

具有集成式天线的 CC2340R5MODA SimpleLink™ 2.4GHz 无线 MCU 模块

1 特性

经过认证的无线模块

- 经过优化的 48MHz Arm® Cortex®-M0+ 处理器
- 512KB 系统内可编程闪存
- 12KB ROM 用于引导加载程序和驱动程序
- 64KB 超低泄漏 SRAM。待机模式下完全 RAM 保持
- 与蓝牙®低功耗兼容的 2.4GHz 射频收发器
- 基于 CC2340R53 WCSP 封装构建
- 集成式天线
- 可选外部天线
- 支持无线升级 (OTA)
- 串行线调试 (SWD)

低功耗

- MCU 功耗：
 - 2.6mA 工作模式，CoreMark®
 - 53 μ A/MHz (运行 CoreMark® 时)
 - 710nA 待机模式
 - 165nA 关断模式，引脚唤醒
- 无线电功耗：
 - RX : 5.5mA
 - TX : 5.1mA (在 0dBm 条件下)
 - TX : < 11.0mA (在 +8dBm 条件下)

无线协议支持

- 低功耗 Bluetooth®¹
 - 特性：LE 2M、LE 编码、定期广播、扩展广播、LE 安全连接
 - 符合蓝牙核心 5.4 标准

高性能无线电

- 低功耗 Bluetooth® 125kbps 时灵敏度为 -102dBm
- 低功耗 Bluetooth® 1Mbps 时灵敏度为 -96.5dBm
- 高达 +8dBm 的输出功率，具有温度补偿

法规遵从性

- 适用于符合以下标准的系统：
 - EN 300 328 (欧洲)
 - FCC CFR47 第 15 部分
 - ARIB STD-T66 (日本)
 - ISSED (加拿大)
 - NCC (中国台湾)
 - KCC (韩国)

MCU 外设

- 多达 12 个 I/O 焊盘

¹ 模块仅通过了低功耗蓝牙的预认证

- 2 个 IO 焊盘 SWD，与 GPIO 进行多路复用
- 2 个 IO 焊盘 LFXT，与 GPIO 进行多路复用
- 多达 12 个 DIO (模拟或数字 IO)
- 3 个 16 位和 1 个 24 位通用计时器，支持正交解码模式
- 12 位 ADC、267ksps，具备内部基准、4 个外部 ADC 输入
- 1 个低功耗比较器
- 1× UART
- 1× SPI
- 1× I²C
- 实时时钟 (RTC)
- 集成温度和电池监控器
- 看门狗计时器

信息安全机制

- AES 128 位加密加速计
- 来自片上模拟噪声的随机数生成器

开发工具和软件

- [LP-EM-CC2340R53 LaunchPad 开发套件](#)
- [LP-EM-CC2340R5MODA 设计文件](#)
- [SimpleLink™ 低功耗 F3 软件开发套件](#)
- 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
- 1.71V 至 3.8V 单电源电压
- T_j : -40°C 至 +85°C

符合 RoHS 标准的封装

- 7mm × 10mm，24 引脚 MHA 封装



2 应用

- **医疗**
 - 居家医疗保健 - 血糖监测仪、血压监测仪、CPAP 呼吸机、电子温度计
 - 患者监护和诊断 - 医疗传感器贴片
 - 个人护理和健身 - 电动牙刷、可穿戴健身和运动监测仪
- **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
 - 防火安全系统 - 烟雾和热量探测器
 - 视频监控 - IP 网络摄像头
- **照明**
 - LED 灯具
 - 照明控制 - 日光传感器、照明传感器、无线控制
- **工厂自动化和控制**
- **零售自动化和支付 - 电子销售终端**
 - 电子货架标签
- **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
 - 其他替代能源 - 能量收集
- **通信设备**
 - 有线网络
 - 无线 LAN 或 Wi-Fi 接入点，边缘路由器
- **个人电子产品**
 - 联网外设 - 消费类无线模块、指点设备、键盘
 - 游戏 - 电子玩具和机器人玩具
 - 可穿戴设备 (非医用) - 智能追踪器、智能服装

3 说明

CC2340R5MODA SimpleLink™ 系列器件为 2.4GHz 无线微控制器 (MCU)，面向 Bluetooth® 低耗能。这些器件针对低功耗无线通信进行了优化，并支持无线下载 (OAD) 功能，适用于楼宇自动化 (无线传感器、照明控制、信标)、资产跟踪、医疗和个人电子产品 (玩具) 市场。该器件的突出特性包括：

- CC2340R5MODA 是一款超紧凑型 2.4GHz 7mm x 10mm 的认证无线模块，具有集成天线、直流/直流元件和高频晶体振荡器。
- 支持蓝牙 5 特性：高速模式 (2Mbps PHY)、远距离 (LE 编码 125kbps 和 500kbps PHY)、Privacy 1.2.1 和通道选择算法 2，以及对蓝牙 4.2 和早期低功耗规范中关键特性的向后兼容性和支持。
- 完全合格的蓝牙软件协议栈 (SimpleLink™ 低功耗 F3 软件开发套件 (SDK) 随附)
- 超低待机电流不到 0.71 μ A 并具有 RTC 操作和完全 RAM 保持，可显著延长电池寿命，尤其是对于睡眠间隔较长的应用。
- 出色的无线电敏感度和稳健性 (选择性与阻断) 性能，适用于低功耗蓝牙 (125kbps LE 编码 PHY 为 -102dBm)

CC2340R5MODA 系列器件是 SimpleLink™ MCU 平台的一部分，该平台包括 Wi-Fi®、低功耗蓝牙、Thread、Zigbee、Sub-1GHz MCU 和主机 MCU，它们共用一个通用、易于使用的开发环境，其中包含单核软件开发套件 (SDK) 和丰富的工具集。借助一次性集成的 SimpleLink™ 平台，可以将产品组合中的任何器件组合添加至您的设计中，从而在设计要求变更时实现 100% 的代码重用。有关更多信息，请访问 SimpleLink™ MCU 平台。

器件信息

器件型号 ⁽¹⁾	闪存	RAM	温度范围	封装	状态
CC2340R5MODAN0MHAR	512kB	64kB	-40°C 至 85°C	MHA24	已发布

(1) 有关更多信息，请参阅节 13。

4 功能方框图

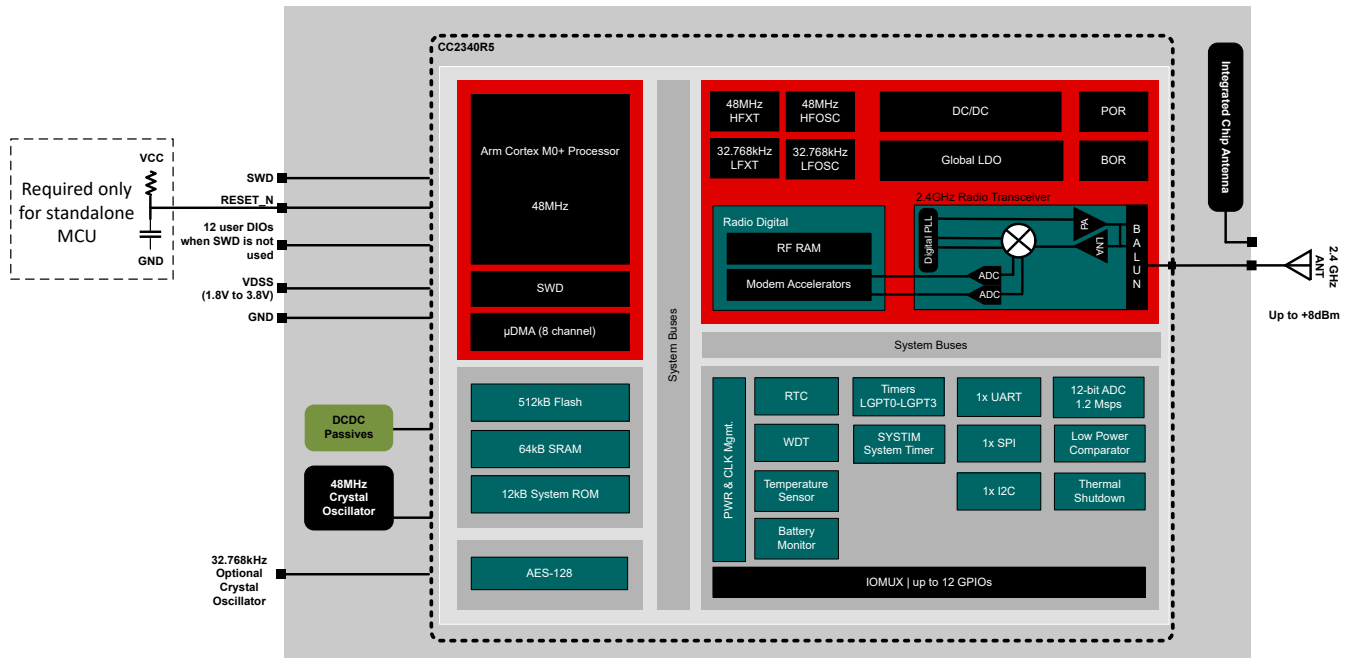


图 4-1. CC2340R5MODA 方框图

内容

1 特性	1	8.6 计时器	40
2 应用	2	8.7 串行外设和 I/O	41
3 说明	2	8.8 电池和温度监测器	42
4 功能方框图	3	8.9 μDMA	42
5 器件比较	5	8.10 调试	42
6 引脚配置和功能	6	8.11 电源管理	43
6.1 引脚图.....	6	8.12 时钟系统	44
6.2 信号说明.....	8	8.13 网络处理器	44
6.3 未使用的引脚和模块的连接.....	11	8.14 器件资格认证	45
7 规格	12	8.15 模块标识	48
7.1 绝对最大额定值.....	12	8.16 终端产品标示	48
7.2 ESD 等级.....	12	8.17 面向最终用户的手册信息	48
7.3 建议运行条件.....	12	9 应用、实施和布局	49
7.4 DCDC.....	12	9.1 典型应用电路.....	49
7.5 全局 LDO (GLDO).....	13	9.2 器件连接.....	50
7.6 电源和模块.....	13	9.3 PCB 布局指南.....	50
7.7 电池监测器.....	13	9.4 参考设计.....	52
7.8 温度传感器.....	13	10 环境要求和 SMT 规格	54
7.9 功耗 - 电源模式.....	14	10.1 PCB 折弯.....	54
7.10 功耗 - 无线电模式.....	15	10.2 操作环境.....	54
7.11 非易失性 (闪存) 存储器特性.....	15	10.3 贮存条件.....	54
7.12 热阻特性.....	15	10.4 PCB 组装指南.....	54
7.13 射频频带.....	16	10.5 烘烤条件.....	55
7.14 低功耗蓝牙 - 接收 (RX).....	17	10.6 SMT 建议.....	56
7.15 低功耗蓝牙 - 发送 (TX).....	20	11 器件和文档支持	57
7.16 2.4GHz RX/TX CW.....	21	11.1 器件命名规则.....	57
7.17 时序和开关特性.....	21	11.2 工具与软件.....	57
7.18 外设特性.....	22	11.3 文档支持.....	58
7.19 典型特性.....	30	11.4 支持资源.....	59
8 详细说明	38	11.5 商标.....	59
8.1 概述.....	38	11.6 静电放电警告.....	59
8.2 系统 CPU.....	38	11.7 术语表.....	59
8.3 无线电 (射频内核).....	38	12 修订历史记录	59
8.4 存储器.....	39	13 机械、封装和可订购信息	61
8.5 加密.....	40		

5 器件比较

模块	天线		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	低功耗 Bluetooth®	ZigBee	+10dBm PA	FCC/IC	CE	RER (英国)	日本	韩国	中国台湾				7 x 7 QFM (73)	7 x 7 QFM (59)	16.9 x 11.0 QFM (29)	7 x 10 MHA (24)
CC2340R5MODA	X	X	X			X	X	X	X	X	X	512	64	12				X
CC2650MODA		X	X	X		X	X		X			128	20 + 8	15			X	
CC2651R3SIPA	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	352	32 + 8	32		X		
CC2652RSIP	X		X	X		X	X	X				352	80 + 8	32	X			
CC2652PSIP	X		X	X	X	X	X	X				352	80 + 8	30	X			

6 引脚配置和功能

6.1 引脚图

6.1.1 引脚图 - MHA 封装 (顶视图)

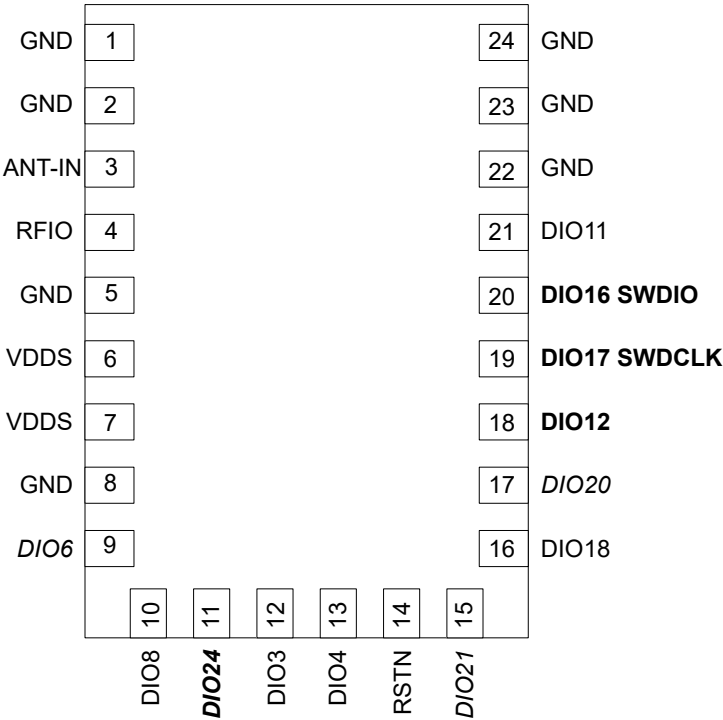


图 6-1. 引脚图 - MHA 封装 (顶视图)

引脚图 - MHA 封装 (顶视图) 中以**粗体**标记的下列 I/O 引脚具有高驱动功能：

- 引脚 18 , DIO12
- 引脚 20 , DIO16_SWDIO
- 引脚 19 , DIO17_SWDCK
- 引脚 11 , DIO24_A7

引脚图 - MHA 封装 (顶视图) 中以**斜体**标记的下列 I/O 引脚具有模拟功能：

- 引脚 17 , DIO20_A11
- 引脚 15 , DIO21_A10
- 引脚 11 , DIO24_A7
- 引脚 9 , DIO6_A1

表 6-1. 引脚属性 (MHA 封装)

引脚编号	信号名称	引脚名称	复用编码	信号类型
3	ANT-IN	ANT-IN		RF
10	DIO8	GPIO8	0	I/O
		SPI0SCLK	1	I/O
		UART0RTS	2	I/O
		T1C0N	3	I/O
		I2C0SDA	4	I/O
		T0C0N	5	I/O
		DTB3	7	I/O

表 6-1. 引脚属性 (MHA 封装) (续)

引脚编号	信号名称	引脚名称	复用编码	信号类型
21	DIO11	GPIO11	0	I/O
		SPI0CSN	1	I/O
		T1C2N	2	I/O
		T0C0	3	I/O
		LRFD0	4	I/O
		SPI0POCI	5	I/O
		DTB9	7	I/O
18	DIO12	GPIO12	0	I/O
		SPI0POCI	1	I/O
		SPI0PICO	2	I/O
		UART0RXD	3	I/O
		T1C1	4	I/O
		I2C0SDA	5	I/O
		DTB13	7	I/O
20	DIO16_SWDIO	GPIO16	0	I/O
		SPI0PICO	1	I/O
		UART0RXD	2	I/O
		I2C0SDA	3	I/O
		T1C2	4	I/O
		T1C0N	5	I/O
		DTB10	7	I/O
19	DIO17_SWDC	GPIO17	0	I/O
		SPI0SCLK	1	I/O
		UART0TXD	2	I/O
		I2C0SCL	3	I/O
		T1C1N	4	I/O
		T0C2	5	I/O
		DTB11	7	I/O
16	DIO18	GPIO18	0	I/O
		T3C0	1	I/O
		LPC0	2	I/O
		UART0TXD	3	I/O
		SPI0SCLK	4	I/O
		DTB12	7	I/O
17	DIO20_A11	GPIO20	0	I/O
		LPC0	1	I/O
		UART0TXD	2	I/O
		UART0RXD	3	I/O
		T1C0	4	I/O
		SPI0POCI	5	I/O
		ANA11	6	模拟
		DTB14	7	I/O
15	DIO21_A10	GPIO21	0	I/O
		UART0CTS	1	I/O
		T1C1N	2	I/O
		T0C1	3	I/O
		SPI0POCI	4	I/O
		LRFD1	5	I/O
		ANA10	6	模拟
		DTB15	7	I/O

表 6-1. 引脚属性 (MHA 封装) (续)

引脚编号	信号名称	引脚名称	复用编码	信号类型
11	DIO24_A7	GPIO24	0	I/O
		SPI0SCLK	1	I/O
		T1C0	2	I/O
		T3C0	3	I/O
		T0PE	4	I/O
		I2C0SCL	5	I/O
		ANA7	6	模拟
		DTB5	7	I/O
12	DIO3_X32P	GPIO3	0	I/O
		LFCI	1	I/O
		T0C1N	2	I/O
		LRFD0	3	I/O
		T3C1	4	I/O
		T1C2	5	I/O
		LFXT_P	6	I/O
		DTB7	7	I/O
13	DIO4_X32N	GPIO4	0	I/O
		T0C2N	1	I/O
		UART0TXD	2	I/O
		LRFD1	3	I/O
		SPI0PICO	4	I/O
		T0C2	5	I/O
		LFXT_N	6	I/O
		DTB8	7	I/O
9	DIO6_A1	GPIO6	0	I/O
		SPI0CSN	1	I/O
		I2C0SCL	2	I/O
		T1C2	3	I/O
		LRFD2	4	I/O
		UART0TXD	5	I/O
		ANA1	6	模拟
		DTB6	7	I/O
1、2、22、23、24、5、8	GND	GND		GND
4	RFIO	RFIO		RF
14	RSTN	RSTN		I/O
6、7	VDDS	VDDS		PWR

6.2 信号说明

表 6-2. 模拟输入信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
ANA1	模拟	I	ADC 基准 (正极终端) 或 ADC 通道 1 输入	9
ANA7	模拟	I	低功耗比较器输入 (正极终端或负极终端) /ADC 通道 7 输入	11
ANA10	模拟	I	低功耗比较器输入 (正极终端) /ADC 通道 10 输入	15
ANA11	模拟	I	ADC 通道 11 输入	17

表 6-3. 时钟信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
LFCI	I/O	I	低频时钟输入 (来自引脚的 LFXT 旁路时钟)	12
LFXT_N	I/O	I	32kHz 晶体振荡器引脚 2	13
LFXT_P	I/O	I	32kHz 晶体振荡器引脚 1	12

