

CC1311P3 具有集成式功率放大器的 SimpleLink™ 高性能 Sub-1GHz 无线 MCU

1 特性

无线微控制器

- 功能强大的 48MHz Arm® Cortex®-M4 处理器
- 352KB 闪存程序存储器
- 32KB 超低泄漏 SRAM
- 8KB 缓存 SRAM (也可作为通用 RAM 提供)
- 可编程无线电包括对 2-(G)FSK、4-(G)FSK、MSK、OOK、IEEE 802.15.4 PHY 和 MAC 的支持
- 支持无线升级 (OTA)

低功耗

- MCU 功耗 :
 - 2.63mA 工作模式, CoreMark®
 - 55 μ A/MHz (运行 CoreMark 时)
 - 0.7 μ A 待机模式, RTC, 32KB RAM
 - 0.1 μ A 关断模式, 引脚唤醒
- 无线电功耗 :
 - RX : 5.4mA (在 868MHz 条件下)
 - 在 868MHz、+14dBm 下为 24.9mA TX
 - 在 915MHz、+20dBm 下为 65mA TX

无线协议支持

- [Mioty](#)
- [无线 M-Bus](#)
- [SimpleLink™ TI 15.4-stack](#)
- 6LoWPAN
- 专有系统

高性能无线电

- 在 2.5kbps 远距离模式下为 -121dBm
- 在 4.8kbps 窄带模式、433MHz 下为 -120dBm
- 在 9.6kbps 窄带模式、868MHz 下为 -118dBm
- 在 50kbps、802.15.4、868MHz 下为 -110dBm
- 高达 +20dBm 的输出功率, 具有温度补偿
- 低至 4kHz 的接收器滤波器带宽

法规遵从性

- 适用于符合以下标准的系统 :
 - ETSI EN 300 220 接收器类别 1.5 和 2、EN 303 131、EN 303 204
 - FCC CFR47 第 15 部分
 - ARIB STD-T108

MCU 外设

- 数字外设可连接至任何 GPIO
- 四个 32 位或八个 16 位通用计时器
- 12 位 ADC、200ksps、8 通道
- 8 位 DAC
- 模拟比较器
- UART、SSI、I²C、I²S
- 实时时钟 (RTC)
- 集成温度和电池监控器

信息安全机制

- AES 128 位加密加速计
- 真随机数发生器 (TRNG)
- 软件开发套件 (SDK) 中提供了其他加密驱动器

开发工具和软件

- [LP-CC1311P3 开发套件](#)
- [SimpleLink™ CC13xx 和 CC26xx 软件开发套件 \(SDK\)](#)
- 用于简单无线电配置的 [SmartRF™ Studio](#)
- [SysConfig](#) 系统配置工具

工作温度范围

- 片上直流/直流降压转换器
- 1.8V 至 3.8V 单电源电压
- -40 至 +105°C

封装

- 7mm × 7mm RGZ VQFN48 (26 个 GPIO)
- 符合 RoHS 标准的封装



2 应用

- 电网基础设施
 - 智能仪表 - 电表、水表、燃气表 和 热量分配表
 - 电网通信 - 无线通信
 - 电动汽车充电基础设施 - 交流充电 (桩) 站
 - 其他替代能源 - 能量收集
- 楼宇自动化
 - 楼宇安全系统 - 运动检测器、门窗传感器、玻璃破裂探测器、紧急按钮、电子智能锁 和 IP 网络摄像头
 - HVAC 系统 - 恒温器、环境传感器 和 HVAC 控制器
- 防火安全 - 烟雾和热量探测器、燃气检测仪 以及 火警控制面板
- 零售自动化
 - 零售自动化和支付应用 - 电子货架标签 和 便携式 POS 终端
- 个人电子产品
 - 射频远程控制
 - 智能扬声器 和 智能显示器
 - 游戏、电子玩具和机器人玩具
 - 可穿戴设备 (非医用) 和智能追踪器
- 无线模块
 - 无线第三方模块
 - 无线通信模块

3 说明

SimpleLink™ CC1311P3 器件是一款多协议 Sub-1GHz 无线微控制器 (MCU)，支持以下协议：IEEE 802.15.4g、支持 IPv6 的智能对象 (6LoWPAN)、mity、专有系统 (包括 TI 15.4-Stack (Sub-1GHz))。CC1311P3 基于 Arm® Cortex® M4 主处理器，针对 电网基础设施、楼宇自动化、零售自动化、个人电子产品 和 医疗应用 中的低功耗无线通信和高级传感功能进行了优化。

CC1311P3 具有由 Arm® Cortex® M0 驱动的软件定义无线电，支持多个物理层和射频标准。该器件支持在 143MHz 至 176MHz、287MHz 至 351MHz、359MHz 至 527MHz、861MHz 至 1054MHz 和 1076MHz 至 1315MHz 频段运行。CC1311P3 具有高效的内置 PA，在电流消耗为 24.9mA 时 TX 支持 +14dBm 的输出功率，在电流消耗为 65mA 时 TX 支持 +20dBm 的输出功率。在 RX 中且在数据速率为 2.5kbps 的 SimpleLink™ 远距离模式下，该器件具有 -121dBm 的灵敏度和 88dB 的屏蔽性能 (±10MHz)。

在采用 RTC 并保持 32KB RAM 时，CC1311P3 具有 0.7 μA 的低休眠电流。

许多客户对产品生命周期的要求为 10 至 15 年或者更久，为了达到这一目标，TI 制定了产品生命周期政策，对产品的寿命和供货连续性作出承诺。

CC1311P3 器件是 SimpleLink™ MCU 平台的一部分，包括 Wi-Fi®、低功耗 Bluetooth®、Thread、Zigbee、Wi-SUN®、Amazon Sidewalk、mity、Sub-1GHz MCU 和主机 MCU。CC1311P3 是可扩展产品系列 (闪存为 32KB 至 704KB) 的一部分，具有引脚对引脚兼容的封装选项。通用 SimpleLink™ CC13xx 和 CC26xx 软件开发套件 (SDK) 及 SysConfig 系统配置工具支持产品系列中各器件之间的迁移。SDK 随附了丰富的软件栈、应用示例和 SimpleLink™ Academy 培训课程。如需了解更多相关信息，请访问[无线连接](#)。

器件信息

器件型号 ⁽¹⁾	封装	封装尺寸
CC1311P31T0RGZR	VQFN (48)	7.00mm × 7.00mm

(1) 有关更多信息，请参阅[节 12](#)。

4 功能方框图

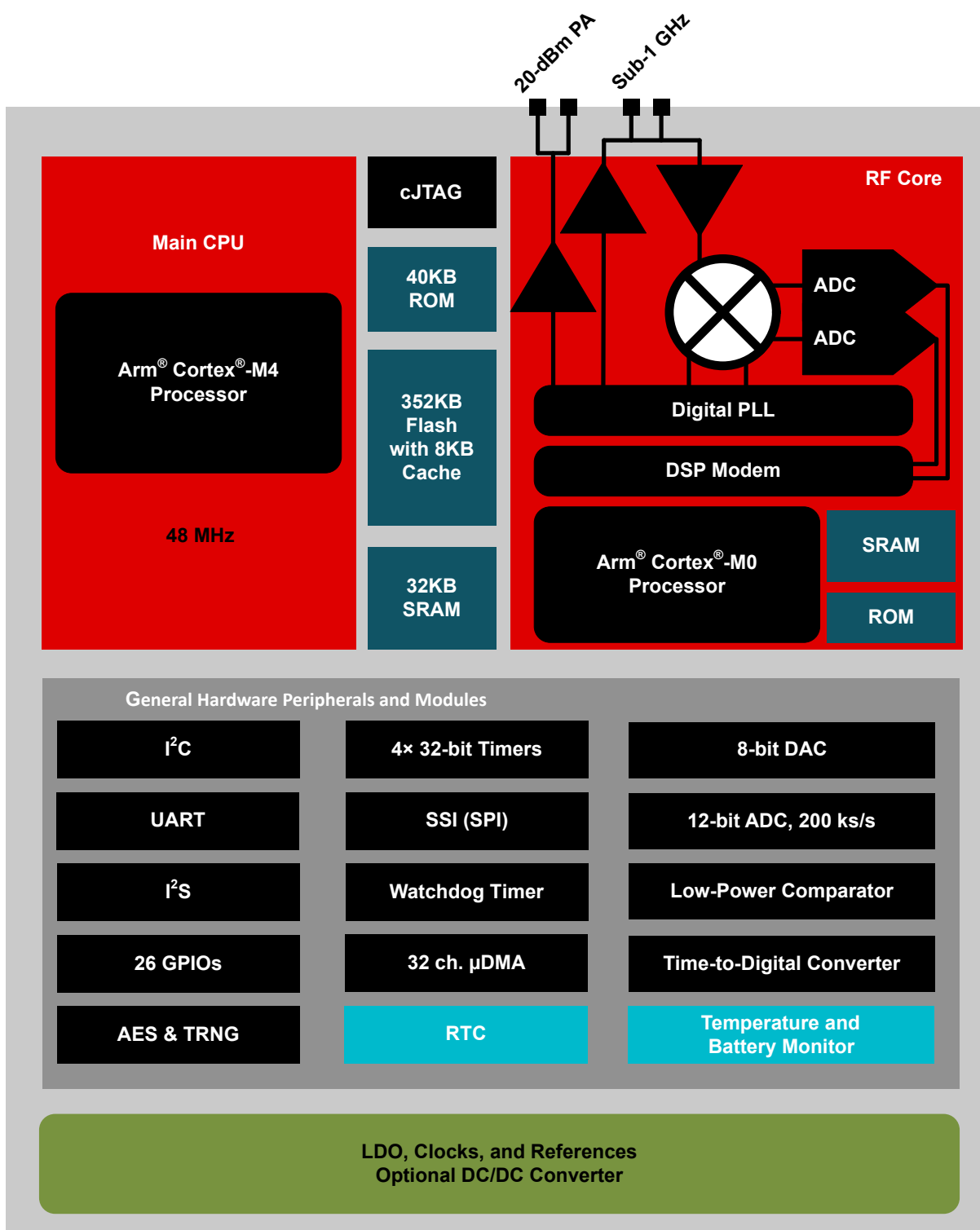


图 4-1. CC1311P3 功能方框图

内容

1 特性	1	7.19 典型特性.....	31
2 应用	2	8 详细说明	38
3 说明	2	8.1 概述.....	38
4 功能方框图	3	8.2 系统 CPU.....	38
5 器件比较	5	8.3 无线电 (射频内核)	39
6 引脚配置和功能	6	8.4 存储器.....	41
6.1 引脚图 - RGZ 封装 (顶视图)	6	8.5 加密.....	42
6.2 信号说明 - RGZ 封装.....	7	8.6 计时器.....	43
6.3 未使用的引脚和模块的连接.....	8	8.7 串行外设和 I/O.....	44
7 规格	9	8.8 电池和温度监测器.....	44
7.1 绝对最大额定值.....	9	8.9 电压电源域.....	44
7.2 ESD 等级.....	9	8.10 μ DMA.....	44
7.3 建议运行条件.....	9	8.11 调试.....	45
7.4 电源和模块.....	10	8.12 电源管理.....	46
7.5 功耗 - 电源模式	10	8.13 时钟系统.....	46
7.6 功耗 - 无线电模式.....	11	8.14 网络处理器.....	47
7.7 非易失性 (闪存) 存储器特性.....	11	9 应用、实施和布局	48
7.8 热阻特性.....	11	9.1 参考设计.....	48
7.9 射频频带.....	12	10 器件和文档支持	49
7.10 861MHz 至 1054MHz - 接收 (RX).....	12	10.1 器件命名规则.....	49
7.11 861MHz 至 1054MHz - 发送 (TX)	16	10.2 工具与软件.....	49
7.12 861MHz 至 1054MHz - PLL 相位噪声宽带模式.....	18	10.3 文档支持.....	52
7.13 861MHz 至 1054MHz - PLL 相位噪声窄带模式.....	18	10.4 支持资源.....	52
7.14 359MHz 至 527MHz - 接收 (RX).....	18	10.5 商标.....	52
7.15 359MHz 至 527MHz - 发送 (TX)	20	10.6 静电放电警告.....	53
7.16 359MHz 至 527MHz - PLL 相位噪声.....	21	10.7 术语表.....	53
7.17 时序和开关特性.....	21	11 修订历史记录	53
7.18 外设特性.....	25	12 机械、封装和可订购信息	54

5 器件比较

器件	无线电支持											闪存 (kB)	RAM + 高速缓存 (kB)	GPIO	封装尺寸					
	Sub-1GHz 专有技术	2.4GHz 专有技术	无线 M-Bus	mioty	Wi-SUN®	Sidewalk	低功耗 Bluetooth®	Zigbee	Thread	多协议	+20dBm PA				4 × 4mm VQFN (24)	4 × 4mm VQFN (32)	5 × 5mm VQFN (32)	5 × 5mm VQFN (40)	7 × 7mm VQFN (48)	8 × 8mm VQFN (64)
CC1310	✓		✓	✓								32-128	16-20 + 8	10 – 30		✓	✓		✓	
CC1311R3	✓		✓	✓								352	32 + 8	22 – 30				✓	✓	
CC1311P3	✓		✓	✓							✓	352	32 + 8	26					✓	
CC1312R	✓		✓	✓	✓							352	80 + 8	30					✓	
CC1312R7	✓		✓	✓	✓	✓				✓		704	144 + 8	30					✓	
CC1314R10	✓		✓	✓	✓	✓				✓		1024	256 + 8	30-46					✓	✓
CC1352R	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		352	80 + 8	28					✓	
CC1354R10	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		1024	256 + 8	28-42					✓	✓
CC1352P	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	352	80 + 8	26					✓	
CC1352P7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	704	144 + 8	26					✓	
CC1354P10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1024	256 + 8	26 – 42					✓	✓
CC2340R2		✓					✓	✓				256	28	12	✓					
CC2340R5 ⁽¹⁾		✓					✓	✓	✓			512	36	12 – 26	✓			✓		
CC2340R5-Q1							✓					512	36	19			✓			
CC2640R2F							✓					128	20 + 8	10 – 31		✓	✓		✓	
CC2642R							✓					352	80 + 8	31					✓	
CC2642R-Q1							✓					352	80 + 8	31					✓	
CC2651R3		✓					✓	✓				352	32 + 8	23 – 31				✓	✓	
CC2651P3		✓					✓	✓			✓	352	32 + 8	22 – 26				✓	✓	
CC2652R		✓					✓	✓	✓	✓		352	80 + 8	31					✓	
CC2652RB		✓					✓	✓	✓	✓		352	80 + 8	31					✓	
CC2652R7		✓					✓	✓	✓	✓		704	144 + 8	31					✓	
CC2652P		✓					✓	✓	✓	✓	✓	352	80 + 8	26					✓	
CC2652P7		✓					✓	✓	✓	✓	✓	704	144 + 8	26					✓	
CC2674R10		✓					✓	✓	✓	✓		1024	256 + 8	31 – 45					✓	✓
CC2674P10		✓					✓	✓	✓	✓	✓	1024	256 + 8	26 – 45					✓	✓

(1) 通过未来的软件更新启用线程支持

6 引脚配置和功能

6.1 引脚图 - RGZ 封装 (顶视图)

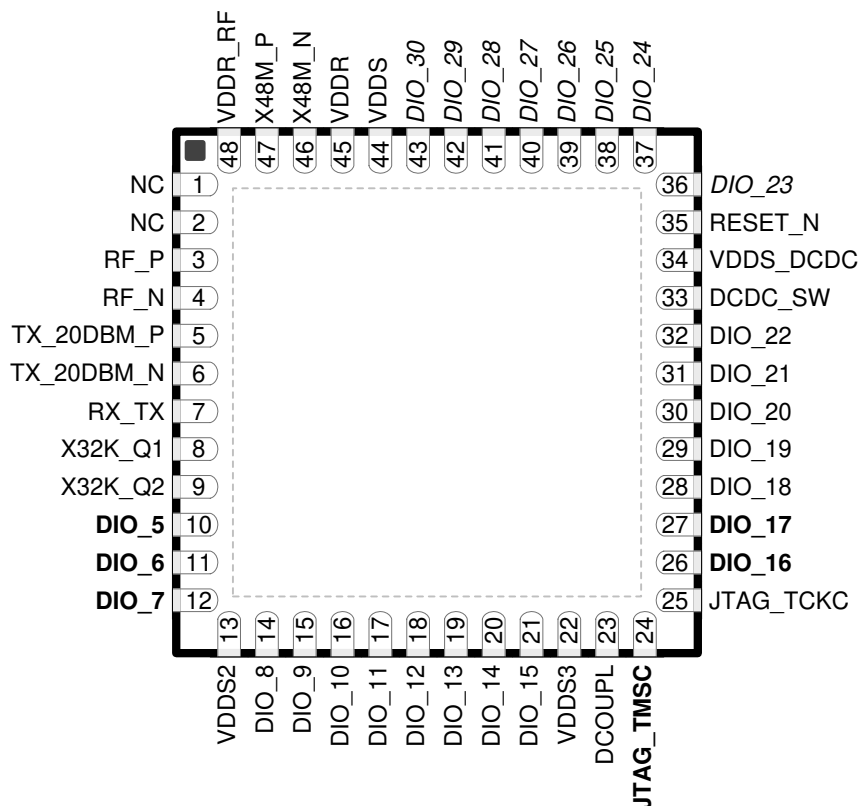


图 6-1. RGZ (7mm × 7mm) 引脚排列, 0.5mm 间距 (顶视图)

图 6-1 中以**粗体**标记的下列 I/O 引脚具有高驱动功能：

- 引脚 10, DIO_5
- 引脚 11, DIO_6
- 引脚 12, DIO_7
- 引脚 24, JTAG_TMSC
- 引脚 26, DIO_16
- 引脚 27, DIO_17

图 6-1 中以**斜体**标记的下列 I/O 引脚具有模拟功能：

- 引脚 36, DIO_23
- 引脚 37, DIO_24
- 引脚 38, DIO_25
- 引脚 39, DIO_26
- 引脚 40, DIO_27
- 引脚 41, DIO_28
- 引脚 42, DIO_29
- 引脚 43, DIO_30

6.2 信号说明 - RGZ 封装

表 6-1. 信号说明 - RGZ 封装

引脚		I/O	类型	说明
名称	编号			
DCDC_SW	33	—	电源	内部 DC/DC 转换器的输出 ⁽¹⁾
DCOUP_L	23	—	电源	用于对内部 1.27V 稳压数字电源进行去耦 ⁽²⁾
DIO_5	10	I/O	数字	GPIO, 高驱动能力
DIO_6	11	I/O	数字	GPIO, 高驱动能力
DIO_7	12	I/O	数字	GPIO, 高驱动能力
DIO_8	14	I/O	数字	GPIO
DIO_9	15	I/O	数字	GPIO
DIO_10	16	I/O	数字	GPIO
DIO_11	17	I/O	数字	GPIO
DIO_12	18	I/O	数字	GPIO
DIO_13	19	I/O	数字	GPIO
DIO_14	20	I/O	数字	GPIO
DIO_15	21	I/O	数字	GPIO
DIO_16	26	I/O	数字	GPIO, JTAG_TDO, 高驱动能力
DIO_17	27	I/O	数字	GPIO, JTAG_TDI, 高驱动能力
DIO_18	28	I/O	数字	GPIO
DIO_19	29	I/O	数字	GPIO
DIO_20	30	I/O	数字	GPIO
DIO_21	31	I/O	数字	GPIO
DIO_22	32	I/O	数字	GPIO
DIO_23	36	I/O	数字或模拟	GPIO, 模拟功能
DIO_24	37	I/O	数字或模拟	GPIO, 模拟功能
DIO_25	38	I/O	数字或模拟	GPIO, 模拟功能
DIO_26	39	I/O	数字或模拟	GPIO, 模拟功能
DIO_27	40	I/O	数字或模拟	GPIO, 模拟功能
DIO_28	41	I/O	数字或模拟	GPIO, 模拟功能
DIO_29	42	I/O	数字或模拟	GPIO, 模拟功能
DIO_30	43	I/O	数字或模拟	GPIO, 模拟功能
EGP	—	—	GND	接地 - 裸露的接地焊盘 ⁽³⁾
JTAG_TMSC	24	I/O	数字	JTAG TMS, 高驱动能力
JTAG_TCKC	25	I	数字	JTAG TCK
RESET_N	35	I	数字	复位, 低电平有效。无内部上拉电阻
RF_P	3	—	RF	RX 期间发送到 LNA 的正射频输入信号 TX 期间从 PA 发送的正射频输出信号
RF_N	4	—	RF	RX 期间发送到 LNA 的负射频输入信号 TX 期间从 PA 发送的负射频输出信号
RX_TX	7	—	RF	用于射频 LNA 的可选偏置引脚
TX_20DBM_P	5	—	RF	正大功率 TX 信号
TX_20DBM_N	6	—	RF	负大功率 TX 信号
VDDR	45	—	电源	内部电源, 必须由内部直流/直流转换器或内部 LDO 供电 ^{(2) (4) (6)}
VDDR_RF	48	—	电源	内部电源, 必须由内部直流/直流转换器或内部 LDO 供电 ^{(2) (5) (6)}

