BQ21088 具有电源路径、运输模式、关断模式和电池跟踪 VINDPM 的 I²C 控制型、单节电池、1A 线性电池充电器

1 特性

- 1A 线性电池充电器
  - 针对电池间充电和 USB 适配器的 3.0V 至 5.5V 输入电压工作范围
  - 可配置的电池调节电压，精度为 0.5%，范围为 3.6V 至 4.65V，阶跃为 10mV
  - 支持锂离子、锂聚合物电池和磷酸铁锂化学物质
  - 5mA 至 1A 的可配置快速充电电流
  - 55mΩ 电池 FET 导通电阻
  - 高达 3A 的放电电流，支持高系统负载
  - 可配置的 NTC 充电曲线阈值，包括 JEITA 支持
- 电源路径管理，用于系统供电和电池充电
  - 稳定系统电压 (SYS) 范围为 4.4V 至 4.9V，此外还具有电池电压跟踪功能和输入直通选项
  - 适用于高阻抗输入源的电池跟踪输入电压动态电源管理 (VINDPM)
- 超低静态电流
  - 仅电池模式下为 4μA
  - 睡眠模式下输入适配器 Iq 为 30 μA
- 单按钮唤醒和复位输入
- 集成故障保护
  - 输入过压保护 (VIN_OVP)
  - 电池短路保护 (BATSC)
  - 电池过流保护 (BATOCP)
  - 输入电流限制保护 (ILIM)
  - 热调节 (TREG) 和热关断 (TSHUT)
  - 电池热故障保护 (TS)
  - 看门狗和安全计时器故障

2 应用

- TWS 耳机和充电盒
- 智能眼镜、AR 和 VR
- 智能手表和其他可穿戴设备
- 零售自动化和支付
- 楼宇自动化

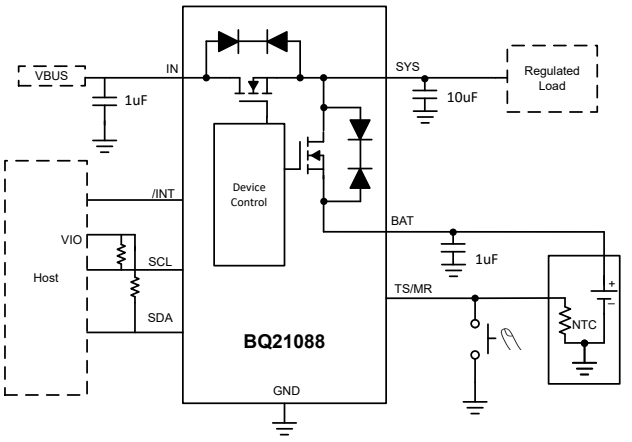
3 说明

BQ21088 是一款线性电池充电器 IC，主要用于实现小尺寸解决方案和低静态电流以延长电池寿命。该器件采用 8 焊球芯片级封装，无需采用 HDI PCB 工艺进行制造，从而降低了 PCB 成本。该器件可支持高达 1A 的充电电流和高达 3A 的系统负载电流。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸(2)	封装尺寸（标称值）
BQ21088	YBG (DSBGA 8)	1.6mm x 1.1mm	1.6mm x 1.1mm

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



简化版原理图

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

内容

1 特性.....1
2 应用.....1
3 说明.....1
4 说明（续）.....3
5 引脚配置和功能.....4
6 规格.....5
6.1 绝对最大额定值.....5
6.2 ESD 等级.....5
6.3 热性能信息.....5
6.4 建议运行条件.....5
6.5 电气特性.....6
6.6 时序要求.....10
6.7 典型特性.....11
7 详细说明.....12
7.1 概述.....12
7.2 功能方框图.....16
7.3 特性说明.....16
7.4 器件功能模式.....24
7.5 寄存器映射.....26
8 应用和实施.....40
8.1 应用信息.....40
8.2 典型应用.....40
9 电源相关建议.....45
10 布局.....46
10.1 布局指南.....46
10.2 布局示例.....46
11 器件和文档支持.....47
11.1 器件支持.....47
11.2 文档支持.....47
11.3 接收文档更新通知.....47
11.4 支持资源.....47
11.5 商标.....47
11.6 静电放电警告.....47
11.7 术语表.....47
12 修订历史记录.....47
13 机械、封装和可订购信息.....48

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

4 说明（续）

该器件采用标准锂离子或磷酸铁锂充电曲线分三个阶段对电池进行充电：预充电、恒流和恒压。通过热调节提供最大充电电流，同时管理器件温度。该充电器还针对电池间充电进行了优化，具有 3V 的最低输入电压，并且可以承受 25V 的绝对最大线路瞬变。该器件集成了单按钮输入，用于减小解决方案的总尺寸。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

5 引脚配置和功能

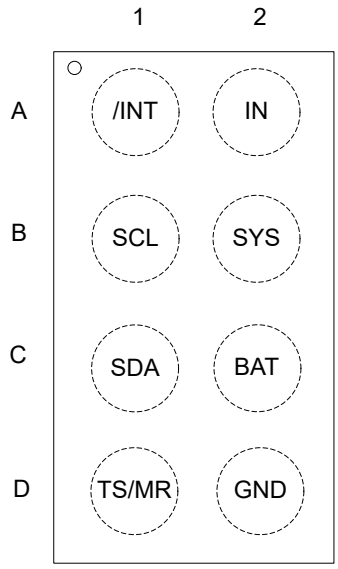


图 5-1. YBG 封装 WCSP 8 引脚（顶视图）

表 5-1. 引脚功能

引脚		I/O(1)	说明
名称	编号		
IN	A2	P	直流输入电源。IN 连接到外部直流电源。使用有效容值至少为 1 µF 的陶瓷电容器将 IN 旁路至 GND。
SYS	B2	P	调节的系统输出。在 SYS 与 GND 之间连接一个至少 10 µF 的陶瓷电容器（直流偏置降额时的陶瓷电容至少为 1 µF），并尽可能靠近 SYS 和 GND 引脚放置。
BAT	C2	P	电池连接。连接到电池的正端子。使用至少 1 µF 的陶瓷电容将 BAT 旁路至 GND。
GND	D2	-	接地连接。连接到电路的接地平面。
SCL	B1	I/O	I^2C 接口时钟。通过 10kΩ 电阻将 SCL 连接到逻辑轨。
SDA	C1	I/O	I^2C 接口数据。通过 10kΩ 电阻将 SDA 连接到逻辑轨。
/INT	A1	O	INT 是指示故障中断的开漏输出。发生故障时会将一个 128 µs 低电平有效脉冲作为中断发送给主机。使用控制寄存器中的 MASK_INT 位来启用/禁用 INT。可以通过 1kΩ 至 20kΩ 电阻上拉。典型上拉电压 = 1.8V，最大上拉电压 = 5V。
TS/MR	D1	I/O	手动复位输入/NTC 热敏电阻引脚。TSMR 是一个通用输入，其保持低电平的时间必须超过 t_{LPRESS} 才能进入运输模式或执行硬件复位，还可用于检测 TSMR 可能由瞬时按钮或 MOS 开关驱动的较短按钮按压持续时间，例如 t_{wake1} 和 t_{wake2} TSMR。TSMR 引脚还将连接一个 NTC 热敏电阻。

(1) I = 输入，O = 输出，I/O = 输入或输出，G = 接地，P = 电源。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6 规格

6.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）(1)

		最小值	最大值	单位
输入电压	IN	-0.3	25	V
电压	所有其他引脚	-0.3	5.5	V
输入电流（直流）	IN		1.1	A
输出灌电流	/INT		20	mA
T_J	结温	-40	150	°C
T_{stg}	贮存温度	-65	150	°C

(1) 超出*绝对最大额定值*下列出的应力可能会对器件造成永久性损坏。这些仅为应力等级，并不意味着器件在这些条件下以及在*建议运行条件*以外的任何其他条件下能够正常运行。长时间处于绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。

6.2 ESD 等级

			值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准，所有引脚(1)	±2500	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 标准，所有引脚(2)	±1500	

(1) JEDEC 文档 JEP155 指出：500V HBM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。
(2) JEDEC 文档 JEP157 指出：250V CDM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

6.3 热性能信息

热指标(1)		BQ25185 DLH 10	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻 (JEDEC(1))	107.1	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	0.9	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	30.3	°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.3	°C/W
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	30.3	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳（底部）热阻	不适用	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅半导体和 IC 封装热指标应用报告。

6.4 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
VBAT	电池电压范围	2.2		4.6	V
VIN	输入电压范围	2.7		5.5	V
IIN	输入电流范围（IN 至 SYS）			1.1	A
ISYS（直流）	SYS 放电电流（直流）			2	A
ISYS（峰值）	SYS 放电电流 (tpulse < 20ms)			3	A
IBAT	电池放电电流（BAT 至 SYS）			3	A

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.4 建议运行条件（续）

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
TJ	工作结温范围	-40		125	°C

6.5 电气特性

VIN = 5V，VBAT = 3.6V。TJ = 25°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
输入电流						
I_{Q_IN}	输入电源静态电流	VBAT = 3.6V，VIN = 5V，启用充电，ICHG = 0mA，SYSREG = 4.5V		0.75	1	mA
I_{Q_IN}	输入电源静态电流	VBAT = 3.6V，VIN = 5V，启用充电，ICHG = 0mA，SYSREG = 直通		0.660	1.5	mA
I_{SLEEP_IN}	SLEEP 输入电流	VIN = 3.6V，VBAT = 3.7V		30		μA
I_{Q_BAT}	电池静态电流	V_{IN} < V_{UVLO} 或悬空，禁用看门狗，禁用按钮，I2C 正常工作。VBAT = 3.6V，T_J = 25°C		3	3.5	μA
I_{Q_BAT}	电池静态电流	V_{IN} < V_{UVLO}，VBAT = 3.6V，启用按钮功能，0°C < T_J < 85°C		4	5	μA
$I_{BAT_SHUTDOWN}$	关断模式下的电池放电电流	VIN = 0V，关断模式，VBAT = 3.6V，启用适配器检测唤醒。		30		nA
I_{BAT_SHIP}	运输模式下的电池放电电流	VBAT = 3.6V，启用按钮功能（平均电流），0°C < T_J < 85°C		3.2	5	μA
电源路径管理和输入						
V_{IN_OP}	输入电压工作范围		3.6		5.5	V
V_{IN_UVLOZ}	退出 IN 欠压锁定	IN 上升			3	V
V_{IN_UVLO}	进入 IN 欠压锁定	IN 下降			2.7	V
V_{IN_LOWV}	开始充电的 IN 电压	IN 上升		3	3.15	V
V_{IN_LOWVZ}	停止充电的 IN 电压	IN 下降		2.95	3.1	V
V_{IN_PORZ}	进入运输模式的 IN 电压阈值	IN 下降	1.09	1.3	1.66	V
V_{SLEEP}	进入睡眠模式阈值	IN 下降，VIN - VBAT，VBAT = 4V		82		mV
V_{SLEEPZ}	退出睡眠模式阈值	IN 上升，VIN - VBAT，VBAT = 4V	168	208	262	mV
V_{IN_OVP}	VIN 过压上升阈值	IN 上升	5.5	5.7	5.9	V
$V_{IN_OVP_HYS}$	IN 过压迟滞	IN 下降		125		mV
I_{BAT_OCP}	BATOCP（仅限反向 OCP）	VBAT = 4V，IBAT_OCP= 00		0.5		A
		VBAT = 4V，IBAT_OCP= 01		1.05		A
		VBAT = 4V，IBAT_OCP= 10		1.65		A
		VBAT = 4V，IBAT_OCP= 11		3		A
I_{BAT_OCPACC}	电池 OCP 精度	IBAT= 3A，TJ = 27°C			18	%
VBSUP1	进入补充模式阈值	VBAT = 3.6V，VBAT > V_{BUVLO}，VSYS < VBAT-VBSUP1		40		mV
VBSUP2	退出补充模式阈值	V_{BAT} > V_{BUVLO}，VSYS > VBAT-VBSUP2		20		mV

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

VIN = 5V，VBAT = 3.6V。TJ = 25°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
ILIM	输入电流限制	VIN = 5V，ILIM = 50mA	40	50	60	mA
		VIN = 5V，ILIM = 100mA	80	90	98	mA
		VIN = 5V，ILIM = 200mA	180	200	220	mA
		VIN = 5V，ILIM = 300mA	270	300	330	mA
		VIN = 5V，ILIM = 380mA	360	380	400	mA
		VIN = 5V，ILIM = 500mA	450	475	498	mA
		VIN = 5V，ILIM = 665mA	630	665	700	mA
		VIN = 5V，ILIM = 1050mA	995	1050	1100	mA
V_{INDPM_ACC}	VINDPM 精度	未禁用 VINDPM 目标	-3		3	%
V_{INDPM}	输入电流减小时的输入电压阈值	VINDPM 目标 = VBAT + V_{INDPM_TRACK}		VBAT + V_{INDPM_TRACK}		V
	输入电流减小时的输入电压阈值	VINDPM 目标 = 4.5V		4.5		V
	输入电流减小时的输入电压阈值	VINDPM 目标 = 4.7V		4.7		V
V_{INDPM_TRACK}	输入电流降低且 VBAT > 3.5V 时的输入电压阈值偏移	VINDPM 目标 = VBAT + V_{INDPM_TRACK}		330		mV
V_{DPPM}	充电电流减小时的 SYS 电压阈值	VBAT = 3.6V，VSYS = V_{DPPM} + VBAT（充电电流减小之前）。		0.1		V
$V_{SYS_REG_ACCURACY}$	可编程 SYS 电压调节精度	VIN = 5V，VBAT = 3.6V，RSYS = 100Ω，SYS 调节目标 = 4.4V 至 4.9V	-2		2	%
V_{MINSYS}	处于电池跟踪模式时的最小 SYS 电压	VBAT < 3.6V		3.8		V
V_{SYS_TRACK}	电池跟踪模式下 VBAT > 3.6V 时 SYS 的电压调节阈值	VBAT = 4V，VSYS = VBAT + V_{SYS_TRACK}		225		mV
R_{SYS_PD}	SYS 下拉电阻	V_{SYS} = 3.6V		20		Ω
V_{SYS_SHORT}	用于检测发生了 SYS_SHORT 条件的电压阈值	下降电压		0.86		V
$V_{SYS_SHORT_HYS}$	用于退出已发生的 SYS_SHORT 条件的电压阈值	上升电压		1.1		V
电池充电器						
R_{ON_BAT}	电池 FET 导通电阻	VBAT = 4.5V，IBAT = 500mA		55	90	mΩ
R_{ON_IN}	输入 FET 导通电阻	IN = 5V，IIN = 0.8A		330	470	mΩ
V_{REG_RANGE}	典型 BAT 充电电压调节范围	10mV 阶跃，可通过 I^2C 编程	3.5		4.65	V
V_{REG_ACC}	BAT 充电电压精度，所有设置的汇总	所有 VBATREG 设置，VBATREG = 4.2V 时的典型测量值	-0.5		0.5	%
I_{CHG_RANGE}	典型充电电流调节范围	V_{BAT} > V_{LOWV}	5		1000	mA
I_{CHG_ACC}	充电电流精度	VIN = 5V，快速充电 >= 40mA	-10		10	%
I_{CHG_ACC}	充电电流精度	快速充电电流 = 5mA	4.1	5	5.5	mA
I_{CHG_ACC}	充电电流精度	快速充电电流 = 40mA	36	40	44	mA
I_{CHG_ACC}	充电电流精度	快速充电电流 = 630mA	567	630	693	mA
I_{PRECHG}	典型预充电电流，以 ICHG 的百分比表示	V_{OUT} < V_{LOWV}		20		%
I_{PRECHG_ACC}	预充电电流精度	快速充电电流 >= 40mA	-10		10	%
I_{TERM}	典型终止电流，以 ICHG 的百分比表示	V_{OUT} = VBATREG		10		%
I_{TERM_ACC}	终止电流精度	IBAT = 3mA (ICHG= 30mA) Tj = 25°C	-10		10	%
I_{TERM_ACC}	终止电流精度	IBAT = 3mA (ICHG= 30mA) Tj = 25°C	2.7		3.3	mA

