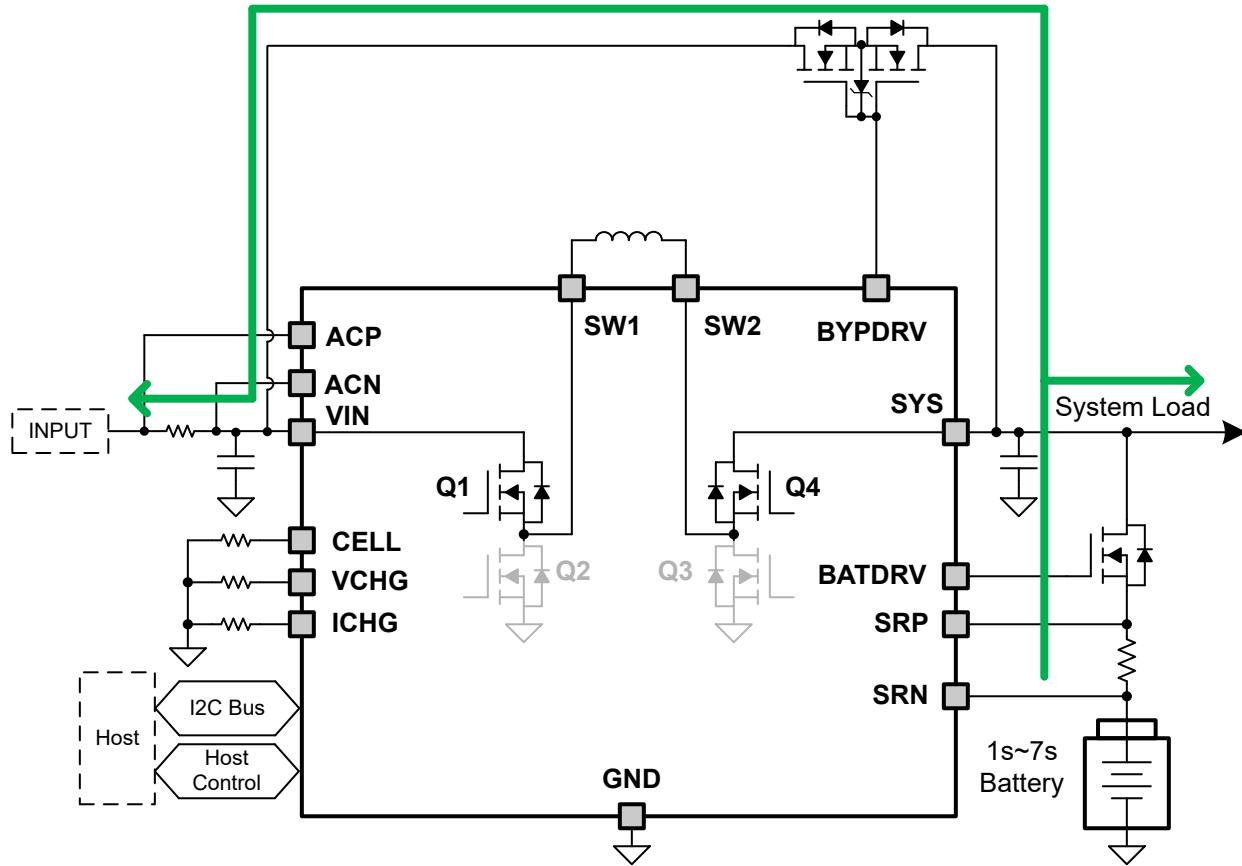


图 6-11. 外部反向旁路模式

### 6.3.10 状态输出 (、STAT 和 INT)

#### 6.3.10.1 电源正常状态指示器 (PG\_STAT)

一旦正常的输入源符合条件，电源正常状态寄存器就会设置为 1。PG\_STAT 和 PG\_FLAG 变为 1 表示输入源正常。当满足以下条件时，INT 置为低电平以提醒主机，除非被 PG\_MASK 屏蔽：

1. VIN 高于  $V_{VIN\_UVLOZ}$
2. VIN 低于  $V_{VIN\_OVP}$  阈值

#### 6.3.10.2 充电状态指示灯 (STAT 引脚)

器件会在开漏 STAT 引脚上指示充电状态。STAT 引脚可驱动一个 LED。通过 DIS\_STAT 位禁用 STAT 引脚功能。

表 6-11. STAT 引脚状态

充电状态	STAT 指示灯
正在充电 (包括在充电完成计时器中的再充电和充电 )	低电平
充电完成	高电平
高阻态模式、充电禁用	高电平
仅电池模式和 OTG 模式	高电平
充电暂停 (禁用充电的故障条件)	以 1Hz 的频率闪烁

### 6.3.10.3 主机中断 (INT)

在某些应用中，主机并不总是监测充电器的运行情况。 $\overline{\text{INT}}$  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  $256\mu\text{s}$   $\overline{\text{INT}}$  脉冲。

1. 检测正常状态输入源
  - $V_{\text{VIN}} < V_{\text{VIN\_OVP}}$  阈值
  - $V_{\text{VIN}} > V_{\text{VIN\_OK}}$  阈值
2. 移除正常状态输入源
3. 进入 IINDPM 调节
4. 进入 VINDPM 调节
5. 进入 IC 结温调节 (TREG)
6. I<sup>2</sup>C 看门狗计时器到期
  - 初次上电时， $\overline{\text{INT}}$  被置为有效以向主机发出信号，指示 I<sup>2</sup>C 已准备好进行通信
7. 充电器状态改变状态 ( CHARGE\_STAT 值改变 )，包括充电完成
8. TS\_STAT 改变状态 ( 任何 TS\_STAT 位值改变 )
9. 检测 VIN 过压 (VIN\_OVP)
10. 结温关断 (TSHUT)
11. 检测电池过压 (BATOVP)
12. 充电安全计时器到期，包括涓流充电和预充电，并且快速充电安全计时器到期
13. 任何其他 \*\_STAT 位的上升沿

屏蔽每个  $\overline{\text{INT}}$  源，防止在发生脉冲时发出  $\overline{\text{INT}}$  脉冲。针对脉冲事件中的每一个存在三个位：

- STAT 位保存每个  $\overline{\text{INT}}$  源的当前状态。
- FLAG 位保存有关哪个源生成  $\overline{\text{INT}}$  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  $\overline{\text{INT}}$ 。

当上述条件之一发生 ( 任何 \*\_STAT 位上的上升沿 ) 时，器件发出  $\overline{\text{INT}}$  脉冲并通过 FLAG 寄存器跟踪哪个源生成  $\overline{\text{INT}}$ 。主机读取 FLAG 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。该序列如图 6-12 所示。

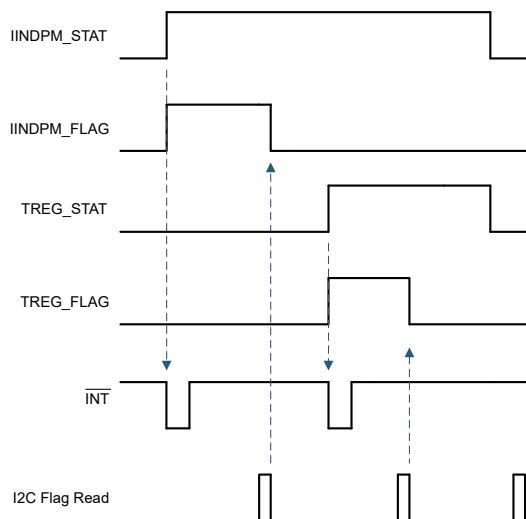


图 6-12.  $\overline{\text{INT}}$  生成行为示例

### 6.3.11 串行接口

该器件使用与 I<sup>2</sup>C 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<sup>2</sup>C 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，将器件视

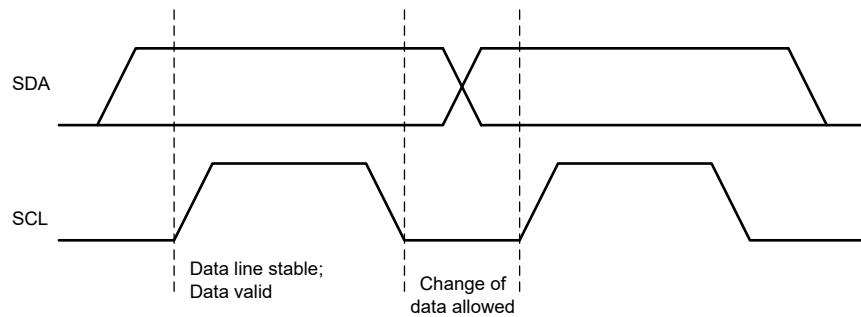
为控制器或目标。控制器是在总线上发起数据传输并生成时钟信号以允许该传输的器件。此时，任何被寻址的器件都被视为目标。

该器件作为地址为 0x6A 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<sup>2</sup>C 接口支持标准模式（高达 100kbit/s）、快速模式（高达 400kbit/s）和快速+ 模式（高达 1Mbit/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，必须使用电流源或上拉电阻器连接到正电源电压。

**系统说明：**所有 16 位寄存器都定义为小端字节序，最高有效字节被分配给较高的地址。16 位寄存器写入必须按顺序完成，且建议使用[多个写入和多个读取](#)中所述的多重写入方法对其进行编程。

### 6.3.11.1 数据有效性

验证在时钟的高电平期间，SDA 线上的数据是否保持稳定。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。

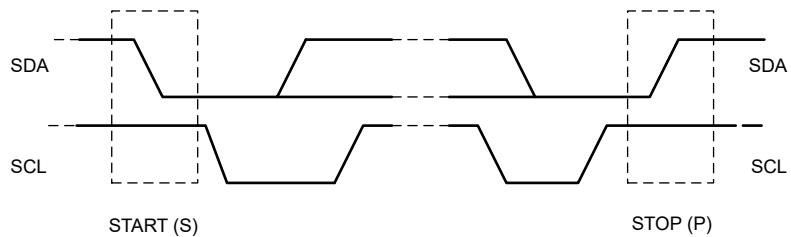


**图 6-13. I<sup>2</sup>C 总线上的位传输**

### 6.3.11.2 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 线上从高电平到低电平的转换将定义 STOP 条件。

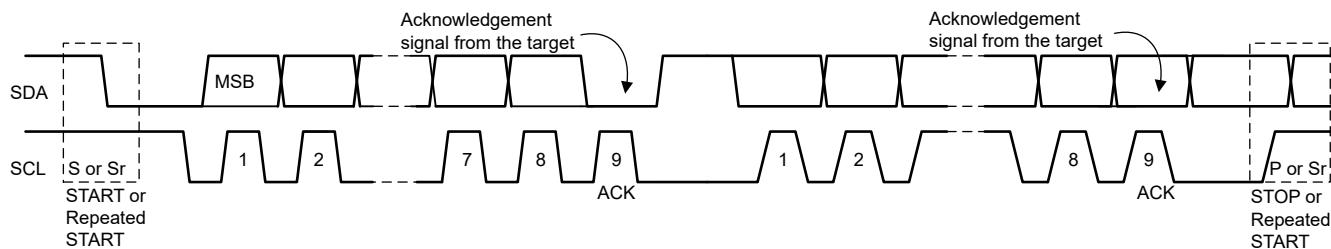
START 和 STOP 条件始终由控制器产生。总线在 START 条件之后被视为繁忙状态，在 STOP 条件之后被视为空闲状态。当满足超时条件（例如启动条件有效超过 2 秒并且没有触发停止条件）时，充电器 I<sup>2</sup>C 通信将自动复位，通信线路空闲，可进行另一次传输。



**图 6-14. I<sup>2</sup>C 总线上的 START 和 STOP 条件**

### 6.3.11.3 字节格式

验证 SDA 线上每个字节的长度是否为八位。每次传输所要传输的字节数不受限制。每个字节后必须有一个确认(ACK) 位。传输数据时，最高有效位 (MSB) 优先。如果目标器件在已执行某个其他功能之前，无法接收或发送另外一个完整的数据字节，则目标器件可以将 SCL 线保持为低电平，以强制控制器进入等待状态（时钟延展）。当目标器件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 6-15. I<sup>2</sup>C 总线上的数据传输

#### 6.3.11.4 确认 (ACK) 和否定确认 (NACK)

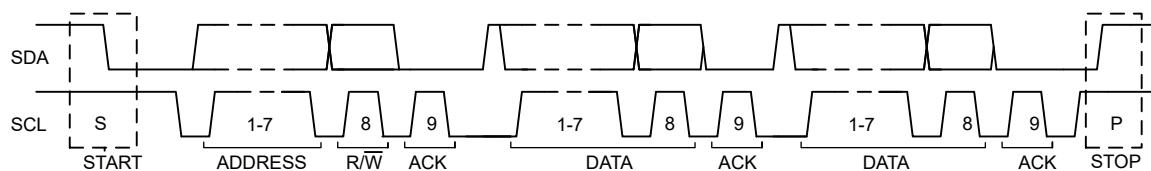
ACK 信令在每个传输字节之后发生。ACK 位允许接收器向控制器发送信号，指示已成功接收该字节且可发送另一个字节。控制器生成所有时钟脉冲（包括确认第 9 个时钟脉冲）。

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，并且线路在此第 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。

#### 6.3.11.5 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/W）。零表示传输（WRITE），一表示数据请求（READ）。该器件的 7 位地址定义为 1101 010' (0x6A)。