表 6-1. 信号说明 - RGZ 封装 (续)

引脚		I/O	类型	说明
名称	编号			
VDDS	44	—	电源	1.8V 至 3.8V 主芯片电源 ⁽¹⁾
VDDS2	13	—	电源	1.8V 至 3.8V DIO 电源 ⁽¹⁾
VDDS3	22	—	电源	1.8V 至 3.8V DIO 电源 ⁽¹⁾
VDDS_DCDC	34	—	电源	1.8V 至 3.8V DC/DC 转换器电源
X48M_N	46	—	模拟	48MHz 晶体振荡器引脚 1
X48M_P	47	—	模拟	48MHz 晶体振荡器引脚 2
X32K_Q1	8	—	模拟	32kHz 晶体振荡器引脚 1
X32K_Q2	9	—	模拟	32kHz 晶体振荡器引脚 2

- (1) 有关更多详细信息，请参阅节 10.3 中列出的器件技术参考手册。
- (2) 请勿通过该引脚为外部电路供电。
- (3) EGP 是该器件唯一的接地连接。为确保器件正常运行，必须在印刷电路板 (PCB) 上实现与器件接地端的良好电气连接。
- (4) 如果未使用内部 DC/DC 转换器，则该引脚由主 LDO 内部供电。
- (5) 如果不使用内部 DC/DC 转换器，则该引脚必须连接到 VDDR 以便由主 LDO 供电。
- (6) 内部 DC/DC 和 LDO 的输出被修整为 1.68V。

6.3 未使用的引脚和模块的连接

表 6-2. 未使用的引脚的连接 - RGZ 封装

功能	信号名称	引脚编号	可接受的做法 ⁽¹⁾	推荐的做法 ⁽¹⁾
GPIO	DIO_n	10 - 12 14 - 21 26 - 32 36 - 43	NC 或 GND	NC
32.768kHz 晶振	X32K_Q1	8	NC 或 GND	NC
	X32K_Q2	9		
无连接	NC	1 - 2	NC	NC
直流/直流转换器 ⁽²⁾	DCDC_SW	33	NC	NC
	VDDS_DCDC	34	VDDS	VDDS

- (1) NC = 无连接
- (2) 当不使用 DC/DC 转换器时，可以移除 DCDC_SW 和 VDDR 之间的电感器。VDDR 和 VDDR_RF 必须保持连接，同时 22 μ F DCDC 电容器必须保持在 VDDR 网络上。

7 规格

7.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明) ^{(1) (2)}

		最小值	最大值	单位
V _{DDS}	电源电压	-0.3	4.1	V
	任一数字引脚上的电压 ^{(3) (4) (5)}	-0.3	V _{DDSn} + 0.3, 最大值 4.1	V
	晶体振荡器引脚 X32K_Q1、X32K_Q2、X48M_N 和 X48M_P 上的电压	-0.3	V _{DDR} + 0.3, 最大值 2.25	V
V _{in}	ADC 输入端的电压	启用电压调节	-0.3	V _{DDS}
		禁用电压调节, 内部基准电压	-0.3	1.49
		禁用电压调节, V _{DDS} 作为基准电压	-0.3	V _{DDS} /2.9
	输入电平, 射频引脚 (RF_P 和 RF_N)		10	dBm
T _{stg}	贮存温度	-40	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。如果使用条件超出建议运行条件但在绝对最大额定值范围内, 器件可能不会完全正常运行, 这可能影响器件的可靠性、功能和性能, 并缩短器件寿命。
- (2) 除非另有说明, 否则所有电压值均以接地为基准。
- (3) 包括具有模拟功能的 DIO
- (4) 任何 GPIO 引脚上都不支持注入电流。
- (5) V_{DDS2} 和 V_{DDS3} 必须低于或等于 V_{DDS}。

7.2 ESD 等级

			值	单位
V _{ESD}	静电放电	人体放电模型 (HBM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS001 标准 ⁽¹⁾	±2000	V
		充电器件模型 (CDM), 符合 JESD22-C101 标准 ⁽²⁾	±500	V

- (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。

7.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明)

		最小值	最大值	单位
工作环境温度 ^{(1) (2)}		-40	105	°C
工作结温 ^{(1) (2)}		-40	115	°C
工作电源电压 (V _{DDS})		1.8	3.8	V
运行电源电压 (V _{DDS2} 和 V _{DDS3}) ^{(4) (5) (6)}		1.8	V _{DDS}	
工作电源电压 (V _{DDS}), 升压模式	V _{DDR} = 1.95V +14dBm 射频输出 sub-1GHz 功率放大器	2.1	3.8	V
工作电源电压 (V _{DDS2} 和 V _{DDS3}), 升压模式 ⁽⁴⁾	V _{DDR} = 1.95V +14 dBm RF 输出 Sub-1GHz 功率放大器	1.8	V _{DDS}	V
上升电源电压压摆率		0	100	mV/μs
下降电源电压压摆率 ⁽³⁾		0	20	mV/μs

- (1) 长时间在最高工作温度或接近最高工作温度下工作将导致寿命缩短。
- (2) 有关更多信息, 请参阅热阻特性部分。
- (3) 对于小型纽扣电池 (在最坏情况下具有较高的寿命终止等效源电阻), 必须使用 22-μF V_{DDS} 输入电容器来确保符合此压摆率。
- (4) V_{DDS2} 和 V_{DDS3} 必须低于或等于 V_{DDS}。对于 JTAG 操作, V_{DDS} 应等于 V_{DDS3}
- (5) 所有电源段都需要始终通电
- (6) 如果 IO 强度设置为自动, 则会根据 V_{DDS} 的电压电平调整驱动强度。如果 V_{DDS2} 低于 V_{DDS}, 则应手动将所有提及 V_{DDS2} 的引脚 (IOCFGn.IOSTR) 设置为最大值。如果 V_{DDS3} 低于 V_{DDS}, 则应手动将所有提及 V_{DDS3} 的引脚 (IOCFGn.IOSTR) 设置为最大值。

7.4 电源和模块

在自然通风工作温度范围内测得 (除非另有说明)

参数		最小值	典型值	最大值	单位
VDDS 上电复位 (POR) 阈值			1.1 - 1.55		V
VDDS 欠压检测器 (BOD) ⁽¹⁾	上升阈值		1.77		V
VDDS 欠压检测器 (BOD), 初始引导前 ⁽²⁾	上升阈值		1.70		V
VDDS 欠压检测器 (BOD) ⁽¹⁾	下降阈值		1.75		V

(1) 对于升压模式 (VDDR = 1.95V), TI 驱动程序软件初始化会将 VDDS BOD 限值修整至最大值 (大约 2.0V)

(2) 在初始启动时对欠压检测器进行修整, 值保持不变, 直到通过 POR 复位或 RESET_N 引脚将器件复位

7.5 功耗 - 电源模式

除非另有说明, 否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$, $V_{\text{DDS}} = 3.6\text{V}$ ($V_{\text{DDS}} = V_{\text{DDS2}} = V_{\text{DDS3}}$) 且启用了 DC/DC 转换器的条件下在 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 参考设计上测得。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
内核电流消耗					
I_{core}	复位和关断	复位。RESET_N 引脚置为有效或 VDDS 低于上电复位阈值	115		nA
		关断。无时钟在运行, 无保留	115		
	待机, 无高速缓存保留	RTC 运行, CPU, 32KB RAM 和 (部分) 寄存器保留。 RCOSC_LF	0.7		μA
		RTC 运行, CPU, 32KB RAM 和 (部分) 寄存器保留 XOSC_LF	0.8		μA
	待机, 有高速缓存保留	RTC 运行, CPU, 32KB RAM 和 (部分) 寄存器保留。 RCOSC_LF	2.1		μA
		RTC 运行, CPU, 32KB RAM 和 (部分) 寄存器保留。 XOSC_LF	2.2		μA
	空闲	电源系统和 RAM 已通电 RCOSC_HF	570		μA
	有效	MCU 以 48MHz 运行 CoreMark RCOSC_HF	2.50		mA
外设电流消耗					
I_{peri}	外设电源域	启用域情况下的 Δ 电流	47.0		μA
	串行电源域	启用域情况下的 Δ 电流	3.3		
	RF 内核	启用电源域、启用时钟且射频内核空闲情况下的 Δ 电流	122		
	μDMA	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	58.1		
	计时器	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流 ⁽¹⁾	87.0		
	I2C	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	11.6		
	I2S	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	25.8		
	SSI	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	61.3		
	UART	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	125		
	加密 (AES)	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	25.2		
	TRNG	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	23.3		

(1) 仅一个 GPTimer 运行

7.6 功耗 - 无线电模式

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DD5}} = 3.6\text{V}$ 且启用 DC/DC 转换器的条件下在 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 参考设计上测得。

大功率 PA 连接到 V_{DD5} (除非另有说明)。

使用升压模式 (将 V_{DDR} 增加至 1.95V) 将使系统电流增加 15% (不适用于已包含此电流的 TX +14dBm 设置)。

下列数字中包含了相关的 I_{core} 和 I_{peri} 电流。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
无线电接收电流, 868MHz			5.4		mA
无线电发射电流 常规 PA	0dBm 输出功率设置 868MHz		7.4		mA
	+10dBm 输出功率设置 868MHz		13.9		mA
无线电发射电流 升压模式, 常规 PA	+14dBm 输出功率设置 868MHz		24.9		mA
无线电发射电流 高功率 PA	发送 (TX), +20dBm 输出功率设置 915MHz, $V_{\text{DD5}} = 3.3\text{V}$		65		mA

7.7 非易失性 (闪存) 存储器特性

在推荐的自然通风条件下的工作温度范围内且 $V_{\text{DD5}} = 3.0\text{V}$ 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
闪存扇区大小			8		KB
发生故障前支持的闪存擦除周期, 全存储体 ^{(1) (5)}		30			k Cycles
发生故障前支持的闪存擦除周期, 单扇区 ⁽²⁾		60			k Cycles
擦除扇区前的每行最大写入操作数 ⁽³⁾				83	写入操作
闪存保留	105°C	11.4			年
闪存扇区擦除电流	平均 Δ 电流		9.7		mA
闪存扇区擦除时间 ⁽⁴⁾	零周期		10		ms
	30k 周期			4000	ms
闪存写入电流	平均 Δ 电流, 一次 4 个字节		5.3		mA
闪存写入时间 ⁽⁴⁾	一次 4 个字节		21.6		μs

(1) 一次全存储体擦除被视为每个扇区上的单个擦除周期。

(2) 最多可单独擦除 4 个由客户指定的扇区 (在基准存储体上限 30k 次的基础上额外增加 30k 次)

(3) 每条字线的宽度为 2048 位 (或 256 字节)。此限值对应于整个字线上每次写入包含最少 4 (3.1) 字节的顺序存储器写入。如果需要对同一个字线执行额外的写入操作, 则一旦达到每行的最大写入操作数, 就需要执行扇区擦除。

(4) 该数字取决于闪存老化, 并随着时间和擦除周期而增加

(5) 在擦除或编程模式期间中止闪存是一种不安全的操作。

7.8 热阻特性

热指标 ⁽¹⁾		封装	单位
		RGZ (VQFN)	
		48 引脚	
$R_{\theta \text{JA}}$	结至环境热阻	25.0	$^\circ\text{C/W}$ ⁽²⁾
$R_{\theta \text{JC(top)}}$	结至外壳 (顶部) 热阻	14.5	$^\circ\text{C/W}$ ⁽²⁾
$R_{\theta \text{JB}}$	结至电路板热阻	8.7	$^\circ\text{C/W}$ ⁽²⁾
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.2	$^\circ\text{C/W}$ ⁽²⁾
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	8.6	$^\circ\text{C/W}$ ⁽²⁾
$R_{\theta \text{JC(bot)}}$	结至外壳 (底部) 热阻	2.1	$^\circ\text{C/W}$ ⁽²⁾

(1) 有关新旧热性能指标的更多信息, 请参阅 [半导体和 IC 封装热指标](#)。

(2) $^\circ\text{C/W}$ = 摄氏度/瓦。

7.9 射频频带

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）。

参数	最小值	典型值	最大值	单位
频段	1076		1315	MHz
	861		1054	
	431		527	
	359		439	
	287		351	
	143		176	

7.10 861MHz 至 1054MHz - 接收 (RX)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD5} = 3.0\text{V}$ 、启用 DC/DC 转换器且高功率 PA 连接到 V_{DD5} 的条件下基于 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 测得。

所有测量都在天线输入端通过组合的 RX 和 TX 路径执行，但在专用天线连接处测量的大功率 PA 除外。所有测量都是在传导条件下执行的。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
一般参数					
数字通道滤波器可编程的接收带宽		4		4000	kHz
数据速率步长			1.5		bps
杂散发射 25MHz 至 1GHz	868MHz		< -57		dBm
杂散发射 1GHz 至 13GHz	根据 ETSI EN 300 220 测量传导发射		< -47		dBm
IEEE 802.15.4, 50kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 100kHz RX 带宽					
灵敏度	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz		-110		dBm
饱和限值	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz		10		dBm
选择性, $\pm 200\text{kHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		44		dB
选择性, $\pm 400\text{kHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		48		dB
阻断, $\pm 1\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		58		dB
阻断, $\pm 2\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		62		dB
阻断, $\pm 5\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		70		dB
阻断, $\pm 10\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		77		dB
图像抑制 (启用图像补偿)	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		41		dB
RSSI 动态范围	从灵敏度限值开始		95		dB
RSSI 精度	从给定动态范围内的灵敏度限值开始		± 3		dB
100kbps, 25kHz 偏差, 2-GFSK, 137kHz RX 带宽					
灵敏度 100kbps	1% PER, 127 字节有效载荷, 868MHz		-104		dBm
选择性, $\pm 200\text{kHz}$	1% PER, 127 字节有效载荷, 868MHz。有用信号强度为 -96dBm		31		dB
选择性, $\pm 400\text{kHz}$	1% PER, 127 字节有效载荷, 868MHz。有用信号强度为 -96dBm		37		dB
共道抑制	1% PER, 127 字节有效载荷, 868MHz。有用信号强度为 -79dBm		-9		dB
200kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 311kHz RX 带宽					
灵敏度	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz		-103		dBm
灵敏度	$\text{BER} = 10^{-2}$, 915MHz		-102		dBm
选择性, $\pm 400\text{kHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		45		dB
选择性, $\pm 800\text{kHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		49		dB
阻断, $\pm 2\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		57		dB
阻断, $\pm 10\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		69		dB
500kbps, $\pm 190\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 1150kHz RX 带宽					

7.10 861MHz 至 1054MHz - 接收 (RX) (续)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DD}} = 3.0\text{V}$ 、启用 DC/DC 转换器且高功率 PA 连接到 V_{DD} 的条件下基于 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 测得。

所有测量都在天线输入端通过组合的 RX 和 TX 路径执行，但在专用天线连接处测量的大功率 PA 除外。所有测量都是在传导条件下执行的。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
灵敏度 500kbps	1% PER, 127 字节有效载荷, 915MHz		-94		dBm
选择性, $\pm 1\text{MHz}$	1% PER, 127 字节有效载荷, 915MHz。有用信号强度为 -88dBm		14		dB
选择性, $\pm 2\text{MHz}$	1% PER, 127 字节有效载荷, 915MHz。有用信号强度为 -88dBm		42		dB
共道抑制	1% PER, 127 字节有效载荷, 915MHz。有用信号强度为 -71dBm		-9		dB
1Mbps, $\pm 350\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 1.3MHz RX 带宽					
灵敏度	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz		-97		dBm
灵敏度	$\text{BER} = 10^{-2}$, 915MHz		-96		dBm
阻断, +2MHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		43		dB
阻断, -2MHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		26		dB
阻断, +10MHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		54		dB
阻断, -10MHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		48		dB
SimpleLink™ 远距, 2.5/5kbps (20ksp), $\pm 5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 34kHz RX 带宽, FEC = 1:2, DSSS = 1:4/1:2					
灵敏度	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz		-121		dBm
灵敏度	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz		-119		dBm
饱和限值	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz		10		dBm
选择性, $\pm 100\text{kHz}$	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		49		dB
选择性, $\pm 200\text{kHz}$	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		50		dB
选择性, $\pm 300\text{kHz}$	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		51		dB
阻断, $\pm 1\text{MHz}$	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		63		dB
阻断, $\pm 2\text{MHz}$	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		69		dB
阻断, $\pm 5\text{MHz}$	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		79		dB
阻断, $\pm 10\text{MHz}$	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		88		dB
图像抑制 (启用图像补偿)	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz ⁽¹⁾		47		dB
RSSI 动态范围	从灵敏度限值开始		97		dB
RSSI 精度	从给定动态范围内的灵敏度限值开始		± 3		dB
窄带, 9.6kbps, $\pm 2.4\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 17.1kHz RX 带宽					
灵敏度	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz		-117		dBm
相邻信道抑制	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz。有用信号比 ETSI 基准灵敏度限值 (-104.6dBm) 高 3dB。干扰源 $\pm 20\text{kHz}$		41		dB
备用信道抑制	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz。有用信号比 ETSI 基准灵敏度限值 (-104.6dBm) 高 3dB。干扰源 $\pm 40\text{kHz}$		42		dB
阻断, $\pm 1\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz。有用信号比 ETSI 基准灵敏度限值 (-104.6dBm) 高 3dB。		65		dB
阻断, $\pm 2\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz。有用信号比 ETSI 基准灵敏度限值 (-104.6dBm) 高 3dB。		70		dB
阻断, $\pm 10\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 868MHz。有用信号比 ETSI 基准灵敏度限值 (-104.6dBm) 高 3dB。		85		dB
Wi-SUN, 2-GFSK					
灵敏度	50kbps, $\pm 12.5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 68kHz RX 带宽, 868MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。		-107		dBm
选择性, $\pm 100\text{kHz}$, 50kbps, $\pm 12.5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 868.3MHz	50kbps, $\pm 12.5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 68kHz RX 带宽, 868.3MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		30		dB

7.10 861MHz 至 1054MHz - 接收 (RX) (续)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DDs}} = 3.0\text{V}$ 、启用 DC/DC 转换器且高功率 PA 连接到 V_{DDs} 的条件下基于 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 测得。

所有测量都在天线输入端通过组合的 RX 和 TX 路径执行，但在专用天线连接处测量的大功率 PA 除外。所有测量都是在传导条件下执行的。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
选择性, $\pm 200\text{kHz}$, 50kbps, $\pm 12.5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 868.3MHz	50kbps, $\pm 12.5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 68kHz RX 带宽, 868.3MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		36		dB
灵敏度	50kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 98kHz RX 带宽, 918.2MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。		-106		dBm
选择性, $\pm 200\text{kHz}$, 50kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 918.2MHz	50kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 98kHz RX 带宽, 918.2MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		34		dB
选择性, $\pm 400\text{kHz}$, 50kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 918.2MHz	50kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 98kHz RX 带宽, 918.2MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		41		dB
灵敏度	100kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 135kHz RX 带宽, 868MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。		-104		dBm
选择性, $\pm 200\text{kHz}$, 100kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 868.3MHz	100kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 135kHz RX 带宽, 868.3MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		37		dB
选择性, $\pm 400\text{kHz}$, 100kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 868.3MHz	100kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 135kHz RX 带宽, 868.3MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		45		dB
灵敏度	100kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 196kHz RX 带宽, 920.9MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。		-102		dBm
选择性, $\pm 400\text{kHz}$, 100kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 920.9MHz	100kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 196kHz RX 带宽, 920.9MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		40		dB
选择性, $\pm 800\text{kHz}$, 100kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 920.9MHz	100kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 196kHz RX 带宽, 920.9MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		49		dB
灵敏度	150kbps, $\pm 37.5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 273kHz RX 带宽, 920.9MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。		-99		dBm
选择性, $\pm 400\text{kHz}$, 150kbps, $\pm 37.5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 920.9MHz	150kbps, $\pm 37.5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 273kHz RX 带宽, 920.9MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		41		dB
选择性, $\pm 800\text{kHz}$, 150kbps, $\pm 37.5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 920.9MHz	150kbps, $\pm 37.5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 273kHz RX 带宽, 920.9MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		47		dB
灵敏度	200kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 918.4MHz, 273kHz RX 带宽, 10% PER, 250 字节有效载荷		-99		dBm
选择性, $\pm 400\text{kHz}$, 200kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 918.4MHz	200kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 273kHz RX 带宽, 918.4MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		42		dB
选择性, $\pm 800\text{kHz}$, 200kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 918.4MHz	200kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 273kHz RX 带宽, 918.4MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		49		dB
灵敏度	200kbps, $\pm 100\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 273kHz RX 带宽, 920.8MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷		-99		dBm
选择性, $\pm 600\text{kHz}$, 200kbps, $\pm 100\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 920.8MHz	200kbps, $\pm 100\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 273kHz RX 带宽, 920.8MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		45		dB
选择性, $\pm 1200\text{kHz}$, 200kbps, $\pm 100\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 920.8MHz	200kbps, $\pm 100\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 273kHz RX 带宽, 920.8MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		52		dB
灵敏度	300kbps, $\pm 75\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 917.6MHz, 498kHz RX 带宽, 10% PER, 250 字节有效载荷		-97		dBm