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

VIN = 5V，VBAT = 3.6V。TJ = 25°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_{LOWV}	预充电至快速充电转换阈值	VLOWVSEL = 3.0V，VBAT 上升	2.9	3	3.1	V
V_{LOWV}	预充电至快速充电转换阈值	VLOWVSEL = 2.8V，VBAT 上升	2.7	2.8	2.9	V
V_{LOWV_HYS}	电池 LOWV 迟滞	所有设置		100		mV
V_{BUVLO}	电池 UVLO，VBAT 下降	BUVLO 设置 = b000		3		V
	电池 UVLO，VBAT 下降	BUVLO 设置 = b011		2.8		V
	电池 UVLO，VBAT 下降	BUVLO 设置 = b100		2.6		V
	电池 UVLO，VBAT 下降	BUVLO 设置 = b101		2.4		V
	电池 UVLO，VBAT 下降	BUVLO 设置 = b110		2.2		V
	电池 UVLO，VBAT 下降	BUVLO 设置 = b111		2.0		V
V_{BUVLO_HYS}	电池 UVLO 迟滞，VBAT 上升	任何 BUVLO 设置，高于 VBAT 的值，VIN = 5V	110	150	190	mV
V_{BUVLO_HYS}	电池 UVLO 迟滞，VBAT 上升	任何 BUVLO 设置，高于 VBAT 的值，VIN = 0V	90	150	210	mV
V_{BATPOR}	电池仅上电电压，VBAT 上升	-40°C < Tj < 125°C	3.08	3.21	3.46	V
V_{RCH}	电池充电阈值	BAT 下降，VRCH 位 = 0	75	100	130	mV
		BAT 下降，VRCH 位 = 1	175	200	230	mV
V_{BATSC}	涓流充电时的电池短路阈值，VBAT 上升		1.6	1.8	2.0	V
V_{BATSC_HYS}	电池短路电压迟滞			200		mV
I_{BATSC}	涓流充电电流	VBAT < V_{BATSC}		1		mA
温度调节和温度关断						
T_{REG}	典型结温调节	THERM_REG = 00		100		°C
T_{REG}	典型结温调节	THERM_REG = 01		80		°C
T_{REG}	典型结温调节	THERM_REG = 10		60		°C
T_{REG}	典型结温调节	THERM_REG = 11		禁用		
T_{SHUT_RISING}	热关断上升阈值	温度升高		150		°C
$T_{SHUT_FALLING}$	热关断下降阈值	温度降低		135		°C
电池 NTC 监控器						
I_{TS_BIAS}	TS 标称偏置电流		36.5	38	39.5	µA
V_{T1_Entry}	低温 - 约 0°C 时为 00，默认值	VIN = 5V	0.9575	1.0075	1.0575	V
V_{T2_Entry}	低温 - 约 3°C 时为 01	VIN = 5V	0.8450	0.8900	0.9325	V
V_{T3_Entry}	低温 - 约 5°C 时为 10	VIN = 5V	0.7775	0.8200	0.8600	V
V_{T4_Entry}	低温 - 约 -3°C 时为 11	VIN = 5V	1.0850	1.1425	1.2000	V
V_{T5_Entry}	凉温 - 约 10°C 时为 00，默认值	VIN = 5V	0.6350	0.6700	0.7025	V
V_{T6_Entry}	暖温 - 约 45°C 时为 00，默认值	VIN = 5V	0.1730	0.1850	0.198	V
V_{T7_Entry}	高温 - 约 60°C 时为 00，默认值	VIN = 5V	0.1050	0.1150	0.1250	V
V_{T8_Entry}	高温 - 约 65°C 时为 01	VIN = 5V	0.0875	0.0975	0.1075	V
V_{T9_Entry}	高温 - 约 50°C 时为 10	VIN = 5V	0.1475	0.1575	0.1675	V
V_{T10_Entry}	高温 - 约 45°C 时为 11	VIN = 5V	0.1750	0.1850	0.1950	V
V_{T1_Exit}	低温 - 约 5°C 时为 00，默认值	VIN = 5V	0.7775	0.8200	0.8600	V
V_{T2_Exit}	低温 - 约 8°C 时为 01	VIN = 5V	0.6875	0.7250	0.7600	V
V_{T3_Exit}	低温 - 约 10°C 时为 10	VIN = 5V	0.6350	0.6700	0.7025	V
V_{T4_Exit}	低温 - 约 2°C 时为 11	VIN = 5V	0.8800	0.9275	0.9725	V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

VIN = 5V，VBAT = 3.6V。TJ = 25°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_{T5_Exit}	凉温 - 约 15°C 时为 00，默认值	VIN = 5V	0.5225	0.5500	0.5775	V
V_{T6_Exit}	暖温 - 约 41°C 时为 00，默认值	VIN = 5V	0.2080	0.2200	0.235	V
V_{T7_Exit}	高温 - 约 55°C 时为 00，默认值	VIN = 5V	0.1250	0.1350	0.1450	V
V_{T8_Exit}	高温 - 约 60°C 时为 01	VIN = 5V	0.1050	0.1150	0.1250	V
V_{T9_Exit}	高温 - 约 45°C 时为 10	VIN = 5V	0.1750	0.1850	0.1950	V
V_{T10_Exit}	高温 - 约 40°C 时为 11	VIN = 5V	0.2100	0.2200	0.23	V
V_{TS_ENZ}	TS 监控使能阈值 VTSMR < VTS_ENZ 以启用 TS 功能	TS 上升，VIN = 5V	1.8	2.1	2.8	V
V_{TS_CLAMP}	TS 最大电压钳位	TS 开路（悬空），VIN = 5V	2.2	2.8	3.3	V
按钮计时器和阈值						
I_{TSMR}	适配器存在		36.5	38	39.5	µA
I_{TSMR}	仅电池模式			60		µA
V_{TSMR}	用于检测按钮按下事件的 TSMR 电压，仅电池模式				90	mV
V_{TSMR}	用于检测按钮按下事件的 TSMR 电压，存在适配器				90	mV
t_{WAKE1}	WAKE1 计时器。从 TSMR 低电平检测开始的时间	MR_WAKE1_TIMER = 0		300		ms
		MR_WAKE1_TIMER = 1		1		s
t_{WAKE2}	WAKE2 计时器。从 TSMR 低电平检测开始的时间	MR_WAKE2_TIMER = 0		2		s
		MR_WAKE2_TIMER = 1		3		s
t_{RESET_WARN}	RESET_WARN 计时器。硬件复位前的时间	MR_RESET_WARN = 0	0.9	1	1.1	s
t_{LPRESS}	长按计时器。从按钮按压检测到长按操作的时间。	MR_LPRESS = 00	4.5	5	5.5	s
		MR_LPRESS = 01	9	10	11	s
		MR_LPRESS = 10	13.5	15	16.5	s
		MR_LPRESS = 11	18	20	22	s
$t_{RESTART(AUTOWAKE)}$	RESTART 计时器。从硬件复位到 SYS 上电的时间	AUTOWAKE = 00		0.5		s
		AUTOWAKE = 01		1		s
		AUTOWAKE = 10		2		s
		AUTOWAKE = 11		4		s
电池充电计时器						
t_{MAXCHG}	充电安全计时器	可编程范围	180		720	min
t_{PRECHG}	预充电安全计时器		0.25 * t_{MAXCHG}			
I2C 接口						
Isink	/PG 引脚灌电流能力 (QFN)	VBAT = 4V			20	mA
V_{IL}	输入低阈值电平	VPULLUP = 1.8V，SDA 和 SCL			0.4	V
V_{IH}	输入高阈值电平	VPULLUP = 1.8V，SDA 和 SCL	1.3			V
V_{OL}	输出低阈值电平	IL = 5mA，灌电流，V_{PULLUP} = 1.8V			0.4	V
I_{LKG}	高电平漏电流	V_{PULLUP} = 1.8V			1	µA
逻辑引脚						
V_{OL}	输出低阈值电平	IL = 5mA，灌电流，V_{PULLUP} = 3.3V，/INT 引脚			0.4	V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

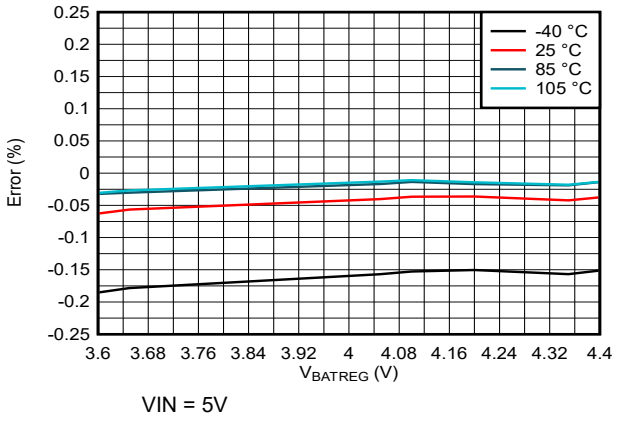
6.6 时序要求

		最小值	标称值	最大值	单位
输入					
$t_{VIN_OVPZ_DGL}$	VIN_OVP 抗尖峰脉冲，VIN 下降		30		ms
t_{SLEEP_DGL}	进入睡眠的抗尖峰脉冲时间，VIN 下降		64		µs
t_{VIN_WAKE}	退出运输模式或关断模式所需的 V_{IN}	10			ms
电池充电器					
t_{REC_SC}	恢复时间，放电模式期间的 BATOCP		250		ms
t_{RETRY_SC}	SYS 或 BAT 短路恢复 (BATOCP) 的重试窗口		2		s
t_{BUVLO}	当 VBAT < V_{BUVLO} 设置时断开 BATFET 的抗尖峰脉冲时间		60		µs
$t_{TS_DUTY_ON}$	TS 接通时间（仅电池模式）		4		ms
$t_{TS_DUTY_OFF}$	TS 关断时间（仅电池模式）		196		ms
数字时钟、看门狗和按钮					
t_{WDOG}	I2C 接口复位计时器，可调节	40	160	禁用	s
$t_{I2CRESET}$	I2C 接口非活动状态复位计时器		500		ms
t_{HW_RESET}	硬件复位	4		14	s
$t_{SHIPWAKE}$	唤醒计时器，用于为运输模式计数（WAKE2 默认计时器）		2		s

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

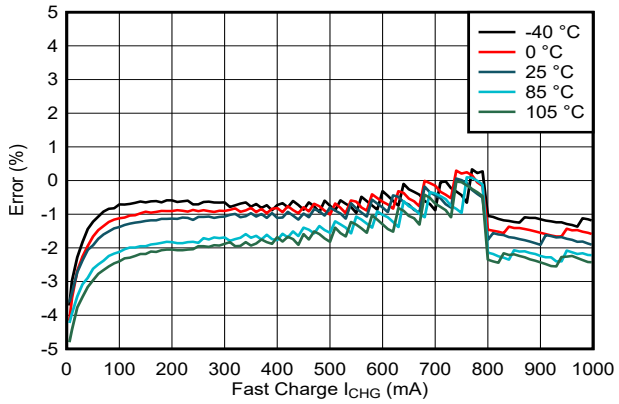
6.7 典型特性

VIN = 5V，C_{IN} = 2.2μF，C_{OUT} = 10μF，C_{BAT} = 1μF（除非另有说明）



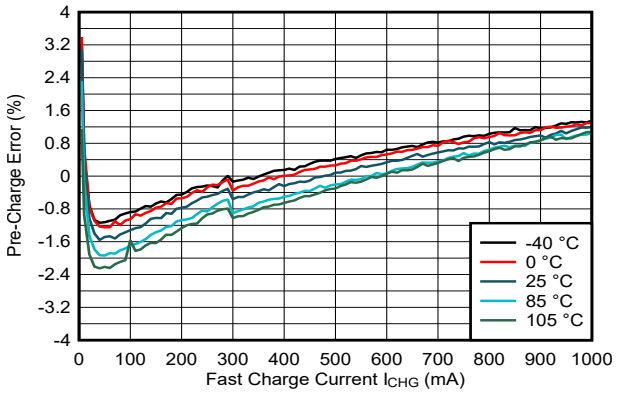
VIN = 5V

图 6-1. 电池调节电压精度与 VBATREG 设置间的关系



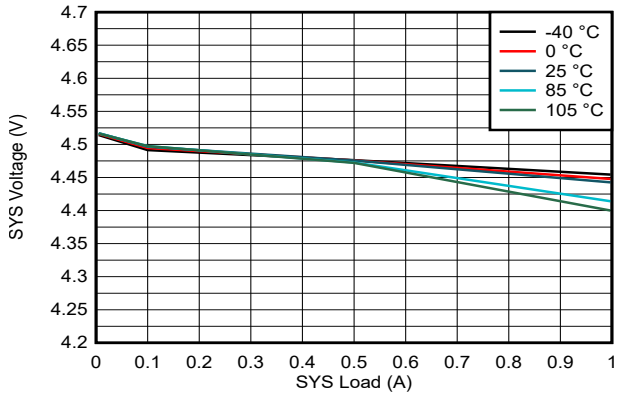
VIN = 5V VBAT = 3.7V

图 6-2. 充电电流精度与 ICHARGE 设置间的关系



VIN = 5V VBAT = 3.7V

图 6-3. 预充电精度与电池电压间的关系



VIN = 5V VBAT = 3.7V

图 6-4. SYS 负载调节

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7 详细说明

7.1 概述

BQ21088 集成了一个线性充电器，允许使用高达 1A 的可编程的充电电流为电池充电。除了充电电流之外，其他充电参数还可以通过 I^2C 进行编程，例如预充电、终止和输入电流限制。

即使在电池电量耗尽或正在充电时，也可以使用电源路径从 IN 引脚获取电源，从而通过调节输出 SYS 为系统供电。此外，还会优先处理 SYS 中的系统负载，必要时降低充电电流，以便在输入功率受限时支持负载。如果输入电源被移除并且电池电压电平高于 V_{BUVLO}，SYS 将自动无缝地切换到电池电源。

充电通过内部电池 MOSFET 完成。有几个环路会影响充电电流：恒流环路 (CC)、恒压环路 (CV)、输入电流限制、热调节、VDPPM 和 VINDPM。在充电过程中，所有环路都会启用，并且占主导地位的环路获得控制权。

器件通过可调的电池调节电压 (V_{BATREG}) 和充电电流 (I_{CHG}) 选项，支持单节电池应用的多种电池化学成分。

7.1.1 电池充电过程

连接有效输入源（$V_{IN} > V_{INDPM}$ 且 $V_{BAT} + V_{SLEEP} < V_{IN} < V_{IN_OVP}$）时，CHARGE_DISABLE 位的状态和 TS/MR 引脚将决定是否启动充电周期。如果已设置 CHARGE_DISABLE 位以禁用充电，$V_{HOT} < V_{TS/MR} < V_{COLD}$，且连接了有效输入源，则电池放电 FET 将关断，从而防止对电池进行任何类型的充电。请注意，补充行为与 CHARGE_DISABLE 位无关。只要 VIN 电压高于 V_{IN_LOWV} 阈值，器件就能够为电池充电。存在此阈值是因为 VIN 可被视为具有极低电池电压或电池电压为 0V 的“电源正常”状态。