图 6-16. I<sup>2</sup>C 总线上的完整数据传输

#### 6.3.11.6 单独写入和读取

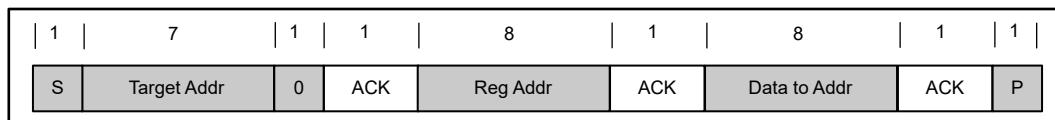


图 6-17. 单独写入

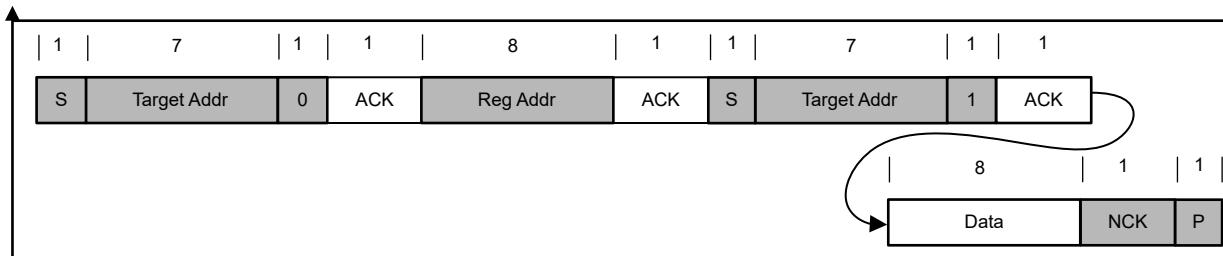


图 6-18. 单次读取

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。

#### 6.3.11.7 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字节读取和多字节写入。

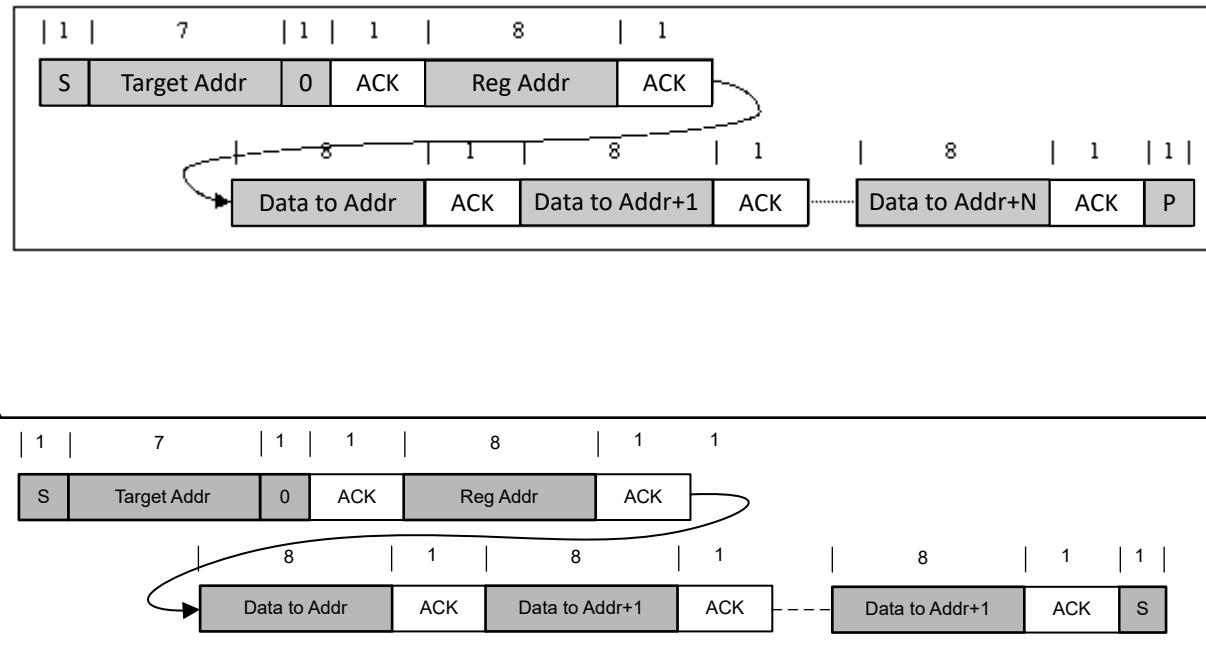


图 6-19. 多重写入

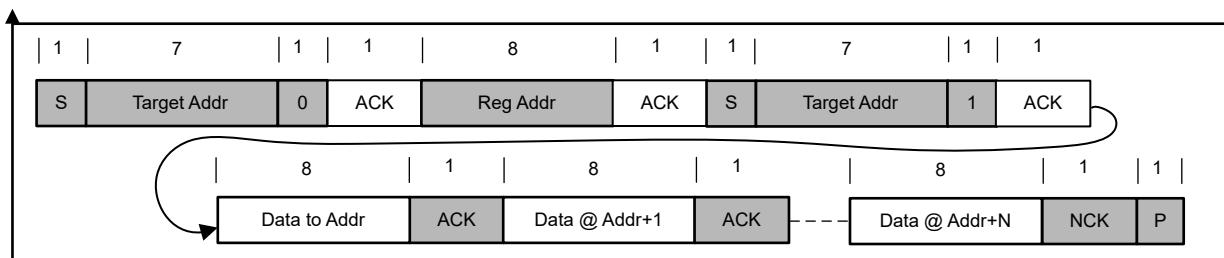


图 6-20. 多重读取

## 6.4 器件功能模式

### 6.4.1 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，**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，该器件通过默认充电安全计时器为电池充电。在安全计时器到期后，充电将停止，降压/升压转换器继续运行，以便为系统负载供电。

对任何 I<sup>2</sup>C 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，并且所有寄存器复位至默认值，**寄存器映射** 中所述的寄存器除外。如果看门狗计时器已到期，则在写入任何值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** 设置为 1，**INT** 置为低电平以提醒主机（除非被 **WD\_MASK** 屏蔽）。

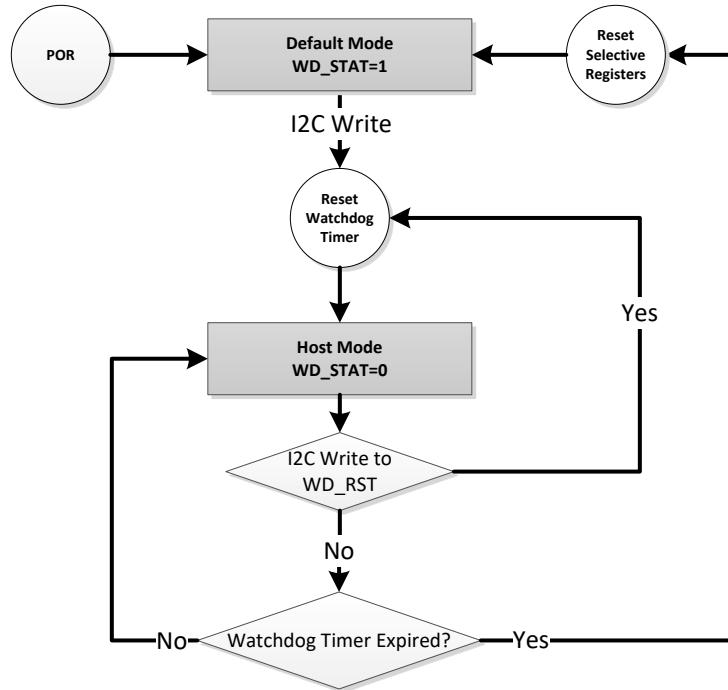


图 6-21. 看门狗计时器流程图

#### 6.4.2 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 位自动从 1 恢复为 0。

由 REG\_RST 位进行复位的寄存器不会启动 CELL、ICHG 和 VCHG 引脚检测，检测仅在充电器首次 POR 时进行。此外，如果充电器处于强制 ICO 过程，将 REG\_RST 设置为 1 会终止该此过程。

#### 6.5 寄存器映射

### 6.5.1 BQ25690 寄存器

表 6-12 列出了 BQ25690 寄存器的存储器映射寄存器。表 6-12 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 6-12. BQ25690 寄存器**

地址	首字母缩写词	寄存器名称	部分
0x0	REG0x00_Minimal_System_Voltage	最小系统电压	转到
0x2	REG0x02_Charge_Current_Limit	充电电流限制	转到
0x4	REG0x04_Charge_Voltage_Limit	充电电压限值	转到
0x6	REG0x06_Input_Current_Limit	输入电流限值	转到
0x8	REG0x08_Input_Voltage_Limit	输入电压限值	转到
0xA	REG0x0A_Reverse_Mode_Input_Current_Regulation	反向模式输入电流调节	转到
0xC	REG0x0C_Reverse_Mode_Input_Voltage_Regulation	反向模式输入电压调节	转到
0xE	REG0x0E_Preload_Control	预充电控制	转到
0xF	REG0x0F_Termination_Control	端接控制	转到
0x10	REG0x10_Preload_and_Termination_Control	预充电和终止控制	转到
0x11	REG0x11_Timer_Control	计时器控制	转到
0x12	REG0x12_Charger_Control_1	充电器控制 1	转到
0x13	REG0x13_Charger_Control_2	充电器控制 2	转到
0x14	REG0x14_Charger_Control_3	充电器控制 3	转到
0x15	REG0x15_Charger_Control_4	充电器控制 4	转到
0x16	REG0x16_Converter_Control_1	转换器控制 1	转到
0x17	REG0x17_MPPT_Control	MPPT 控制	转到
0x18	REG0x18_TS_Charging_Threshold_Control	TS 充电阈值控制	转到
0x19	REG0x19_TS_Charging_Behavior_Control	TS 充电行为控制	转到
0x1A	REG0x1A_TS_Reverse_Mode_Threshold_Control	TS 反向模式阈值控制	转到
0x1B	REG0x1B_Pin_Detection_Status_1	引脚检测状态 1	转到
0x1C	REG0x1C_Pin_Detection_Status_2	引脚检测状态 2	转到
0x1D	REG0x1D_Charger_Status_1	充电器状态 1	转到
0x1E	REG0x1E_Charger_Status_2	充电器状态 2	转到
0x1F	REG0x1F_FAULT_Status	FAULT 状态	转到
0x20	REG0x20_Charger_Flag	充电器标志	转到
0x21	REG0x21_FAULT_Flag	FAULT 标志	转到
0x22	REG0x22_Charger_Mask	充电器屏蔽	转到
0x23	REG0x23_FAULT_Mask	FAULT 屏蔽	转到
0x24	REG0x24_ICO_Current_Limit	ICO 电流限值	转到
0x26	REG0x26_Part_Information	器件信息	转到

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。表 6-13 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 6-13. BQ25690 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

### 6.5.1.1 REG0x00\_Minimal\_System\_Voltage 寄存器 ( 地址 = 0x0 ) [复位 = 0xXXX0]

REG0x00\_Minimal\_System\_Voltage 如 表 6-14 所示。

返回到 [汇总表](#)。

表 6-14. REG0x00\_Minimal\_System\_Voltage 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15	RESERVED	R	0x0		保留
14:4	VSYSMIN	R/W	X	该 16 位寄存器遵循小端惯例 复位方式： REG_RESET	最小系统电压： POR 之后，该器件会读取 CELL 引脚上的电阻，以设置默认 VSYSMIN 值： 1s : 3.5V 2s ~ 7s : 3.1V/节 范围：3000mV-28000mV (96h-578h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：20mV
3:0	RESERVED	R	0x0		保留

### 6.5.1.2 REG0x02\_Charge\_Current\_Limit 寄存器 ( 地址 = 0x2 ) [复位 = 0x0XX0]

REG0x02\_Charge\_Current\_Limit 如 表 6-15 所示。

返回到 [汇总表](#)。

表 6-15. REG0x02\_Charge\_Current\_Limit 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:12	RESERVED	R	0x0		保留
11:4	ICHG	R/W	X	该 16 位寄存器遵循小端惯例。 复位方式： REG_RESET	充电电流调节限值： POR 之后，器件会读取 ICHG 引脚上的电阻以设置最大 ICHG 钳位： 范围: 40mA-3300mA (2h-A5h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长：20mA
3:0	RESERVED	R	0x0		保留

### 6.5.1.3 REG0x04\_Charge\_Voltage\_Limit 寄存器 ( 地址 = 0x4 ) [复位 = 0xXXXX]

REG0x04\_Charge\_Voltage\_Limit 如 表 6-16 所示。

返回到 [汇总表](#)。

**表 6-16. REG0x04\_Charge\_Voltage\_Limit 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	注释	说明
15	RESERVED	R	0x0		保留
14:3	VREG	R/W	X	该 16 位寄存器遵循小端惯例。 VREG 根据 CELL_PIN 寄存器值进行钳制 复位方式： REG_RESET	电池电压调节限值： POR 之后，该器件会读取 CELL 和 VCHG 引脚上的电阻以设置最大 VREG 钳位： 范围: 2400mV-33000mV (F0h-CE4h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长 : 10mV
2:0	RESERVED	R	0x0		保留

#### 6.5.1.4 REG0x06\_Input\_Current\_Limit 寄存器 ( 地址 = 0x6 ) [复位 = 0x0A50]

REG0x06\_Input\_Current\_Limit 如 [表 6-17](#) 所示。

[返回到汇总表](#)。

**表 6-17. REG0x06\_Input\_Current\_Limit 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:12	RESERVED	R	0x0		保留
11:4	IINDPM	R/W	0xA5	该 16 位寄存器遵循小端惯例 复位方式： REG_RESET	输入电流调节限值： POR : 3300mA (A5h) 范围 : 40mA-3300mA (2h-A5h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长 : 20mA
3:0	RESERVED	R	0x0		保留

#### 6.5.1.5 REG0x08\_Input\_Voltage\_Limit 寄存器 ( 地址 = 0x8 ) [复位 = 0x0910]

REG0x08\_Input\_Voltage\_Limit 如 [表 6-18](#) 所示。

[返回到汇总表](#)。

**表 6-18. REG0x08\_Input\_Voltage\_Limit 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	注释	说明
15	RESERVED	R	0x0		保留
14:4	VINDPM	R/W	0x91	该 16 位寄存器遵循小端惯例	绝对输入电压调节限值： POR : 2900mV (91h) 范围 : 2500mV-34000mV (7Dh-6A4h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长 : 20mV
3:0	RESERVED	R	0x0		保留

#### 6.5.1.6 REG0x0A\_Reverse\_Mode\_Input\_Current\_Regulation 寄存器 ( 地址 = 0xA ) [复位 = 0x0A50]

REG0x0A\_Reverse\_Mode\_Input\_Current\_Regulation 如 [表 6-19](#) 所示。

[返回到汇总表](#)。

表 6-19. REG0x0A\_Reverse\_Mode\_Input\_Current\_Regulation 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:12	RESERVED	R	0x0		保留
11:4	IIN_REV	R/W	0xA5	该 16 位寄存器遵循小端惯例 复位方式： REG_RESET	ACP/ACN 之间的反向模式电流调节： POR : 3300mA (A5h) 范围 : 40mA-3300mA (2h-A5h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长 : 20mA
3:0	RESERVED	R	0x0		保留

### 6.5.1.7 REG0x0C\_Reverse\_Mode\_Input\_Voltage\_Regulation 寄存器 ( 地址 = 0xC ) [复位 = 0x0FA0]

REG0x0C\_Reverse\_Mode\_Input\_Voltage\_Regulation 如 表 6-20 所示。

[返回到汇总表。](#)

表 6-20. REG0x0C\_Reverse\_Mode\_Input\_Voltage\_Regulation 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15	RESERVED	R	0x0		保留
14:4	VIN_REV	R/W	0xFA	该 16 位寄存器遵循小端惯例 复位方式： REG_RESET	VIN 引脚处的反向模式电压调节： POR : 5000mV (FAh) 范围 : 3500mV-34000mV (AFh-6A4h) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长 : 20mV
3:0	RESERVED	R	0x0		保留

### 6.5.1.8 REG0x0E\_Precharge\_Control 寄存器 ( 地址 = 0xE ) [复位 = 0x05]

REG0x0E\_Precharge\_Control 如 表 6-21 所示。

[返回到汇总表。](#)

表 6-21. REG0x0E\_Precharge\_Control 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
5:0	IPRECHG	R/W	0x5	注意 : 仅在使用 10mΩ RBAT_SNS 时, 建议 20mA 设置 复位方式： REG_RESET	预充电电流调节限值： POR : 100mA (5h) 范围 : 20mA-620mA (1h-1Fh) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长 : 20mA

### 6.5.1.9 REG0x0F\_Termination\_Control 寄存器 ( 地址 = 0xF ) [复位 = 0x05]

REG0x0F\_Termination\_Control 如 表 6-22 所示。

[返回到汇总表。](#)

表 6-22. REG0x0F\_Termination\_Control 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

**表 6-22. REG0x0F\_Termination\_Control 寄存器字段说明 (续)**

位	字段	类型	复位	注释	说明
5:0	ITERM	R/W	0x5	注意：仅在使用 $10m\Omega$ RBAT_SNS 时，建议 20mA 设置 复位方式： REG_RESET	终止电流阈值： POR : 100mA (5h) 范围 : 20mA-620mA (1h-1Fh) 钳位至低电平 钳位至高电平 位步长 : 20mA

#### 6.5.1.10 REG0x10\_Precharge\_and\_Termination\_Control 寄存器 (地址 = 0x10) [复位 = 0x2F]

REG0x10\_Precharge\_and\_Termination\_Control 如 [表 6-23](#) 所示。

[返回到汇总表。](#)

**表 6-23. REG0x10\_Precharge\_and\_Termination\_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	复位完成后，将寄存器复位为默认值，将计时器位复位为 0。 0b = 不复位 1b = 复位
6	DIS_STAT	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	禁用 STAT 引脚输出： 0b = 启用 1b = 禁用
5:4	VRECHG	R/W	0x2	复位方式： REG_RESET	电池自动充电阈值，以 VREG 的百分比表示： 00b = 92.7% x VREG ( 磷酸铁锂电池约为 260mV/节 ) 01b = 94.1% x VREG ( 磷酸铁锂电池约为 210mV/节 ) 10b = 95.5% x VREG ( 锂离子电池约为 190mV/节 ) 11b = 97% x VREG ( 锂离子电池约为 130mV/节 )
3	EN_TERM	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	端接控制： 0b = 禁用 1b = 启用
2:1	VBAT_LOVV	R/W	0x3	复位方式： REG_RESET	预充电切换至快速充电的电池阈值，以 VREG 的百分比表示： 00b = 30% x VREG 01b = 55% x VREG 10b = 66.7% x VREG 11b = 71.4% x VREG
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