7.10 861MHz 至 1054MHz - 接收 (RX) (续)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DD}} = 3.0\text{V}$ 、启用 DC/DC 转换器且高功率 PA 连接到 V_{DD} 的条件下基于 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 测得。

所有测量都在天线输入端通过组合的 RX 和 TX 路径执行，但在专用天线连接处测量的大功率 PA 除外。所有测量都是在传导条件下执行的。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
选择性, $\pm 600\text{kHz}$, 300kbps, $\pm 75\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 917.6MHz	300kbps, $\pm 75\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 498kHz RX 带宽, 917.6MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		42		dB
选择性, $\pm 1200\text{kHz}$, 300kbps, $\pm 75\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 917.6MHz	300kbps, $\pm 75\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 498kHz RX 带宽, 917.6MHz, 10% PER, 250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		47		dB

(1) 根据 ETSI EN 300 220V, 有用信号比基准灵敏度限值高 3dB3.1.1

7.11 861MHz 至 1054MHz - 发送 (TX)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DD}} = 3.0\text{V}$ 、启用直流/直流转换器且高功率 PA 连接到采用 2-GFSK、50kbps、 $\pm 25\text{kHz}$ 偏差的 $V_{\text{DD}} = 3.0\text{V}$ 的条件下

基于 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 参考设计测得。

所有测量都在天线输入端通过组合的 RX 和 TX 路径执行，但在专用天线连接处测量的高功率 PA 除外。所有测量都是在传导条件下执行的。(1)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
一般参数						
最大输出功率，升压模式 常规 PA		VDDR = 1.95V 升压模式的最小电源电压 (VDDS) 为 2.1V 868MHz 和 915MHz		14		dBm
最大输出功率， 常规 PA		868MHz 和 915MHz		13		dBm
最大输出功率， 高功率 PA		915MHz VDDS = 3.3V		20		dBm
输出功率可编程范围 常规 PA		868MHz 和 915MHz		24		dB
输出功率可编程范围 高功率 PA		868MHz 和 915MHz VDDS = 3.3V		6		dB
输出功率随温度的变化 常规 PA		+10dBm 设置 在建议的工作温度范围内测试		± 2		dB
输出功率随温度的变化 升压模式，常规 PA		+14dBm 设置 在建议的工作温度范围内测试		± 1.5		dB
杂散发射和谐波						
杂散发射 (不包括谐波) 常规 PA (2)	30MHz 至 1GHz	+14dBm 设置 ETSI 限制频带		< -54		dBm
		+14dBm 设置 ETSI 超出限制频带		< -36		dBm
	1GHz 至 12.75GHz (超出 ETSI 限制频带)	+14dBm 设置 在 1MHz 带宽 (ETSI) 中测得		< -30		dBm
带外杂散发射 常规 PA, 915MHz (2)	30MHz 至 88MHz (在 FCC 限制频带内)	14dBm 设置		< -56		dBm
	88MHz 至 216MHz (在 FCC 限制频带内)	14dBm 设置		< -52		dBm
	216MHz 至 960MHz (在 FCC 限制频带内)	14dBm 设置		< -50		dBm
	960MHz 至 2390MHz 及 2483.5MHz 以上 (在 FCC 限制频带内)	14dBm 设置		< -42		dBm
	1GHz 至 12.75GHz (超出 FCC 限制频带)	14dBm 设置		< -40		dBm
带外杂散发射 高功率 PA, 915MHz (2) (3)	30MHz 至 88MHz (在 FCC 限制频带内)	20dBm 设置, VDDS = 3.3V		< -55		dBm
	88MHz 至 216MHz (在 FCC 限制频带内)	20dBm 设置, VDDS = 3.3V		< -52		dBm
	216MHz 至 960MHz (在 FCC 限制频带内)	20dBm 设置, VDDS = 3.3V		< -49		dBm
	960MHz 至 2390MHz 及 2483.5MHz 以上 (在 FCC 限制频带内)	20dBm 设置, VDDS = 3.3V		< -41		dBm
	1GHz 至 12.75GHz (超出 FCC 限制频带)	20dBm 设置, VDDS = 3.3V		< -20		dBm

7.11 861MHz 至 1054MHz - 发送 (TX) (续)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 、启用直流/直流转换器且高功率 PA 连接到采用 2-GFSK、50kbps、 $\pm 25\text{kHz}$ 偏差的 V_{DDS} 的条件下

基于 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 参考设计测得。

所有测量都在天线输入端通过组合的 RX 和 TX 路径执行，但在专用天线连接处测量的高功率 PA 除外。所有测量都是在传导条件下执行的。(1)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
带外杂散发射 常规 PA，920.6/928MHz (2)	低于 710MHz (ARIB T-108)	+14dBm 设置		< -36		dBm
	710MHz 至 900MHz (ARIB T-108)	+14dBm 设置		< -55		dBm
	900MHz 至 915MHz (ARIB T-108)	+14dBm 设置		< -55		dBm
	930MHz 至 1000MHz (ARIB T-108)	+14dBm 设置		< -55		dBm
	1000MHz 至 1215MHz (ARIB T-108)	+14dBm 设置		< -45		dBm
	高于 1215MHz (ARIB T-108)	+14dBm 设置		< -30		dBm
谐波 常规 PA	二次谐波	+14dBm 设置，868MHz		< -30		dBm
		+14dBm 设置，915MHz		< -30		
	三次谐波	+14dBm 设置，868MHz		< -30		dBm
		+14dBm 设置，915MHz		< -42		
	四次谐波	+14dBm 设置，868MHz		< -30		dBm
		+14dBm 设置，915MHz		< -30		
	五次谐波	+14dBm 设置，868MHz		< -30		dBm
		+14dBm 设置，915MHz		< -42		
谐波 高功率 PA	二次谐波	+20dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		< -30		dBm
	三次谐波	+20dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		< -42		dBm
	四次谐波	+20dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		< -30		dBm
	五次谐波	+20dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		< -42		dBm
相邻信道功率						
相邻信道功率，常规 14dBm PA	相邻信道，20kHz 偏移。9.6kbps， h=0.5	12.5dBm 设置。868.3MHz。14kHz 信道带宽		-23		dBm
备用信道功率，常规 14dBm PA	备用信道，40kHz 偏移。9.6kbps， h=0.5	12.5dBm 设置。868.3MHz。14kHz 信道带宽		-30		dBm

- (1) 为确保符合法规要求，某些频率、数据速率和调制格式的组合需要使用外部晶体负载电容器。更多详细信息，请参阅器件勘误表。
- (2) 适用于需要满足 EN 300 220、EN 303 131、EN 303 204、FCC CFR47 第 15 部分和 ARIB STD-T108 标准的系统。
- (3) 当电源电压低于 2.2V 时，杂散发射会增加。因此，必须注意确保在低电源电压电平下运行时满足监管要求。另一种方法是使用低于 2.2V 的 Sub-1GHz PA。

7.12 861MHz 至 1054MHz - PLL 相位噪声宽带模式

相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DDs}} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 参考设计测得。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
868MHz 和 915MHz 频带中的相位噪声 20kHz PLL 环路带宽	$\pm 10\text{kHz}$ 偏移		-76		dBc/Hz
	$\pm 100\text{kHz}$ 偏移		-98		dBc/Hz
	$\pm 200\text{kHz}$ 偏移		-106		dBc/Hz
	$\pm 400\text{kHz}$ 偏移		-113		dBc/Hz
	$\pm 1000\text{kHz}$ 偏移		-122		dBc/Hz
	$\pm 2000\text{kHz}$ 偏移		-130		dBc/Hz
	$\pm 10000\text{kHz}$ 偏移		-140		dBc/Hz

7.13 861MHz 至 1054MHz - PLL 相位噪声窄带模式

相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DDs}} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 参考设计测得。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
868MHz 和 915MHz 频带中的相位噪声 150kHz PLL 环路带宽	$\pm 10\text{kHz}$ 偏移		-95		dBc/Hz
	$\pm 100\text{kHz}$ 偏移		-94		dBc/Hz
	$\pm 200\text{kHz}$ 偏移		-94		dBc/Hz
	$\pm 400\text{kHz}$ 偏移		-103		dBc/Hz
	$\pm 1000\text{kHz}$ 偏移		-119		dBc/Hz
	$\pm 2000\text{kHz}$ 偏移		-129		dBc/Hz
	$\pm 10000\text{kHz}$ 偏移		-138		dBc/Hz

7.14 359MHz 至 527MHz - 接收 (RX)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DDs}} = 3.0\text{V}$ 、

启用 DC/DC 转换器且高功率 PA 连接到 V_{DDs} 的条件下在 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 参考设计上测得。

所有测量都在天线输入端通过组合的 RX 和 TX 路径执行，但在专用天线连接处测量的大功率 PA 除外。所有测量均已完成。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
一般参数					
杂散发射 25MHz 至 1GHz	433.92MHz		< -57		dBm
杂散发射 1GHz 至 13GHz	根据 ETSI EN 300 220 测量传导发射		< -47		dBm
IEEE 802.15.4, 50kbps, $\pm 25\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 78kHz RX 带宽					
灵敏度	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz		-110		dBm
饱和限值	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz		10		dBm
选择性, +200kHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		48		dB
选择性, -200kHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		43		dB
选择性, +400kHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		53		dB
选择性, -400kHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		44		dB
阻断, +1MHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		60		dB
阻断, -1MHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		54		dB
阻断, +2MHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		62		dB
阻断, -2MHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		61		dB
阻断, +10MHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		75		dB
阻断, -10MHz	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		75		dB
图像抑制 (启用图像补偿)	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		44		dB
RSSI 动态范围	从灵敏度限值开始		95		dB
RSSI 精度	从给定动态范围内的灵敏度限值开始		± 3		dB
200kbps, $\pm 50\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 273kHz RX 带宽					

7.14 359MHz 至 527MHz - 接收 (RX) (续)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 、

启用 DC/DC 转换器且高功率 PA 连接到 V_{DDS} 的条件下在 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 参考设计上测得。

所有测量都在天线输入端通过组合的 RX 和 TX 路径执行，但在专用天线连接处测量的大功率 PA 除外。所有测量均已完成。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
灵敏度	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz		-104		dBm
饱和限值	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz		10		dBm
选择性, $\pm 400\text{kHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		48		dB
阻断, $\pm 1\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		52		dB
阻断, $\pm 2\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		55		dB
阻断, $\pm 10\text{MHz}$	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		68		dB
图像抑制 (启用图像补偿)	$\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		45		dB
RSSI 动态范围	从灵敏度限值开始		89		dB
RSSI 精度	从给定动态范围内的灵敏度限值开始		± 3		dB
SimpleLink™ 远距离, 2.5/5kbps (20ksp), $\pm 5\text{kHz}$ 偏差, 2-GFSK, 34kHz RX 带宽, FEC = 1:2, DSSS = 1:4/1:2					
灵敏度	2.5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz		-121		dBm
灵敏度	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz		-119		dBm
饱和限值	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz		10		dBm
选择性, $+100\text{kHz}$	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		55		dB
选择性, -100kHz	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		53		dB
阻断, $+1\text{MHz}$	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		69		dB
阻断, -1MHz	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		65		dB
阻断, $+2\text{MHz}$	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		71		dB
阻断, -2MHz	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		70		dB
阻断, $+10\text{MHz}$	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		84		dB
阻断, -10MHz	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz ⁽¹⁾		84		dB
图像抑制 (启用图像补偿)	5kbps, $\text{BER} = 10^{-2}$, 433.92MHz		49		dB
RSSI 动态范围	从灵敏度限值开始		101		dB
RSSI 精度	从给定动态范围内的灵敏度限值开始		± 3		dB

(1) 有用信号比灵敏度限值高 3dB

7.15 359MHz 至 527MHz - 发送 (TX)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{DDs} = 3.0\text{V}$ 、启用直流/直流转换器的条件下基于 LAUNCHXL-CC1352P-4 参考设计测得。

所有测量都在天线输入端通过组合的 RX 和 TX 路径执行，但在专用天线连接处测量的高功率 PA 除外。所有测量都是在传导条件下执行的。(1)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
一般参数						
最大输出功率， 常规 PA		433.92MHz，无升压 ($V_{DDR} = 1.7\text{V}$)		13		dBm
输出功率可编程范围 常规 PA		433.92MHz，无升压 ($V_{DDR} = 1.7\text{V}$)		24		dB
输出功率随温度的变化，常规 PA		+13dBm 设置。433.92MHz 在建议的工作温度范围内测试		± 1.5		dB
杂散发射和谐波						
杂散发射 (不包括谐波) 常规 PA (2)	30MHz 至 1GHz	+10dBm 设置 ETSI 限制频带		< -54		dBm
		+10dBm 设置 ETSI 超出限制频带		< -36		dBm
	1GHz 至 12.75GHz (超出 ETSI 限制频带)	+10dBm 设置 在 1MHz 带宽 (ETSI) 中测得		< -30		dBm
带外杂散发射 常规 PA，429MHz (2)	超出必要频带 (ARIB T-67)	+10dBm 设置		< -26		dBm
	710MHz 至 900MHz (ARIB T-67)	+10dBm 设置		< -55		dBm
	900MHz 至 915MHz (ARIB T-67)	+10dBm 设置		< -55		dBm
	930MHz 至 1000MHz (ARIB T-67)	+10dBm 设置		< -55		dBm
	1000MHz 至 1215MHz (ARIB T-67)	+10dBm 设置		< -45		dBm
	高于 1215MHz (ARIB T-67)	+10dBm 设置		< -30		dBm
谐波 常规 PA	二次谐波	+13dBm 设置，433MHz		< -36		dBm
谐波 常规 PA	三次谐波	+13dBm 设置，433MHz		< -30		dBm
谐波 常规 PA	四次谐波	+13dBm 设置，433MHz		< -30		dBm
谐波 常规 PA	五次谐波	+13dBm 设置，433MHz		< -30		dBm

(1) 为确保符合法规要求，某些频率、数据速率和调制格式的组合需要使用外部晶体负载电容器。更多详细信息，请参阅器件勘误表。

(2) 适用于需要满足 EN 300 220、EN 303 131、EN 303 204、FCC CFR47 第 15 部分和 ARIB STD-T108 标准的系统。

7.16 359MHz 至 527MHz - PLL 相位噪声

相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于 LAUNCHXL-CC1352P-4 参考设计测得。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
433MHz 频带中的相位噪声， 20kHz PLL 环路带宽	±10kHz 偏移		-82		dBc/Hz
	±100kHz 偏移		-105		dBc/Hz
	±200kHz 偏移		-112		dBc/Hz
	±400kHz 偏移		-119		dBc/Hz
	±1000kHz 偏移		-127		dBc/Hz
	±2000kHz 偏移		-133		dBc/Hz
	±10000kHz 偏移		-141		dBc/Hz

7.17 时序和开关特性

7.17.1 复位时序

参数	最小值	典型值	最大值	单位
RESET_N 低持续时间	1			μs

7.17.2 唤醒时间

在 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 、自然通风条件、工作温度范围内测得（除非另有说明）。此处列出的时间不包括软件开销。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
MCU，从复位到工作状态		850 - 4000			μs
MCU，从关断到工作状态		850 - 4000			μs
MCU，从待机到工作状态		160			μs
MCU，从工作到待机状态		36			μs
MCU，从空闲到工作状态		14			μs

7.17.3 时钟规格

7.17.3.1 48MHz 晶体振荡器 (XOSC_HF)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于德州仪器 (TI) 参考设计测得。⁽¹⁾

	参数	最小值	典型值	最大值	单位
	晶振频率		48		MHz
ESR	等效串联电阻 $6\text{pF} < C_L \leq 9\text{pF}$		20	60	Ω
ESR	等效串联电阻 $5\text{pF} \leq C_L \leq 6\text{pF}$			80	Ω
L_M	动态电感，与晶体使用的负载电容 (C_L ，以法拉为单位) 相关 ⁽⁵⁾		$< 3 \times 10^{-25} / C_L^2$		H
C_L	晶体负载电容 ⁽⁴⁾	5	7 ⁽³⁾	9	pF
	启动时间 ⁽²⁾		200		μs

- (1) 在启用直流/直流转换器期间探测或以其他方式停止晶体可能会对器件造成永久损坏。
- (2) 使用 TI 提供的电源驱动器时的启动时间。如果不使用驱动器，启动时间可能会增加。
- (3) 片上默认连接的电容，包括参考设计寄生电容。通过软件中的“Customer Configuration”部分 (CCFG) 可以更改连接的内部电容。
- (4) 器件中集成了可调负载电容。为了符合某些法规，系统需要外部负载电容器。请参阅器件勘误表以了解更多详细信息。
- (5) 晶体制造商的规格必须满足此要求才能确保正常运行。

7.17.3.2 48MHz RC 振荡器 (RCOSC_HF)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于德州仪器 (TI) 参考设计测得。

	最小值	典型值	最大值	单位
频率		48		MHz
未经校准的频率精度		± 1		%
校准后的频率精度 ⁽¹⁾		± 0.25		%
启动时间		5		μs

- (1) 相对于校准源 (XOSC_HF) 的精度

7.17.3.3 32.768kHz 晶体振荡器 (XOSC_LF)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于德州仪器 (TI) 参考设计测得。

	最小值	典型值	最大值	单位
晶振频率		32.768		kHz
ESR	等效串联电阻	30	100	$\text{k}\Omega$
C_L	晶体负载电容	6	7 ⁽¹⁾	pF

- (1) 使用 TI 参考设计的默认负载电容，包括寄生电容。可使用具有不同负载电容的晶体。

7.17.3.4 32kHz RC 振荡器 (RCOSC_LF)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于德州仪器 (TI) 参考设计测得。

	最小值	典型值	最大值	单位
经校准的频率		32.8		kHz
校准后的 RTC 变化 ⁽¹⁾	根据 XOSC_HF 定期校准 ⁽²⁾		± 600 ⁽³⁾	ppm
温度系数。		50		ppm/ $^\circ\text{C}$

- (1) 当使用 RCOSC_LF 作为低频系统时钟 (SCLK_LF) 源时，通过测量相对于 XOSC_HF 的 RCOSC_LF 并补偿 RTC 滴答速度，可以提高 SCLK_LF 产生的实时时钟 (RTC) 的精度。此功能可通过 TI 提供的电源驱动器实现。
- (2) 每次启用 XOSC_HF 时，TI 驱动程序软件都会校准 RTC。
- (3) 某些器件的变化可能超过 1000ppm。再进行校准也无法改善变化幅度。

7.17.4 同步串行接口 (SSI) 特性

7.17.4.1 同步串行接口 (SSI) 特性

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明)

参数编号	参数		最小值	典型值	最大值	单位
S1	$t_{\text{clk_per}}$	SSIClk 周期时间	12		65024	系统时钟 ⁽²⁾
S2 ⁽¹⁾	$t_{\text{clk_high}}$	SSIClk 高电平时间		0.5		$t_{\text{clk_per}}$
S3 ⁽¹⁾	$t_{\text{clk_low}}$	SSIClk 低电平时间		0.5		$t_{\text{clk_per}}$

