CC1312PSIP SimpleLink™ Sub-1GHz 无线系统级封装

1 特性

无线微控制器

- 功能强大的 48MHz Arm® Cortex®-M4F 处理器
- 352KB 闪存程序存储器
- 256KB ROM，用于协议和库函数
- 8KB 高速缓存 SRAM
- 具有奇偶校验功能的 80KB 超低泄漏 SRAM，可实现高度可靠运行
- 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)

超低功耗传感器控制器

- 具有 4KB SRAM 的自主 MCU
- 采样、存储和处理传感器数据
- 快速唤醒进入低功耗运行
- 软件定义外设；电容式触控、流量计、LCD

低功耗

- MCU 功耗：
  - 2.9mA 工作模式，CoreMark®
  - 60 µA/MHz（运行 CoreMark® 时）
  - 0.9 µA 待机模式，RTC，80KB SRAM
  - 0.1 µA 关断模式，引脚唤醒
- 超低功耗传感器控制器功耗：
  - 2MHz 模式下为 30 µA
  - 24MHz 模式下为 808 µA
- 无线电功耗：
  - RX：5.8mA（在 868MHz 条件下）
  - TX：28.7mA（在 +14dBm 和 868MHz 条件下）
  - TX：62mA（在 +19dBm 和 915MHz 条件下）
  - TX：86mA（在 +20dBm 和 915MHz 条件下）

无线协议支持

- Wi-SUN®
- mioty®
- 无线 M-Bus
- SimpleLink™ TI 15.4-stack
- 6LoWPAN，专有系统

高性能无线电

- -119dBm（在 2.5kbps 远距离模式下）
- -108dBm（在 50kbps、802.15.4、868MHz 时）
- 高达 +20dBm 的输出功率，具有温度和电压补偿

法规遵从性

- 模块获得以下认证：
  - FCC CFR47 第 15 部分
  - ISED 认证（加拿大）
- 适用于需要满足以下标准的系统：
  - ETSI EN 300 220 接收器类别 1.5 和 2、EN 303 131、EN 303 204
  - ARIB STD-T108

MCU 外设

- 数字外设可连接至 30 个 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，两个比较器
- 可编程电流源
- 两个 UART、两个 SSI、I^2C、I^2S
- 实时时钟 (RTC)
- 集成温度和电池监控器

信息安全机制

- AES 128 位和 256 位加密加速计
- ECC 和 RSA 公钥硬件加速器
- SHA2 加速器（最高到 SHA-512 的全套装）
- 真随机数发生器 (TRNG)

开发工具和软件

- LP-CC1312PSIP 开发套件
- SimpleLink Low Power F2 SDK
- 用于简单无线电配置的 SmartRF™ Studio
- 用于构建低功耗检测应用的 Sensor Controller Studio
- SysConfig 系统配置工具

工作温度范围

- 1.8V 至 3.8V 单电源电压
- –40°C 至 +105°C (+14dBm PA)
- –40°C 至 +95°C (+20dBm PA)

集成了所有必要元件

- 48MHz 晶体：初始射频精度和整个温度范围内的射频精度为 ±10ppm
- 32kHz 晶体：初始 RTC 精度和整个温度范围内的 RTC 精度为 ±50ppm
- 直流/直流转换器元件和去耦
- 适用于 RX/TX 的单射频引脚，阻抗为 50 欧姆

封装

- 7mm × 7mm MOT（30 个 GPIO）

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）。

- 与 CC2652RSIP 和 CC2652PSIP 引脚对引脚兼容
- 符合 RoHS 标准的封装

2 应用

- 868MHz 和 902MHz 至 928MHz ISM 和 SRD 系统，[1] 接收带宽低至 4kHz
- 楼宇自动化
  - 楼宇安防系统 – 运动检测器、电子智能锁、门窗传感器、车库门系统、网关
  - HVAC – 恒温器、无线环境传感器、HVAC 系统控制器、网关
  - 防火安全系统 – 烟雾和热量探测器、火警控制面板 (FACP)
  - 视频监控 – IP 网络摄像头
  - 升降机和自动扶梯 – 升降机和自动扶梯的电梯主控板
- 电网基础设施
  - 智能仪表 – 水表、燃气表、电表和热量分配表
  - 电网通信 – 无线通信 – 远距离传感器应用
  - 电动汽车充电基础设施 – 交流充电（桩）站
  - 太阳能 – 微型逆变器
  - 其他替代能源 – 能量收集
- 工业运输 – 资产跟踪
- 工厂自动化和控制
- 医疗
- 通信设备
  - 有线网络 – 无线 LAN 或 Wi-Fi 接入点、边缘路由器

3 说明

SimpleLink™ CC1312PSIP 器件是一款经过射频认证的系统级封装 (SiP) Sub-1GHz 无线模块，支持 Wi-SUN®、无线 M-Bus、IEEE 802.15.4、支持 IPv6 的智能对象 (6LoWPAN)、mioty、专有系统，包括 TI 15.4-Stack。CC1312PSIP 微控制器 (MCU) 基于 Arm® Cortex® M4F 主处理器，并针对电网基础设施、楼宇自动化、零售自动化和医疗应用中的低功耗无线通信和高级传感进行了优化。

在采用 RTC 并保持 80KB RAM 时，CC1312PSIP 具有 0.9μA 的低待机电流。除了 Cortex® M4F 主处理器，该器件还具有能够实现快速唤醒功能的自主式超低功耗传感器控制器 CPU。例如，传感器控制器能够在系统电流平均值为 1μA 时进行 1Hz ADC 采样。

CC1312PSIP 具有低 SER（软错误率）FIT（时基故障），可延长运行寿命。SRAM 奇偶校验功能始终开启，可更大程度地降低因潜在辐射事件导致的损坏风险。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，包括为 SIP 中的关键组件提供双重货源。

CC1312PSIP 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、mioty、Sub-1GHz MCU 和主机 MCU。 CC1312PSIP 是产品系列的一部分，其中包括引脚兼容的 2.4GHz SIP，使无线产品可以轻松适应多种通信标准。常见的 SimpleLink Low Power F2 SDK 和 SysConfig 系统配置工具支持产品系列中不同器件之间的迁移。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（标称值）
CC1312PSIPMOT	QFM	7.00mm × 7.00mm

(1) 如需所有在售产品的最新器件、封装和订购信息，请参阅节 13 中的“封装选项附录”，或浏览 TI 网站。

[1] 请参阅*射频内核*，获取有关支持的协议标准、调制格式和数据速率的更多详细信息。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

4 功能方框图

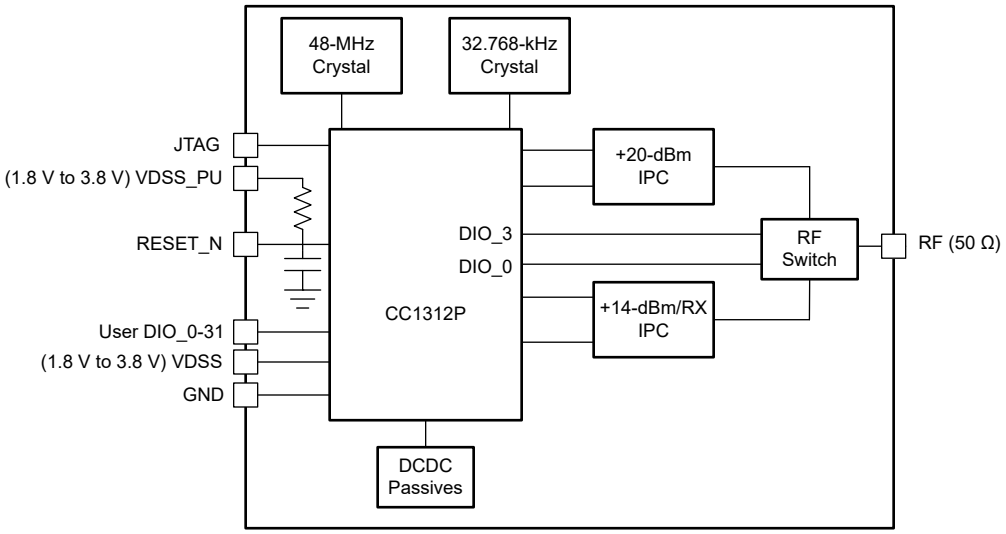


图 4-1. CC1312PSIP 方框图

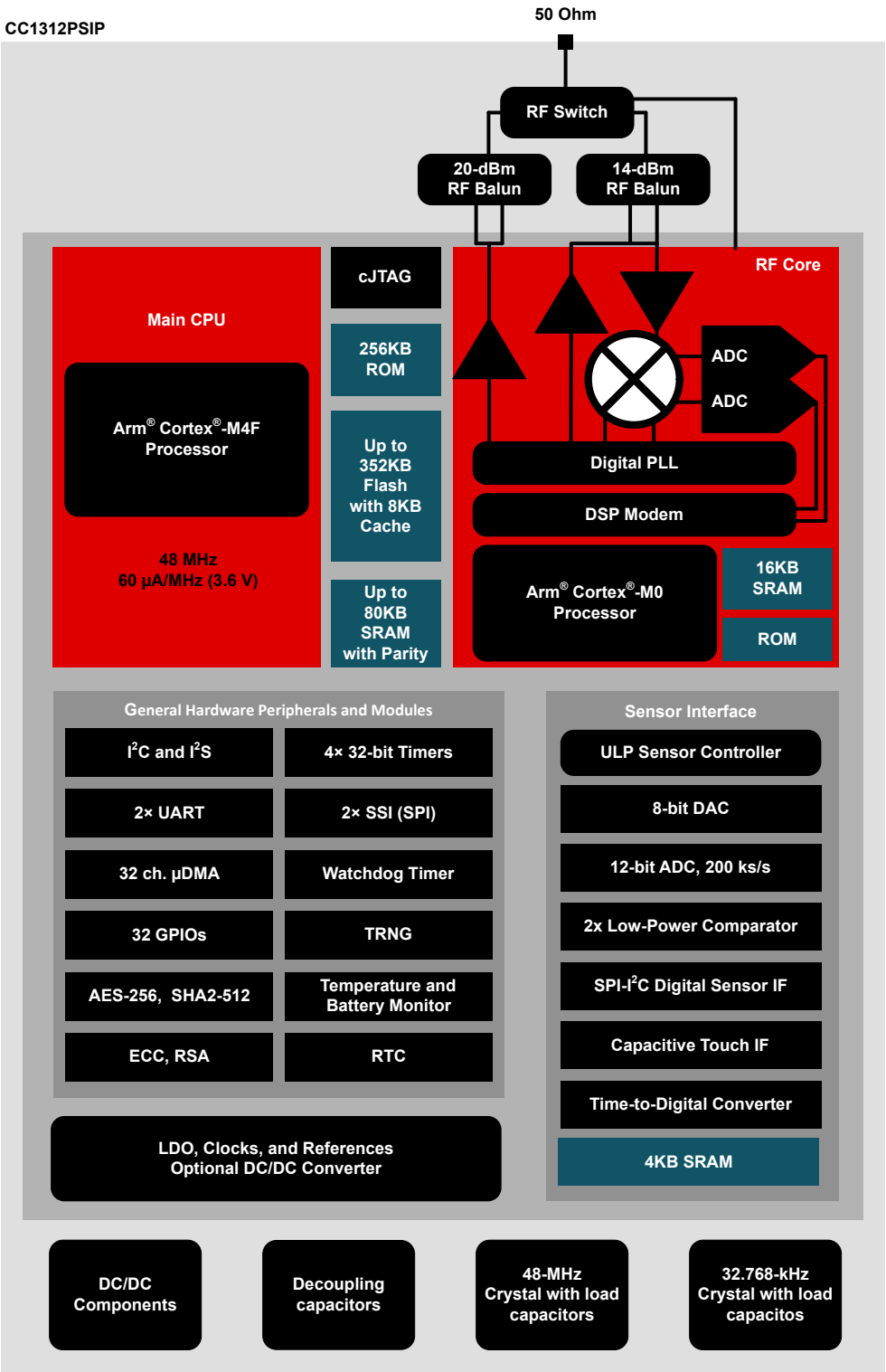


图 4-2. CC1312PSIP 硬件预览

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

内容

1 特性.....1
2 应用.....2
3 说明.....2
4 功能方框图.....3
5 修订历史记录.....5
6 器件比较.....6
7 引脚配置和功能.....9
7.1 引脚图 – MOT 封装（顶视图）.....9
7.2 信号说明 – MOT 封装.....10
7.3 未使用的引脚和模块的连接.....11
8 规格.....12
8.1 绝对最大额定值.....12
8.2 ESD 等级.....12
8.3 建议运行条件.....12
8.4 电源和模块.....12
8.5 功耗 - 电源模式.....13
8.6 功耗 - 无线电模式.....14
8.7 非易失性（闪存）存储器特性.....14
8.8 热阻特性.....14
8.9 射频频带.....15
8.10 861MHz 至 1054MHz - 接收 (RX).....16
8.11 861MHz 至 1054MHz - 发送 (TX).....21
8.12 861MHz 至 1054MHz - PLL 相位噪声宽带模式.....22
8.13 861MHz 至 1054MHz - PLL 相位噪声窄带模式.....23
8.14 时序和开关特性.....23
8.15 外设特性.....27
8.16 典型特性.....35
9 详细说明.....44
9.1 概述.....44
9.2 系统 CPU.....44
9.3 无线电（射频内核）.....45
9.4 存储器.....46
9.5 传感器控制器.....47
9.6 加密.....48
9.7 计时器.....49
9.8 串行外设和 I/O.....50
9.9 电池和温度监测器.....50
9.10 µDMA.....50
9.11 调试.....50
9.12 电源管理.....51
9.13 时钟系统、生产校准和温度补偿.....52
9.14 网络处理器.....52
9.15 器件资格认证.....53
9.16 模块标识.....55
9.17 最终产品标示.....55
9.18 面向最终用户的手册信息.....55
10 应用、实施和布局.....56
10.1 应用信息.....56
10.2 器件连接和布局基本准则.....57
10.3 PCB 布局指南.....57
10.4 参考设计.....61
11 环境要求和 SMT 规格.....62
11.1 PCB 折弯.....62
11.2 操作环境.....62
11.3 贮存条件.....62
11.4 PCB 组装指南.....62
11.5 烘烤条件.....63
11.6 回流焊条件.....64
12 器件和文档支持.....65
12.1 器件命名规则.....65
12.2 工具和软件.....65
12.3 文档支持.....67
12.4 支持资源.....67
12.5 商标.....67
12.6 静电放电警告.....68
12.7 术语表.....68
13 机械、封装和可订购信息.....69

5 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	说明
年 11 月 2023	*	初始发行版

6 器件比较

器件，无线 MCU	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 (48)
CC1310	X		X	X								32-128	16-20 + 8	10-30		X	X		X	
CC1311R3	X		X	X								352	32 + 8	22-30				X	X	
CC1311P3	X		X	X							X	352	32 + 8	26					X	
CC1312R	X		X	X	X							352	80 + 8	30					X	
CC1312R7	X		X	X	X	X				X		704	144 + 8	30					X	
CC1352R	X	X	X	X	X		X	X	X	X		352	80 + 8	28					X	
CC1352P	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	352	80 + 8	26					X	
CC1352P7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	704	144 + 8	26	X				X	
CC1314R10	X		X	X	X	X				X		1024	256 + 8	30-46					X	X
CC1354R10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		1024	256 + 8	28-42					X	X
CC1354P10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1024	256 + 8	26-42					X	X
CC2340R2		X					X	X				256	28	12	X					
CC2340R5		X					X	X	X			512	36	12-26	X			X		
CC2340R5-Q1							X					512	36	19			X			
CC2640R2F							X					128	20 + 8	10-31		X	X		X	
CC2642R							X					352	80 + 8	31					X	
CC2642R-Q1							X					352	80 + 8	31					X	
CC2651R3		X					X	X				352	32 + 8	23-31				X	X	
CC2651P3		X					X	X			X	352	32 + 8	22-26				X	X	
CC2652R		X					X	X	X	X		352	80 + 8	31					X	
CC2652RB		X					X	X	X	X		352	80 + 8	31					X	
CC2652R7		X					X	X	X	X		704	144 + 8	31					X	
CC2652P		X					X	X	X	X	X	352	80 + 8	26					X	
CC2652P7		X					X	X	X	X	X	704	144 + 8	26					X	
CC2662R-Q1		X										352	80 + 8	31					X	

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

器件，无线 MCU	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 (48)
CC2674R10		X					X	X	X	X		1024	256 + 8	31-42					X	X
CC2674P10		X					X	X	X	X	X	1024	256 + 8	26-42					X	X

器件，无线系统级封装	CC2651R SIP LaunchPad		无线电支持									认证				闪存 (KB)	RAM + 高速缓存 (KB)	GPIO	封装尺寸	
	外部	集成式	Sub-1GHz 专有技术	2.4GHz 专有技术	无线 M-Bus	mioty	Wi-SUN®	低功耗 *Bluetooth*®	ZigBee	+10dBm PA	+20dBm PA	FCC/IC	CE	RER（英国）	日本				7 × 7 QFM (73)	7 × 7 QFM (59)
CC2651R3SIPA	X	X		X				X	X			X	X	X		352	32 + 8	32		X
CC2652RSIP	X			X				X	X			X	X	X		352	80 + 8	32	X	
CC2652PSIP	X			X				X	X	X		X	X	X		352	80 + 8	30	X	
CC1312PSIP	X		X		X	X	X				X	X	X	X		352	80 + 8	30	X	

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7 引脚配置和功能

7.1 引脚图 – MOT 封装（顶视图）

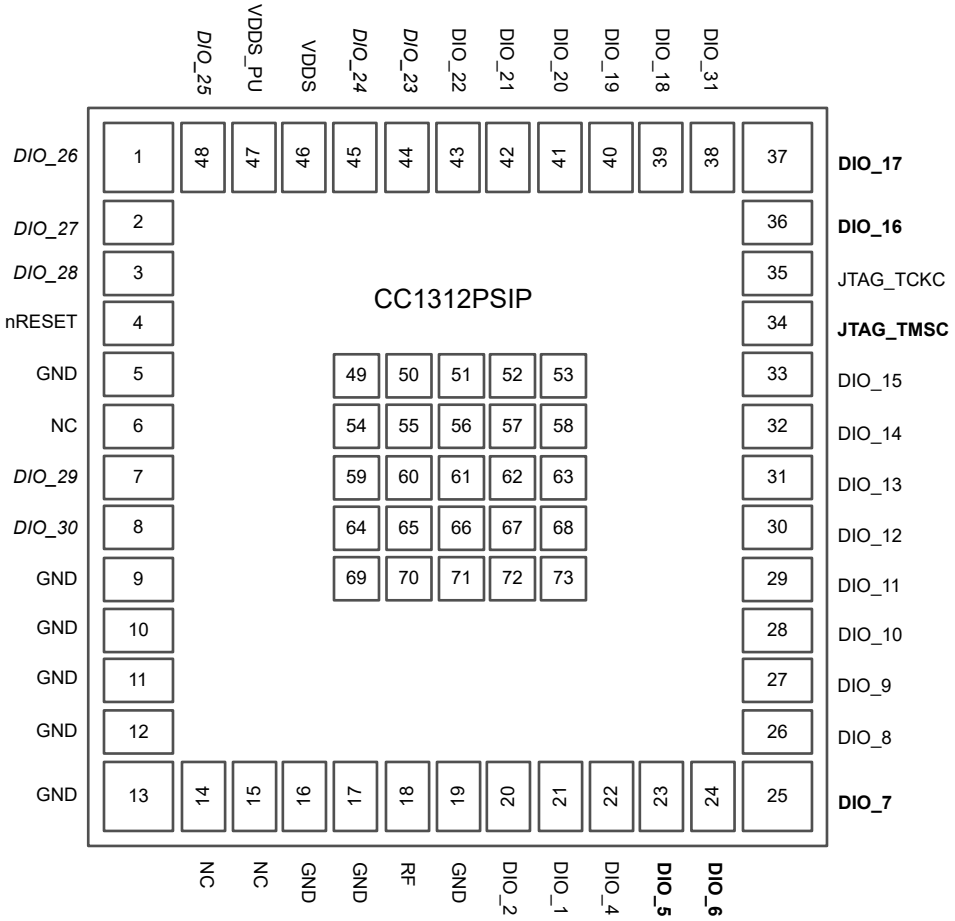


图 7-1. MOT (7mm × 7mm) 引脚排列，0.5mm 间距（顶视图）

图 7-1 中以**粗体**标记的下列 I/O 引脚具有高驱动功能：

- 引脚 23，DIO_5
- 引脚 24，DIO_6
- 引脚 25，DIO_7
- 引脚 34，JTAG_TMSC
- 引脚 36，DIO_16
- 引脚 37，DIO_17

