

Design Guide: TIDA-010967

低功耗双层毫米波雷达参考设计



说明

该参考设计展示 TI IWRL6432AOP 毫米波传感器的低成本和低功耗功能。该设计支持通过槽式引脚或 1.27mm 间距连接器与连接器件连接。该设计采用 UART 转 USB 转换器来刷写固件和运行演示。参考设计采用 FR4 材料进行开发并使用双层 PCB 堆叠。该设计可展示存在检测和非人目标分类等应用。Visualizer 可直接在 PC 上的 GUI 中显示雷达传感数据和检测结果。

资源

[TIDA-010967](#)

设计文件夹

[IWRL6432AOP、TPS628502](#)

产品文件夹

[TPS2116、TIDA-010254](#)

产品文件夹



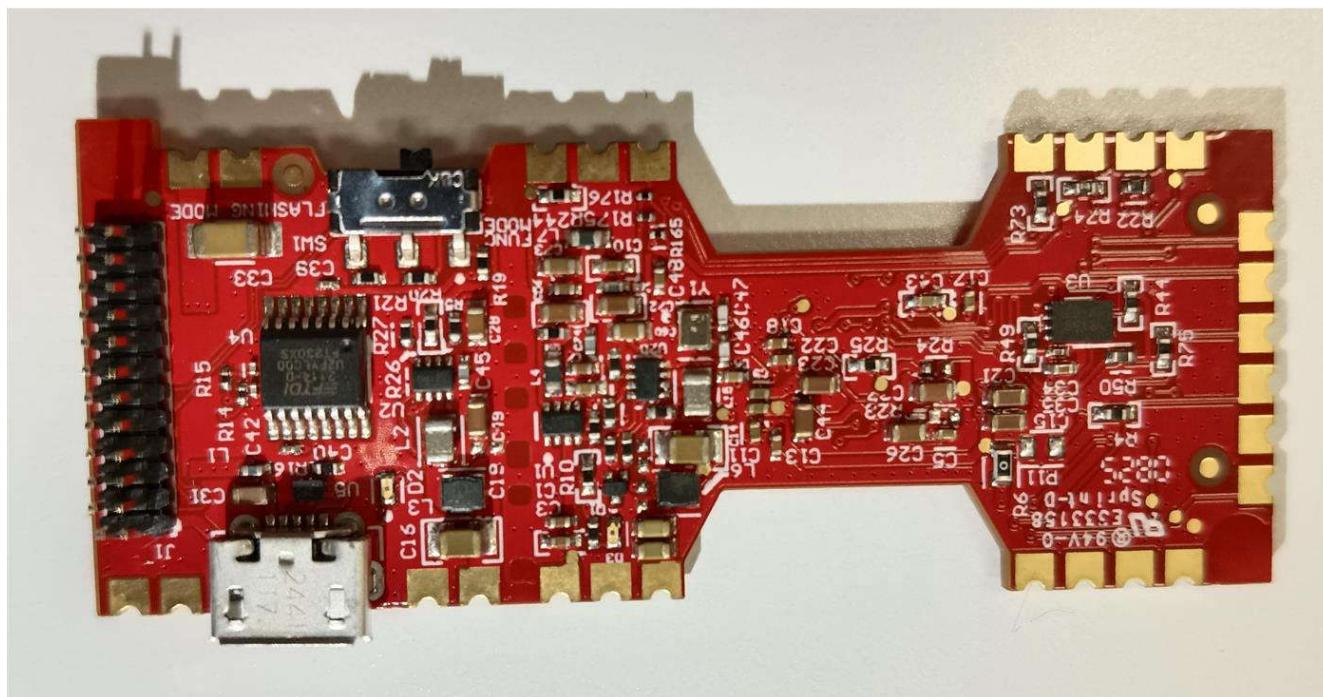
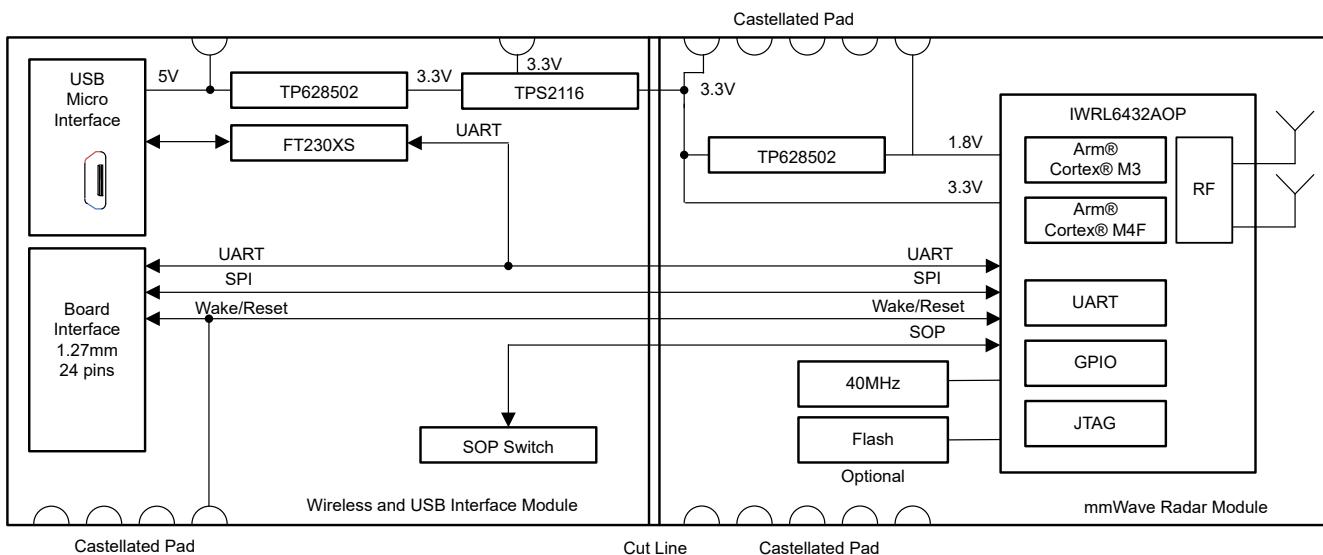
请咨询 TI E2E™ 支持专家

特性

- 57GHz 至 63.5GHz 毫米波雷达，采用 IWRL6432AOP，具有集成封装天线 (AoP)
- 低功耗
- 低成本双层 PCB 设计
- 小巧的外形：22.8mm × 38mm (毫米波雷达传感器部分)
- 槽式焊盘支持定制集成模块
- 提供低功耗测试结果
- 展示人数统计和人员跟踪应用

应用

- 占位检测 (人员跟踪、人数统计)
- 运动检测器
- 可视门铃
- 自动门
- IP 网络摄像头
- 恒温器
- 空调室外机
- 空调室内机
- 电视



1 系统说明

运动检测器、智能锁、可视门铃和 IP 网络摄像头需要在一个区域内进行人员或移动检测，以便将系统从睡眠模式唤醒。通常在设计中采用 PIR 传感器。目前，毫米波雷达技术是提供此类功能的常用技术。毫米波雷达技术的检测结果更优秀，例如范围、速度和反射角数据。该参考设计使用 IWRL6432AOP 低功耗 57GHz 至 63.5GHz 毫米波雷达传感器演示模块设计。双层印刷电路板 (PCB) 上的模块尺寸为 22.8mm × 59mm。

该模块利用槽式焊盘将雷达电源和信号引脚连接到定制控制器板。该模块还采用 1.27mm 接口连接器连接 TIDA-010254 基础板。TIDA-010254 基础板包括 CC1352R 微控制器，该微控制器可提供远距离连接和超低功耗。CC1352R 是一款多协议 Sub-1GHz 和 2.4GHz 无线微控制器 (MCU)，支持 *Bluetooth® 5.2 LE*、IEEE 802.15.4 和 Zigbee® 等。

该模块支持不同的电源。USB 5VDC 电源或基于直流电源适配器的 5VDC 电源均可用作主电源。采用 TPS628502 降压转换器将输入 5VDC 转换为输出 3.3VDC。该参考设计还采用 1.8V 电源板载直流稳压器，为 IWRL6432AOP 雷达 1.8V 电源块供电。此外，该模块还可以通过提供 3.3VDC 输入的槽式焊盘供电，该焊盘可连接定制控制器板或测试器件。