- (1) 请参阅 SSI 计时示意图：图 7-1、图 7-2 和 图 7-3。
(2) 使用 TI 提供的电源驱动程序时，SSI 系统时钟始终为 48MHz。

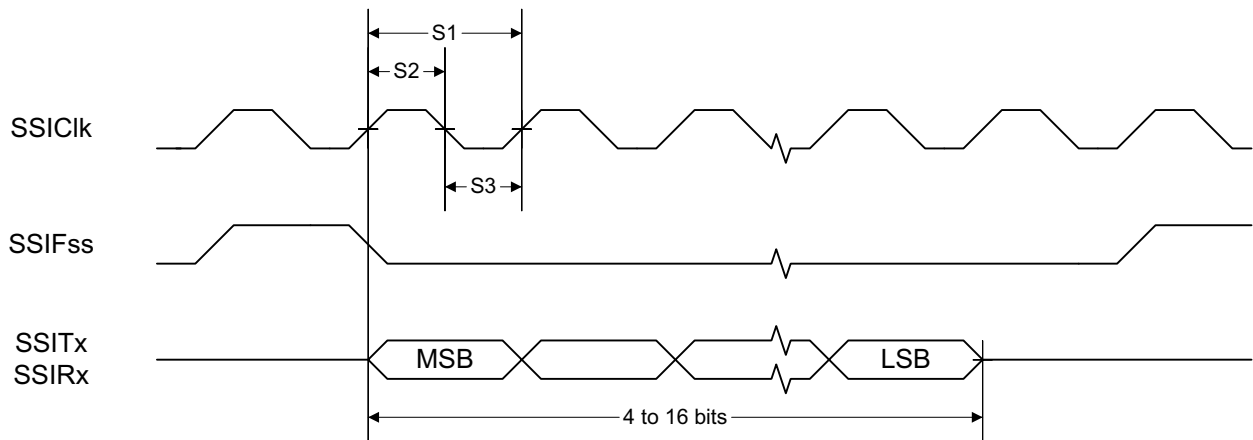


图 7-1. TI 帧格式 (FRF = 01) 的 SSI 时序，单次传输时序测量

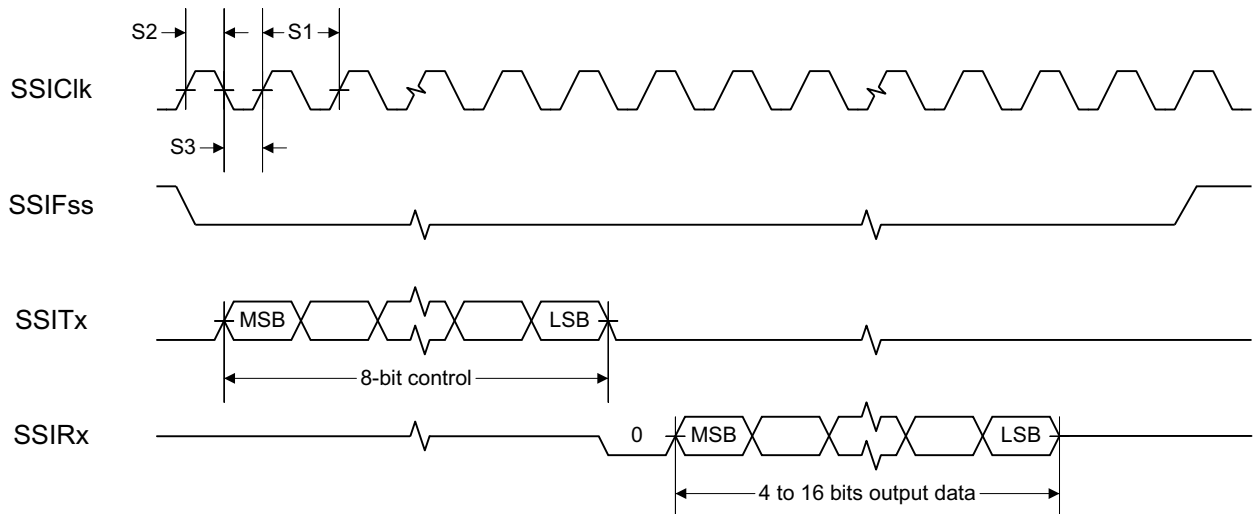


图 7-2. MICROWIRE 帧格式 (FRF = 10) 的 SSI 时序，单次传输

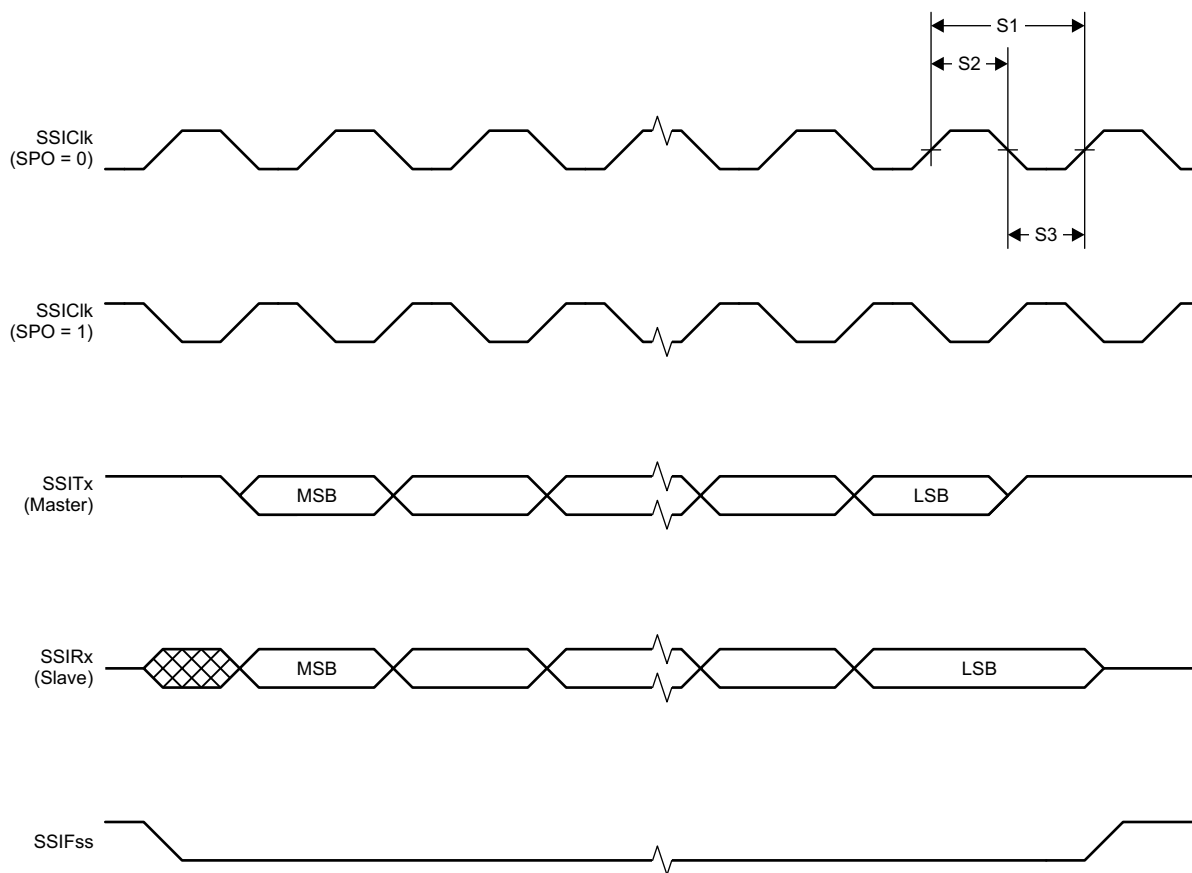


图 7-3. SPI 帧格式 (FRF = 00) 的 SSI 时序, SPH = 1

7.17.5 UART

7.17.5.1 UART 特性

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

参数	最小值	典型值	最大值	单位
UART 速率			3	MBaud

7.18 外设特性

7.18.1 ADC

7.18.1.1 模数转换器 (ADC) 特性

除非另有说明，否则 $T_c = 25^{\circ}\text{C}$ ， $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 且启用电压调节。⁽¹⁾

性能数字需要使用 TI 提供的 ADC 驱动器在软件中进行偏移和增益调整。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入电压范围		0		V_{DDS}	V
分辨率			12		位
采样速率				200	ksps
偏移	内部 4.3V 等效基准 ⁽²⁾		-0.24		LSB
增益误差	内部 4.3V 等效基准 ⁽²⁾		7.14		LSB
DNL ⁽⁴⁾	微分非线性		>-1		LSB
INL	积分非线性		±4		LSB
ENOB	有效位数	内部 4.3V 等效基准 ⁽²⁾ ，200ksps，9.6kHz 输入音调	9.8		位
		内部 4.3V 等效基准 ⁽²⁾ ，200ksps，9.6kHz 输入音调，启用直流/直流转换器	9.8		
		V_{DDS} 作为基准，200ksps，9.6kHz 输入音调	10.1		
		内部基准，禁用电压调节，32 个样本的平均值（软件），200ksps，300Hz 输入音调	11.1		
		内部基准，禁用电压调节，14 位模式，200ksps，300Hz 输入音调 ⁽⁵⁾	11.3		
		内部基准，禁用电压调节，15 位模式，200ksps，300Hz 输入音调 ⁽⁵⁾	11.6		
THD	总谐波失真	内部 4.3V 等效基准 ⁽²⁾ ，200ksps，9.6kHz 输入音调	-65		dB
		V_{DDS} 作为基准，200ksps，9.6kHz 输入音调	-70		
		内部基准，禁用电压调节，32 个样本的平均值，200ksps，300Hz 输入音调	-72		
SINAD，SNDR	信噪比和失真比	内部 4.3V 等效基准 ⁽²⁾ ，200ksps，9.6kHz 输入音调	60		dB
		V_{DDS} 作为基准，200ksps，9.6kHz 输入音调	63		
		内部基准，禁用电压调节，32 个样本的平均值（软件），200ksps，300Hz 输入音调	68		
SFDR	无杂散动态范围	内部 4.3V 等效基准 ⁽²⁾ ，200ksps，9.6kHz 输入音调	70		dB
		V_{DDS} 作为基准，200ksps，9.6kHz 输入音调	73		
		内部基准，禁用电压调节，32 个样本的平均值（软件），200ksps，300Hz 输入音调	75		
	转换时间	串行转换，输出时间，24MHz 时钟	50		时钟周期
	电流消耗	内部 4.3V 等效基准 ⁽²⁾	0.39		mA
	电流消耗	V_{DDS} 作为基准	0.56		mA
	基准电压	等效固定内部基准（启用输入电压调节）。为了获得理想精度，应通过 TI-RTOS API 启动 ADC 转换，以便包含存储在 FCFG1 中的增益/偏移补偿系数	4.3 ⁽²⁾ ⁽³⁾		V

7.18.1.1 模数转换器 (ADC) 特性 (续)

除非另有说明, 否则 $T_c = 25^\circ\text{C}$, $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 且启用电压调节。(1)

性能数字需要使用 TI 提供的 ADC 驱动器在软件中进行偏移和增益调整。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
基准电压	固定内部基准 (禁用输入电压调节)。为了获得理想精度, 应通过 TI-RTOS API 启动 ADC 转换, 以便包含存储在 FCFG1 中的增益/偏移补偿系数。该值通过经调节的值 (4.3V) 推导得出, 如下所示: $V_{\text{ref}} = 4.3\text{V} \times 1408 / 4095$		1.48		V
基准电压	VDDS 作为基准, 启用输入电压调节		VDDS		V
基准电压	VDDS 作为基准, 禁用输入电压调节		VDDS / 2.82 ⁽³⁾		V
输入阻抗	200ksps, 启用电压调节。电容输入, 输入阻抗取决于采样频率和采样时间		>1		MΩ

- (1) 使用 IEEE 标准 1241-2010 作为术语和测试方法
- (2) 转换前在内部按比例降低输入信号, 如同电压范围是 0 至 4.3V 一样
- (3) 施加的电压必须始终处于绝对最大额定值范围内
- (4) 无丢码
- (5) $\text{ADC_output} = \Sigma (4^n \text{ 样本数}) \gg n$, n = 所需的额外位数

7.18.2 DAC

7.18.2.1 数模转换器 (DAC) 特性

除非另有说明, 否则 $T_c = 25^\circ\text{C}$, $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
一般参数						
	分辨率		8			位
V _{DDS}	电源电压	任意负载, 任意 V _{REF} , 预充电关闭, DAC 电荷泵开启	1.8	3.8		V
		外部负载 ⁽⁴⁾ , 任意 V _{REF} , 预充电关闭, DAC 电荷泵关闭	2.0	3.8		
		任意负载, V _{REF} = DCOUPL, 预充电开启	2.6	3.8		
F _{DAC}	时钟频率	缓冲器开启 (建议用于外部负载)	16	250		kHz
		缓冲器关闭 (内部负载)	16	1000		
	电压输出稳定时间	V _{REF} = V _{DDS} , 缓冲器关闭, 内部负载	13			1 / F _{DAC}
		V _{REF} = V _{DDS} , 缓冲器开启, 外部容性负载 = 20pF ⁽³⁾	13.8			
	外部容性负载		20	200		pF
	外部阻性负载		10			M Ω
	短路电流			400		μA
Z _{MAX}	最大输出阻抗 Vref = V _{DDS} , 缓冲器开启, CLK 250kHz	V _{DDS} = 3.8V, DAC 电荷泵关闭	50.8			k Ω
		V _{DDS} = 3.0V, DAC 电荷泵开启	51.7			
		V _{DDS} = 3.0V, DAC 电荷泵关闭	53.2			
		V _{DDS} = 2.0V, DAC 电荷泵开启	48.7			
		V _{DDS} = 2.0V, DAC 电荷泵关闭	70.2			
		V _{DDS} = 1.8V, DAC 电荷泵开启	46.3			
		V _{DDS} = 1.8V, DAC 电荷泵关闭	88.9			
内部负载 - 连续时间比较器/低功耗时钟比较器						
DNL	微分非线性	V _{REF} = V _{DDS} , 负载 = 连续时间比较器或低功耗时钟比较器 F _{DAC} = 250kHz	±1			LSB ⁽¹⁾
	微分非线性	V _{REF} = V _{DDS} , 负载 = 连续时间比较器或低功耗时钟比较器 F _{DAC} = 16kHz	±1.2			

7.18.2.1 数模转换器 (DAC) 特性 (续)

除非另有说明, 否则 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
偏移误差 ⁽²⁾ 负载 = 连续时间比较器	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.8\text{V}$		±0.64		LSB ⁽¹⁾
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$		±0.81		
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 1.8\text{V}$		±1.27		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电开启		±3.43		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电关闭		±2.88		
	$V_{\text{REF}} = \text{ADCREf}$		±2.37		
偏移误差 ⁽²⁾ 负载 = 低功耗时钟比较器	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.8\text{V}$		±0.78		LSB ⁽¹⁾
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$		±0.77		
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 1.8\text{V}$		±3.46		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电开启		±3.44		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电关闭		±4.70		
	$V_{\text{REF}} = \text{ADCREf}$		±4.11		
最大代码输出电压变化 ⁽²⁾ 负载 = 连续时间比较器	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.8\text{V}$		±1.53		LSB ⁽¹⁾
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$		±1.71		
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 1.8\text{V}$		±2.10		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电开启		±6.00		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电关闭		±3.85		
	$V_{\text{REF}} = \text{ADCREf}$		±5.84		
最大代码输出电压变化 ⁽²⁾ 负载 = 低功耗时钟比较器	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.8\text{V}$		±2.92		LSB ⁽¹⁾
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$		±3.06		
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 1.8\text{V}$		±3.91		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电开启		±7.84		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电关闭		±4.06		
	$V_{\text{REF}} = \text{ADCREf}$		±6.94		
输出电压范围 ⁽²⁾ 负载 = 连续时间比较器	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.8\text{V}$, 代码 1		0.03		V
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.8\text{V}$, 代码 255		3.62		
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$, 代码 1		0.02		
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$, 代码 255		2.86		
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 1.8\text{V}$, 代码 1		0.01		
	$V_{\text{REF}} = V_{\text{DDS}} = 1.8\text{V}$, 代码 255		1.71		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电关闭, 代码 1		0.01		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电关闭, 代码 255		1.21		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电开启, 代码 1		1.27		
	$V_{\text{REF}} = \text{DCOUPPL}$, 预充电开启, 代码 255		2.46		
	$V_{\text{REF}} = \text{ADCREf}$, 代码 1		0.01		
	$V_{\text{REF}} = \text{ADCREf}$, 代码 255		1.41		

7.18.2.1 数模转换器 (DAC) 特性 (续)

除非另有说明, 否则 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
	输出电压范围 ⁽²⁾ 负载 = 低功耗时钟比较器	V _{REF} = V _{DDS} = 3.8V, 代码 1		0.03		V
		V _{REF} = V _{DDS} = 3.8V, 代码 255		3.61		
		V _{REF} = V _{DDS} = 3.0V, 代码 1		0.02		
		V _{REF} = V _{DDS} = 3.0V, 代码 255		2.85		
		V _{REF} = V _{DDS} = 1.8V, 代码 1		0.01		
		V _{REF} = V _{DDS} = 1.8V, 代码 255		1.71		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电关闭, 代码 1		0.01		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电关闭, 代码 255		1.21		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电开启, 代码 1		1.27		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电开启, 代码 255		2.46		
		V _{REF} = ADCREF, 代码 1		0.01		
		V _{REF} = ADCREF, 代码 255		1.41		
外部负载 (Keysight 34401A 万用表)						
INL	积分非线性	V _{REF} = V _{DDS} , F _{DAC} = 250kHz		±1		LSB ⁽¹⁾
		V _{REF} = DCOUPL, F _{DAC} = 250kHz		±1		
		V _{REF} = ADCREF, F _{DAC} = 250kHz		±1		
DNL	微分非线性	V _{REF} = V _{DDS} , F _{DAC} = 250kHz		±1		LSB ⁽¹⁾
	偏移误差	V _{REF} = V _{DDS} = 3.8V		±0.20		LSB ⁽¹⁾
		V _{REF} = V _{DDS} = 3.0V		±0.25		
		V _{REF} = V _{DDS} = 1.8V		±0.45		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电开启		±1.55		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电关闭		±1.30		
		V _{REF} = ADCREF		±1.10		
	最大代码输出电压变化	V _{REF} = V _{DDS} = 3.8V		±0.60		LSB ⁽¹⁾
		V _{REF} = V _{DDS} = 3.0V		±0.55		
		V _{REF} = V _{DDS} = 1.8V		±0.60		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电开启		±3.45		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电关闭		±2.10		
		V _{REF} = ADCREF		±1.90		
	输出电压范围 负载 = 低功耗时钟比较器	V _{REF} = V _{DDS} = 3.8V, 代码 1		0.03		V
		V _{REF} = V _{DDS} = 3.8V, 代码 255		3.61		
		V _{REF} = V _{DDS} = 3.0V, 代码 1		0.02		
		V _{REF} = V _{DDS} = 3.0V, 代码 255		2.85		
		V _{REF} = V _{DDS} = 1.8V, 代码 1		0.02		
		V _{REF} = V _{DDS} = 1.8V, 代码 255		1.71		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电关闭, 代码 1		0.02		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电关闭, 代码 255		1.20		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电开启, 代码 1		1.27		
		V _{REF} = DCOUPL, 预充电开启, 代码 255		2.46		
		V _{REF} = ADCREF, 代码 1		0.02		
		V _{REF} = ADCREF, 代码 255		1.42		

(1) $1 \text{ LSB } (V_{\text{REF}} 3.8\text{V}/3.0\text{V}/1.8\text{V}/\text{DCOUP}/\text{ADCRE}) = 14.10\text{mV}/11.13\text{mV}/6.68\text{mV}/4.67\text{mV}/5.48\text{mV}$

(2) 包括比较器偏移

(3) 大于 20pF 的负载会增加稳定时间

(4) Keysight 34401A 万用表

7.18.3 温度和电池监测器

7.18.3.1 温度传感器

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于德州仪器 (TI) 参考设计测得。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
分辨率			2		$^\circ\text{C}$
精度	-40°C 至 0°C		± 4.0		$^\circ\text{C}$
精度	0°C 至 105°C		± 2.5		$^\circ\text{C}$
电源电压系数 ⁽¹⁾			3.9		$^\circ\text{C}/\text{V}$

(1) 使用 TI 提供的驱动器时，温度传感器会自动补偿 V_{DDS} 变化。

7.18.3.2 电池监测器

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 的条件下基于德州仪器 (TI) 参考设计测得。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
分辨率			25		mV
范围		1.8		3.8	V
积分非线性 (最大值)			23		mV
精度	$V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$		22.5		mV
偏移误差			-32		mV
增益误差			-1		%

7.18.4 比较器

7.18.4.1 持续时间比较器

除非另有说明，否则 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入电压范围 ⁽¹⁾		0		V_{DDS}	V
偏移	在 $V_{\text{DDS}} / 2$ 处测量		± 5		mV
决策时间	从 -10mV 步进到 10mV		0.78		μs
电流消耗	内部基准		9.2		μA