图 7-1 中以*斜体* 标记的下列 I/O 引脚具有模拟功能：

- 引脚 1，DIO_26
- 引脚 2，DIO_27
- 引脚 3，DIO_28
- 引脚 7，DIO_29
- 引脚 8，DIO_30
- 引脚 44，DIO_23
- 引脚 45，DIO_24
- 引脚 48，DIO_25

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2 信号说明 – MOT 封装

表 7-1. 信号说明 – SIP 封装

引脚		I/O	类型	说明
名称	编号			
NC	14	I/O	数字	无连接，该引脚在内部连接至射频开关
DIO_1	21	I/O	数字	GPIO
DIO_10	28	I/O	数字	GPIO
DIO_11	29	I/O	数字	GPIO
DIO_12	30	I/O	数字	GPIO
DIO_13	31	I/O	数字	GPIO
DIO_14	32	I/O	数字	GPIO
DIO_15	33	I/O	数字	GPIO
DIO_16	36	I/O	数字	GPIO，JTAG_TDO，高驱动能力
DIO_17	37	I/O	数字	GPIO，JTAG_TDI，高驱动能力
DIO_18	39	I/O	数字	GPIO
DIO_19	40	I/O	数字	GPIO
DIO_2	20	I/O	数字	GPIO
DIO_20	41	I/O	数字	GPIO
DIO_21	42	I/O	数字	GPIO
DIO_22	43	I/O	数字	GPIO
DIO_23	44	I/O	数字或模拟	GPIO，模拟功能
DIO_24	45	I/O	数字或模拟	GPIO，模拟功能
DIO_25	48	I/O	数字或模拟	GPIO，模拟功能
DIO_26	1	I/O	数字或模拟	GPIO，模拟功能
DIO_27	2	I/O	数字或模拟	GPIO，模拟功能
DIO_28	3	I/O	数字或模拟	GPIO，模拟功能
DIO_29	7	I/O	数字或模拟	GPIO，模拟功能
NC	15	I/O	数字	无连接，该引脚在内部连接至射频开关
DIO_30	8	I/O	数字或模拟	GPIO，模拟功能
DIO_31	38	I/O	数字	仅支持外设功能。不支持通用 I/O 功能。
DIO_4	22	I/O	数字	GPIO
DIO_5	23	I/O	数字	GPIO，高驱动能力
DIO_6	24	I/O	数字	GPIO，高驱动能力
DIO_7	25	I/O	数字	GPIO，高驱动能力
DIO_8	26	I/O	数字	GPIO
DIO_9	27	I/O	数字	GPIO
GND	5	—	—	GND
GND	9	—	—	GND
GND	10	—	—	GND
GND	11	—	—	GND
GND	12	—	—	GND
GND	13	—	—	GND
GND	16	—	—	GND
GND	17	—	—	GND
GND	19	—	—	GND

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-1. 信号说明 – SIP 封装（续）

引脚		I/O	类型	说明
名称	编号			
GND	49-73	—	—	GND
NC	6	—	—	无连接
nRESET	4	I	数字	复位，低电平有效。内部上拉电阻和内部 100nF 至 VDDS_PU
RF	18	—	RF	50 欧姆射频端口
JTAG_TCKC	35	I	数字	JTAG_TCKC
JTAG_TMSC	34	I/O	数字	JTAG_TMSC，高驱动能力
VDDS	46	—	电源	1.8V 至 3.8V 主 SIP 电源
VDDS_PU	47	—	电源	用于复位内部上拉电阻的电源

7.3 未使用的引脚和模块的连接

表 7-2. 未使用的引脚的连接

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	1-3 7-8 20-33 36-45 48	NC 或 GND	NC
无连接	NC	6、14-15	NC	NC

(1) NC = 无连接

8 规格

8.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）(1) (2)

			最小值	最大值	单位
VDDS (1)	电源电压		-0.3	4.1	V
	任一数字引脚上的电压(3)		– 0.3	VDDS + 0.3，最大值 4.1	V
V_{in}	ADC 输入端的电压	启用电压调节	– 0.3	VDDS	V
		禁用电压调节，内部基准电压	– 0.3	1.49	
		禁用电压调节，VDDS 作为基准电压	– 0.3	VDDS/2.9	
				10	dBm
T_{stg}	存储温度		-40	150	°C

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

8.2 ESD 等级

				值	单位
V_{ESD}	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准(1)	所有引脚	±1000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 标准(2)	所有引脚	±500	V

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

8.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

		最小值	最大值	单位
工作环境温度(1) (2)		-40	105	°C
工作环境温度(1) (2)	发射输出功率高于 +15dBm 时的最高工作温度（使用 +20dBm PA）(2)	-40	95	°C
工作电源电压 (VDDS)		1.8	3.8	V
工作电源电压 (VDDS)，升压模式	VDDR = 1.95V +14dBm 射频输出功率	2.1	3.8	V
上升电源电压压摆率		0	100	mV/µs
下降电源电压压摆率		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) 如需了解热阻特性，请参阅节 8.8。

8.4 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

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.5 功耗 - 电源模式

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C，V_{DDS} = 3.6V 且启用了直流/直流转换器的条件下在 CC1312PSIP-EM 参考设计上测得。

参数		测试条件	典型值	单位
内核电流消耗				
I_{core}	复位	复位。RESET_N 引脚置为有效或 VDDS 低于上电复位阈值 (4)	36	μA
	关断	关断。无时钟在运行，无保留	150	nA
	待机， 无高速缓存保留	RTC 运行，CPU，80KB RAM 和（部分）寄存器保留。 RCOSC_LF	0.9	μA
		RTC 运行，CPU，80KB RAM 和（部分）寄存器保留 XOSC_LF	1.0	
	待机， 有高速缓存保留	RTC 运行，CPU，80KB RAM 和（部分）寄存器保留 XOSC_LF	2.8	μA
		RTC 运行，CPU，80KB RAM 和（部分）寄存器保留 XOSC_LF	2.9	
	空闲	电源系统和 RAM 已通电 RCOSC_HF	590	μA
I_{core}	工作	MCU 以 48MHz 运行 CoreMark RCOSC_HF	2.89	mA
外设电流消耗				
I_{peri}	外设电源域	启用域情况下的 Δ 电流	82	μA
	串行电源域	启用域情况下的 Δ 电流	5.5	
	射频内核	启用电源域、启用时钟且射频内核空闲 情况下的 Δ 电流	179	
	μDMA	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	54	
	计时器	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流(3)	68	
	I2C	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	8.2	
	I2S	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	22	
	SSI	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流(2)	70	
	UART	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流(1)	141	
	加密 (AES)	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	21	
	PKA	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	71	
	TRNG	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流	30	
传感器控制器引擎消耗				
I_{SCE}	工作模式	24MHz，无限循环	808	μA
	低功耗模式	2MHz，无限循环	30.1	

(1) 仅一个 UART 运行
(2) 仅一个 SSI 运行
(3) 仅一个 GPTimer 运行
(4) CC1312PSIP 在 nRESET 上集成了 100kΩ 上拉电阻

8.6 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°C、V_{DDS} = 3.6V 且启用直流/直流转换器的条件下在 CC1312PSIP-EM 参考设计上测得。
使用升压模式（将 VDDR 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	典型值	单位
	无线电接收电流，868MHz		5.8	mA
	无线电发射电流 常规 PA	0dBm 输出功率设置 868MHz	9.4	mA
		+10dBm 输出功率设置 868MHz	17.3	mA
	无线电发射电流 升压模式，常规 PA	+14dBm 输出功率设置 868MHz	28.7	mA
	无线电发射电流 高功率 PA	发射 (TX)，+19dBm 输出功率设置 915MHz，VDDS = 3.3V	62	mA
	无线电发射电流 高功率 PA	发送 (TX)，+20dBm 输出功率设置 915MHz，VDDS = 3.3V	86	mA

8.7 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_{DDS} = 3.0V 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，单存储体(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 (105°C)
闪存扇区擦除电流	平均 Δ 电流		10.7		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		6.2		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。

8.8 热阻特性

热指标 (1)		封装 MOT (SIP) 73 引脚	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	48.7	°C/W(2)
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	12.4	°C/W(2)
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	32.2	°C/W(2)
ψ_{JT}	结至顶部特性参数	0.40	°C/W(2)
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	32.0	°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) °C/W = 摄氏度/瓦。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.9 射频频带

在自然通风条件下的工作温度范围内（除非另有说明）。

参数	最小值	典型值	最大值	单位
频段	863		930	MHz

8.10 861MHz 至 1054MHz - 接收 (RX)

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V、启用直流/直流转换器且高功率 PA 连接到 V_{DDS} 的条件下基于 CC1312PSIP-EM 参考设计测得。
所有测量都在天线输入端执行。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 根据 ETSI EN 300 220 测量传导发射		< -57		dBm
杂散发射 1GHz 至 13GHz			< -47		dBm
802.15.4，50kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，100kHz RX 带宽					
灵敏度	BER = 10^{-2}，868MHz		–108		dBm
饱和限值	BER = 10^{-2}，868MHz		10		dBm
选择性，±200kHz	BER = 10^{-2}，868MHz(1)		44		dB
选择性，±400kHz	BER = 10^{-2}，868MHz(1)		48		dB
阻断，±1MHz	BER = 10^{-2}，868MHz(1)		57		dB
阻断，±2MHz	BER = 10^{-2}，868MHz(1)		62		dB
阻断，±5MHz	BER = 10^{-2}，868MHz(1)		68		dB
阻断，±10MHz	BER = 10^{-2}，868MHz(1)		76		dB
图像抑制（启用图像补偿）	BER = 10^{-2}，868MHz(1)		39		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
802.15.4，100kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，137kHz RX 带宽					
灵敏度 100kbps	868MHz，1% PER，127 字节有效载荷		-101		dBm
选择性，±200kHz	868MHz，1% PER，127 字节有效载荷。有用信号强度 -96dBm		38		dB
选择性，±400kHz	868MHz，1% PER，127 字节有效载荷。有用信号强度 -96dBm		45		dB
共道抑制	868MHz，1% PER，127 字节有效载荷。有用信号强度 -79dBm		-9		dB
802.15.4，200kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，311kHz RX 带宽					
灵敏度	BER = 10^{-2}，868MHz		-103		dBm
灵敏度	BER = 10^{-2}，915MHz		-103		dBm
选择性，±400kHz	BER = 10^{-2}，915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		41		dB
选择性，±800kHz	BER = 10^{-2}，915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		47Ω		dB
阻断，±2MHz	BER = 10^{-2}，915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		55		dB
阻断，±10MHz	BER = 10^{-2}，915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		67		dB
802.15.4，500kbps，±190kHz 偏差，2-GFSK，655kHz RX 带宽					
灵敏度 500kbps	916MHz，1% PER，127 字节有效载荷		-90		dBm
选择性，±1MHz	916MHz，1% PER，127 字节有效载荷。有用信号强度 -88dBm		11		dB
选择性，±2MHz	916MHz，1% PER，127 字节有效载荷。有用信号强度 -88dBm		43		dB
共道抑制	916MHz，1% PER，127 字节有效载荷。有用信号强度 -71dBm		-9		dB
SimpleLink™ 远距离 2.5kbps 或 5kbps（20ksym/s，2-GFSK，±5kHz 偏差，FEC（半速率），DSSS = 1:2 或 1:4，34kHz RX 带宽）					
灵敏度	2.5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz		-119		dBm
灵敏度	5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz		-117		dBm
饱和限值	2.5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz		10		dBm
选择性，±100kHz	2.5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz(1)		49		dB
选择性，±200kHz	2.5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz(1)		50		dB
选择性，±300kHz	2.5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz(1)		51		dB
阻断，±1MHz	2.5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz(1)		63		dB
阻断，±2MHz	2.5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz(1)		68		dB
阻断，±5MHz	2.5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz(1)		78		dB

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V、启用直流/直流转换器且高功率 PA 连接到 V_{DDS} 的条件下基于 CC1312PSIP-EM 参考设计测得。
所有测量都在天线输入端执行。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
阻断，±10MHz	2.5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz(1)		87		dB
图像抑制（启用图像补偿）	2.5kbps，BER = 10^{-2}，868MHz(1)		45		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
无线 M-Bus					
接收器灵敏度，wM-BUS C 模式，100kbps ±45kHz	接收器带宽 236kHz，BER 1%		–104		dBm
接收器灵敏度，wM-BUS T 模式，100kbps ±50kHz	接收器带宽 236kHz，BER 1%		-103		dBm
接收器灵敏度，wM-BUS S2 模式，32.768kbps ±50kHz	接收器带宽 196kHz，BER 1%		-109		dBm
接收器灵敏度，wM-BUS S1 模式，32.768kbps ±50kHz	接收器带宽 311kHz，BER 1%		-107		dBm
OOK，4.8kbps，39kHz RX 带宽					
灵敏度	BER = 10^{-2}，868MHz		-112		dBm
灵敏度	BER = 10^{-2}，915MHz		-112		dBm
窄带，9.6kbps ±2.4kHz 偏差，2-GFSK，868MHz，17.1kHz RX 带宽					
灵敏度	1% BER		-115		dBm
相邻信道抑制	1% BER。有用信号比 ETSI 基准灵敏度限值 (-104.6dBm) 高 3dB。干扰源 ±20kHz		39		dB
备用信道抑制	1% BER。有用信号比 ETSI 基准灵敏度限值 (-104.6dBm) 高 3dB。干扰源 ±40kHz		40		dB
阻断，±1MHz	1% BER。有用信号比 ETSI 基准灵敏度限值 (-104.6dBm) 高 3dB。		65		dB
阻断，±2MHz			69		dB
阻断，±10MHz			85		dB
1Mbps，±350kHz 偏差，2-GFSK，2.2MHz RX 带宽					
灵敏度	BER = 10^{-2}，868MHz		-94		dBm
灵敏度	BER = 10^{-2}，915MHz		-93		dBm
阻断，+2MHz	BER = 10^{-2}，915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		44		dB
阻断，-2MHz	BER = 10^{-2}，915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		27		dB
阻断，+10MHz	BER = 10^{-2}，915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		59		dB
阻断，-10MHz	BER = 10^{-2}，915MHz。有用信号比灵敏度限值高 3dB。		54		dB
Wi-SUN，2-GFSK					
灵敏度	50kbps，±12.5kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz，68kHz RX 带宽，10% PER，250 字节有效载荷		–104		dBm
选择性，-100kHz，50kbps，±12.5kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz	50kbps，±12.5kHz 偏差，2-GFSK，68kHz RX 带宽，866.6MHz，10% PER，250 字节有效载荷。有用信号比灵敏度等级高 3dB		32		dB
选择性，+100kHz，50kbps，±12.5kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz			33		dB
选择性，±100kHz，50kbps，±12.5kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz			30		dB
选择性，-200kHz，50kbps，±12.5kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz			36		dB
选择性，+200kHz，50kbps，±12.5kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz			38		dB
选择性，±200kHz，50kbps，±12.5kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz			37		dB
灵敏度	50kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，98kHz RX 带宽，918.2MHz，10% PER，250 字节有效载荷		–104		dBm

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V、启用直流/直流转换器且高功率 PA 连接到 V_{DDS} 的条件下基于 CC1312PSIP-EM 参考设计测得。
所有测量都在天线输入端执行。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，-200kHz，50kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，918.2MHz	50kbps，±25kHz 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，+200kHz，50kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，918.2MHz			35		dB
选择性，±200kHz，50kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，918.2MHz			34		dB
选择性，-400kHz，50kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，918.2MHz			40		dB
选择性，+400kHz，50kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，918.2MHz			40		dB
选择性，±400kHz，50kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，918.2MHz			40		dB
灵敏度	100kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz，135kHz RX 带宽，10% PER，250 字节有效载荷		-102		dBm
灵敏度	100kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，918.2MHz，135kHz RX 带宽，10% PER，250 字节有效载荷		-101		dBm
选择性，-200kHz，100kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz	100kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，135kHz RX 带宽，866.6MHz，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，+200kHz，100kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz			38		dB
选择性，±200kHz，100kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz			37		dB
选择性，-400kHz，100kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz			45		dB
选择性，+400kHz，100kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz			45		dB
选择性，±400kHz，100kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，866.6MHz			45		dB
灵敏度	100kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz，196kHz RX 带宽，10% PER，250 字节有效载荷		-100		dBm
选择性，-400kHz，100kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz	100kbps，±50kHz 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，+400kHz，100kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz			40		dB
选择性，±400kHz，100kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz			40		dB
选择性，-800kHz，100kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz			46		dB
选择性，+800kHz，100kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz			52		dB
选择性，±800kHz，100kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz			48		dB
灵敏度	150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz，273kHz RX 带宽，10% PER，250 字节有效载荷		-96		dBm
选择性，-400kHz，150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz	150kbps，±37.5kHz 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		41		dB
选择性，+400kHz，150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz			42		dB
选择性，-800kHz，150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz			46		dB
选择性，+800kHz，150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz			49		dB
灵敏度			-96		dBm

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V、启用直流/直流转换器且高功率 PA 连接到 V_{DDS} 的条件下基于 CC1312PSIP-EM 参考设计测得。
所有测量都在天线输入端执行。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，-400kHz，150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz	150kbps，±37.5kHz 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		40		dB
选择性，+400kHz，150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz			42		dB
选择性，±400kHz，150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz			40		dB
选择性，-800kHz，150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz			46		dB
选择性，+800kHz，150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz			49		dB
选择性，±800kHz，150kbps，±37.5kHz 偏差，2-GFSK，920.9MHz			46		dB
灵敏度	200kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz，273kHz RX 带宽，10% PER，250 字节有效载荷		-97		dBm
选择性，-400kHz，200kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz	200kbps，±50kHz 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		40		dB
选择性，+400kHz，200kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz			43		dB
选择性，±400kHz，200kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz			41		dB
选择性，-800kHz，200kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz			46		dB
选择性，+800kHz，200kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz			50		dB
选择性，±800kHz，200kbps，±50kHz 偏差，2-GFSK，918.4MHz			48		dB
灵敏度	200kbps，±100kHz 偏差，2-GFSK，920.8MHz，273kHz RX 带宽，10% PER，250 字节有效载荷		-96		dBm
选择性，-600kHz，200kbps，±100kHz 偏差，2-GFSK，920.8MHz	200kbps，±100kHz 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		43		dB
选择性，+600kHz，200kbps，±100kHz 偏差，2-GFSK，920.8MHz			47 Ω		dB
选择性，±600kHz，200kbps，±100kHz 偏差，2-GFSK，920.8MHz			44		dB
选择性，-1200kHz，200kbps，±100kHz 偏差，2-GFSK，920.8MHz			51		dB
选择性，+1200kHz，200kbps，±100kHz 偏差，2-GFSK，920.8MHz			54		dB
选择性，±1200kHz，200kbps，±100kHz 偏差，2-GFSK，920.8MHz			51		dB
灵敏度	300kbps，±75kHz 偏差，2-GFSK，917.6MHz，576kHz RX 带宽，10% PER，250 字节有效载荷		-94		dBm
选择性，-600kHz，300kbps，±75kHz 偏差，2-GFSK，917.6MHz	300kbps，±75kHz 偏差，2-GFSK，576kHz 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		27		dB
选择性，+600kHz，300kbps，±75kHz 偏差，2-GFSK，917.6MHz			45		dB
选择性，±600kHz，300kbps，±75kHz 偏差，2-GFSK，917.6MHz			35		dB
选择性，-1200kHz，300kbps，±75kHz 偏差，2-GFSK，917.6MHz			46		dB
选择性，+1200kHz，300kbps，±75kHz 偏差，2-GFSK，920.8MHz			50		dB
选择性，±1200kHz，300kbps，±75kHz 偏差，2-GFSK，917.6MHz			48		dB