表 6-4. DTB 信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
DTB3	I/O	O	数字测试总线输出 3	10
DTB5	I/O	O	数字测试总线输出 5	11
DTB6	I/O	O	数字测试总线输出 6	9
DTB7	I/O	O	数字测试总线输出 7	12
DTB8	I/O	O	数字测试总线输出 8	13
DTB9	I/O	O	数字测试总线输出 9	21
DTB10	I/O	O	数字测试总线输出 10	20
DTB11	I/O	O	数字测试总线输出 11	19
DTB12	I/O	O	数字测试总线输出 12	16
DTB13	I/O	O	数字测试总线输出 13	18
DTB14	I/O	O	数字测试总线输出 14	17
DTB15	I/O	O	数字测试总线输出 15	15

表 6-5. GPIO 信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
GPIO3	I/O	I/O	通用输入或输出	12
GPIO4	I/O	I/O	通用输入或输出	13
GPIO6	I/O	I/O	通用输入或输出	9
GPIO8	I/O	I/O	通用输入或输出	10
GPIO11	I/O	I/O	通用输入或输出	21
GPIO12	I/O	I/O	通用输入或输出	18
GPIO16	I/O	I/O	通用输入或输出	20
GPIO17	I/O	I/O	通用输入或输出	19
GPIO18	I/O	I/O	通用输入或输出	16
GPIO20	I/O	I/O	通用输入或输出	17
GPIO21	I/O	I/O	通用输入或输出	15
GPIO24	I/O	I/O	通用输入或输出	11

表 6-6. 器件接地

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
GND	GND	不适用	接地	1、2、22、23、 24、5、8

表 6-7. I2C 信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
I2C0SCL	I/O	I/O	I2C0 时钟	11、19、9
I2C0SDA	I/O	I/O	I2C0 数据	10、18、20

表 6-8. 低功耗比较器输出信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
LPCO	I/O	O	低功耗比较器输出	16、17

表 6-9. 器件电源

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
VDDS	PWR	不适用	1.71V 至 3.8V 电源	6、7

表 6-10. 复位信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
RSTN	I/O	I	全局主器件复位 (低电平有效)	14

表 6-11. 无线电数字输出信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
LRFD0	I/O	O	无线电内核输出 0	12、21
LRFD1	I/O	O	无线电内核输出 1	13、15
LRFD2	I/O	O	无线电内核输出 2	9

表 6-12. RF 端口

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
ANT-IN	RF	I/O	连接以实现集成天线	3
RFIO	RF	I/O	50 Ω 射频端口	4

表 6-13. SPI 信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
SPI0CSN	I/O	I/O	SPI0 片选	21、9
SPI0PICO	I/O	I/O	SPI0 外设输入控制器输出	13、18、20
SPI0POCI	I/O	I/O	SPI0 外设输出控制器输入	15、17、18、21
SPI0SCLK	I/O	I/O	SPI0 时钟	10、11、16、19

表 6-14. 计时器捕捉或比较信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
T0C0	I/O	I/O	从计时器 0 捕获或比较 0	21
T0C1	I/O	I/O	从计时器 0 捕获或比较 1	15
T0C2	I/O	I/O	从计时器 0 捕获或比较 2	13、19
T1C0	I/O	I/O	从计时器 1 捕获或比较 0	11、17
T1C1	I/O	I/O	从计时器 1 捕获或比较 1	18
T1C2	I/O	I/O	从计时器 1 捕获或比较 2	12、20、9
T3C0 ⁽¹⁾	I/O	I/O	从计时器 3 捕获或比较 0	11、16
T3C1	I/O	I/O	从计时器 3 捕获或比较 1	12

(1) 计时器 3 在 CC2340R21 上不可用。

表 6-15. 计时器互补输出信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
T0C0N	I/O	O	计时器 0 的互补比较或 PWM 输出 0	10
T0C1N	I/O	O	计时器 0 的互补比较或 PWM 输出 1	12
T0C2N	I/O	O	计时器 0 的互补比较或 PWM 输出 2	13
T1C0N	I/O	O	计时器 1 的互补比较或 PWM 输出 0	10、20
T1C1N	I/O	O	计时器 1 的互补比较或 PWM 输出 1	15、19

表 6-15. 计时器互补输出信号说明 (续)

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
T1C2N	I/O	O	计时器 0 的互补比较或 PWM 输出 2	21

表 6-16. 计时器预分频器事件信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
T0PE	I/O	O	计时器 0 的预分频器事件输出	11

表 6-17. UART 信号说明

信号名称	引脚类型	信号方向	说明	MHA 引脚
UART0CTS	I/O	I	UART0 允许发送输入 (低电平有效)	15
UART0RTS	I/O	O	UART0 请求发送 (低电平有效)	10
UART0RXD	I/O	I	UART0 接收数据	17、18、20
UART0TXD	I/O	O	UART0 发送数据	13、16、17、19、9

6.3 未使用的引脚和模块的连接

表 6-18. 未使用引脚的连接

功能	信号名称	可接受的做法 ⁽¹⁾	推荐的做法 ⁽¹⁾
GPIO (数字)	DIO _n	NC、GND 或 VDD5	NC
SWD	DIO16_SWDIO	NC、GND 或 VDD5	NC 或 VDD5
	DIO17_SWDCCK	NC、GND 或 VDD5	NC 或 GND
GPIO (数字或模拟)	DIO _n _Am	NC、GND 或 VDD5	NC
32.768kHz 晶体	DIO3_X32P	NC 或 GND	NC
	DIO4_X32N		

(1) NC = 无连接

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⁾	-0.3	V _{DDS} + 0.3, 最大值 4.1	V
	晶体振荡器引脚 X48P 和 X48N 上的电压	-0.3	1.24	V
V _{in_adc}	ADC 输入端的电压	0	V _{DDS}	V
	输入电平, 射频引脚		5	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。

7.2 ESD 等级

				值	单位
MHA 封装					
V _{ESD}	静电放电	人体放电模型 (HBM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ^{(1) (3)}	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 文件 JEP155 指出：500V HBM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产
- (2) JEDEC 文件 JEP157 指出：250V CDM 可实现在标准 ESD 控制流程下安全生产
- (3) ESD 等级基于 CC2340R53E0YBGR

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	85	°C
工作结温 ^{(1) (2)}	-40	85	°C
工作电源电压 (V _{DDS})	1.71	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 ⁽³⁾	0	1	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) 有关热阻详细信息，请参阅本文档中的热阻特性表。
- (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 10μF V_{DDS} 输入电容器来确保符合此压摆率。

7.4 DCDC

除非另有说明，否则相关数据都是在 T_c = 25°C 且启用直流/直流转换器的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 参考设计测得。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
用于直流/直流转换器运行的 V _{DDS} 电源电压 ^{(1) (2)}		2.2	3.0	3.8	V

- (1) 当电源电压降至直流/直流转换器最低工作电压以下时，器件会自动转换至使用片上 GLDO 稳压器。
- (2) V_{DDR} 电压导轨上需要一个 10μH 电感器和 10μF 负载电容器。它们应靠近直流/直流转换器输出引脚放置。

7.5 全局 LDO (GLDO)

相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 参考设计测得。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
用于运行 GLDO 的 VDDS 电源电压 ⁽¹⁾		1.71	3.0	3.8	V

(1) 建议在 VDDR 引脚上连一个 10 μF 电容器。

7.6 电源和模块

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	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
VDDS_BOD					
欠压上升阈值 ⁽¹⁾			1.68		V
经修整的欠压下降阈值 ⁽¹⁾			1.67		V
POR					
上电复位加电电平			1.5		V
上电复位断电电平			1.45		V

(1) 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 RSTN 引脚将器件复位。

7.7 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 LP-EM-CC2340R5MODA 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			22		mV
范围		1.71		3.8	V
精度	VDDS = 3.0V		30		mV

7.8 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 LP-EM-CC2340R5MODA 参考设计测得。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
精度	-40°C 至 85°C		$\pm 10^{(1)}$		°C

(1) 寄存器的原始输出。

7.9 功耗 - 电源模式

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DD5}} = 3.0\text{V}$ 且启用 DCDC、禁用 GLDO 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 参考设计测得。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
采用直流/直流转换器时的内核电流消耗						
I_{core}	有效	MCU 在 48MHz 条件下从闪存运行 CoreMark		2.6		mA
I_{core}	有效	MCU 在 48MHz 条件下从闪存运行 CoreMark		53		$\mu\text{A}/\text{MHz}$
I_{core}	空闲	电源系统和 RAM 通电，禁用闪存，禁用 DMA		0.8		mA
I_{core}	空闲	电源系统和 RAM 通电，禁用闪存，启用 DMA		0.8		mA
I_{core}	空闲	电源系统和 RAM 通电，启用闪存，禁用 DMA		1.1		mA
I_{core}	空闲	电源系统和 RAM 通电，启用闪存，启用 DMA		1.2		mA
I_{core}	待机	RTC 运行，完全 RAM 保留 LFOSC，DCDC 充电电流设置 ($i_{\text{peak}} = 1$)		0.71		μA
I_{core}	待机	RTC 运行，完全 RAM 保留 LFXT，DCDC 充电电流设置 ($i_{\text{peak}} = 1$)		0.74		μA
采用 GLDO 时的内核电流消耗						
I_{core}	有效	MCU 在 48MHz 条件下从闪存运行 CoreMark		4.1		mA
I_{core}	空闲	电源系统和 RAM 通电，禁用闪存，禁用 DMA		1.2		mA
I_{core}	空闲	电源系统和 RAM 通电，禁用闪存，启用 DMA		1.3		mA
I_{core}	空闲	电源系统和 RAM 通电，启用闪存，禁用 DMA		1.5		mA
I_{core}	空闲	电源系统和 RAM 通电，启用闪存，启用 DMA		1.7		mA
I_{core}	待机	RTC 运行，完全 RAM 保留 LFOSC，默认 GLDO 充电电流设置		1.1		μA
I_{core}	待机	RTC 运行，完全 RAM 保留 LFXT 默认 GLDO 充电电流设置		1.15		μA
复位，关断电流消耗						
I_{core}	复位	复位。RSTN 引脚被置为有效或 VDD5 低于上电复位阈值		165		nA
I_{core}	关断	在稳定状态下测量关断。无时钟运行，无保留，启用 IO 唤醒		165		nA
外设电流消耗						
I_{peri}	RF	启用时钟且射频子系统空闲情况下的 Δ 电流		40		μA
I_{peri}	计时器	启用时钟、模块空闲、一个 LGPT 计时器情况下的 Δ 电流		2.4		μA
I_{peri}	I2C	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流		10.6		μA
I_{peri}	SPI	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流		3.4		μA
I_{peri}	UART	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流		24.5		μA
I_{peri}	加密 (AES)	启用时钟且模块空闲情况下的 Δ 电流		3.8		μA

7.10 功耗 - 无线电模式

相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DD5}} = 3.0\text{V}$ 且启用 DCDC 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 参考设计测得 (除非另有说明)。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{RX}	无线电接收电流 2440MHz, 1Mbps, GFSK, 系统总线关闭 ⁽¹⁾		5.5		mA
I_{RX}	无线电接收电流 2440MHz, 1Mbps, GFSK, 直流/直流转换器关闭, 系统总线关闭 ⁽¹⁾		9		mA
I_{TX}	无线电发射电流 -8dBm 输出功率设置 2440MHz 系统总线关闭 ⁽¹⁾		4.5		mA
I_{TX}	无线电发射电流 0dBm 输出功率设置 2440MHz 系统总线关闭 ⁽¹⁾		5.1		mA
I_{TX}	无线电发射电流 0dBm 最大输出功率设置 2440MHz, 直流/直流转换器关闭, 系统总线关闭 ⁽¹⁾		9.0		mA
I_{TX}	无线电发射电流 +4dBm 输出功率设置 2440MHz 系统总线关闭 ⁽¹⁾		7.9		mA
I_{TX}	无线电发射电流 +6dBm 输出功率设置 2440MHz 系统总线关闭 ⁽¹⁾		8.9		mA
I_{TX}	无线电发射电流 +8dBm 输出功率设置 2440MHz 系统总线关闭 ⁽¹⁾		10.7		mA
I_{TX}	无线电发射电流 +8dBm 输出功率设置 2440MHz 直流/直流转换器关闭, 系统总线关闭 ⁽¹⁾		19		mA

(1) 系统总线关闭是指器件空闲模式, 禁用 DMA, 禁用闪存

7.11 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			2		KB
发生故障前支持的闪存擦除周期, 全存储体 ^{(1) (2)}		30			k Cycles
发生故障前支持的闪存擦除周期, 单扇区 ⁽³⁾		60			k Cycles
擦除扇区前的每行最大写入操作数 ⁽⁴⁾				83	写入操作
闪存保留	85°C	11.4			年
闪存扇区擦除电流	平均 Δ 电流		1.2		mA
闪存扇区擦除时间 ⁽⁵⁾	0 个擦除周期		2.2		ms
闪存写入电流	平均 Δ 电流, 一次整个扇区		1.7		mA
闪存写入时间 ⁽⁵⁾	一次整个扇区 (2KB), 0 个擦除周期		8.3		ms

- (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) 在擦除或编程模式期间中止闪存是一种不安全的操作。
- (3) 最多可单独擦除 16 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)
- (4) 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。
- (5) 该数字取决于闪存老化, 并随着时间和擦除周期而增加

7.12 热阻特性

热指标	热指标	封装	单位 ⁽¹⁾
		MHA	
		26 引脚	
$R_{\theta \text{JA}}$	结至环境热阻	58.0	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta \text{JC(top)}}$	结至外壳 (顶部) 热阻	61.6	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta \text{JB}}$	结至电路板热阻	30.5	$^\circ\text{C/W}$
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	23.7	$^\circ\text{C/W}$

热指标	热指标	封装	单位 (1)
		MHA	
		26 引脚	
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	30.4	°C/W

(1) °C/W = 摄氏度/瓦。

7.13 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	2360		2510	MHz

7.14 低功耗蓝牙 - 接收 (RX)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_C = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DD}} = 3.0\text{V}$ 、 $f_{\text{RF}} = 2440\text{MHz}$ 且启用 DCDC 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 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。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
125kbps (LE 编码)					
接收器灵敏度	$\text{BER} = 10^{-3}$		-102		dBm
接收器饱和度	$\text{BER} = 10^{-3}$		5		dBm
频率误差容差	传入载波频率与内部生成的载波频率之间的差异		$> (-250 / 250)^{(1)}$		kHz
数据速率误差容差	传入数据速率与内部生成的数据速率 (37 字节数据包) 之间的差异		$> (-90 / 90)^{(1)}$		ppm
数据速率误差容差	传入数据速率与内部生成的数据速率 (255 字节数据包) 之间的差异		$> (-90 / 90)^{(1)}$		ppm
共道抑制 ⁽²⁾	有用信号强度 - 79dBm, 信道中的调制干扰源, $\text{BER} = 10^{-3}$		-6		dB
选择性, $\pm 1\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 - 79dBm, 调制干扰源 $\pm 1\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		9/5 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 2\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 - 79dBm, 调制干扰源 $\pm 2\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		44/31 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 3\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 - 79dBm, 调制干扰源 $\pm 3\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		47/42 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 4\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 - 79dBm, 调制干扰源 $\pm 4\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		49/45 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 6\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 - 79dBm, 调制干扰源 $\geq \pm 6\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		52/48 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 7\text{MHz}$	有用信号强度 - 79dBm, 调制干扰源 $\geq \pm 7\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		54/49 ⁽³⁾		dB
选择性, 图像频率 ⁽²⁾	有用信号强度 - 79dBm, 调制干扰源为图像频率, $\text{BER} = 10^{-3}$		31		dB
选择性, 图像频率 $\pm 1\text{MHz}^{(2)}$	请注意, 图像频率 $\pm 1\text{MHz}$ 即共道 -1MHz 。有用信号强度 - 79dBm, 调制干扰源为图像频率 $\pm 1\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		5/42 ⁽³⁾		dB
500kbps (LE 编码)					
接收器灵敏度	$\text{BER} = 10^{-3}$		-99		dBm
接收器饱和度	$\text{BER} = 10^{-3}$		5		dBm
频率误差容差	传入载波频率与内部生成的载波频率之间的差异		$> (-250 / 250)^{(1)}$		kHz
数据速率误差容差	传入数据速率与内部生成的数据速率 (37 字节数据包) 之间的差异		$> (-90 / 90)^{(1)}$		ppm
数据速率误差容差	传入数据速率与内部生成的数据速率 (255 字节数据包) 之间的差异		$> (-90 / 90)^{(1)}$		ppm
共道抑制 ⁽²⁾	有用信号强度 -72dBm, 信道中的调制干扰源, $\text{BER} = 10^{-3}$		-4.5		dB
选择性, $\pm 1\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 - 72dBm, 调制干扰源 $\pm 1\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		9/5 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 2\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 - 72dBm, 调制干扰源 $\pm 2\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		42/31 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 3\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 - 72dBm, 调制干扰源 $\pm 3\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		45/41 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 4\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 - 72dBm, 调制干扰源 $\pm 4\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		46/42 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 6\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 - 72dBm, 调制干扰源 $\geq \pm 6\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		50/45 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 7\text{MHz}$	有用信号强度 - 72dBm, 调制干扰源 $\geq \pm 7\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		51/46 ⁽³⁾		dB
选择性, 图像频率 ⁽²⁾	有用信号强度 - 72dBm, 调制干扰源为图像频率, $\text{BER} = 10^{-3}$		31		dB