(1) 输入电压可以在外部生成并连接到整个 I/O，也可以使用 DAC 生成内部基准电压

7.18.5 GPIO

7.18.5.1 GPIO 直流特性

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
T_A = 25°C, V_{DD5} = 1.8V					
负载为 8mA 时的 GPIO VOH	IOCURR = 2, 仅高驱动 GPIO		1.56		V
负载为 8mA 时的 GPIO VOL	IOCURR = 2, 仅高驱动 GPIO		0.24		V
负载为 4mA 时的 GPIO VOH	IOCURR = 1		1.59		V
负载为 4mA 时的 GPIO VOL	IOCURR = 1		0.21		V
GPIO 上拉电流	输入模式, 启用上拉, V _{pad} = 0V		73		μA
GPIO 下拉电流	输入模式, 启用下拉, V _{pad} = V _{DD5}		19		μA
GPIO 低电平至高电平输入转换, 具有迟滞功能	IH = 1, 输入读数为 0 → 1 的转换电压		1.08		V
GPIO 高电平至低电平输入转换, 具有迟滞功能	IH = 1, 输入读数为 1 → 0 的转换电压		0.73		V
GPIO 输入迟滞	IH = 1, 0 → 1 和 1 → 0 点之间的差异		0.35		V
T_A = 25°C, V_{DD5} = 3.0V					
负载为 8mA 时的 GPIO VOH	IOCURR = 2, 仅高驱动 GPIO		2.59		V
负载为 8mA 时的 GPIO VOL	IOCURR = 2, 仅高驱动 GPIO		0.42		V
负载为 4mA 时的 GPIO VOH	IOCURR = 1		2.63		V
负载为 4mA 时的 GPIO VOL	IOCURR = 1		0.40		V
T_A = 25°C, V_{DD5} = 3.8V					
GPIO 上拉电流	输入模式, 启用上拉, V _{pad} = 0V		282		μA
GPIO 下拉电流	输入模式, 启用下拉, V _{pad} = V _{DD5}		110		μA
GPIO 低电平至高电平输入转换, 具有迟滞功能	IH = 1, 输入读数为 0 → 1 的转换电压		1.97		V
GPIO 高电平至低电平输入转换, 具有迟滞功能	IH = 1, 输入读数为 1 → 0 的转换电压		1.55		V
GPIO 输入迟滞	IH = 1, 0 → 1 和 1 → 0 点之间的差异		0.42		V
T_A = 25°C					
VIH	最低 GPIO 输入电压明确解读为高电平	0.8*V _{DD5}			V
VIL	最高 GPIO 输入电压明确解读为低电平		0.2*V _{DD5}		V

7.19 典型特性

除非另有说明，否则本节中的所有测量都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{\text{DD}} = 3.0\text{V}$ 的条件下完成的。如需了解器件限制，请参阅 [建议运行条件](#) 节 7.3。超出这些限制的值仅供参考。

7.19.1 MCU 电流

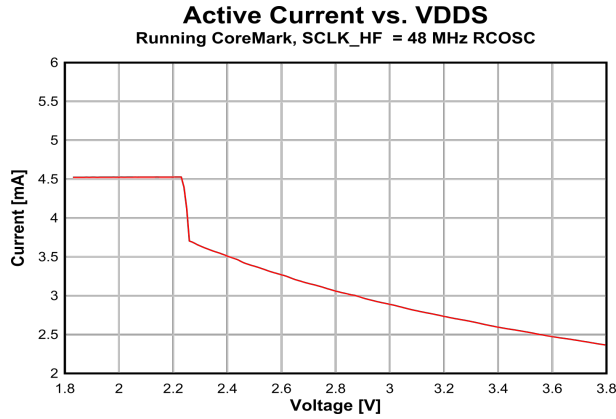


图 7-4. 工作模式 (MCU) 电流与电源电压 (VDD) 间的关系

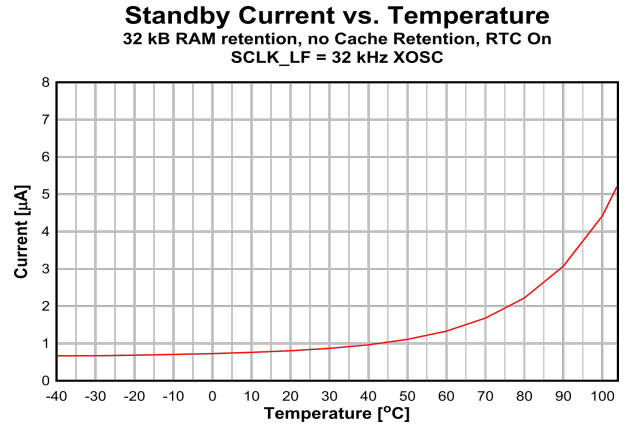


图 7-5. 待机模式 (MCU) 电流与温度间的关系

7.19.2 RX 电流

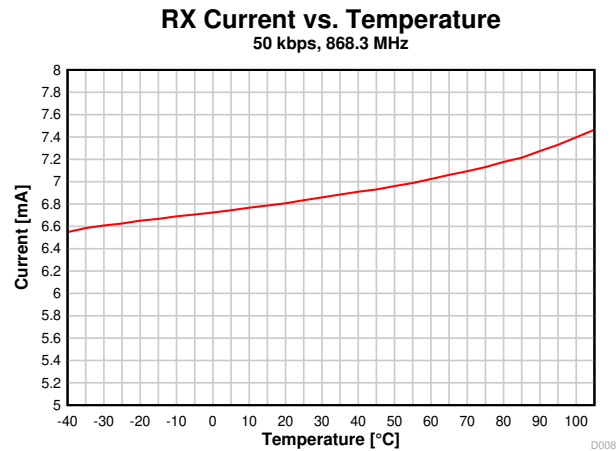


图 7-6. RX 电流与温度间的关系 (50kbps , 868.3MHz)

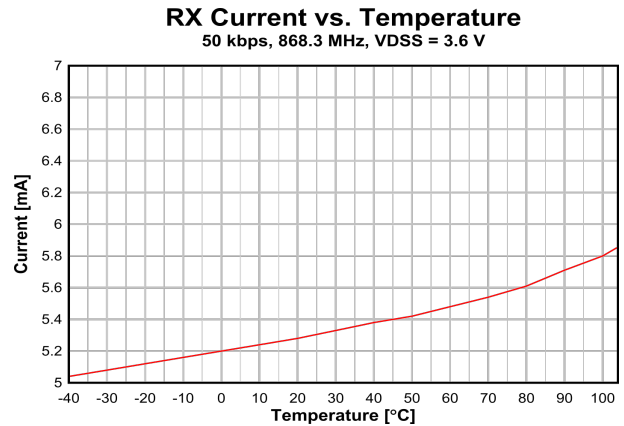


图 7-7. RX 电流与温度间的关系 (50kbps , 868.3MHz , VDD = 3.6)

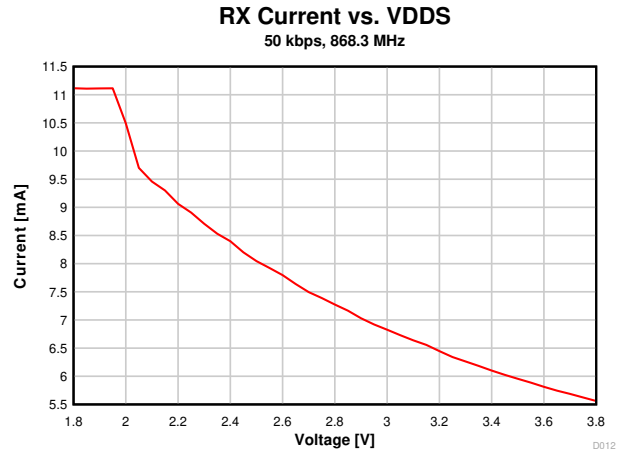


图 7-8. RX 电流与电源电压 (VDD5) 间的关系 (50kbps , 868.3MHz)

7.19.3 TX 电流

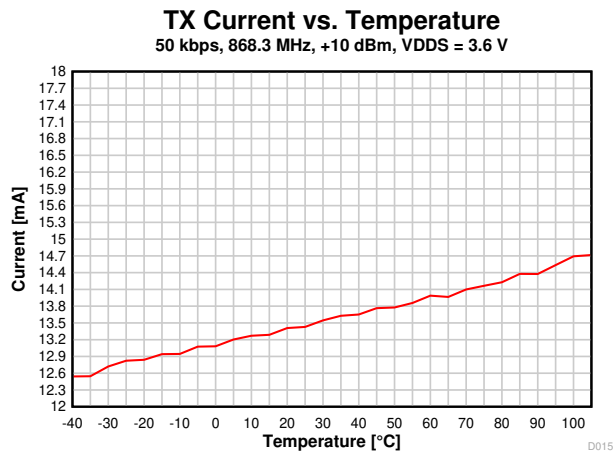


图 7-9. TX 电流与温度间的关系 (50kbps , 868.3MHz , VDD5 = 3.6V)

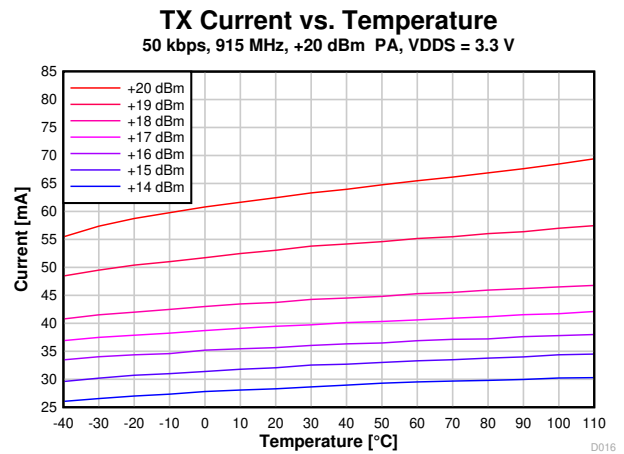


图 7-10. TX 电流与温度间的关系 (50kbps , 915MHz , VDD5 = 3.3V)

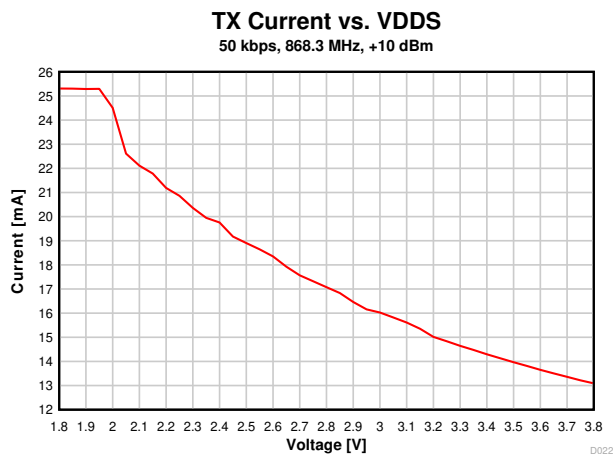


图 7-11. TX 电流与电源电压 (VDD5) 间的关系 (50kbps , 868.3MHz)

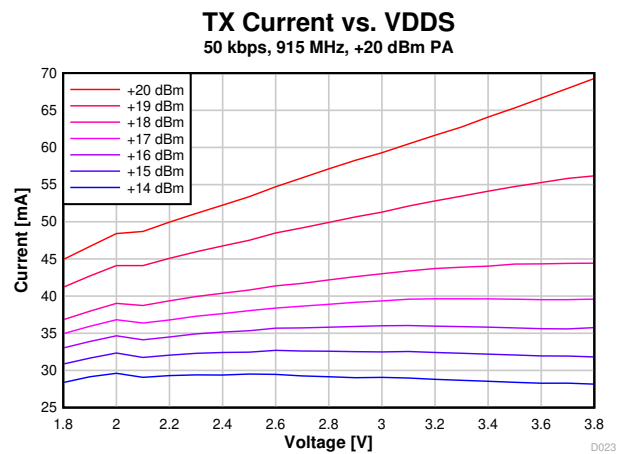


图 7-12. TX 电流与电源电压 (VDD5) 间的关系 (50kbps , 915MHz)

表 7-2 显示了 不同输出功率设置的典型 TX 电流和输出功率。

表 7-1. 典型 TX 电流和输出功率，大功率 PA (915MHz , VDDS = 3.3V)

CC1311P3 , 915MHz , VDDS = 3.3V (在 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 上测得)			
txPower	TX 功率设置 (SmartRF Studio)	典型输出功率 [dBm]	典型电流消耗 [mA]
0x1B8ED2	20	20.6	64.9
0x448CF	19	19.5	55.4
0x48022	18	18.0	46.0
0x2661C	17	17.1	41.5
0x5618	16	16.2	37.6
0x4812	15	15.2	33.9
0x380D	14	14.0	30.2

表 7-2. 典型 TX 电流和输出功率 (868MHz , VDDS = 3.0V)

CC1311P3 , 868MHz , VDDS = 3.0V (在 CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 上测得)			
txPower	TX 功率设置 (SmartRF Studio)	典型输出功率 [dBm]	典型电流消耗 [mA]
0x013F ¹	14	13.8	30.0
0xB224	12.5	12.2	21.5
0x895E	12	11.8	20.3
0x669A	11	10.8	18.1
0x3E92	10	9.8	16.4
0x3EDC	9	8.9	15.5
0x2CD8	8	8.1	14.5
0x26D4	7	7.0	13.3
0x20D1	6	5.8	12.2
0x1CCE	5	4.4	10.9
0x16CD	4	3.7	10.5
0x14CB	3	2.2	9.7
0x12CA	2	1.5	9.2
0x12C9	1	0.6	8.8
0x10C8	0	-0.5	8.3
0xAC4	-5	-7.3	6.5
0xAC2	-10	-13.1	5.6
0x6C1	-15	-18.3	5.2
0x4C0	-20	-22.6	4.9

¹ 增强模式被启用。VDDR 稳压至 1.95V。

7.19.4 RX 性能

Sensitivity vs. Frequency
50 kbps

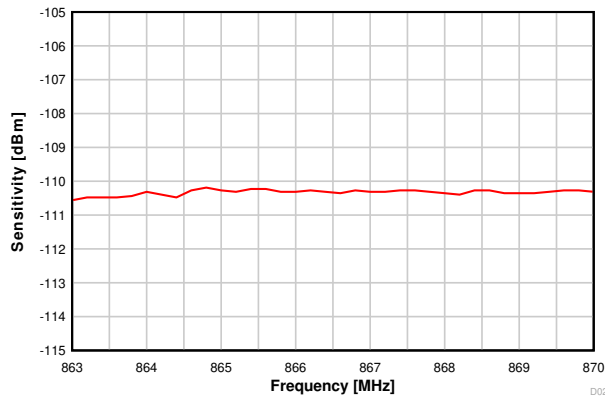


图 7-13. 灵敏度与频率间的关系 (50kbps, 868MHz)

Sensitivity vs. Frequency
50 kbps

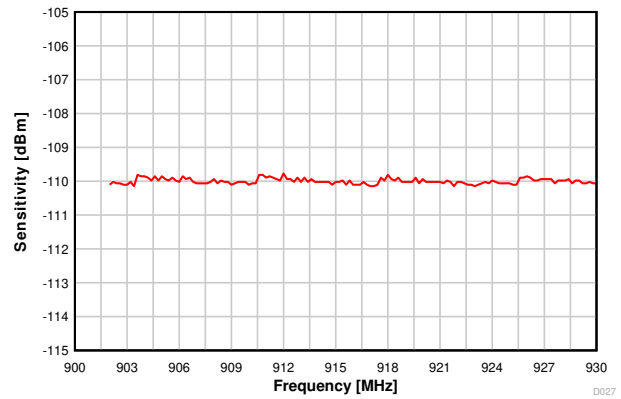


图 7-14. 灵敏度与频率间的关系 (50kbps, 915MHz)

Sensitivity vs. Temperature
50 kbps, 868.3 MHz

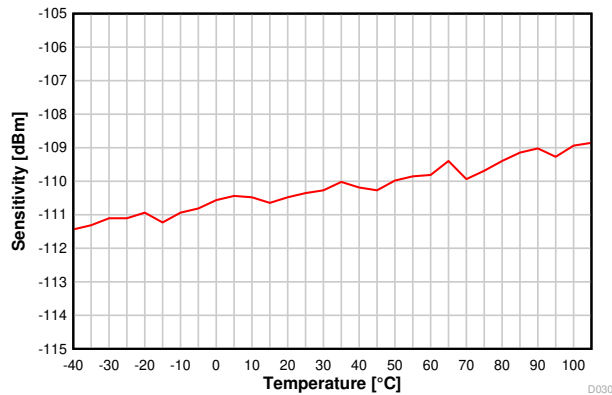


图 7-15. 灵敏度与温度间的关系 (50kbps, 868.3MHz)

Sensitivity vs. VDD
50 kbps, 868.3 MHz

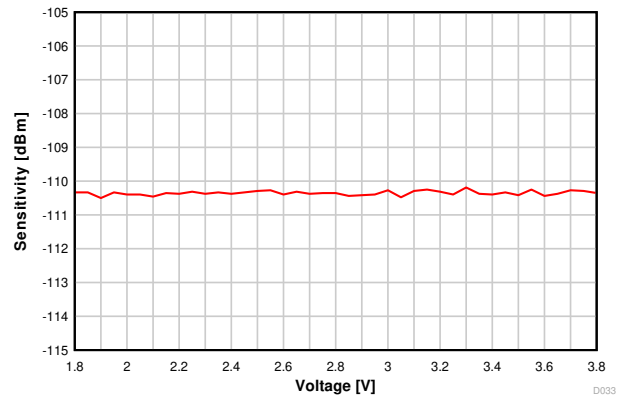


图 7-16. 灵敏度与电源电压 (VDD) 间的关系 (50kbps, 868.3MHz)

Selectivity vs. Frequency Offset
50 kbps, 868.3 MHz

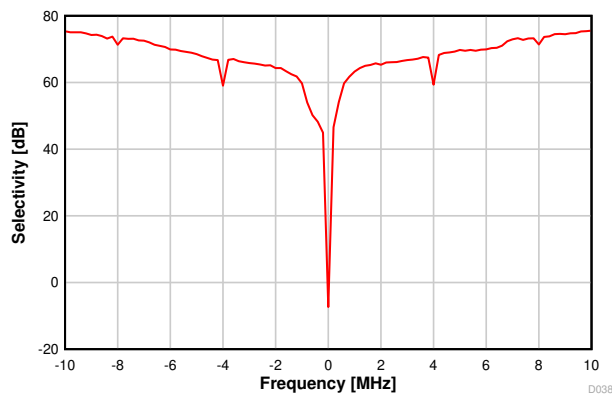


图 7-17. 选择性与频率偏移间的关系 (50kbps, 868.3MHz)

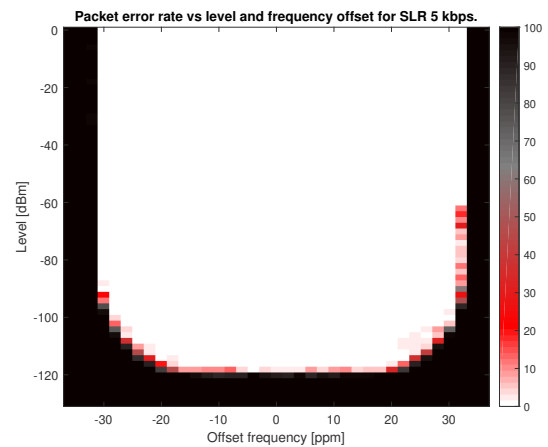


图 7-18. PER 与电平与频率间的关系 (SimpleLink™ 远距离 5kbps, 868MHz)

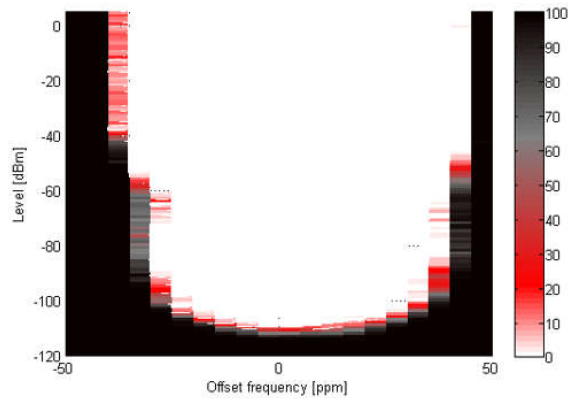


图 7-19. 802.15.4 , 50kbps , $\pm 25\text{kHz}$ 偏差 , 2-GFSK , 100kHz RX 带宽

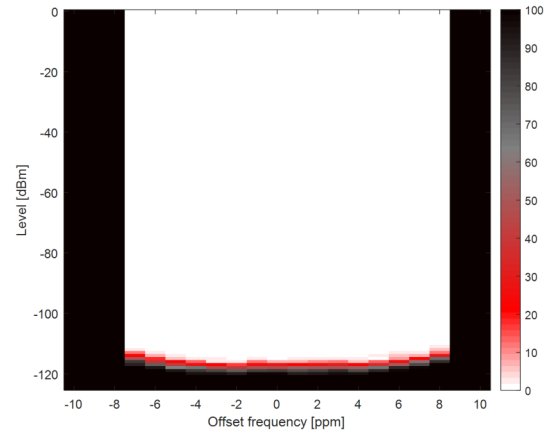


图 7-20. 窄带 , 9.6kbps $\pm 2.4\text{kHz}$ 偏差 , 2-GFSK , 868MHz , 17.1kHz RX 带宽

7.19.5 TX 性能

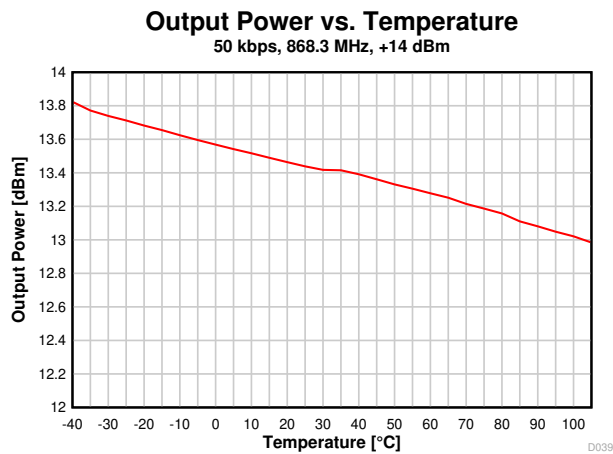


图 7-21. 输出功率与温度间的关系 (50kbps , 868.3MHz)