本设计指南介绍该参考设计的设计理论和测试结果。

1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

| 参数 | 规格 |
|---------|-----------------------------------|
| 输入电源 | USB 5VDC 或 3.3VDC 及 1.8VDC |
| 雷达类型 | IWRL6432AOP 毫米波雷达 |
| 系统功耗 | 平均 3.0 – 10.0mW (仅限测试环境) |
| 雷达视场方位角 | ±70° |
| 雷达视场仰角 | ±70° |
| 雷达最大距离 | 15m (仅限测试环境) |
| 雷达距离分辨率 | 0.18m (仅限测试环境) |
| 雷达最大速度 | 36m/s (仅限测试环境) |
| 雷达速度分辨率 | 约 0.08m/s (微小运动检测模式) (仅限测试环境) |

2 系统概述

该参考设计在 PCB 中包括两个部分：毫米波雷达传感器部分以及无线和 USB 接口部分。毫米波雷达传感器部分包括 IWRL6432AOP 雷达传感器和 TPS628502 降压转换器，将 3.3VDC 输入转换为 1.8VDC 输出。无线和 USB 接口部分包括 FT230XS USB 转 UART 转换器和 TPS628502 降压转换器。

该参考设计由来自 USB 端口的 5VDC 电源供电。根据具体的应用案例，可以选择电源适配器的 5VDC 或 3.3VDC 作为电源。

该参考设计将 UART 接口用作毫米波可编程接口并发送点云数据。此外，该设计还利用 FT230XS USB 转 UART 转换器作为与 PC 的连接。

可以通过分离切割线来分离两个模块。因此，毫米波雷达模块与槽式焊盘配合使用，集成到定制电路板。

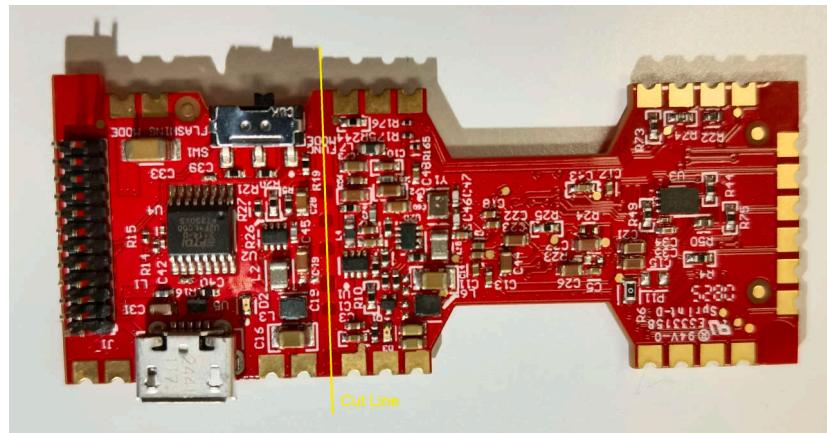


图 2-1. 切割线

2.1 方框图

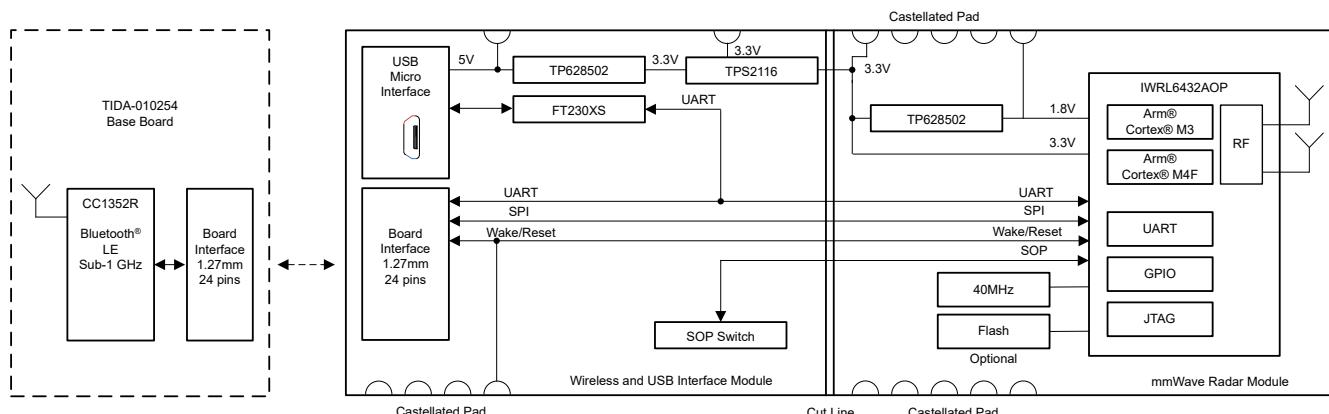


图 2-2. TIDA-010967 系统方框图

2.2 设计注意事项

在该设计中，毫米波雷达传感器检测数据通过 UART 端口发送。

2.2.1 毫米波雷达传感器应用

该设计可展示人员追踪和非人目标分类应用。这些应用示例来自毫米波软件开发套件 (SDK) 演示 motion_and_presence_detection 项目。示例配置与 [IWRL6432AOPEVM](#) 相同。以下代码块是配置文件示例。

```
% ****
% PresenceDetect: Chirp configuration and Processing chain are
% optimized to detect any kind of motion, including fine movements
% (even small movements that are present while sitting still,
% such as, movement caused by typing, breathing, etc.). However,
% there is no velocity measurement reported in this case.
% It is typically useful for applications such as identifying
% presence or absence of occupants in an indoor setting.
% Localization (Angle estimation) of the object is possible.
% ****
sensorStop 0
channelCfg 7 3 0
chirpCommCfg 20 0 0 128 1 30 2
chirpTimingCfg 6 28 0 90 59.75
frameCfg 8 0 403 1 250 0
guiMonitor 2 2 0 0 0 1 1 0 0 0 0
sigProcChainCfg 64 8 2 0 4 4 0 .5
cfarCfg 2 4 3 2 0 12.0 0 0.8 0 1 1 1
aoaFovCfg -60 60 -40 40
rangeSelCfg 0.1 4.0
clutterRemoval 1
antGeometryCfg 1 1 1 0 0 1 1 3 1 2 0 3 2.5 2.5
compRangeBiasAndRxChapPhase 0.0 1.00000 0.00000 1.00000 0.00000 1.00000 0.00000 1.00000 0.00000
1.00000 0.00000 1.00000 0.00000
adcDataSource 0 adc_data_0001_CtestAdc6Ant.bin
adcLogging 0
lowPowerCfg 1
factoryCalibCfg 1 0 38 3 0x1fff000
mpdBoundaryBox 1 0 1.48 0 1.95 0 3
mpdBoundaryBox 2 0 1.48 1.95 3.9 0 3
mpdBoundaryBox 3 -1.48 0 0 1.95 0 3
mpdBoundaryBox 4 -1.48 0 1.95 3.9 0 3
sensorPosition 0 0 1.44 0 0
minorStateCfg 5 4 40 8 4 30 8 8
clusterCfg 1 0.5 2
baudRate 1250000
sensorStart 0 0 0 0
```

配置发送后，IWRL6432AOP 开始通过此 UART 端口发送雷达结果数据。

有关毫米波人员追踪和人员计数示例的更多详细信息，请参阅 [IWRL6432 人员跟踪](#)。

2.2.2 IWRL6432AOP UART 通信

USB 转 UART 转换器 (FX230XS-R) 用于通过波特率为 115200 的 UART 端口与 IWRL6432AOP 器件和 PC 进行通信。

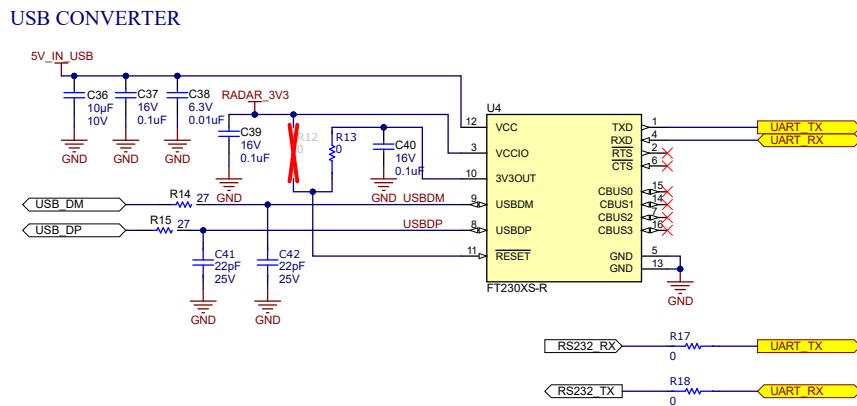


图 2-3. USB 转 UART 转换器原理图

Device Manager 程序中提供虚拟 UART 端口 (不同 PC 上的用户 UART COM 端口号不同)。该端口能够向 Visualizer GUI 发送和接收雷达数据。该虚拟 UART 端口还用于向 IWRL6432AOP 器件上传固件。