下图说明了一个典型的充电周期。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

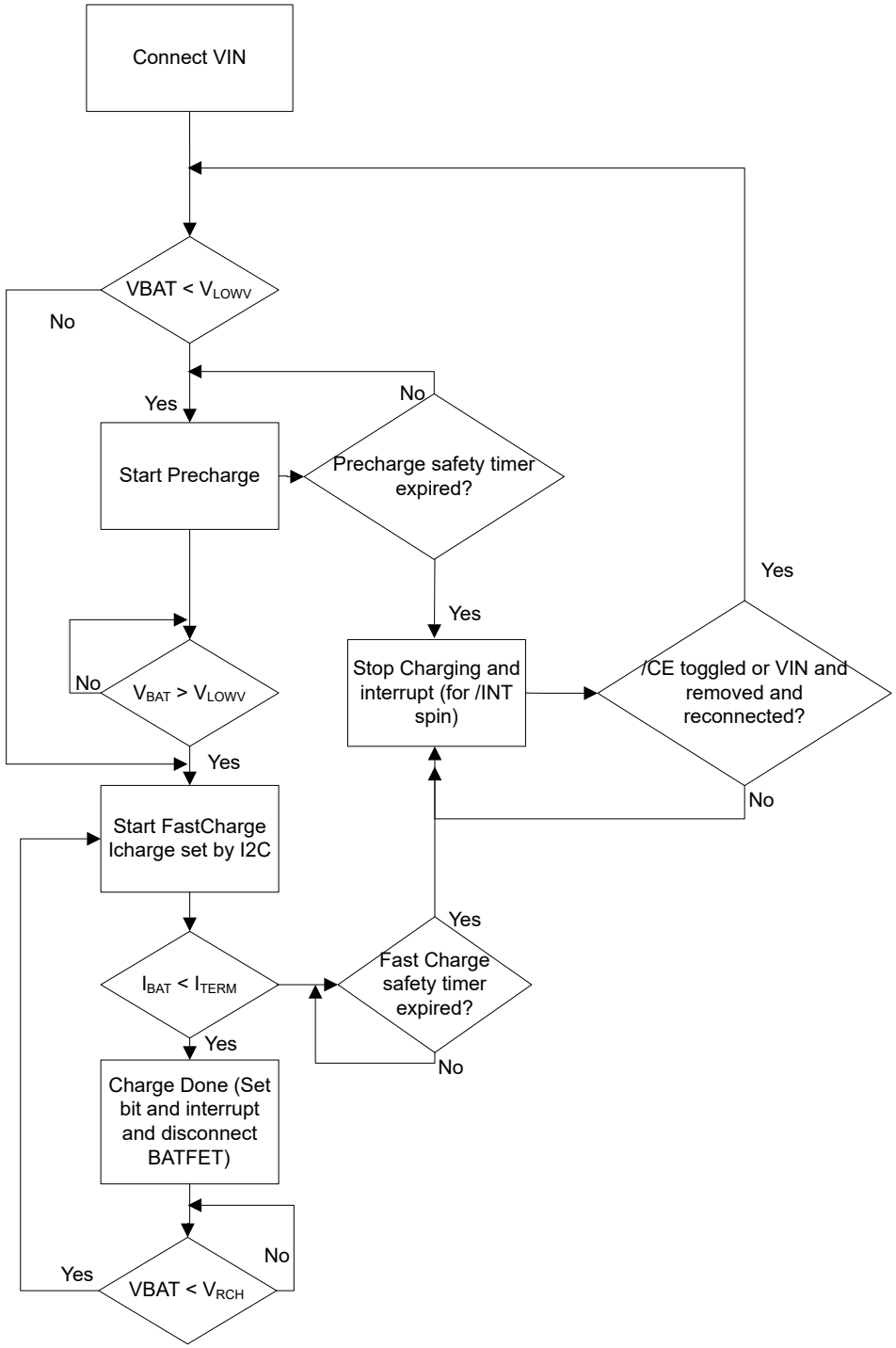


图 7-1. 充电器流程图

7.1.1.1 涓流充电

为了防止损坏电池，当电池电压 (VBAT) 低于 V_{BATSC} 阈值时，器件将以低得多的电流水平（称为涓流充电 (I_{BATSC})）为电池充电。在涓流充电期间，器件仍会计入预充电安全计时器。更确切地说，涓流充电和预充电计入相同的 25% 快速充电计时器持续时间。

7.1.1.2 预充电

当电池电压高于 V_{BATSC} 但低于 V_{LOWV} 阈值时，电池将以预充电电流 (I_{PRECHG}) 充电。预充电电流是终止电流的数倍（第 8.1.1.5 节“终止”）。因此，预充电电流是快速充电电流 (I_{CHG}) 的百分比。

当电池电压达到预充电至快速充电转换阈值 (V_{LOWV}) 时，器件以快速充电电流为电池充电。如果器件未在快速充电安全计时器的 25% 范围内退出预充电，则器件将停止充电。有关安全计时器的更多信息，请参阅第 8.3.7.7 节，安全计时器。

7.1.1.3 快速充电

充电器有两个主控制环路用于控制 $V_{BAT} > V_{LOWV}$ 时的充电：恒定电流 (CC) 和恒定电压 (CV) 环路。当 CC 环路是占主导地位的环路时（通常是当 $V_{BAT} < V_{BATREG} - V_{RCH}$ 时），电池会以最大充电电流水平 I_{CHG} 进行充电，除非存在 TS 故障条件（JEITA 运行）、VINDPM 激活、热调节或 DPPM 激活。（请参阅相应的章节以了解这些工作模式的详细信息）。一旦电池电压接近 V_{BATREG} 电平，CV 环路的主导地位就变得更高，充电电流开始逐渐降低，如电池的典型充电曲线 中所示。一旦充电电流达到终止电流 (I_{TERM})，充电完成，则会设置 Charge_done 状态 如果是 I^2C (VBATREG) 设置为高于 4.65V，电池调节电压仍保持在 4.65V。该器件将根据 VLOWV 设置切换到快速充电。

7.1.1.4 终端

当器件 CV 环路在快速充电运行中变得比 CC 环路更占主导地位时，充电电流将逐渐变小并接近 I_{TERM} 阈值。可以通过 I^2C 事务写入 ITERM_0 位来设置。

表 7-1. 基于 ITERM_0 位的终止

ITERM_0	终止阈值
0b00	禁用
0b01	I_{CHG} 的 5%
0b10	I_{CHG} 的 10%
0b11	I_{CHG} 的 20%

一旦在 CV 阶段达到 I_{TERM} 阈值，器件会通过禁用 BATFET（从 SYS 断开电池）来自动终止充电电流，从而进入高阻抗模式。如果 VINDPM、DPPM 或热调节环路（其会在 CV 环路逐渐降低充电电流时影响充电电流），则不会发生终止。由于有功电流会影响调节环路和 CV，充电电流将继续逐渐减小，但器件不会终止充电电流。

仅当 CV 环路在没有任何其他可能进一步降低充电电流的调节环路的情况下运行时，才会发生终止。终止后，将会禁用电池 FET，并且器件会监控 BAT 引脚电压。如果 BAT 引脚电压下降到低于电池调节电压 (V_{BATREG}) 的充电阈值 (V_{RCH})，则会启动新的充电周期并重置安全计时器。

在充电期间，甚至充电结束时，会通过补充操作来支持更高的 SYS 负载。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

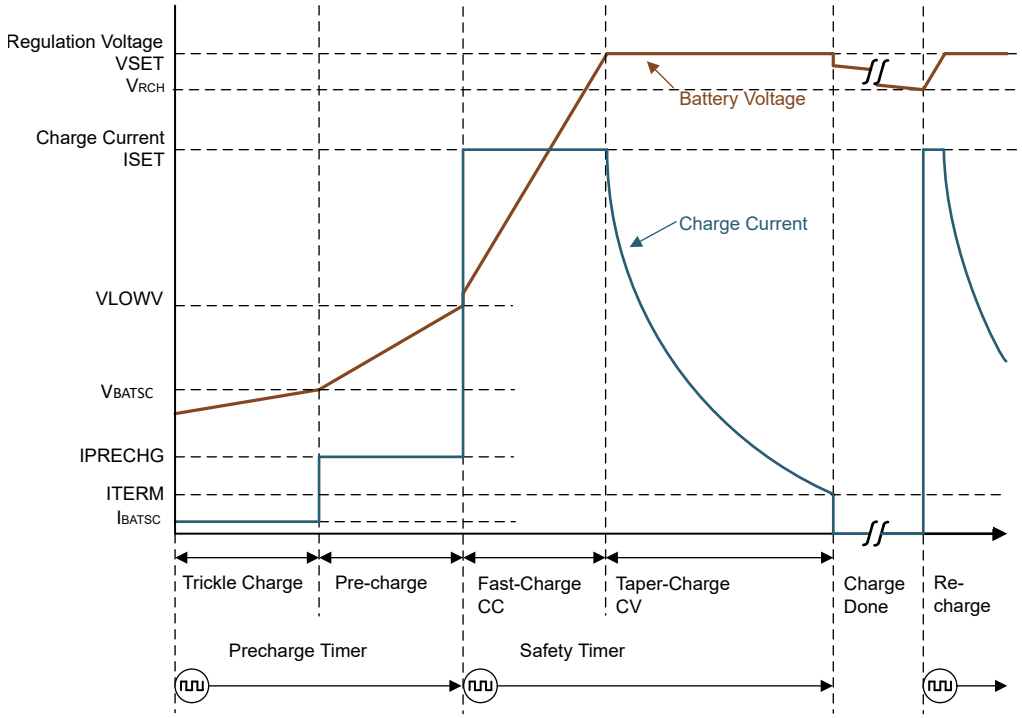


图 7-2. 电池的典型充电曲线

7.2 功能方框图

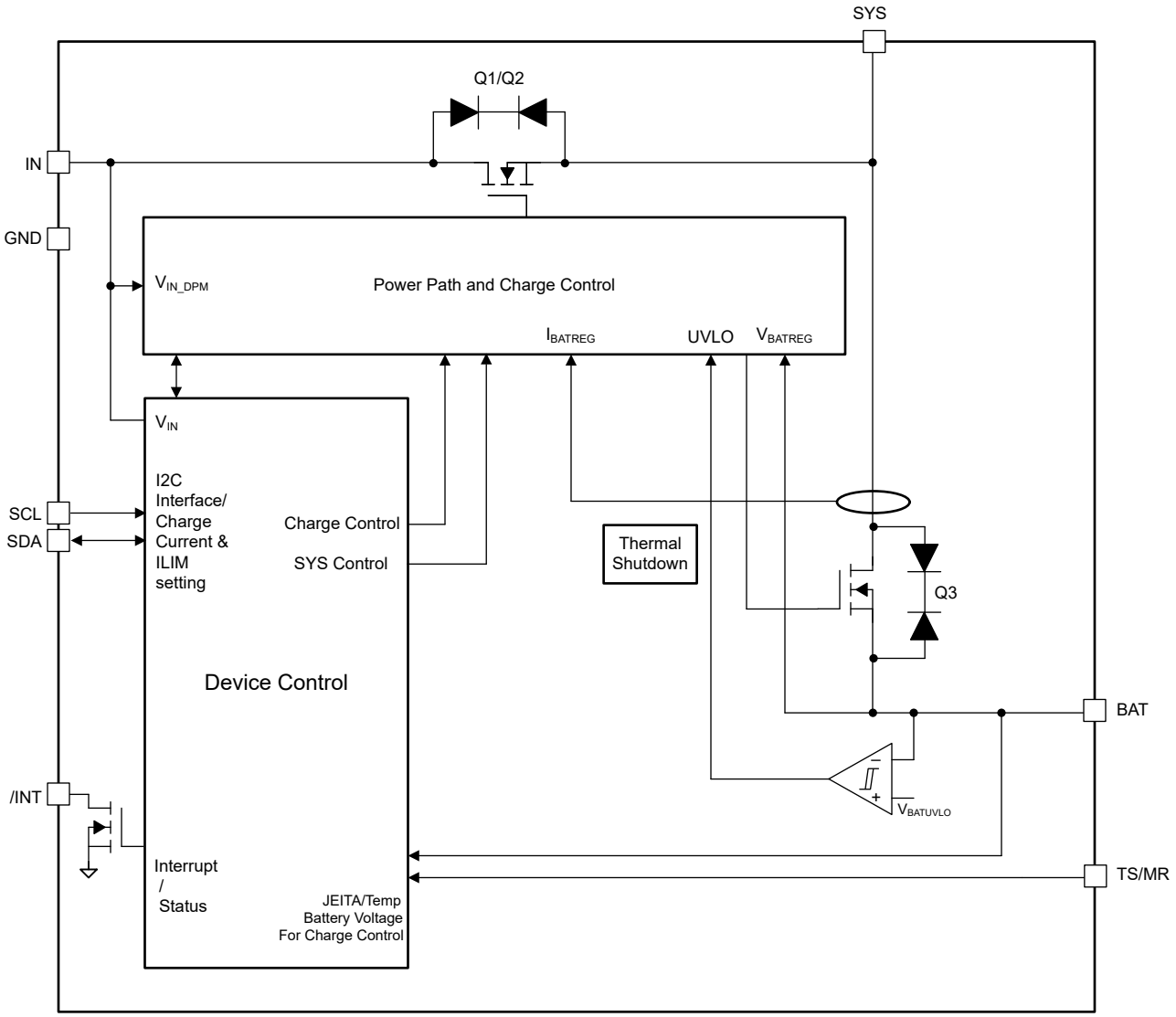


图 7-3. 功能方框图

7.3 特性说明

7.3.1 基于输入电压的动态电源管理 (VINDPM)

VINDPM 环路可防止输入电压骤降的情况，这种情况可能导致充电中断。这是通过将充电器消耗的电流减小到足以让输入电压保持高于 VINDPM 阈值 (V_{INDPM}) 来实现的。

在正常充电过程中，如果输入电源无法支持已编程或默认的充电电流和系统负载，则电源电压会降低。一旦电源电压降至 V_{INDPM} 阈值，输入 DPM 电流和电压环路将减小流经阻断 FET 的输入电流，以防止电源电压进一步下降。

VINDPM 阈值可通过 I^2C 寄存器进行编程，并可被完全禁用。这是通过 VINDPM_0 和 VINDPM_1 选择位进行设置的。当器件进入该模式时，充电电流可能低于设定值，并且会设置 VINDPM_ACTIVE_STAT 位。如果通过 2XTMR_EN 位设置了 2x 计时器，则会在 VINDPM 激活时延长安全计时器。可以配置 VINDPM 阈值以跟踪电池

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

电压。在 BATTRACK 模式下，VINDPM 阈值比 VBAT 或 3.6V（以较大者为准）高 330mV。 此外，当 VINDPM 激活时，会禁用终止。

7.3.2 动态电源路径管理模式 (DPPM)

连接有效输入源后，电源路径管理电路会持续监控输入电压和电流。流入 IN 的电流分成电池充电电流和 SYS 系统负载的供电电流。如果充电电流和负载电流之和超过预设的最大输入电流，则输入 DPM 环路会降低输入电流。如果 SYS 降至 DPPM 电压阈值以下，则充电电流将由 DPPM 环路通过 BATFET 降低。在 BATFET 充电电流降至零后，如果 SYS 降至低于补充模式阈值，则器件将进入补充模式。当 DPPM 环路受控时，SYS 电压保持在电池电压以上。当 DPPM 环路激活时会禁用电池终止。

VDPPM 阈值通常比 VBAT 高 100mV。VDPPM 禁用位 (VDPPM_DIS = b1) 将允许充电器在 VSYS 上以较低的余量运行。当 SYS 和 BAT 之间的电压低于 VDPPM 阈值时，不会发生电流降低的情况。在 VSYS 为 VBAT+225mV 的 VBAT 跟踪模式下，禁用该位将不起作用。

7.3.3 电池补充模式

在 DPPM 模式下，如果充电电流降至零并且系统负载电流增加到超过编程的输入电流限制，则 SYS 上的电压会进一步降低。当 SYS 电压降至低于电池电压至 V_{BSUP1} 时，电池会补充系统负载。当 SYS 引脚上的电压在电池电压范围内上升至 V_{BSUP2} 时，电池停止补充系统负载。在补充模式期间，电池补充电流不受调节，但是 BATOCP 保护电路会激活（如果已启用）。在补充模式下，电池终止被禁用。为了补充系统负载，电池电压必须高于电池欠压锁定阈值 (V_{BUVLO})。

7.3.4 睡眠模式

如果 V_{IN} 降至低于睡眠模式进入阈值且 V_{IN} 高于欠压锁定阈值，器件将进入低功耗睡眠模式。在睡眠模式下，输入与电池隔离。这个特性防止缺少 V_{IN} 期间的电池消耗。当 $V_{IN} < V_{BAT} + V_{SLEEP}$ 时，器件会导通电池放电 FET，在 INT 输出端发送脉冲，并通过 I^2C 更新寄存器的 VIN_PGOOD_STAT 位。一旦 $V_{IN} > V_{BAT} + V_{SLEEP}$ 且 V_{IN} 超过 VINDPM 阈值，器件会启动新的充电周期。

7.3.5 SYS 电源控制（SYS_MODE 位控制）

器件还提供通过 I^2C SYS_MODE 位控制 SYS 的选项。这些位可以强制 SYS 由 BAT 供电而不是由 IN 供电（即使 $V_{IN} > V_{BAT} + V_{SLEEP}$）、断开 SYS 与任一电源的连接、将 SYS 下拉或保持其悬空。下表显示了基于 SYS_MODE 设置的器件行为：

表 7-2. 设置

SYS_MODE	说明	SYS 电源	SYS 下拉
00	正常运行	IN 或 BAT	关闭，硬件复位期间除外
01	强制 BAT 电源（USB 挂起）	BAT	关闭，硬件复位期间除外
10	SYS 关闭 – 悬空	无	关闭
11	SYS 关闭 – 下拉	无	打开

SYS_MODE = 00

这是器件的默认状态/正常运行情况。如果 $V_{IN} > V_{UVLO}$、$V_{IN} > V_{BAT} + V_{SLEEP}$ 且 $V_{IN} <$ VIN_OVP，则 SYS 将由 IN 供电。如果不满足这些条件，SYS 将由 BAT 供电。仅当发生硬件复位或器件进入运输模式时，SYS 才会与 IN 或 BAT 断开并被下拉。