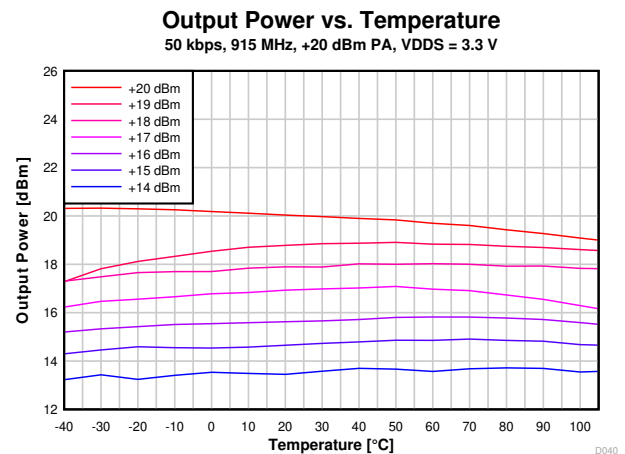


图 7-22. 输出功率与温度间的关系 (50kbps , 915MHz)

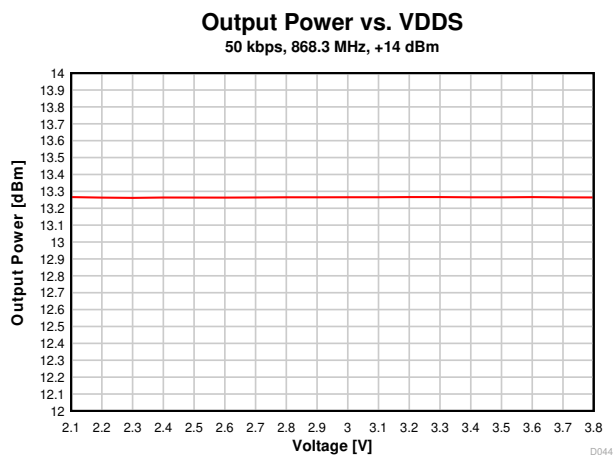


图 7-23. 输出功率与电源电压 (VDD5) 间的关系 (50kbps , 868.3MHz)

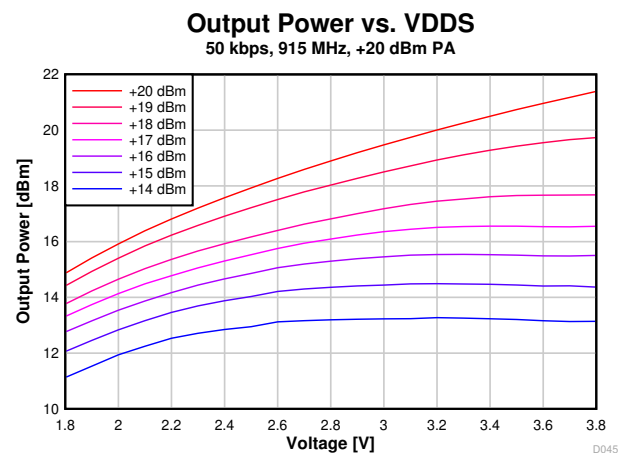


图 7-24. 输出功率与电源电压 (VDD5) 间的关系 (50kbps , 915MHz)

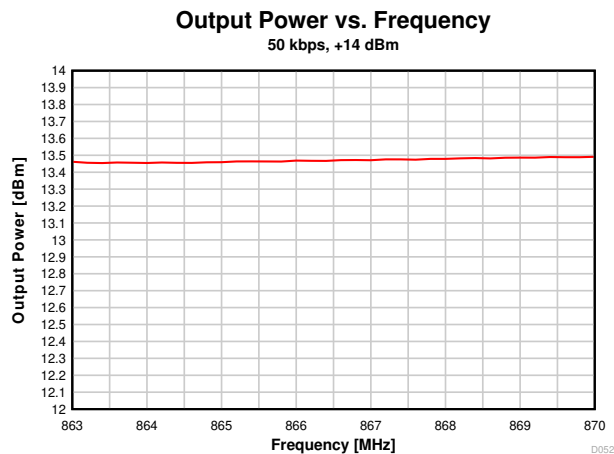


图 7-25. 输出功率与频率间的关系 (50kbps , 868MHz)

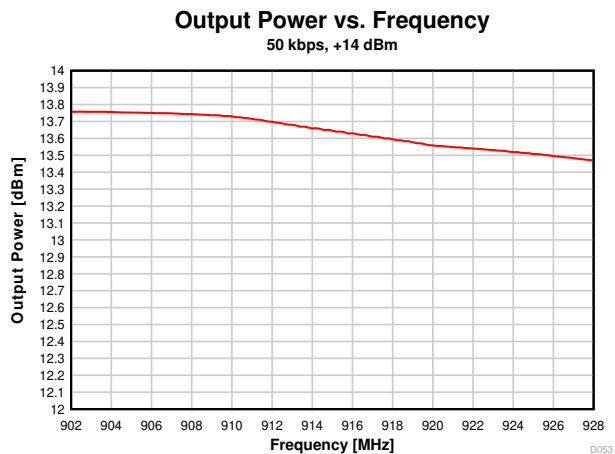


图 7-26. 输出功率与频率间的关系 (50kbps , 915MHz)

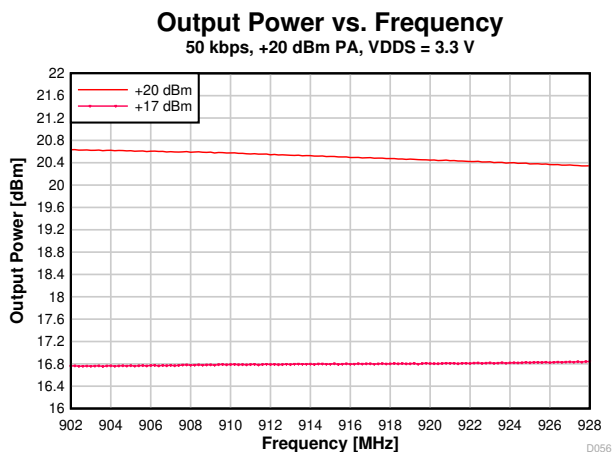


图 7-27. 输出功率与频率间的关系 (50kbps , 915MHz , VDDS = 3.3V)

7.19.6 ADC 性能

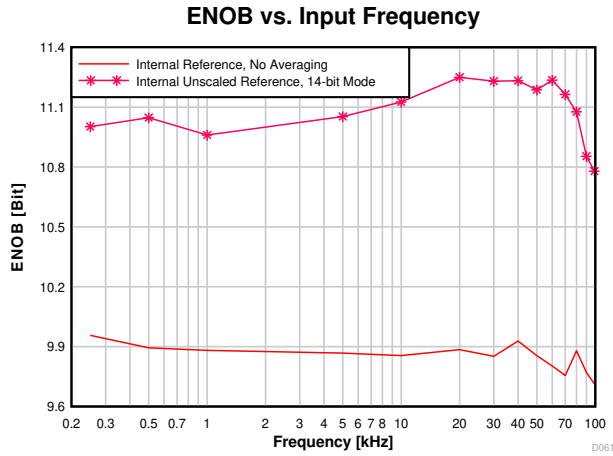


图 7-28. ENOB 与输入频率间的关系

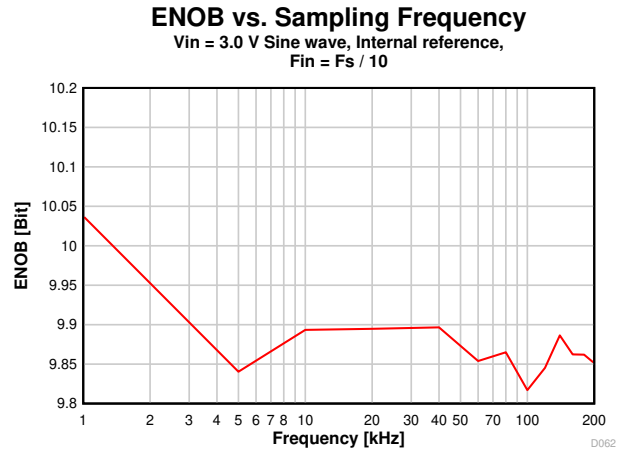


图 7-29. ENOB 与采样频率间的关系

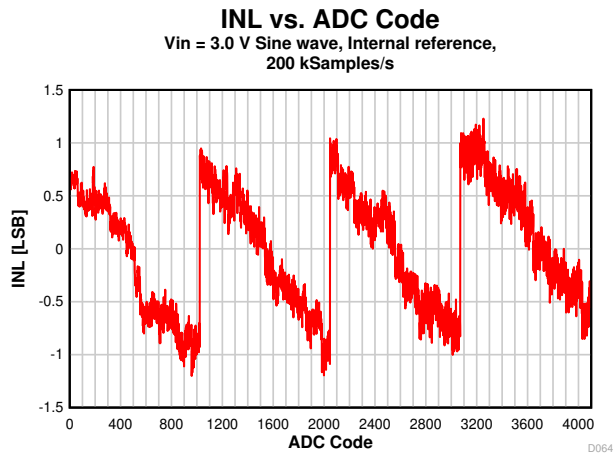


图 7-30. INL 与 ADC 代码间的关系

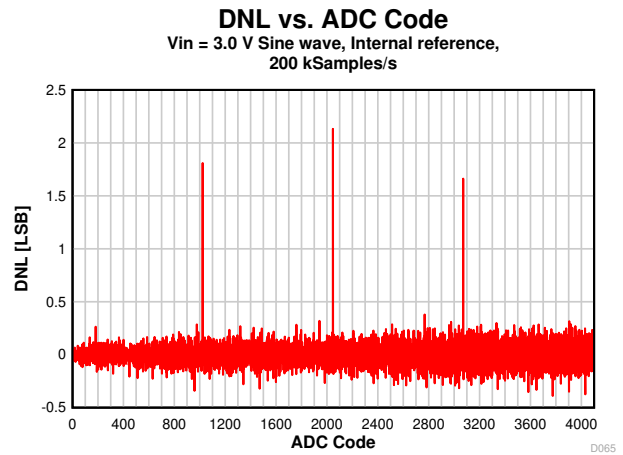


图 7-31. DNL 与 ADC 代码间的关系

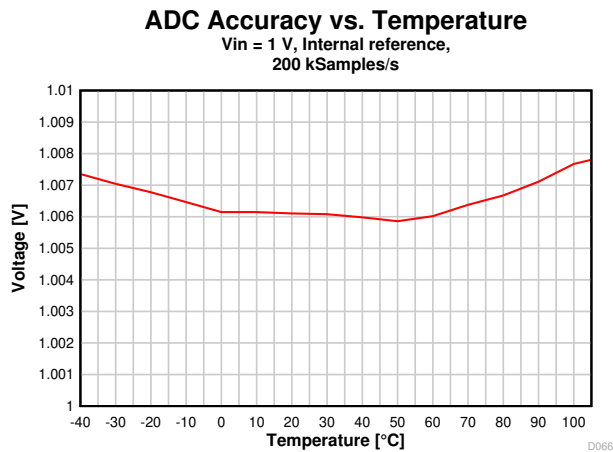


图 7-32. ADC 精度与温度间的关系

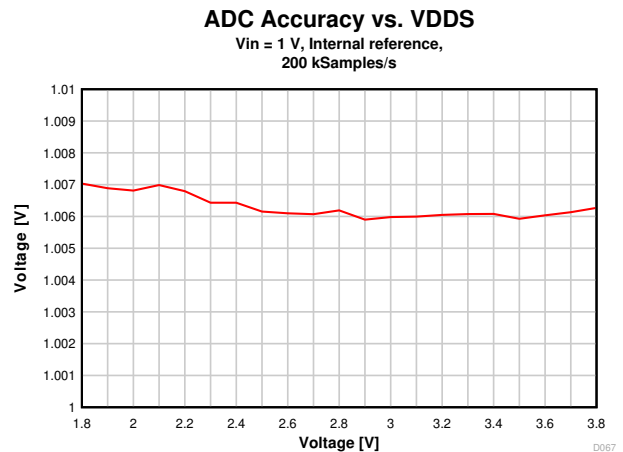


图 7-33. ADC 精度与电源电压 (VDD) 间的关系

8 详细说明

8.1 概述

节 4 展示了 CC1311P3 器件的核心模块。

8.2 系统 CPU

CC1311P3 SimpleLink™ 无线 MCU 包含一个可运行应用程序和更高层无线电协议栈的 Arm® Cortex®-M4 系统 CPU。

系统 CPU 是高性能、低成本平台的基础，满足系统对于减小存储器和降低功耗的要求，同时还能提供出色的计算性能和优越的系统中断响应能力。

该器件的特性包括：

- ARMv7-M 架构针对小型嵌入式应用进行了优化
- Arm Thumb®-2 混合 16 位和 32 位指令集以更小的存储器提供 32 位 Arm 内核应有的高性能
- 快速代码执行功能可增加睡眠模式时间
- 对时序敏感型应用的确定性、高性能中断处理
- 单周期乘法指令和硬件除法
- 面向硬件除法和快速数字信号处理的乘法累加运算
- 用于信号处理的饱和算术
- 通过数据匹配功能生成观察点以进行全面调试
 - 数据观察点和跟踪单元 (DWT)
 - JTAG 调试访问端口 (DAP)
 - 闪存补丁和断点单元 (FPB)
- 跟踪支持能力减少了调试和跟踪所需的引脚数
 - 仪表跟踪宏单元 (ITM)
 - 跟踪端口接口单元 (TPIU) 具有异步串行线输出 (SWO)
- 针对单周期闪存存储器访问进行了优化
- 紧密连接到 8KB 4 路随机替换高速缓存，最大程度减少工作功耗和等待状态
- 通过集成睡眠模式实现超低功耗
- 48MHz 工作频率
- 1.25 DMIPS/MHz

8.3 无线电 (射频内核)

射频内核是一款高度灵活且面向未来的无线电模块，包含一个 **Arm Cortex-M0** 处理器，用于连接模拟射频和基带电路、处理进出系统 **CPU** 端的数据，并将信息位汇编到给定数据包结构中。射频内核向主 **CPU** 提供基于命令的高层 **API**，配置和数据都是通过该 **API** 传递的。客户不能对 **Arm Cortex-M0** 处理器进行编程，该处理器通过 **SimpleLink** 软件开发套件 (**SDK**) 中由 **TI** 提供的射频驱动程序进行连接。

射频内核可以自主处理无线电协议的时间关键方面，从而减轻主 **CPU** 的负担，这将降低功耗并为用户应用程序留出更多资源。还有多个信号可用于自主控制外部电路，例如射频开关或范围扩展器。

各种物理层无线电格式会部分构建为软件定义无线电，在软件定义的无线电中，无线电行为由无线电 **ROM** 内容定义，或由通过 **SimpleLink SDK** 以固件补丁形式提供的非 **ROM** 无线电格式定义。这使得无线电平台能够进行更新以支持未来版本的标准，甚至可以在使用同一款器件的情况下进行无线 (**OTA**) 更新。

备注

本章所描述的所有特性、频率、数据速率和调制格式的组合并不一定都受支持。**TI** 可能会逐渐为器件启用新的物理无线电格式 (**PHY**)，并在数据表中提供所选 **PHY** 的性能数据。特定器件支持的无线电格式 (包括与 **TI** 射频驱动程序一起使用的优化设置) 包含在 **SmartRF Studio** 工具中，可在 [节 7](#) 找到所选格式的性能数据。

8.3.1 专有无线电格式

通过一组硬件外设，再结合器件 ROM 中提供的固件，CC1311P3 无线电可支持多种物理无线电格式，可满足各种客户对优化不同参数（如速度或灵敏度）的需求。因此，在优化无线电以使用传统协议以及根据特定应用需求定制行为方面有着极大的灵活性。

表 8-1 简要概述了 ROM 中提供的各种无线电格式的特性。其他无线电格式可以通过软件开发套件 (SDK) 以无线电固件补丁或程序的形式提供，并且可以以不同方式组合特性，也可以添加其他特性。

表 8-1. 特性支持

功能	主 2-(G)FSK 模式	高数据速率	低数据速率	SimpleLink™ 远距离
可编程前导码、同步字和 CRC	是	是	是	否
可编程接收带宽	是	是	是 (低至 4kHz)	是
数据/符号速率 ⁽³⁾	20kbps 至 1000kbps	≤ 2Msps	≤ 100ksps	≤ 20ksps
调制格式	2-(G)FSK	2-(G)FSK 4-(G)FSK	2-(G)FSK 4-(G)FSK	2-(G)FSK
双同步字	是	是	否	否
载波侦听 ^{(1) (2)}	是	否	否	否
前导码检测 ⁽²⁾	是	是	是	否
数据白化	是	是	是	是
数字 RSSI	是	是	是	是
CRC 滤波	是	是	是	是
直接序列展频 (DSSS)	否	否	否	1:2 1:4 1:8
正向纠错 (FEC)	否	否	否	是
链路质量指标 (LQI)	是	是	是	是

- (1) 载波侦听可用于实施硬件控制的先听后说 (LBT) 和空闲信道评估 (CCA)，以符合监管标准中的此类要求。这可通过 CMD_PROP_CS 无线电 API 实现。
- (2) 载波侦听和前导码检测可用于实现嗅探模式，在这种模式下，无线电会循环工作以节省电量。
- (3) 数据速率仅供参考。超出此范围的数据速率也可能受支持。对于某些特定的设置组合，可能支持更小的范围。

8.4 存储器

高达 352KB 的非易失性 (闪存) 存储器可以存储代码和数据。闪存存储器是系统内可编程和可擦除的存储器。闪存存储器最后一个扇区必须包含客户配置部分 (CCFG)；引导 ROM 和 TI 提供的驱动程序使用该部分来配置器件。此配置是通过 `ccfg.c` 源文件完成的，TI 提供的所有示例中都包含该文件。

超低泄漏系统静态 RAM (SRAM) 是一个单个的 32KB 块，可用于存储数据和执行代码。默认情况下，允许在待机功耗模式下保留 SRAM 内容，其中包括待机模式功耗数值。

为了在从非易失性存储器执行代码时提高代码执行速度并降低功耗，默认会启用 4 路非关联 8KB 高速缓存，用于存入和预取由系统 CPU 读取的指令。高速缓存可以用作通用 RAM，只需在客户配置区 (CCFG) 中启用此功能即可。

ROM 包含可用于器件初始编程的串行 (SPI 和 UART) 引导加载程序。

8.5 加密

CC1311P3 器件随附了大量与加密相关的硬件加速器，可降低加密操作的代码占用空间和执行时间。由于加密操作在后台硬件线程中运行，因此该器件还具有功耗较低的优点，并提高了可用性和系统响应能力。

硬件加速器模块如下：

- **真随机数发生器 (TRNG)** 模块提供真实、非确定性的噪声源，用于生成密钥、初始化矢量 (IV) 和其他所需的随机数。TRNG 基于 24 个环形振荡器构建而成，这些振荡器产生不可预测的输出以馈入复杂的非线性组合电路。
- **高级加密标准 (AES)**，密钥长度为 128 位

结合软件开发套件 (SDK) 提供的硬件加速器模块以及大量开源加密库，可以在平台上轻松构建安全且面向未来的物联网应用。TI 提供的加密驱动程序包括：

- **密钥协商方案**
 - 使用静态或临时密钥进行椭圆曲线迪菲-赫尔曼密钥交换 (ECDH 和 ECDHE)
- **签名生成**
 - 椭圆曲线迪菲-赫尔曼数字签名算法 (ECDSA)
- **曲线支持**
 - 简短的 Weierstrass 形式 (完整的硬件支持)，例如：
 - NIST-P256
 - 蒙哥马利形式 (对乘法的硬件支持)，如：
 - Curve25519
- **哈希值**
 - SHA256
- **MACs**
 - SHA256 提供 HMAC
 - AES CBC-MAC
- **块密码**
 - AESECB
 - AESCBC
 - AESCTR
- **认证加密**
 - AESCCM
- **随机数生成**
 - 真随机数生成器
 - AES CTR DRBG