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_C = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DD5}} = 3.0\text{V}$ 、 $f_{\text{RF}} = 2440\text{MHz}$ 且启用 DCDC 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 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。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, 图像频率 $\pm 1\text{MHz}^{(2)}$	请注意, 图像频率 $+1\text{MHz}$ 即共道 -1MHz 。有用信号强度 -72dBm , 调制干扰源为图像频率 $\pm 1\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		5/41 ⁽³⁾		dB
1Mbps (LE 1M)					
接收器灵敏度	$\text{BER} = 10^{-3}$		-96.5		dBm
接收器饱和度	$\text{BER} = 10^{-3}$		5		dBm
频率误差容差	传入载波频率与内部生成的载波频率之间的差异		$> (-250/250)^{(1)}$		kHz
数据速率误差容差	传入数据速率与内部生成的数据速率 (37 字节数据包) 之间的差异		$> (-90/90)^{(1)}$		ppm
共道抑制 ⁽²⁾	有用信号强度 -67dBm , 信道中的调制干扰源, $\text{BER} = 10^{-3}$		-6		dB
选择性, $\pm 1\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 -67dBm , 调制干扰源 $\pm 1\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		7/5 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 2\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 -67dBm , 调制干扰源 $\pm 2\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		39/28 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 3\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 -67dBm , 调制干扰源 $\pm 3\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		38/38 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 4\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 -67dBm , 调制干扰源 $\pm 4\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		47/35 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 5\text{MHz}$ 或更高 ⁽²⁾	有用信号强度 -67dBm , 调制干扰源 $\geq \pm 5\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		40		dB
选择性, 图像频率 ⁽²⁾	有用信号强度 -67dBm , 调制干扰源为图像频率, $\text{BER} = 10^{-3}$		28		dB
选择性, 图像频率 $\pm 1\text{MHz}^{(2)}$	请注意, 图像频率 $+1\text{MHz}$ 即共道 -1MHz 。有用信号强度 -67dBm , 调制干扰源为图像频率 $\pm 1\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		5/38 ⁽³⁾		dB
带外阻断 ⁽⁴⁾	30MHz 至 2000MHz		-10		dBm
带外阻断	2003MHz 至 2399MHz		-10		dBm
带外阻断	2484MHz 至 2997MHz		-10		dBm
带外阻断	3000MHz 至 12.75GHz (不包括 VCO 频率)		-2		dBm
内部调制	2402MHz 时的有用信号强度为 -64dBm 。两个干扰源分别处于 2405MHz 和 2408MHz, 在给定功率电平下		-37		dBm
杂散发射, 30MHz 至 1000MHz ⁽⁵⁾	在 50Ω 单端负载中测量。		< -59		dBm
杂散发射, 1GHz 至 12.75GHz ⁽⁵⁾	在 50Ω 单端负载中测量。		< -47		dBm
RSSI 动态范围 ⁽⁶⁾			70		dB
RSSI 精度			± 4		dB
RSSI 分辨率			1		dB
2Mbps (LE 2M)					
接收器灵敏度	在 SMA 连接器处测量, $\text{BER} = 10^{-3}$		-92		dBm
接收器饱和度	在 SMA 连接器处测量, $\text{BER} = 10^{-3}$		2		dBm
频率误差容差	传入载波频率与内部生成的载波频率之间的差异		$> (-250/250)^{(1)}$		kHz
数据速率误差容差	传入数据速率与内部生成的数据速率 (37 字节数据包) 之间的差异		$> (-90/90)^{(1)}$		ppm
共道抑制 ⁽²⁾	有用信号强度 -67dBm , 信道中的调制干扰源, $\text{BER} = 10^{-3}$		-8		dB
选择性, $\pm 2\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 -67dBm , 调制干扰源 $\pm 2\text{MHz}$, 图像频率为 -2MHz , $\text{BER} = 10^{-3}$		9/5 ⁽³⁾		dB
选择性, $\pm 4\text{MHz}^{(2)}$	有用信号强度 -67dBm , 调制干扰源 $\pm 4\text{MHz}$, $\text{BER} = 10^{-3}$		40/32 ⁽³⁾		dB

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DD}} = 3.0\text{V}$ 、 $f_{\text{RF}} = 2440\text{MHz}$ 且启用 DCDC 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 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。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, $\pm 6\text{MHz}$ ⁽²⁾	有用信号强度 - 67dBm, 调制干扰源 $\pm 6\text{MHz}$, BER = 10^{-3}		42/38 ⁽³⁾		dB
选择性, 图像频率 ⁽²⁾	有用信号强度 - 67dBm, 调制干扰源为图像频率, BER = 10^{-3}		5		dB
选择性, 图像频率 $\pm 2\text{MHz}$ ⁽²⁾	请注意, 图像频率 +2MHz 即共道。有用信号强度 - 67dBm, 调制干扰源为图像频率 $\pm 2\text{MHz}$, BER = 10^{-3}		-8/32 ⁽³⁾		dB
带外阻断 ⁽⁴⁾	30MHz 至 2000MHz		-10		dBm
带外阻断	2003MHz 至 2399MHz		-10		dBm
带外阻断	2484MHz 至 2997MHz		-12		dBm
带外阻断	3000MHz 至 12.75GHz (不包括 VCO 频率)		-10		dBm
内部调制	2402MHz 时的有用信号强度为 - 64dBm。两个干扰源分别处于 2408MHz 和 2414MHz, 在给定功率电平下		-38		dBm

- (1) 实际性能超出蓝牙规范
- (2) 数字以 I/C dB 形式表示
- (3) X/Y, 其中 X 为 +NMHz, Y 为 - NMHz
- (4) 根据蓝牙规范, 排除 $F_{\text{wanted}}/2$ 时的一个例外
- (5) 适用于需要满足以下全球射频规范的系统: ETSI EN 300 328 和 EN 300 440 2 类 (欧洲)、FCC CFR47 第 15 部分 (美国) 以及 ARIB STD-T66 (日本)
- (6) 器件将在 -30dB 处饱和。

7.15 低功耗蓝牙 - 发送 (TX)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{\text{DD}} = 3.0\text{V}$ 、 $f_{\text{RF}} = 2440\text{MHz}$ 且启用 DCDC 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 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。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					
最大输出功率	通过集成平衡-非平衡变压器输送到单端 50 Ω 负载		8		dBm
输出功率可编程范围	通过集成平衡-非平衡变压器输送到单端 50 Ω 负载		28		dB

7.16 2.4GHz RX/TX CW

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{DD5}} = 3.0\text{V}$ 、 $f_{\text{RF}} = 2440\text{MHz}$ 且启用 DCDC 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 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。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
杂散发射和谐波					
杂散发射 ⁽¹⁾	$f < 1\text{GHz}$ ，超出限制频带	+8dBm 设置	< -36		dBm
	$f < 1\text{GHz}$ ，限制频带 ETSI		< -54		dBm
	$f < 1\text{GHz}$ ，限制频带 FCC		< -55		dBm
	$f > 1\text{GHz}$ ，包括谐波 (ETSI)		< -30		dBm
谐波 ⁽¹⁾	二次谐波		< -42		dBm
	三次谐波		< -42		dBm

(1) 适用于需要满足以下全球射频规范的系统：ETSI EN 300 328 和 EN 300 440 2 类 (欧洲)、FCC CFR47 第 15 部分 (美国) 以及 ARIB STD-T66 (日本)。

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
RSTN 低电平持续时间	1			μs

7.17.2 唤醒时间

在 $V_{\text{DD5}} = 3.0\text{V}$ 、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任何软件开销 (除非另有说明)。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
MCU，从复位/关断到工作状态 ⁽¹⁾	GLDO 默认充电电流设置，VDDR 电容器充满电 ⁽²⁾	350-450			μs
MCU，从待机到工作状态	MCU，从待机到工作状态 (为从闪存执行代码做好准备)。直流/直流转换器开启，默认充电电流配置	33-43 ⁽³⁾			μs
MCU，从待机到工作状态	MCU，从待机到工作状态 (为从闪存执行代码做好准备)。GLDO 开启，	33-50 ⁽³⁾			μs
MCU，从空闲到工作状态	在空闲模式下启用闪存	3			μs
MCU，从空闲到工作状态	在空闲模式下禁用闪存	14			μs

- (1) 唤醒时间包括器件 ROM 引导代码执行时间。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。
- (2) 这是指定 GLDO 充电电流设置理想情况的复位/关断到工作的时间 (包括 ROM 引导代码操作)，考虑到 VDDR 电容在复位和关断事件期间已充满电且不会放电；也就是说，当器件处于复位/关断模式的时间很短时
- (3) 取决于 VDDR 电容器电压电平。

7.17.3 时钟规范

7.17.3.1 48MHz 晶体振荡器 (HFXT)

除非另有说明，否则相关数据都是基于德州仪器 (TI) 的参考设计且初始时刻 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 和 $V_{\text{DD5}} = 3.0\text{V}$ 的条件下所测得，该设计集成了 48MHz 晶振，所用参数基于外部制造商提供的晶振规格。

	参数	最小值	典型值	最大值	单位
	晶振频率	48			MHz
启动时间	直到时钟符合要求 ⁽¹⁾	200			μs
	晶振频率容差 ⁽²⁾	-10		10	ppm
	晶振老化 ⁽²⁾	-3		3	ppm/年

除非另有说明，否则相关数据都是基于德州仪器 (TI) 的参考设计且初始时刻 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 和 $V_{DD5} = 3.0\text{V}$ 的条件下所测得，该设计集成了 48MHz 晶振，所用参数基于外部制造商提供的晶振规格。

参数	最小值	典型值	最大值	单位
用于调优内部电容器的软件校准值		0x2A		十六进制值

- 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。
- 外部制造商的晶振规格

7.17.3.2 48MHz RC 振荡器 (HFOSC)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{DD5} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 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		± 3		%
校准后的频率精度 ⁽¹⁾		± 0.25		%

- 相对于校准源 (HFXT) 的精度

7.17.3.3 32kHz 晶体振荡器 (LFXT)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{DD5} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 参考设计测得。

	最小值	典型值	最大值	单位
晶振频率		32.768		kHz
支持的晶体负载电容	6		12	pF
ESR		30	100	k Ω

7.17.3.4 32kHz RC 振荡器 (LFOSC)

除非另有说明，否则相关数据都是在 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 且 $V_{DD5} = 3.0\text{V}$ 的条件下基于 LP-EM-CC2340R5MODA 参考设计测得。

	最小值	典型值	最大值	单位
经校准的频率		32.768 ⁽¹⁾		kHz

- 当使用 LFOSC 作为低频系统时钟 (LFCLK) 源时，通过测量相对于 HFXT 的 LFOSC 并补偿 RTC 滴答速度，可以提高 LFCLK 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。

7.18 外设特性

7.18.1 UART

7.18.1.1 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

7.18.2 SPI

7.18.2.1 SPI 特性

使用 TI SPI 驱动器，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	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
fSCLK 1/tsclk	控制器模式和外设模式 ⁽¹⁾ $2.7\text{V} \leq V_{DD5} < 3.8\text{V}$			12	MHz
	控制器模式和外设模式 ⁽¹⁾ $V_{DD5} < 2.7\text{V}$			8	MHz

使用 TI SPI 驱动器，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	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
DC _{SCK}	SCK 占空比	45	50	55	%

(1) 假设连接理想的 SPI 控制器和 SPI 外围器件

7.18.2.2 SPI 控制器模式

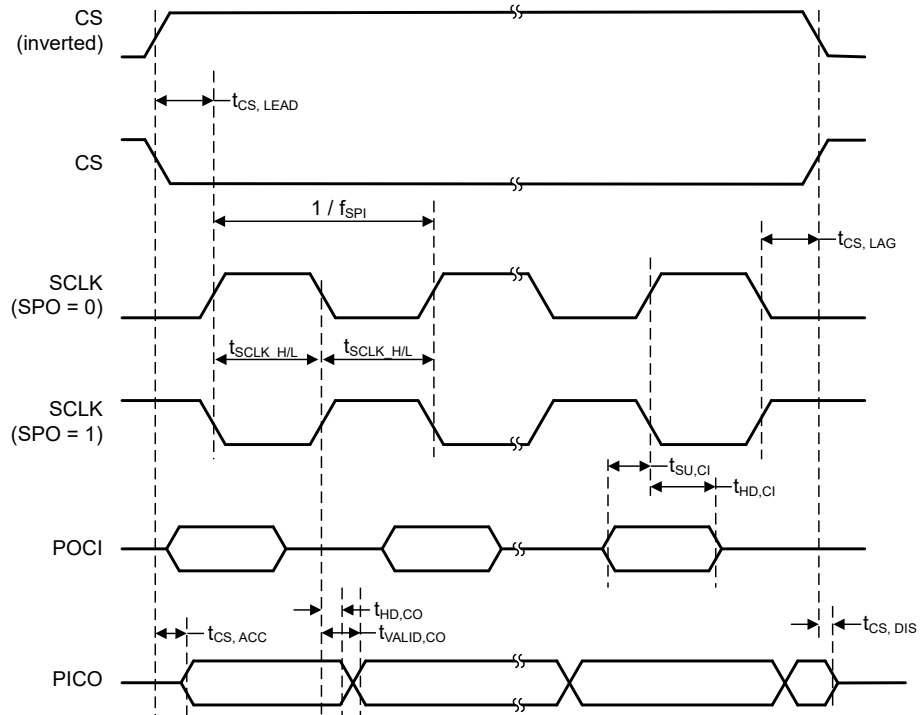
使用 TI SPI 驱动器，在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t _{SCLK_H/L}	SCLK 高电平或低电平时间	(t _{SPI} /2) - 1	t _{SPI} /2	(t _{SPI} /2) + 1	ns
t _{CS_LEAD}	CS 提前时间，CS 有效至时钟	1			SCLK
t _{CS_LAG}	CS 滞后时间，最后一个时钟到 CS 无效	1			SCLK
t _{CS_ACC}	CS 访问时间，CS 有效到 PICO 数据输出			1	SCLK
t _{CS_DIS}	CS 禁用时间，CS 无效到 PICO 高阻抗			1	SCLK
t _{VALID_CO}	PICO 输出数据有效时间 ⁽¹⁾	SCLK 边沿到 PICO 有效，C _L = 20pF		13	ns
t _{HD_CO}	PICO 输出数据保持时间 ⁽²⁾	C _L = 20pF		0	ns

(1) 指定输出更改 SCLK 时钟边沿后将下一个有效数据驱动到输出所需的时间。

(2) 指定输出更改 SCLK 脉冲边沿后输出上数据保持有效的时长。

7.18.2.3 SPI 时序图 - 控制器模式



Controller Mode, SPH = 0

图 7-1. SPI 时序图 - 控制器模式，SPH = 0

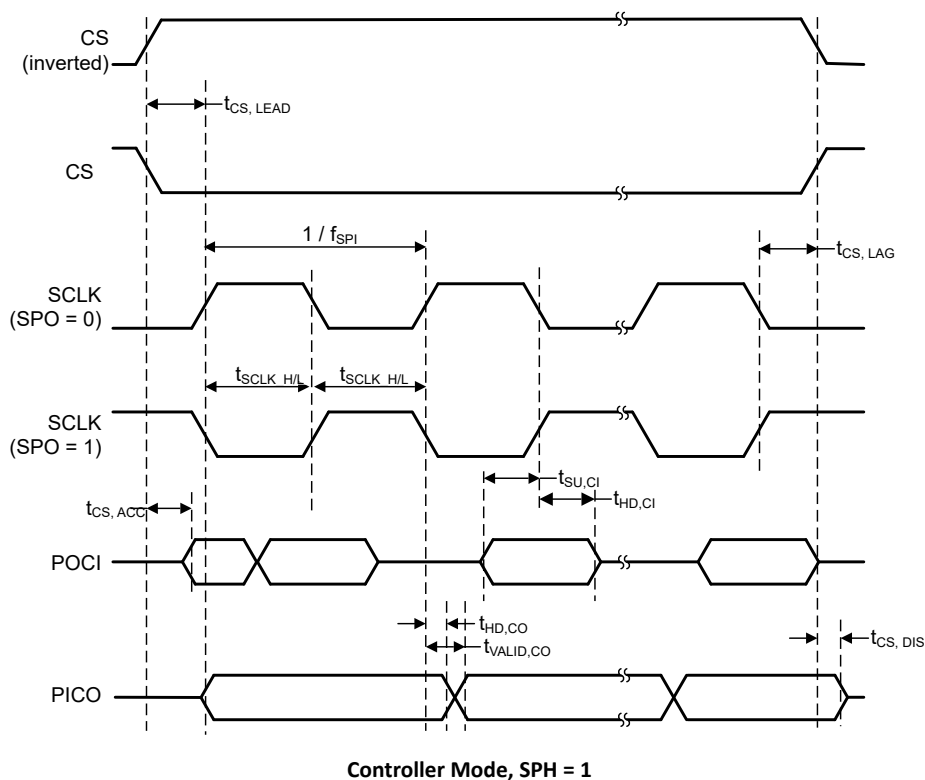


图 7-2. SPI 时序图 - 控制器模式，SPH = 1

7.18.2.4 SPI 外设模式

使用 TI SPI 驱动器，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	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{CS, LEAD}$	CS 提前时间，CS 有效至时钟	1			SCLK
$t_{CS, LAG}$	CS 滞后时间，最后一个时钟到 CS 无效	1			SCLK
$t_{CS, ACC}$	CS 访问时间，CS 有效到 POCI 数据输出			35	ns
$t_{CS, ACC}$	CS 访问时间，CS 有效到 POCI 数据输出			50	ns
$t_{CS, DIS}$	CS 禁用时间，CS 无效到 POCI 高阻抗			35	ns
$t_{CS, DIS}$	CS 禁用时间，CS 无效到 POCI 高阻抗			50	ns
$t_{SU, PI}$	PICO 输入数据设置时间	13			ns
$t_{HD, PI}$	PICO 输入数据保持时间	0			ns
$t_{VALID, PO}$	POCI 输出数据有效时间 ⁽¹⁾			35	ns
$t_{VALID, PO}$	POCI 输出数据有效时间 ⁽¹⁾			50	ns
$t_{HD, PO}$	POCI 输出数据保持时间 ⁽²⁾			0	ns