SYS_MODE = 01

设置此配置后，如果 $V_{BAT} > V_{BUVLO}$，无论 V_{IN} 状态如何，SYS 都将由 BAT 供电。因此，主机可以在仍根据系统需要连接适配器的情况下更大限度减少适配器的电流消耗。如果在 $V_{BAT} < V_{BUVLO}$ 时设置 SYS_MODE = 01，则会忽略 SYS_MODE = 01 设置并且器件将进入 SYS_MODE = 00。同样，如果先移除再连接适配器 (V_{IN})，器件也

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

将切换至 SYS_MODE = 00。这样可以防止器件需要 POR 才能恢复系统电源，从而支持电池充电并提供真正的 USB 挂起模式。如果在充电期间设置了 SYS_MODE = 01，则充电将停止，电池将根据需要开始为 SYS 供电。此行为与输入适配器断开连接时的行为类似。

SYS_MODE = 10

设置此配置后，SYS 将断开连接并保持悬空。数字元件保持开启和激活状态。悬空时，SYS 只能被强制为不超过 V_{BAT} 电平的电压。切换 V_{IN} (V_{IN} < V_{INUVLO}) 会将 SYS_MODE 复位为 00。

SYS_MODE = 11

设置此配置后，SYS 将断开连接并被下拉至接地。切换 V_{IN} 会将 SYS_MODE 复位为 00。

7.3.5.1 SYS 下拉控制

器件在 SYS 引脚上有一个内部下拉电阻，在以下情况下启用：

表 7-3. States

状态	注释
运输模式	一旦器件进入运输模式并且断开 BATFET，就会启用 SYS 上的下拉电阻
HW_RESET	在 BATFET 和 ILIM FET 断开连接后启用 SYS 上的下拉电阻，并保持到自动唤醒计时器到期
SYS_MODE = 11（SYS 下拉模式）	在 BATFET 和 ILIM FET 断开连接后启用 SYS 上的下拉电阻，并保持到发出 I2C 事务（更改 SYS_MODE 或硬件复位）或切换 VIN。

7.3.6 SYS 调节

BQ21088 包含一个 SYS 电压调节环路。通过调节 SYS 电压，器件可防止连接到 SYS 的下游器件承受高达 VIN_OVP 的电压。SYS 调节仅在 V_{IN} > V_{UVLO}、V_{IN} > V_{BAT} + V_{SLEEP} 且 V_{IN} < VIN_OVP 时激活，而不是在满足 VIN_Powergood 条件时激活。

为了跟踪电池、设置为固定电压或启用直通模式，可以通过 SYS_REG 寄存器中的 SYS_REG_CTRL_2:0 位控制 SYS 电压调节目标。

在电池跟踪模式下，对于小于 3.6V 的电池，最小电压为 V_{MINSYS} 值。随着电池电压的增加，VSYS 会调节为比电池高 225mV。如果 V_{IN} < V_{MINSYS} 且 VIN_Powergood 仍然激活，则 SYS 将处于压降状态。

在固定电压模式下，SYS 电压会调节为主机设定的目标，介于 4.4V 至 4.9V 范围内。如果 V_{IN} 电压低于 SYS 目标电压，则器件将处于压降模式。

表 7-4. 1%

SYS_REG_CTRL	VSYS 目标
000	VBAT + 225mV（最小值 3.8V）
001	4.4
010（默认值）	4.5
011	4.6
100	4.7
101	4.8
110	4.9
111	直通

7.3.7 ILIM 控制

可以通过 I^2C（为此选择 ILIM 位）来控制输入电流限制。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

如果 ILIM 钳位激活，则会设置 ILIM_ACTIVE_STAT 位。

MASK_ILIM 将阻止发出中断，但不会覆盖 ILIM 行为本身。ILIM 值可由主机通过 I²C 进行动态编程。

7.3.8 保护机制

7.3.8.1 输入过压保护

输入过压保护功能可保护器件以及连接到 SYS 和 BAT 的下游元件免受输入电源过压损坏。当 VIN > V_{IN_OVP} 时，确定存在 VIN 过压条件。在 VIN 过压条件期间，器件会导通电池放电 FET、在 INT 上发送一个 128 µs 脉冲并通过 I²C 更新故障位 (VIN_OVP_FAULT_FLAG)。VIN_PGOOD_STAT 位也会受到 VIN 过压条件的影响，因为 VIN 电源正常条件将失败。对于即使在读取时清除后仍然持续存在的 OVP 故障，也会立即设置 OVP 位。一旦 VIN 过压条件被移除，就会清除 VIN_OVP_FAULT_FLAG 故障位，并且器件返回到正常运行。此后，如果 VIN > VBAT + VSLEEP，则确定处于 VIN 电源正常条件。

7.3.8.2 电池欠压锁定

为了防止电池深度放电，器件集成了电池欠压锁定功能，当电池电压降至低于已编程的 BUVLO 电压设置（存在于 CHARGERCTRL1 寄存器中）时，该功能将断开 BAT 至 SYS 路径。当 VIN 上存在有效电压时，也可以读取 BUVLO 状态。

7.3.8.3 电池过流保护

为了保护器件免受过流影响并防止电池放电电流过大，器件会检测电池 FET 上的电流是否超过 IBAT_OCP。如果达到持续抗尖峰脉冲时间 (tDGL_SC) 的 BATOCP 限制，则电池放电 FET 将关断并且器件开始以断续模式运行，在过流条件关断后重新启用 BATFET t_{REC_SC} (250ms)。如果在 2s 窗口内连续重试 4 到 7 次后触发过流条件，则 BATFET 应保持关断状态，直到连接有效的 VIN (VIN = VIN_POWERGOOD)。如果在已存在 VIN 的补充模式下出现过流条件和断续运行情况，则必须切换 VIN 才能启用 BATFET 并开始另一个检测周期。

7.3.8.4 系统过压保护

系统过压保护旨在防止 SYS 由于输入电源而过冲至高电压。当阈值降至低于 SYS_OVP_FALLING 阈值时，SYS_OVP 将短暂断开阻断 FET 并重新连接。

SYS_OVP_RISING 阈值通常为目标 SYS 电压的 120%，SYS_OVP_FALLING 阈值通常为目标 SYS 电压的 117%。

7.3.8.5 系统短路保护

当满足以下条件时，系统短路保护就会生效：连接的适配器使器件输入 FET 导通 5ms 并且它检测到 SYS 引脚短路（SYS 上的电压 < V_{SYS_SHORT}）。在这种情况下，器件将使输入 FET 关断约 200 µs，再使其重新导通 5ms，以便 SYS 上升到 $V_{SYSSHORT}$ 阈值以上。如果 10 次尝试后，SYS 上的电压不能上升到 $V_{SYSSHORT}$ 阈值以上，器件将禁用输入和 BATFET 路径并等待适配器插入，然后再次打开路径。实施 2s 计时器来刷新重试计数器。2s 后，如果出现系统短路，器件将再次检查是否存在系统短路，重复 10 次尝试。在 10 次尝试识别短路期间，器件应允许 BATFET 补充 SYS。

7.3.8.6 过热保护和热调节

在运行过程中，为了防止器件因过热而损坏，会监控裸片的结温 T_J。当 T_J 达到 T_{SHUT_RISING} 时，器件停止充电操作，并且 VSYS 关闭。如果在向器件（电池或适配器）供电之前 T_J > T_{SHUT_RISING}，无论 TSMR 引脚如何，输入 FET 和 BATFET 都不会导通。此后，当温度降至低于 $T_{SHUT_FALLING}$ 时，如果存在 VIN 或处于仅电池模式，器件将自动上电。

设计充电系统时，应考虑输入电压、充电电流和系统负载等热效应注意事项。它的设计应使器件能够定期达到 T_{SHUT}。相反，器件结温应限制在建议运行温度条件下。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

在充电过程中，为了防止器件过热，器件会监控裸片的结温，并在 T_J 达到热调节阈值 (T_{REG}) 时根据 THERM_REG 设置所设置的位减小充电电流。如果充电电流降至 0，则电池会提供为 SYS 输出供电所需的电流。

确保系统功率损耗在器件的限制范围内。可以使用以下公式计算器件的功率损耗：

$P_{DISS} = P_{SYS} + P_{BAT}$，其中：

$P_{SYS} = (V_{IN} – V_{SYS}) * I_{IN}$

$P_{BAT} = (V_{SYS} – V_{BAT}) * I_{BAT}$

可使用以下公式，根据预期的电路板性能估算裸片结温 T_J：

$T_J = T_A + \theta_{JA} * P_{DISS}$

θ_{JA} 在很大程度上由电路板布局布线、电路板层、覆铜厚度和布局决定。.更多有关新旧热指标的信息，请参阅 *IC 封装热指标应用报告*。在典型条件下，处于这种状态的时间非常短。

7.3.8.7 安全计时器和看门狗计时器

在每个充电周期模式（预充电或快速充电）开始时，器件启动相应的模式安全计时器。如果在编程的安全时间之前没有终止充电，t_{MAXCHG} 到期，或器件在 t_{PRECHG} 到期前未退出预充电模式，则会禁用充电。预充电安全计时器 t_{PRECHG} 为 t_{MAXCHG} 的 25%。当发生安全计时器故障时，会向 /INT 引脚发送单个 128 μs 脉冲，并更新状态寄存器的 STAT 和 FAULT 位。 为了清除安全计时器，必须切换充电使能位或输入电源。

如果安全计时器已到期，器件将产生中断并更新寄存器映射中的 SAFETY_TMR_FAULT_FLAG 位。安全计时器持续时间可通过 SAFETY_TIMER_1:0 位进行编程。当安全计时器激活时，更改安全计时器持续时间会复位安全计时器。器件还包含一个 2XTMR_EN 位，该位可使安全计时器持续时间加倍，以防当 SYS 上的高负载（DPM 工作模式，因此启用 VDPPM）、VINDPM、热调节或 NTC (JEITA) 条件导致充电电流降低时安全计时器过早到期。如果设置了 2XTMR_EN 位，当 CC 或 CV 之外的任何环路激活时，允许计时器以半速运行。如果预充电或 TS_COOL 降低了充电电流，则 2XTMR_EN 不起作用，安全计时器以正常速度运行。如果输入源即使在充电电流显著降低的情况下也无法提供足够的电流，则它可能无法正常工作，因此最安全的做法是不要将安全计时器持续时间加倍。在 CC 模式期间，如果电池电压下降而将充电器推入预充电模式，（由于电池负载过大、发生过热事件等原因）安全计时器将通过预充电使计数复位，然后使快速充电安全计时器复位。如果器件在预充电、CC 或 CV 模式下进入了电池补充模式，而充电器未被禁用，则器件将暂停安全计时器，直到充电可以再次恢复。这会阻止在引起补充条件时将安全计时器复位。

除了安全计时器之外，器件还有一个看门狗计时器可通过 I^2C 接口监控主机。默认情况下会启用看门狗计时器，主机可通过 I^2C 事务禁用看门狗计时器。一旦接收到初始事务，看门狗计时器就会启动。主机使用 I^2C 接口通过任何事务使看门狗计时器复位。如果看门狗计时器到期而没有从 I^2C 接口复位，则所有 R/W 寄存器都会复位为默认值。在仅电池模式下或存在适配器时，可以通过 WATCHDOG_SEL_1:0 位设置看门狗计时器。

7.3.9 按钮唤醒和复位输入

通过 TS/MR 引脚实现的按钮功能有三个主要功能。首先，可将其用于使器件从出厂模式等超低功耗模式唤醒。其次，可将其用作按钮短按检测器，在按住驱动 TSMR 引脚的按钮达到 Wake1、Wake2 或长按持续时间时向主机发送中断。这样可以在终端应用中实现不同的功能，例如菜单选择和控制。最后，可将其用于在检测到按钮长按操作后使器件进入、关断模式 或通过执行下电上电（关闭 SYS 并自动重新上电）来复位系统。可通过 I^2C 对按钮短按和长按持续时间的时序进行编程来提高灵活性，并可让系统设计人员自定义特定应用的终端用户体验。请注意，如果在特定计时器激活且尚未过期时通过 I^2C 更改了该计时器的持续时间，则新的编程值将被忽略，直到计时器到期和/或通过 /MR 复位。

7.3.9.1 按钮唤醒或按钮短按功能

有两个可编程的唤醒或按钮短按计时器：Wake1 和 Wake2。除了发出中断和更新 MR_WAKE 寄存器之外，在 t_{wake1} 或 t_{wake2} 持续时间内不会执行任何特定的操作。对于从运输模式唤醒事件，按钮处于低电平的时长必须达到

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

$t_{shipwake}$ 之后才能启用 SYS 轨。这仅适用于运输模式；当器件处于关断模式时，将 TS/MR 引脚拉低并保持 $t_{shipwake}$ 不会开启 SYS 轨。

如果在 $t_{shipwake}$ 计时器到期之前连接了有效的 V_{IN} (V_{IN} > V_{UVLO})，则无论 TS/MR 或唤醒计时器状态如何，器件都将立即退出运输模式。V_{IN} 保持有效的时长应达到 t_{VIN_WAKE}，才能够正确退出运输模式。更多详细信息，请参阅节 7.5。

EN_PUSH 位将通过定期唤醒 TSMR 引脚上电流源来启用按钮检查事件。时序与处于运输模式时的时序类似。启用此位后，所有按钮事件（例如 Wake1、Wake2 和 MR_LPRESS 事件）均有效。当禁用此功能时，按钮事件将被忽略。如果存在适配器并且正在进行充电，该位的状态将被忽略，因为在检查 NTC 时电流源处于打开/关闭状态。

7.3.9.2 按钮复位或按钮长按功能

根据按钮长按操作寄存器位上的配置设置，器件将执行运输模式进入、关断模式进入或硬件复位，或完全忽略按钮长按操作。 当存在 VIN 时，切换 /CE 引脚将使长按按钮计时器重新开始计时。

要将器件从运输模式唤醒，请有两种方法：有效的 VIN 加电或按住 TS/MR 按钮并保持 $t_{SHIPWAKE}$。

7.3.10 面向硬件复位的 15 秒超时

根据 I^2C 寄存器位 WATCHDOG_15S_ENABLE，器件可以按照按钮长按或 HW_RESET 的方式执行硬件复位/下电上电。这个 15 秒的看门狗或超时在 V_{IN} > V_{VBAT} + V_{SLEEP} 时开启，因此仅在以下情况才会发生硬件复位：已连接充电器且

如果已连接充电器且主机在 15 秒看门狗到期前做出响应，器件将继续正常运行，并启动正常的 50 秒看门狗计时器（如果已启用）。可通过 I^2C 使用 WATCHDOG_15S_ENABLE 位启用/禁用 15 秒看门狗。

7.3.11 硬件复位

器件能够进行硬件复位以对系统执行完整的下电上电。当 MCU 或主机上的软复位无效时，此功能特别有用。需要在所有 SYS 模式下实现硬件复位。

硬件复位有几种方法。在以下情况下，将会发生硬件复位：

1. 当 WATCHDOG_SEL 设置为 0b01 或 0b10 时，HW_RESET 时钟到期
2. 在插入 VIN 时，如果在 15s 内将 WATCHDOG_15_SENABLE 设置为 0b1，则不会发生 I2C 事务
3. EN_RST_SHIP 设置为 2b11
4. PB_LPRESS_ACTION 设置为 2b11，该按钮的按下持续时间通过 MR_LP_LPRESS 设置

以下是硬件复位期间的事件序列：

1. 关断（如果存在适配器）输入 FET
2. 关断电池 FET
3. 启用 SYS 上的下拉电阻
4. 启动自动唤醒计时器
5. 一旦自动唤醒计时器到期，断开 SYS 上的下拉电阻
6. 将所有寄存器复位为默认值（与新上电时一样）
7. 导通电池 FET 和输入 FET（如果适用）

在 SYS 上的复位下拉发生之前的时间 t_{RESET_WARN}，会发生一个中断，以表示即将发生硬件复位。

7.3.12 软件复位

当通过看门狗操作（可通过 WATCHDOG_SEL 位配置）或寄存器复位（可通过 REG_RST 位配置）发出软件复位时，器件会将所有寄存器复位为默认值。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3.13 中断指示器 (/INT) 引脚