#### 6.5.1.11 REG0x11\_Timer\_Control 寄存器 (地址 = 0x11) [复位 = 0x1D]

REG0x11\_Timer\_Control 如 [表 6-24](#) 所示。

[返回到汇总表。](#)

表 6-24. REG0x11\_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
5:4	看门狗	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	看门狗计时器设置：  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	启用预充电和快速充电安全计时器：  0b = 禁用 1b = 启用
2:1	CHG_TMR	R/W	0x2	复位方式： REG_RESET	快速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	为充电安全计时器启用 2 倍模式：  0b = 在输入 DPM 或热调节期间，安全计时器不减速 2 倍 1b = 在输入 DPM 或热调节期间，安全计时器减速 2 倍

### 6.5.1.12 REG0x12\_Charger\_Control\_1 寄存器 ( 地址 = 0x12 ) [复位 = 0x80]

REG0x12\_Charger\_Control\_1 如 [表 6-25](#) 所示。

[返回到汇总表。](#)

表 6-25. REG0x12\_Charger\_Control\_1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:6	IBAT_REV	R/W	0x2	复位方式： REG_RESET	SRP/SRN 之间的反向模式电池放电电流调节：  00b = 1A 01b = 2.28A 10b = 3.56A 11b = 禁用
5	RBAT_SNS	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	电池电流检测电阻值：  0b = 10mΩ 1b = 5mΩ
4	EN_BYPASS	R/W	0x0	如果 EN_EXT_BYPASS = 1，该位控制外部旁路路径。 如果 EN_EXT_BYPASS = 0，该位启用内部旁路路径。 当 EN_HIZ 变为 1 或 EN_REV 变为 0 时，该位被清除。 复位方式： REG_RESET 看门狗	旁路模式控制：  0b = 禁用 1b = 启用

表 6-25. REG0x12\_Charger\_Control\_1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	注释	说明
3	EN_EXT_BYPASS	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	外部旁路模式控制： 0b = 禁用 1b = 启用
2	WD_RST	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	I2C 看门狗计时器复位： 0b = 正常 1b = 复位 (计时器复位后此位恢复为 0)
1	STOP_WD_CHG	R/W	0x0		定义 WD 计时器到期是否会禁用充电： 0b = WD 计时器到期保持现有 EN_CHG 设置 1b = WD 计时器到期设置 EN_CHG = 0
0	PRECHG_TMR	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	预充电安全计时器设置： 0b = 2 小时 1b = 0.5 小时

#### 6.5.1.13 REG0x13\_Charger\_Control\_2 寄存器 (地址 = 0x13) [复位 = 0xA0]

REG0x13\_Charger\_Control\_2 如 [表 6-26](#) 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 6-26. REG0x13\_Charger\_Control\_2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	EN_AUTO_DSCHG	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	在 OVP 期间启用自动放电功能：正向模式 OVP 时启用 ISYS_LOAD，反向模式 OVP 时启用 IVIN_LOAD： 0b = 在转换器 OVP 期间，充电器不会施加放电 ISYS_LOAD 或 IVIN_LOAD 电流 1b = 在转换器 OVP 期间，充电器将施加放电 ISYS_LOAD 或 IVIN_LOAD 电流
6	FORCE_ISYS_DSC_HG	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	强制系统放电电流 (ISYS_LOAD)： 0b = 禁用 1b = 启用 ISYS_LOAD
5	EN_CHG	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET 看门狗	充电启用控制： 0b = 禁用充电 1b = 启用充电
4	EN_HIZ	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗 适配器插入	启用 HIZ 模式： 0b = 禁用 HIZ 1b = 启用 HIZ
3	FORCE_VIN_DSCHG	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	强制输入放电电流 (IVIN_LOAD)： 0b = 禁用 1b = 启用 IVIN_LOAD
2	RAC_SNS	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	输入电流检测电阻值： 0b = 10mΩ 1b = 5mΩ
1	EN_REV	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	必须先禁用 EN_BAT_DETECT (Reg0x14[3]=0)，才能启用反向模式 反向模式： 0b = 禁用 1b = 启用

表 6-26. REG0x13\_Charger\_Control\_2 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	注释	说明
0	EN_BACKUP	R/W	0x0	该位只能在存在有效输入源时启用；在仅电池模式下，该位会被忽略 复位方式： REG_RESET 看门狗	备用模式控制： 0b = 禁用 1b = 启用

#### 6.5.1.14 REG0x14\_Charger\_Control\_3 寄存器 (地址 = 0x14) [复位 = 0x28]

REG0x14\_Charger\_Control\_3 如 表 6-27 所示。

返回到 [汇总表](#)。

表 6-27. REG0x14\_Charger\_Control\_3 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:6	VIN_BACKUP	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	用于触发备用模式的 VIN 下降阈值，定义为 VINDPM 的比率 00b = 50% x VINDPM 01b = 60% x VINDPM 10b = 80% x VINDPM 11b = 100% x VINDPM
5	EN_EXTILIM	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET 看门狗	启用外部 ILIM_HIZ 引脚以进行输入电流调节： 0b = 禁用 1b = 启用
4	BATFET_CTRL	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	强制 BATFET 关断： 0b = 禁用 ( BATFET 可以导通 ) 1b = 启用 ( BATFET 强制关断 )
3	EN_BAT_DETECT	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	必须先禁用反向模式 (Reg0x13[1]=0)，才能启用电池检测 启用电池检测程序： 0b = 禁用 ( 无电池检测 ) 1b = 启用
2	FORCE_VINDPM	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	VINDPM 阈值设置方式： 0b = 运行相对 VINDPM 阈值 1b = 运行绝对 VINDPM 阈值
1	FORCE_ICO	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	强制启动输入电流优化器 (ICO)： 注意：仅可设置该位，并且在 ICO 启动后，该位始终返回到 0。仅当 EN_ICO = 1 时该位才有效 0b = 不强制启动 ICO 1b = 强制启动 ICO
0	EN_ICO	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	输入电流优化器 (ICO) 控制： 0b = 禁用 1b = 启用

#### 6.5.1.15 REG0x15\_Charger\_Control\_4 寄存器 (地址 = 0x15) [复位 = 0x00]

REG0x15\_Charger\_Control\_4 如 表 6-28 所示。

返回到 [汇总表](#)。

表 6-28. REG0x15\_Charger\_Control\_4 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_FAST_VOTG_R_ESPONSE	R/W	0x0	有关约束, 请参阅反向(拉电流)模式运行部分 复位方式: REG_RESET	更快的反向(拉电流)(OTG)瞬态响应: 0b = 禁用 1b = 启用
2	RESERVED	R	0x0		保留
1:0	VBAT_DETECT	R/W	0x0	复位方式: REG_RESET	电池检测高调节设定点, 每节电池的电压: 00b = 2.8 01b = 3 10b = 3.1 11b = 3.3

#### 6.5.1.16 REG0x16\_Converter\_Control\_1 寄存器 ( 地址 = 0x16 ) [复位 = 0xE1]

REG0x16\_Converter\_Control\_1 如 [表 6-29](#) 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 6-29. REG0x16\_Converter\_Control\_1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	EN_PFM	R/W	0x1	复位方式: REG_RESET	启用 PFM 模式: 0b = 禁用 1b = 启用
6	EN_PFM_OOA	R/W	0x1	仅当 EN_PFM = 1 时有效 复位方式: REG_RESET	启用 PFM Out Of Audio (OOA) 模式: 0b = 禁用 1b = 启用
5	TREG	R/W	0x1	复位方式: REG_RESET	热调节限值: 0b = 80°C 1b = 120°C
4:3	EN_DITHER	R/W	0x0	复位方式: REG_RESET	开关频率抖动配置: 00b = 禁用 01b = 1X 10b = 2X 11b = 3X
2:0	FSW	R/W	0x1	复位方式: REG_RESET	开关频率配置: 001b = 450kHz 010b = 500kHz 011b = 550kHz 100b = 600kHz 101b = 700kHz 110b = 1.2MHz

#### 6.5.1.17 REG0x17\_MPPT\_Control 寄存器 ( 地址 = 0x17 ) [复位 = 0xAA]

REG0x17\_MPPT\_Control 如 [表 6-30](#) 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 6-30. REG0x17\_MPPT\_Control 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7:5	VOC_PCT	R/W	0x5	复位方式： REG_RESET	设置输入工作电压 (VINDPM)，以开路电压 (VOC) 的百分比表示：  000b = 62.5% x VOC 001b = 68.75% x VOC 010b = 75% x VOC 011b = 78.125% x VOC 100b = 81.25% x VOC 101b = 84.375% x VOC 110b = 87.5% x VOC 111b = 93.75% x VOC
4:3	VOC_DLY	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	转换器停止后，进行 VOC 测量之前的延时时间：  00b = 50ms 01b = 300ms 10b = 2s 11b = 5s
2:1	VOC_RATE	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	两次 VOC 测量之间的时间间隔：  00b = 30s 01b = 2min 10b = 10min 11b = 30min
0	EN_MPPT	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	启用 MPPT 程序：  0b = 禁用 1b = 启用

#### 6.5.1.18 REG0x18\_TS\_Charging\_Threshold\_Control 寄存器 ( 地址 = 0x18 ) [复位 = 0x95]

REG0x18\_TS\_Charging\_Threshold\_Control 如 表 6-31 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 6-31. REG0x18\_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_TH5	R/W	0x2	使用 RT1=5.36k $\Omega$ 和 RT2=41.2k $\Omega$ 的 103AT NTC 热敏电阻 复位方式： REG_RESET	TS TH5 ( 热 ) 阈值控制：  00b = 41.2% (50°C) 01b = 37.7% (55°C) 10b = 34.375% (60°C) 11b = 31.25% (65°C)
5:4	TS_TH3	R/W	0x1	使用 RT1=5.36k $\Omega$ 和 RT2=41.2k $\Omega$ 的 103AT NTC 热敏电阻 复位方式： REG_RESET	TS TH3 ( 温 ) 阈值控制：  00b = 48.4% (40°C) 01b = 44.75% (45°C) 10b = 41.2% (50°C) 11b = 37.7% (55°C)
3:2	TS_TH2	R/W	0x1	使用 RT1=5.36k $\Omega$ 和 RT2=41.2k $\Omega$ 的 103AT NTC 热敏电阻 复位方式： REG_RESET	TS TH2 ( 凉 ) 阈值控制：  00b = 70.9% (5°C) 01b = 68.25% (10°C) 10b = 65.35% (15°C) 11b = 62.25% (20°C)
1:0	TS_TH1	R/W	0x1	使用 RT1=5.36k $\Omega$ 和 RT2=41.2k $\Omega$ 的 103AT NTC 热敏电阻 复位方式： REG_RESET	TS TH1 ( 冷 ) 阈值控制：  00b = 77.15% (-10°C) 01b = 75.32% (-5°C) 10b = 73.3% (0°C) 11b = 70.9% (5°C)

### 6.5.1.19 REG0x19\_TS\_Charging\_Behavior\_Control 寄存器 ( 地址 = 0x19 ) [复位 = 0xD7]

REG0x19\_TS\_Charging\_Behavior\_Control 如 表 6-32 所示。

[返回到汇总表。](#)

**表 6-32. REG0x19\_TS\_Charging\_Behavior\_Control 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	EN_BYPASS_LL_EXIT	R/W	0x1		在检测到轻负载时启用自动退出旁路模式： 0b = 禁用 1b = 启用
6:5	JEITA_VSET	R/W	0x2	复位方式： REG_RESET	JEITA 温 (T3 < TS < T5) 电池电压调节设置： 00b = 充电暂停 01b = VREG - 250mV/节 10b = VREG - 100mV/节 11b = VREG
4	JEITA_ISETH	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	JEITA 温 (T3 < TS < T5) 电池电流调节设置，以 ICHG 的百分比表示： 0b = 40% x ICHG 1b = 100% x ICHG
3:2	JEITA_IETC	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	JEITA 凉 (T1 < TS < T2) 电池电流调节设置，以 ICHG 的百分比表示： 00b = 充电暂停 01b = 20% x ICHG 10b = 40% x ICHG 11b = 100% x ICHG
1	EN_JEITA	R/W	0x1	复位方式： REG_RESET	JEITA 曲线控制： 0b = 禁用 JEITA (仅冷/热控制) 1b = 启用 JEITA (冷/凉/温/热控制)
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

### 6.5.1.20 REG0x1A\_TS\_Reverese\_Mode\_Threshold\_Control 寄存器 ( 地址 = 0x1A ) [复位 = 0x40]

REG0x1A\_TS\_Reverese\_Mode\_Threshold\_Control 如 表 6-33 所示。

[返回到汇总表。](#)

**表 6-33. REG0x1A\_TS\_Reverese\_Mode\_Threshold\_Control 寄存器字段说明**

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

表 6-33. REG0x1A\_TS\_Reverse\_Mode\_Threshold\_Control 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	注释	说明
3:0	CV_TMR	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	CV 计时器设置： 0000b = 禁用 0001b = 1 小时 0010b = 2 小时 ... = ... 1110b = 14 小时 1111b = 15 小时

### 6.5.1.21 REG0x1B\_Pin\_Detection\_Status\_1 寄存器 (地址 = 0x1B) [复位 = 0x00]

REG0x1B\_Pin\_Detection\_Status\_1 如 [表 6-34](#) 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 6-34. REG0x1B\_Pin\_Detection\_Status\_1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	VCHG_PIN_OVERRIDE	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	启用 VCHG 寄存器，以超过 VCHG 引脚检测的钳位值： 0b = 禁用 1b = 启用
6	CELL_PIN_OVERRIDE	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	使主机能够对 CELL_PIN 寄存器进行写入： 0b = 禁用 1b = 启用
5:3	VCHG_PIN	R	0x0	使用 VCHG_PIN_OVERRIDE 将 VREG 编程为高于 VCHG 引脚检测到的值	VCHG 引脚检测结果： 000b = 故障 001b = 3.5V/节 010b = 3.6V/节 011b = 4V/节 100b = 4.1V/节 101b = 4.2V/节 110b = 4.3V/节 111b = 4.35V/节
2:0	CELL_PIN	R/W	0x0	必须在更改 VREG、 VSYSMIN 调节目标之前更 改该寄存器	CELL 引脚检测结果： 000b = 故障 001b = 1s 010b = 2s 011b = 3s 100b = 4s 101b = 5s 110b = 6s 111b = 7s

### 6.5.1.22 REG0x1C\_Pin\_Detection\_Status\_2 寄存器 (地址 = 0x1C) [复位 = 0x00]

REG0x1C\_Pin\_Detection\_Status\_2 如 [表 6-35](#) 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 6-35. REG0x1C\_Pin\_Detection\_Status\_2 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

**表 6-35. REG0x1C\_Pin\_Detection\_Status\_2 寄存器字段说明 (续)**

位	字段	类型	复位	注释	说明
3	ICHG_PIN_OVERRIDE	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET 看门狗	启用 ICHG 寄存器，以超过 ICHG_PIN 检测中的钳位值： 0b = 禁用 1b = 启用
2:0	ICHG_PIN	R	0x0	使用 ICHG_PIN_OVERRIDE 将 ICHG 编程为高于 ICHG 引脚检测到的值	ICHG 引脚检测导致的 ICHG 寄存器钳位： 000b = 故障 001b = 0.1A 010b = 0.5A 011b = 1A 100b = 1.5A 101b = 2A 110b = 2.5A 111b = 3.3A