(1) 指定输出更改 SCLK 时钟边沿后将下一个有效数据驱动到输出所需的时间。

(2) 指定输出更改 SCLK 脉冲边沿后输出上数据保持有效的时长。

7.18.2.5 SPI 时序图 - 外设模式

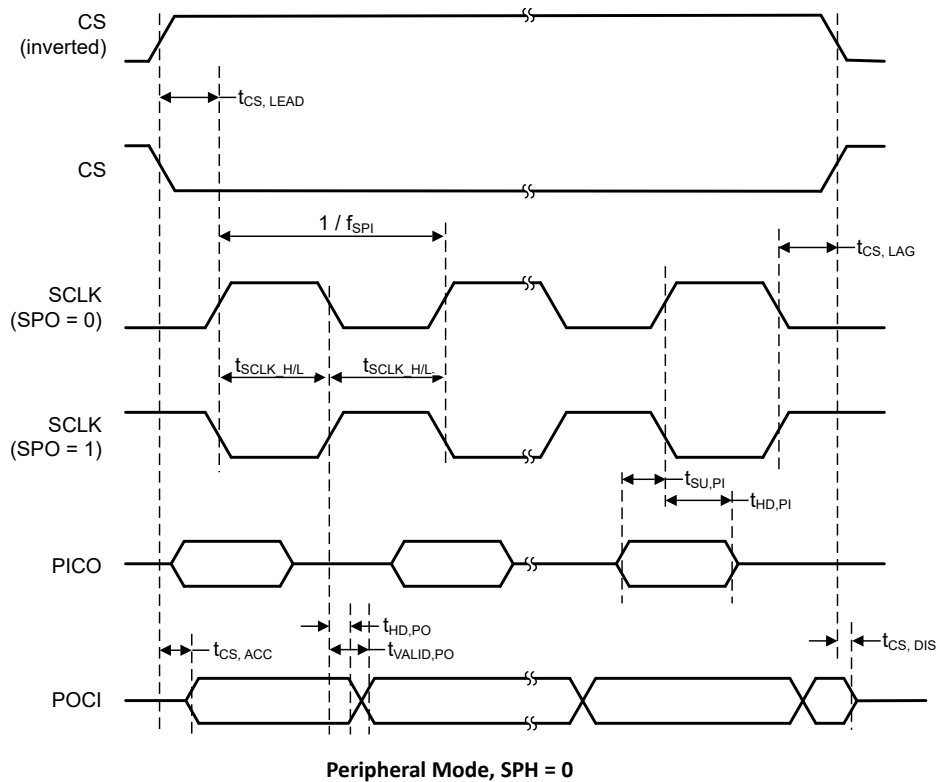


图 7-3. SPI 时序图 - 外设模式，SPH = 0

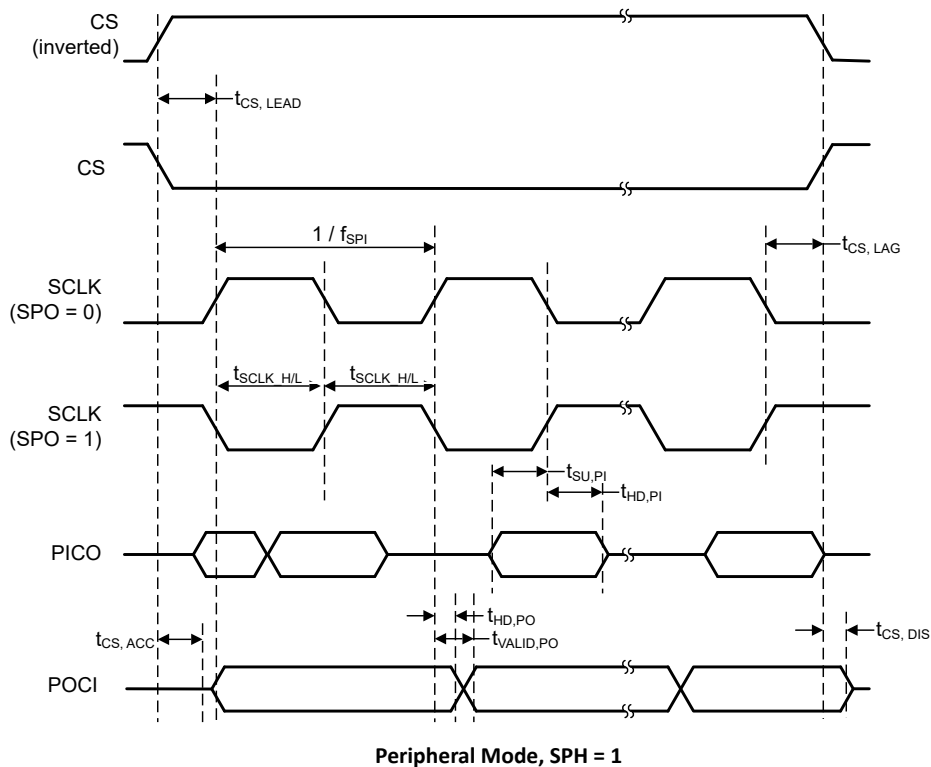


图 7-4. SPI 时序图 - 外设模式，SPH = 1

7.18.3 I²C

7.18.3.1 I²C

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	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
f _{SCL}	SCL 时钟频率	0		400	kHz
t _{HD, STA}	保持时间（重复）启动	f _{SCL} = 100kHz		4.0	μs
t _{HD, STA}	保持时间（重复）启动	f _{SCL} > 100kHz		0.6	μs
t _{SU, STA}	一个针对重复启动的建立时间	f _{SCL} = 100kHz		4.7	μs
t _{SU, STA}	一个针对重复启动的建立时间	f _{SCL} > 100kHz		0.6	μs
t _{HD, DAT}	数据保持时间			0	μs
t _{SU, DAT}	数据设置时间	f _{SCL} = 100kHz		250	ns
t _{SU, DAT}	数据设置时间	f _{SCL} > 100kHz		100	ns
t _{SU, STO}	停止的建立时间	f _{SCL} = 100kHz		4.0	μs
t _{SU, STO}	停止的建立时间	f _{SCL} > 100kHz		0.6	μs
t _{BUF}	停止和启动条件之间的总线空闲时间	f _{SCL} = 100kHz		4.7	μs
t _{BUF}	停止和启动条件之间的总线空闲时间	f _{SCL} > 100kHz		1.3	μs
t _{SP}	由输入抗尖峰脉冲滤波器进行抑制的尖峰的脉冲持续时间		50		ns

7.18.3.2 I²C 时序图

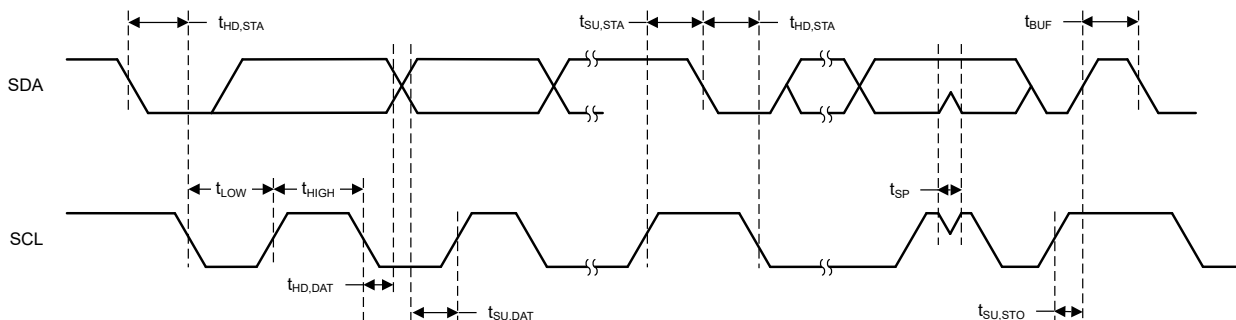


图 7-5. I²C 时序图

7.18.4 GPIO

7.18.4.1 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					
GPIO 上拉电流	输入模式, 启用上拉, V _{pad} = 0V	39	66	109	μA
GPIO 下拉电流	输入模式, 启用下拉, V _{pad} = V _{DDs}	10	21	40	μA
GPIO 低电平至高电平输入转换, 具有迟滞功能	I _H = 1, 输入读数为 0 → 1 的转换电压	0.91	1.11	1.27	V
GPIO 高电平至低电平输入转换, 具有迟滞功能	I _H = 1, 输入读数为 1 → 0 的转换电压	0.59	0.75	0.91	V
GPIO 输入迟滞	I _H = 1, 0 → 1 和 1 → 0 点之间的差异	0.26	0.35	0.44	V
T_A = 25°C, V_{DDs} = 3.0V					
负载为 10mA 时的 GPIO VOH	仅限高驱动 GPIO, 最大驱动设置	2.47			V
负载为 10mA 时的 GPIO VOL	仅限高驱动 GPIO, 最大驱动设置			0.25	V
负载为 2mA 时的 GPIO VOH	标准驱动 GPIO	2.52			V
负载为 2mA 时的 GPIO VOL	标准驱动 GPIO			0.20	V

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
T_A = 25°C, V_{DD5} = 3.8V					
GPIO 上拉电流	输入模式, 启用上拉, V _{pad} = 0V	170	262	393	μA
GPIO 下拉电流	输入模式, 启用下拉, V _{pad} = V _{DD5}	60	110	172	μA
GPIO 低电平至高电平输入转换, 具有迟滞功能	I _H = 1, 输入读数为 0 → 1 的转换电压	1.76	1.98	2.27	V
GPIO 高电平至低电平输入转换, 具有迟滞功能	I _H = 1, 输入读数为 1 → 0 的转换电压	1.26	1.52	1.79	V
GPIO 输入迟滞	I _H = 1, 0 → 1 和 1 → 0 点之间的差异	0.40	0.47	0.54	V
T_A = 25°C					
V _{IH}	最低 GPIO 输入电压明确解读为高电平	0.8*V _{DD5}			V
V _{IL}	最高 GPIO 输入电压明确解读为低电平	0.2*V _{DD5}			V

7.18.5 ADC

7.18.5.1 模数转换器 (ADC) 特性

除非另有说明, 否则 $T_c = 25^\circ\text{C}$, $V_{\text{DDS}} = 3.0\text{V}$ 。(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
ADC 电源和输入范围条件						
V_{Ax}	模拟输入电压范围	所有 ADC 模拟输入引脚 Ax	0		V_{DDS}	V
I_{ADC} 单端模式	流入 V_{DDS} 端子的工作电源电流	RES = 0x0 (12 位模式), $F_s = 1.2\text{MSPS}$, 内部基准关闭 (ADCREF_EN = 0), $V_{\text{REF+}} = V_{\text{DDS}}$		480		μA
		RES = 0x0 (12 位模式), $F_s = 266\text{kSPS}$, 内部基准开启 (ADCREF_EN = 0), ADCREF = 2.5V		365		
C_{GPIO}	单个端子的输入电容			5	7	pF
R_{GPIO}	输入多路复用器导通电阻			0.5	1	k Ω
ADC 开关特性						
F_s ADCREF	使用内部 ADC 基准电压时的 ADC 采样频率	ADCREF_EN = 1, RES = 0x0 (12 位), $V_{\text{DDS}} = 1.71\text{V}$ 至 V_{DDSMAX}		267 (2)		kSPS
F_s ADCREF	使用内部 ADC 基准电压时的 ADC 采样频率	ADCREF_EN = 1, RES = 0x1 (10 位), $V_{\text{DDS}} = 1.71\text{V}$ 至 V_{DDSMAX}		308 (2)		kSPS
F_s ADCREF	使用内部 ADC 基准电压时的 ADC 采样频率	ADCREF_EN = 1, RES = 0x2 (8 位), $V_{\text{DDS}} = 1.71\text{V}$ 至 V_{DDSMAX}		400 (2)		kSPS
F_s EXTREF	使用外部 ADC 基准电压时的 ADC 采样频率	ADCREF_EN = 0, $V_{\text{REF+}} = V_{\text{DDS}}$, RES = 0x0 (12 位), $V_{\text{DDS}} = 1.71\text{V}$ 至 V_{DDSMAX}		1.2 (2)		MSPS
F_s EXTREF	使用外部 ADC 基准电压时的 ADC 采样频率	ADCREF_EN = 0, $V_{\text{REF+}} = V_{\text{DDS}}$, RES = 0x1 (10 位), $V_{\text{DDS}} = 1.71\text{V}$ 至 V_{DDSMAX}		1.33 (2)		MSPS
F_s EXTREF	使用外部 ADC 基准电压时的 ADC 采样频率	ADCREF_EN = 0, $V_{\text{REF+}} = V_{\text{DDS}}$, RES = 0x2 (8 位), $V_{\text{DDS}} = 1.71\text{V}$ 至 V_{DDSMAX}		1.6 (2)		MSPS
N_{CONVERT}	转换的时钟周期数	RES = 0x0 (12 位)		14		周期
N_{CONVERT}	转换的时钟周期数	RES = 0x1 (10 位)		12		周期
N_{CONVERT}	转换的时钟周期数	RES = 0x2 (8 位)		9		周期
t_{Sample}	采样时间	RES = 0x0 (12 位), $R_s = 25\Omega$, $C_{\text{pext}} = 10\text{pF}$. +/- 0.5LSB 稳定	250			ns
$t_{\text{VSUPPLY/3(sample)}}$	选择 $V_{\text{supply/3}}$ 通道时所需的采样时间		20			μs
ADC 线性参数						
E_i	单端输入的积分线性误差 (INL)	12 位模式, $V_{\text{R+}} = V_{\text{REF+}} = V_{\text{DDS}}$, $V_{\text{DDS}} = 1.71\text{V}$ 至 3.8V		+/- 2		LSB
E_D	微分线性误差 (DNL)	12 位模式, $V_{\text{R+}} = V_{\text{REF+}} = V_{\text{DDS}}$, $V_{\text{DDS}} = 1.71\text{V}$ 至 3.8V		+/- 1		LSB
E_O	偏移误差	12 位模式, 内部基准, $V_{\text{R}} = \text{ADCREF} = 2.5\text{V}$		1.02		LSB
E_G	增益误差	内部基准, $V_{\text{R+}} = \text{ADCREF} = 2.5\text{V}$		+/- 40		LSB
ADC 动态参数						
ENOB	有效位数	ADCREF_EN = 0, $V_{\text{REF+}} = V_{\text{DDS}} = 3.3\text{V}$, $V_{\text{REF-}} = 0\text{V}$, RES = 0x2 (8 位)		8		位
ENOB	有效位数	ADCREF_EN = 0, $V_{\text{REF+}} = V_{\text{DDS}} = 3.3\text{V}$, $V_{\text{REF-}} = 0\text{V}$, RES = 0x1 (10 位)		9.9		位
ENOB	有效位数	ADCREF_EN = 0, $V_{\text{REF+}} = V_{\text{DDS}} = 3.3\text{V}$, $V_{\text{REF-}} = 0\text{V}$, RES = 0x0 (12 位)		11.2		位
ENOB	有效位数	ADCREF_EN = 1, ADCREF_VSEL = {2.5V, 1.4V}, RES = 0x2 (8 位)		8		位
ENOB	有效位数	ADCREF_EN = 1, ADCREF_VSEL = {2.5V, 1.4V}, RES = 0x1 (10 位)		9.6		位

除非另有说明，否则 $T_c = 25^\circ\text{C}$ ， $V_{\text{DD}} = 3.0\text{V}$ 。(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
ENOB	有效位数	ADCREF_EN = 1, ADCREF_VSEL = {2.5V, 1.4V}, RES = 0x0 (12 位)		10.4		位
ENOB	有效位数	VDD 基准, RES = 0x0 (12 位)		11.2		位
SINAD	信噪比和失真比	ADCREF_EN = 0, VeREF+ = VDD = 3.3V, VeREF- = 0V, RES = 0x0 (12 位)		69.18		dB
SINAD	信噪比和失真比	ADCREF_EN = 1, ADCREF_VSEL = {2.5V, 1.4V}, RES = 0x0 (12 位)		64.37		dB
SINAD	信噪比和失真比	VDD 基准, RES = 0x0 (12 位)		69.18		dB
ADC 温度二极管、电源监测器						
温度二极管精度	温度误差	ADC 输入通道: 温度二极管电压, 在以下温度范围内计算误差: -30°C 至 $+40^\circ\text{C}$, 执行单点校准 (1)		+/- 3		°C
ADC 内部输入: $V_{\text{SUPPLY}}/3$ 精度	用于电源监控的 V_{supply} 分压器精度	ADC 输入通道: V_{supply} 监测器		+/- 1		%
ADC 内部输入: $I_{\text{Vsupply}}/3$	V_{supply} 分压器电流消耗	ADC 输入通道 V_{supply} 监测。 $V_{\text{supply}} = V_{\text{DD}} = 3.3\text{V}$		10		μA
ADC 内部和 VDD 基准						
VDDSR EF	ADC 正基准电压	ADC 基准源自 VDD		VDD		V
ADCRE F	内部 ADC 基准电压	ADCREF_EN = 1, ADCREF_VSEL = 0, VDD = 1.71V - VDDSmx		1.4		V
		ADCREF_EN = 1, ADCREF_VSEL = 1, VDD = 2.7V - VDDSmx		2.5		V
$I_{\text{ADCRE F}}$	内部基准开启时流入 VDDA 端子的工作电源电流	ADCREF_EN = 1, VDDA = 1.7V 至 VDDAmax, ADCREF_VSEL = {0,1}		80		μA
t_{ON}	内部 ADC 基准电压上电时间	ADCREF_EN = 1		2		μs

(1) 使用 IEEE 标准 1241-2010 作为术语和测试方法

(2) 使用 48MHz HFOSC 进行测量

7.18.6 比较器

7.18.6.1 超低功耗比较器

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		0		V_{DDS}	V
时钟频率			32		KHz
分压器精度	输入电压范围介于 $V_{\text{DDS}}/4$ 和 V_{DDS} 之间		98		%
偏移	在 $V_{\text{DDS}}/2$ 下测量 (使用两个外部输入时出现的误差)		+/- 27.3		mV
决策时间	从 - 50mV 步进至 50mV		1	3	时钟周期
比较器使能时间	COMP_LP 禁用 → 启用, 来自引脚的 VIN+、VIN- , 过驱 $\geq 20\text{mV}$		70		μs
电流消耗	包括使用 $V_{\text{DDS}}/2$ 作为 VIN- 比较器端子上的内部基准		370		nA

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

7.19.1 MCU 电流

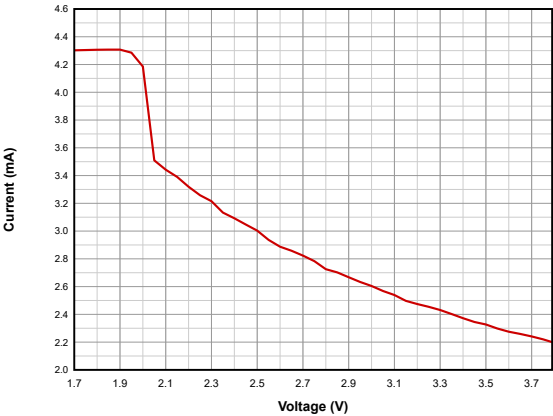


图 7-6. 工作模式 (MCU) 电流与电源电压 (V_{DDS}) 间的关系 (运行 CoreMark)

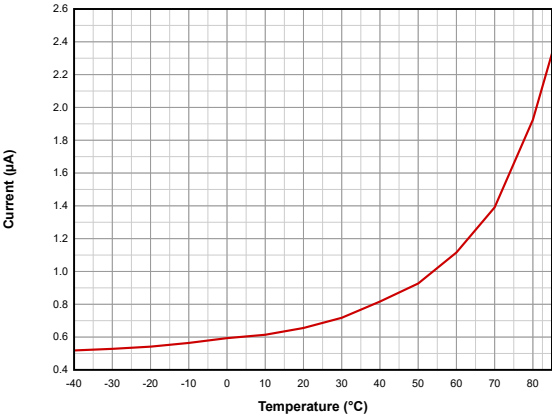


图 7-7. 待机模式 (MCU) 电流与温度间的关系 (RAM 和部分寄存器保留, RTC)

7.19.2 RX 电流

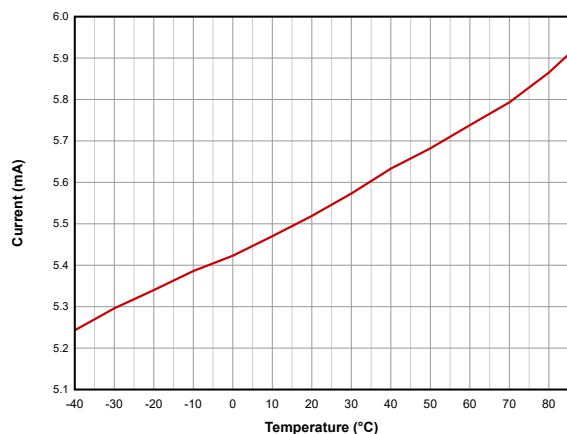


图 7-8. RX 电流与温度间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz)