器件有一个开漏输出可指示其状态并且仅在器件完全启动至有效状态后才有效。如果器件开始出现故障，则不会发送中断。

/INT 引脚通常处于高阻抗状态，并在出现中断条件时被拉至低电平 128 μs。当发生故障或状态变化或任何产生中断的其他条件时，会在 /INT 上发送 128 μs 脉冲（/INT 引脚下拉）来通知主机。

可通过 I²C 屏蔽中断。如果在中断被屏蔽时发生中断条件，则不会发送中断脉冲。如果在故障条件仍然存在的情况下取消屏蔽中断，则在取消屏蔽后且发生 /INT 触发条件之前不会发送中断脉冲。下表列出了可通过 I²C 屏蔽的中断。

表 7-5. 屏蔽位

屏蔽位	操作
ILIM_INT_MASK	当发生 ILIM 限制时不发出 /INT 脉冲
DPM_INT_MASK	当 VINDPM 激活或 VDPPM 时不发出 /INT 脉冲
TS_INT_MASK	当发生任何 TS 事件时不发出 /INT 脉冲。
TREG_INT_MASK	当 TREG 正在主动降低电流时不发出 /INT 脉冲
BAT_INT_MASK	触发 BATOCP 或 BUVLO 事件时不发出 /INT 脉冲
CHG_STATUS_INT_MASK	当充电状态在任何时候发生变化时不发送中断。

7.3.14 外部 NTC 监控 (TS)

7.3.14.1 TS 偏置和功能

此器件配置为满足 JEITA 要求或仅仅是更简单的高温/低温功能。 此外，可通过 TS_EN 位禁用 TS 充电器控制功能。这只会禁用 TS 充电操作，但仍会根据 TS 电压报告故障。为了满足 JEITA 要求，需监控四个 温度阈值：低温电池阈值、凉温电池阈值、暖温电池阈值和高温电池阈值。这些温度对应于“电气特性”表中的 V_{COLD} 、V_{COOL}、V_{WARM} 和 V_{HOT} 阈值。当 $V_{TS} < V_{HOT}$ 或 $V_{TS} > V_{COLD}$ 时，充电和安全计时器会暂停。当 $V_{COOL} < V_{TS} < V_{COLD}$ 时，充电电流会降至 TS_Setting 寄存器/位 TS_ICHG_0 中编程的值。当 $V_{HOT} < V_{TS} < V_{WARM}$ 时，根据 TS_Setting 寄存器中 TS_VRCG_0 位编程的值，电池调节电压将降低 100mV 或 200mV。

对于不需要 TS 功能的器件，将一个 10kΩ 电阻连接到 TS/MR 引脚。

此器件上存在一个有源电压钳位，可防止 TS/MR 引脚上的电压上升到 VTS_CLAMP 阈值以上。当 TS/MR 引脚悬空时，这将会特别开启。当该钳位激活时，会设置 TS_OPEN_STAT 位。无论 TS_EN 位如何，这也将开启。只要不写入 TS_INT 屏蔽，中断就会生效。

TS_HOT、TS_COLD、TS_WARM 和 TS_COOL 位将允许略微调整这些阈值。迟滞也会随这些阈值一起变化。当 TS_WARM 条件出现时，器件会将电池目标调节电压降低 TS_VRCG，但不会修改 VBAT_CTRL 寄存器。

当 TSMR 引脚达到 TS_COOL 条件时，TS_ICHG 位将根据寄存器映射中描述的系数降低充电电流。TREG 功能仍将基于这个降低的阈值。

当 TS/MR 引脚达到 TS_WARM 阈值时，TS_VRCG_0 位将降低充电电压。该系数将基于寄存器映射。

在充电过程中检测到按钮被按下时，充电将暂停，直到按钮再次变为高电平。在任何 TS 故障中禁用充电时，也会禁用涓流充电。在电流减小（凉温）的 TS 故障中，不会改变涓流充电电流。

7.3.15 I²C 接口

该器件使用 I ² C 兼容接口来编程和读取控制参数、状态位等。I²C™ 是由 Philips Semiconductor 开发的 2 线制串行接口（请参阅 I²C 总线规范，版本 2.1，2000 年 1 月）。总线由数据线 (SDA) 和时钟线 (SCL) 以及上拉结构组成。当总线空闲时，SDA 和 SCL 线都被拉高。所有与 I²C 兼容的器件通过开漏 I/O 引脚、SDA 和 SCL 连接到

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

I²C 总线。主器件（通常是微控制器或数字信号处理器）可控制总线，负责产生 SCL 信号和器件地址。主器件还会产生指示数据传输开始和停止的特定条件。从器件在主器件的控制下通过总线接收和/或发送数据。

该器件作为外围器件工作，根据 I²C™ 规范中的定义，支持以下数据传输模式：标准模式 (100kbps) 和快速模式 (400kbps)。该接口增加了电池充电解决方案的灵活性，使大多数功能都能够根据瞬时应用要求编程为新值。

只要 V_{BAT} 或 V_{IN} 电压保持在各自的欠压锁定阈值以上并且器件未处于关断模式，寄存器内容就会保持不变。

标准模式和快速模式的数据传输协议完全相同，因此在本文档中将它们称为 F/S 模式。该器件仅支持 7 位寻址。该器件的 7 位地址为 0x6A（移位后的 8 位地址为 0xD4）。

7.3.15.1 F/S 模式协议

主器件通过产生启动条件来启动数据传输。启动条件是当 SCL 为高电平时在 SDA 线上发生从高电平到低电平的转换，如图 7-4 所示。所有与 I²C 兼容的器件都应识别启动条件。

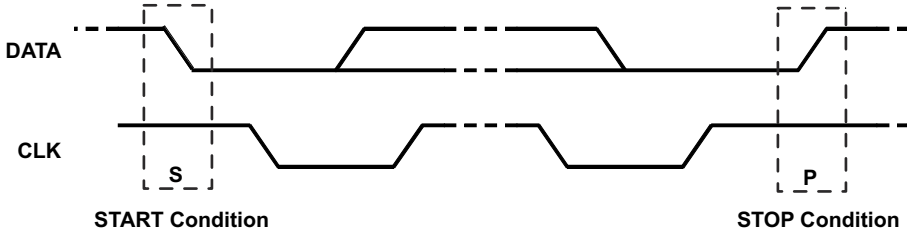


图 7-4. START 和 STOP 条件

主器件随后产生 SCL 脉冲，并在 SDA 线上发送 8 位地址和读取/写入方向位 R/W。在所有传输期间，主器件确保数据有效。有效数据条件要求 SDA 线在时钟脉冲的整个高电平期间保持稳定（请参阅图 7-5）。所有器件都识别主器件发送的地址，并将其与内部固定地址进行比较。只有具有匹配地址的从器件才会通过在第九个 SCL 周期的整个高电平期间拉低 SDA 线来生成确认（请参阅图 7-6）。在检测到该确认时，主器件便知道已建立与从器件的通信链路。

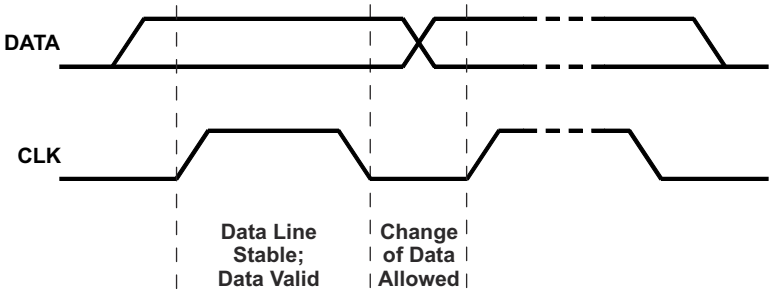


图 7-5. 串行接口上的位传输

主器件产生更多的 SCL 周期，以便向从器件发送数据（R/W 位为 1）或接收来自从器件的数据（R/W 位为 0）。在任一种情况下，接收器都需要确认发送器发送的数据。因此确认信号可由主器件或从器件产生，具体取决于哪一方是接收器。9 位有效数据序列包含 8 个数据位和 1 个确认位，可根据需要继续。为了用信号指示数据传输结束，主器件通过在 SCL 线处于高电平期间将 SDA 线从高电平拉低来产生停止条件（请参阅图 7-4）。此操作将释放总线并停止与寻址的从器件之间的通信链路。所有与 I²C 兼容的器件都必须识别停止条件。在收到停止条件后，所有器件都知道总线已释放，并等待启动条件，接着是匹配的地址。如果事务提前终止，主器件需要发送一个停止条件来防止从器件 I²C 逻辑保持在不正确的状态。尝试从本节中未列出的寄存器地址读取数据会导致读出 FFh。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

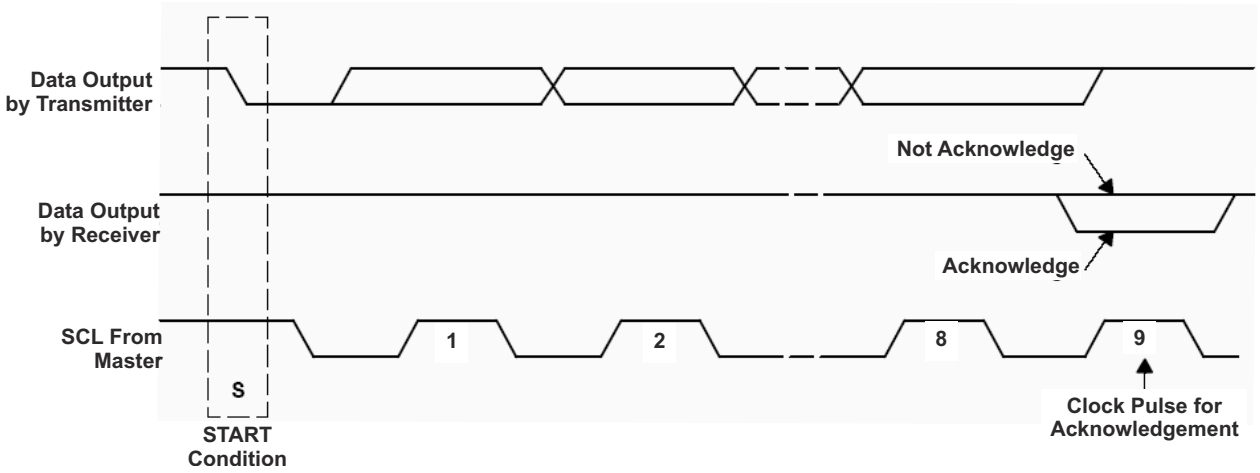


图 7-6. I²C 总线上的确认

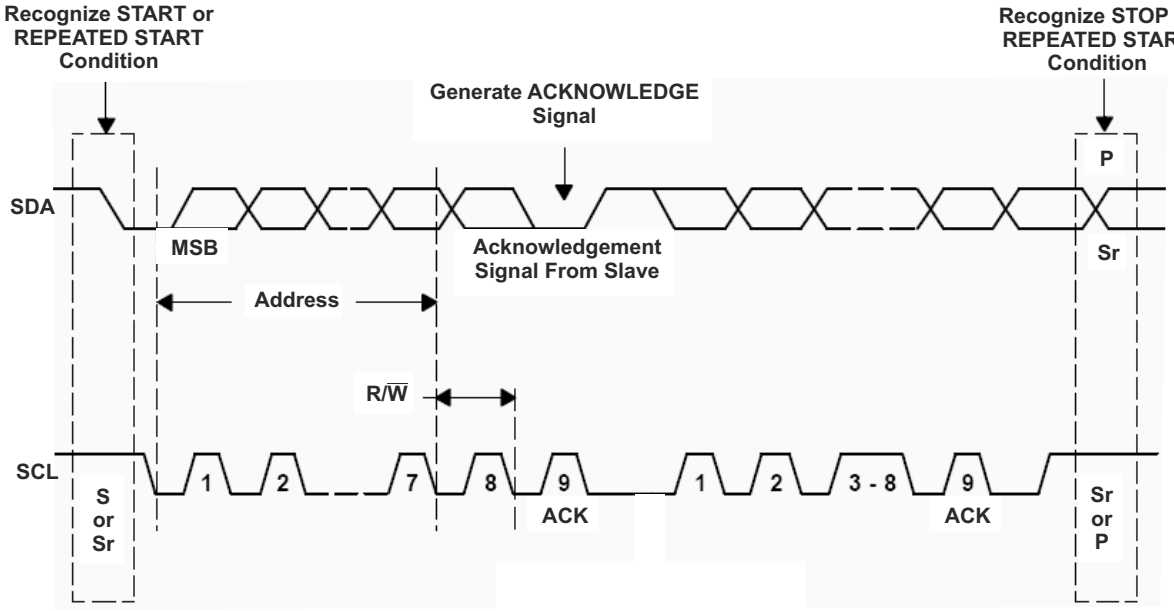


图 7-7. 总线协议

7.4 器件功能模式

BQ21088 具有四种主要的运行模式：充电器/适配器模式（当电源连接到 IN 时）、电池模式（当仅连接电池时）运输模式和关断模式。下表总结了在每种工作模式下激活的功能。

表 7-6. 器件功能模式

功能	充电器/适配器模式	电池模式	运输模式	关断模式
输入过压	是	是	否	否
输入欠压	是	是	是	是
电池过流	是	是	是	否
输入 DPM	是	否	是	否
动态电源路径管理	是	否	否	否
BATFET	是	是	否	否

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-6. 器件功能模式（续）

功能	充电器/适配器模式	电池模式	运输模式	关断模式
TS 测量	是	否	否	否
电池充电	是	否	否	否
输入电流限制	是	否	否	否
按钮输入	是	否	否	否

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5 寄存器映射

7.5.1 I²C 寄存器

表 7-7 列出了 I²C 寄存器。表 7-7 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的存储单元，并且不应修改寄存器内容。

表 7-7. I²C 寄存器

偏移	首字母缩写词	寄存器名称	部分
0x0	STAT0	充电器状态	转到
0x1	STAT1	充电器状态和故障	转到
0x2	FLAG0	充电器标志寄存器	转到
0x3	VBAT_CTRL	电池电压控制	转到
0x4	ICHG_CTRL	快速充电电流控制	转到
0x5	CHARGECTRL0	充电器控制 0	转到
0x6	CHARGECTRL1	充电器控制 1	转到
0x7	IC_CTRL	IC 控制寄存器	转到
0x8	TMR_ILIM	计时器和输入电流限制控制	转到
0x9	SHIP_RST	运输模式、复位和按钮控制	转到
0xA	SYS_REG	SYS 调节电压控制	转到
0xB	TS_CONTROL	TS 控制寄存器	转到
0xC	MASK_ID	掩码和器件 ID	转到

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

表 7-8. I²C 访问类型代码

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

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.1 STAT0 寄存器（偏移 = 0x0）[复位 = X]

图 7-8 展示了 STAT0，表 7-9 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

图 7-8. STAT0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
TS_OPEN_STAT	CHG_STAT_1:0		ILIM_ACTIVE_STAT	VDPPM_ACTIVE_STAT	VINDPM_ACTIVE_STAT	THERMREG_ACTIVE_STAT	VIN_PGOOD_STAT
R-X	R-X		R-X	R-X	R-X	R-X	R-X

表 7-9. STAT0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	TS_OPEN_STAT	R	X	TS 开路状态（钳位激活） 1b0 = TSMR 引脚未开路 1b1 = TSMR 引脚开路或者 $V_{BAT} < V_{BAT_HALT}$。
6-5	CHG_STAT_1:0	R	X	充电状态指示灯 2b00 = 启用充电时未充电。 2b01 = 恒定电流充电（涓流充电/预充电或处于快速充电模式） 2b10 = 恒定电压充电 2b11 = 充电完成或由主机禁用充电。
4	ILIM_ACTIVE_STAT	R	X	输入电流限制激活 1b0 = 未激活 1b1 = 激活
3	VDPPM_ACTIVE_STAT	R	X	VDPPM 模式激活 1b0 = 未激活 1b1 = 激活
2	VINDPM_ACTIVE_STAT	R	X	VINDPM 模式激活 1b0 = 未激活 1b1 = 激活
1	THERMREG_ACTIVE_STAT	R	X	热调节激活 1b0 = 未激活 1b1 = 激活
0	VIN_PGOOD_STAT	R	X	VIN 电源正常 1b0 = VIN 电源不正常 1b1 = VIN 电源正常

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.2 STAT1 寄存器（偏移 = 0x1）[复位 = X]

图 7-9 展示了 STAT1，表 7-10 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

图 7-9. STAT1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
VIN_OVP_STAT	BUVLO_STAT	RESERVED	TS_STAT_1:0		SAFETY_TMR_FAULT_FLAG	WAKE1_FLAG	WAKE2_FLAG
R-1b0	R-X	R-X	R-2b00		RC-1b0	RC-1b0	RC-1b0