#### 6.5.1.23 REG0x1D\_Charger\_Status\_1 寄存器 ( 地址 = 0x1D ) [复位 = 0x08]

REG0x1D\_Charger\_Status\_1 如 [表 6-36](#) 所示。

返回到 [汇总表](#)。

**表 6-36. REG0x1D\_Charger\_Status\_1 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	IINDPM_STAT	R	0x0		正向模式下的输入电流调节状态 或反向模式下的电池电流调节状态： 0b = 正常 1b = 器件处于电流调节状态
5	VINDPM_STAT	R	0x0		输入电压调节状态 ( 正向模式 )： 0b = 正常 1b = 器件处于输入电压调节状态
4	TREG_STAT	R	0x0		IC 热调节状态 ( 正向或反向模式 )： 0b = 正常 1b = 器件处于热调节状态
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 = 保留 110b = 充电完成计时器充电 111b = 充电终止完成

### 6.5.1.24 REG0x1E\_Charger\_Status\_2 寄存器 ( 地址 = 0x1E ) [复位 = 0x00]

REG0x1E\_Charger\_Status\_2 如 [表 6-37](#) 所示。

返回到[汇总表](#)。

**表 6-37. REG0x1E\_Charger\_Status\_2 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	ICO_STAT	R	0x0		输入电流优化器 (ICO) 状态： 00b = 已禁用 ICO 01b = 正在进行 ICO 优化 10b = 检测到最大输入电流 11b = ICO 程序已暂停
4:3	REV_STAT	R	0x0		反向模式状态： 00b = 已禁用反向模式 01b = 反向模式 CV 10b = 反向模式 CC 11b = 反向模式故障
2:0	TS_STAT	R	0x0		TS ( 电池 NTC ) 状态： 000b = 正常 001b = TS 冷 ( 正向或反向模式 ) 010b = TS 热 ( 正向或反向模式 ) 011b = TS 凉 ( 正向模式 ) 100b = TS 温 ( 正向模式 )

### 6.5.1.25 REG0x1F\_FAULT\_Status 寄存器 ( 地址 = 0x1F ) [复位 = 0x00]

REG0x1F\_FAULT\_Status 如 [表 6-38](#) 所示。

返回到[汇总表](#)。

**表 6-38. REG0x1F\_FAULT\_Status 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	VIN_OVP_STAT	R	0x0		VIN 过压状态： 0b = 正常 1b = 器件处于输入过压保护状态
6:5	BAT_FAULT_STAT	R	0x0		电池故障状态： 00b = 正常 01b = 电池缺失 10b = 检测到电池过压 11b = 检测到电池无电
4	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
3	CV_TMR_STAT	R	0x0		CV 计时器状态： 0b = 正常 1b = CV 计时器到期
2	TSHUT_STAT	R	0x0		IC 温度关断状态： 0b = 正常 1b = 器件处于热关断保护状态
1	RESERVED	R	0x0		保留

**表 6-38. REG0x1F\_FAULT\_Status 寄存器字段说明 ( 续 )**

位	字段	类型	复位	注释	说明
0	REV_TERM_STAT	R	0x0		反向模式终端状态： 0b = 反向模式电流大于 2 倍 ITERM 1b = 反向模式电流小于或等于 2 倍 ITERM

**6.5.1.26 REG0x20\_Charger\_Flag 寄存器 ( 地址 = 0x20 ) [复位 = 0x08]**

REG0x20\_Charger\_Flag 如 [表 6-39](#) 所示。

[返回到汇总表。](#)
**表 6-39. REG0x20\_Charger\_Flag 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	PG_FLAG	R	0x0		输入电源正常标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = PG 状态已更改
6	IINDPM_FLAG	R	0x0		正向模式下的输入电流调节标志 或反向模式下的电池电流调节标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 器件进入电流调节状态
5	VINDPM_FLAG	R	0x0		输入电压调节标志 ( 正向模式 )： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 器件进入输入电压调节状态
4	TREG_FLAG	R	0x0		IC 热调节标志 ( 正向或反向模式 )： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 器件进入输入热调节状态
3	WD_FLAG	R	0x1		I2C 看门狗计时器标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 检测到 WD 计时器信号上升沿
2	ICO_FLAG	R	0x0		输入电流优化器 (ICO) 标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = ICO_STAT 已更改 ( 转换至任何状态 )
1	TS_FLAG	R	0x0		TS ( 电池 NTC ) 标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = TS_STAT 已更改 ( 转换至任何状态 )
0	CHARGE_FLAG	R	0x0		充电周期标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = CHARGE_STAT 已更改 ( 转换至任何状态 )

**6.5.1.27 REG0x21\_FAULT\_Flag 寄存器 ( 地址 = 0x21 ) [复位 = 0x00]**

REG0x21\_FAULT\_Flag 如 [表 6-40](#) 所示。

[返回到汇总表。](#)

表 6-40. REG0x21\_FAULT\_Flag 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	VIN_OVP_FLAG	R	0x0		VIN 过压标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 进入 VIN OVP
6	BAT_FAULT_FLAG	R	0x0		电池故障标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = BAT_FAULT_STAT 已更改 ( 转换至任何状态 )
5	CHG_TMR_FLAG	R	0x0	适用于快速充电和预充电安全计时器	充电安全计时器标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 检测到充电安全计时器到期上升沿
4	CV_TMR_FLAG	R	0x0		CV 计时器标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 检测到 CV 计时器到期上升沿
3	TSHUT_FLAG	R	0x0		IC 热关断标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 进入热关断保护
2	BYPASS_FLAG	R	0x0		旁路模式故障标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = 旁路因故障退出
1	RESERVED	R	0x0		保留
0	REV_FLAG	R	0x0		反向模式标志： 访问 : R (ClearOnRead) 0b = 正常 1b = REV_STAT 已更改 ( 转换至任何状态 )

#### 6.5.1.28 REG0x22\_Charger\_Mask 寄存器 ( 地址 = 0x22 ) [复位 = 0x00]

REG0x22\_Charger\_Mask 如 [表 6-41](#) 所示。

[返回到汇总表。](#)

表 6-41. REG0x22\_Charger\_Mask 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	输入电源正常屏蔽： 0b = PG 切换产生 INT 脉冲 1b = PG 切换不产生 INT 脉冲
6	IINDPM_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	正向模式下的输入电流调节屏蔽 或反向模式下的电池电流调节屏蔽： 0b = 进入电流调节切换会产生 INT 1b = 进入电流调节切换不会产生 INT

表 6-41. REG0x22\_Charger\_Mask 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	注释	说明
5	VINDPM_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	输入电压调节屏蔽 (正向模式) : 0b = 进入输入电压调节切换会产生 INT 1b = 进入输入电压调节切换不会产生 INT
4	TREG_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	IC 热调节屏蔽 (正向或反向模式) : 0b = 进入 TREG 会产生 INT 1b = 进入 TREG 不会产生 INT
3	WD_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	I2C 看门狗计时器屏蔽 : 0b = WD 到期产生 INT 1b = WD 到期不产生 INT
2	ICO_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	输入电流优化器 (ICO) 屏蔽 : 0b = ICO_STAT 变化产生 INT 1b = ICO_STAT 变化不产生 INT
1	TS_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	TS (电池 NTC) 屏蔽 : 0b = TS_STAT 变化产生 INT 1b = TS_STAT 变化不产生 INT
0	CHARGE_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	充电周期屏蔽 : 0b = CHARGE_STAT 变化产生 INT 1b = CHARGE_STAT 变化不产生 INT

### 6.5.1.29 REG0x23\_FAULT\_Mask 寄存器 (地址 = 0x23) [复位 = 0x00]

REG0x23\_FAULT\_Mask 如 [表 6-42](#) 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 6-42. REG0x23\_FAULT\_Mask 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
7	VIN_OVP_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	VIN 过压屏蔽 : 0b = 输入过压产生 INT 1b = 输入过压不产生 INT
6	BAT_FAULT_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	电池故障屏蔽 : 0b = BAT_FAULT_STAT 产生 INT 1b = BAT_FAULT_STAT 不产生 INT
5	CHG_TMR_MASK	R/W	0x0	适用于快速充电和预充电 安全计时器 复位方式 : REG_RESET	充电安全计时器屏蔽 : 0b = 充电计时器到期会产生 INT 1b = 充电计时器到期不会产生 INT
4	CV_TMR_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	CV 计时器屏蔽 : 0b = CV 计时器到期会产生 INT 1b = CV 计时器到期不会产生 INT
3	TSHUT_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	IC 热关断屏蔽 : 0b = 进入 TSHUT 会产生 INT 1b = 进入 TSHUT 不会产生 INT
2	BYPASS_MASK	R/W	0x0	复位方式 : REG_RESET	旁路模式故障屏蔽 : 0b = BYPASS_FLAG 产生 INT 1b = BYPASS_FLAG 不产生 INT
1	RESERVED	R	0x0		保留

表 6-42. REG0x23\_FAULT\_Mask 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	注释	说明
0	REV_MASK	R/W	0x0	复位方式： REG_RESET	反向模式屏蔽： 0b = REV_STAT 变化产生 INT 1b = REV_STAT 变化不产生 INT

### 6.5.1.30 REG0x24\_ICO\_Current\_Limit 寄存器 (地址 = 0x24) [复位 = 0x0A50]

REG0x24\_ICO\_Current\_Limit 如 [表 6-43](#) 所示。

[返回到汇总表。](#)

表 6-43. REG0x24\_ICO\_Current\_Limit 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	注释	说明
15:12	RESERVED	R	0x0		保留
11:4	ICO_IINDPM	R	0xA5	该 16 位寄存器遵循小端惯例	启用 ICO 时优化的输入电流限制： POR : 3300mA (A5h) 范围 : 0mA-3300mA (0h-A5h) 钳位至高电平 位步长 : 20mA
3:0	RESERVED	R	0x0		保留

### 6.5.1.31 REG0x26\_Part\_Information 寄存器 (地址 = 0x26) [复位 = 0x05]

REG0x26\_Part\_Information 如 [表 6-44](#) 所示。

[返回到汇总表。](#)

表 6-44. REG0x26\_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
5:2	PN	R	0x1		器件型号
1:0	DEV_REV	R	0x1		器件修订版本

## 7 应用和实施

### 备注

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

### 7.1 应用信息

典型应用包括与 I<sup>2</sup>C 主机和软件配对的器件，, 用于为多节锂离子电池和锂聚合物电池充电。允许为镍氢电池等其他电池化学成分充电，但需要主机软件来更改基于锂电池的默认调节和终止设置。充电器集成了降压/升压转换器的开关 MOSFET (Q<sub>1</sub> 至 Q<sub>4</sub>)。该器件通过外部检测电阻实现输入电流检测，并为电流检测电路充电。

在正向 (充电或灌电流) 或反向 (OTG 或拉电流) 模式下，如果输入电压 (V<sub>IN</sub>) 高于输出电压 (V<sub>OUT</sub>)，则转换器在降压模式下运行；如果输入电压接近输出电压，则在降压/升压模式下运行；如果输入电压低于输出电压，则在升压模式下运行。在连续导通模式 (CCM) 的大输出电流 (I<sub>OUT</sub>) 下，转换器的平均 (直流) 电感器电流等于降压模式下的转换器输出电流或升压模式下的输入电流。转换器的预期平均电感器电流不得超过 4A，以便可以使用整个 IINDPM 范围。使用数据表效率曲线中的效率估算值，应用方程式 5 中所示的功率平衡来计算升压模式所需的输入电流 (I<sub>IN</sub>)，并确认适配器电压和 IINDPM 设置是否足够高，以满足所需的充电电流和系统负载。

$$\eta = \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{V_{IN} \times I_{IN}} \quad (5)$$

设计示例公式使用以下通用转换器变量。

**表 7-1. 用于正向/充电/灌电流和反向/OTG/源转换器运行的公式变量**

公式变量	正向运行	反向运行
V <sub>IN</sub>	最小或最大 V (适配器或 USB) 电压	V (SRN) 下的最小或最大电池电压
I <sub>IN</sub>	以上公式中的输入电流估算值 ≤ 适配器、USB 或 IINDPM 允许的最小电流	以上公式中的输入电流估算值 < 电池组保护器最大放电电流最小值或 IBAT_REV 限制
V <sub>OUT</sub>	每个 VREG 的电池稳压电压	每个 VIN_REV 的输入调节电压
I <sub>OUT</sub>	最大电池充电电流 ICHG + 最大系统负载电流 ISYS	最大反向电流 < IIN_REV

## 7.2 典型应用设计示例

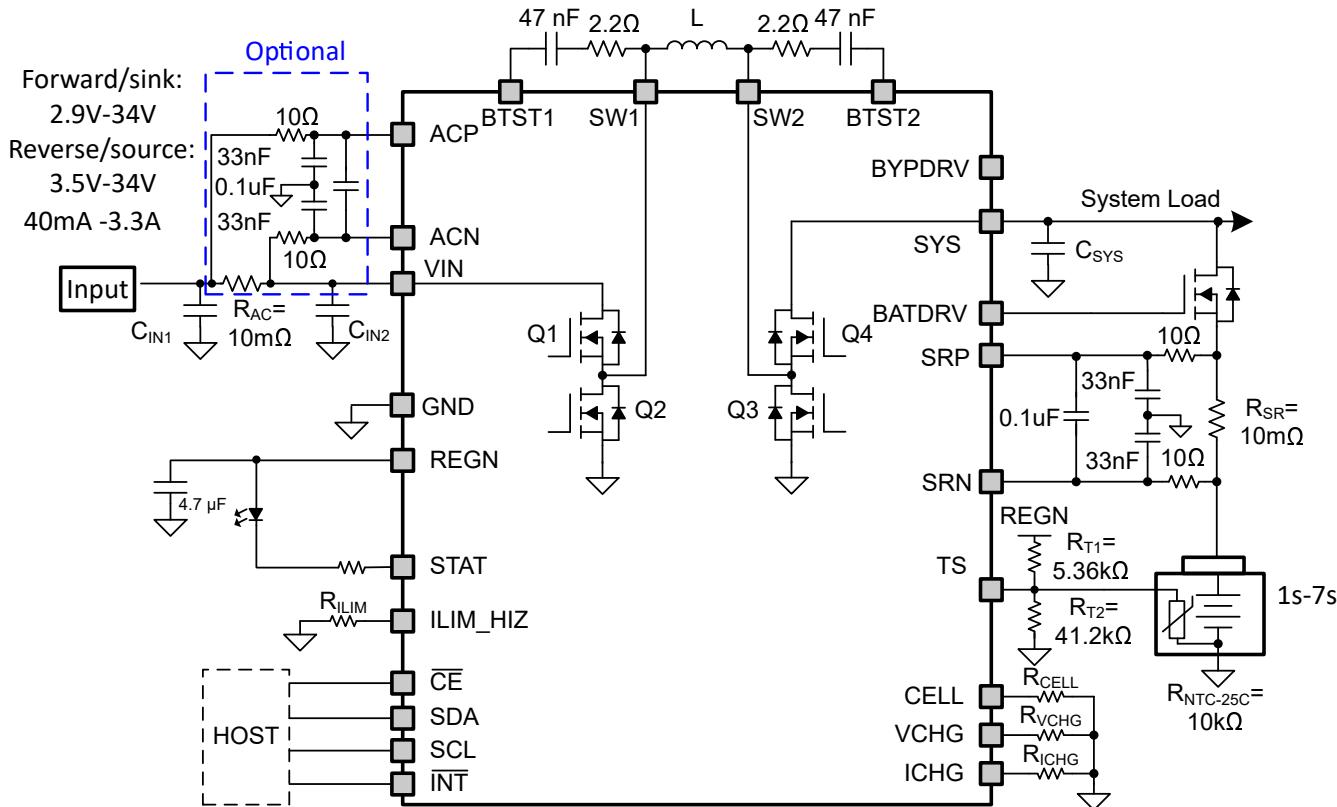


图 7-1. BQ25690 典型应用图

表 7-2. 用于设计示例 1 的 BQ25690 BOM

原理图元件或 I <sup>2</sup> C 设置	值	注释
f <sub>SW</sub>	450kHz (默认值)	REG0x16[4:0]
L	10uH	
C <sub>IN1</sub> +C <sub>IN2</sub>	10x 4.7uF	必需 : 4x C <sub>IN1</sub> > C <sub>IN2</sub>
C <sub>SYS</sub>	6x 4.7uF	
R <sub>ILIM</sub>	2.2kΩ	1.5A (默认值)
R <sub>CELL</sub>	6.04kΩ	2S (默认值)
R <sub>VCHG</sub>	14.0kΩ	4.2/节 (默认值)
R <sub>ICHG</sub>	8.25kΩ	1A (默认值)
Q <sub>BATFET</sub>	TPN3R704PL	R <sub>dson</sub> = 3.7mΩ, 采用 3.1mm×3.1mm 封装