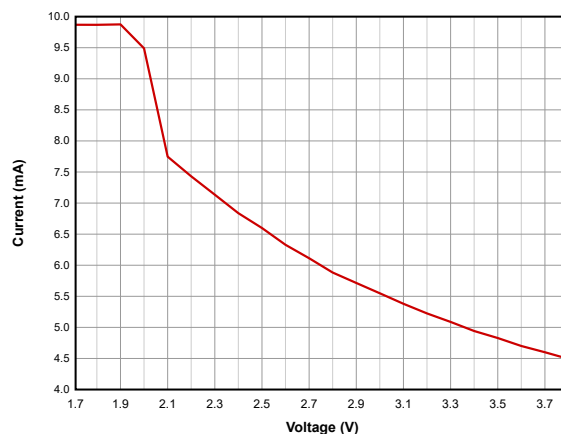


图 7-9. RX 电流与电源电压 (VDD5) 间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz)

7.19.3 TX 电流

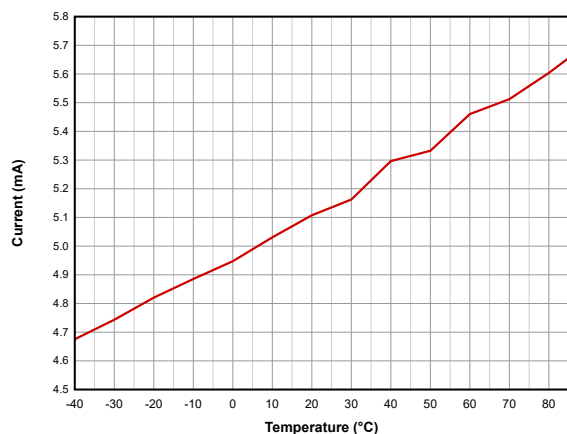


图 7-10. TX 电流与温度间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz , 0dBm)

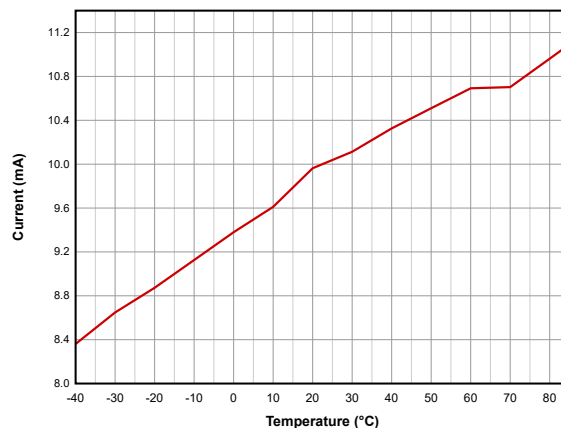


图 7-11. TX 电流与温度间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz , +8dBm)

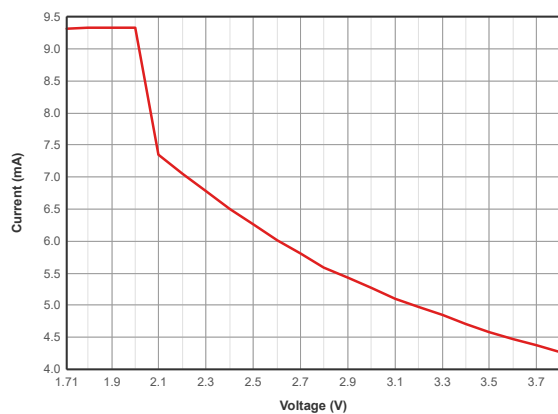


图 7-12. TX 电流与电源电压 VDD 间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz , 0dBm)

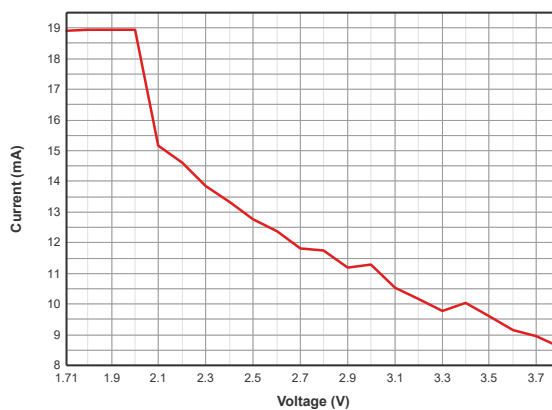


图 7-13. TX 电流与电源电压 VDD 间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz , +8dBm)

表 7-1 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

2.4GHz , VDDS = 3.0V , DCDC = 开启 , 温度 = 25°C (在 LP-EM-CC2340R5MODA 上测量)			
txPowerTable 索引	TX 功率设置 [dBm] (SmartRF Studio)	典型输出功率 [dBm]	典型电流消耗 [mA]
13	8	7.7	10.7
12	7	7.1	9.5
11	6	6.3	8.9
10	5	5.5	8.3
9	4	4.5	7.9
8	3	3.7	7.5
7	2	2.4	7.1
6	1	1.0	5.4
5	0	0.4	5.1
4	-4	-3.1	4.8
3	-8	-7.3	4.5
2	-12	-10.9	4.2
1	-16	-15.1	4.0
0	-20	-19.0	3.8

7.19.4 RX 性能

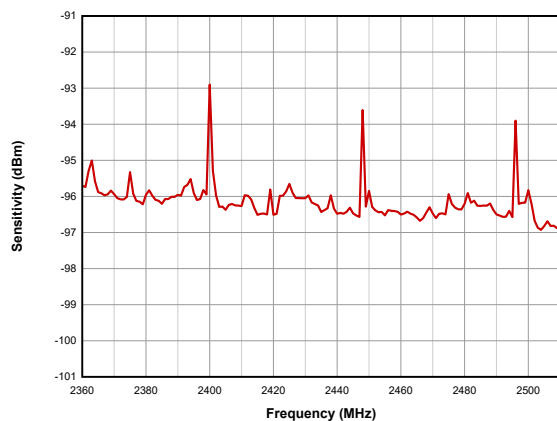


图 7-14. 灵敏度与频率间的关系 (BLE 1Mbps)

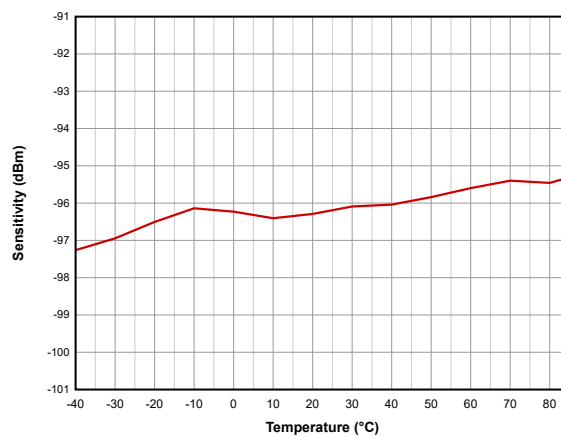


图 7-15. 灵敏度与温度间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz)

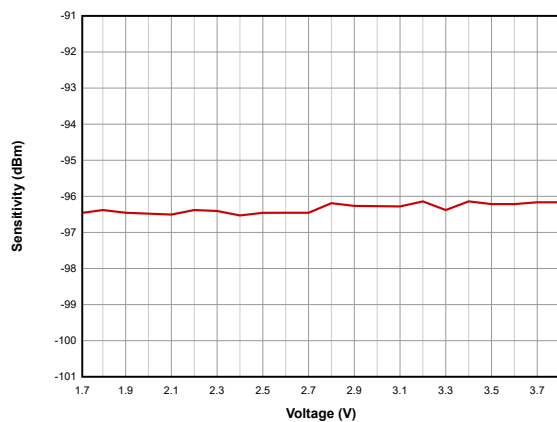


图 7-16. 灵敏度与电源电压 (VDD) 间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz)

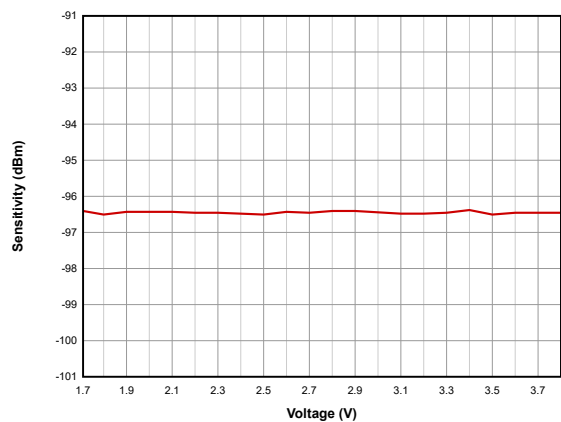


图 7-17. 灵敏度与电源电压 (VDD) 间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz , 直流/直流转换器关闭)

7.19.5 TX 性能

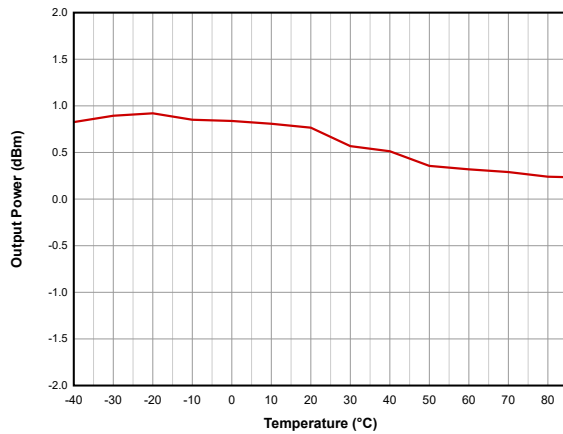


图 7-18. 输出功率与温度间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz , 0dBm)

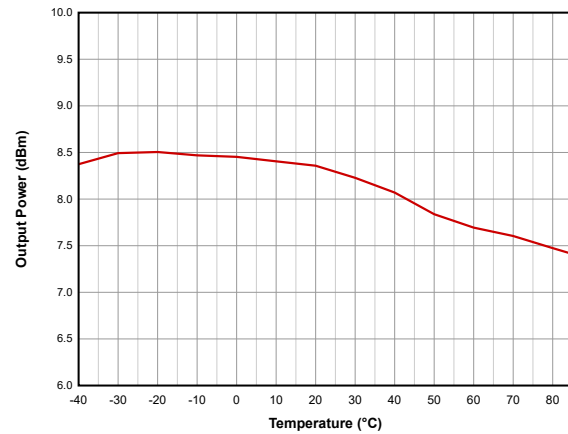


图 7-19. 输出功率与温度间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz , +8dBm)

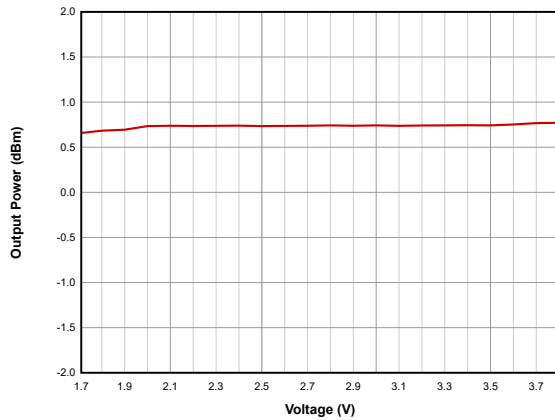


图 7-20. 输出功率与电源电压 (VDD5) 间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz , 0dBm)

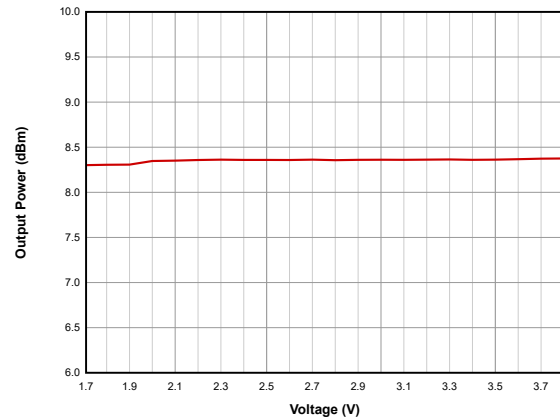


图 7-21. 输出功率与电源电压 (VDD5) 间的关系 (BLE 1Mbps , 2.44GHz , +8dBm)

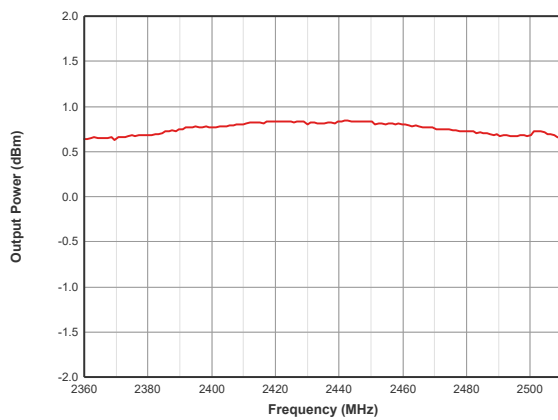


图 7-22. 输出功率与频率间的关系 (BLE 1Mbps , 0dBm)

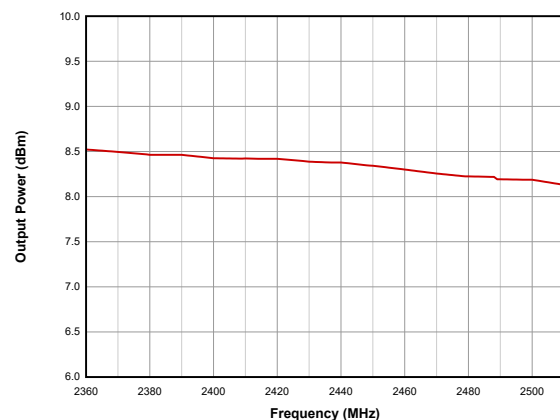


图 7-23. 输出功率与频率间的关系 (BLE 1Mbps , +8dBm)

7.19.6 ADC 性能

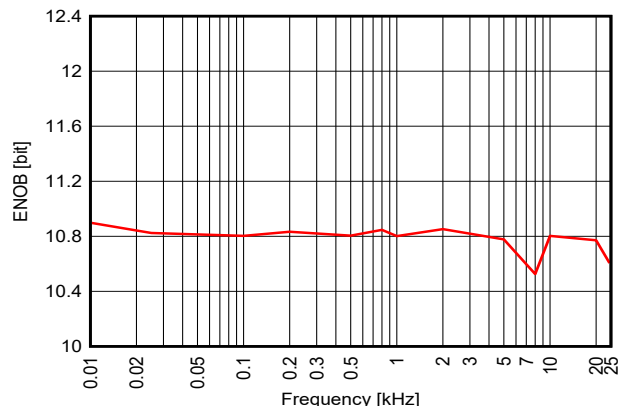


图 7-24. ENOB 与输入频率间的关系 (内部基准)

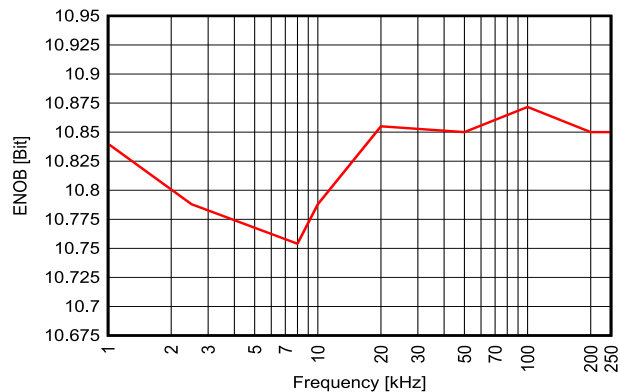
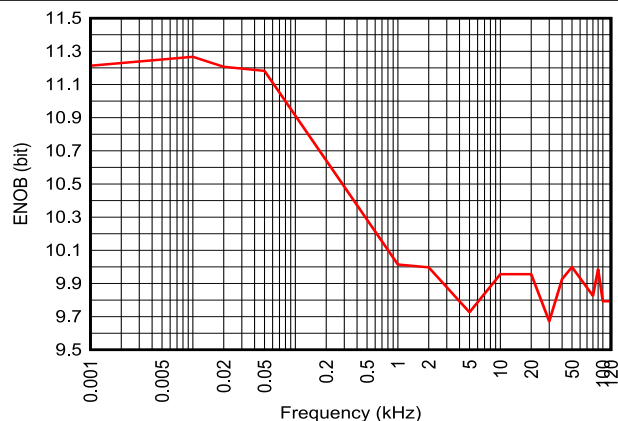
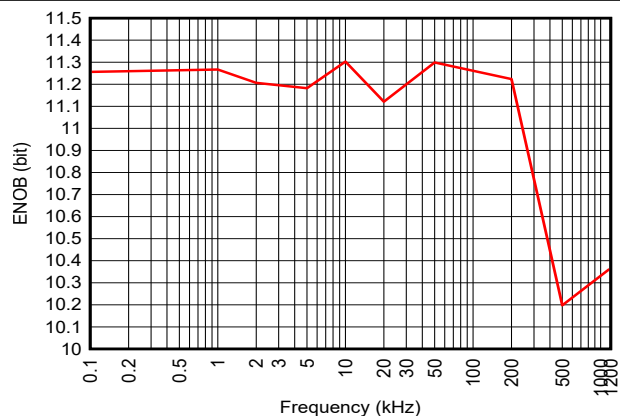
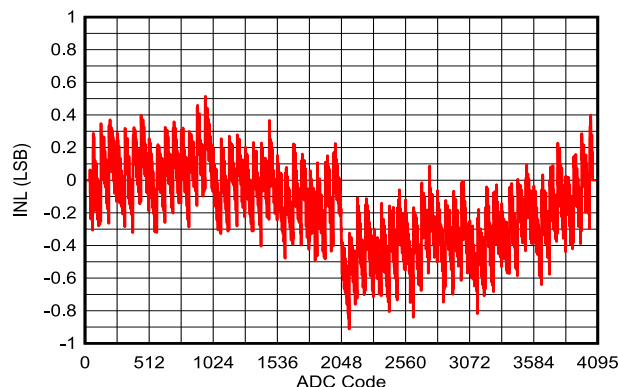
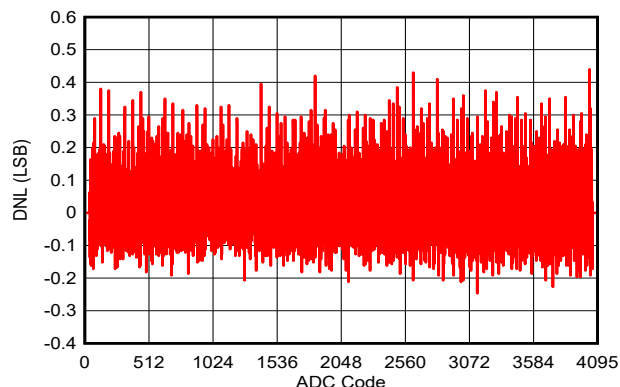
图 7-25. ENOB 与采样频率间的关系 ($V_{in} = 3V$ 正弦波, 内部基准, $F_{in} = F_s/10$)