8.6 计时器

CC1311P3 器件中提供了大量的计时器可供选择。这些计时器包括：

- **实时时钟 (RTC)**

在 32kHz 低频系统时钟 (SCLK_LF) 上运行的 70 位 3 通道计时器。

该计时器在所有功耗模式 (关断模式除外) 下均可用。当使用低频 RCOSC 作为低频系统时钟时, 可以校准该计时器来补偿频率漂移。如果使用频率不同于 32.768kHz 的外部低频时钟, 则可以调整 RTC 滴答速度来对此进行补偿。使用 TI-RTOS 时, RTC 用作操作系统中的基本计时器, 因此只能通过时钟模块等内核 API 进行访问。默认情况下, 当调试器停止器件时, RTC 也会停止。

- **通用计时器 (GPTIMER)**

四个灵活的 GPTIMER 可用作 4×32 位计时器或 8×16 位计时器, 这些计时器的最高运行频率均为 48MHz。每个 16 位或 32 位计时器都支持多种功能, 例如一次性或周期性计数、脉宽调制 (PWM)、边沿之间时间计数以及边沿计数。该计时器的输入和输出连接到器件事件结构, 因此允许计时器与 GPIO 输入、其他计时器、DMA 和 ADC 等信号进行交互。GPTIMER 提供工作和空闲功耗模式。

- **无线电计时器**

器件无线电中提供了一个运行频率为 4MHz 的多通道 32 位计时器。无线电计时器通常用作无线网络通信中的计时基准, 并使用 32 位计时字作为网络时间。当器件无线电打开或关闭时, 无线电计时器通过使用专用的无线电 API 与 RTC 同步。对于网络协议栈, 这确保了启用无线电的情况下无线电计时器始终处于运行状态。在大多数情况下会通过无线电 API 中的触发时间字段来间接使用无线电计时器, 并且仅在运行精确的 48MHz 高频晶体作为 SCLK_HF 源时才应使用。

- **看门狗计时器**

如果系统由于软件错误而无法正确运行, 可以使用看门狗计时器来重新获得控制权。看门狗计时器通常用于在系统元件和任务的定期监控无法验证功能是否正常的情况下, 产生器件中断和复位。看门狗计时器以 1.5MHz 时钟速率运行, 一旦启用就无法停止。当调试器停止器件时, 看门狗计时器会暂停以便在待机功耗模式下运行。

8.7 串行外设和 I/O

SSI 是与 SPI、MICROWIRE 和 TI 同步串行接口兼容的同步串行接口。SSI 支持最高 4MHz 的 SPI 主器件和从器件。SSI 模块支持可配置的相位和极性。

UART 实现通用异步接收器/发送器功能。支持最高 3Mbps 的灵活波特率生成。

I²S 接口用于处理数字音频，也可用于连接脉冲密度调制麦克风 (PDM)。

I²C 接口还用于与符合 I²C 标准的器件进行通信。I²C 接口可以处理 100kHz 和 400kHz 工作频率，并且可以用作主器件和从器件。

I/O 控制器 (IOC) 可以控制数字 I/O 引脚并包含多路复用器电路，能够以灵活的方式将一组外设分配给 I/O 引脚。所有数字 I/O 均具有中断和唤醒功能，具有可编程上拉和下拉功能，并且可以在下降沿或上升沿（可配置）上生成中断。当配置为输出时，引脚可以用作推挽式或开漏式输出。五个 GPIO 具有高驱动能力（在节 6 中以**粗体**标记）。所有数字外设都可以连接到器件上的任何数字引脚。

更多信息，请参阅 [CC13x1x3、CC26x1x3 SimpleLink™ 无线 MCU 技术参考手册](#)。

8.8 电池和温度监测器

CC1311P3 器件中有温度和电池电压组合监测器。电池和温度监测器允许在应用中连续监测片上温度和电源电压，并根据需要响应环境条件的变化。该模块包含窗口比较器，当温度或电源电压超出定义的窗口时，可以中断系统 CPU。这些事件还可用于通过 Always-On (AON) 事件结构将器件从待机模式唤醒。

8.9 电压电源域

CC1311P3 器件可以连接到两个或三个不同的电压域，具体取决于封装类型。只要每个输入/输出引脚上的信号电压是相对于相应电源引脚（VDD_S、VDD_{S2} 或 VDD_{S3}）设置的，片上电平转换器就能确保正常运行。[引脚功能到 VDD_S 映射表](#) 列出了引脚到 VDD_S 映射。

表 8-2. 引脚功能到 VDD_S 映射表

	封装	
	VQFN 7 × 7 (RGZ)	VQFN 5 × 5 (RKP)
VDD _S ⁽¹⁾	DIO 23 – 30 Reset_N	DIO 15 – 22 Reset_N
VDD _{S2}	DIO 1 – 11	DIO 1 – 9
VDD _{S3}	DIO 12 – 22 JTAG_TCKC JTAG_TMSC	DIO 10 – 14 JTAG_TCKC JTAG_TMSC

(1) VDD_S_DCDC 引脚必须始终连接到与 VDD_S 引脚相同的电压。

8.10 μDMA

该器件包括一个直接存储器存取 (μDMA) 控制器。μDMA 控制器以某种方式减轻系统 CPU 参与的数据传输任务，从而提高处理器和总线带宽的使用效率。μDMA 控制器能够执行存储器与外设之间的数据传输。μDMA 控制器为每个支持的片上模块提供专用的通道，并且经编程可在外设准备好传输更多数据时自动执行外设和存储器之间的数据传输。

μDMA 控制器的一些功能如下所示（这不是详尽的列表）：

- 高度灵活且可配置的通道运行，最多支持 32 个通道
- 传输模式：存储器到存储器、存储器到外设、外设到存储器以及外设到外设
- 支持 8 位、16 位和 32 位数据宽度
- 乒乓模式，用于持续串流数据

8.11 调试

可通过专用 cJTAG (IEEE 1149.7) 或 JTAG (IEEE 1149.1) 接口提供片上调试支持。默认情况下，该器件引导时会进入 cJTAG 模式，必须重新配置以使用 4 引脚 JTAG。

8.12 电源管理

为最大程度地降低功耗，CC1311P3 支持多种功耗模式和电源管理功能（请参阅 [表 8-3](#)）。

表 8-3. 电源模式

模式	可通过软件配置的功耗模式				复位引脚保持
	运行	空闲	STANDBY	关断	
CPU	有效	关闭	关闭	关闭	关闭
闪存	开	可用	关闭	关闭	关闭
SRAM	开	开	保持	关闭	关闭
无线电	可用	可用	关闭	关闭	关闭
电源系统	开	开	占空比	关闭	关闭
寄存器和 CPU 保留	完全	完全	部分	否	否
SRAM 保持	完全	完全	完全	否	否
48MHz 高速时钟 (SCLK_HF)	XOSC_HF 或 RCOSC_HF	XOSC_HF 或 RCOSC_HF	关闭	关闭	关闭
32kHz 低速时钟 (SCLK_LF)	XOSC_LF 或 RCOSC_LF	XOSC_LF 或 RCOSC_LF	XOSC_LF 或 RCOSC_LF	关闭	关闭
外设	可用	可用	关闭	关闭	关闭
通过 RTC 唤醒	可用	可用	可用	关闭	关闭
在引脚边沿唤醒	可用	可用	可用	可用	关闭
在复位引脚唤醒	开	开	开	开	开
欠压检测器 (BOD)	开	开	占空比	关闭	关闭
上电复位 (POR)	开	开	开	关闭	关闭
看门狗定时器 (WDT)	可用	可用	已暂停	关闭	关闭

在**工作模式**下，应用系统 CPU 正在执行代码。在工作模式下，处理器和当前启用的所有外设均正常运行。系统时钟可以是任何可用的时钟源（请参阅 [表 8-3](#)）。

在**空闲模式**下，所有活动外设均可计时，但应用 CPU 内核和存储器不计时且不执行任何代码。任何中断事件都会使处理器回到工作模式。

在**待机模式**下，只有 **always-on (AON)** 域处于工作状态。为了使器件恢复工作模式，需要外部唤醒事件或 **RTC** 事件。具有保留功能的 MCU 外设再次唤醒时无需重新配置，CPU 会从进入待机模式的位置继续执行。所有 GPIO 均锁存在待机模式。

在**关断模式**下，器件完全关闭（包括 **AON** 域），并且 I/O 被锁存，并保留进入关断模式之前具有的值。定义为从**关断引脚唤醒**的任何 I/O 引脚状态变化都会唤醒器件，并用作复位触发器。通过读取复位状态寄存器，CPU 可以区分以这种方式进行的复位和通过复位引脚进行的复位或上电复位。在此模式下唯一保留的状态是锁存 I/O 状态和闪存存储器内容。

备注

CC1311P3 器件的电源、射频和时钟管理需要通过软件进行特定配置和处理，以优化性能。此配置和处理在 TI 提供的驱动程序中实现，这些驱动程序是 CC1311P3 软件开发套件 (SDK) 的一部分。因此，TI 强烈建议将此软件框架用于该器件的全部应用开发过程。源代码中免费提供了完整 [SDK](#) (TI-RTOS 为可选)、器件驱动程序和示例。

8.13 时钟系统

CC1311P3 器件具有多个内部系统时钟。

48MHz SCLK_HF 用作主系统 (MCU 和 外设) 时钟。此时钟可以由内部 48MHz RC 振荡器 (RCOSC_HF) 或外部 48MHz 晶体 (XOSC_HF) 驱动。无线电运行需要外部 48MHz 晶体。

SCLK_LF 是 32.768kHz 内部低频系统时钟。它可用于 RTC 以及在待机电源模式之前或之后同步无线电计时器。SCLK_LF 可由内部 32.8kHz RC 振荡器 (RCOSC_LF)、32.768kHz 手表型晶体、或任何数字 IO 上的时钟输入驱动。

当使用晶体或内部 RC 振荡器时，该器件可以向其他器件输出 32kHz SCLK_LF 信号，从而降低总体系统成本。

8.14 网络处理器

根据产品配置，CC1311P3 器件可用作无线网络处理器 (WNP - 无线协议栈在此器件上运行，应用程序在单独的主机 MCU 上运行)，或用作片上系统 (SoC) (应用程序和协议栈均在器件内的系统 CPU 上运行)。

在第一种情况下，外部主机 MCU 使用 SPI 或 UART 与器件进行通信。在第二种情况下，必须根据无线协议栈附带的程序框架来编写应用程序。

9 应用、实施和布局

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。

有关通用设计指南和硬件配置指南，请参阅 [CC13xx/CC26xx 硬件配置](#) 和 [PCB 设计注意事项](#) 应用注释。

为了实现最佳射频性能，特别是在使用高功率 PA 时，准确遵循参考设计中的元件值和布局非常重要。如果不这样做，可能会由于平衡-非平衡变压器不匹配而导致射频性能降低。通过平衡-非平衡变压器实现的幅值和相位平衡必须分别小于 1dB 和小于 6 度。

PCB 堆叠对于正常运行也至关重要。CC1311P3 EVM 和特性评估板在 175μm 的顶层（射频信号）和第 2 层（接地平面）之间使用镀层厚度。在实现 CC1311P3 器件的最终产品中使用相同或稍厚的基板厚度非常重要。

9.1 参考设计

在使用 CC1311P3 器件实现设计时，应严格遵循以下参考设计。

必须特别注意射频元件布局、去耦电容器和直流/直流稳压器元件以及所有这些元件的接地连接。

[CC1311-P3EM-7XD7793-PA915 设计文件](#)

针对实现本文档中所述性能数值的特性评估板，CC1311P3EM-XD7793-PA915 参考设计提供了相关的原理图、布局和产品文件。此参考设计用于在 868MHz 和 915MHz 频带中运行。

[LP-CC1311P3 设计文件](#)

CC1311P3 LaunchPad 设计文件包含使用 CC1311P3 器件构建专用电路板的详细原理图和布局。此 LaunchPad 适用于在 868MHz 和 915MHz 频段中运行。

[用于 LaunchPad™ 开发套件和 SensorTag 的 Sub-1GHz 和 2.4GHz 天线套件](#)

该天线套件可用于进行真实测试，从而找到适合您应用的最佳天线。该天线套件包括 16 根天线，频率范围为 169MHz 至 2.4GHz，包括：

- PCB 天线
- 螺旋天线
- 芯片天线
- 适用于 868/915MHz 和 2.4GHz 的双频带天线

此天线套件有一根 JSC 电缆可以连接无线 MCU LaunchPad 开发套件和 SensorTag。

10 器件和文档支持

TI 提供广泛的开发工具。下面列出了用于评估器件性能、生成代码和开发解决方案的工具和软件。

10.1 器件命名规则

为了标明产品开发周期的各个产品阶段，TI 为所有器件型号和/或日期代码添加了前缀。每个器件都具有以下三个前缀/标识之一：X、P 或 null（无前缀）（例如，XCC1311P3 处于预发布状态；因此分配了 X 前缀/标识）。

器件开发演变流程：

X 试验器件不一定代表最终器件的电气规范标准，并且可能不使用生产组装流程。

P 原型器件不一定是最终器件模型，并且不一定符合最终电气标准规范。

无 完全合格的芯片模型的生产版本。

支持工具开发演变流程：

TMDX 还未经德州仪器 (TI) 完整内部质量测试的开发支持产品。

TMDS 完全合格的开发支持产品。

X 和 P 器件和 TMDX 开发支持工具在供货时附带如下免责条款：

“开发的产品用于内部评估用途。”

生产器件和 TMDS 开发支持工具已进行完全特性描述，并且器件的质量和可靠性已经完全论证。TI 的标准保修证书适用。

预测显示原型器件 (X 或者 P) 的故障率大于标准生产器件。由于这些器件的预期最终使用故障率仍未确定，故德州仪器 (TI) 建议请勿将这些器件用于任何生产系统。请仅使用合格的生产器件。

TI 的器件命名规则还包含具有器件产品系列名称的后缀。这个后缀表示封装类型（例如 RGZ）。

有关采用 CC1311P3 RGZ (7mm x 7mm) 封装类型的器件的可订购器件型号，请参阅本文档的 [封装选项附录、节 3](#) 中的“器件信息”和 TI 网站 (www.ti.com.cn)，或联系您的 TI 销售代表。

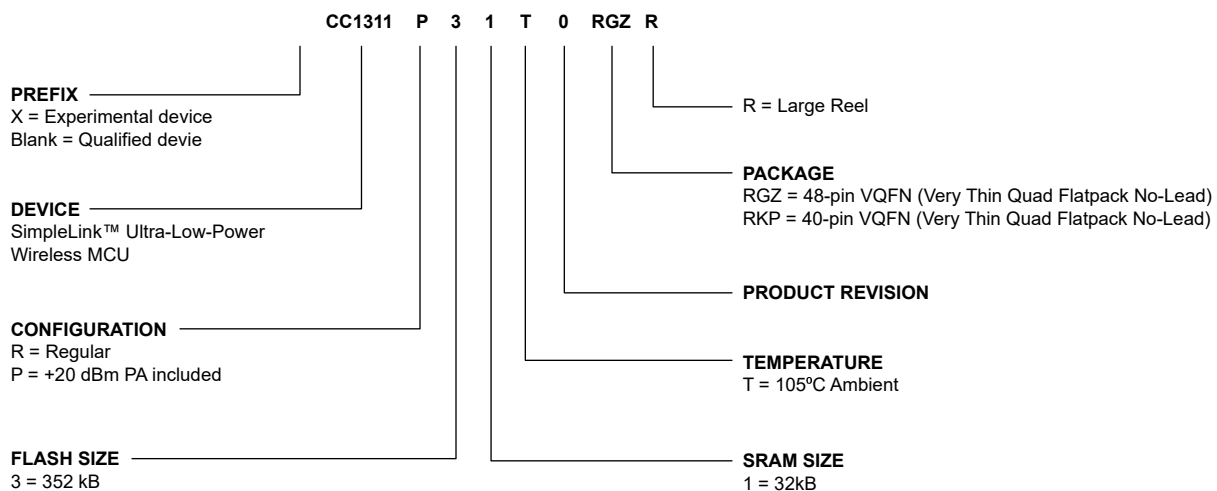


图 10-1. 器件命名规则

10.2 工具与软件

CC1311P3 器件受多种软件和硬件开发工具的支持。

开发套件

软件

SimpleLink™ CC13XX- CC26XX SDK

SimpleLink CC13xx 和 CC26xx 软件开发套件 (SDK) 为在 CC13XX / CC26XX 系列器件上开发无线应用提供了一套完整的软件包。该 SDK 内含用于 CC1311P3 器件的综合软件包，其中包括以下协议栈：

- 低功耗蓝牙 4 和 5.2
- Thread (基于 OpenThread)
- Zigbee 3.0
- Wi-SUN®
- TI 15.4-Stack - 面向 Sub-1GHz 和 2.4GHz、基于 IEEE 802.15.4 的星形拓扑网络解决方案
- 专有 RF - 一组用于开发专有射频软件的大型构建块
- 多协议支持 - 使用动态多协议管理器 (DMM) 在多个堆栈之间同时运行

SimpleLink CC13XX-CC26XX SDK 是 TI SimpleLink MCU 平台的一部分，可提供统一的开发环境，为客户开发有线和无线应用提供灵活的硬件、软件和工具选项。更多有关 SimpleLink MCU 平台的信息，请访问 <http://www.ti.com/simplelink>。

开发工具

Code Composer Studio™ 集成式开发环境 (IDE)

Code Composer Studio 是一种集成开发环境 (IDE)，支持 TI 的微控制器和嵌入式处理器产品系列。Code Composer Studio 包含一整套用于开发和调试嵌入式应用的工具。它包含了用于优化的 C/C++ 编译器、源代码编辑器、工程编译环境、调试器、分析工具以及多种其他功能。直观的 IDE 提供了一个单一用户界面，可帮助用户完成应用开发流程的每个步骤。熟悉的工具和界面让用户能够比以往更快地上手。Code Composer Studio 将 Eclipse® 软件框架的优势和 TI 高级嵌入式调试功能相结合，为嵌入式开发人员提供了一种极具吸引力且功能丰富的开发环境。

CCS 不仅支持所有 SimpleLink 无线 MCU，还支持 EnergyTrace™ 软件（应用电量使用评测）。SimpleLink SDK 中提供用于 TI-RTOS 的实时对象查看器插件。

Code Composer Studio 与 LaunchPad 开发套件上包括的 XDS 调试器一起使用时免费提供。

Code Composer Studio™ Cloud IDE

Code Composer Studio (CCS) Cloud 是基于 Web 的 IDE，它使您能够创建、编辑和构建 CCS 及 Energia™ 项目。成功构建项目后，您可以在互联 LaunchPad 上下载并运行该项目。CCS Cloud 现在支持基本调试，包括设置断点和查看变量值等功能。

IAR Embedded Workbench® for Arm®

IAR Embedded Workbench® 是一套可使用汇编器、C 和 C++ 构建和调试嵌入式系统应用程序的开发工具。它提供完全集成的开发环境，包括项目管理器、编辑器和构建工具。IAR 支持所有 SimpleLink 无线 MCU。它支持众多调试器，包括 XDS110、IAR I-jet™ 和 Segger J-Link™。SimpleLink SDK 中提供用于 TI-RTOS 的实时对象查看器插件。SimpleLink SDK 中提供的大部分软件示例都对 IAR 提供现成的支持。

通过 iar.com 可获取 30 天评估版本或 32KB 大小限制版本。

SmartRF™ Studio

SmartRF™ Studio 是一款 Windows® 应用程序，可用于评估和配置德州仪器 (TI) 的 SimpleLink 无线 MCU。该应用将帮助射频系统的设计人员在设计过程的早期阶段轻松评估无线电。它对生成配置寄存器值、实际测试和调试射频系统尤为有用。SmartRF Studio 可作为单独的应用使用，也可与射频器件的适用评估板或调试探针一起使用。SmartRF Studio 的特性包括：

- 链路测试 - 在节点之间发送和接收数据包
- 天线和辐射测试回将无线电设置为连续波 TX 和 RX 状态
- 导出无线电配置代码，以便与 TI SimpleLink SDK 射频驱动程序一起使用
- 用于外部开关信令和控制的自定义 GPIO 配置

CCS UniFlash

CCS UniFlash 是一个独立的工具，可用于在 TI MCU 上对片上闪存进行编程。UniFlash 具有 GUI、命令行和脚本接口。CCS UniFlash 免费提供。

10.2.1 SimpleLink™ 微控制器平台

SimpleLink 微控制器平台在单一软件开发环境中提供种类繁多的有线和无线 Arm® MCU (片上系统) 产品系列, 为开发人员设定了新标准。为您的物联网应用提供灵活的硬件、软件和工具选项。只需投资购买一次 SimpleLink 软件开发套件, 即可在您的整个产品系列中进行使用。请访问 ti.com/simplelink, 了解更多信息。

10.3 文档支持

要接收有关数据表、勘误表、应用手册及类似文档的文档更新通知, 请导航至 ti.com/product/CC1311P3、点击右上角的 *提醒我* 进行注册, 即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息, 请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

下面列出了介绍 MCU、相关外设以及其他配套技术资料的最新文档。

TI Resource Explorer

TI Resource Explorer

提供与您的器件和开发板有关的软件示例、库、可执行文件和文档。

勘误表

CC1311P3 器件勘误表

器件勘误表说明了这款器件各个版本中功能规格的已知例外情况, 以及如何识别器件版本。

应用手册

CC1311P3 器件的所有应用手册均可在器件产品文件夹中找到: ti.com/product/CC1311P3/#tech-docs、

技术参考手册 (TRM)

CC13x1x、CC26x1x SimpleLink™ 无线 MCU TRM

TRM 提供了该器件系列中所有可用模块和外设的详细说明。

10.4 支持资源

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

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

10.5 商标

SimpleLink™, Code Composer Studio™, EnergyTrace™, and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

I-jet™ is a trademark of IAR Systems AB.