1. 为简化起见, VIN 和 SYS 引脚上所需的 <<0.1uF 的噪声滤波电容器未显示
2. 可能需要额外的 C<sub>IN</sub> 或 C<sub>SYS</sub> 来减轻长线路电感的影响, 尤其是在线路或负载瞬态期间

### 7.2.1 设计要求

表 7-3. 设计示例 1 参数

参数	值	注释
VIN 电压范围	5V 至 20V	
输入电流限制 (REG0x06 中的 IINDPM)	3.0A	

表 7-3. 设计示例 1 参数 (续)

参数	值	注释
快速充电电流限制 ( REG0x02 中的 ICHG )	3.3A	在升压模式下受输入电流限制钳位
不含 ICHG (ISYS) 的最大系统负载电流	1A	
电池调节电压 ( REG0x04 中的 VREG )	8.4V	
反向模式电压 ( REG0x0C 中的 VIN_REV )	5V	
反向模式下最小电池放电电压	6V	必须 $> V_{BAT\_OKZ} = 2.5V$
反向模式最大放电电流	3A	受 REG0x12 中的 IBAT_REV 钳位
反向模式输出电流限制	3.3A	受 REG0x0A 中的 IIN_REV 钳位

## 7.2.2 详细设计过程

### 7.2.2.1 电感器选型

充电器的 DC/DC 转换器具有可调开关频率。为保证小信号稳定性，请在以下开关频率范围内选择合适的电感。

表 7-4. 按开关频率选择电感器

开关频率 (kHz)	电感 - L (μH)
450 - 500	6.8 - 15
550 - 700	4.7 至 10
1200	2.2 - 4.7

为降低 EMI，强烈建议使用屏蔽式电感器。电感器的饱和电流 ( $I_{SAT}$ ) 建议至少比升压模式下的输入电流 ( $I_{IN}$ ) 或降压模式下的输出电流 ( $I_{OUT}$ ) 的较大值高 20%，并加上电感器纹波电流 ( $I_{RIPPLE}$ ) 的一半：

$$I_{SAT} \geq MAX \left[ \left( I_{IN} + \frac{I_{RIPPLE}}{2} \right), \left( I_{OUT} + \frac{I_{RIPPLE}}{2} \right) \right] \quad (6)$$

$I_{RIPPLE}$  取决于  $V_{IN}$ 、 $V_{OUT}$ 、开关频率 ( $f_{SW}$ ) 和电感 ( $L$ )。根据每  $f_{SW}$  的给定电感范围，选择一个更大的电感器，从而尽可能减少  $I_{RIPPLE}$ 。对于给定的输出电流，当占空比为 50% 时， $I_{RIPPLE}$  最大。如果  $I_{L\_PK}$  达到 7A 的逐周期电流限制，转换器输出电流将受到限制。转换器的峰值电感器纹波电流  $I_{RIPPLE}$  需要至少为  $I_{L\_AVG}$  的  $\pm 10\%$ ，但不高于  $\pm 20\%$ 。存在一些输入到输出电压组合，会导致充电器无法始终达到 3.3A 输出电流。降压模式和升压模式的电感器电流纹波计算以及峰值电感器电流的计算公式如下：

$$I_{RIPPLE\_BUCK} \geq \frac{V_{OUT} \times (V_{IN} - V_{OUT})}{V_{IN} \times f_{SW} \times L} \quad (7)$$

$$I_{RIPPLE\_BOOST} \geq \frac{V_{IN} \times (V_{OUT} - V_{IN})}{V_{OUT} \times f_{SW} \times L} \quad (8)$$

$$I_{L\_PK} = I_{L\_AVG} + \frac{I_{RIPPLE}}{2} \quad (9)$$

### 7.2.2.2 电容器

X7R 或 X5R 等低 ESR 陶瓷电容器是去耦电容器的首选，必须尽可能靠近转换器的 VIN、SYS 或 SRN 和 GND 引脚布置。考虑到陶瓷电容器因温度和施加电压产生的降额效应，所选陶瓷电容器的额定电压必须高于正常输入电压。例如，输入电压最高 24V 时，首选额定电压为 35V 或更高的电容器。如果非陶瓷电容器的 ESR 小于  $50\text{m}\Omega$ ，则可以使用。当  $C_{VIN\_ACN} < 4 \times C_{VIN\_ACP}$  时，降额后  $C_{VIN\_ACP} + C_{VIN\_ACP}$  必须至少为  $10\mu\text{F}$ 。对于 1 节 - 2 节串联电池应用， $C_{SYS}$  必须至少为  $15\mu\text{F}$ 。对于 3 节 - 7 节串联电池应用，降额后  $C_{SYS}$  必须至少为  $8\mu\text{F}$ 。 $C_{BAT}$  是靠近 SRN 和 GND 引脚并与电池包并联的大容量电容，降额后必须至少为  $5\mu\text{F}$ 。以下各节介绍了如何根据所需的稳态电压纹波调整降额电容值的大小。对于降压转换器的输入和升压转换器的输出，电压纹波最高。在负载瞬态阶跃启动和释放时，可能需要额外的电容以分别缓解降压、升压或降压/升压转换器输出的电压骤降和过冲。

### 7.2.2.3 降压模式输入 ( $V_{IN}$ ) 电容器

在降压模式运行时，输入电流是不连续的，这决定了输入 RMS 纹波电流和输入电压纹波。转换器输入电容器必须具有足够大的额定纹波电流（即低 ESR）来吸收输入交流电流，并具有足够大的电容保持较低的输入电压纹波。对于降压模式运行，输入 RMS 纹波电流和输入电压纹波通过以下公式计算，其中  $D = V_{OUT}/V_{IN}$ 。

$$I_{CIN - BUCK} = I_{OUT} \times \sqrt{D \times (1 - D)} \quad (10)$$

$$\Delta V_{IN - BUCK} \geq \frac{D \times (1 - D) \times I_{OUT}}{C_{IN - BUCK} \times f_{SW}} \quad (11)$$

最坏情况下的输入 RMS 纹波电流和输入电压纹波都出现在 0.5 占空比条件下。

### 7.2.2.4 升压模式输出 ( $V_{OUT}$ ) 电容器

在升压模式运行时，输出电流是不连续的，这决定了输出 RMS 纹波电流和输出电压纹波。输出电容器必须具有足够的纹波电流额定值以吸收输出交流电流（即 ESR 足够低）、并具有足够大的电容以保持较小的输出电压纹波。对于升压模式运行，输出 RMS 纹波电流和输出电压纹波通过以下公式计算，其中  $D = (1 - V_{IN} / V_{OUT})$ 。

$$I_{COUT - BOOST} = I_{OUT} \times \sqrt{\frac{D}{(1 - D)}} \quad (12)$$

$$\Delta V_{OUT - BOOST} \geq \frac{D \times I_{OUT}}{C_{OUT - BOOST} \times f_{SW}} \quad (13)$$

最恶劣情况下的输出 RMS 纹波电流和输出电压纹波都发生在转换器的最低  $V_{IN}$  输入电压处。较大且快速的负载瞬变可能需要额外的电容。

### 7.2.3 应用曲线

$C_{VIN} = 10 \times 4.7 \mu F$ ,  $C_{SYS} = 6 \times 4.7 \mu F$ ,  $C_{BAT} = 4 \times 4.7 \mu F$ ,  $L1 = 10 \mu H$  (SRP5050FA-100M),  $F_{sw} = 450 \text{ kHz}$ .