表 7-10. STAT1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	VIN_OVP_STAT	R	1b0	VIN_OVP 状态 1b0 = 未激活 1b1 = 激活
6	BUVLO_STAT	R	X	电池 UVLO 状态 1b0 = 未激活 1b1 = 激活
4-3	TS_STAT_1:0	R	2b00	TS 状态 2b00 = 正常 2b01 = VTS < VHOT 或 VTS > VCOLD（充电已暂停） 2b10 = VCOOL < VTS < VCOLD（充电电流减小由 TS_Registers 设置的值） 2b11 = VWARM > VTS > VHOT（充电电压降低由 TS_Registers 设置的值）
2	SAFETY_TMR_FAULT_FLAG	RC	1b0	仅在切换 CE 后清除安全计时器超时故障。 1b0 = 未激活 1b1 = 激活
1	WAKE1_FLAG	RC	1b0	Wake 1 计时器标志 1b0 = 不符合 Wake 1 条件 1b1 = 符合 Wake 1 条件
0	WAKE2_FLAG	RC	1b0	Wake 2 计时器标志 1b0 = 不符合 Wake 2 条件 1b1 = 符合 Wake2 条件

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.3 FLAG0 寄存器（偏移 = 0x2）[复位 = X]

图 7-10 展示了 FLAG0，表 7-11 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

图 7-10. FLAG0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
TS_FAULT	ILIM_ACTIVE_FLAG	VDPPM_ACTIVE_FLAG	VINDPM_ACTIVE_FLAG	THERMREG_ACTIVE_FLAG	VIN_OVP_FAULT_FLAG	BUVLO_FAULT_FLAG	BAT_OCP_FAULT
RC-X	RC-X	RC-X	RC-X	RC-X	RC-X	RC-X	RC-X

表 7-11. FLAG0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	TS_FAULT	RC	X	TS_Fault 1b0 = 未检测到 TS 故障 1b1 = 检测到 TS 故障
6	ILIM_ACTIVE_FLAG	RC	X	ILIM 激活 1b0 = 未检测到 ILIM 故障 1b1 = 检测到 ILIM 故障
5	VDPPM_ACTIVE_FLAG	RC	X	VDPPM 标志 1b0 = 未检测到 VDPPM 故障 1b1 = 检测到 VDPPM 故障
4	VINDPM_ACTIVE_FLAG	RC	X	VINDPM 标志 1b0 = 未检测到 VINDPM 故障 1b1 = 检测到 VINDPM 故障
3	THERMREG_ACTIVE_FLAG	RC	X	热调节标志 1b0 = 未检测到热调节 1b1 = 发生了热调节
2	VIN_OVP_FAULT_FLAG	RC	X	VIN_OVP 标志 1b0 = 未检测到 VIN_OVP 故障 1b1 = 检测到 VIN_OVP 故障
1	BUVLO_FAULT_FLAG	RC	X	电池欠压标志 1b0 = 未检测到电池欠压故障 1b1 = 检测到电池欠压故障
0	BAT_OCP_FAULT	RC	X	电池过流保护 1b0 = 未检测到电池过流情况 1b1 = 检测到电池过流情况

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.4 VBAT_CTRL 寄存器（偏移 = 0x3）[复位 = 0x46]

VBAT_CTRL 如图 7-11 所示，并在表 7-12 中进行了说明。

返回到汇总表。

图 7-11. VBAT_CTRL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
RESERVED	VBATREG_6:0						
R/W-1b0	R/W-7b1000110						

表 7-12. VBAT_CTRL 寄存器字段描述

位	字段	类型	复位	说明
7	PG_MODE	R/W	1b0	PG_GPO 引脚作为 GPO 1b0 = PG_GPO 作为 VIN 的状态（电源正常） 1b1 = PG_GPO 作为通用输出引脚 (GPO)
6-0	VBATREG_6:0	R/W	7b1000110	电池稳压电压 VBATREG= 3.5V + VBATREG_CODE * 10mV。 最大可编程电压 = 4.65V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.5 ICHG_CTRL 寄存器（偏移 = 0x4）[复位 = 0x5]

ICHG_CTRL 如图 7-12 所示，并在表 7-13 中进行了说明。

返回到汇总表。

图 7-12. ICHG_CTRL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
CHG_DIS	ICHG_6:0						
R/W-1b0	R/W-7b0000101						

表 7-13. ICHG_CTRL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	CHG_DIS	R/W	1b0	充电禁用 1b0 = 电池充电启用 1b1 = 电池充电禁用
6-0	ICHG_6:0	R/W	7b0000101	对于 ICHG <= 35mA = ICHGCODE +5mA 对于 ICHG > 35mA = 40+((ICHGCODE-31)*10)mA。 最大可编程电流 = 1000mA

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.6 CHARGECTRL0 寄存器（偏移 = 0x5）[复位 = 0x24]

图 7-13 展示了 CHARGECTRL0，表 7-14 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

图 7-13. CHARGECTRL0 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
RESERVED	IPRECHG	ITERM_1:0		VINDPM_1:0		THERM_REG_1:0	
R/W-1b0	R/W-1b0	R/W-2b10		R/W-2b01		R/W-2b00	

表 7-14. CHARGECTRL0 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	EN_FC_MODE	R/W	1b0	启用或禁用闪充模式 1b0 = 禁用 1b1 = 启用
6	IPRECHG	R/W	1b0	预充电电流 = 终止电流的 x 倍 1b0 = 预充电电流为终止电流的 2 倍 1b1 = 预充电等于终止电流
5-4	ITERM_1:0	R/W	2b10	终止电流 = Icharge 的百分比 2b00 = 禁用 2b01 = ICHG 的 5% 2b10 = ICHG 的 10% 2b11 = ICHG 的 20%
3-2	VINDPM_1:0	R/W	2b11	VINDPM 电平选择 2b00 = VBAT + 300mV。 2b01 = 4.5V 2b10 = 4.7V 2b11 = 禁用
1-0	THERM_REG_1:0	R/W	2b00	热调节阈值 2b00 = 100°C 2b01 = 80°C 2b10 = 60°C 2b11 = 禁用

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.7 CHARGECTRL1 寄存器（偏移 = 0x6）[复位 = 0x56]

图 7-14 展示了 CHARGECTRL1，表 7-15 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

图 7-14. CHARGECTRL1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
IBAT_OCP_1:0		BUVLO_2:0			CHG_STATUS_INT_MASK	ILIM_INT_MASK	VINDPM_INT_MASK
R/W-2b01		R/W-3b010			R/W-1b1	R/W-1b1	R/W-1b0

表 7-15. CHARGECTRL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	IBAT_OCP_1:0	R/W	2b01	电池放电电流限制 2b00 = 500mA 2b01 = 1000mA 2b10 = 1500mA 2b11 = 3000mA
5-3	BUVLO_2:0	R/W	3b010	电池欠压锁定阈值下降 (150mV Hist)。 3b000 = 3.0V 3b001 = 3.0V 3b010 = 3.0V 3b011 = 2.8V 3b100 = 2.6V 3b101 = 2.4V 3b110 = 2.2V 3b111 = 2.0V
2	CHG_STATUS_INT_MASK	R/W	1b1	屏蔽充电状态中断 1b0 = 只要充电状态发生变化，就启用充电状态中断。 1b1 = 屏蔽充电状态中断
1	ILIM_INT_MASK	R/W	1b1	屏蔽 ILIM 故障中断 1b0 = 启用 ILIM 中断 1b1 = 屏蔽 ILIM 中断
0	VINDPM_INT_MASK	R/W	1b0	屏蔽 VINDPM 中断 1b0 = 启用 VINDPM 和 DPPM 中断 1b1 = 屏蔽 VINDPM 和 DPPM 中断

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.8 IC_CTRL 寄存器（偏移 = 0x7）[复位 = 0x84]

IC_CTRL 如图 7-15 所示，并在表 7-16 中进行了说明。

返回到汇总表。

图 7-15. IC_CTRL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
TS_EN	VLOWV_SEL	VRCH_0	2XTMR_EN	SAFETY_TIMER_1:0		WATCHDOG_SEL_1:0	
R/W-1b1	R/W-1b0	R/W-1b0	R/W-1b0	R/W-2b01		R/W-2b00	

表 7-16. IC_CTRL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	TS_EN	R/W	1b1	TS 自动功能 1b0 = TS 自动功能被禁用（只有充电控制被禁用。TS 监控已启用） 1b1 = TS 自动功能已启用
6	VLOWV_SEL	R/W	1b0	预充电电压阈值 (VLOWV) 1b0 = 3V 1b1 = 2.8V
5	VRCH_0	R/W	1b0	充电电压阈值 1b0 = 100mV 1b1 = 200mV
4	2XTMR_EN	R/W	1b0	计时器慢速 1b0 = 计时器在任何时间都不会减慢 1b1 = 计时器在 CC 或 CV 之外的任何控制下减慢 2 倍
3-2	SAFETY_TIMER_1:0	R/W	2b01	快速充电计时器 2b00 = 3 小时快速充电 2b01 = 6 小时快速充电 2b10 = 12 小时快速充电 2b11 = 禁用安全计时器
1-0	WATCHDOG_SEL_1:0	R/W	2b00	看门狗选择 2b00 = 160s 默认寄存器值 2b01 = 160s HW_RESET 2b10 = 40s HW_RESET 2b11 = 禁用看门狗功能

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.9 TMR_ILIM 寄存器（偏移 = 0x8）[复位 = 0x4D]

TMR_ILIM 如图 7-16 所示，并在表 7-17 中进行了说明。

返回到汇总表。

图 7-16. TMR_ILIM 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
MR_LPRESS_1:0		MR_RESET_VIN	AUTOWAKE_1:0		ILIM_2:0		
R/W-2b01		R/W-1b0	R/W-2b01		R/W-3b101		

表 7-17. TMR_ILIM 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	MR_LPRESS_1:0	R/W	2b01	按钮长按时长计时器 2b00 = 5s 2b01 = 10s 2b10 = 15s 2b11 = 20s
5	MR_RESET_VIN	R/W	1b0	硬件复位条件 1b0 = 硬件复位不由 VIN_PowerGood 选通 1b1 = 硬件 复位需要 VIN_PowerGood
4-3	AUTOWAKE_1:0	R/W	2b01	自动唤醒计时器重启 2b00 = 0.5s 2b01 = 1s 2b10 = 2s 2b11 = 4s
2-0	ILIM_2:0	R/W	3b101	输入电流限制（最大值） 3b000 = 50mA 3b001 = 100mA 3b010 = 200mA 3b011 = 300mA 3b100 = 400mA 3b101 = 500mA 3b110 = 665mA 3b111 = 1050mA

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.10 SHIP_RST 寄存器（偏移 = 0x9）[复位 = 0x11]

SHIP_RST 如图 7-17 所示，并在表 7-18 中进行了说明。

返回到汇总表。

图 7-17. SHIP_RST 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
REG_RST	EN_RST_SHIP_1:0		PB_LPRESS_ACTION_1:0		WAKE1_TMR	WAKE2_TMR	EN_PUSH
R/W-1b0	R/W-2b00		R/W-2b10		R/W-1b0	R/W-1b0	R/W-1b1

表 7-18. SHIP_RST 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	REG_RST	R/W	1b0	软件复位 1b0 = 不执行任何操作 1b1 = 软件复位
6-5	EN_RST_SHIP_1:0	R/W	2b00	运输模式启用和硬件复位 2b00 = 不执行任何操作 2b01 = 启用关断模式 2b10 = 启用运输模式 2b11 = 硬件复位
4-3	PB_LPRESS_ACTION_1:0	R/W	2b10	按钮长按操作 2b00 = 不执行任何操作 2b01 = 硬件复位 2b10 = 启用运输模式可以通过按下 TSMR 按钮或插入适配器唤醒器件来退出运输模式 2b11 = 启用关断模式。可以通过插入适配器来退出关断模式。
2	WAKE1_TMR	R/W	1b0	Wake 1 计时器设置 1b0 = 300ms 1b1 = 1s
1	WAKE2_TMR	R/W	1b0	Wake 2 计时器设置 1b0 = 2s 1b1 = 3s
0	EN_PUSH	R/W	1b1	仅在活动电池中启用按钮和复位功能 1b0 = 禁用 1b1 = 启用

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.11 SYS_REG 寄存器（偏移 = 0xA）[复位 = 0x42]

SYS_REG 如图 7-18 所示，并在表 7-19 中进行了说明。

返回到汇总表。

图 7-18. SYS_REG 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
SYS_REG_CTRL_2:0			RESERVED	SYS_MODE_1:0		WATCHDOG_15S_ENABLE	VDPPM_DIS
R/W-3b010			R/W-1b0	R/W-2b00		R/W-1b0	R/W-1b0

表 7-19. SYS_REG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-5	SYS_REG_CTRL_2:0	R/W	3b010	SYS 调节电压 3b000 = 电池跟踪模式 3b001 = 4.4V 3b010 = 4.5V 3b011 = 4.6V 3b100 = 4.7V 3b101 = 4.8V 3b110 = 4.9V 3b111 = 直通（如果 OVP 为 5.7V）或 5.5V（如果 OVP 为 18.5V）
4	PG_GPO	R/W	1b0	电源正常逻辑电平 1b0 = PG_GPO 为高阻抗 1b1 = PG_GPO 为低电平
3-2	SYS_MODE_1:0	R/W	2b00	设置 SYS 在任何状态（SHIPMODE 除外）下的供电方式 2b00 = SYS 由 VIN（如果存在）或 VBAT 供电（电流 def） 2b01 = SYS 仅由 VBAT 供电，即使 VIN 存在也是如此 2b10 = SYS 断开连接且保持悬空（VDD 和数字元件仍在运行。TSMR/VIN 必须唤醒 SYS） 2b11 = SYS 与下拉电阻断开连接（VDD 和数字元件仍在运行。TSMR/VIN 必须唤醒 SYS）
1	WATCHDOG_15S_ENABLE	R/W	1b0	I2C 看门狗 1b0 = 禁用模式 1b1 = 如果在 VIN 插入后没有 I2C 事务，则在 15 秒后执行硬件复位
0	VDPPM_DIS	R/W	1b0	禁用 DPPM 1b0 = 启用 DPPM 1b1 = 禁用 DPPM

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.12 TS_CONTROL 寄存器（偏移 = 0xB）[复位 = 0x0]

TS_CONTROL 如图 7-19 所示，并在表 7-20 中进行了说明。

返回到汇总表。

图 7-19. TS_CONTROL 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
TS_HOT		TS_COLD		TS_WARM	TS_COOL	TS_ICHG	TS_VRCG
R/W-2b00		R/W-2b00		R/W-1b0	R/W-1b0	R/W-1b0	R/W-1b0

表 7-20. TS_CONTROL 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	TS_HOT	R/W	2b00	TS 热阈值寄存器 2b00 = 默认值 60°C 2b01 = 65°C 2b10 = 50°C 2b11 = 45°C
5-4	TS_COLD	R/W	2b00	TS 冷阈值寄存器 2b00 = 默认值 0°C 2b01 = 3°C 2b10 = 5°C 2b11 = -3°C
3	TS_WARM	R/W	1b0	TS 热阈值寄存器（使用 Rs 轻松推送，倾向于低电平） 1b0 = 默认值 45°C 1b1 = 禁用
2	TS_COOL	R/W	1b0	TS 冷阈值寄存器（使用 Rp 轻松推送，倾向于高电平） 1b0 = 默认 10°C 1b1 = 禁用
1	TS_ICHG	R/W	1b0	按 TS 函数降低时的快速充电电流 1b0 = 0.5*ICHG 1b1 = 0.2*ICHG
0	TS_VRCG	R/W	1b0	热启动期间减少的目标电池电压 1b0 = VBATREG - 100mV 1b1 = VBATREG - 200mV

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5.1.13 MASK_ID 寄存器（偏移 = 0xC）[复位 = 0x40]

MASK_ID 如图 7-20 所示，并在表 7-21 中进行了说明。

返回到汇总表。

图 7-20. MASK_ID 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
TS_INT_MASK	TREG_INT_MASK	BAT_INT_MASK	PG_INT_MASK	Device_ID			
R/W-1b0	R/W-1b1	R/W-1b0	R/W-1b0	R-4b0000			