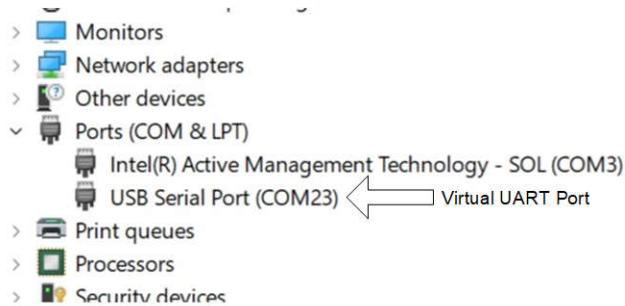


图 2-4. PC 上的虚拟 UART 端口

2.2.3 无线通信

该设计采用 1.27mm 接口连接器连接 [TIDA-010254 基础板](#)。

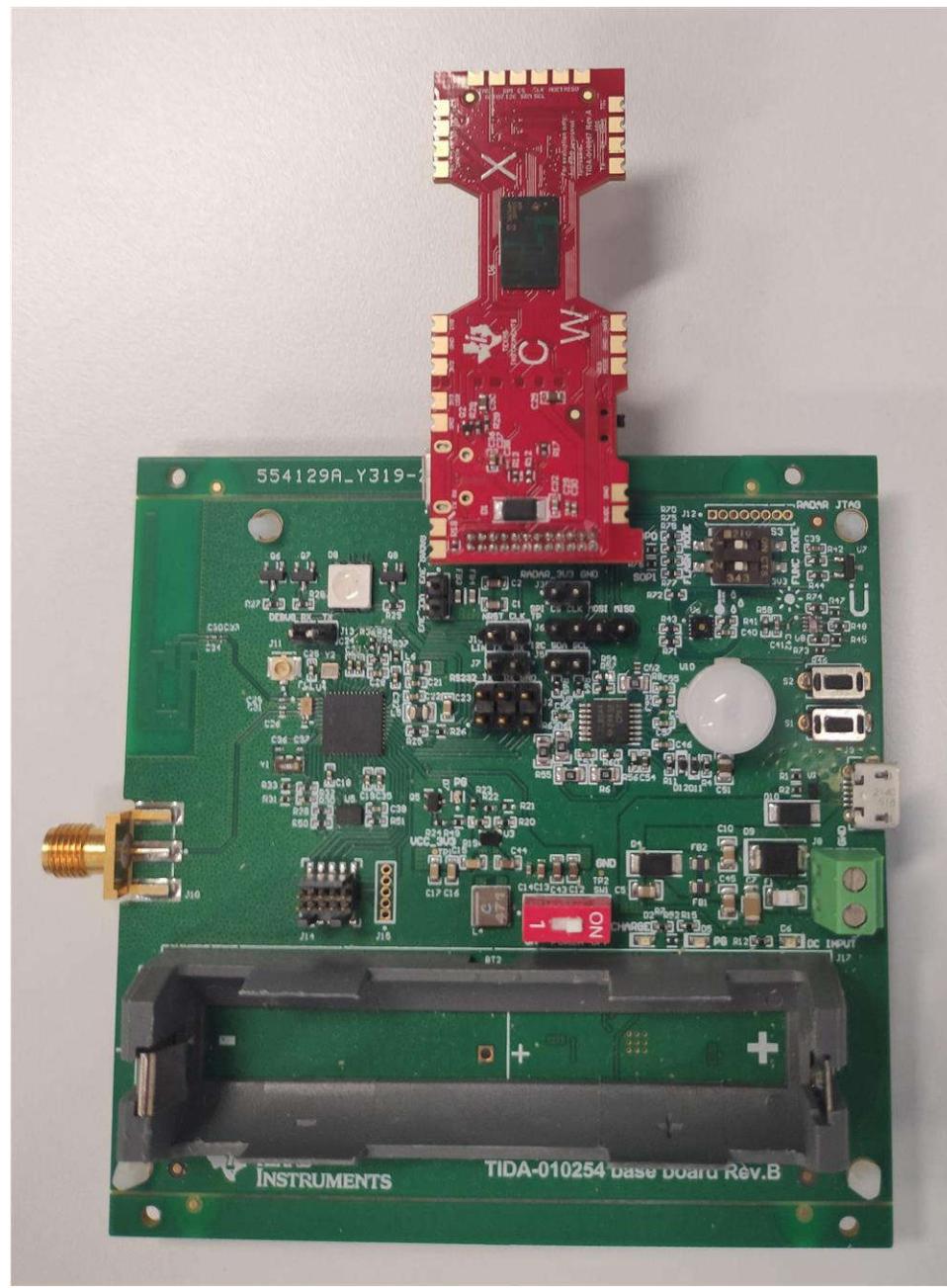


图 2-5. 连接 TIDA-010254 基础板

[TIDA-010254](#) 基础板包括 CC1352R 器件，支持低功耗蓝牙或低于 1GHz 的应用。

LAUNCHXLCC1352R1 无线 MCU LaunchPad™ 开发套件用作低功耗蓝牙或低于 1GHz 客户端，接收基础板上的 CC1352R 器件发送的雷达结果数据。LAUNCHXLCC1352R1 随后使用虚拟 UART 端口将数据发送到 PC，该端口通过 LAUNCHXLCC1352R1 上的 XDS110 模拟器实现。

使用此方法可通过无线通信发送雷达数据。

2.2.4 电源设计

该参考设计考虑以下电源规格：

- IWRL6432AOP 雷达需要多个电压轨。该设计使用两个电源轨：3.3V 和 1.8V。
- IWRL6432AOP 雷达 I/O 电压设置为 3.3V。安装 R11 并卸载 L7 可将 I/O 更改为 1.8V。

DC-DC CURRENT MEASUREMENT

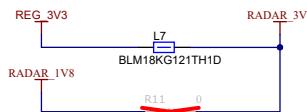


图 2-6. IWRL6432AOP GPIO 电源轨选择

- 主电源为来自 USB 端口的 5.0V 或来自槽式焊盘的 3.3V。

2.2.5 IWRL6432AOP 电源注意事项

IWRL6432AOP 雷达采用两个电源轨运行。当前设计实现双轨 BOM 优化设计。

1. 1.2V 数字 SRAM 和射频电源在器件内部生成
2. 3.3V IO 电源
3. 1.8V VDDA、VCO、CLK 和 VIOIN_18 电源

在此设计中，5V 用作输入电源。表 2-1 列出了每个电源轨上的峰值电流。

表 2-1. 电源电流要求

| 电源轨 | 峰值电流 |
|-----|-------|
| 5V | 300mA |

有关每个电压轨的器件峰值电流要求，另请参阅 [IWRL6432AOP 采用封装天线 \(AoP\) 的单芯片 57GHz 至 63.5GHz 工业雷达传感器数据表](#)。

2.2.6 IWRL6432AOP 扇出

关键电源和数字接口信号谨慎地从 IWRL6432AOP BGA 封装中向外布线，主要利用器件水平边缘和中心附近的空闲空间。焊盘中无过孔简化制造工艺并降低 PCB 成本，为双层板带来显著的成本优势。

由于限制严格，需要适当考虑设计注意事项并谨慎布线，因此设计双层 PCB 上的信号面临重大挑战。为了保持天线的视场 (FoV)，设计人员在将高元件布置在 IWRL6432AOP 禁止区域的受限半径内时必须格外小心。相反，沿 IWRL6432AOP 水平边缘的 BGA 焊盘有助于对封装的中心和南北段进行高效封装。图 2-7 展示扇出的示例实现。