图 7-26. ENOB 与输入频率间的关系 (外部基准 = 3.0V)

图 7-27. ENOB 与采样频率间的关系 ($V_{in} = 3V$ 正弦波, 外部基准 = 3.0V, $F_{in} = F_s/10$)图 7-28. INL 与 ADC 代码间的关系 ($V_{in} = 3V$ 正弦波, 内部基准, 200ksps)图 7-29. DNL 与 ADC 代码间的关系 ($V_{in} = 3V$ 正弦波, 内部基准, 200ksps)

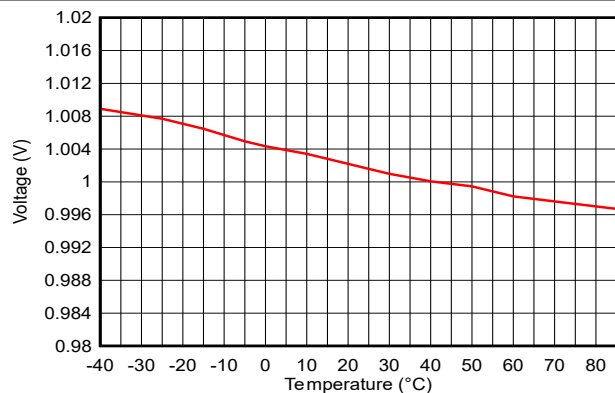


图 7-30. ADC 精度与温度间的关系 ($V_{in} = 1V$, 内部基准 , 200ksps)

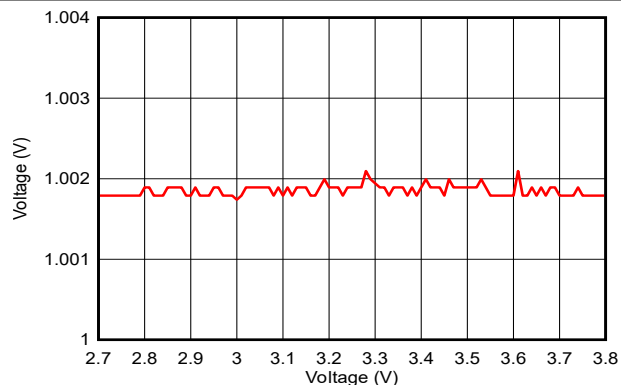


图 7-31. ADC 精度与电源电压间的关系 ($V_{in} = 1V$, 内部基准 , 200ksps)

8 详细说明

8.1 概述

节 4 展示了 CC2340R5MODA 器件的核心模块。

8.2 系统 CPU

CC2340R5MODA SimpleLink™ 无线 MCU 包含一个 Arm® Cortex®-M0+ 系统 CPU，可运行应用程序、协议栈和无线电。Cortex-M0+ 处理器基于面积和功耗高度优化 32 位处理器内核构建而成，采用 2 级流水线 Von Neumann 架构。该处理器通过小巧而强大的指令集和广泛优化的设计提供卓越的能效，具有高端处理硬件，包括单周期乘法器。Cortex-M0+ 处理器为开发人员提供了多项优势，包括：

- 超低功耗节能运行
- 对时序敏感型应用的确定性、高性能中断处理
- 向上与 Cortex-M 处理器系列兼容

Cortex-M0+ 处理器提供现代 32 位架构内核应有的出色性能，具有比其他 8 位和 16 位微控制器更高的代码密度。该器件的特性包括：

- ARMv6-M 架构针对小型嵌入式应用进行了优化
- Arm Thumb/Thumb-2 混合 16 位和 32 位指令的子集提供了所期望的 32 位 Arm 高性能
- 单周期乘法指令
- 支持矢量表基地址偏移的 VTOR
- 使用硬件断点比较器的串行线调试
- 通过集成睡眠模式实现超低功耗
- SysTick 计时器
- 48MHz 工作频率
- 0.99DMIPS/MHz

此外，CC2340R5MODA 器件还与所有 ARM 工具和软件兼容。

8.3 无线电 (射频内核)

低功耗射频内核 (LRF) 实现了一个高性能且高度灵活的射频子系统，该系统除了包含软件定义的数字无线电 (LRFD) 外，还包含射频和基带电路。LRFD 为主 CPU 提供基于命令的高级 API，并负责处理许多不同无线电 PHY 的所有时序关键型和底层细节。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。

客户无法对软件定义的调制解调器进行编程，但可改为使用适用于 CC23xx 器件的 SimpleLink™ 低功耗 F3 软件开发套件 (SDK) 中无线电驱动程序内提供的预编译映像进行加载。这种机制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器件的情况下进行无线 (OTA) 更新。LRFD 将代码映像存储在 RF SRAM 中，而不使用任何 ROM 存储器，因此仅在启动后从 NV 存储器加载一次映像，并且在退出功耗模式时无需进行补丁更新。

8.3.1 蓝牙低功耗

射频内核通过 TI 提供的蓝牙栈或通过高级蓝牙 API 提供对蓝牙低功耗的全面支持，包括高速 2Mbps 物理层以及 500kbps 和 125kbps 远距离 PHY (编码 PHY)。

新的高速模式支持高达 2Mbps 的数据传输速度。除了更快的速度之外，该模式还显著提高了能源效率和无线共存能力，并减少了无线电通信时间。

蓝牙低功耗还能够根据应用需求灵活调整速度和距离 (分别利用高速模式和远距离模式)。现在数据传输速度可达 2Mbps，因此可以开发使用语音、音频、图像和数据记录的应用，而这在以前使用低功耗蓝牙时是无法实现的。通过高速模式，现有的应用可以提供更快的响应速度、更丰富的参与度和更长的电池续航时间。蓝牙低功耗可支持快速、可靠的固件更新。

8.4 存储器

高达 512KB 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。闪存存储器特殊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。

最高 64KB 的超低泄漏系统静态 RAM (SRAM) 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。系统 SRAM 在启动期间执行代码时始终初始化为零。

ROM 包括用于处理初始器件微调操作的器件引导代码固件、安全配置，以及器件生命周期管理。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。

8.5 加密

CC2340R5MODA 器件随附了 AES-128 加密硬件加速器，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。AES 硬件加速器支持以下分组密码模式和消息身份验证代码：

- AES ECB 加密
- AES CBC 加密
- AES CTR 加密/解密
- AES CBC-MAC
- AES GCM
- AEC CCM (通过软件驱动程序结合使用 CTR + CBC-MAC 硬件)

AES 硬件加速器可以由 CPU 或使用 DMA 提供明文/密文。每 23 个周期可实现一个 16 字节 ECB 块的持续吞吐量，相当于 > 30Mbps。

CC2340R5MODA 器件支持使用片上模拟噪声作为非确定性噪声源来进行随机数生成 (RNG)，目的是为加密安全计数器确定性随机位发生器 (CTR-DRBG) 生成种子，进而用于为密钥、初始化矢量 (IV) 和其他随机数要求生成随机数。支持 AES CTR-DRBG 的硬件加速。

CC2340R5MODA 器件在 ROM 中包含一个完整的 SHA 256 库，从而减少应用程序的代码占用空间。用例可能包括生成摘要以用于数字签名算法、数据完整性检查及密码存储。

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。

8.6 计时器

CC2340R5MODA 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)

RTC 是一款在 LFCLK 系统时钟上运行的 67 位 2 通道计时器。RTC 在待机和运行功耗状态下均处于活动状态。当器件进入 RESET 或 SHUTDOWN 状态时，RTC 被复位。

RTC 累积自每个 LFCLK 复位以来经过的时间。RTC 计数器由 LFINC 以 32.768kHz 的速率递增。LFINC 表示 LFCLK 的周期，单位为 μs ，额外粒度为 16 个分数位。

计数器可以从两个 32 位寄存器读取。RTC.TIME8U 的时间范围约为 9.5 小时，LSB 表示 8 微秒。

RTC.TIME524M 的时间范围约为 71.4 年，LSB 表示 524 毫秒。

系统计时器 (SYSTIM) 和 RTC 之间会进行硬件同步，以便多通道和更高分辨率的 SYSTIM 与 RTC 的时基保持同步。

RTC 具有两个通道：一个比较通道和一个捕捉通道，能够将器件从待机电源状态唤醒。RTC 比较通道通常仅由系统软件使用，并且仅在待机功耗状态期间使用。

• 系统计时器 (SYSTIM)

SYSTIM 是一个 34 位、5 通道循环计时器，具有每通道可选的 32b 片，具有 $1\mu\text{s}$ 分辨率和 1h11m35s 范围或 250ns 分辨率和 17m54s 范围。所有通道都支持捕捉和单次比较 (发布事件) 操作。一个通道为系统软件预留，三个通道为无线电软件预留，还有一个通道可供用户应用程序自由使用。

为了方便软件使用，硬件同步机制会自动确保 RTC 和 SYSTIM 共用一个时基 (尽管分辨率/跨度不同)。另一个便于软件使用的功能是 SYSTIM 会验证所有提交的比较值，以便在提交的事件发生在最近的过去 (分辨率为 $1\mu\text{s}$ 时为 4.294s，分辨率为 250ns 时为 1.049s) 时，计时器通道将立即触发。

• 通用计时器 (LGPT)

该 CC2340R5MODA 器件提供多达四个 LGPT，包含 3 个 16 位计时器和 1 个 24 位计时器，这些计时器的最高运行频率均为 48MHz。LGPT 支持多种功能，例如：

- 三个捕捉/比较通道
- 单次触发或定期计数
- 脉宽调制 (PWM)
- 边沿间的时间计数和边沿计数
- 所有计时器的每个通道上都实现了输入滤波器
- 计时器 0 和计时器 1 提供 IR 生成功能
- 计时器 1 提供了死区功能

计时器捕捉/比较和 PWM 信号通过 IO 控制器模块 (IOC) 连接到 IO，而内部计时器事件通过事件结构连接到 CPU、DMA 和其他外设，这允许计时器与 GPIO 输入、其他计时器、DMA 和 ADC 等信号进行交互。两个 LGPT (2 个 16 位计时器) 支持正交解码器模式，以实现正交编码传感器信号的缓冲解码。LGPT 在器件运行和空闲功耗模式下可用。

表 8-1. 计时器比较

特性	Timer 0	Timer 1	Timer 2	Timer 3
计数器宽度	16 位	16 位	16 位	24 位
正交解码器	是	否	是	否
故障时的驻车模式	否	是	否	否
可编程死区插入	否	是	否	否

表 8-2. 计时器可用性

器件型号	Timer 0	Timer 1	Timer 2	Timer 3
CC2340R21	是	是	否	否
CC2340R22	是	是	是	是
CC2340R52	是	是	是	是
CC2340R53	是	是	是	是

• 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。在计数器到期时，如果对系统组件和任务的定期监测未能确认其功能正常时，看门狗计时器会将器件复位。看门狗计时器以 32kHz 时钟速率运行，并在器件运行、空闲和待机模式下工作，启用后无法停止。

8.7 串行外设和 I/O

CC2340R5MODA 器件提供 1 个 UART、1 个 SPI 和 1 个 I2C 串行外设。

SPI 模块支持 SPI 控制器和外设 (高达 12MHz)，并具有可配置的相位和极性。

UART 模块实现了通用异步接收器/发送器功能，这些功能支持最高 3Mbps 的灵活波特率生成和 IRDA SIR 工作模式。

I²C 模块用于与符合 I²C 标准的器件进行通信。I²C 接口可以处理 100kHz 和 400kHz 工作频率，并且可以用作控制器和目标。

I/O 控制器 (IOC) 控制数字 I/O 引脚并包含多路复用器电路，能够以固定的方式通过 DIO 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、开漏式或开源式输出。某些 GPIO 具有高驱动能力 (在引脚配置和功能中以**粗体**标记)。

有关更多信息，请参阅 [CC23xx SimpleLink™ 无线 MCU 技术参考手册](#)。

8.8 电池和温度监测器

CC2340R5MODA 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 μ DMA

该器件包括一个直接存储器存取 (μ DMA) 控制器。 μ DMA 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。 μ DMA 控制器能够执行存储器与外设之间的数据传输。 μ DMA 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。

μ DMA 控制器的一些功能如下所示（这不是详尽的列表）：

- 多达 8 个通道的通道运行，其中 6 个通道具有专用外设接口，另外 2 个通道能够通过可配置事件进行触发。
- 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

8.10 调试

片上调试通过串行线调试 (SWD) 接口得到支持，该接口是一种 ARM 双向两线制协议，能够与 JTAG 测试接入端口 (TAP) 控制器进行通信并提供完整的调试功能。SWD 与德州仪器 (TI) 的 XDS 系列调试探针完全兼容。

8.11 电源管理

为最大程度地降低功耗，CC2340R5MODA 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 ⁽¹⁾				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	开启	可用	关闭	关闭	关闭
SRAM	开启	开启	保持	关闭	关闭
无线电	可用	可用	关闭	关闭	关闭
电源系统	开启	开启	占空比	关闭	关闭
CPU 寄存器保留	全双工	全双工	完全 ⁽²⁾	否	否
SRAM 保留	全双工	全双工	全双工	关闭	关闭
48MHz 高速时钟 (HFCLK)	HFOSC (跟踪 HFXT)	HFOSC (跟踪 HFXT)	关闭	关闭	关闭
32kHz 低速时钟 (LFCLK)	LFXT 或 LFOSC	LFXT 或 LFOSC	LFXT 或 LFOSC	关闭	关闭
外设	可用	可用	IOC、 BATMON、 RTC、 LPCOMP	关闭	关闭
通过 RTC 唤醒	不适用	可用	可用	关闭	关闭
在引脚边沿唤醒	不适用	可用	可用	可用	关闭
在复位引脚唤醒	开启	开启	开启	开启	开启
欠压检测器 (BOD)	开启	开启	占空比	关闭	关闭
上电复位 (POR)	开启	开启	开启	开启	开启
看门狗定时器 (WDT)	可用	可用	可用	关闭	关闭

(1) “可用”表示在相应的器件工作模式下，可以由用户应用程序启用特定的 IP 或功能。“开启”表示在相应的器件工作模式下，无论器件的用户应用程序配置如何，特定 IP 或功能已开启。“关闭”表示在相应的器件工作模式下，特定 IP 或功能已关闭并且不适用于用户应用程序。

(2) 基于软件的 CPU 寄存器保留，在进入和退出待机功耗模式时进行背景保存和恢复。

在**运行**模式下，MCU 和 AON 电源域均通电。时钟门控用于尽可能地降低功耗。外设/子系统的时钟门控由 CPU 手动控制。

在**空闲**模式下，CPU 处于睡眠状态，但选定的外设和子系统（例如无线电）可以处于活动状态。基础设施（闪存、ROM、SRAM、总线）时钟门控可根据 DMA 和调试子系统的状态来实现。

在**待机**模式下，只有 always-on (AON) 域处于工作状态。为了使器件恢复运行模式，需要外部唤醒事件、RTC 事件或比较器事件 (LP-COMP)。引脚复位也会将器件从待机模式驱动至运行模式。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、上电复位或。在此模式下唯一保留的状态是锁存的 I/O 状态、3V 寄存器组和闪存存储器内容。

备注

CC2340R5MODA 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 CC2340R5MODA 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具有 FreeRTOS 的完整 SDK、器件驱动程序和示例。

8.12 时钟系统

CC2340R5MODA 器件具有以下内部系统时钟。

48MHz HFCLK 用作主系统 (MCU 和外设) 时钟，由内部 48MHz RC 振荡器 (HFOSC) 驱动，该振荡器可以根据外部 48MHz 晶体 (HFXT) 跟踪其精度。无线电运行需要外部 48MHz 晶体。

32.768kHz LFCLK 用作内部低频系统时钟。它用于 RTC、看门狗计时器 (如果在待机功耗模式下启用) 以及在待机功耗模式之前或之后同步无线电计时器。LFCLK 可由内部 32.8kHz RC 振荡器 (LFOSC)、32.768kHz 手表型晶振或 LFXT 旁路模式下的时钟输入驱动。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 LFCLK 信号，从而降低总体系统成本。

8.13 网络处理器

根据产品配置，CC2340R5MODA 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。

8.14 器件资格认证

TI 的 CC2340R5MODA 模块已通过 FCC、IC/ISED 和 ETSI/CE 认证，如表 8-4 中所列。此外，该模块是蓝牙特别兴趣小组（蓝牙 SIG）推出的符合蓝牙标准的设计。基于 TI CC2340R5MODA 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、IC ID 和 CE 标识。由于模块尺寸较小（7mm x 10mm），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 8-4. CC2340R5MODA 认证列表

监管机构	规格	ID (如果适用)
FCC (美国)	器件 15C + MPE FCC 射频暴露 (蓝牙)	ZAT-2340R5MODA
IC/ISED (加拿大)	RSS-102 (MPE) 和 RSS-247 (蓝牙)	451H-2340R5MODA
ETSI/CE (欧洲)	EN 300328 v2.2.2 (2019-07) (蓝牙)	—
ETSI/CE (欧洲)	EN 62311:2020 和 EN 50655:2017 (MPE)	—
ETSI/CE (欧洲)	EN 301 489-1 v2.2.3 (2019-11)	—
ETSI/CE (欧洲)	EN 301489-17 v3.3.1 (2024-09)	—
ETSI/CE (欧洲)	EN 62368-1:2020/A11:2020	—
MIC (日本)	ARIB STD-T66	201-260404
KCC (韩国)	KCC	R-C-T3P-2340R5MODA
NCC (中国台湾)	NCC	CCAF26Y10370T4

8.14.1 FCC 认证和声明

小心

FCC 射频辐射暴露声明：

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 CC2340R5MODA 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。

该器件计划符合 FCC 规则的第 15 部分。运行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。

8.14.2 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 être co-localisés ou fonctionnant en conjonction avec une autre antenne ou transmetteur.

TI 的 CC2340R5MODA 模块经 IC 认证为单模块发送器。TI 的 CC2340R5MODA 模块满足 IC 模块化批准和标示要求。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.