表 7-21. MASK_ID 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	TS_INT_MASK	R/W	1b0	MASK_TS 1b0 = 启用 TS 中断 1b1 = 屏蔽 TS 中断
6	TREG_INT_MASK	R/W	1b1	MASK_TREG 1b0 = 启用 TREG 中断 1b1 = 屏蔽 TREG 中断
5	BAT_INT_MASK	R/W	1b0	MASK_BATOCP_BUVLO 1b0 = 启用 BOCP 或 BUVLO 中断 1b1 = 屏蔽 BOCP 或 BUVLO 中断
4	PG_INT_MASK	R/W	1b0	MASK_PG 1b0 = 启用 PG 和 VINOVP 中断 1b1 = 屏蔽 PG 和 VINOVP 中断
3-0	Device_ID	R	4b0100	器件 ID

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8 应用和实施

备注

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

8.1 应用信息

BQ21088 的典型应用包括配置为 I²C 控制型单节锂离子电池充电器的器件以及电源路径管理器或智能手表和无线耳机等电池应用。可将电池热敏电阻连接到 TS 引脚，允许器件监控电池温度并根据需要控制充电。

系统设计人员可将 TS/MR 引脚输入连接到按钮，以便在按下按钮时向主机发送中断，或允许应用终端用户重置系统。

8.2 典型应用

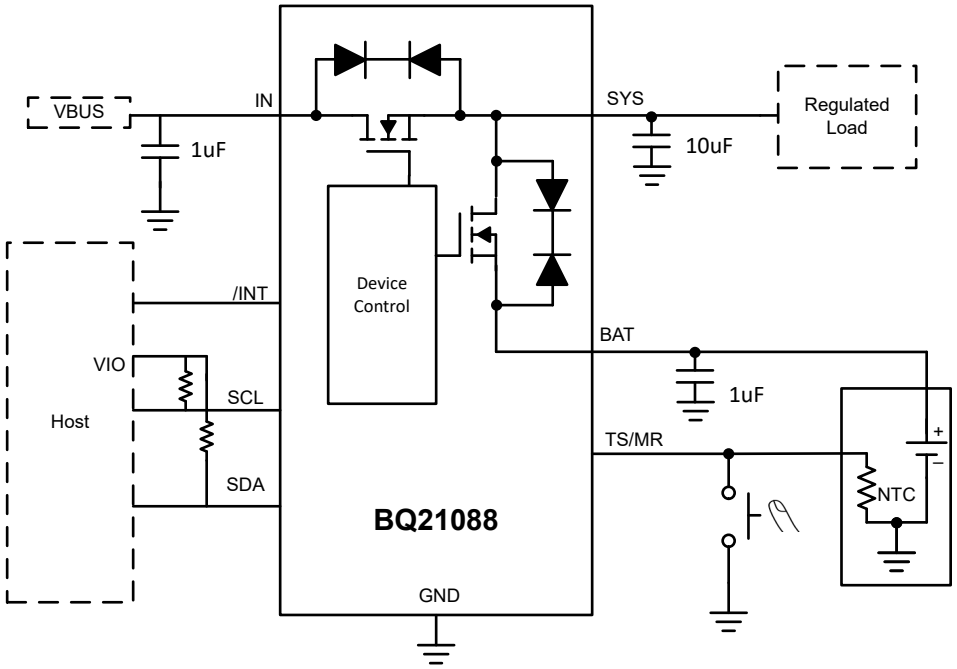


图 8-1. 典型应用

8.2.1 应用

8.2.2 设计要求

表 8-1 展示了以下设计示例的设计要求。

表 8-1. 设计参数

参数	值
IN 电源电压	5V
电池稳压电压	4.2V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.2.3 详细设计过程

输入 (IN/SYS) 电容器

X7R 或 X5R 等低 ESR 陶瓷电容器是输入去耦电容器的理想选择，应尽可能靠近 IC 的电源引脚和接地引脚放置。由于电容器的电压降额，建议在 IN 引脚使用额定电压为 35V 的电容器。由于直流偏置降额，较高的 IN 电压可能会导致有效电容显著降低。为了确保输出稳定性，降额后的最小电容必须高于 1 µ F，以使输入电压正常工作。

TS

为了尽可能降低由于接地板线路上的 IR 压降而导致的 TS 测量误差，NTC 的接地连接必须尽可能靠近器件的 GND 引脚或与其连接的开尔文检测点。

如果系统设计人员不希望使用 TS 功能进行充电控制，则必须在 TS 与地之间连接一个 10k Ω 电阻。

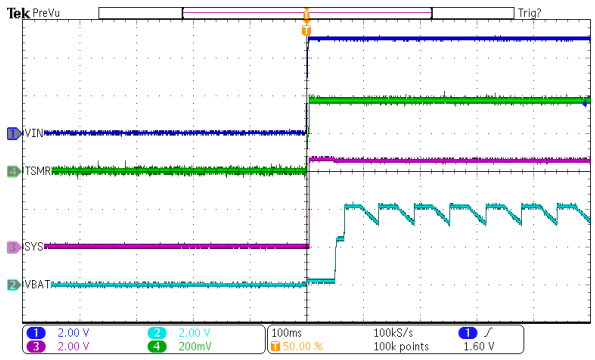
推荐的无源器件

参数		最小值	标称值	最大值	单位
C_{SYS}	SYS 引脚上的电容	1	10	100	µ F
C_{BAT}	BAT 引脚上的电容	1	1	-	µ F
C_{IN}	IN 输入旁路电容（直流偏置降额后）	1	1	10	µ F

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

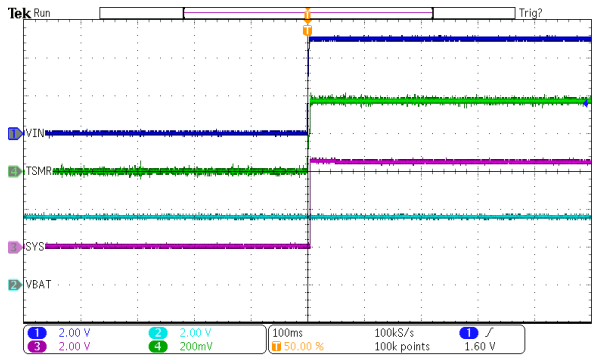
8.2.4 应用曲线

C_{IN} = 1μF，C_{OUT} = 10μF，V_{IN} = 5V，V_{OUT} = 3.8V，I_{CHG} = 10mA（除非另有说明）



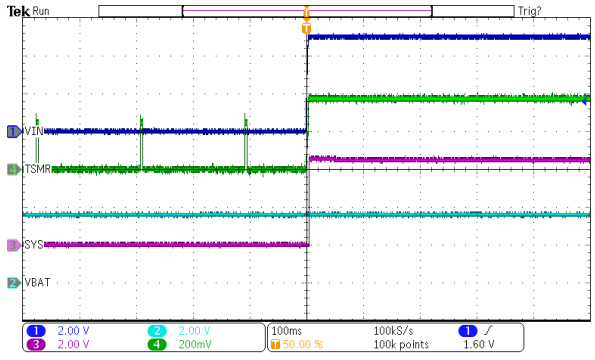
VIN = 5V　　VBAT = 悬空

图 8-2. 在没有电池的情况下通过插入 IN 电源进行上电



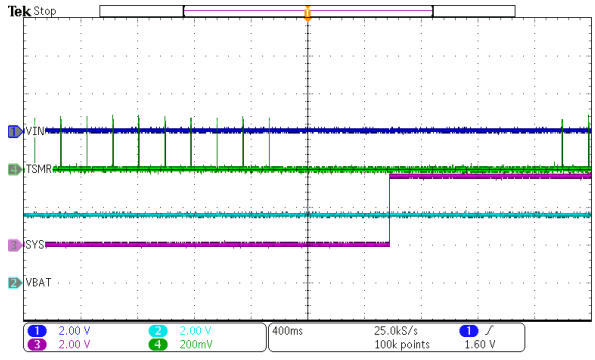
VIN = 5V　　VBAT = 3.6V

图 8-3. 通过插入 VIN 电源从关断模式上电



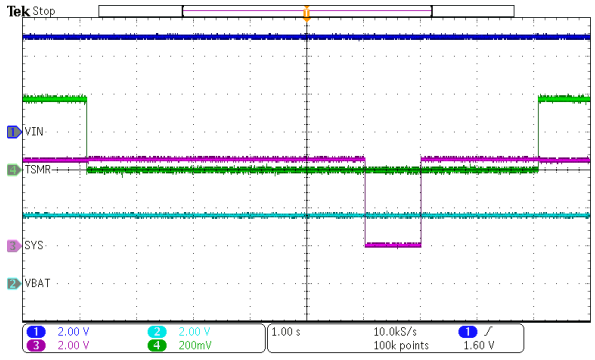
VIN = 0V → 5V　　VBAT = 3.8V

图 8-4. 通过插入 VIN 从运输模式上电



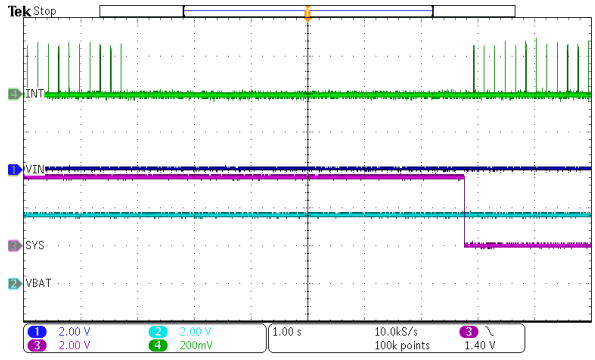
MR_LPRESS = 00（5s 长按计时器）

图 8-5. 通过按下 /TSMR 按钮从运输模式上电



MR_LPRESS = 00（5s 长按计时器）
PB_LPRESS_ACTION = 01（硬件复位）

图 8-6. 通过按下 /TSMR 进行硬件复位



MR_LPRESS = 00（5s 长按计时器），
PB_LPRESS_ACTION = 10

图 8-7. 通过长按按钮进入运输模式

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

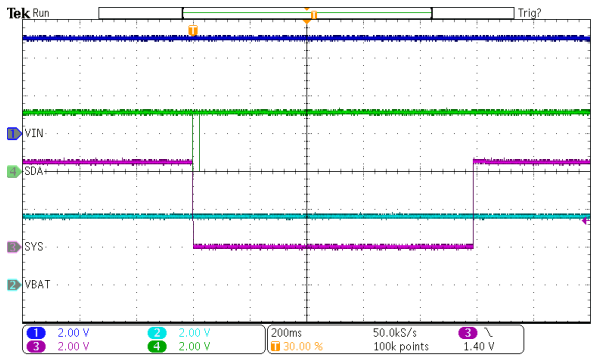
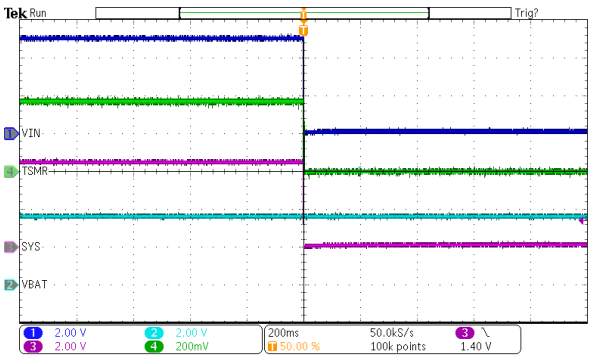
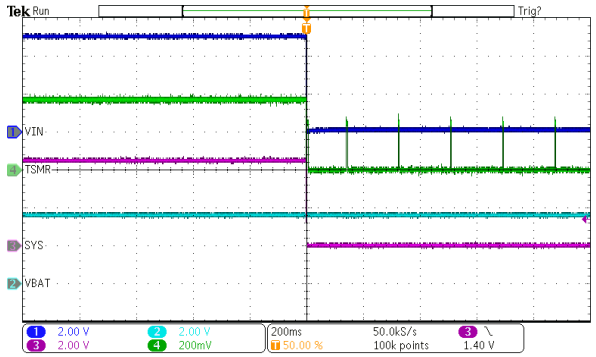


图 8-8. 通过 I²C 进行硬件复位



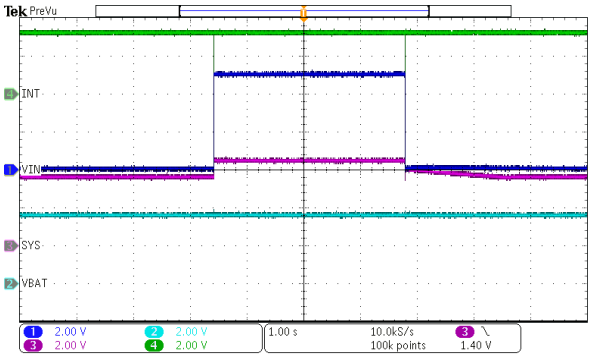
EN_RST_SHIP = 01（启用关断模式，仅在插入适配器时唤醒）

图 8-9. 移除 VIN 时进入关断模式



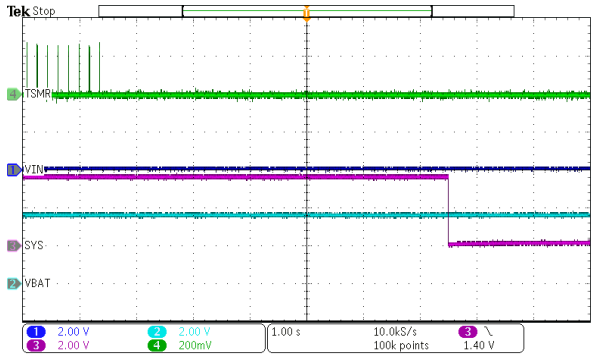
EN_RST_SHIP = 10（启用关断模式，仅在插入适配器时唤醒）

图 8-10. 移除 VIN 时进入运输模式



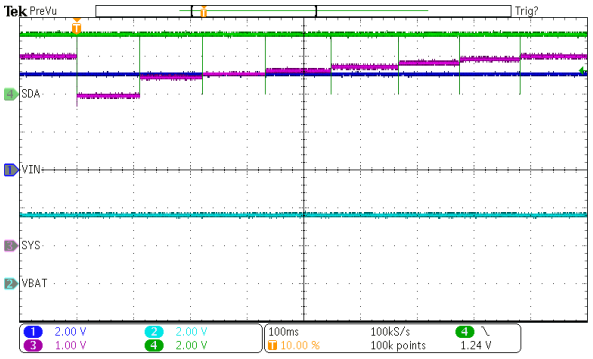
V_{IN} = 0V → 5V → 0V

图 8-11. /INT 上的电源正常中断



VIN = 0V
PB_LPRESS_ACTION = 11（启用关断模式）
MR_LPRESS = 00（5 秒）

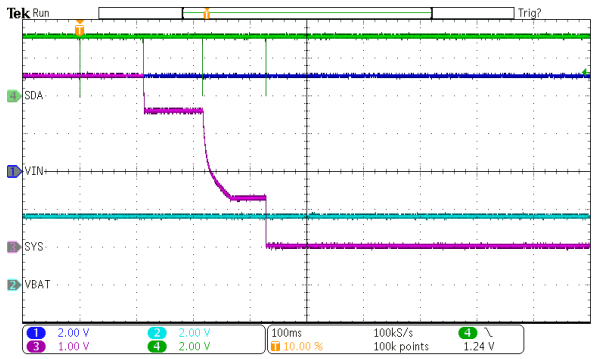
图 8-12. 通过长按按钮进入关断模式



SYS_REG_CTRL = 000 → 111（步进）

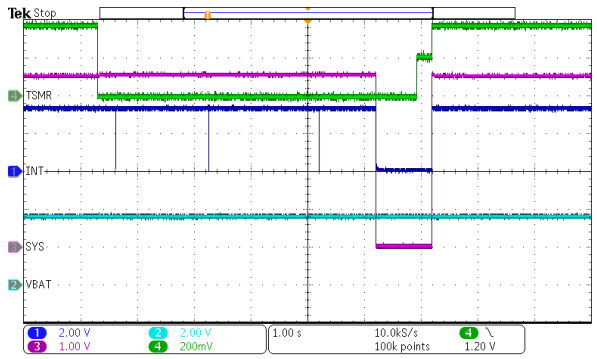
图 8-13. SYS 调节扫描

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated



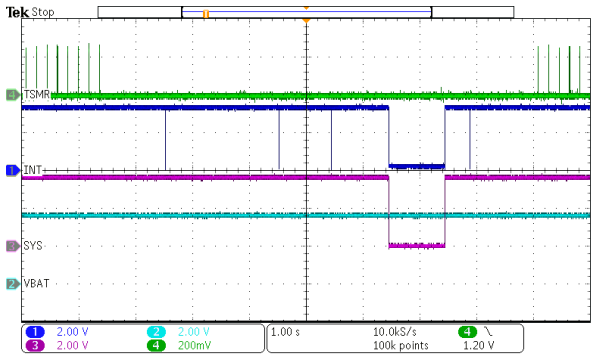
SYS_MODE = 00 → 01 → 10 → 11

图 8-14. SYS 模式扫描



WAKE1 = 300ms
WAKE2 = 2s
PB_LPRESS_ACTION = 硬件复位
MR_LPRESS = 5s

图 8-15. Wake1、Wake2、LP_Warn 和硬件复位



WAKE1 = 1s
WAKE2 = 3s
PB_LPRESS_ACTION = 硬件复位
MR_LPRESS = 5s

图 8-16. 存在 VIN 时的 Wake2 中断

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9 电源相关建议

BQ21088 要求适配器或 IN 电源电压介于 3.3V 和 5.5V 之间。为了确保正常运行，电池电压必须高于 3.15V 或 $V_{BATUVLO}$。输入电压越高，输入耗散越高。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