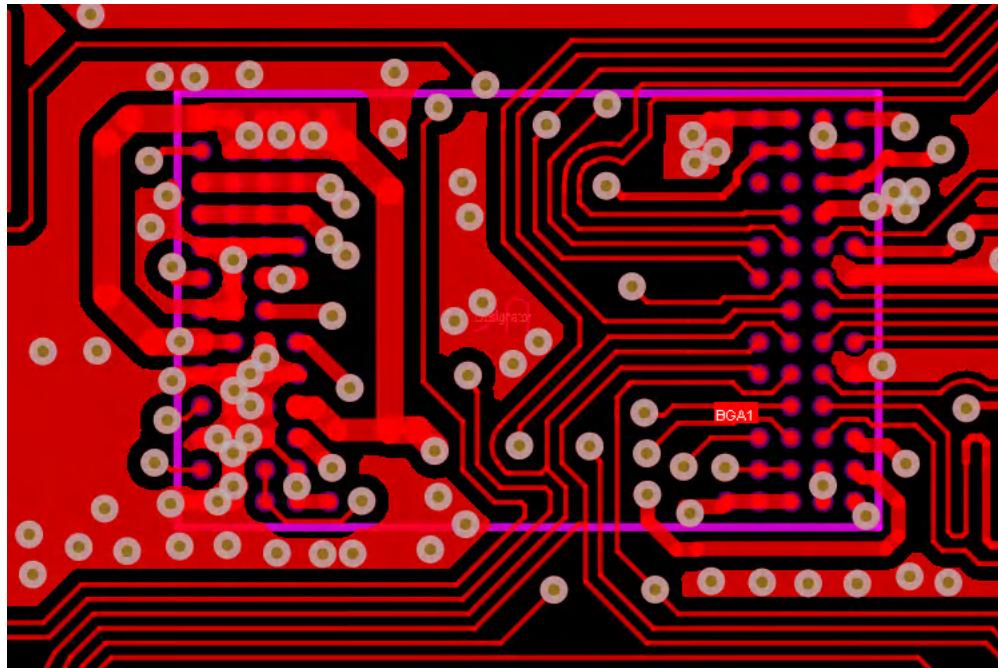


图 2-7. TIDA-010967 : IWRL6432AOP 扇出

2.2.7 雷达天线罩设计和仿真

本节重点介绍了使用 IWRL6432AOP 执行的一些雷达天线罩设计和仿真，以球形和矩形天线罩作为案例。本节比较了采用和未采用雷达天线罩的远场天线辐射方向图。该仿真采用 IWRL6432AOP (封装天线)。有关天线罩设计的详细信息，请参阅 [毫米波雷达天线罩设计指南](#) 文档。

图 2-8 和图 2-9 展示了球形和矩形天线罩设计，其半径与尺寸是根据天线孔径尺寸和所需的视场要求进行选择的。在本例中，设计针对 $\pm 70^\circ$ 方位角和 $\pm 70^\circ$ 仰角视场进行了优化。为了进行分析，我们通过优化曲率半径 (选择为 $\lambda/2$ 的整数倍) 进行了仿真。天线罩的厚度根据材料的 Dk 而变化，可使用以下公式计算该值：

$$t_{optimum} = \frac{n \times \lambda_m}{2} \quad (1)$$

$$\lambda_m = \frac{C}{f \times \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

其中

- $t_{optimum}$ = 雷达天线罩壁的最佳厚度或使雷达天线罩透明的目标厚度。
- N : 1、2、3...
- λ_m : 材料的波长
- C : 光速
- f : 平均载波频率
- ϵ_r : 相对介电常数

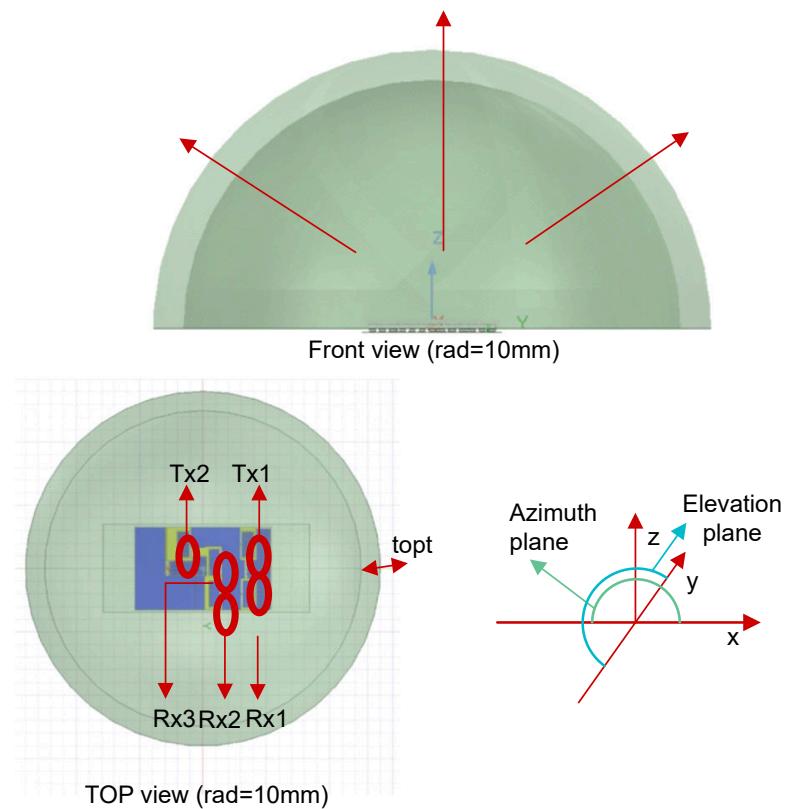


图 2-8. IWRL6432AOP 球形天线罩

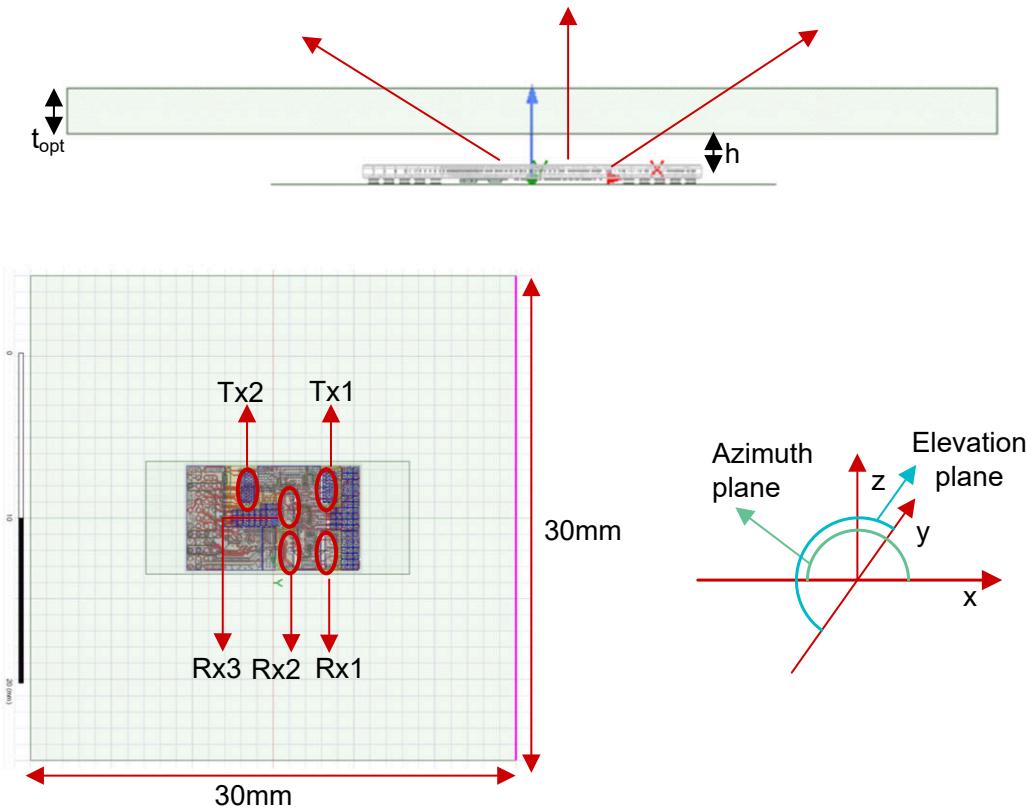


图 2-9. IWRL6432AOP 矩形天线罩

以下各图显示了不同外半径 (球形天线罩) 和高度 (矩形天线罩) 的仿真天线辐射方向图 , 与无天线罩方向图相比 , $Dk = 2.7$ 且 $Df = 0.009$ 时所用材料的最佳厚度为 1.5mm 。比较时还分析了方位角和仰角等方面。球形天线罩 (‘rad’) 取值范围为 7.5mm 至 15mm 、步长为 1.25mm , 矩形天线罩与 AOP 的安装间距 (h'') 取值范围为 0.1mm 至 2.5mm 。矩形天线罩的尺寸为 30mm × 30mm 。在 FoV 边缘的天线方向图和增益中观察到的纹波表明 , 球形天线罩设计的最优半径为 10mm 。