J-Link™ is a trademark of SEGGER Microcontroller Systeme GmbH.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.

CoreMark® is a registered trademark of Embedded Microprocessor Benchmark Consortium Corporation.

Arm Thumb® is a registered trademark of Arm Limited (or its subsidiaries).

Wi-SUN® is a registered trademark of Wi-SUN Alliance Inc.

Eclipse® is a registered trademark of Eclipse Foundation.

IAR Embedded Workbench® is a registered trademark of IAR Systems AB.

Windows® is a registered trademark of Microsoft Corporation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

10.6 静电放电警告



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

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

10.7 术语表

TI 术语表 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

11 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from MARCH 1, 2022 to APRIL 1, 2025 (from Revision * (March 2022) to Revision A (April 2025))		Page
• 根据最新的德州仪器 (TI) 数据表标准对该文件进行了更新.....		2
• 更新了 器件比较		5
• 新增了 RKP 数据.....		9
• 向绝对最大额定值表中新增了分离轨功能.....		9
• 向建议运行条件表中新增了分离轨功能.....		9
• 阐明了电流消耗是在 $V_{DDS}=V_{DDS2}=V_{DDS3}$ 的条件下测量的.....		10
• 添加了 电压电源域		44

12 机械、封装和可订购信息

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

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
CC1311P31T0RGZR	Active	Production	VQFN (RGZ) 48	2500 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 105	CC1311 P31
CC1311P31T0RGZR.A	Active	Production	VQFN (RGZ) 48	2500 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 105	CC1311 P31
CC1311P31T0RGZR.B	Active	Production	VQFN (RGZ) 48	2500 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 105	CC1311 P31

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

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

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

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

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

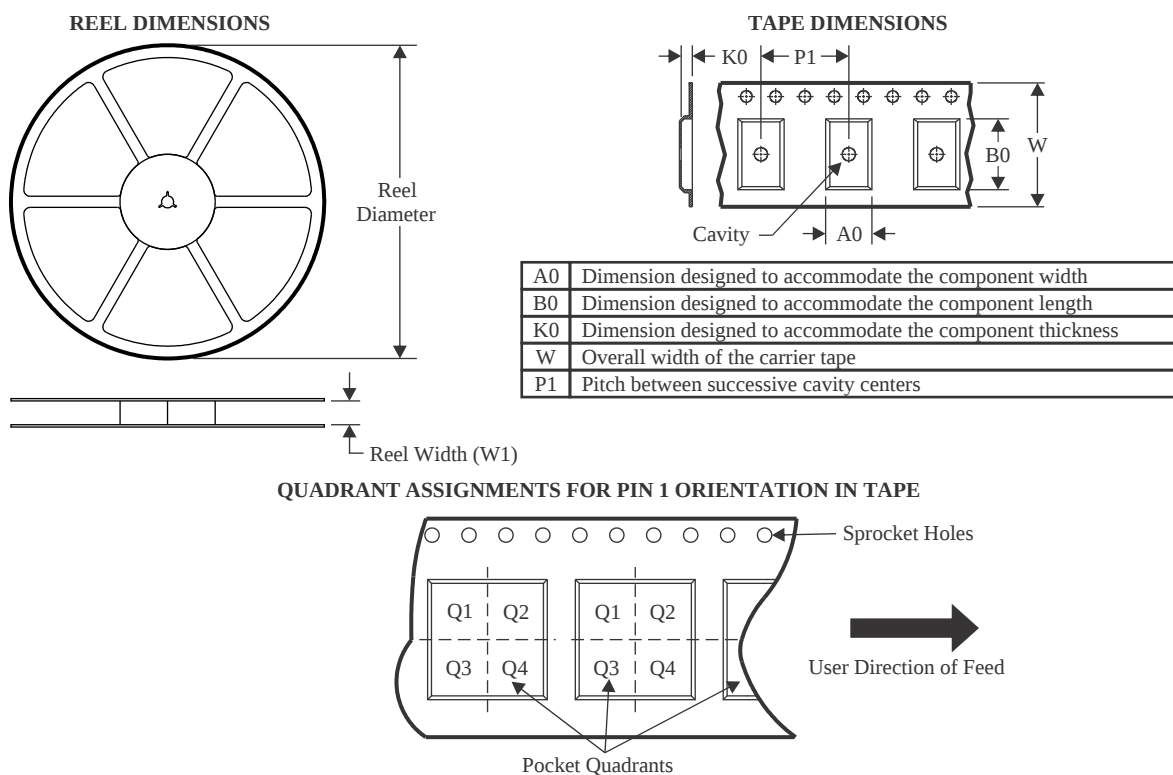
⁽⁶⁾ **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

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

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

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

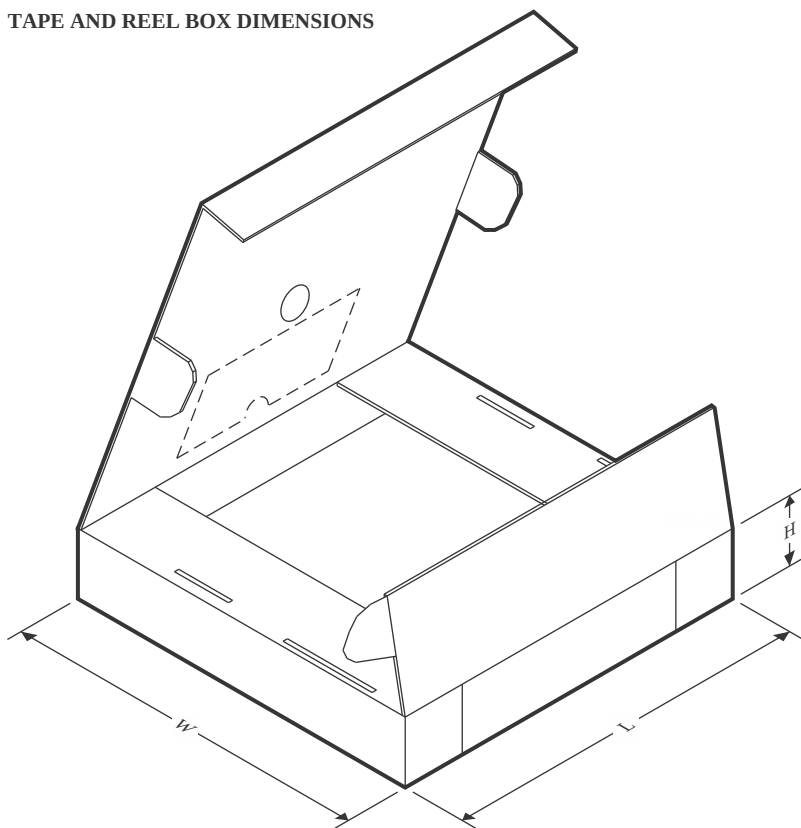
TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
CC1311P31T0RGZR	VQFN	RGZ	48	2500	330.0	16.4	7.3	7.3	1.1	12.0	16.0	Q2
CC1311P31T0RGZR	VQFN	RGZ	48	2500	330.0	16.4	7.3	7.3	1.1	12.0	16.0	Q2

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
CC1311P31T0RGZR	VQFN	RGZ	48	2500	336.6	336.6	31.8
CC1311P31T0RGZR	VQFN	RGZ	48	2500	360.0	360.0	36.0

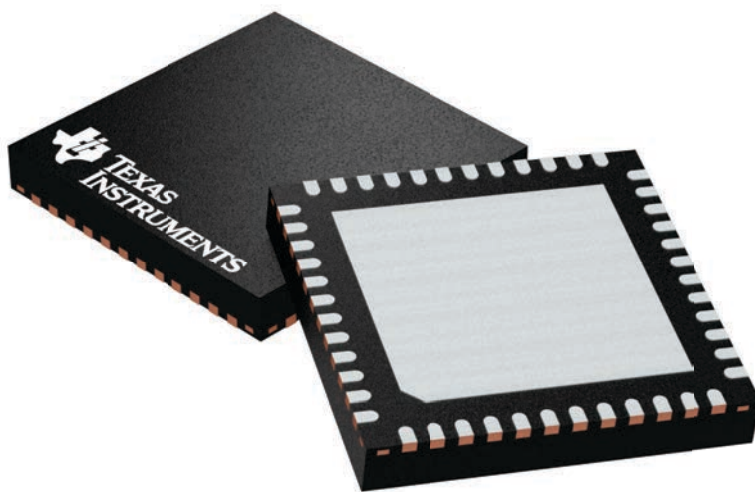
GENERIC PACKAGE VIEW

RGZ 48

VQFN - 1 mm max height

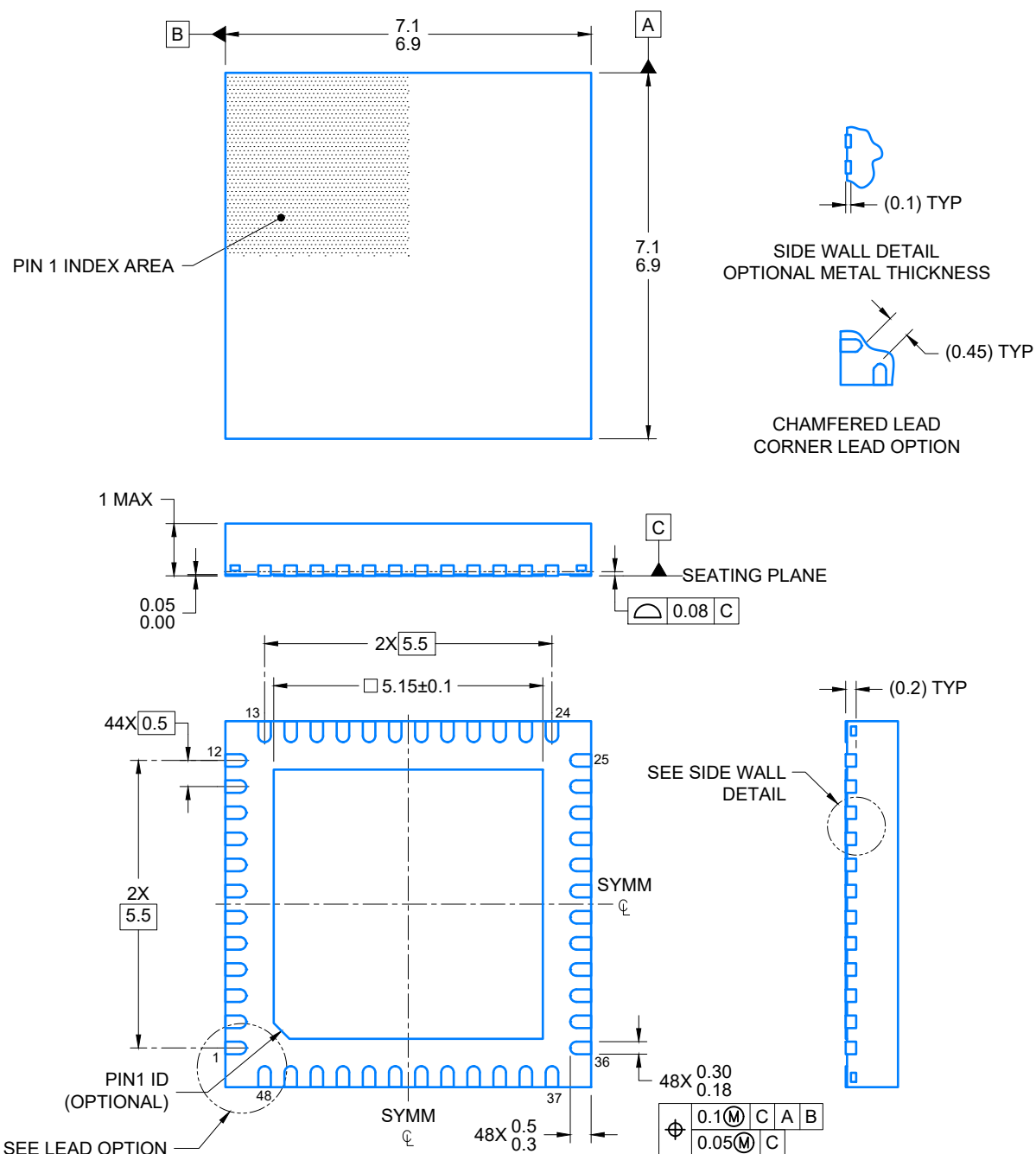
7 x 7, 0.5 mm pitch

PLASTIC QUADFLAT PACK- NO LEAD



Images above are just a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.

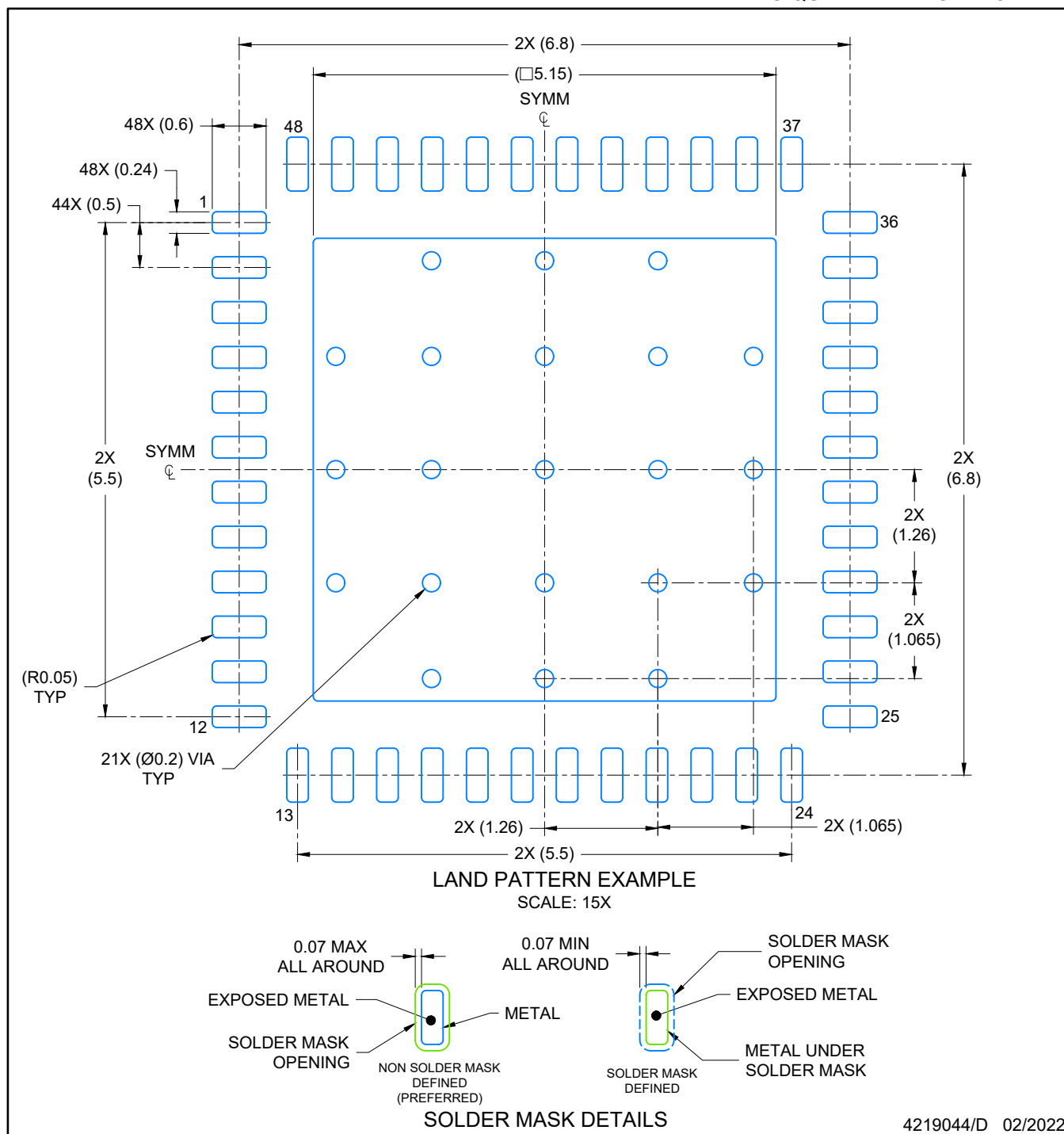
4224671/A



4219044/D 02/2022

NOTES:

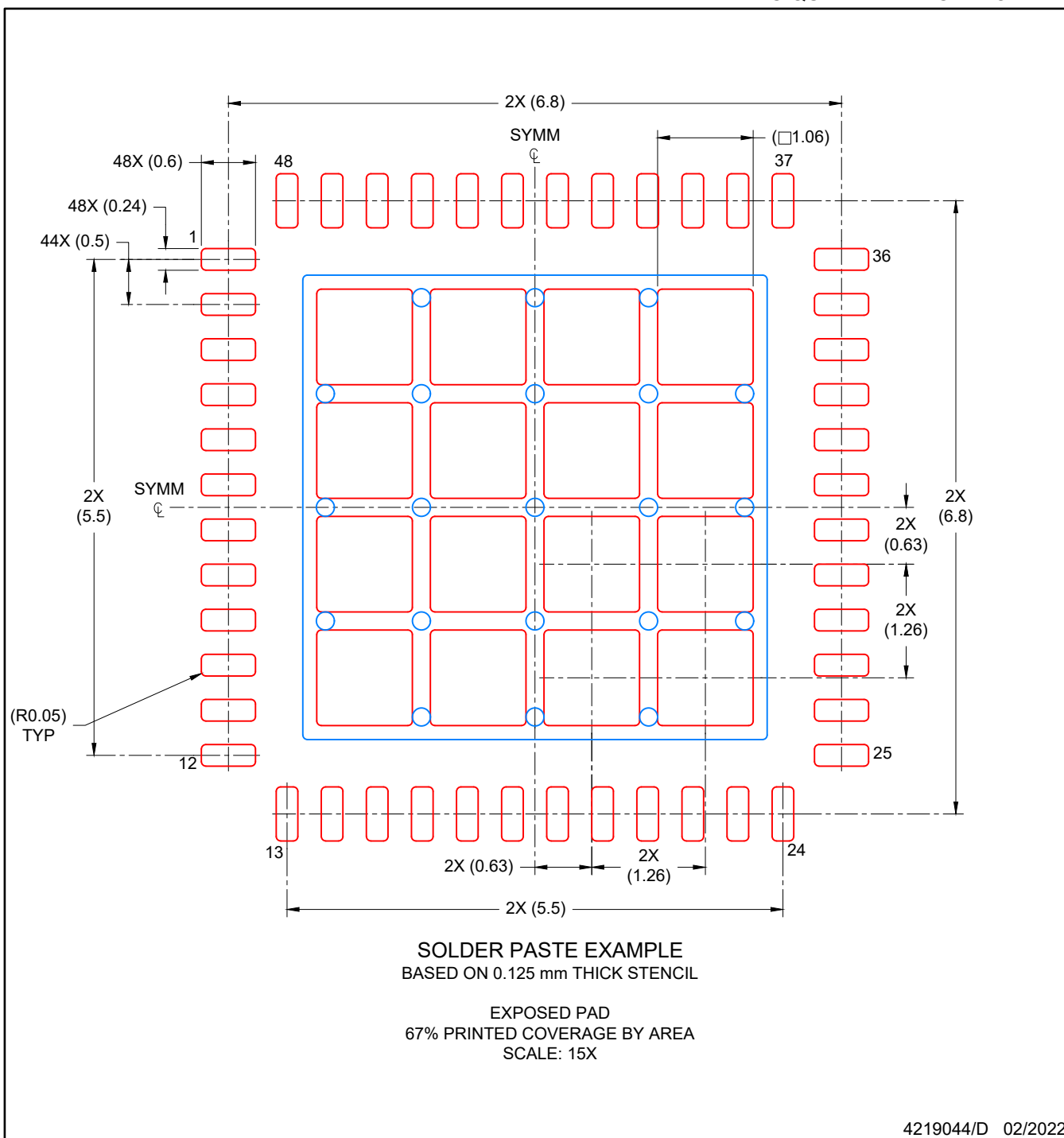
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for optimal thermal and mechanical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



4219044/D 02/2022

NOTES: (continued)

- This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/sluea271).
- 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.



NOTES: (continued)

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

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做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