10 布局

10.1 布局指南

- 为了获得出色的性能，IN 和 GND 之间的去耦电容器、SYS 和 GND 之间的电容器以及 BAT 与 GND 之间的电容器应尽可能靠近器件放置。
- 应使用连接到 GND 引脚和散热焊盘的实心接地平面
- 按钮 GND 应尽可能靠近器件进行连接。
- 为避免在这些布线中产生压降，必须根据最大充电电流对进入 IN、SYS 和 BAT 的大电流充电路径的尺寸进行适当设定。

10.2 布局示例

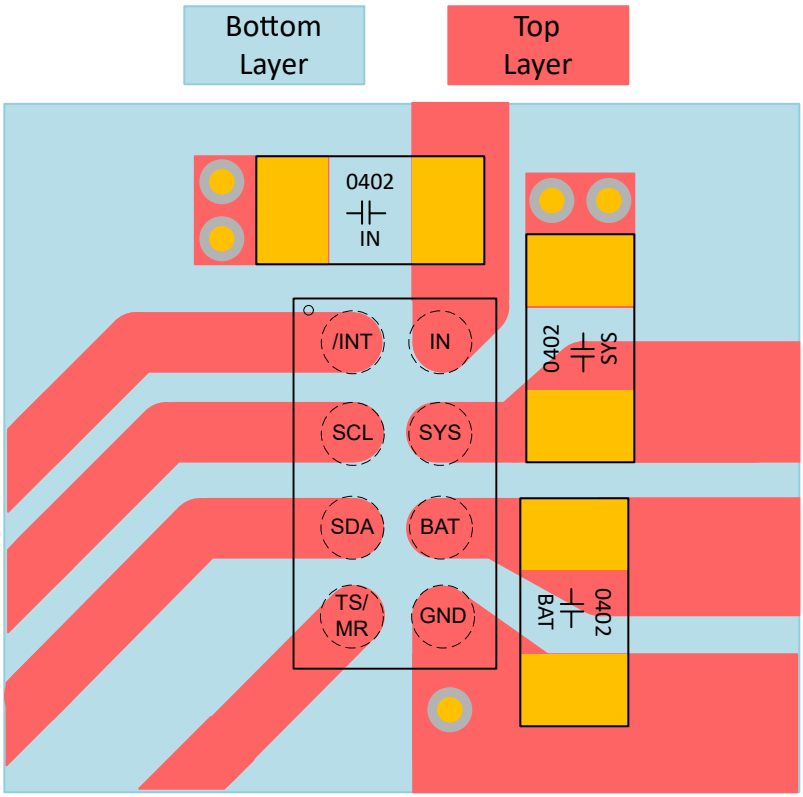


图 10-1. 电路板布局示例

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

11 器件和文档支持

11.1 器件支持

11.1.1 第三方产品免责声明

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

11.2 文档支持

11.2.1 相关文档

11.3 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。

11.4 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。

11.5 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。

11.6 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。

11.7 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。

12 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

日期	修订版本	注释
November 2024	*	初始发行版

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

13 机械、封装和可订购信息

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

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package | Pins	Package qty | Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
BQ21088YBGR	Active	Production	DSBGA (YBG) | 8	3000 | LARGE T&R	Yes	SNAGCU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	B088
BQ21088YBGR.A	Active	Production	DSBGA (YBG) | 8	3000 | LARGE T&R	Yes	SNAGCU	Level-1-260C-UNLIM	See BQ21088YBGR	B088

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

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

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

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

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

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

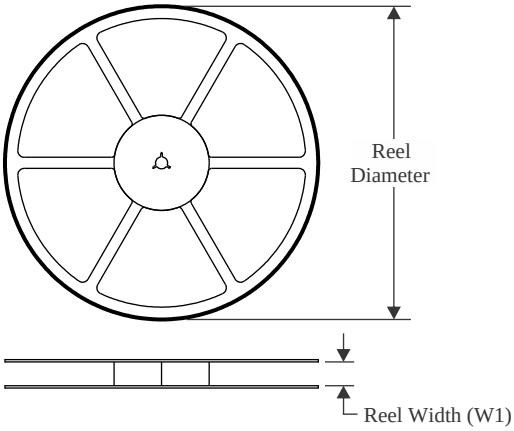
Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

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

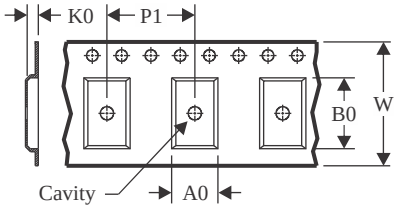
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

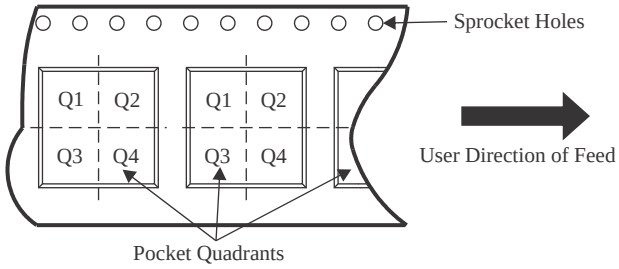


TAPE DIMENSIONS



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

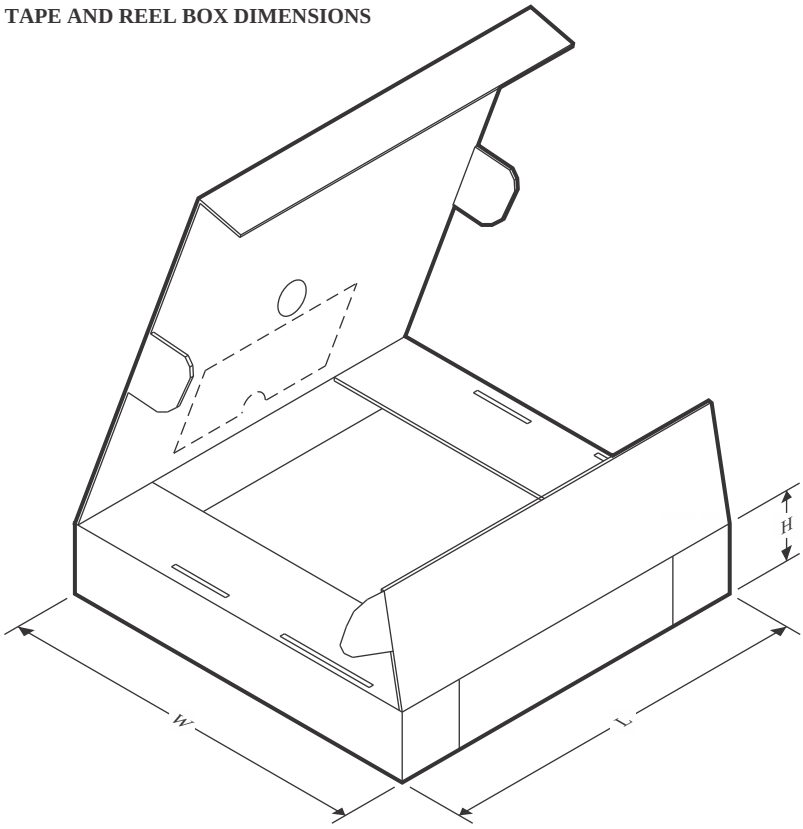
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

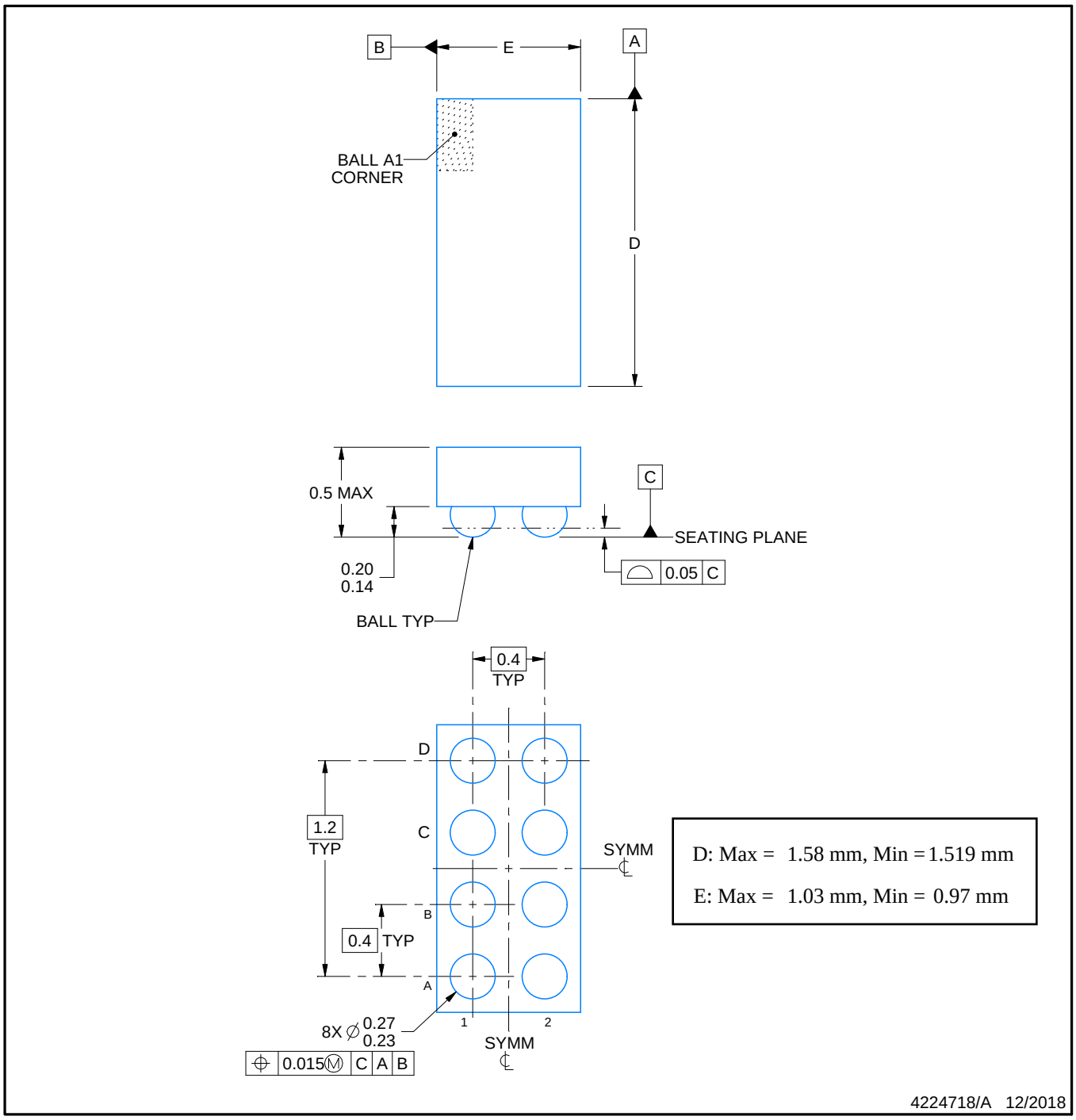
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
BQ21088YBGR	DSBGA	YBG	8	3000	180.0	8.4	1.15	1.75	0.65	4.0	8.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
BQ21088YBGR	DSBGA	YBG	8	3000	182.0	182.0	20.0



NOTES:

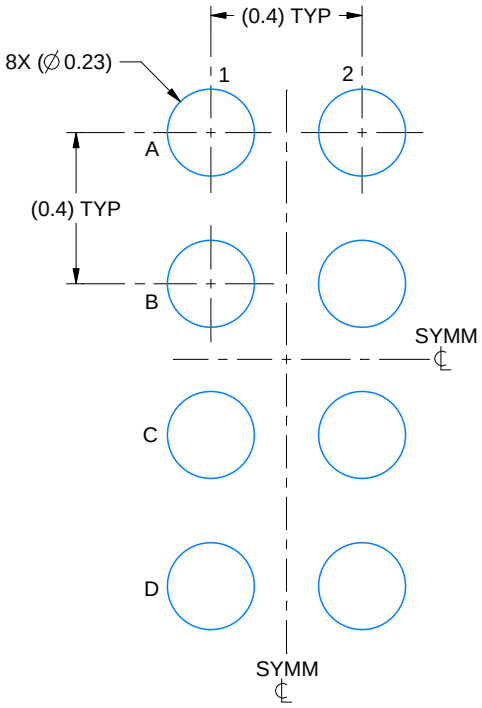
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

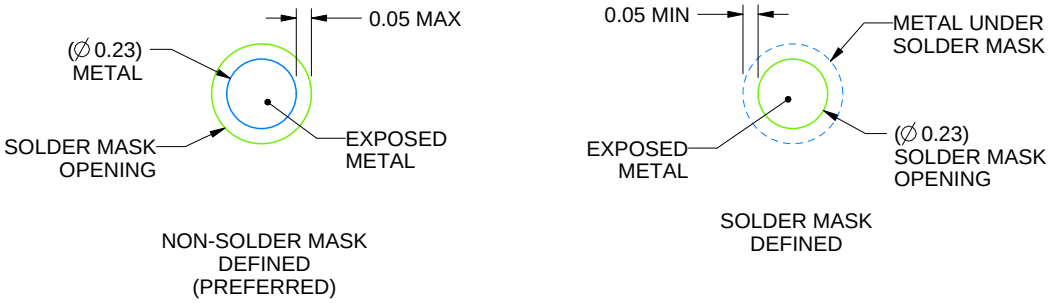
YBG0008

DSBGA - 0.5 mm max height

DIE SIZE BALL GRID ARRAY



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 50X

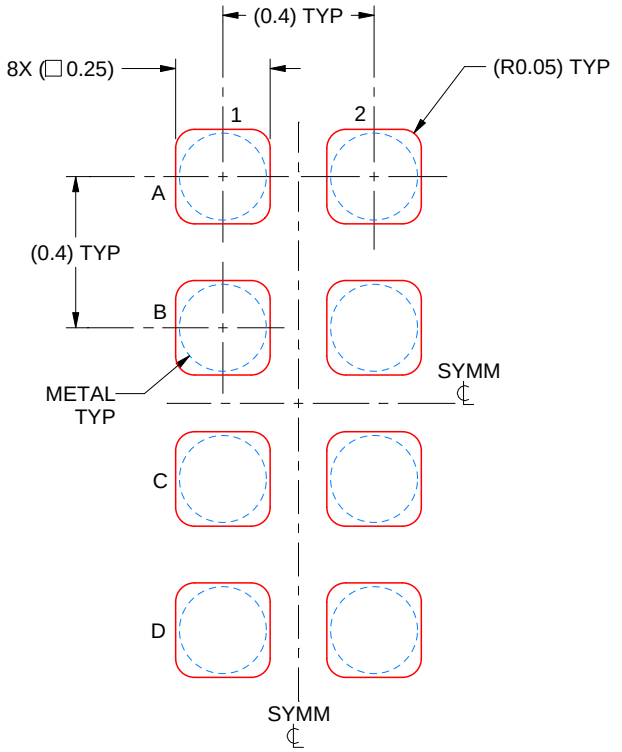


SOLDER MASK DETAILS
NOT TO SCALE

4224718/A 12/2018

NOTES: (continued)

3. Final dimensions may vary due to manufacturing tolerance considerations and also routing constraints.
   See Texas Instruments Literature No. SNVA009 (www.ti.com/lit/snva009).



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.1 mm THICK STENCIL
SCALE: 50X

4224718/A 12/2018

NOTES: (continued)

4. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release.

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