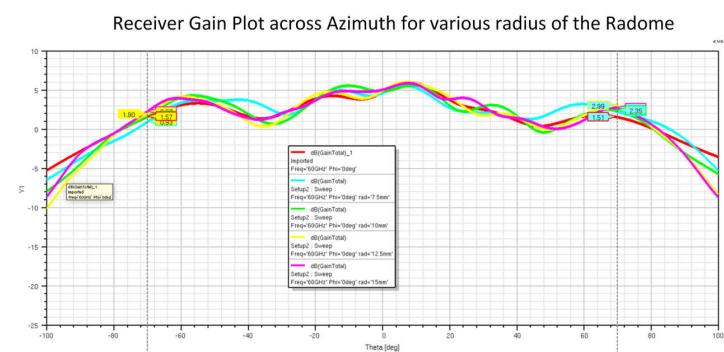
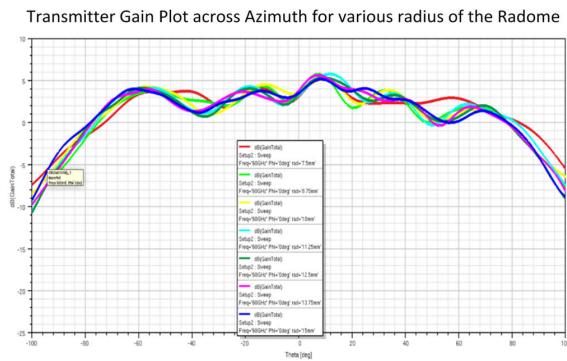


图 2-10. 球形天线罩不同半径下方位角的增益图

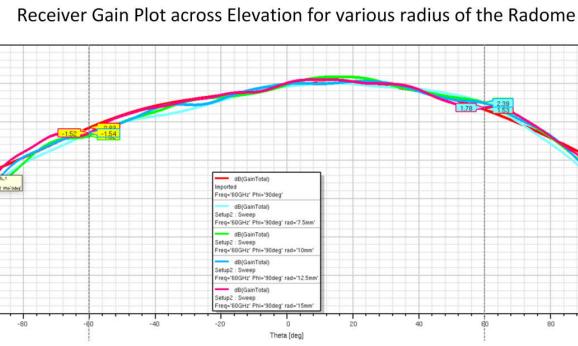
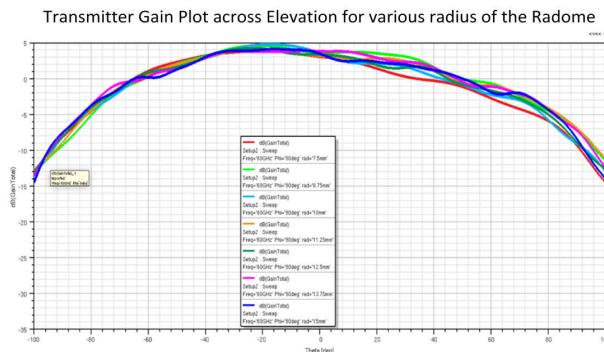


图 2-11. 球形天线罩不同半径下仰角的增益图

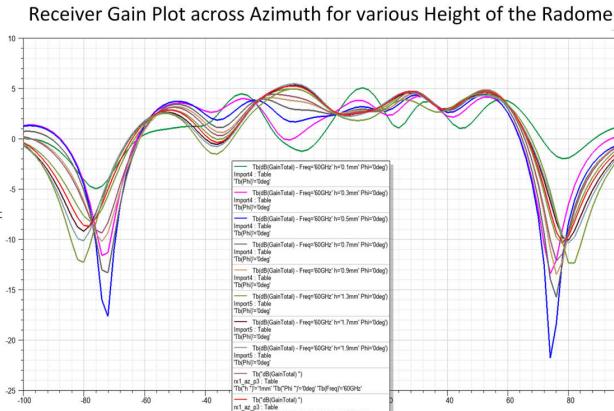
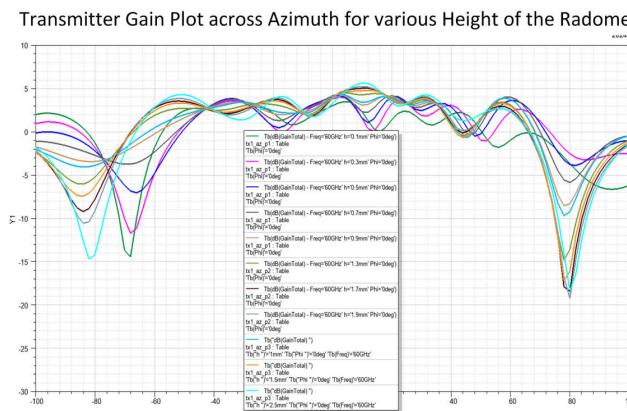


图 2-12. 矩形天线罩不同高度下方位角的增益图

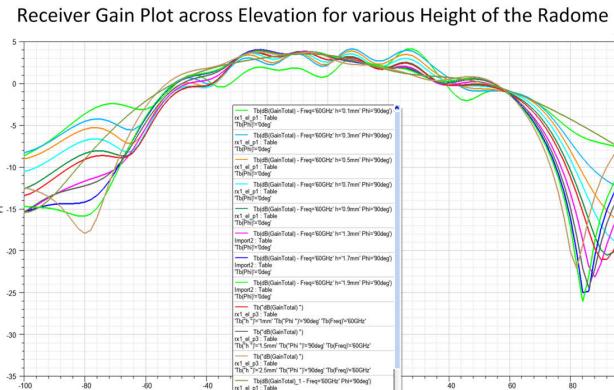
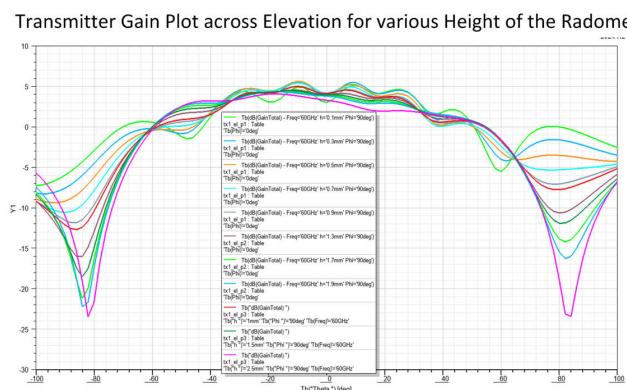
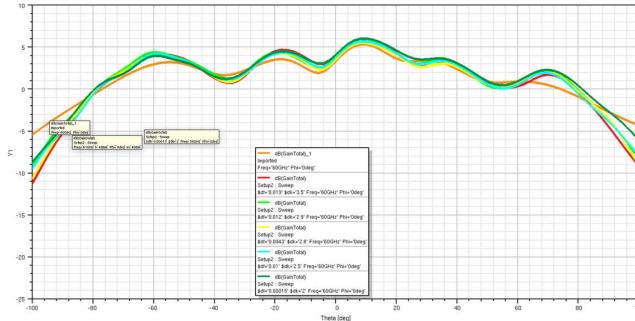


图 2-13. 矩形天线罩不同高度下仰角的增益图

对两个天线罩完成了半径和高度仿真。开展仿真以确定天线罩设计的最优材料。图 2-14 至图 2-17 展示了球形和矩形天线罩不同电介质 (Dk) 材料的辐射图。

Transmitter Gain Plot across Azimuth for various Dielectric of the Radome



Receiver Gain Plot across Azimuth for various Dielectric of the Radome

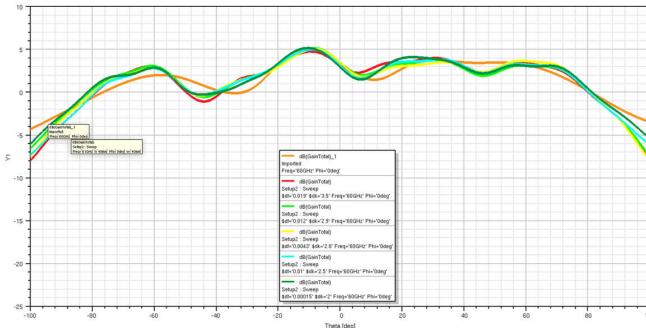
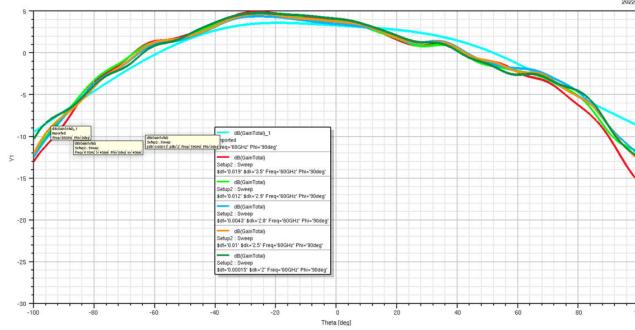