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V、启用直流/直流转换器且高功率 PA 连接到 V_{DDS} 的条件下基于 CC1312PSIP-EM 参考设计测得。
所有测量都在天线输入端执行。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
WB-DSSS，240/120/60/30kbps（480ksym/s，2-GFSK，±195kHz 偏差，FEC（半速率），DSSS = 1/2/4/8，622kHz RX 带宽）					
灵敏度	240kbps，DSSS = 1，BER = 10^{-2}，915MHz		-101		dBm
灵敏度	120kbps，DSSS = 2，BER = 10^{-2}，915MHz		-103		dBm
灵敏度	60kbps，DSSS = 4，BER = 10^{-2}，915MHz		-105		dBm
灵敏度	30kbps，DSSS = 8，BER = 10^{-2}，915MHz		-106		dBm
阻断，±1MHz	240kbps，DSSS = 1，BER = 10^{-2}，915MHz		49		dB
阻断，±2MHz	240kbps，DSSS = 1，BER = 10^{-2}，915MHz		53		dB
阻断，±5MHz	240kbps，DSSS = 1，BER = 10^{-2}，915MHz		58		dB
阻断，±10MHz	240kbps，DSSS = 1，BER = 10^{-2}，915MHz		67		dB

(1) 根据 ETSI EN 300 220 v. 3.1.1，有用信号比基准灵敏度限值高 3dB

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.11 861MHz 至 1054MHz - 发送 (TX)

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V、启用直流/直流转换器、高功率 PA 连接到 V_{DDS} 且使用 2-GFSK、50kbps、±25kHz 偏差的条件下基于 CC1312PSIP-EM 参考设计测得。
所有测量都在天线输入端执行。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 915MHz		14		dBm
最大输出功率， 常规 PA		868MHz 和 915MHz		12.4		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		34		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 [(1)]	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 [(1)]	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[(1)]	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

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V、启用直流/直流转换器、高功率 PA 连接到 V_{DDS} 且使用 2-GFSK、50kbps、±25kHz 偏差的条件下基于 CC1312PSIP-EM 参考设计测得。
所有测量都在天线输入端执行。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 (1)	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		< -42		
	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		-32		dBm
	三次谐波	+20dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		-44		dBm
	四次谐波	+20dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		-38		dBm
	五次谐波	+20dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		-47		dBm
	二次谐波	+19dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		-30		dBm
	三次谐波	+19dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		-50		dBm
	四次谐波	+19dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		-45		dBm
	五次谐波	+19dBm 设置，VDDS = 3.3V，915MHz		-44		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		-24		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		-31		dBm

(1) 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。

8.12 861MHz 至 1054MHz - PLL 相位噪声宽带模式

相关数据都是在 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V 的条件下基于 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	±10kHz 偏移		– 74		dBc/Hz
	±100kHz 偏移		– 97		dBc/Hz
	±200kHz 偏移		– 107		dBc/Hz
	±400kHz 偏移		-113		dBc/Hz
	±1000kHz 偏移		-120		dBc/Hz
	±2000kHz 偏移		-127		dBc/Hz
	±10000kHz 偏移		-141		dBc/Hz

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.13 861MHz 至 1054MHz - PLL 相位噪声窄带模式

相关数据都是在 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V 的条件下基于 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	±10kHz 偏移		-93		dBc/Hz
	±100kHz 偏移		-93		dBc/Hz
	±200kHz 偏移		– 95		dBc/Hz
	±400kHz 偏移		– 104		dBc/Hz
	±1000kHz 偏移		-121		dBc/Hz
	±2000kHz 偏移		– 130		dBc/Hz
	±10000kHz 偏移		-140		dBc/Hz

8.14 时序和开关特性

8.14.1 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

8.14.2 唤醒时间

在 V_{DDS} = 3.0V、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(1)			850 - 4000		µs
MCU，从关断到工作状态(1)			850 - 4000		µs
MCU，从待机到工作状态			165		µs
MCU，从工作到待机状态			39		µs
MCU，从空闲到工作状态			15		µs

(1) 唤醒时间取决于启动器件时 VDDR 电容器上的剩余电量以及器件在重新启动之前处于复位或关断状态的时间长度。

8.14.3 时钟规范

8.14.3.1 48MHz 晶体振荡器 (XOSC_HF) 和射频频率精度

该模块包含一个连接到振荡器的 48MHz 晶体。晶体在生产过程中进行了校准，射频频率在软件中进行了温度补偿，请参阅时钟系统了解更多信息。除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C 且 V_{DDS} = 3.0V 的条件下基于德州仪器 (TI) 参考设计测得。

	参数	最小值	典型值	最大值	单位
	晶振频率		48		MHz
	晶体振荡器启动时间(1)		200		µs
	25° 时的 48MHz 初始频率精度	-5	2	5	ppm
	48MHz 频率稳定性，温漂 -40° 至 105°	-16		18	ppm
	晶体老化，5 年	-2		2	ppm
	晶体老化，10 年	-4		2	ppm
	射频频率精度，包括内部软件补偿的温漂，不包括老化，-40° 至 65°。基于晶体制造商规格中提供的温度范围内的晶体漂移估计值	-10		10	ppm

(1) 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。

8.14.3.2 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°C 且 V_{DDS} = 3.0V 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		%

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C 且 V_{DDS} = 3.0V 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
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

8.14.3.3 2MHz RC 振荡器 (RCOSC_MF)

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C 且 V_{DDS} = 3.0V 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
校准频率		2		MHz
启动时间		5		µs

8.14.3.4 32.768kHz 晶体振荡器 (XOSC_LF) 和 RTC 精度

该模块包含一个连接到振荡器的 32.768kHz 晶体。基于 32.768kHz 晶体的 RTC 在生产中进行了校准，并在软件中进行了温度补偿，请参阅时钟系统了解更多信息。除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C 且 V_{DDS} = 3.0V 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
	25° 时的初始频率精度	-20		20	ppm
	32kHz 晶体老化，第一年	-3		3	ppm
	对 32kHz 晶振使用温度补偿（如果在软件中启用）时的实时时钟 (RTC) 精度，不包括老化，-40° 至 105° 度。基于制造商晶体规格中提供的温度范围内的晶体漂移估计值。	-100		50	ppm
	对 32kHz 晶振使用温度补偿（如果在软件中启用）时的实时时钟 (RTC) 精度，不包括老化，-40° 至 65° 度。基于制造商晶体规格中提供的温度范围内的晶体漂移估计值。	-50		50	ppm

8.14.3.5 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°C 且 V_{DDS} = 3.0V 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			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/°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。请注意，由于 SIP 模块已包含 32kHz 晶体，因此是否使用 RCOSC_LF 就没那么重要了。
(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。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.14.4 同步串行接口 (SSI) 特性

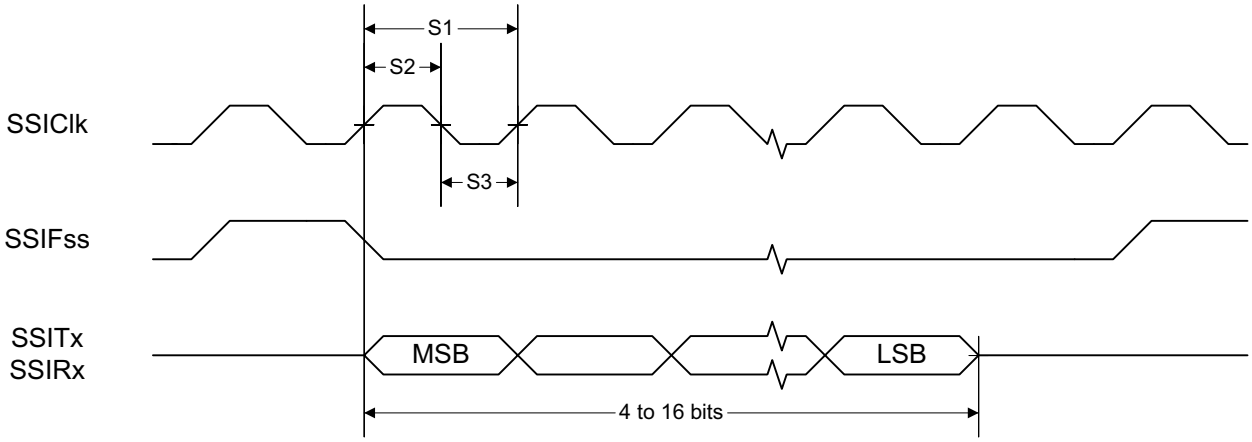


图 8-1. TI 帧格式 (FRF = 01) 的 SSI 时序，单次传输时序测量

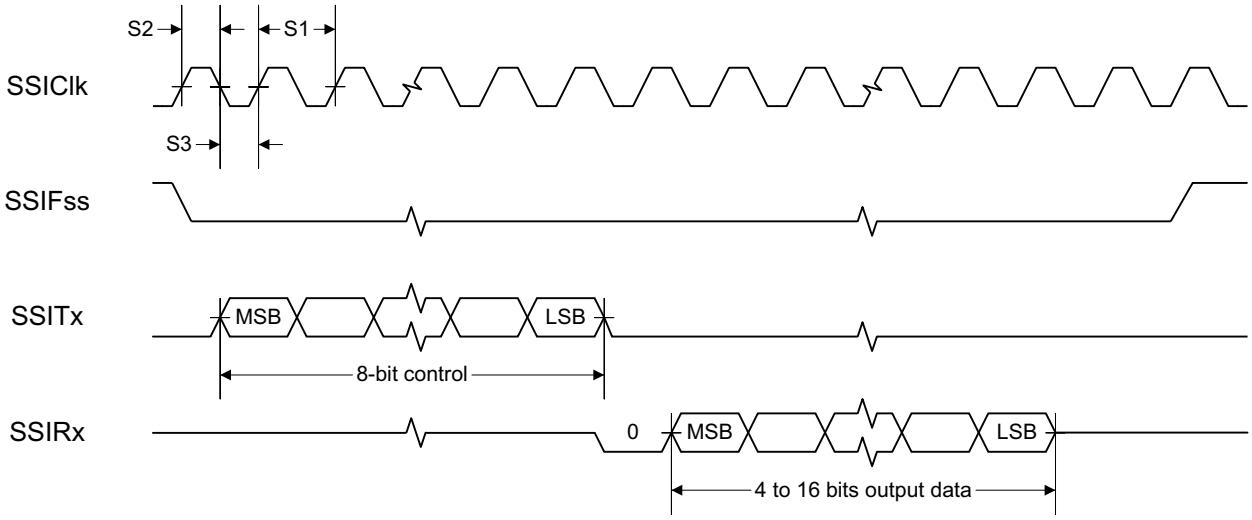


图 8-2. MICROWIRE 帧格式 (FRF = 10) 的 SSI 时序，单次传输

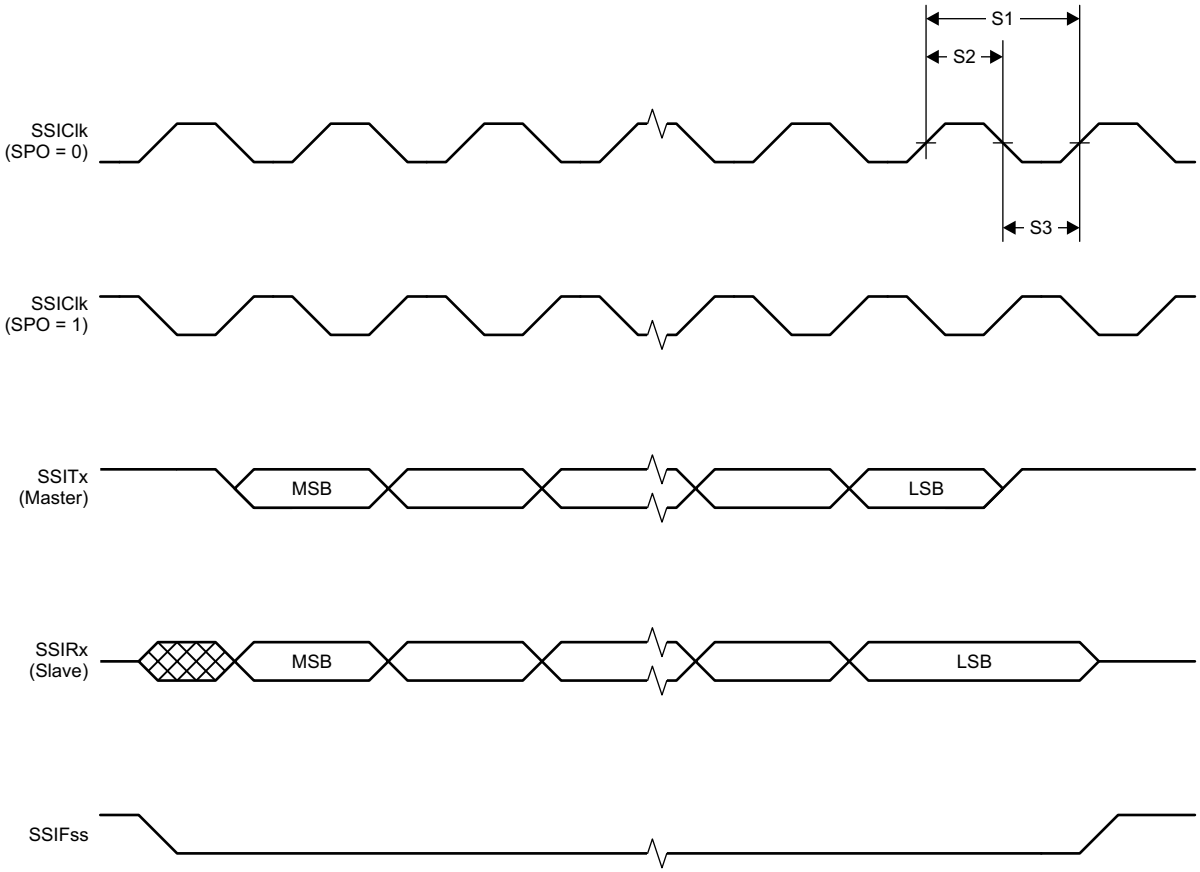


图 8-3. SPI 帧格式 (FRF = 00) 的 SSI 时序，SPH = 1

8.14.4.1.1 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_{clk_per}	SSIClk 周期时间	12		65024	系统时钟 (2)
S2(1)	t_{clk_high}	SSIClk 高电平时间		0.5		t_{clk_per}
S3(1)	t_{clk_low}	SSIClk 低电平时间		0.5		t_{clk_per}

(1) 请参阅 SSI 时序图：图 8-1、图 8-2 和图 8-3。
(2) 使用 TI 提供的电源驱动程序时，SSI 系统时钟始终为 48MHz。

8.14.5 UART

8.14.5.1 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

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.15 外设特性

8.15.1 ADC

8.15.1.1 模数转换器 (ADC) 特性

除非另有说明，否则 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V 且启用电压调节。[1]
性能数字要求根据 TI 提供的 ADC 驱动器在软件中调整偏移和增益。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
	输入电压范围		0		VDDS	V
	分辨率			12		位
	采样率				200	ksps
	偏移量	内部 4.3V 等效基准[2]		±2		LSB
	增益误差	内部 4.3V 等效基准[2]		±7		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		
		VDDS 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，200ksps，300Hz 输入音调		11.1		
		内部基准，禁用电压调节，14 位模式，200ksps，600Hz 输入音调 [5]		11.3		
		内部基准，禁用电压调节，15 位模式，200ksps，150Hz 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
		VDDS 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
		VDDS 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，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
		VDDS 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，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]		0.40		mA
	电流消耗	VDDS 作为基准		0.57		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
	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_{ref} = 4.3V × 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

除非另有说明，否则 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V 且启用电压调节。(1)
性能数字要求根据 TI 提供的 ADC 驱动器在软件中调整偏移和增益。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
	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节 8.1 的范围内
(4) 无丢码
(5) ADC_output = Σ(4^n 样本数) >> n，n = 所需的额外位数

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.15.2 DAC

8.15.2.1 数模转换器 (DAC) 特性

除非另有说明，否则 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V。

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} = VDDS，缓冲器关闭，内部负载		13		1 / F_{DAC}
		V_{REF} = VDDS，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			MΩ
	短路电流				400	μA
Z_{MAX}	最大输出阻抗 Vref = VDDS，缓冲器开启，CLK 250kHz	VDDS = 3.8V，DAC 电荷泵关闭		50.8		kΩ
		VDDS = 3.0V，DAC 电荷泵开启		51.7		
		VDDS = 3.0V，DAC 电荷泵关闭		53.2		
		VDDS = 2.0V，DAC 电荷泵开启		48.7		
		VDDS = 2.0V，DAC 电荷泵关闭		70.2		
		VDDS = 1.8V，DAC 电荷泵开启		46.3		
		VDDS = 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} = VDDS， 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} = VDDS， 负载 = 连续时间比较器或低功耗时钟比较器 F_{DAC} = 16kHz		±1.2		
	偏移误差[2] 负载 = 连续时间比较器	V_{REF} = VDDS = 3.8V		±0.64		LSB[1]
		V_{REF} = VDDS = 3.0V		±0.81		
		V_{REF} = VDDS = 1.8V		±1.27		
		V_{REF} = DCOUPL，预充电开启		±3.43		
		V_{REF} = DCOUPL，预充电关闭		±2.88		
		V_{REF} = ADCREF		±2.37		
	偏移误差[2] 负载 = 低功耗时钟比较器	V_{REF} = VDDS = 3.8V		±0.78		LSB[1]
		V_{REF} = VDDS = 3.0V		±0.77		
		V_{REF} = VDDS = 1.8V		±3.46		
		V_{REF} = DCOUPL，预充电开启		±3.44		
		V_{REF} = DCOUPL，预充电关闭		±4.70		
		V_{REF} = ADCREF		±4.11		
	最大代码输出电压变化[2] 负载 = 连续时间比较器	V_{REF} = VDDS = 3.8V		±1.53		LSB[1]
		V_{REF} = VDDS = 3.0V		±1.71		
		V_{REF} = VDDS = 1.8V		±2.10		
		V_{REF} = DCOUPL，预充电开启		±6.00		
		V_{REF} = DCOUPL，预充电关闭		±3.85		
		V_{REF} = ADCREF		±5.84		

除非另有说明，否则 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
	最大代码输出电压变化[2] 负载 = 低功耗时钟比较器	V_{REF} = VDDS = 3.8V		±2.92		LSB[1]
		V_{REF} = VDDS = 3.0V		±3.06		
		V_{REF} = VDDS = 1.8V		±3.91		
		V_{REF} = DCOUPL，预充电开启		±7.84		
		V_{REF} = DCOUPL，预充电关闭		±4.06		
		V_{REF} = ADCREF		±6.94		
	输出电压范围[2] 负载 = 连续时间比较器	V_{REF} = VDDS = 3.8V，代码 1		0.03		V
		V_{REF} = VDDS = 3.8V，代码 255		3.62		
		V_{REF} = VDDS = 3.0V，代码 1		0.02		
		V_{REF} = VDDS = 3.0V，代码 255		2.86		
		V_{REF} = VDDS = 1.8V，代码 1		0.01		
		V_{REF} = VDDS = 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		
	输出电压范围[2] 负载 = 低功耗时钟比较器	V_{REF} = VDDS = 3.8V，代码 1		0.03		V
		V_{REF} = VDDS = 3.8V，代码 255		3.61		
		V_{REF} = VDDS = 3.0V，代码 1		0.02		
		V_{REF} = VDDS = 3.0V，代码 255		2.85		
		V_{REF} = VDDS = 1.8V，代码 1		0.01		
		V_{REF} = VDDS = 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						
INL	积分非线性	V_{REF} = VDDS，F_{DAC} = 250kHz		±1		LSB[1]
		V_{REF} = DCOUPL，F_{DAC} = 250kHz		±2		
		V_{REF} = ADCREF，F_{DAC} = 250kHz		±1		
DNL	微分非线性	V_{REF} = VDDS，F_{DAC} = 250kHz		±1		LSB[1]
	偏移误差	V_{REF} = VDDS = 3.8V		±0.40		LSB[1]
		V_{REF} = VDDS = 3.0V		±0.50		
		V_{REF} = VDDS = 1.8V		±0.75		
		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} = VDDS = 3.8V		±1.00		LSB[1]
		V_{REF} = VDDS = 3.0V		±1.00		
		V_{REF} = VDDS = 1.8V		±1.00		
		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		

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

除非另有说明，否则 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
	输出电压范围 负载 = 低功耗时钟比较器	V_{REF} = VDDS = 3.8V，代码 1		0.03		V
		V_{REF} = VDDS = 3.8V，代码 255		3.61		
		V_{REF} = VDDS = 3.0V，代码 1		0.02		
		V_{REF} = VDDS = 3.0V，代码 255		2.85		
		V_{REF} = VDDS = 1.8V，代码 1		0.02		
		V_{REF} = VDDS = 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 LSB (V_{REF} 3.8V/3.0V/1.8V/DCOUPL/ADCREF) = 14.10mV/11.13mV/6.68mV/4.67mV/5.48mV
(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