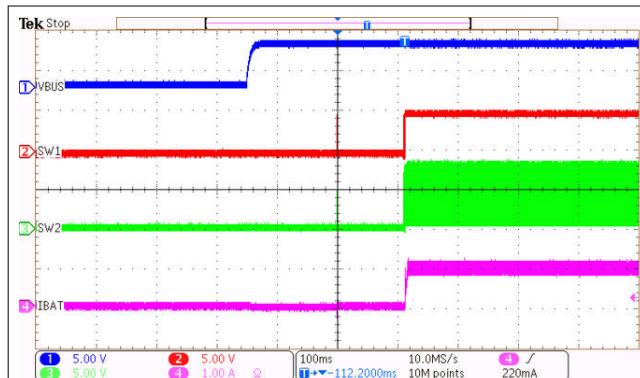


图 7-2. 启用充电时的适配器插入

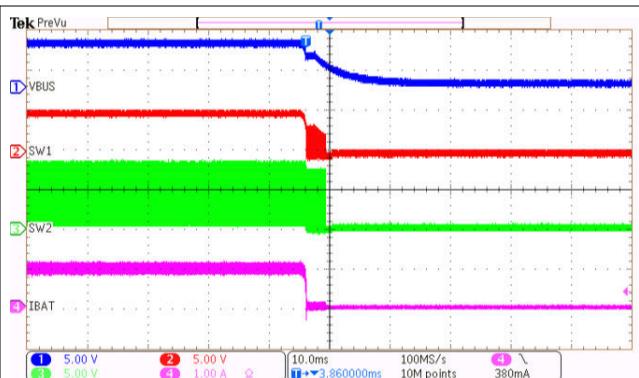


图 7-3. 启用充电时的适配器拔出

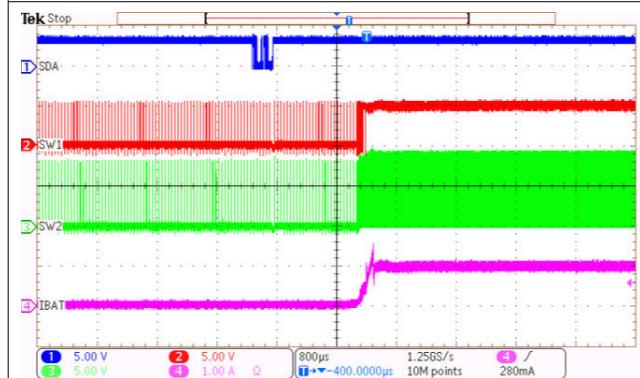


图 7-4. 通过 I<sup>2</sup>C 启用充电

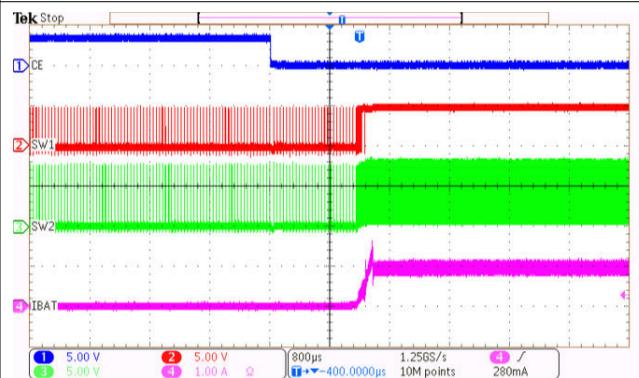


图 7-5. 通过 CE 引脚启用充电

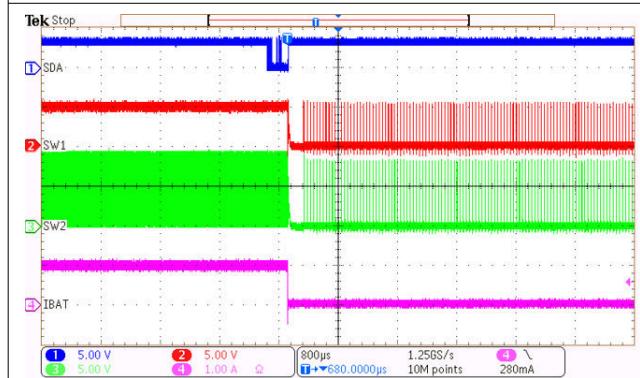


图 7-6. 通过 I<sup>2</sup>C 禁用充电

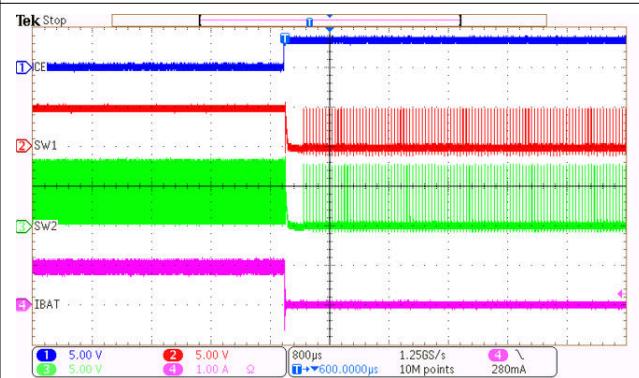


图 7-7. 通过 CE 引脚禁用充电

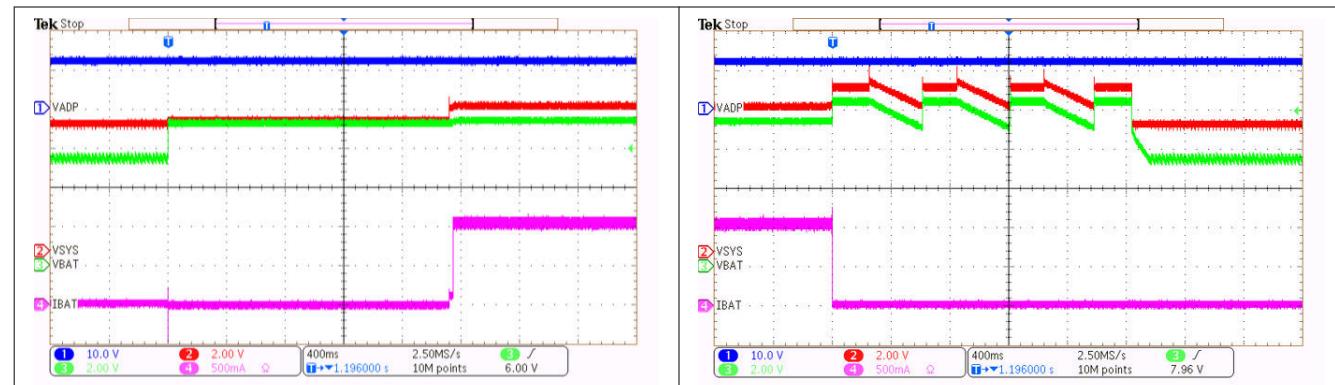


图 7-8. 电池插入检测

图 7-9. 电池拔出检测

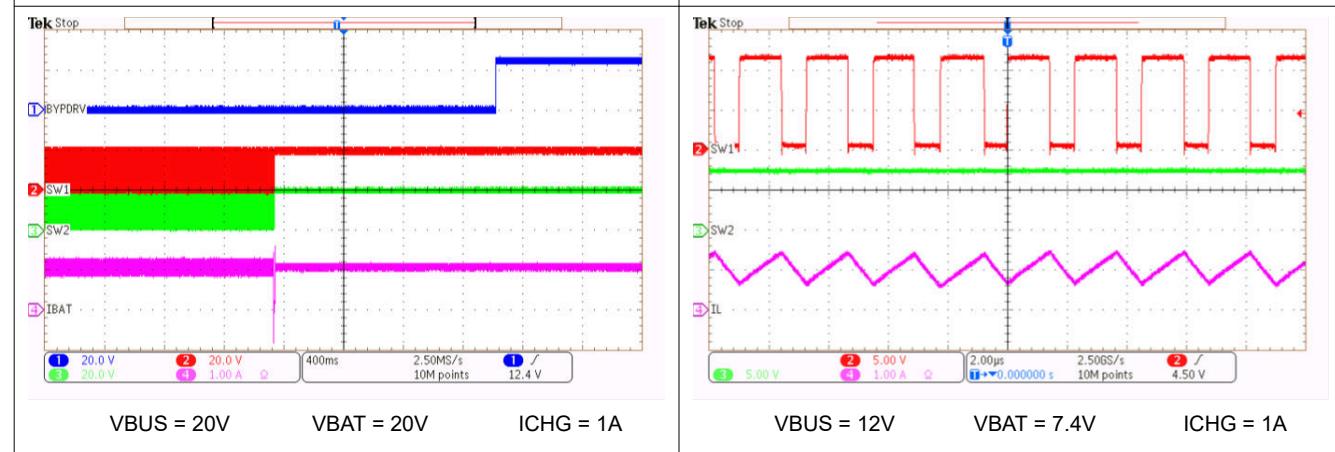


图 7-10. 降压/升压从内部旁路至外部旁路的转换

图 7-11. 正向降压模式 CCM

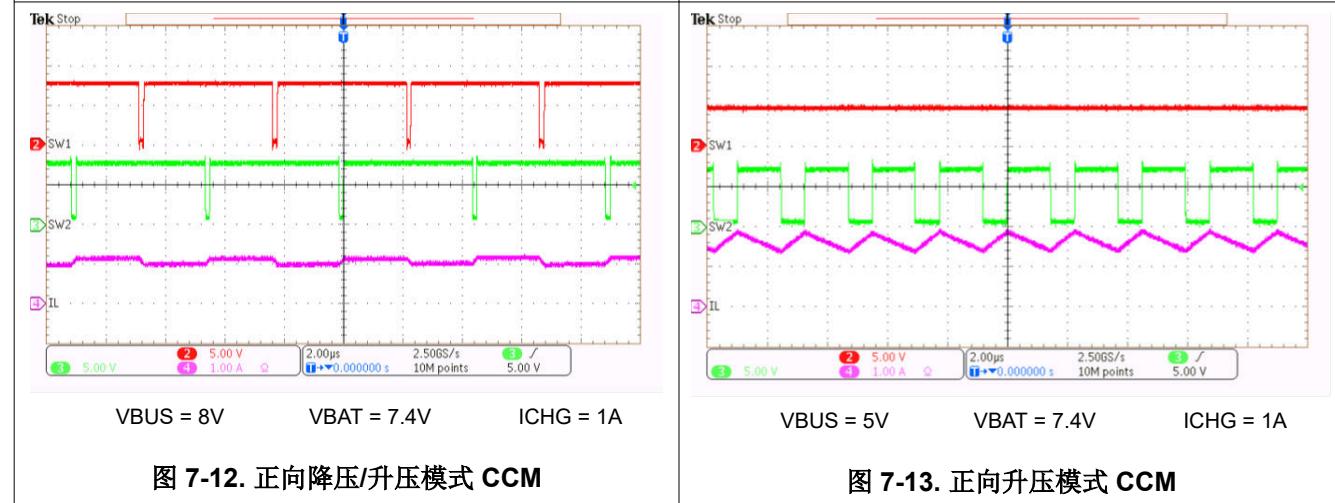
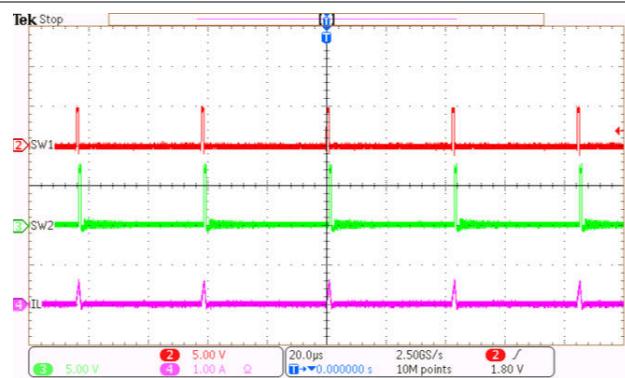


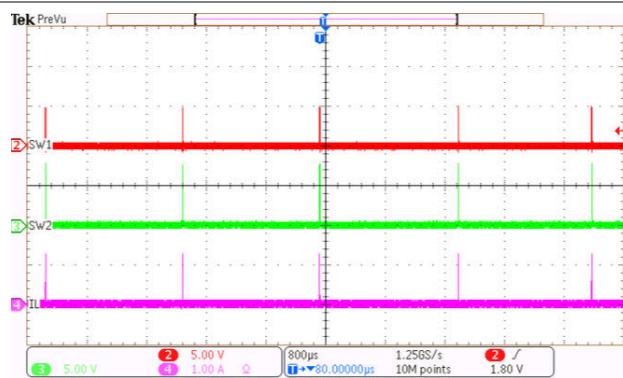
图 7-12. 正向降压/升压模式 CCM

图 7-13. 正向升压模式 CCM



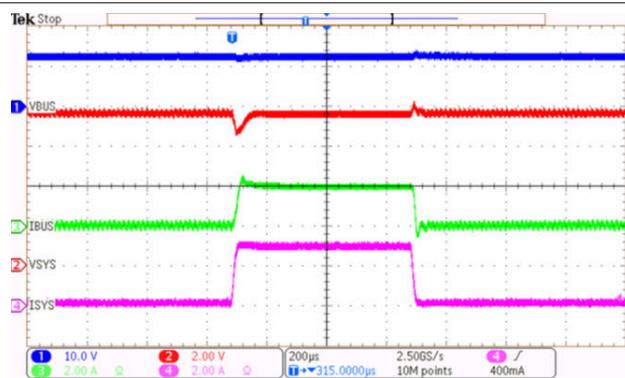
VBUS = 5V      VBAT = 7.4V      无负载

图 7-14. 具有 OOA 的正向升压模式 PFM



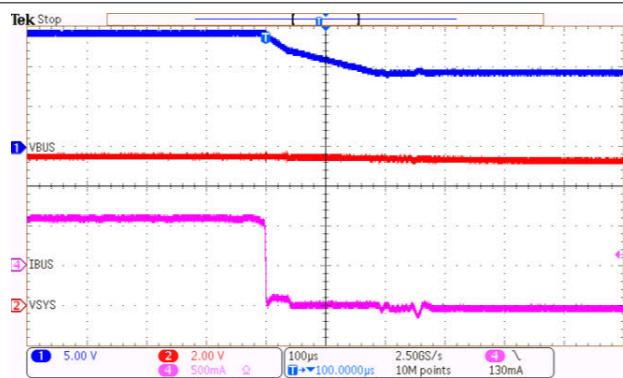
VBUS = 5V      VBAT = 7.4V      无负载

图 7-15. 没有 OOA 的正向升压模式 PFM



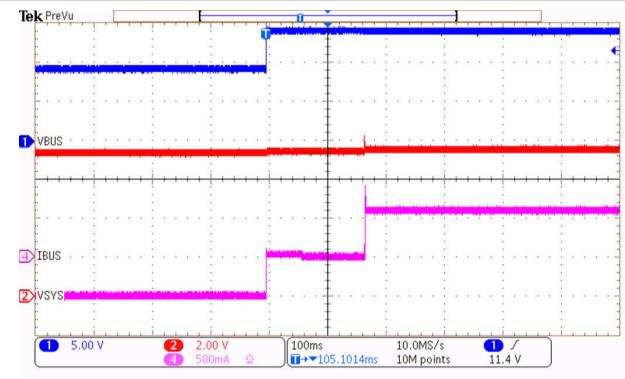
VBUS = 12V      VBAT = 7.4V      充电禁用  
ISYS = 0.1A 至 3A 至 0.1A

图 7-16. 正向模式 ISYS 瞬态响应



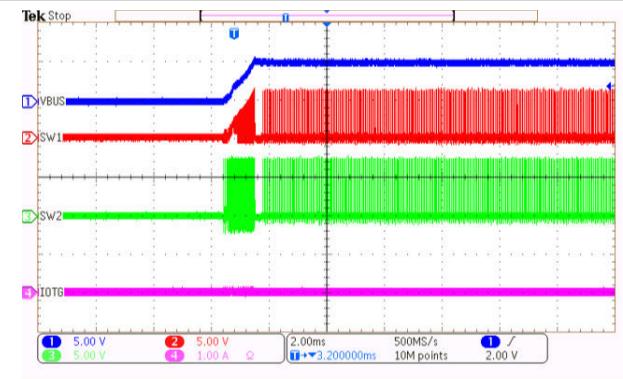
VBUS = 14V      VBAT = 7.4V      ICHG = 1A  
VINDPM = 12V      VIN\_REV = 9V  
VIN\_BACKUP = 100% VINDPM

图 7-17. 进入备用模式



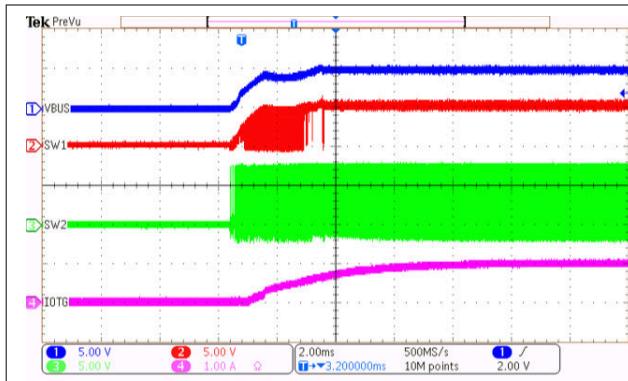
VBUS = 14V      VBAT = 7.4V      ICHG = 1A  
VINDPM = 12V      VIN\_REV = 9V  
VIN\_BACKUP = 100% VINDPM

图 7-18. 备份模式退出



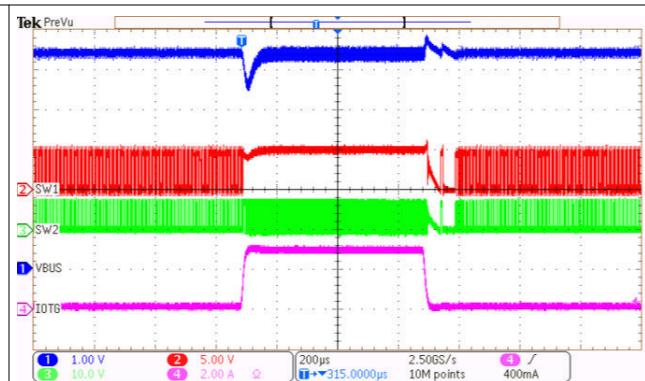
VIN\_REV = 5V      VBAT = 7.4V      IOTG = 0A

图 7-19. 在无 OTG 负载的情况下启用反向模式



VIN\_REV = 5V      VBAT = 7.4V      IOTG = 1A

图 7-20. 在 1A OTG 负载下启用反向模式



VBUS = 5V      VBAT = 7.4V      VIN\_REV = 5V

IOTG = 0.1A 至 3A 至 0.1A

图 7-21. 反向模式 IOTG 瞬态响应

## 7.3 电源相关建议

为了在 SYS 上提供输出电压，该器件需要一个输入电压介于 2.5V 至 34V 之间、建议额定电流至少  $>200\text{mA}$  且连接到 VBUS 的电源，或者需要电池电压大于  $V_{\text{BAT\_OK}}$  且连接到 BAT 的 1 节至 7 节串联锂离子电池。拉电流额定值需要至少为 3.3A，充电器的转换器才能向 SYS 提供最大输出功率。

## 7.4 布局

### 7.4.1 布局指南

为了尽可能减少开关损耗，必须尽可能缩短开关节点的上升和下降时间。为了最大限度减少开关噪声耦合、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（如下图中所示）非常重要。下面是按优先顺序排列的 PCB 布局列表。

1. 通过使用过孔，将 SYS 电容器布置在尽可能靠近 SYS 和 GND 引脚的位置上。将  $0.1\mu\text{F}$  小尺寸电容器和至少一个大容量电容器比其他电容器更靠近布置。这两个电容器的正负端子必须与 IC 连接在同一层上，不要使用过孔。
2. 将 VIN 电容器布置在尽可能靠近 VIN 和 GND 的位置上。将  $0.1\mu\text{F}$  小尺寸电容器和至少一个大容量电容器比其他电容器更靠近布置。这两个电容器的正负端子必须与 IC 连接在同一层上，不要使用过孔。
3. 将一个电感器端子连接到 SW1，将另一个端子连接到 SW2，并且尽可能靠近 IC 引脚。规则 1 和 2 要求 SWx 铜走线布置在 IC 下方，并且在该位置放置连接到电感器的过孔。确保走线足够宽，能够承载电感器电流，但又足够小，能够最大限度减小 EMI。通过切断相邻层上的接地覆铜或平面，最大限度减小这些走布线产生的寄生电容。
4. 如有必要，通过使用过孔将 REGN 电容器布置在尽可能靠近 REGN 和 GND 引脚的位置上。如有必要，可以使用过孔将自举电容器靠近 BTSTx 引脚和 GND 布置。
5. 将电池电容器靠近 SRN 和 GND 引脚布置。
6. 将 ACP、ACN、SRP、SRN、TS 走线和滤波电容器 GND 远离开关节点（例如 SW1 和 SW2）布线。
7. 将至少 3 个散热过孔直接布置在电源焊盘下方，以便连接到其他层上的覆铜。
8. 过孔尺寸和数量对于给定的电流路径必须是足够的。