图 2-14. 球形天线罩各种电介质的方位角增益图

Transmitter Gain Plot across Elevation for various Dielectric of the Radome



Receiver Gain Plot across Elevation for various Dielectric of the Radome

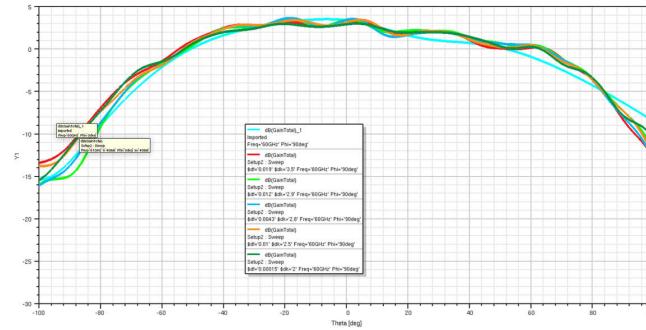
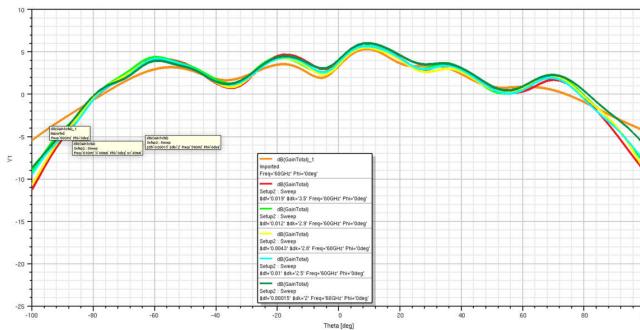


图 2-15. 球形天线罩各种电介质的仰角增益图

Transmitter Gain Plot across Azimuth for various Dielectric of the Radome



Receiver Gain Plot across Azimuth for various Dielectric of the Radome

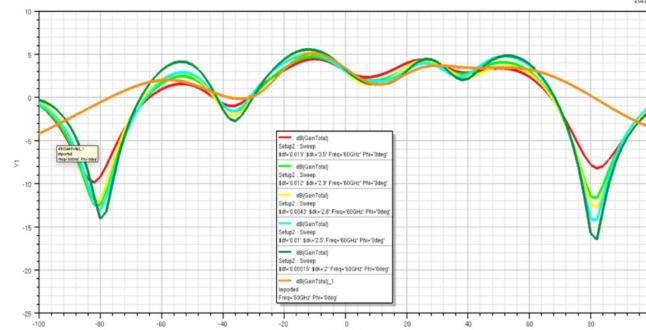
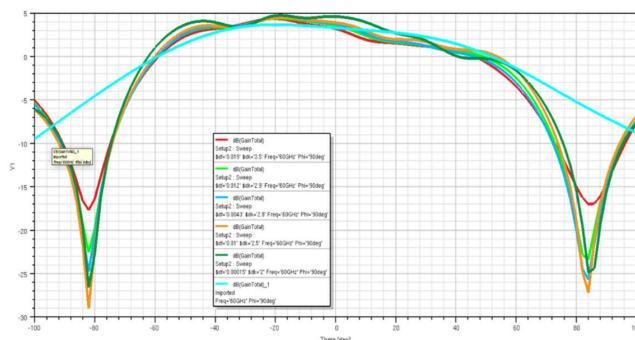


图 2-16. 矩形天线罩各种电介质的方位角增益图

Transmitter Gain Plot across Elevation for various Dielectric of the Radome



Receiver Gain Plot across Elevation for various Dielectric of the Radome

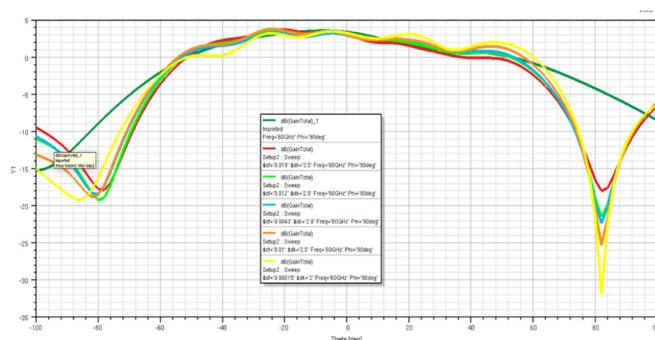


图 2-17. 矩形天线罩各种电介质的仰角增益图

2.2.8 成本优化技术

该设计实现多项 PCB 成本优化技术，使 PCB 变得经济实惠。以下清单探讨成本优化技术。

1. 双层 PCB 设计：

该设计在双层 PCB 上实现，显著降低制造成本。仅使用两层还可大幅减少电镀周期的数量，从而缩短周转时间并进一步降低制造成本。简化堆叠避免埋孔或盲孔的需求，使电路板适用于大批量生产，产量风险极低。

2. 经济高效的基板选择：

PCB 利用超低成本的 FR4 作为核心基板。天线集成在封装天线 (AoP) 中：不需要高频、低损耗层压板，进一步节省成本。超低成本的 FR4 可为数字接口和电力输送提供充足的热性能和电气性能，无需高射频性能材料。

3. 焊盘中的过孔消除：

对于 BGA 布线，采用狗骨扇出策略彻底消除焊盘中的过孔。该方法避免焊盘中过孔结构通常所需的过孔填充、平坦化和电镀工艺相关的额外成本。狗骨布线确保可靠的焊点形成，简化返工或检查，特别是中等间距 BGA。

2.2.9 TIDA-010967 和 IWRL6432AOPEVM 之间的比较

TIDA-010967 和 IWRL6432AOPEVM 两款设计均用于评估 IWRL6432AOP 毫米波雷达传感器，但用于不同的用途并相应进行优化。本部分详细比较设计方法、硬件实现和用例方向的差异。

TIDA-010967 设计具有以下优势：

1. **易于生产：** TIDA-010967 可以直接在生产硬件上实现，使该设计更适用于对成本敏感的成品设计。IWRL6432AOPEVM 专为评估和开发目的而设计。
2. **成本优化：** TIDA-010967 采用低成本、双电源轨 BOM 优化设计，减少 BOM 数量并降低成本。但 IWRL6432AOPEVM 经过功耗优化，采用更丰富的元件集来支持更广泛的评估能力。
3. **低成本 PCB 堆叠：** TIDA-010967 基于双层 PCB 构建，为大规模生产带来显著的成本优势。EVM 则采用 4 层 PCB，支持更优异的信号完整性和配电，更适合开发使用。
4. **易于测试：** TIDA-010967 采用 FT230XS USB 转 UART 转换器，经济高效，特别适用于小型设计。TIDA-010967 包含槽式引脚，提供定制生产、硬件和测试接口。IWRL6432AOPEVM 集成 XDS110 调试器，提供 UART 和 JTAG 实现全面调试。
5. **电路板尺寸小且易于集成：** TIDA-010967 外形小巧紧凑，支持与客户无线模块等主板轻松集成。EVM 相对较大，能够提供评估电路和调试功能。

2.3 重点产品

2.3.1 IWRL6432AOP

IWRL6432AOP 毫米波传感器是一款封装天线 (AOP) 器件，是集成式单芯片毫米波传感器的升级版。该器件基于调频连续波 (FMCW) 雷达技术。该器件能够在 57GHz 至 63.5GHz 频段内运行，主要分为四个电源域：

- **射频或模拟子系统**：该块包含发送和接收射频信号所需的所有射频和模拟元件。
- **前端控制器子系统 (FECSS)**：FECSS 包含负责雷达前端配置、控制和校准的处理器 Arm® Cortex®-M3。
- **应用子系统 (APPSS)**：在 APPSS 中，该器件实现用户可编程的 Arm Cortex-M4，允许自定义控制和接口应用。顶部子系统 (TOPSS) 是 APPSS 电源域的组成部分，包含时钟和电源管理子块。
- **硬件加速器 (HWA)**：HWA 块通过卸载快速傅里叶变换 (FFT)、恒定误报率 (CFAR)、缩放和压缩等通用雷达处理，对 APPSS 进行补充。