8.15.3 温度和电池监测器

8.15.3.1 温度传感器

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C 且 V_{DDS} = 3.0V 的条件下在德州仪器 (TI) 参考设计上测得。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
分辨率			2		°C
精度	-40 °C 至 0 °C		±5.0		°C
精度	0 °C 至 105 °C		±3.5		°C
电源电压系数(1)			3.6		°C/V

(1) 使用 TI 提供的温度驱动程序时，温度传感器会自动补偿 VDDS 变化。

8.15.3.2 电池监测器

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°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	VDDS = 3.0V		22.5		mV
偏移误差			-32		mV
增益误差			-1		%

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.15.4 比较器

8.15.4.1 低功耗时钟比较器

除非另有说明，否则 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V。

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
时钟频率			SCLK_LF		
内部基准电压 (1)	使用内部 DAC 并以 VDDS 作为基准电压，DAC 代码 = 0 - 255		0.024 - 2.865		V
偏移量	在 V_{DDS} / 2 处测量，包括内部 DAC 的误差		±5		mV
决策时间	从 –50mV 步进至 50mV		1		时钟周期

(1) 比较器可以使用内部 8 位 DAC 作为基准。DAC 输出电压范围取决于所选的基准电压。请参阅节 8.15.2.1。

8.15.4.2 持续时间比较器

除非另有说明，否则 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V。

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_{DDS} / 2 处测量		±5		mV
决策时间	从 –10mV 步进到 10mV		0.70		µs
电流消耗	内部基准		8.0		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

8.15.5 电流源

8.15.5.1 可编程电流源

除非另有说明，否则 T_c = 25°C、V_{DDS} = 3.0V。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电流源可编程输出范围（对数范围）			0.25 - 20		µA
分辨率			0.25		µA

8.15.6 GPIO

8.15.6.1 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_{DDS} = 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，Vpad = 0V		73		μA
GPIO 下拉电流	输入模式，启用下拉，Vpad = VDDS		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_{DDS} = 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_{DDS} = 3.8V					
GPIO 上拉电流	输入模式，启用上拉，Vpad = 0V		282		μA
GPIO 下拉电流	输入模式，启用下拉，Vpad = VDDS		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_{DDS}			V
VIL	最高 GPIO 输入电压明确解读为*低电平*			0.2*V_{DDS}	V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.16 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°C 且 V_{DDS} = 3.0V 的条件下完成的。如需了解器件限制，请参阅*建议运行条件*。超出这些限制的值仅供参考。

8.16.1 MCU 电流

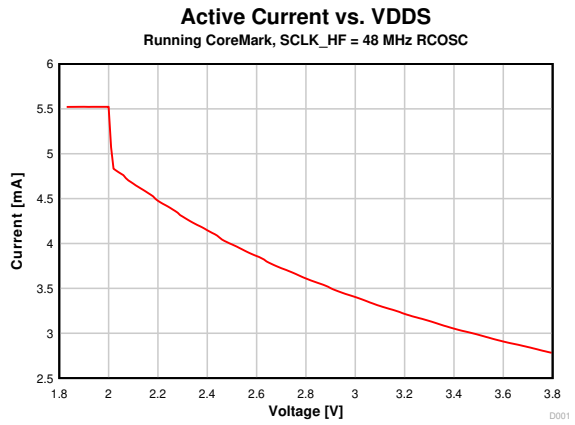


图 8-4. 工作模式 (MCU) 电流与电源电压 (VDDS) 间的关系（运行 CoreMark 时，SCLK_HF = 48MHz RCOSC）

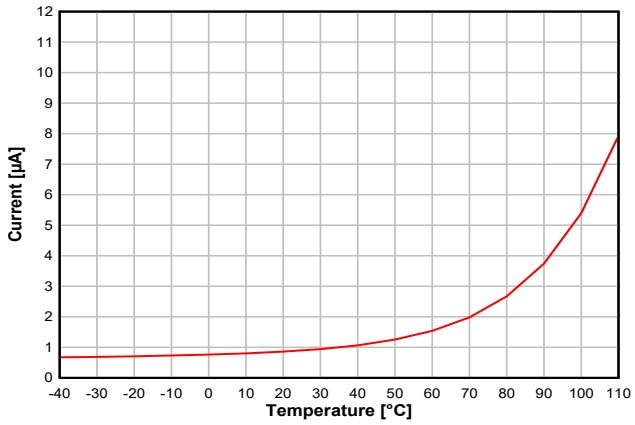


图 8-5. 待机模式 (MCU) 电流与温度间的关系（80kB RAM 保留，无高速缓存保留，RTC On SCLK_LF = 32kHz XOSC）

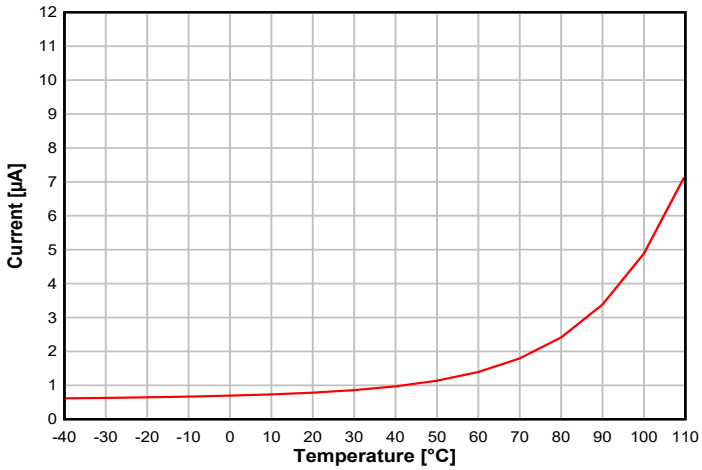


图 8-6. 待机模式 (MCU) 电流与温度间的关系（80kB RAM 保留，无高速缓存保留，RTC On SCLK_LF = 32kHz XOSC，VDDS = 3.6V）

8.16.2 RX 电流

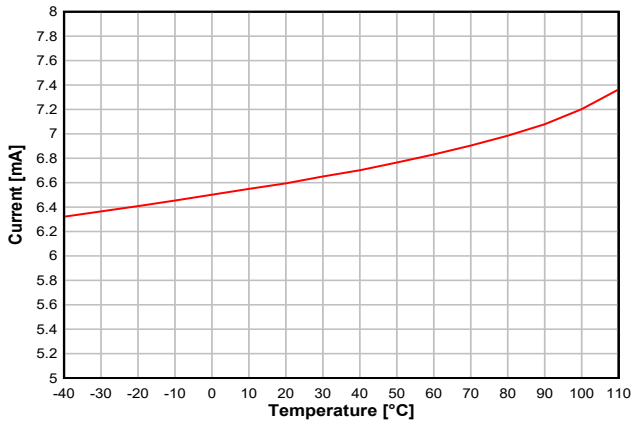


图 8-7. RX 电流与温度间的关系（50kbps，868.3MHz）

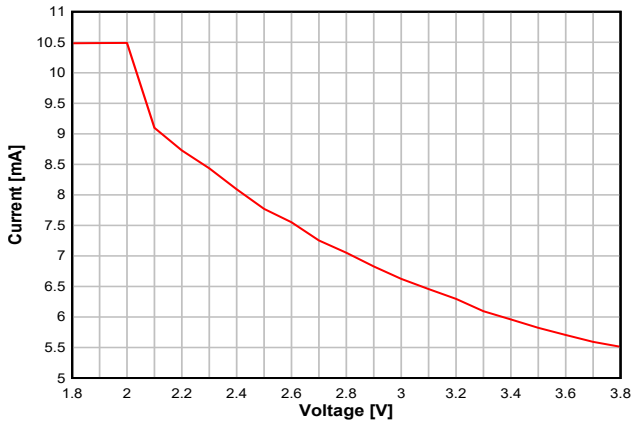


图 8-8. RX 电流与电源电压 (VDDS) 间的关系（50kbps，868.3MHz）

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.16.3 TX 电流

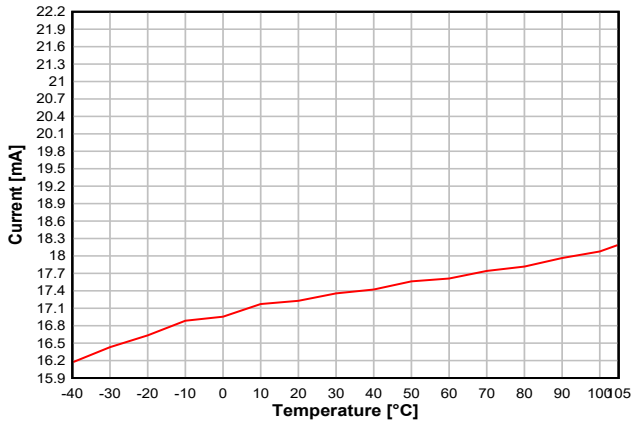


图 8-9. TX 电流与温度间的关系（50kbps，868.3MHz，+10dBm，VDDS = 3.6V）

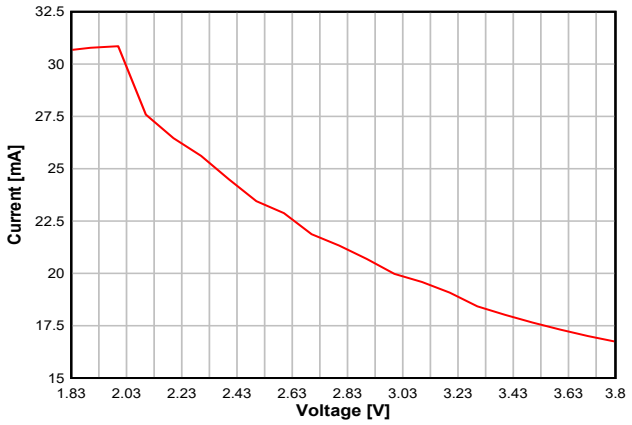


图 8-10. TX 电流与电源电压 (VDDS) 间的关系（50kbps，868.3MHz，+10dBm 设置）

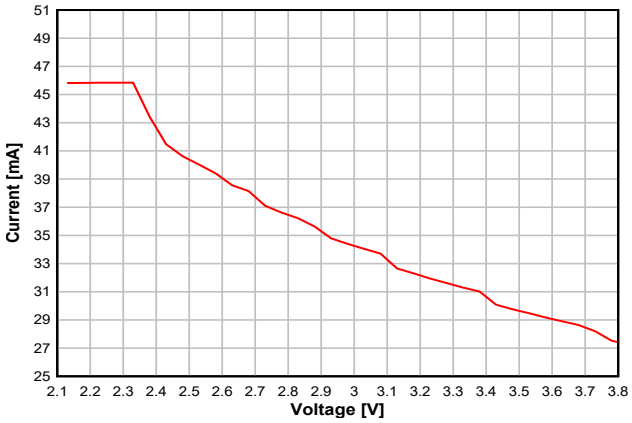


图 8-11. TX 电流与电源电压 (VDDS) 间的关系（50kbps，915MHz，+14dBm 设置）

表 8-1. 典型 TX 电流和输出功率

CC1312PSIP，915MHz，VDDS = 3.0V（在 LP-EM-CC1312PSIP 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	14	13.8	34.6
0x823F	12.5	12.2	24.9
0x7828	12	11.8	23.5
0x7A15	11	10.9	21.6
0x4C0D	10	10.1	20.0
0x400A	9	9.5	19.1
0x449A	8	8.1	17.1
0x364D	7	6.8	15.3
0x2892	6	6.3	14.8
0x20DC	5	4.9	13.7
0x28D8	4	4	12.6
0x1C46	3	2.8	11.7
0x18D4	2	2.3	11.5
0x16D1	1	0.8	10.6
0x16D0	0	0.3	10.3
0x0CCB	-3	-3.4	8.6
0x0CC9	-5	-5.4	7.9
0x08C7	-7	-8	7.3
0x0AC5	-10	-11.7	6.6
0x08C3	-15	-17.1	5.9
0x08C2	-20	-20.9	5.6

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.16.4 RX 性能

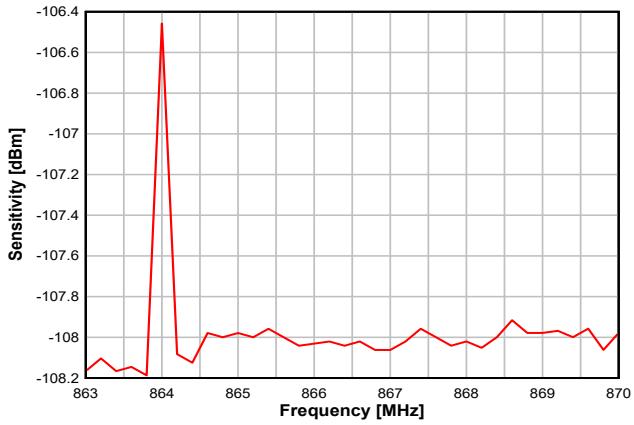


图 8-12. 灵敏度与频率间的关系 (50kbps)

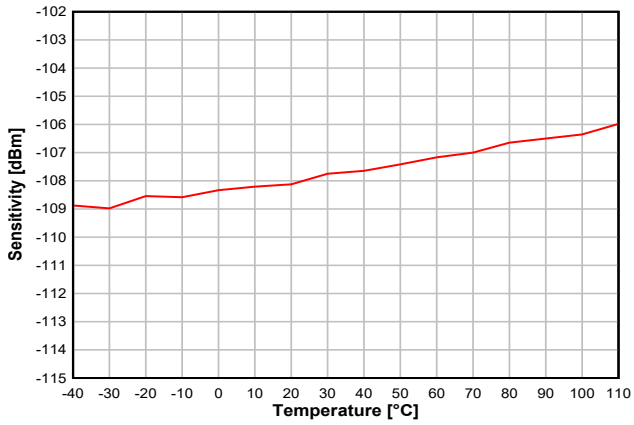


图 8-13. 灵敏度与温度间的关系 (50kbps，868.3MHz)