8.14.3 ETSI/CE 认证

TI 的 CC2340R5MODA 模块已获得 CE 认证，包括符合性声明中总结的相应 EU 无线电和 EMC 指令的认证，并拥有 CE 认证标志。该模块已通过无线电设备指令 (RED) 测试和认证。

请参阅 CC2340R5MODA 器件的 [EU 符合性声明](#) 的全文。

8.14.4 MIC 认证

TI 的 CC2340R5MODA 模块经过 MIC 认证，符合《无线电设备管理条例》第 49-20 条和相关条款。

运行同时受以下条件制约：

- 主机系统不包含无线广域网 (WWAN) 器件。

8.14.5 韩国认证

TI 的 CC2340R5MODA 模块已根据韩国《无线电波法》第 58-2 条及相关条款获得了韩国认证。此外，OEM 有责任确保符合 [表 8-5](#) 载明的对韩国设备、标签和用户手册的要求

表 8-5. EOM 的 KCC 标签和用户手册要求

KCC 标签要求 ⁽¹⁾	信息	器件 ^{(2) (3)}	封装 ^{(2) (3)}	用户手册 ^{(2) (3)}
KC 标记		M	M	
KC ID	R-C-T3P-2340R5MODA	M	M	
申请方姓名 (名称)	德州仪器 (TI)	M, E	M, E	M, E

表 8-5. EOM 的 KCC 标签和用户手册要求 (续)

KCC 标签要求 ⁽¹⁾	信息	器件 ^{(2) (3)}	封装 ^{(2) (3)}	用户手册 ^{(2) (3)}
产品名称	CC2340R5MODA 具有 512kB 闪存的 SimpleLink™ 32 位 Arm Cortex-M0+ 低功耗蓝牙无线 MCU 模块	M, E	M, E	M, E
模型名称	CC2340R5MODAN0MHAR	M, E	M, E	M, E
制造商名称	德州仪器 (TI) 公司	M, E	M, E	M, E
制造国家/地区	中国台湾	M, E	M, E	M, E
制造年份	2026	M, E	M, E	M, E

- (1) 对于最大面积为 400 mm² 或更小且无法标记标签的小型产品，可以将标签附加到产品包装上，也可以仅在基本设计上标记，或者在产品上标记标识代码。
(2) M = 必需提供信息
(3) E = OEM 集成商可以选择放置信息的位置

8.14.6 NCC 认证和声明

TI 的 CC2340R5MODAN0MHAR 模块已通过 NCC LP002 认证。

运行同时受以下条件制约：

- 「取得審驗證明之低功率射頻器材，非經核准，公司、商號或使用者均不得擅自變更頻率、加大功率或變更原設計之特性及功能。低功率射頻器材之使用不得影響飛航安全及干擾合法通信；經發現有干擾現象時，應立即停用，並改善至無干擾時方得繼續使用。前述合法通信，指依電信管理法規定作業之無線電信。低功率射頻器材須忍受合法通信或工業、科學及醫療用電波輻射性電機設備之干擾。」

“未经经验证的低功率射频设备批准，公司、商号或运营商不得更改频率、增加功率或更改原设计的特性与功能。” 使用低功率射频设备不应影响飞行安全和干扰合法通信，如果发现干扰，应立即停用，并应改进为不干扰。上述合法通信是指根据《电信管理法案》的规定运营的无线电通信。低功耗射频设备会受到合法通信或工业、科学和医疗辐射无线电电机设备的干扰。”

- 「本公司於說明書中提供所有必要資訊以指導使用者/安裝者正確的安裝及操作」。
- “本公司在指导用户/安装程序正确安装和操作的说明中提供了所有必要的信息。”
- 「平台商應於最終產品本體明顯處標示 本產品內含射頻模組  CCAF26Y10370T4」。

“平台供应商须在产品本体上清晰标注以下内容：

本产品包含射频模块  CCAF26Y10370T4”

8.15 模块标识

图 8-1 显示了 CC2340R5MODA 模块的正面标识。

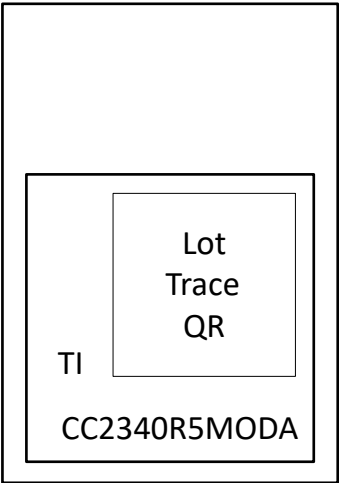


图 8-1. 正面标识

表 8-6 列出了 CC2340R5MODA 模块标识。

表 8-6. 模块说明

标识	说明
CC2340R5MODA	通用器件型号
TI	德州仪器 (TI)
二维码	LTC (批次追踪代码)

8.16 终端产品标示

CC2340R5MODA 模块符合 FCC 单模块 FCC 授权，FCC ID 为：**ZAT-2340R5MODA**。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-2340R5MODA**

CC2340R5MODA 模块符合 IC 单模块 IC 授权，IC 为：**451H-2340R5MODA**。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-2340R5MODA**

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

8.17 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。

9 应用、实施和布局

备注

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

9.1 典型应用电路

图 9-1 显示了使用 CC2340R5MODA 模块的典型应用原理图。RFIO (引脚 4) 是传导 Tx 和 Rx 射频端口，而 ANT_IN (引脚 3) 用于连接集成天线。在模块中使用集成天线选件时，应安装 CA1。

如果使用外部天线选件，则应安装 CA2 并移除 CA1。如需完整的参考原理图，请下载 [LP-EM-CC2340R5MODA 设计文件](#)。

- 如果需要上电复位，则应添加元件 R1 和 C92。R1 应为 100k Ω ，C92 应为 100nF。
- 如果应用需要低功耗振荡器，则应将 Y1 与负载电容器 C81 和 C91 一起添加

备注

在 RFIO 路径引脚 4 上使用外部天线时，建议遵循以下指南来实现射频设计：

- 确保射频路径的设计阻抗为 50 Ω 。
- 建议在 PCB 制造后优化天线阻抗 π 匹配网络，将 PCB 寄生效应纳入考量。

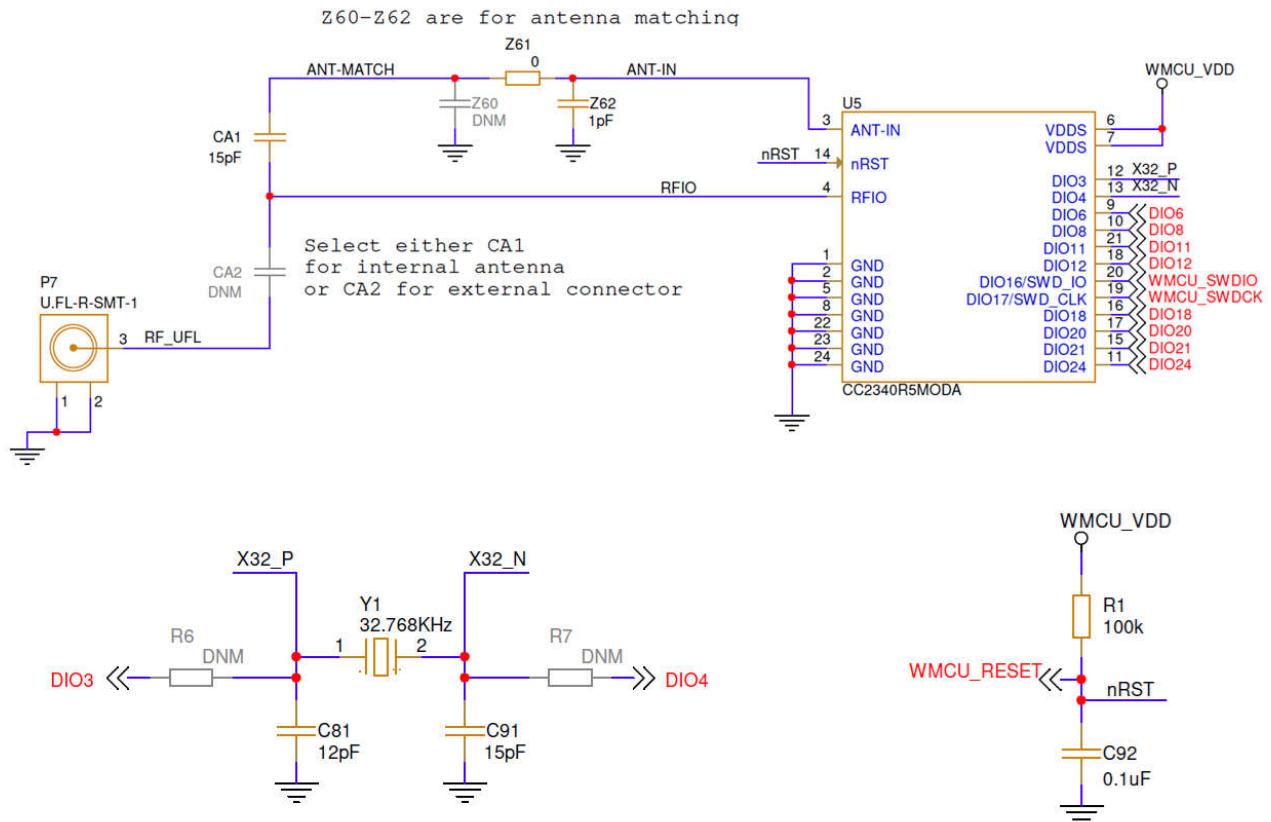


图 9-1. CC2340R5MODA 典型应用原理图

表 9-1 提供了使用 CC2340R5MODA 模块的典型应用的物料清单，其内部天线如图 9-1 所示。

如需完整功能的参考设计，请参阅 [LP-EM-CC2340R5MODA 设计文件](#)。

表 9-1. 内部天线配置的物料清单

器件参考	值	制造商	器件型号	说明
CA1、CA2 ⁽¹⁾	15pF	Murata	GRM0335C1H150GA01D	电容器，陶瓷，15pF，50V，±2%，C0G/NP0，0201
U5	CC2340R5MODA	德州仪器 (TI)	CC2340R5MODAN0MHAR	具有集成式功率放大器和天线的 SimpleLink™ 多协议 2.4GHz 无线 MCU
Y1	32.768kHz	TAI-SAW	TZ3359DAAO73	晶振，谐振器，32.768kHz，-40°C/+125°C，SMD

(1) 使用集成式天线时放置 CA1。使用外部天线时放置 CA2

9.2 器件连接

9.2.1 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。

9.3 PCB 布局指南

本节详细介绍了使用 CC2340R5MODA 模块加速 PCB 设计的 PCB 指南。CC2340R5MODA 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，以及 RAR (UK) 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。

9.3.1 总体布局建议

确保遵循以下一般布局建议：

- 在模块下方（天线区域除外）布置完整的实心接地平面和接地过孔，以确保系统稳定性和散热性能。在天线区域下方，主板的全部层均不得有任何布线。布线禁布区应为 $7.0 \times 3.2 \text{ mm}$ ，且适用于所有层，请参见图 9-2。如果缩小该布线禁布区，或在底层该区域内放置任何元件，都会导致天线效率下降。
- 请勿在模块下方的模块安装层上铺设信号迹线。

9.3.1.1 带有集成天线的典型射频布局建议

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 9-2 显示了具有 2.4GHz 集成天线的 CC2340R5MODA 模块的射频布局和布线。

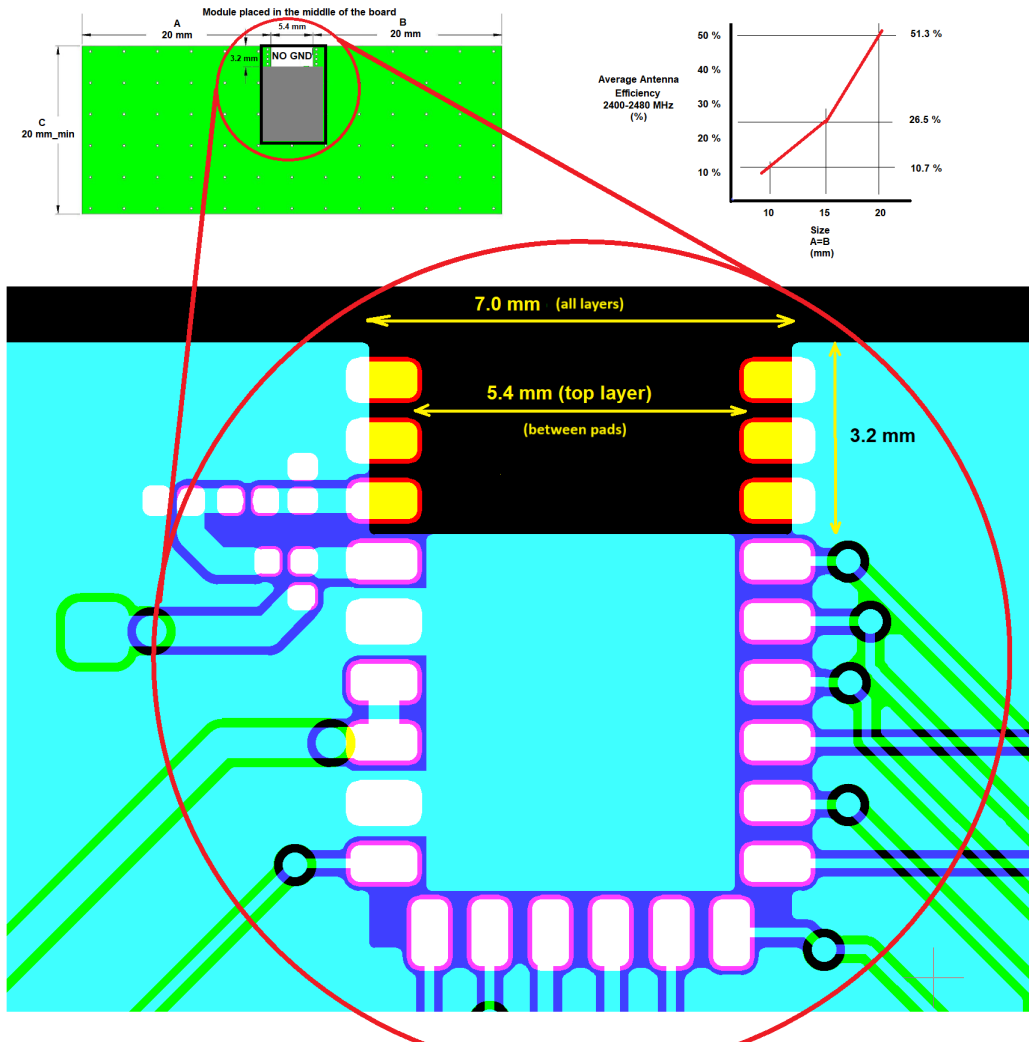


图 9-2. 模块布局指南

使用集成天线时，请遵循 CC2340R5MODA 模块的下列射频布局建议：

- 为获得最佳天线效率，图 9-2 中的尺寸 A、B 和 C 至少应为 20mm。为了实现紧凑的布局设计，可以缩小这些尺寸，但这样会导致天线效率降低。当 A 和 B 尺寸为 20mm 时，天线效率约为 50%。如果 A 和 B 缩小至 15mm，则预期天线效率约为 25%。如果 A 和 B 缩小至 10mm，则预期天线效率约为 10%。不建议将 A 或 B 尺寸设置为小于 10mm。
- 元件 Z60、Z61 和 Z62 用于匹配天线。Z60、Z61 和 Z62 的最佳天线匹配值将取决于布局、最终产品外壳和材料以及 GND 平面尺寸。在 Launchpad 参考设计中，Z60 : DNM，Z61 : 0Ω 且 Z62 为 1pF。建议始终使用 pi 型滤波器 (Z60、Z61 和 Z62) 进行天线匹配，以实现天线匹配的灵活性并最大限度地减少失配损耗。
- 不建议将 A 或 B 尺寸设置为小于 10mm，具体如下所示图 9-2
- 主 PCB 上的模块下方必须至少有一个接地基准平面

9.3.1.2 使用外部天线的射频布局建议

使用外部天线选项时，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 9-3 展示了 CC2340R5MODA 模块与外部 SMA 连接器配合使用时的射频布局和布线。

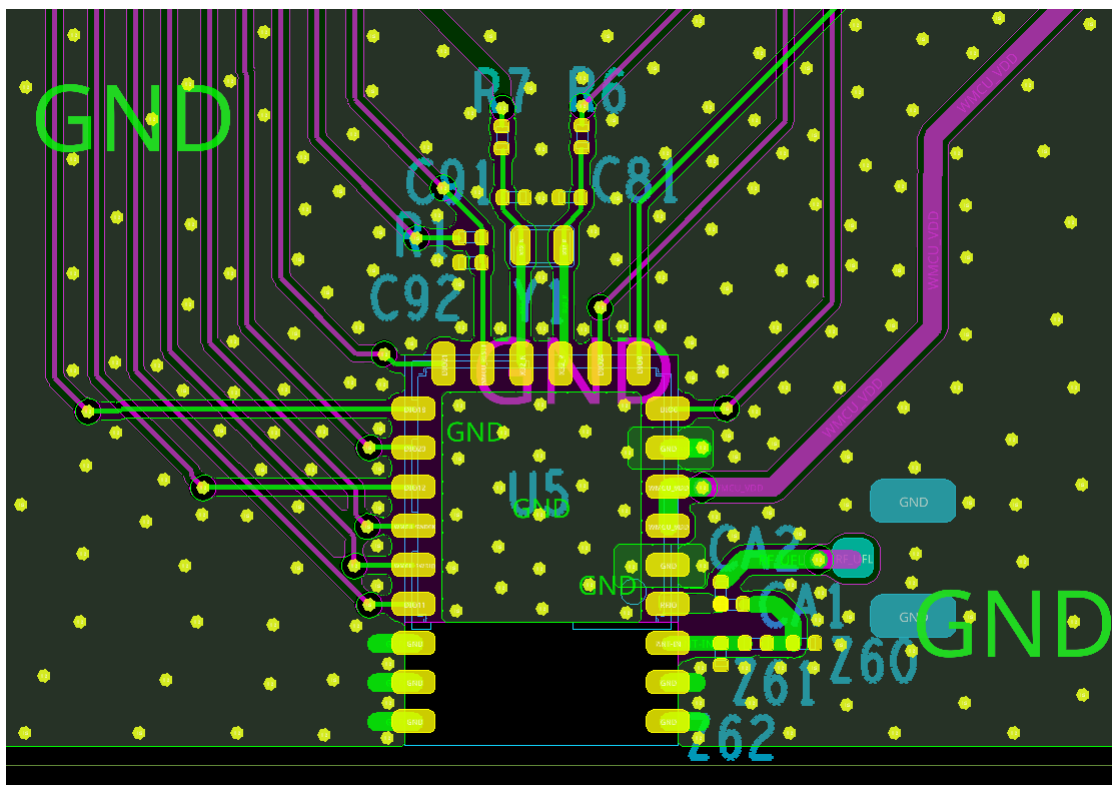


图 9-3. 使用外部天线的模块布局指南

连接到外部天线时，请遵循适用于 CC2340R5MODA 模块的射频布局建议：

- 射频迹线必须具有 $50\ \Omega$ 的阻抗。
- 射频布线弯曲部分必须采用渐变曲线，必须避免 90 度弯曲。
- 射频布线不得有尖角。
- 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。

9.4 参考设计

在使用 CC2340R5MODA 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-CC2340R5MODA