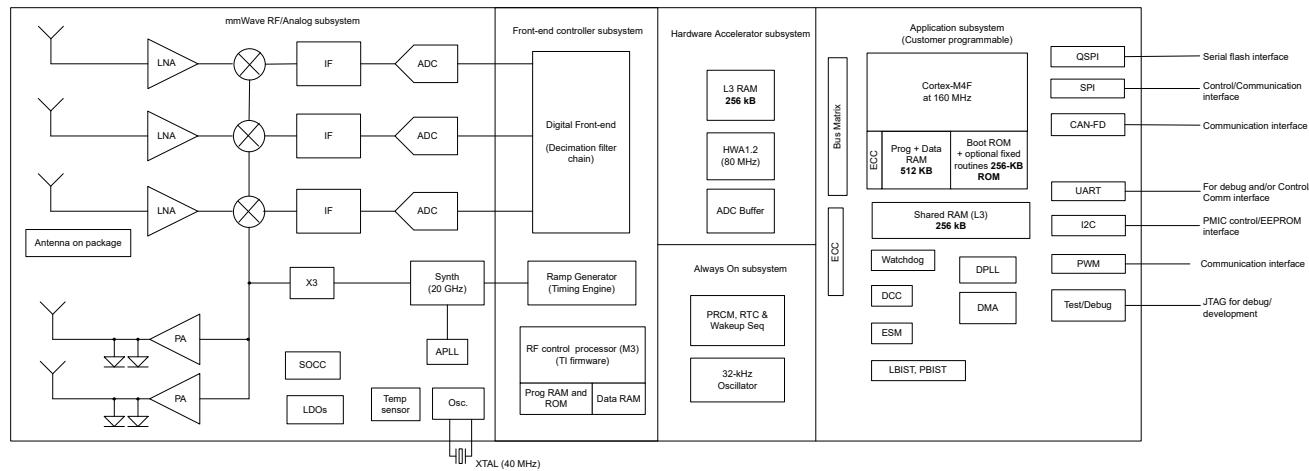


图 2-18. IWRL6432AOP 方框图

IWRL6432AOP 经过专门设计，可对上述每个电源域进行单独控制，根据用例要求控制其状态（上电或断电）。该器件还具有运行各种低功耗状态（如睡眠和深度睡眠）的功能，其中低功耗睡眠模式是通过时钟门控和关闭器件的某些内部 IP 块来实现的。该器件还提供了保留器件某些内容的选项，例如在此类情况下保留的应用图像或射频配置文件。

此外，该器件采用 TI 的低功耗 45nm 射频互补金属氧化物半导体 (CMOS) 工艺构建，在超小封装中实现优异的集成度。IWRL6432AOP 设计用于工业（及个人电子产品）领域的低功耗、自监控、超精确雷达系统。

这些系统适用于如下应用：

- 楼宇和工厂自动化
- 商业或住宅安全
- 个人电子产品
- 存在检测或运动检测
- 人机界面 (HMI) 的手势检测或手势识别

2.3.2 TPS628502

TPS62850x 是一系列引脚对引脚 1A、2A（持续）和 3A（峰值）易用型高效同步直流/直流降压转换器。这些器件基于峰值电流模式控制拓扑。低阻开关可支持高达 2A 的持续输出电流和 3A 的峰值电流。用户可通过外部方式在 1.8MHz 至 4MHz 范围内调节开关频率，亦可在该频率范围内将其同步至外部时钟。在 PWM 和 PFM 模式下，TPS62850x 会在轻负载时自动进入省电模式，从而在整个负载范围内保持高效率。该器件提供展频时钟选项。启用 SSC 时，当使用内部时钟时，开关频率在 PWM 模式下随机变化。频率变化通常介于标称开关频率和高于比标称开关频率最多 288kHz 之间。TPS62850x 在 PWM 模式下提供 1% 的输出电压精度，这有助于设计具有高输出电压精度的电源，满足数字处理器和现场可编程门阵列 (FPGA) 的严格电源电压要求。

TPS62850x 采用 8 引脚、1.60mm × 2.10mm SOT583 封装。

板载配置：18k Ω 电阻器从 COMP/FSET 引脚连接到 GND。该电阻值会将器件设置为以下配置：

1. 开关频率设为 3.3MHz
2. 展频时钟 (SSC) 启用
3. 补偿设置 2，以实现最佳瞬态响应

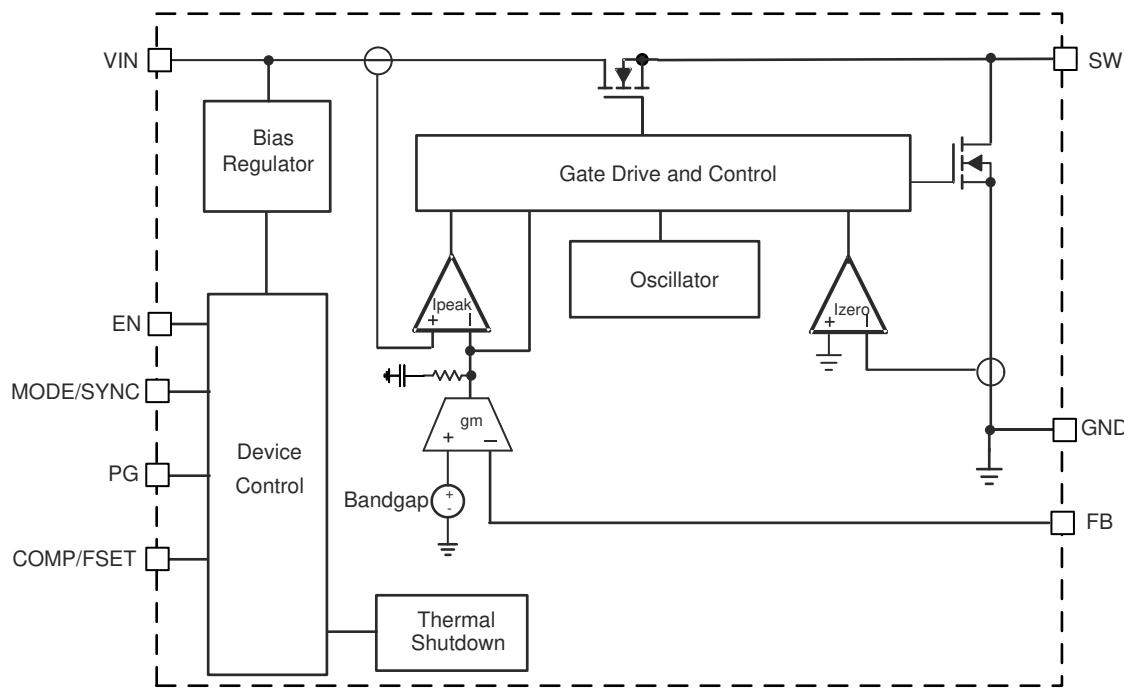


图 2-19. TPS628502 方框图

2.3.3 TPS2116

TPS2116 是一款电源多路复用器件，额定电源为 1.6V 至 5.5V，最大额定电流为 2.5A。该器件使用 N 沟道 MOSFET 在电源之间切换，同时在第一次施加电压时提供受控的压摆率。

凭借 $1.32 \mu\text{A}$ (典型值) 的低静态电流和 50nA (典型值) 的低待机电流，TPS2116 特别适用于电池连接其中一个输入的系统。这些低电流延长了电池的使用寿命和续航时间。

TPS2116 可根据应用配置用于两种不同的切换操作。自动优先级模式优先选择连接到 VIN1 的电源，在 VIN1 下降时将切换到次级电源 (VIN2)。手动模式允许用户切换 GPIO 或支持在通道之间切换信号。