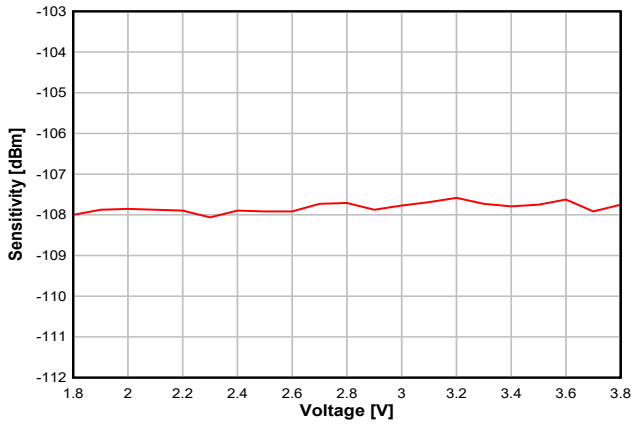


图 8-14. 灵敏度与电源电压 (VDDS) 间的关系（50kbps，868.3MHz）

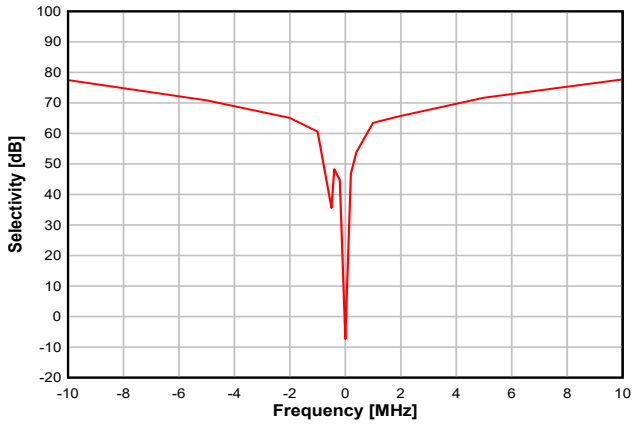


图 8-15. 选择性与频率偏移间的关系（50kbps，868.3MHz）

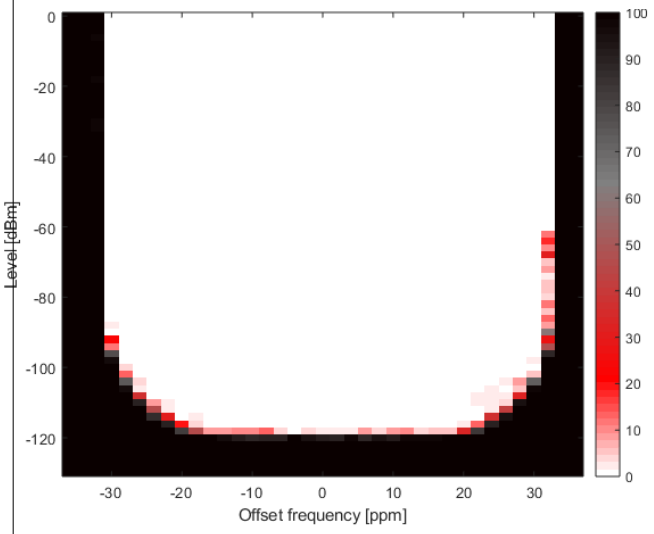


图 8-16. PER 与电平与频率间的关系（SimpleLink™ 远距离 5kbps，868MHz）

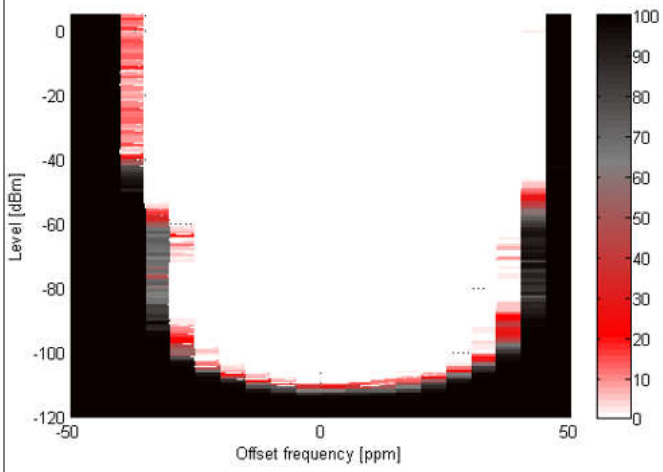


图 8-17. 802.15.4，50kbps，±25kHz 偏差，2-GFSK，100kHz RX 带宽

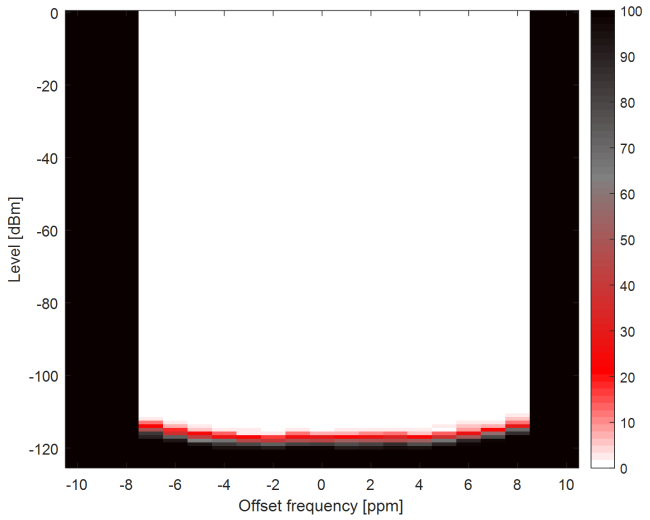


图 8-18. 窄带，9.6kbps ±2.4kHz 偏差，2-GFSK，868MHz，17.1kHz RX 带宽

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.16.5 TX 性能

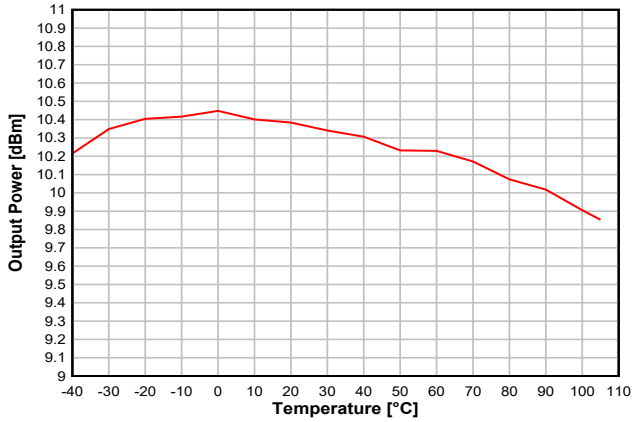


图 8-19. 输出功率与温度间的关系（868.3MHz，+10dBm 设置）

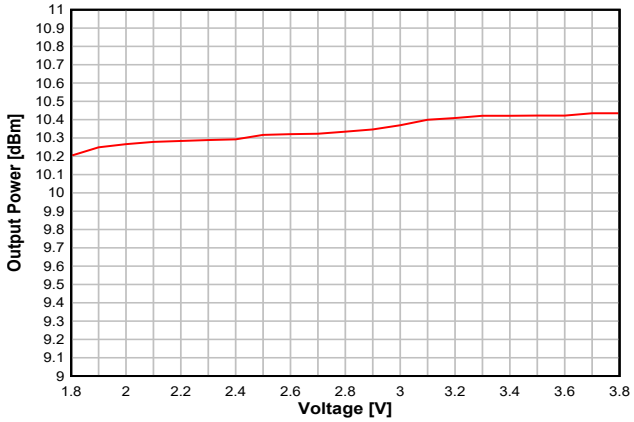


图 8-20. 输出功率与电源电压 (VDDS) 间的关系（868.3MHz，+10dBm 设置）

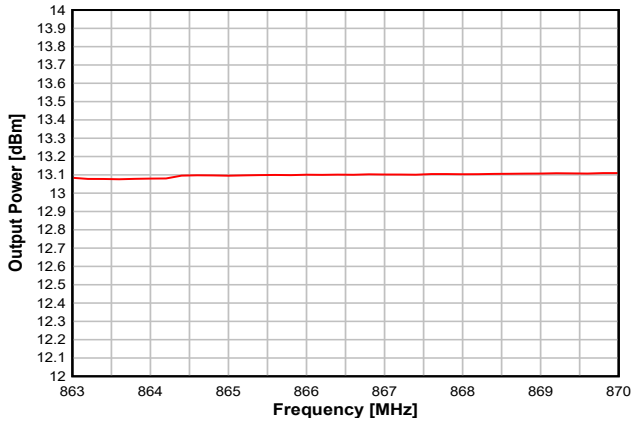


图 8-21. 输出功率与频率间的关系（+14dBm 设置）

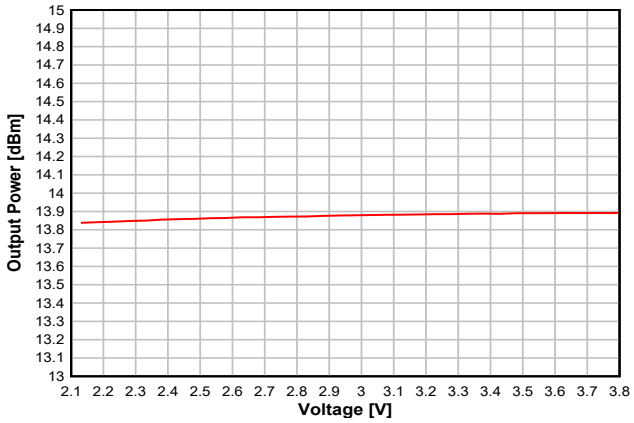


图 8-22. 输出功率与电源电压 (VDDS) 间的关系（915MHz，+14dBm 设置）

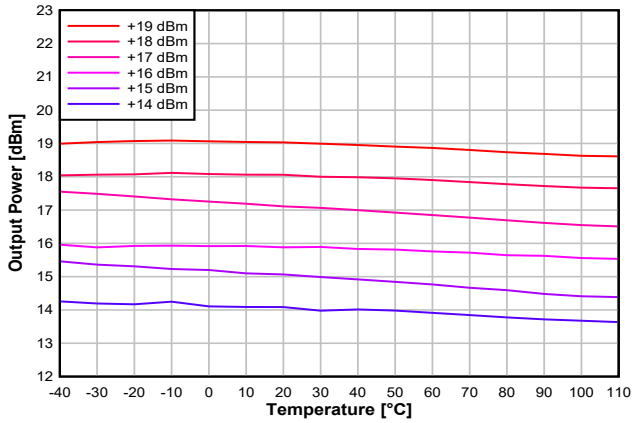


图 8-23. TX 电流与温度间的关系（50kbps，915MHz，+20dBm PA，VDDS = 3.3V）

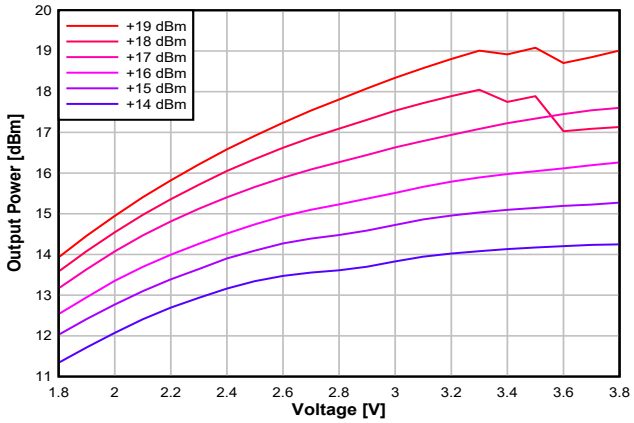


图 8-24. TX 电流与电源电压 (VDDS) 间的关系（50kbps，915MHz，+20dBm PA）

8.16.6 ADC 性能

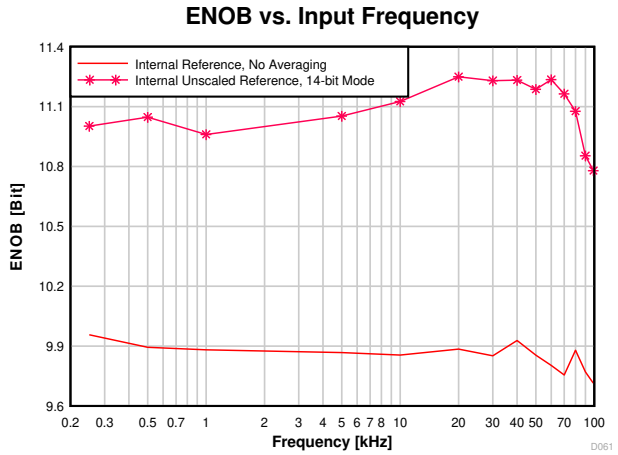


图 8-25. ENOB 与输入频率间的关系

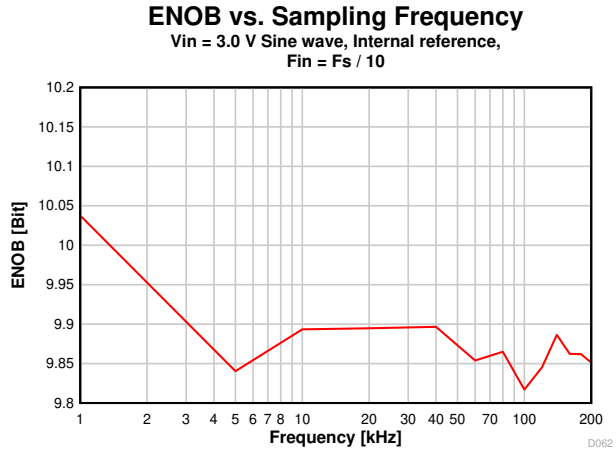


图 8-26. ENOB 与采样频率间的关系

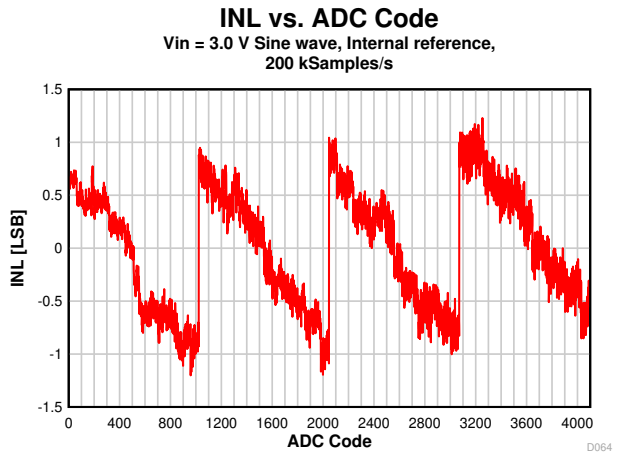


图 8-27. INL 与 ADC 代码间的关系

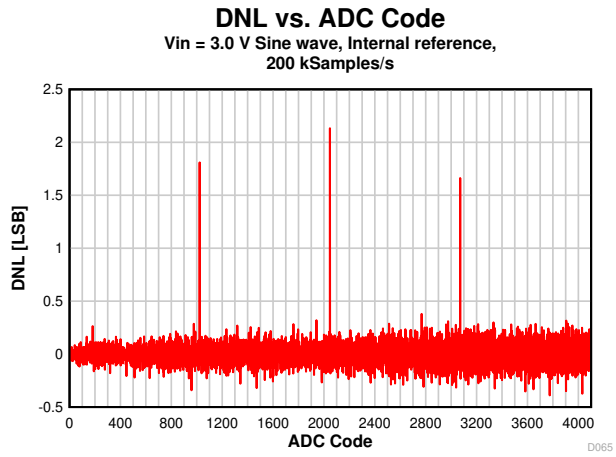


图 8-28. DNL 与 ADC 代码间的关系

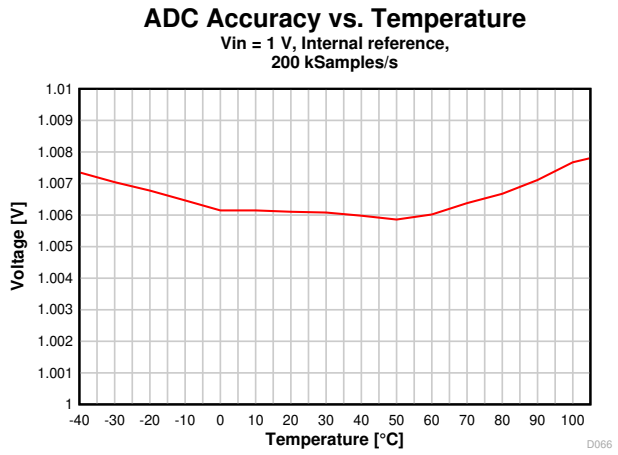


图 8-29. ADC 精度与温度间的关系

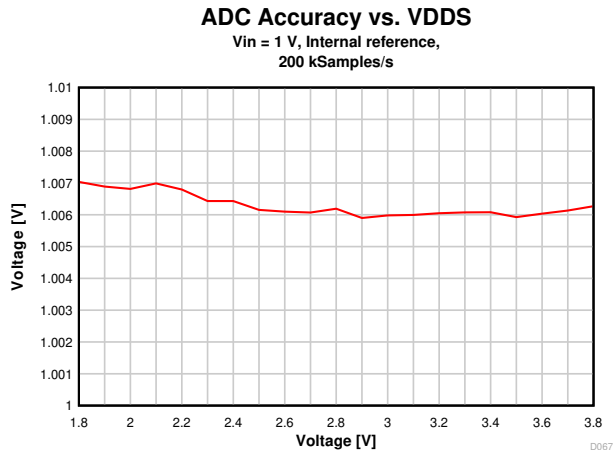


图 8-30. ADC 精度与电源电压 (VDDS) 间的关系

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.16.7 温度补偿

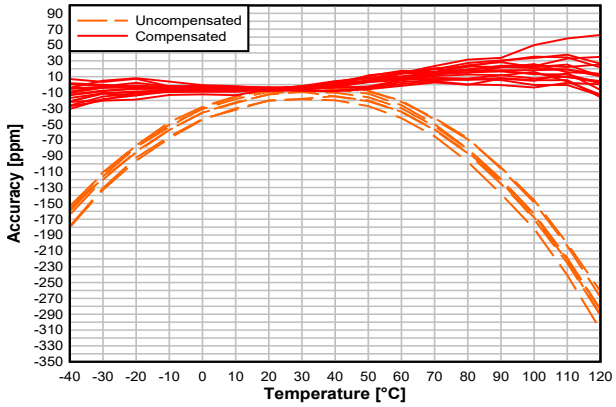


图 8-31. 实时时钟 (RTC) 的温度补偿

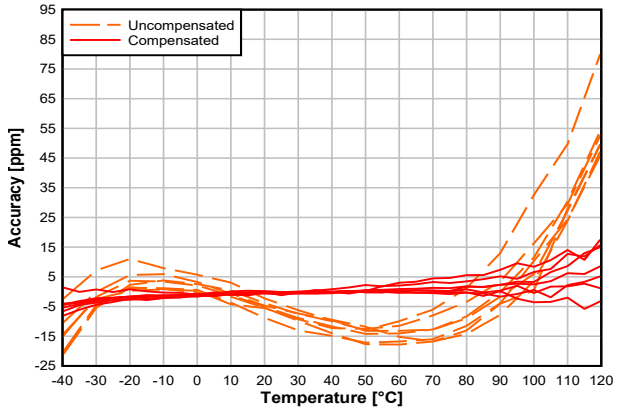


图 8-32. 射频频率的温度补偿

9 详细说明

9.1 概述

节 4 展示了 CC1312PSIP 器件的核心模块。

9.2 系统 CPU

CC1312PSIP 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®-M4F 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
- 对时间苛刻的应用提供可确定的, 高性能的中断处理
- 单周期乘法指令和硬件除法器
- 面向硬件除法和快速数字信号处理的乘法累加运算
- 采用饱和算法处理信号
- 符合 IEEE 754 标准的单精度浮点单元 (FPU)
- 适用于安全关键型应用的存储器保护单元 (MPU)
- 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

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9.3 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*规格* 部分找到所选格式的性能数据。

9.3.1 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，CC1312PSIP 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 9-1 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 9-1. 特性支持

特性	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。

9.4 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) 分为最多 5 个 16KB 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。用于检测存储器位错误的内置奇偶校验功能可以减少芯片级软错误，从而提高可靠性。系统 SRAM 在启动后执行代码时始终初始化为零。

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。

有一个 4KB 超低泄漏 SRAM 可与传感器控制器引擎配合使用，通常用于存储传感器控制器程序、数据和配置参数。系统 CPU 也可以访问此 RAM。系统复位后，传感器控制器 RAM 不会清零。

ROM 包括 TI-RTOS 内核和底层驱动程序以及所选无线电协议栈的重要部分，可以为应用释放闪存存储器。ROM 还包含可用于器件初始编程的串行（SPI 和 UART）引导加载程序。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9.5 传感器控制器

传感器控制器包含可以在待机和工作功耗模式下选择性启用的电路。该域中的外设可由传感器控制器引擎控制，该引擎是专有的低功耗 CPU。该 CPU 可以读取和监控传感器或自主执行其他任务；从而显著降低功耗并减轻系统 CPU 的负担。

用户可以使用一种简单编程语言（其语法类似于 C）来对传感器控制器引擎进行编程。通过这样的编程，可以将传感器轮询和其他任务指定为顺序算法，而不必采用复杂的外设模块、计时器、DMA、寄存器可编程状态机甚至路由等的静态配置。

主要优点为：

- 灵活性 - 数据可以采用无限制的方式读取和处理，同时仍然确保超低功耗
- 2MHz 低功耗模式可实现尽可能少的数字传感器处理
- 动态重复使用硬件资源
- 40 位累加器支持乘法、加法和移位
- 可观察性和调试选项

Sensor Controller Studio 用于编写、测试和调试传感器控制器的代码。该工具生成 C 驱动程序源代码，系统 CPU 应用程序使用这些源代码来控制传感器控制器并与传感器控制器交换数据。典型的用例可能（但不限于）如下：

- 使用集成 ADC 或比较器读取模拟传感器
- 使用 GPIO、SPI、UART 或 I^2C 连接数字传感器（UART 和 I^2C 进行位拆裂）
- 电容式感应
- 波形生成
- 超低功耗脉冲计数（流量计量）
- 按键扫描

传感器控制器中的外设包括：

- 低功耗时钟比较器可用于将系统 CPU 从比较器处于工作状态的任何状态中唤醒。一个可配置的内部基准 DAC 可与比较器结合使用。比较器的输出也可用于触发中断或 ADC。
- 电容式传感功能由恒流源、时间数字转换器和比较器实现。该模块中的连续时间比较器也可用作低功耗时钟比较器的高精度替代方案。当这些模块用于电容式感应时，传感器控制器负责基线跟踪、迟滞、滤波和其他相关功能。
- ADC 是一款 12 位、200ksps ADC，具有八个输入和一个内置电压基准。ADC 可由许多不同的源触发，包括计时器、I/O 引脚、软件和比较器。
- 模拟模块最多可连接八个不同的 GPIO。
- 专用 SPI 主器件具备高达 6MHz 时钟速度。

传感器控制器中的外设也可以由主应用处理器进行控制。

9.6 加密

CC1312PSIP 器件随附了大量与加密相关的新型硬件加速器，可大幅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，因此还具有功耗较低的优点，并提高了可用性和系统响应能力。
结合软件开发套件 (SDK) 提供的大量开源加密库，可以在平台上轻松构建安全且面向未来的物联网应用。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。
- **安全哈希算法 2 (SHA-2)**，支持 SHA224、SHA256、SHA384 和 SHA512。
- **高级加密标准 (AES)**，密钥长度为 128 和 256 位
- **公钥加速器** - 硬件加速器，支持高达 512 位的椭圆曲线和高达 1024 位的 RSA 密钥对生成所需的数学运算能力。

通过使用这些模块和 TI 提供的加密驱动程序，应用程序或堆栈可以使用以下功能：

- 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）
  - 通过 Juggling 进行椭圆曲线密码验证密钥交换 (ECJ-PAKE)
- 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-P224、NIST-P256、NIST-P384、NIST-P521
    - Brainpool-256R1、Brainpool-384R1、Brainpool-512R1
    - secp256r1
  - 蒙哥马利形式（对乘法的硬件支持），如：
    - Curve25519
- **基于 SHA2 的 MAC**
  - 采用 SHA224、SHA256、SHA384 或 SHA512 的 HMAC
- 分组密码工作模式
  - AESCCM
  - AESGCM
  - AESECB
  - AESCBC
  - AESCBC-MAC
- 真随机数生成

其他功能（如 RSA 加密和签名）以及 Edwards 类型的椭圆曲线（如 Curve1174 或 ED25519）也可以借助提供的硬件加速器实现，但未包含在 CC1312PSIP 器件的 TI SimpleLink SDK 中。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9.7 计时器

CC1312PSIP 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。实时时钟还可以由传感器控制器引擎读取，以便为传感器数据添加时间戳，并且还具有专用的捕获通道。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。

- **传感器控制器计时器**

  传感器控制器包含 3 个计时器：

  AUX 计时器 0 和 1 是带有一个 2^N 预分频器的 16 位计时器。计时器可以在时钟上递增，也可以在选定滴答源的每个边沿上递增。这些计时器支持一次性和周期性计时器模式。

  AUX 计时器 2 是一个 16 位计时器，可以独立于传感器控制器功能以 24MHz、2MHz 或 32kHz 的频率运行。有 4 个捕获或比较通道可在一次性或周期性模式下运行。该计时器可用于生成传感器控制器引擎或 ADC 的事件，还可用于 PWM 输出或波形生成。

- **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。

9.8 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。

I^2S 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)。

I^2C 接口还用于与符合 I^2C 标准的器件进行通信。I^2 C 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 7 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 CC13x2、CC26x2 SimpleLink™ 无线 MCU 技术参考手册。

9.9 电池和温度监测器

CC1312PSIP 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。

9.10 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 位或 32 位数据宽度
- 乒乓模式，用于持续串流数据

9.11 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。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9.12 电源管理

为最大程度地降低功耗，CC1312PSIP 支持多种功耗模式和电源管理功能（请参阅表 9-2）。

表 9-2. 电源模式

MODE	可通过软件配置的功耗模式				复位引脚保持
	工作	空闲	待机	关断	
CPU	工作	关闭	关闭	关闭	关闭
闪存	打开	可用	关闭	关闭	关闭
SRAM	打开	打开	保持	关闭	关闭
无线电	可用	可用	关闭	关闭	关闭
电源系统	打开	打开	占空比	关闭	关闭
寄存器和 CPU 保留	全双工	全双工	部分	否	否
SRAM 保持	全双工	全双工	全双工	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
2MHz 中速时钟 (SCLK_MF)	RCOSC_MF	RCOSC_MF	可用	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
传感器控制器	可用	可用	可用	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	打开	打开	打开	打开	打开
欠压检测器 (BOD)	打开	打开	占空比	关闭	关闭
上电复位 (POR)	打开	打开	打开	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 9-2）。