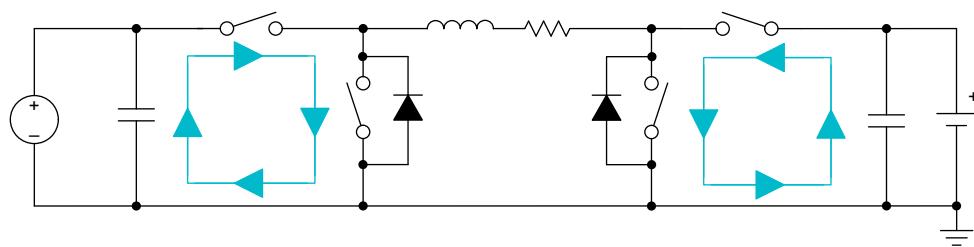


图 7-22. 转换器高频电流路径

#### 7.4.2 布局示例

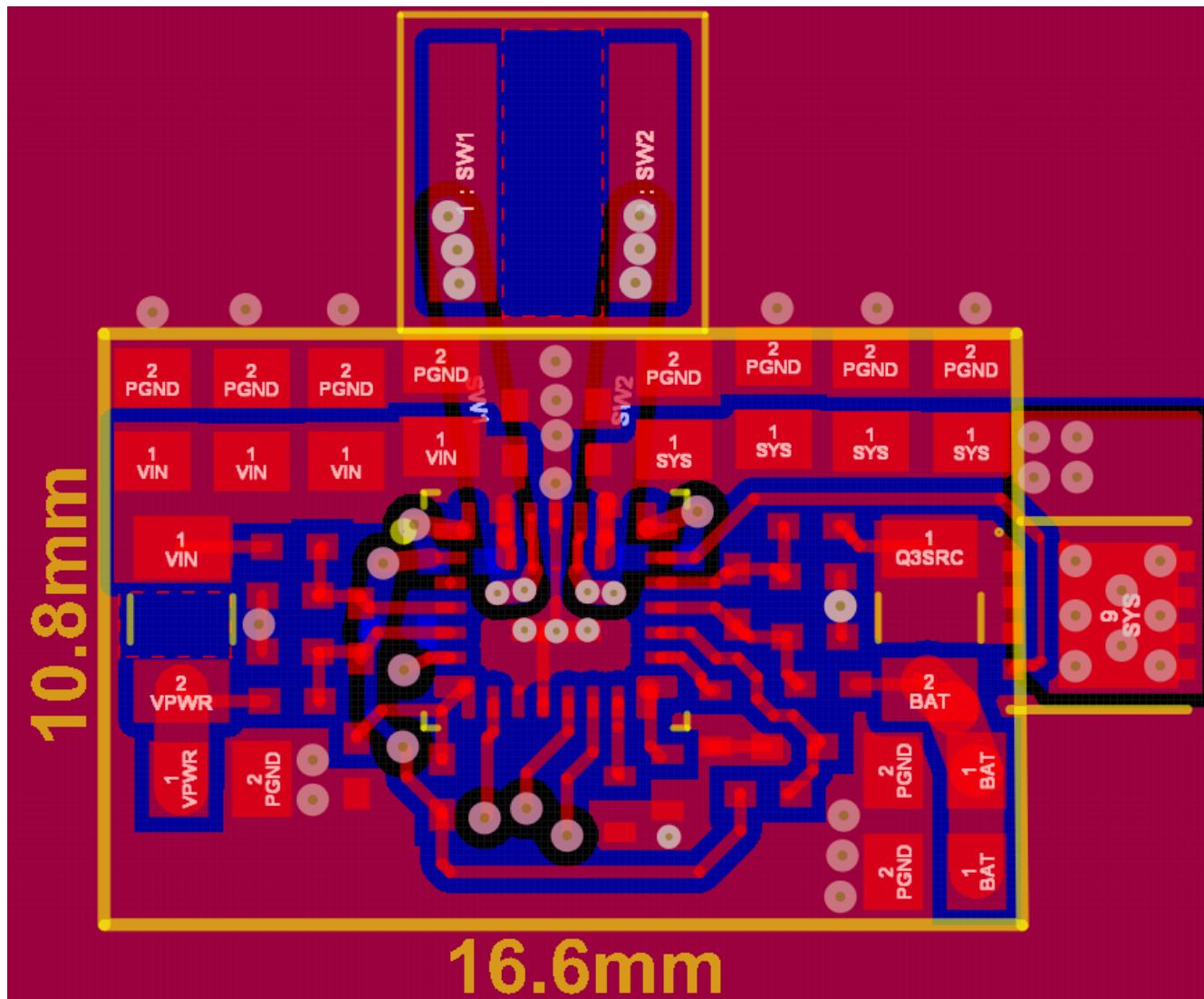


图 7-23. 2 层 PCB 布局示例的顶层 — 红色表示接地

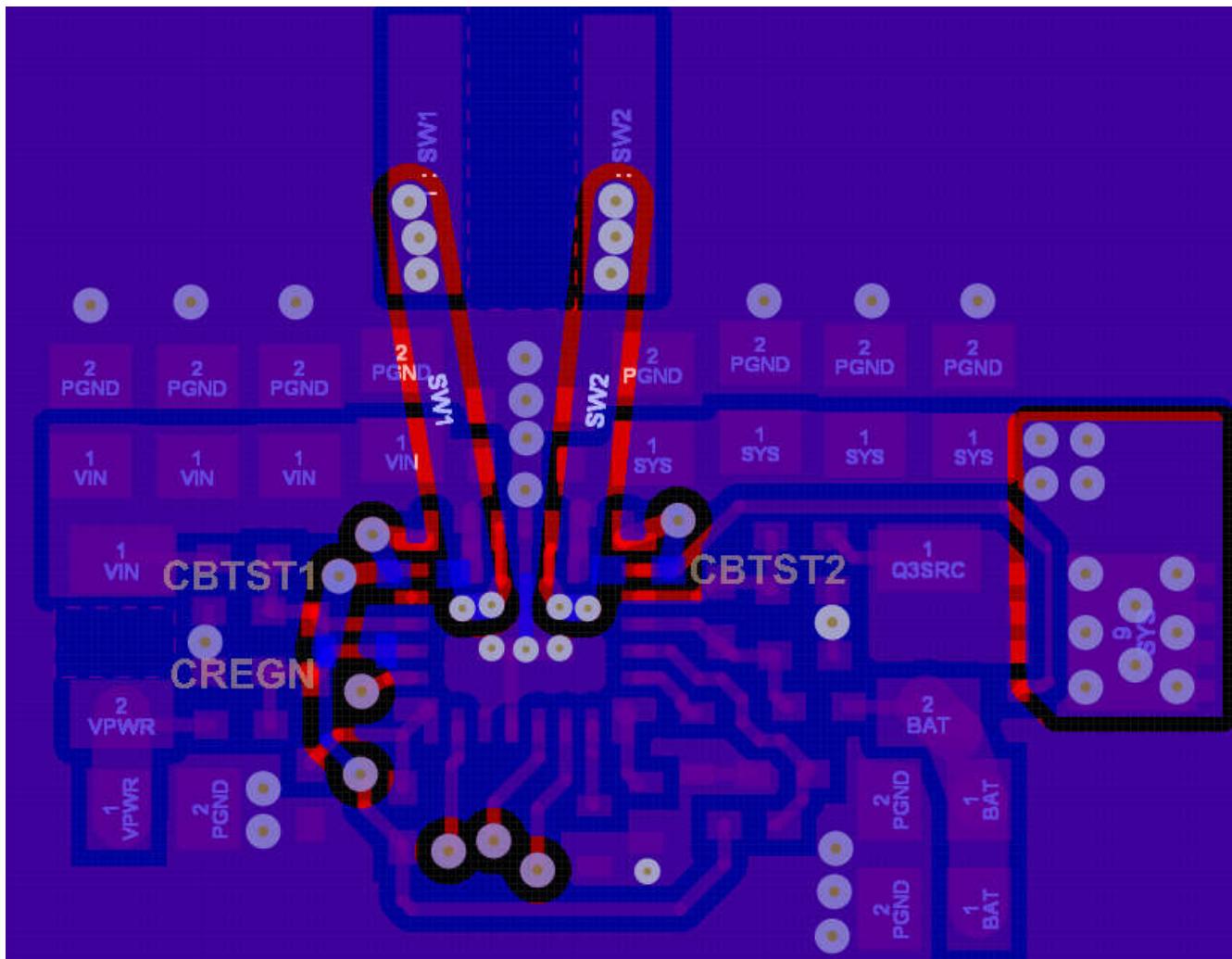


图 7-24. 2 层 PCB 布局示例的底层 — 蓝色/紫色表示 GND

图 7-23 展示了 2 层电路板建议的外部元件布局和布线。有关元件布局的优先顺序列表，请参阅[布局指南](#)

1. 为了最大限度减少功率耗散，建议使用 1 个内层作为 GND 且带有冗余电源引脚覆铜/平面的 4 层电路板。请参阅[EVM 布局示例](#)。
2. 为了最大限度减小布板空间，电感器可以放置在 IC 下面的底层。

## 8 器件和文档支持

### 8.1 器件支持

#### 8.1.1 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。

### 8.2 文档支持

#### 8.2.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

### 8.3 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 [ti.com](#) 上的器件产品文件夹。点击 [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。

### 8.4 支持资源

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

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

### 8.5 商标

[TI E2E™](#) is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

### 8.6 静电放电警告



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

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

### 8.7 术语表

#### TI 术语表

本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

## 9 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

<b>Changes from Revision * (October 2025) to Revision A (December 2025)</b>	<b>Page</b>
• 将器件状态从“预告信息”更改为“量产数据” .....	1

## 10 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。

## 10.1 封装选项附录

### 封装信息

可订购器件	状态 <sup>(1)</sup>	封装类型	封装图	引脚	包装数量	环保计划 <sup>(2)</sup>	铅/焊球镀层 <sup>(6)</sup>	MSL 峰值温度 <sup>(3)</sup>	工作温度 (°C)	器件标识 <sup>(4) (5)</sup>
BQ25690RBAR	有效	WQFN-HR	RBA	26	3000	RoHS 和绿色环保	雾锡	MSL2	-40 至 125	B690

(1) 销售状态值定义如下：

**正在供货**：建议用于新设计的产品器件。

**限期购买**：TI 已宣布器件即将停产，但仍在购买期限内。

**NRND**：不推荐用于新设计。为支持现有客户，器件仍在生产，但 TI 不建议在新设计中使用此器件。

**PRE\_PROD**：器件未发布，尚未量产，未向大众市场供货，也未在网络上供应，未提供样片。

**预发布**：器件已发布，但未量产。可能提供样片，也可能无法提供样片。

**已停产**：TI 已停止生产该器件。

(2) 环保计划 - 规划的环保分级包括：无铅 (RoHS)，无铅 (RoHS 豁免) 或绿色 (RoHS, 无锑/溴) - 如需了解最新供货信息及更多产品内容详情，请访问 [www.ti.com.cn/productcontent](http://www.ti.com.cn/productcontent)。

**待定**：无铅/绿色环保转换计划尚未确定。

**无铅 (RoHS)**：TI 所说的“无铅”或“无 Pb”是指半导体产品符合针对所有 6 种物质的现行 RoHS 要求，包括要求铅的重量不超过同质材料总重量的 0.1%。因在设计时就考虑到了高温焊接要求，因此 TI 的无铅产品适用于指定的无铅作业。

**无铅 (RoHS 豁免)**：该元件在以下两种情况下可享受 RoHS 豁免：1) 芯片和封装之间使用铅基倒装芯片焊接凸点；2) 芯片和引线框之间使用铅基芯片粘合剂。否则，元件将根据上述规定视为无铅 (符合 RoHS)。

**绿色环保 (RoHS, 无锑/溴)**：TI 定义的“绿色环保”表示无铅 (符合 RoHS 标准)、无溴 (Br) 和无锑 (Sb) 系阻燃剂 (均质材料中 Br 或 Sb 的质量不超过总质量的 0.1%)。

(3) **MSL**，峰值温度--湿敏等级额定值 (符合 JEDEC 工业标准分级) 和峰值焊接温度。

(4) 器件上可能还有与标识、批次跟踪代码信息或环境分类相关的其他标志。

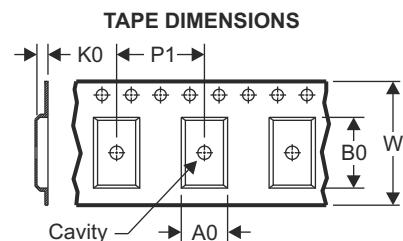
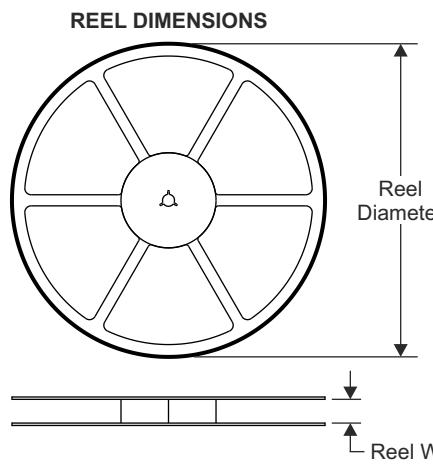
(5) 如有多个器件标识，将用括号括起来。不过，器件上仅显示括号中以“~”隔开的其中一个器件标识。如果某一行缩进，说明该行续接上一行，这两行合在一起表示该器件的完整器件标识。

(6) **铅/焊球镀层** - 可订购器件可能有多种镀层材料选项。各镀层选项用垂直线隔开。如果铅/焊球镀层值超出最大列宽，则会折为两行。

**重要信息和免责声明**：本页面上提供的信息代表 TI 在提供该信息之日的认知和观点。TI 的认知和观点基于第三方提供的信息，TI 不对此类信息的正确性做任何声明或保证。TI 正在致力于更好地整合第三方信息。TI 已经并将继续采取合理的措施来提供有代表性且准确的信息，但是可能尚未对引入的原料和化学制品进行破坏性测试或化学分析。TI 和 TI 供应商认为某些信息属于专有信息，因此可能不会公布其 CAS 编号及其他受限制的信息。

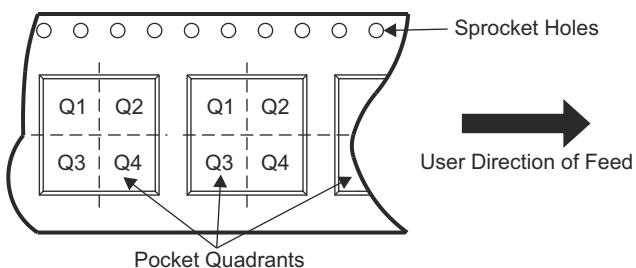
在任何情况下，TI 因此类信息产生的责任决不超过 TI 每年向客户销售的本文档所述 TI 器件的总购买价。

## 10.2 卷带包装信息



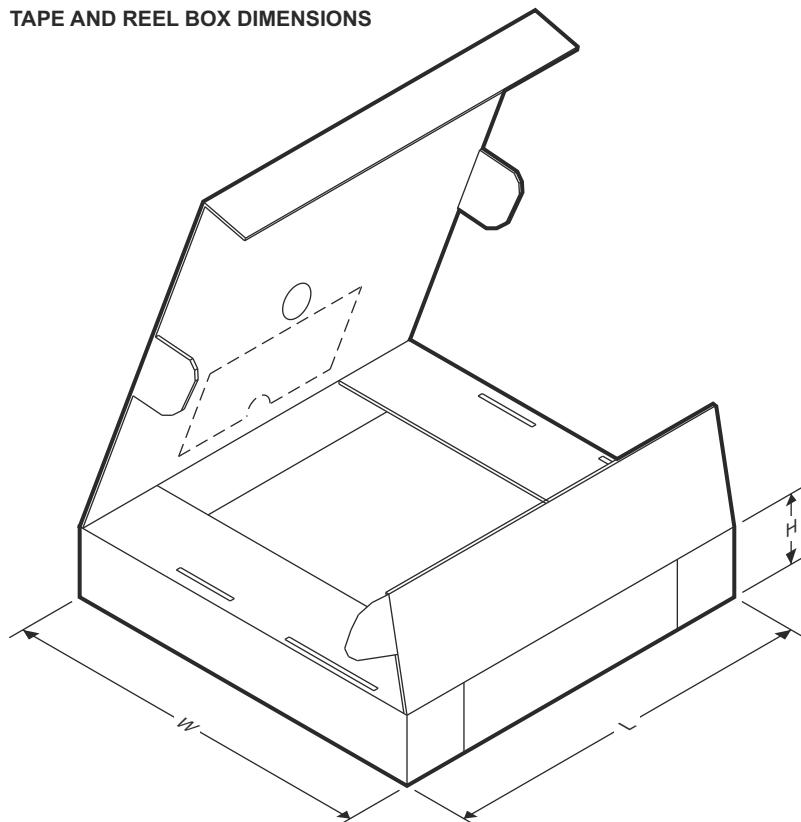
A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

### QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



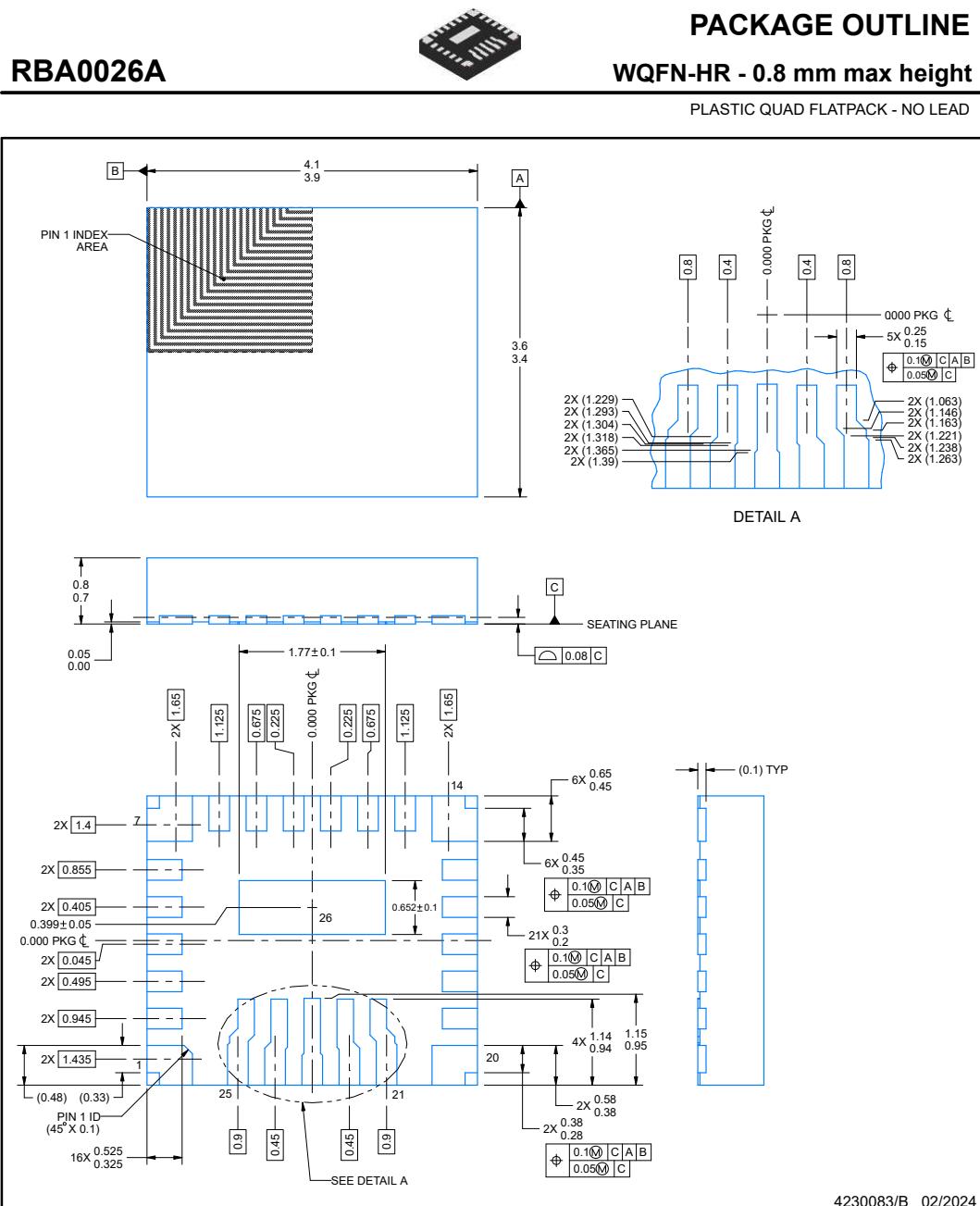
器件	封装类型	封装图	引脚	SPQ	卷带直径 (mm)	卷带宽度 W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 象限
BQ25690RBAR	WQFN-HR	RBA	26	3000	330	12.4	3.8	4.3	1.5	8.0	12.0	Q2

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



器件	封装类型	封装图	引脚	SPQ	长度 (mm)	宽度 (mm)	高度 (mm)
BQ25690RBAR	WQFN-HR	RBA	26	3000	367.0	367.0	35.0

## 10.3 机械数据



### NOTES:

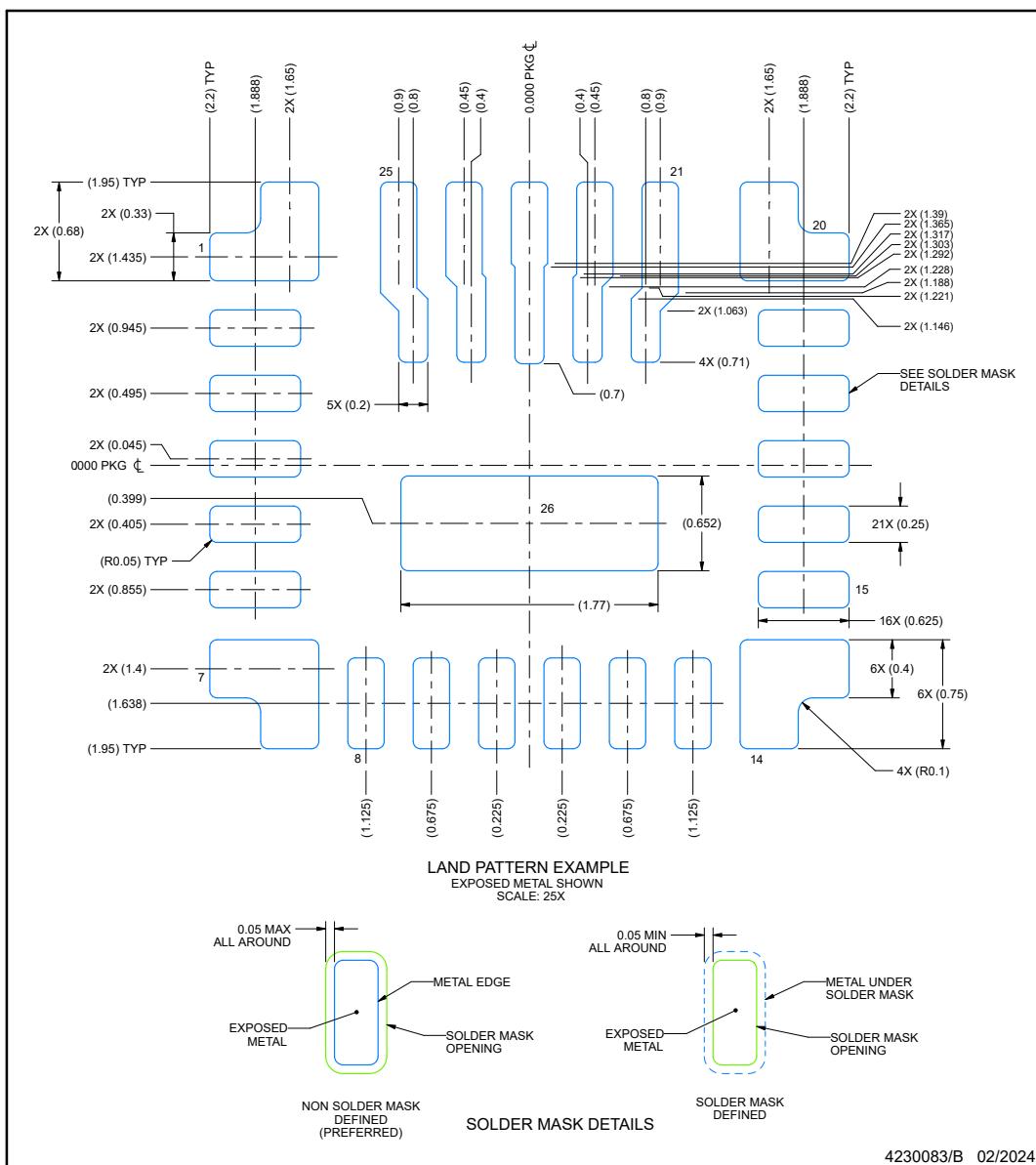
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for thermal and mechanical performance.

## EXAMPLE BOARD LAYOUT

**RBA0026A**

**WQFN-HR - 0.8 mm max height**

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



#### 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](http://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.

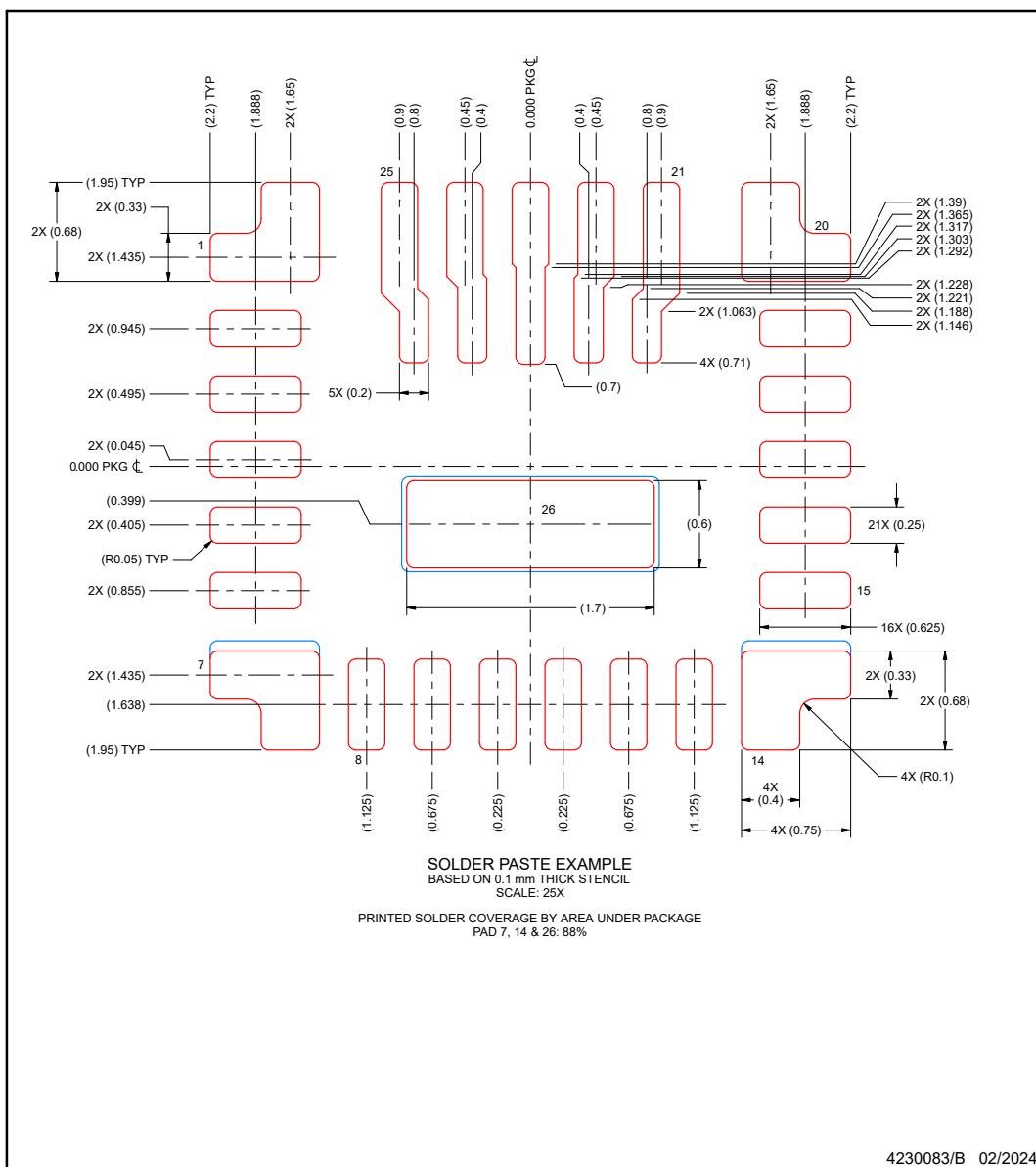


## EXAMPLE STENCIL DESIGN

**RBA0026A**

### **WQFN-HR - 0.8 mm max height**

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



**NOTES: (continued)**

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



**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)
BQ25690RBAR	Active	Production	WQFN-HR (RBA)   26	3000   LARGE T&R	-	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	B690

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

<sup>(2)</sup> **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.

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

<sup>(4)</sup> **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.

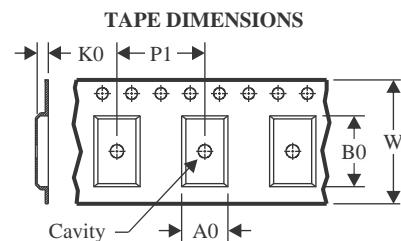
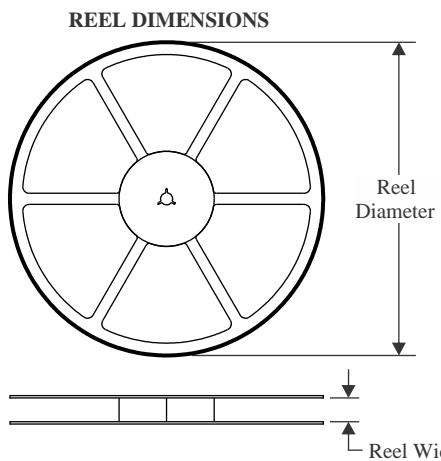
<sup>(5)</sup> **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature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

<sup>(6)</sup> **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.

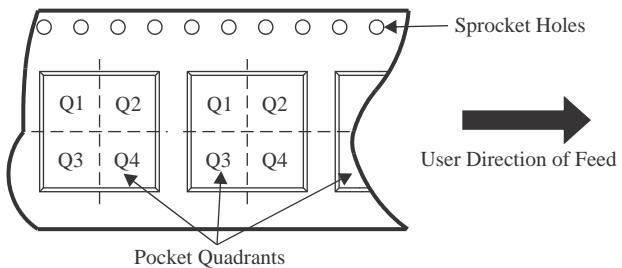
Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

**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.

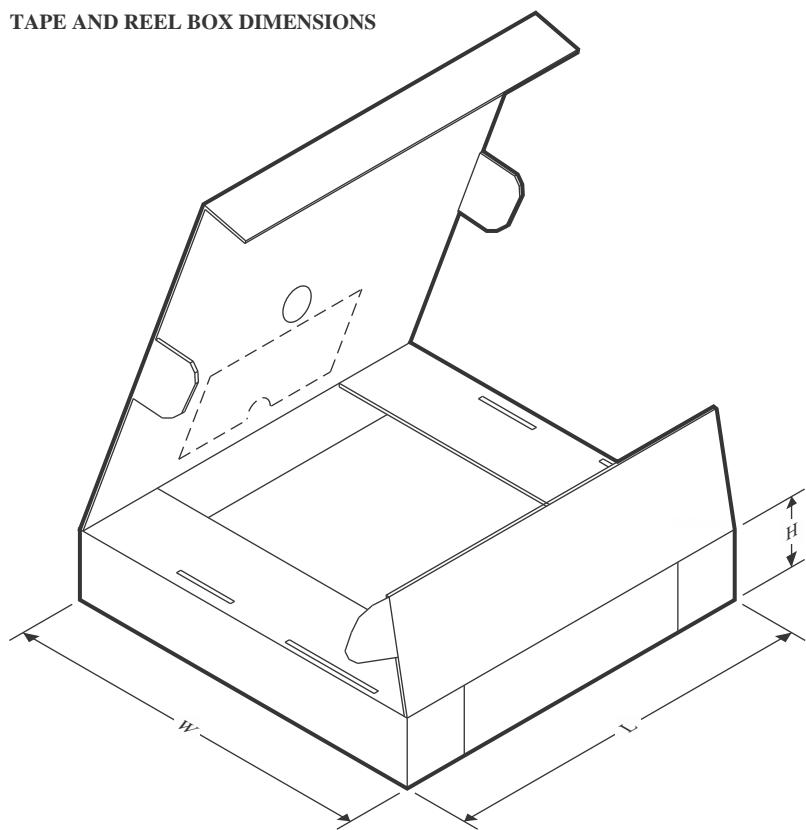
**TAPE AND REEL INFORMATION**


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
BQ25690RBAR	WQFN-HR	RBA	26	3000	330.0	12.4	3.8	4.3	1.5	8.0	12.0	Q2

**TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS**


\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
BQ25690RBAR	WQFN-HR	RBA	26	3000	360.0	360.0	36.0

## 重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月