用于 LaunchPad™ 开发套件
和 SensorTag 的 Sub-1GHz
和 2.4GHz 天线套件

CC2340R5MODA LaunchPad 设计文件包含使用 CC2340R 器件 (采用 WCSP YBG 封装) 构建专用电路板的详细原理图和布局。

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 环境要求和 SMT 规格

10.1 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)。

10.2 操作环境

10.2.1 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。

10.2.2 下降

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。

10.3 贮存条件

10.3.1 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。

10.3.2 防潮袋打开

湿度指示卡必须为蓝色，数值小于 30%。

10.4 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，可实现 PCB 布局和电路板安装。

10.4.1 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。

10.4.2 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

10.4.3 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。

10.4.4 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。

10.4.5 封装布局

可以使用精度为 ±0.05mm 的标准贴片设备放置封装。元件贴片系统由识别和定位元件的视觉系统和实际执行贴片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。

10.4.6 焊点检查

表面贴片组装后，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。

10.4.7 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。

10.4.8 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。

10.5 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

10.6 SMT 建议

图 10-1 展示了 CC2340R5MODA 模块的建议回流焊曲线。

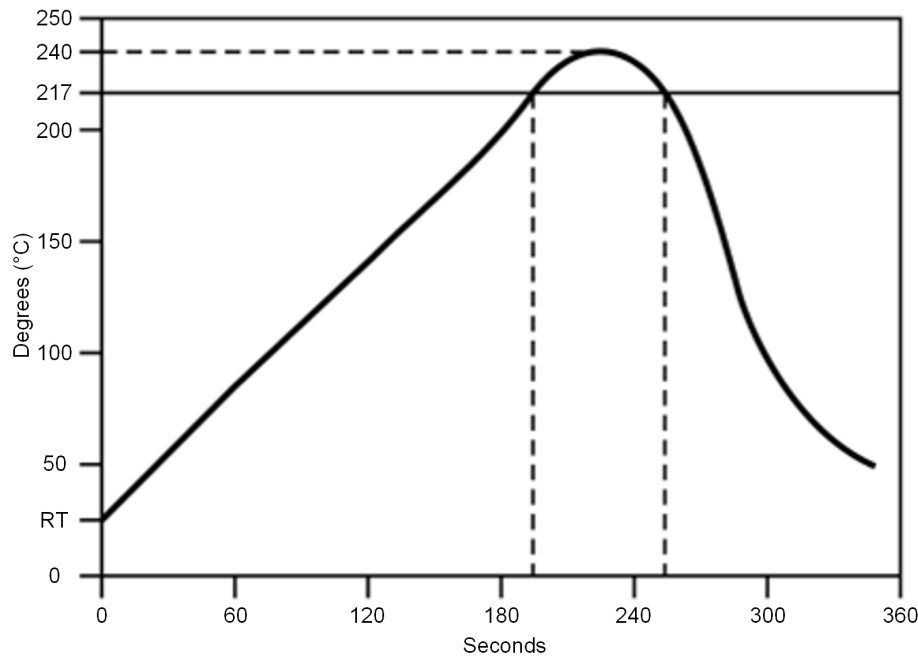


图 10-1. CC2340R5MODA 模块的回流焊曲线

表 10-1. 建议的回流焊曲线

曲线元素	对流或红外 ⁽¹⁾
峰值温度范围	235°C 至 240°C 典型值 (250°C 最大值)
预热/浸温时间 (150°C 至 200°C)	60 至 120 秒
焊接时间 (高于 217°C)	60 至 75 秒
5°C 到峰值温度的时间	20 至 40 秒
加热速率	3°C/秒
冷却速率	-3°C/秒

• 焊膏合金：SAC305 (Sn96.5、Ag3.0、Cu0.5)

11 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。

11.1 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，X 处于预发布状态；因此分配了 X 前缀/标识）。

器件开发进化流程：

X 试验器件不一定代表最终器件的电气规格，并且可能不使用生产封装流程。

P 原型器件不一定是最终的器件芯片，并且不一定符合最终电气规格。

无 完全合格的器件芯片量产版本。

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 的标准保修证书对该器件适用。

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 MHA）。

有关采用 MHA 封装类型 CC2340R5MODA 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、TI 网站 (www.ti.com) 或联系 TI 销售代表。

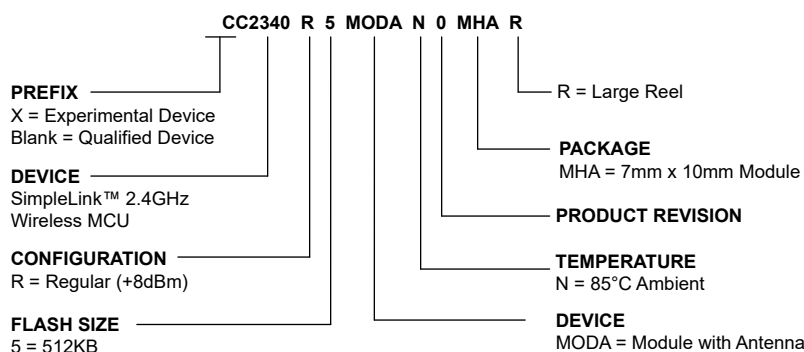


图 11-1. 器件命名规则

11.2 工具与软件

CC2340R5MODA 器件受多种软件和硬件开发工具的支持。

开发套件

CC2340R53 LaunchPad™ 开发 套件

通过 CC2340R53 LaunchPad™ 开发套件，您可以开发受益于低功耗运行的高性能无线应用。该套件采用 CC2340R53 SimpleLink 无线 MCU，便于您快速评估 2.4GHz 无线应用（如蓝牙 5 低功耗）和进行原型设计。该套件可与 LaunchPad 生态系统一起使用，实现更多功能，例如传感器、显示器等等。

软件

SimpleLink™ 低功耗 F3 软件开发套件 (SDK)

SimpleLink™ 低功耗 F3 软件开发套件 (SDK) 为在 CC2340R 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 CC2340R5MODA 器件的综合软件包，其中包括以下协议栈：

- 蓝牙低功耗

SimpleLink 低功耗 F3 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。

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）。

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 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 中提供的大部分软件示例都对 IAR 提供现成的支持。

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

UniFlash

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。UniFlash 免费提供。

11.2.1 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。

11.3 文档支持

如需接收关于数据表、勘误表、应用手册及类似文档的文档更新通知，请导航至器件产品文件夹 (CC2340R5)。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

CC2340R 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

CC2340R5MODA 器件的所有应用报告都可以在器件产品文件夹 ([CC2340R5](#)) 中找到。

技术参考手册 (TRM)

CC23xx 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。

11.4 支持资源

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

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

11.5 商标

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 Systems GmbH.

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

蓝牙® is a registered trademark of Bluetooth SIG.

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

Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.

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。

11.6 静电放电警告



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

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

11.7 术语表

TI 术语表

本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

12 修订历史记录

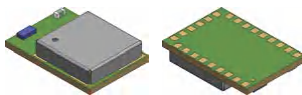
注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (June 2026) to Revision A (July 2026)	Page
• 将器件状态从“预发布”更改为“已发布”	2
• 添加了 KCC (韩国)、MIC (日本) 和 NCC (中国台湾) 证书 ID.....	45

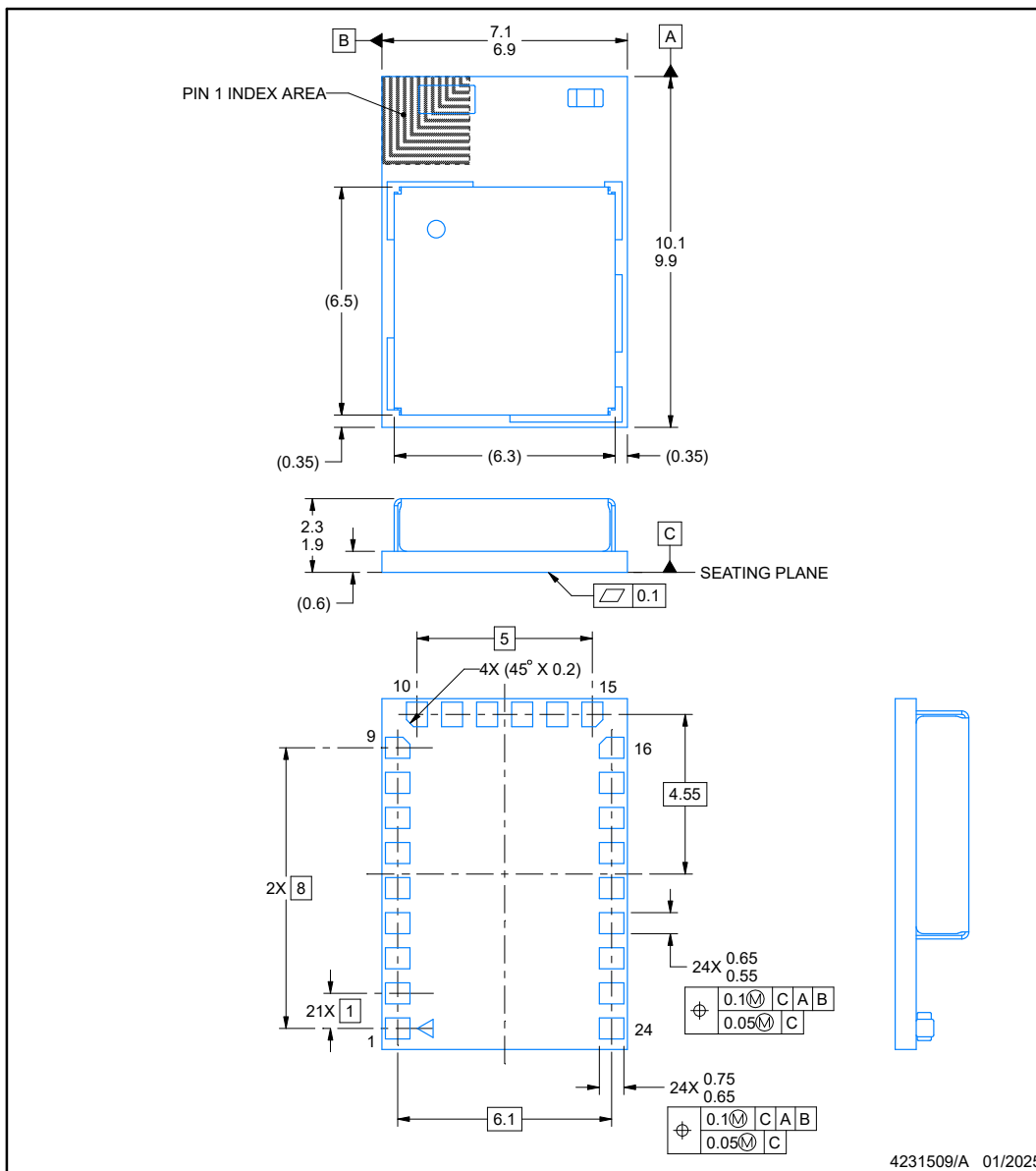
• 添加了 MIC (日本) 认证部分.....	46
• 添加了韩国认证部分.....	46
• 添加了 NCC (中国台湾) 认证部分.....	47

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。

**MHA0024A****PACKAGE OUTLINE****QFM - 2.3 mm max height**

QUAD FLAT MODULE

**NOTES:**

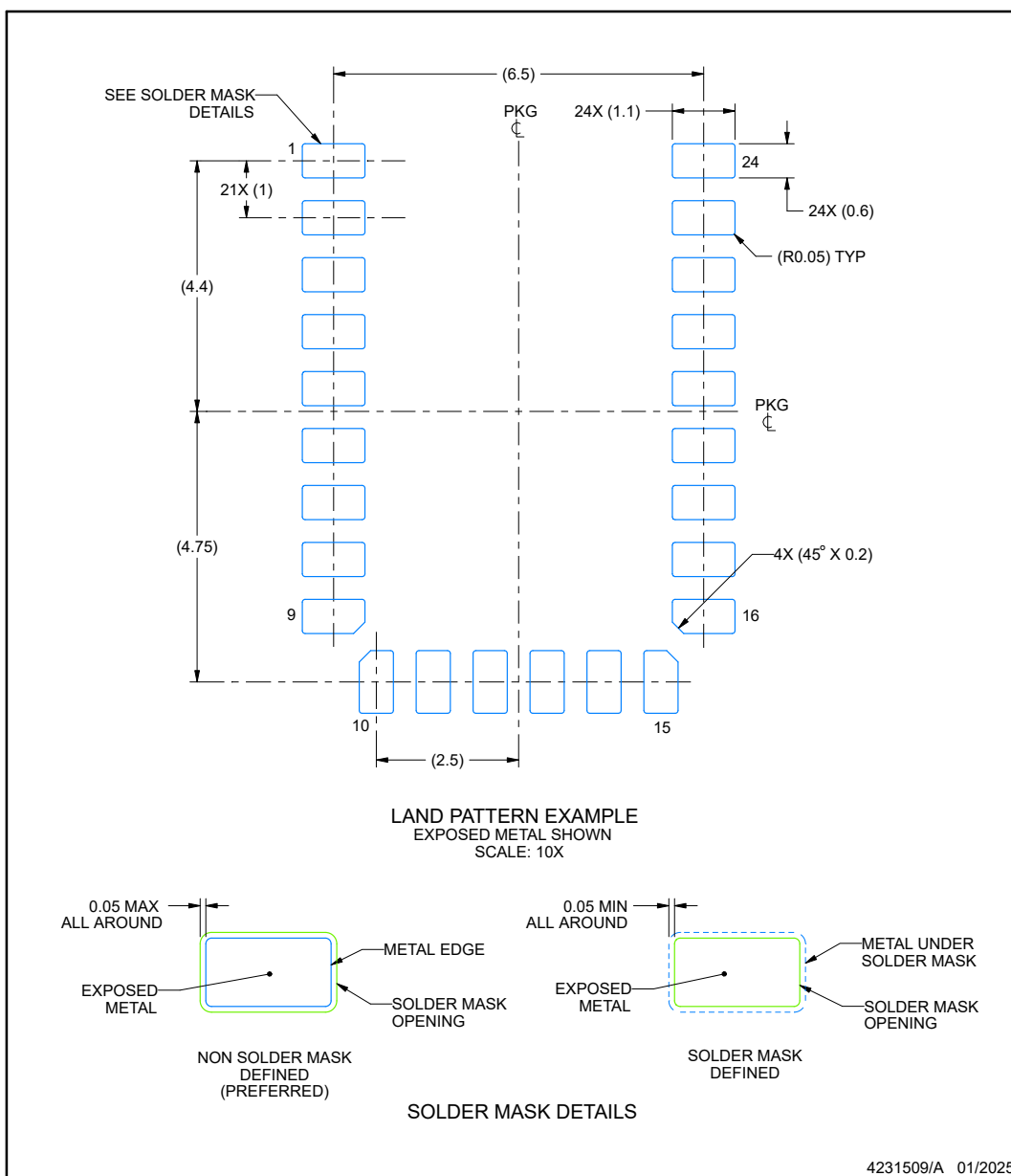
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

MHA0024A

QFM - 2.3 mm max height

QUAD FLAT MODULE

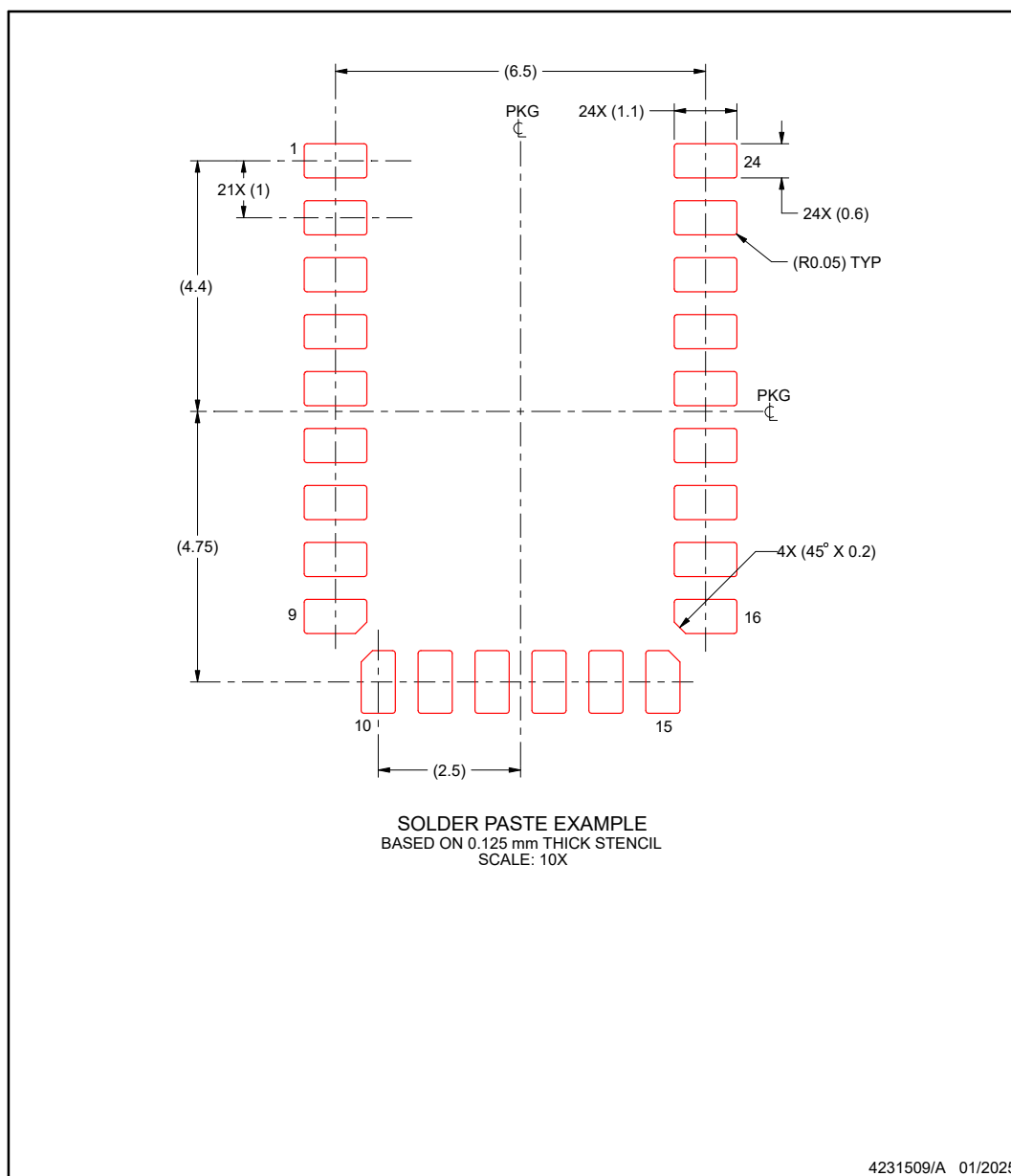


NOTES: (continued)

3. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/sluea271).

EXAMPLE STENCIL DESIGN**MHA0024A****QFM - 2.3 mm max height**

QUAD FLAT MODULE



NOTES: (continued)

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

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
CC2340R5MODAN0MHAR	Active	Production	QFM (MHA) 24	1400 LARGE T&R	In-Work	Call TI	Call TI	-40 to 85	

- (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.

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