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、RTC 事件或传感器控制器事件。具有保留功能的 MCU 外设在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 域和传感器控制器），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。

传感器控制器是一个自主处理器，可以独立于系统 CPU 来控制传感器控制器中的外设。这意味着系统 CPU 不必唤醒（例如，为了执行 ADC 采样或通过 SPI 轮询数字传感器），因此可以节省电流和唤醒时间以免浪费。利用 Sensor Controller Studio 工具，用户可以对传感器控制器进行编程、控制其外设并根据需要唤醒系统 CPU。所有传感器控制器外设也可以由系统 CPU 控制。

备注

CC1312PSIP 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 CC1312PSIP 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。

9.13 时钟系统、生产校准和温度补偿

CC1312PSIP 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) 或封装内 48MHz 晶体 (XOSC_HF) 驱动。请注意，无线电通过模块内包含的封装内 48MHz 晶体运行。

48MHz 晶体频率的生产校准

SIP 模块生产时在室温下对晶体频率进行了校准，旨在将初始频率误差降至最低。校准过程是将内部电容器阵列设置为最接近 48MHz 的频率值。

软件 TCXO

除了通过改变内部负载电容来消除初始模拟频率误差之外，CC1312PSIP 还实现了一项称为“软件 TCXO”的功能。软件 TCXO 不会影响 48MHz 晶体频率本身，而是使用 48MHz 晶体的已知初始频率误差和温度行为模型来生成非常准确的射频频率。软件 TCXO 功能的工作方式如下：在 SIP 模块的最终生产测试中，会测量射频频率，并且 48MHz 晶体其余误差引起的射频频率误差（与 ppm 误差成比例）会存储在工厂闪存区域 (FCFG) 中。生成射频频率的内部 PLL 会使用 48MHz 晶体作为基准频率，因此晶体的温漂（以 ppm（百万分之一）为单位）会为射频频率带来相同的误差。48MHz 晶体的温漂可以建模为三阶方程，并与内部温度传感器一起使用，这样将能够更准确地估算 CC1312PSIP 中使用的 48MHz 晶体的平均温度。三阶方程的系数在 sysconfig 配置软件工具中定义，然后 CC1312PSIP 中的固件将考虑初始频率误差和温漂来自动校正 RX 和 TX 中的射频频率。

SCLK_LF 是 32.8kHz 内部低频系统时钟。此时钟可由传感器控制器在超低功耗运行模式下使用，也可用于 RTC 以及在待机电源模式之前或之后用于同步无线电计时器。SCLK_LF 可由内部 32.8kHz RC 振荡器 (RCOSC_LF) 或模块内包含的封装内 32.768kHz 晶体驱动。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。

RTC 温度补偿

CC1312PSIP 包含一个固件功能可以在使用封装内 32.768kHz 晶体作为 RTC 基础时提高 RTC（实时时钟）精度。在 SIP 模块的最终生产测试中，会测量 RTC 频率并将误差存储在工厂闪存区域 (FCFG) 中。32.768kHz 晶体的温漂可以建模为二阶方程，该方程的系数在 sysconfig 配置软件工具中定义。然后，CC1312PSIP 中的固件将使用 CC1312PSIP 中的温度传感器、工厂闪存区域 (FCFG) 中存储的初始频率误差以及温漂模型来计算更准确的 RTC。

9.14 网络处理器

根据产品配置，CC1312PSIP 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应用程序框架来编写应用程序。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9.15 器件资格认证

TI 的模块已通过 FCC 和 IC/ISED 认证。基于 TI 模块开发产品的 TI 客户可节省每个产品系列的测试成本和时间。

备注

用户手册和包装上必须出现 FCC 和 IC ID。由于模块尺寸较小 (7mm x 7mm)，要想以足够大的字号来刻印 ID 和标识（不放大就能看清），显然是不切实际的。

表 9-3. 认证列表

监管机构	规格	ID（如果适用）
FCC（美国）	15.247 在 902 – 928MHz 频带内工作	ZAT-1312PSIP-2
IC/ISED（加拿大）	RSS-247 在 902 – 928MHz 频带内工作	451H-1312PSIP2
ETSI/CE（欧洲）和 RER（英国）	EN 300 220，863-870MHz 频带	-
	EN 303 204，870-876MHz 频带	
	EN 303 659，865-868MHz 和 915-919.4MHz	

9.15.1 FCC 认证和声明

小心

FCC 射频辐射接触声明：

本设备符合针对非受控环境设定的 FCC 辐射暴露限制。最终用户必须遵循特定的操作说明，以符合射频暴露限制。此发送器不得与任何其他天线或发送器并置或协同操作。

TI 的 CC1312PSIPMOT2 模块经 FCC 认证为单模块发送器。该模块是经 FCC 认证且带模块化授权的无线电模块。

请注意，未经合规负责方明示同意的任何更改或改动都可能导致用户操作本设备的授权失效。

该器件符合 FCC 标准的第 15 部分。操作同时受以下两项条件制约：

- 该器件不得造成有害干扰。
- 该器件必须接受接收到的任何干扰，包括可能导致该器件运行异常的干扰。

9.15.2 IC/ISED 认证和声明

小心

IC 射频辐射暴露声明：

为符合 IC 射频暴露要求，该器件及其天线不得与任何其他天线或发送器并置或配合使用。

Pour se conformer aux exigences de conformité RF canadienne l'exposition, cet appareil et son antenne ne doivent pas étre co-localisés ou fonctionnant en conjonction avec une autre antenne ou transmetteur.

TI 的 CC1312PSIPMOT 模块经 IC 认证为单模块发送器。TI 的 CC1312PSIPMOT 模块满足 IC 模块化批准和标记要求。有关授权设备中的认证模块，IC 与 FCC 遵循相同的测试和规则。

该器件符合加拿大工业部免许可证 RSS 标准。

运行同时受以下两项条件制约：

- 该器件不得造成干扰。

- 该器件必须接受任何干扰，包括可能导致该器件运行异常的干扰。

Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence.

L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes:

- L'appareil ne doit pas produire de brouillage
- L'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9.16 模块标识

图 9-1 显示了 CC1312PSIP 模块的正面标识。

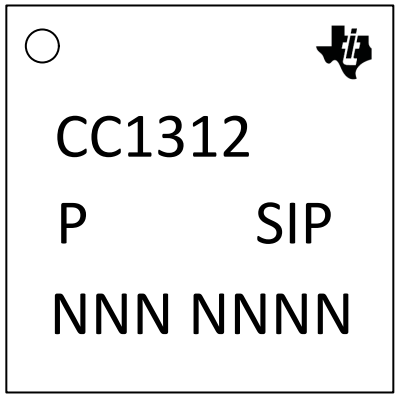


图 9-1. 正面标识

表 9-4 列出了 CC1312PSIP 模块标识。

表 9-4. 模块说明

标识	说明
CC1312	通用器件型号
P	型号
SIP	SIP = 模块类型，X = 预发布
NNN NNNN	LTC（批次追踪代码）

9.17 最终产品标示

CC1312PSIPMOT2 模块符合 FCC 单模块 FCC 授权，FCC ID 为：**ZAT-1312PSIP-2**。使用该模块的主机系统必须显示一个包含以下文本的可见标签：

包含 FCC ID：**ZAT-1312PSIP-2**

CC1312PSIPMOT2 模块符合 IC 单模块 IC 授权，IC 为：**451H-1312PSIP2**。使用该模块的主机系统必须显示一个包含以下文本的可见标签：

包含 IC：**451H-1312PSIP2**

更多有关最终产品标记和示例标签的信息，请参阅 OEM 集成商指南的第 4 节

9.18 面向最终用户的手册信息

OEM 集成商必须注意，不要在集成了该模块的最终产品的用户手册中向最终用户提供有关如何安装或移除该射频模块的信息。

最终用户手册必须包含本手册中显示的所有必需的监管信息和警告。

10 应用、实施和布局

备注

以下“应用”部分中的信息不属于 TI 元件规范，TI 不担保其准确性和完整性。客户应负责确定 TI 组件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计是否能够实现，以确保系统功能。

10.1 应用信息

10.1.1 典型应用电路

图 10-1 显示了使用 CC1312PSIP 模块的典型应用原理图。如需完整参考原理图，请下载 LP-EM-CC1312PSIP 设计文件。

备注

实施射频设计时，建议参考以下指导原则：

- 确保射频路径的设计采用 50Ω 特性阻抗。
- 建议在 PCB 制造后优化天线阻抗匹配网络，将 PCB 寄生效应纳入考量。请参阅 CC13xx/CC26xx 硬件配置和 PCB 设计注意事项的第 5.1 节，以了解更多信息。

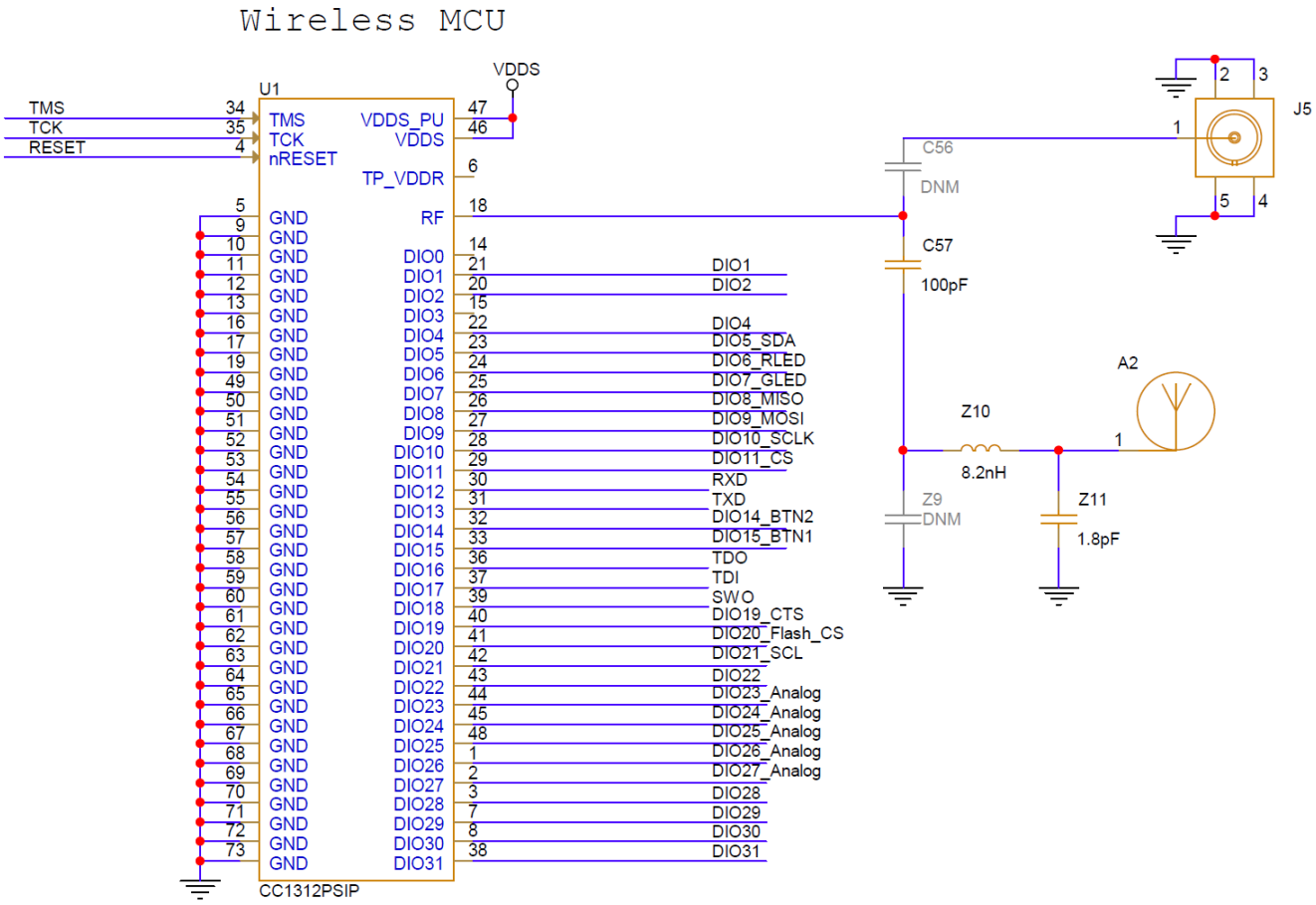


图 10-1. 在 LP-EM-CC1312PSIP 上集成了天线的 CC1312PSIP 典型应用原理图

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 10-1 提供了图 10-1 中使用 CC1312PSIP 模块的典型应用的物料清单。

始终建议在射频焊盘和天线/SMA 连接器之间插入 π 型滤波器（Z9、Z10 和 Z11）。与天线匹配时，这种做法将最大限度减少天线的失配损耗。通常可以选择低通匹配或高通匹配网络。

对于 CC1312PSIP，建议使用低通天线匹配，因为这种匹配不仅可以匹配天线，还可以用作低通滤波器功能。如图 10-1 所示，Z10 和 Z11 在具有集成 PCB 天线的 LP-EM-CC1312PSIP 上形成了低通天线匹配。

（仅适用于 902-915MHz）如果天线不需要匹配元件或直接连接到 SMA，建议直接使用 100pF 的直流阻断电容器。如果在 868/869MHz 和 902-928MHz 下运行，还建议使用 LC 滤波器 Z10：3.9nH 和 Z11：3.6pF 作为低通滤波器。

如需完整功能的参考设计，请参阅 LP-EM-CC1312PSIP 设计文件。

表 10-1. 物料清单

数量	器件参考	值	制造商	器件型号	说明
1	C57	100pF	Murata	GRM0335C1H101GA01D	电容器，陶瓷 C0G/NP0，100pF，50V，-2%/+2%，-55DEGC/+125DEGC，0201，SMD
1	U1	CC1312PSIP	德州仪器 (TI)	CC1312PSIP	IC，CC1312PSIP，LGA73，SMD
1	Z10	8.2nH	Murata	LQP03TN8N2J02D	电感器，射频，芯片，非磁芯，8.2nH，-5%/+5%，0.25A，-55DEGC/+125DEGC，0201，SMD
1	Z11	1.8pF	Murata	GRM0335C1H1R8BA01J	电容器，陶瓷 C0G/NP0，1.8pF，50V，-0.1pF/+0.1pF，-55DEGC/+125DEGC，0201，SMD

10.2 器件连接和布局基本准则

10.2.1 复位

为了满足模块上电复位的要求，VDDS（引脚 46）和 VDDS_PU（引脚 47）应连接在一起。如果复位信号不是基于上电复位，而是源自外部 MCU，则 VDDS_PU（引脚 47）应为“无连接”(NC)。

10.2.2 未使用的引脚

所有未使用的引脚都可以保持未连接状态，无需担心存在漏电流。更多详细信息，请参阅未使用的引脚和模块的连接。

10.3 PCB 布局指南

本节详细介绍了使用 CC1312PSIP 模块加速 PCB 设计的 PCB 指南。 模块的集成商必须遵循以下小节中描述的 PCB 布局建议，以尽量降低 FCC、IC/ISED、ETSI/CE 监管认证风险。此外，若要实现与 TI 参考设计相似的性能，TI 建议客户遵循本节中描述的指南。

10.3.1 一般布局建议

确保遵循以下一般布局建议：

- 模块下方有一个实心接地层和多个接地过孔，从而使系统稳定并能充分散热。
- 请勿在模块下方的模块安装层上铺设信号引线。

10.3.2 射频布局建议

正确布局射频部分对于确保实现最佳模块性能至关重要。布局不良会导致输出功率低和灵敏度下降。图 10-2 显示了具有 Sub-1GHz PCB 天线的 模块的射频布局和布线。

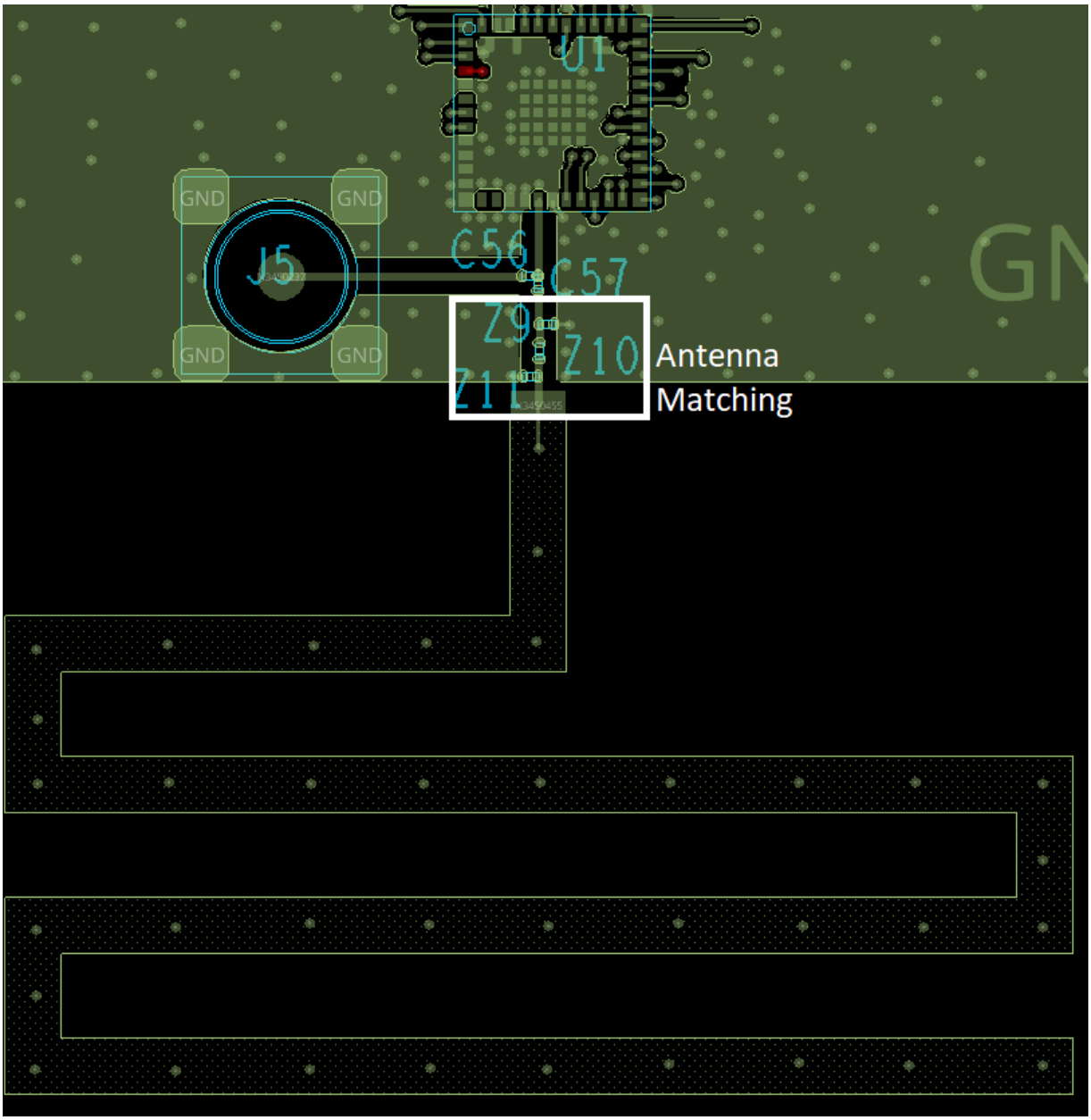


图 10-2. 模块布局指南

请遵循以下针对 模块的射频布局建议：

- 射频布线的特性阻抗必须为 50Ω。
- 天线部分下方不得有引线或接地端。
- 射频布线必须在接地平面上在射频布线两侧都有过孔拼接。
- 射频布线必须尽量短。
- 考虑到产品外壳和所使用的天线类型，模块必须尽可能靠近 PCB 边缘。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

10.3.2.1 天线放置和布线

天线是用于将 PCB 引线上的导波转换为自由空间电磁辐射的元件。天线的放置和布局方式是增大距离和数据速率的关键。表 10-2 汇总了在使用 CC1312PSIP 模块时应遵循的天线指南。

表 10-2. 天线指南

序号	指南
1	将天线放置在 PCB 的边缘。
2	确保没有信号穿过任何 PCB 层上的天线元件。
3	大多数天线（包括 LaunchPad™ 上使用的 PCB 天线）要求 PCB 的所有层都具有离地间隙。确保内部各层也都与地面具有适当的间隙。
4	确保为放置天线的匹配元件做好准备。在组装完整的电路板时，必须调整这些元件以实现理想的回波损耗。必须在任何塑料结构或外壳中调谐天线，从而改变阻抗。
5	确保天线特性阻抗为 50Ω，因为该模块是针对 50Ω 系统设计的。
6	对于印刷天线，请确保在考虑阻焊层厚度的情况下进行仿真。
7	为了获得良好的射频性能，需要确保整个相关频带的电压驻波比 (VSWR) 小于 2。
9	天线的馈电点需要接地。这仅适用于 LP-EM-CC1312PSIP LaunchPad™ 上使用的天线类型。如需了解相应的建议，请参阅特定的天线数据表。

表 10-3 列出了推荐用于 CC1312PSIP 模块的天线。也可能有其他天线可用于 CC1312PSIP 模块。请参阅 CC1312PSIP 最终用户信息手册和 OEM 安装指南，获取已批准用于 CC1312PSIP 模块的天线（和天线类型）列表。

表 10-3. 推荐天线

选择	天线	制造商	说明
1	LP-EM-CC1312PSIP 上集成的 PCB 天线	德州仪器 (TI)	915MHz 时具有 +2.7dBi 增益，请参阅 LP-EM-CC1312PSIP 参考设计
3	外部鞭形天线	脉冲，W5017	915MHz 时具有 +0.9dBi 增益
4	芯片天线	Johanson Technology，0900AT43A0070	915MHz 时具有 -0.5dBi 增益
5	芯片天线	Johanson Technology，0915AT43A0026	915MHz 时具有 +1.0dBi 增益
6	螺旋线天线	Pulse，W3113	915MHz 时具有 +0.8dBi 增益

10.3.2.2 传输线注意事项

来自模块的射频信号使用接地共面波导 (CPW-G) 结构路由到天线。CPW-G 结构为射频线路提供更大程度的隔离和更好的屏蔽。除了 L1 层的接地外，沿线路放置 GND 过孔也可提供额外的屏蔽。

图 10-3 所示为具有临界尺寸的共面波导的横截面。

图 10-4 所示为接地共面波导和过孔拼接的俯视图。

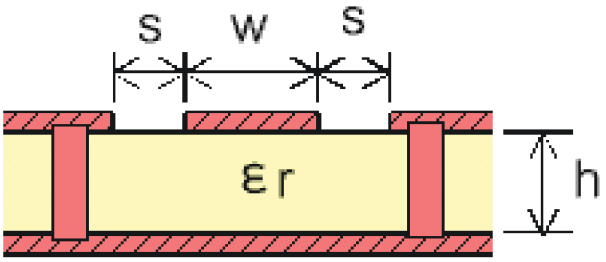


图 10-3. 共面波导（横截面）

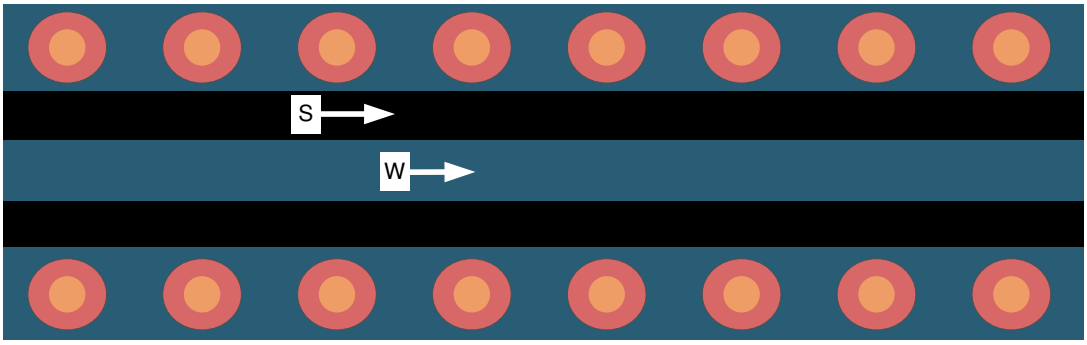


图 10-4. 接地共面波导和过孔拼接（俯视图）

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 10-4 中提供了针对 4 层 PCB 板的建议值。

表 10-4. 针对 4 层 PCB 板的建议值（L1 至 L2 = 0.175mm）

参数	值	单位
W	0.300	mm
S	0.500	mm
H	0.175	mm
Er（FR-4 基板）	4.0	F/m

10.4 参考设计

在使用 CC1312PSIP 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。

LP-EM-CC1312PSIP 设计文件

针对实现本文档中所述性能数值的特性评估板，LP-EM-CC1312PSIP 参考设计提供了相关的原理图、布局和产品文件。

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 2.4 GHz，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。

11 环境要求和 SMT 规格

11.1 PCB 折弯

PCB 遵循 IPC-A-600J 标准，PCB 扭曲和翘曲范围小于 0.75%（每英寸 7.5mil）。

11.2 操作环境

11.2.1 端子

该产品通过基板栅格阵列 (LGA) 方式安装在主板上。为防止焊接不良，请勿让皮肤接触 LGA 部分。

11.2.2 跌落

如果产品跌落或掉落，安装的元件将会损坏。此类损坏可能会导致产品故障。

11.3 贮存条件

11.3.1 打开防潮袋前

防潮袋必须储存在温度低于 30°C、湿度低于 85% RH 的环境中。干燥包装产品的计算保质期为自袋子密封之日起 24 个月。

11.3.2 防潮袋打开

湿度指示卡必须为蓝色，数值小于 30%。

11.4 PCB 组装指南

无线 MCU 模块采用基于基板的 Leadless Quad Flatpack (QFM) 封装方法进行封装。这些模块采用回拉式引线设计，可轻松实现 PCB 布局和电路板安装。

11.4.1 PCB 焊盘图案和散热过孔

我们建议使用阻焊层定义的焊盘图案来提供一致的焊盘尺寸，以便改善焊料均衡和焊点可靠性。PCB 焊盘图案与模块焊盘尺寸的比例为 1:1。PCB 上与其他金属平面连接的散热过孔用于散热目的。必须有足够的散热过孔以避免器件热关断，这一点至关重要。建议过孔尺寸为 0.2mm，且不应直接置于焊锡膏下方，以免焊料滴入过孔中。

11.4.2 SMT 组装建议

模块表面贴装组装操作包括：

- 将焊锡膏丝网印刷在 PCB 上
- 监控焊锡膏体积（均匀性）
- 使用标准 SMT 贴装设备进行封装贴装
- 回流焊前 X 射线检查 - 焊锡膏桥接
- 回流焊
- 回流焊后 X 射线检查 - 焊料桥接和空隙

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

11.4.3 PCB 表面光洁度要求

均匀的 PCB 电镀厚度是提高组装良率的关键。对于化学镀镍浸金表面处理，为避免焊点脆化，金厚度应在 0.05μm 至 0.20μm 范围内。此外，还建议使用含有机可焊性防腐剂 (OSP) 涂层的 PCB 作为镍金的替代品。

11.4.4 焊接模板

采用模板印刷工艺的焊锡膏沉积涉及通过施加压力使焊锡膏转移通过预定的孔径。孔径面积比和制造工艺等模板参数对焊锡膏沉积有显著影响。为提高电路板组装产量，强烈建议在进行封装布局之前先检查模板。

11.4.5 封装布局

封装布局可以使用精度为 ±0.05mm 的标准拾放设备。元件拾放系统由识别和定位元件的视觉系统和物理执行拾放操作的机械系统组成。两种常用的视觉系统类型为：

- 能够定位封装轮廓的视觉系统
- 能够在互连图案上定位各个焊盘的视觉系统

第二种类型呈现更准确的布局，但往往更昂贵且耗时。这两种方法都是可以接受的，因为在回流焊过程中，由于焊点的自定心特性，器件会对齐。建议避免焊料桥接至焊锡膏中的 2mil 位置，或使用最小的力以避免对较薄封装造成任何可能的损坏。

11.4.6 焊点检查

表面贴装组装后，应使用透射 X 射线对焊料附着过程进行样品监测。这一操作可以识别焊料桥接、短路、开路和空隙等缺陷。除 X 射线外，还建议使用侧视检查来确定是否存在“沙漏”形状的焊料和封装倾斜。“沙漏”焊料形状不是可靠的焊点。侧视检查可使用 90° 镜面投影。

11.4.7 返修和更换

TI 建议利用返修台来移除模块，同时应用与安装过程类似的温度曲线。使用热风枪有时会因过热而损坏模块。

11.4.8 焊点空隙

TI 建议将焊点空隙控制在 30% 以下（根据 IPC-7093）。为了减少焊点空隙，可以烘烤元件和 PCB、最大限度地缩短焊锡膏暴露时间以及优化回流曲线。

11.5 烘烤条件

如果出现以下情况，产品需要在安装前烘烤：

- 湿度指示卡读数大于 30%
- 温度低于 30°C，湿度低于 70% RH，时长超过 96 小时

烘烤条件：90°C，12 到 24 小时

烘烤次数：1 次

11.6 回流焊条件

- 加热方法：传统对流或红外对流
- 温度测量：在焊接部分使用热电偶 d = 0.1mm 至 0.2mm CA (K) 或 CC (T)，或等效方法
- 焊锡膏成分：SAC305
- 允许的回流焊次数：根据回流焊曲线，2 次（请参阅图 11-1）
- 温度曲线：回流焊将根据温度曲线进行（请参阅图 11-1）
- 峰值温度：240°C

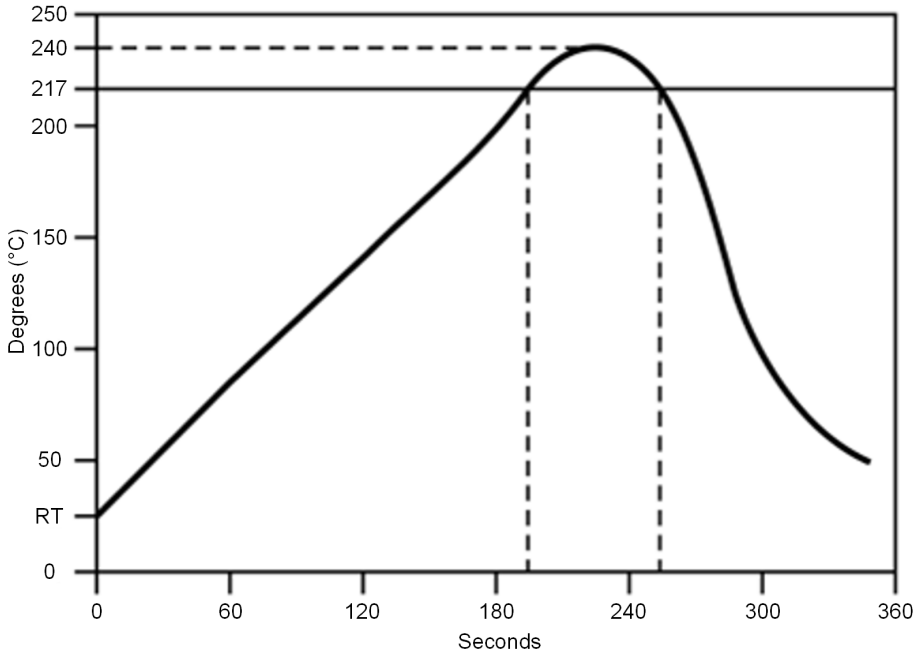


图 11-1. 用于评估元件（焊点处）焊料耐热性的温度曲线

表 11-1. 温度曲线

曲线元素	对流或红外[(1)]
峰值温度范围	典型值为 235°C 至 240°C
预热/浸温（150°C 至 180°C）	60 至 120 秒
高于熔点的时间	< 90 秒
高于 230°C 的时间	最长 30 秒
斜升	< 3°C/秒
斜降	< 3°C/秒

(1) 如需详细信息，请参考焊锡膏制造商的建议。

备注

TI 不建议在 SimpleLink™ 模块上使用保形涂层或类似材料。这种涂层会导致模块内部的焊接连接处出现局部应力，从而影响模块的可靠性。在模块组装到最终 PCB 的过程中应谨慎，避免模块内部出现异物。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

12 器件和文档支持

TI 提供大量的开发工具。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。

12.1 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，XCC1312PSIP 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。

生产器件已进行完全特性化，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*）。

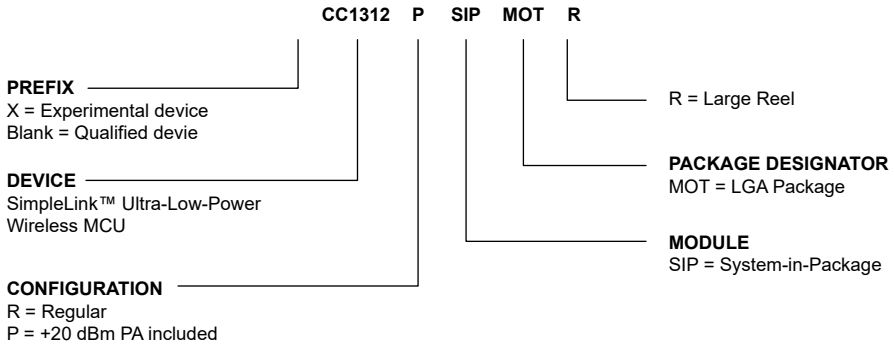


图 12-1. 器件命名规则

12.2 工具和软件

CC1312PSIP 器件受多种软件和硬件开发工具的支持。

开发套件

软件

SimpleLink Low Power F2 SDK

SimpleLink Low Power F2 SDK 为在 CC13x2/CC26x2 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 CC1312PSIP 器件的综合软件包，包括以下协议栈：

- 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
- Prop RF API - 一组用于开发专有射频软件栈的灵活构建块

SimpleLink Low Power F2 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 https://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产品的工具。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。熟悉的工具和界面使用户能够比以前更快地上手。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 - 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

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

Sensor Controller Studio	Sensor Controller Studio 用于编写、测试和调试传感器控制器外设代码。该工具生成传感器控制器接口驱动程序，这是编译到系统 CPU 应用的一组 C 源文件。这些源文件还包含传感器控制器二进制映像，并允许系统 CPU 应用控制数据并与传感器控制器交换数据。Sensor Controller Studio 的特性包括： • 即时可用的多个常见用例的示例 • 用于在类似 C 语言的编程语言中进行编程的具有内置编译器和汇编器的全工具链 • 使用集成的传感器控制器任务测试和调试功能来进行快速开发，包括传感器数据视觉化和算法验证。
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。

12.2.1 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。

12.3 文档支持

如需接收关于数据表、勘误表、应用手册和类似文档的文档更新通知，请导航至位于 ti.com.cn/product/cn/CC1312PSIP 的器件产品文件夹。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

CC1312PSIP 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。

应用报告

如需查看 CC1312PSIP 器件的所有应用报告，请访问 ti.com.cn/product/cn/CC1312PSIP/technicaldocuments 中的器件产品文件夹。

技术参考手册 (TRM)

CC13x2、CC26x2 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。

12.4 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。

12.5 商标

SimpleLink™, LaunchPad™, 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.
are registered trademarks of Arm.
Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.
Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth.
Arm Thumb® is a registered trademark of Arm Limited (or its subsidiaries).
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。

12.6 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。

12.7 术语表

TI 术语表　　本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

Copyright © 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。

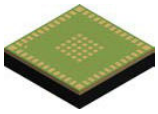
备注

模块总高度为 1.51 mm。

CC1312PSIP 模块的重量一般为 0.19g。

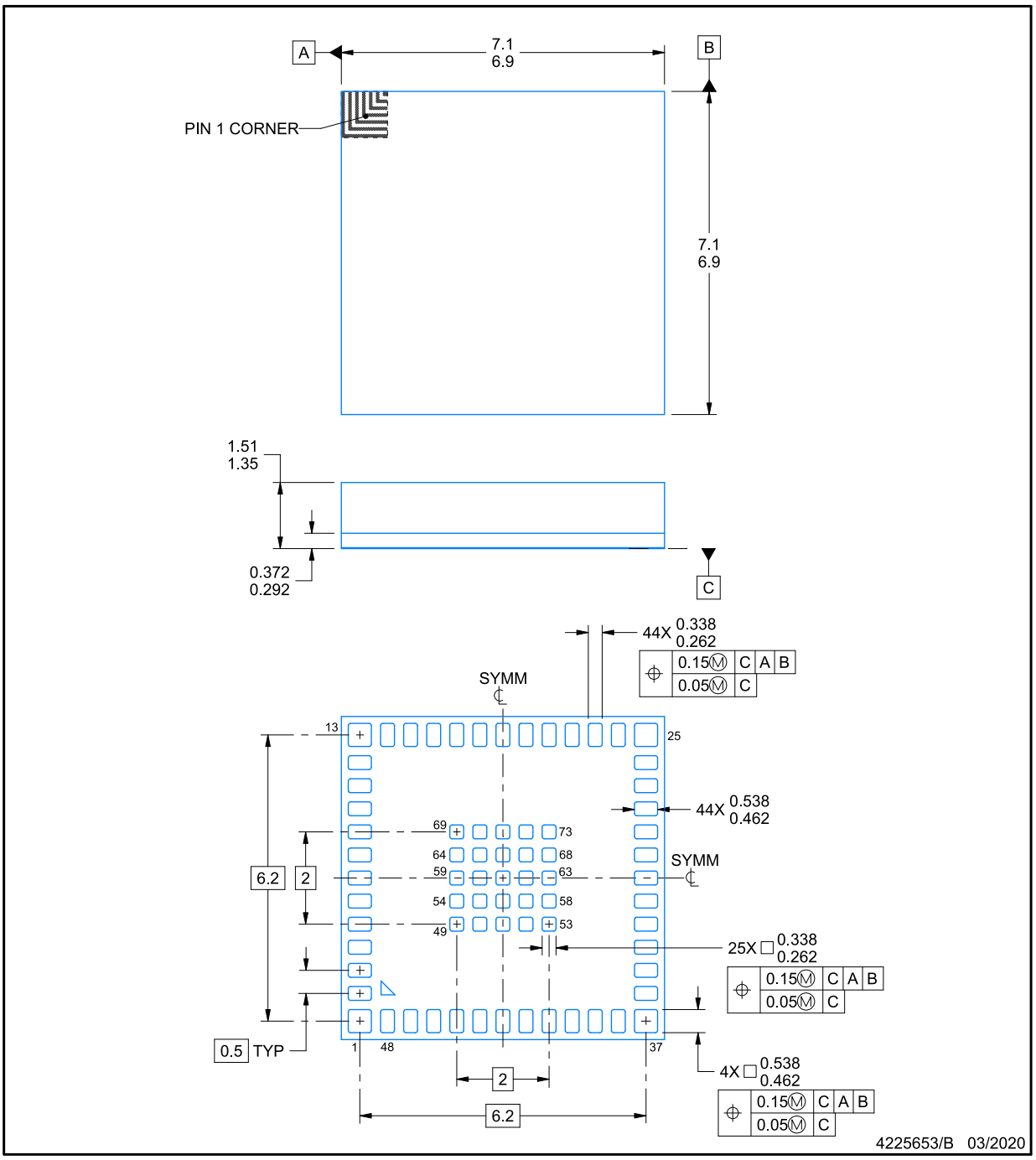
PACKAGE OUTLINE

MOT0048A



QFM - 1.51 mm max height

QUAD FLAT MODULE



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.

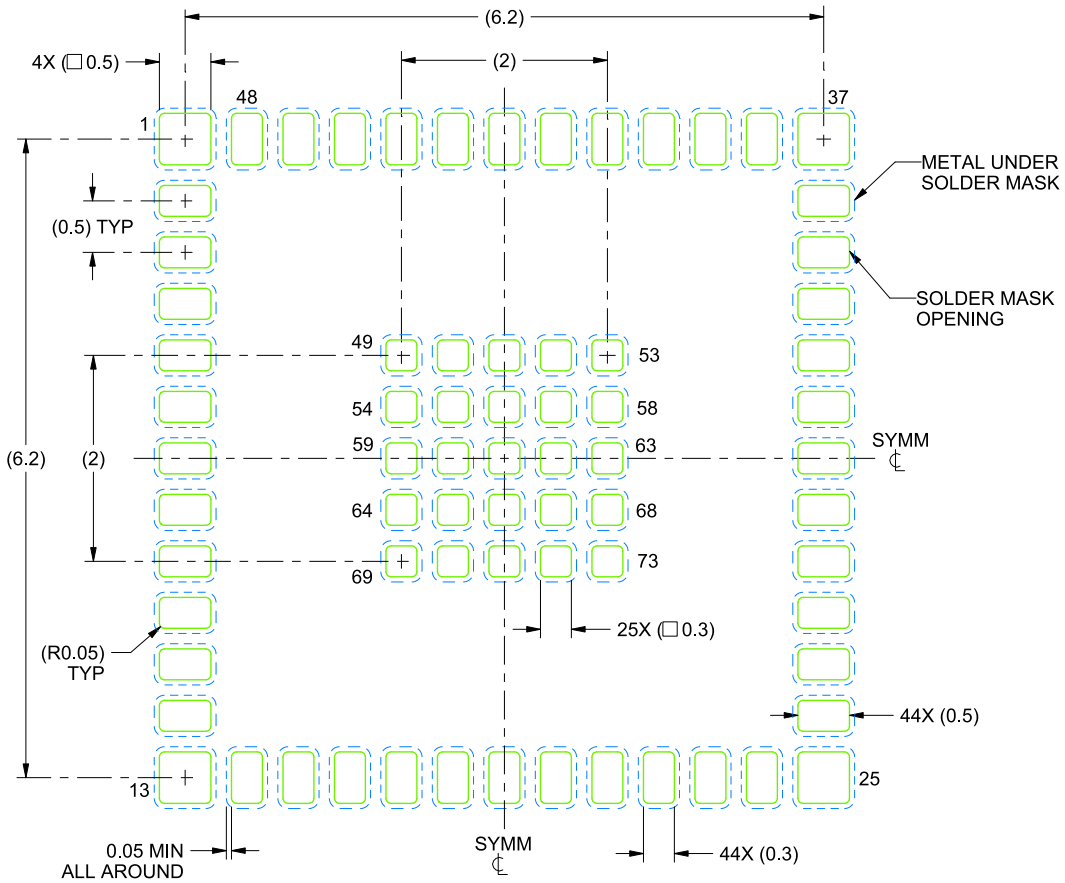
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

EXAMPLE BOARD LAYOUT

MOT0048A

QFM - 1.51 mm max height

QUAD FLAT MODULE



LAND PATTERN EXAMPLE
SOLDER MASK DEFINED
SCALE:15X

4225653/B 03/2020

NOTES: (continued)

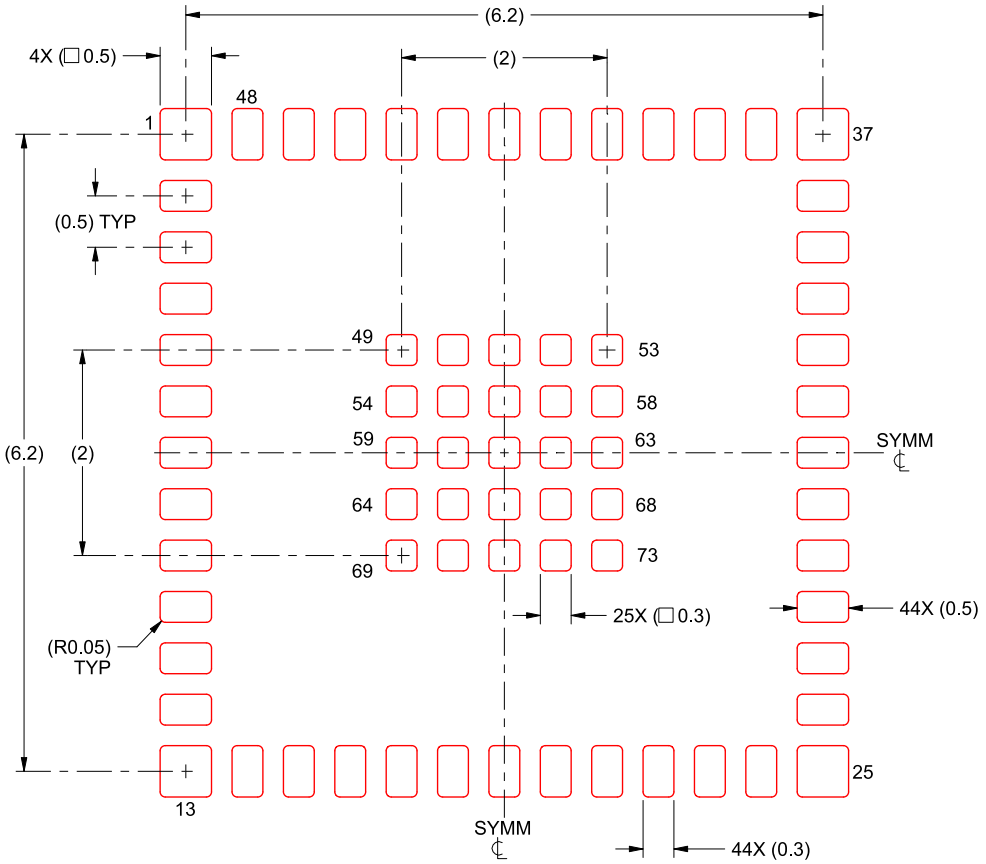
3. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).

EXAMPLE STENCIL DESIGN

MOT0048A

QFM - 1.51 mm max height

QUAD FLAT MODULE



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE:15X

4225653/B 03/2020

NOTES: (continued)

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

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)
CC1312PSIPMOTR	Active	Production	QFM (MOT) | 48	2000 | LARGE T&R	Yes	NIAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 105	CC1312 P SIP
CC1312PSIPMOTR.B	Active	Production	QFM (MOT) | 48	2000 | LARGE T&R	-	Call TI	Call TI	-40 to 105	

(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.

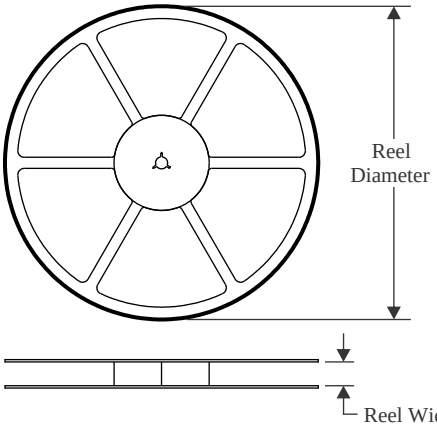
Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

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.

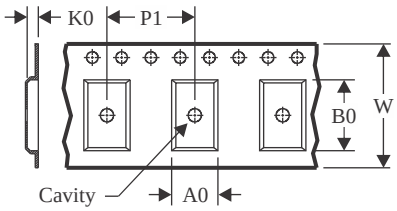
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

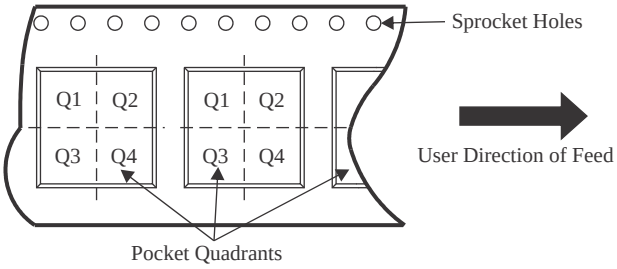


TAPE DIMENSIONS



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

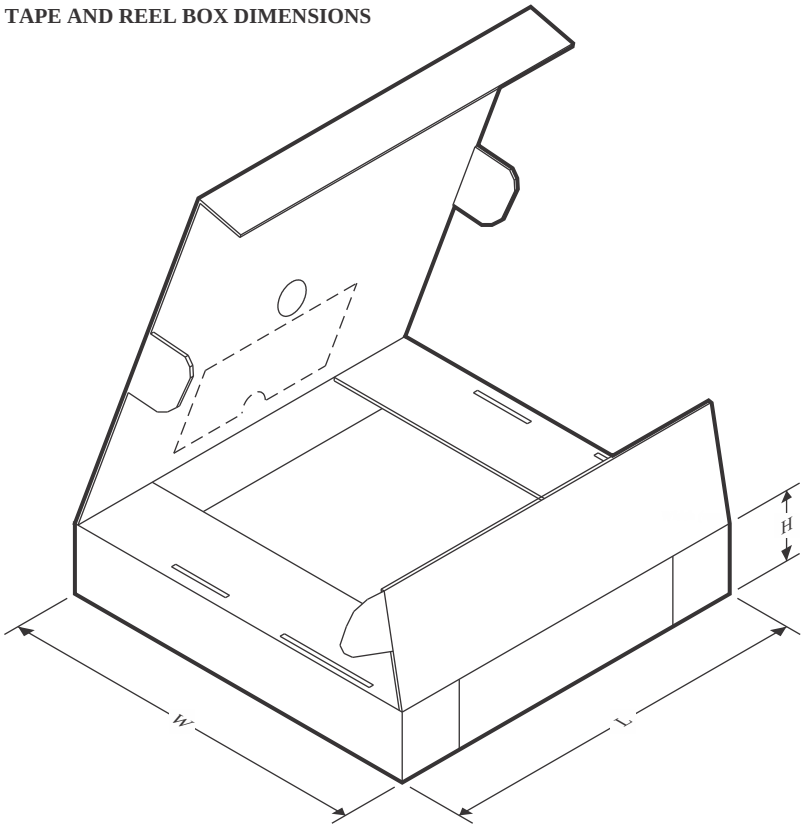
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

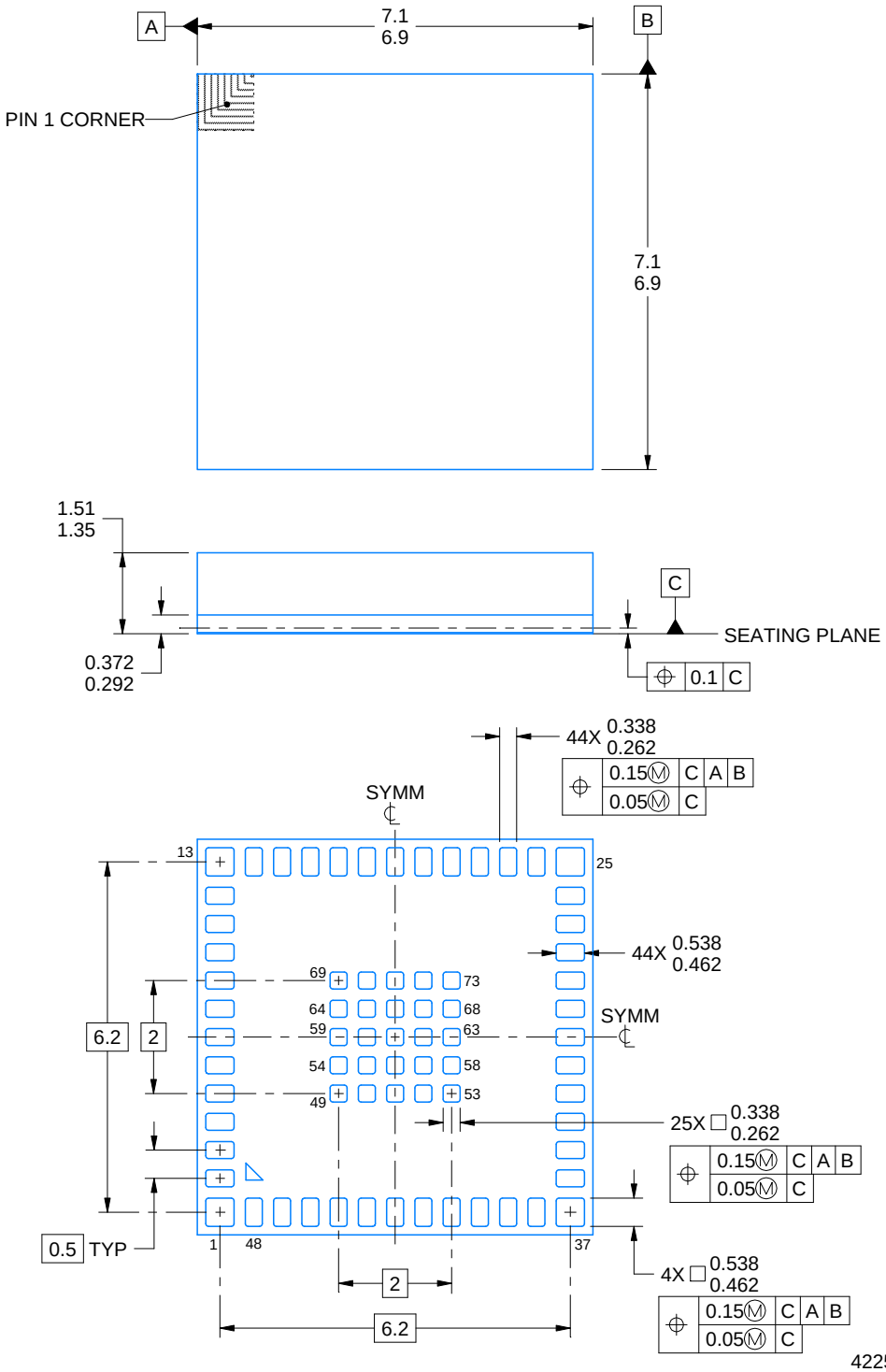
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
CC1312PSIPMOTR	QFM	MOT	48	2000	330.0	16.4	7.4	7.4	1.88	12.0	16.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



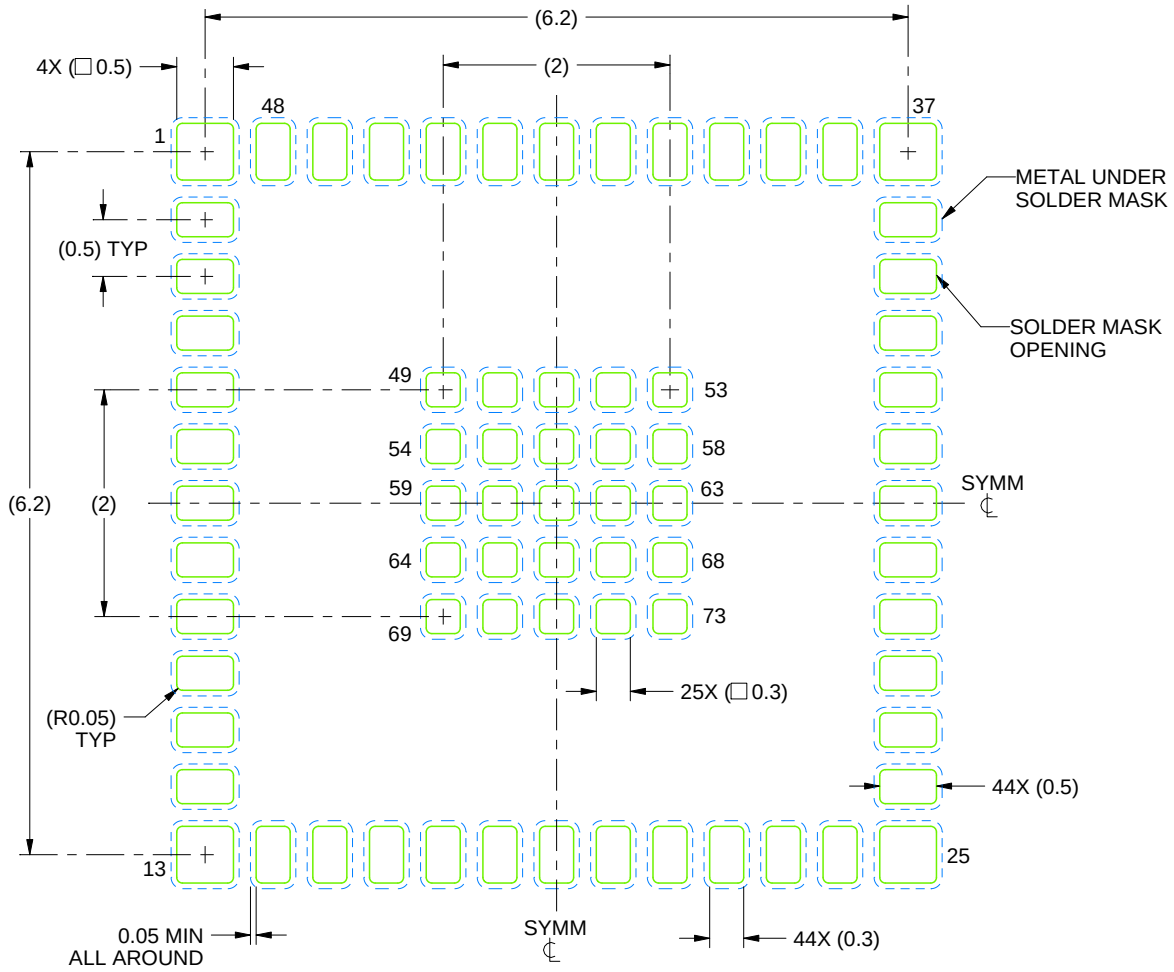
*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
CC1312PSIPMOTR	QFM	MOT	48	2000	336.6	336.6	31.8



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.

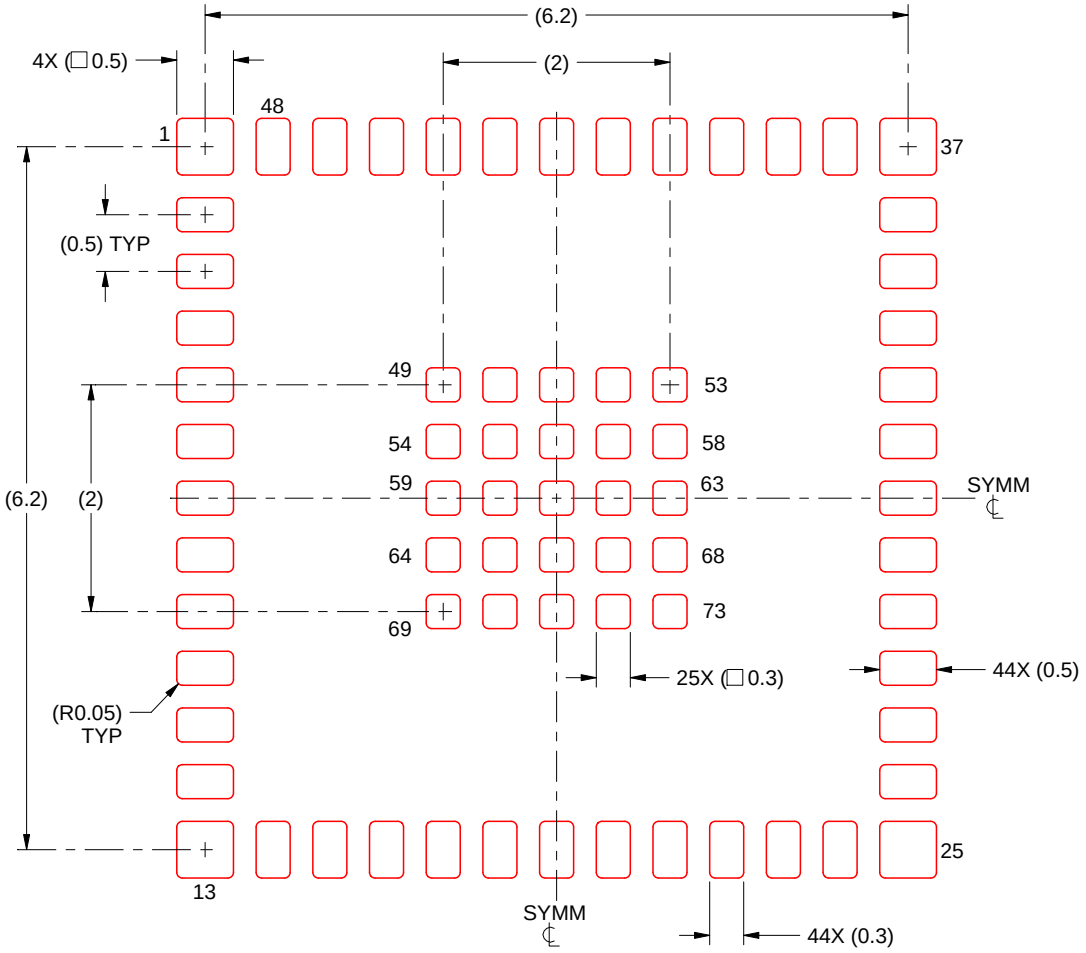


LAND PATTERN EXAMPLE
SOLDER MASK DEFINED
SCALE:15X

4225653/C 12/2020

NOTES: (continued)

3. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE:15X

4225653/C 12/2020

NOTES: (continued)

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

重要通知和免责声明

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

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

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

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

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月