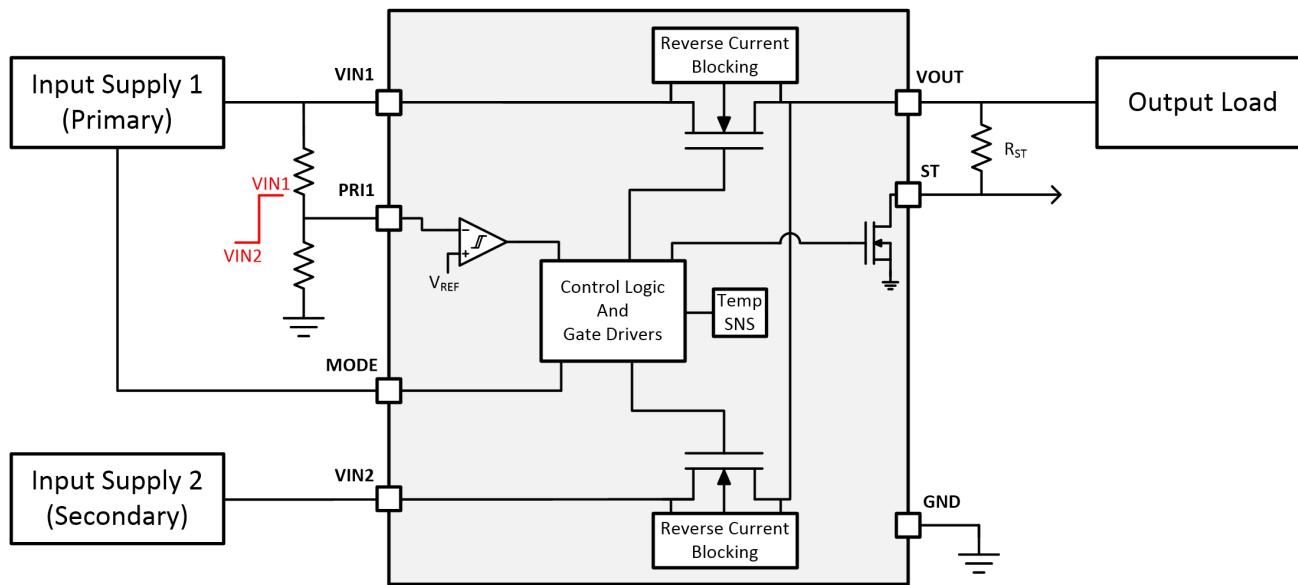


图 2-20. TPS2116 方框图

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

此参考设计包括：

- 参考设计模块，包含 IWRL6432AOP 雷达传感器、FT230XS USB 转 UART 转换器以及带有 1.27mm 接口连接器的槽式焊盘。
- TIDA-010254 基础板，通过 1.27mm 接口连接器连接此参考设计模块。
- LAUNCHXLCC1352R1 无线 MCU LaunchPad™ 开发套件：通过 Bluetooth LE 与 TIDA-010254 基础板通信，通过 USB 链路连接 PC GUI 进行 UART 仿真。
- 带 Visualizer GUI 的 PC，直观显示雷达传感数据和检测结果。

3.1.1 入门硬件

3.1.1.1 设计模块初始化：IWRL6432AOP 编程

完成以下步骤初始化该参考设计模块：

- 使用设计模块上的 SW1 选择 IWRL6432AOP 电源感应 (SOP) 模式。表 3-1 提供了 SOP 模式的说明。“0”表示将引脚拉低，“1”表示将引脚拉高。开关 SW1 位置右代表“0”，左代表“1”。

表 3-1. SOP0 模式

| 模式 | SOP0 | 模式说明 |
|----|------|---|
| 1 | 0 | 刷写模式：主机将用户应用程序或固件刷写到四路串行外设接口 (QSPI) 闪存 |
| 2 | 1 | 功能模式：IWRL6432AOP 将用户应用程序从 QSPI 闪存加载到内部 RAM 并从 RAM 运行应用程序。用户配置通过 UART 接口发送到器件。 |

- 将 SOP 模式设置为刷写模式（请参阅 图 3-1）。

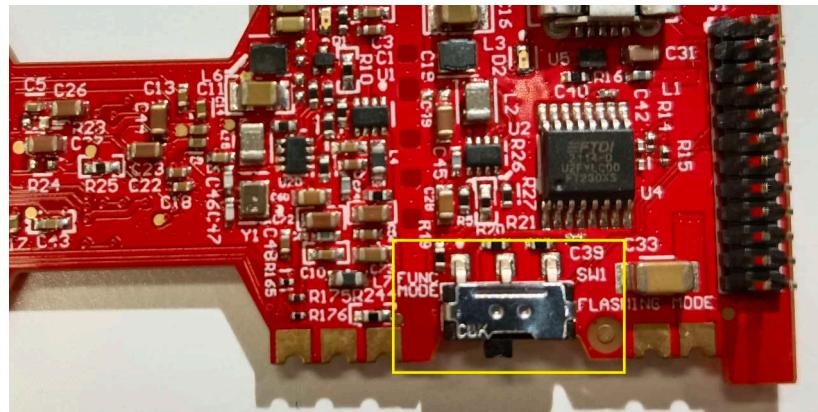


图 3-1. 将 SOP 配置为刷写模式

- 将设计模块连接到 PC。使用 USB 电缆连接设计模块上的微型插座 USB 连接器 (J2) 和 PC 的 USB 连接器。

设计模块上的 IWRL6432AOP 雷达传感器已准备好进行编程。

TI 提供用于固件编程和调试的 Code Composer Studio™ 软件。另请参阅 [Code Composer Studio™ 集成开发环境 \(IDE\)](#) 用户指南获取 CCSTUDIO 软件。

[UNIFLASH](#) 软件也可用于刷写 IWRL6432AOP。

TI 还提供毫米波软件开发套件 (SDK)，用于将二进制文件刷写到 IWRL6432AOP。请参阅 [mmWave-L-SDK](#) 工具页面获取此 SDK。

按照以下步骤使用毫米波 SDK 刷写 IWRL6432AOP 映像文件：

1. 在 SDK 中打开 visualizer 软件。Visualizer 在 SDK 的安装文件夹中：根目录：

`\MMWAVE_L_SDK installed directory\tools\visualizer`

2. 选择 *Flash* 选项卡并手动输入 UART 端口号。在 PC 上选择 *Enter* 键。

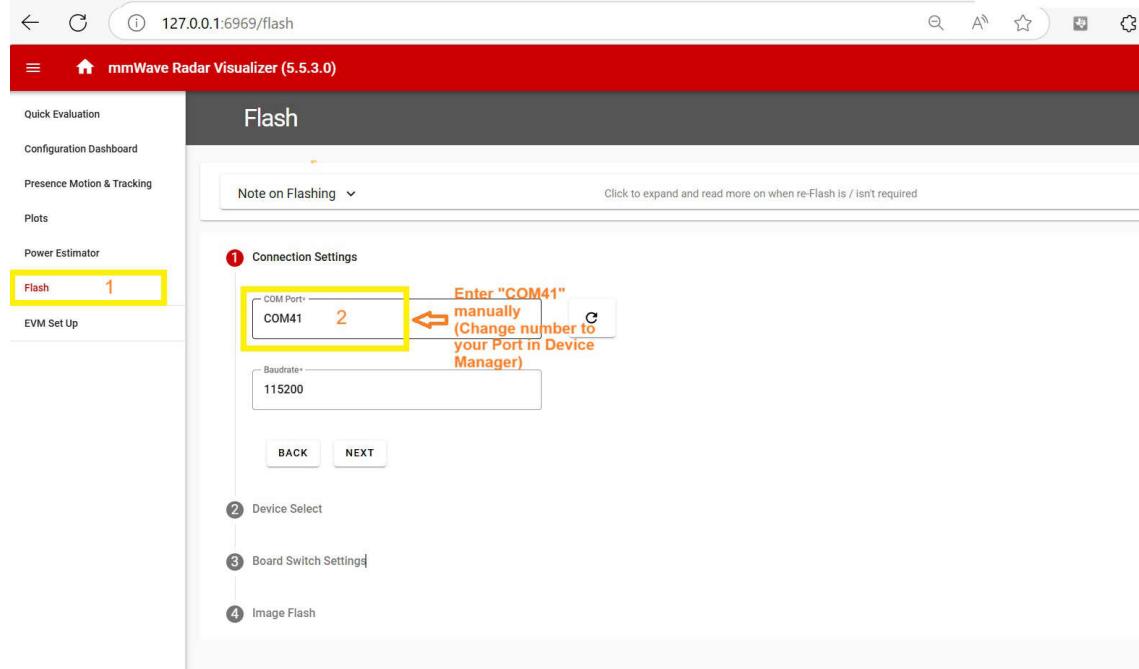


图 3-2. 选择 UART 端口

3. 在 *Device Select* 部分中选择 XWRL6432AOP。在 PC 上点击 *Enter* 键。

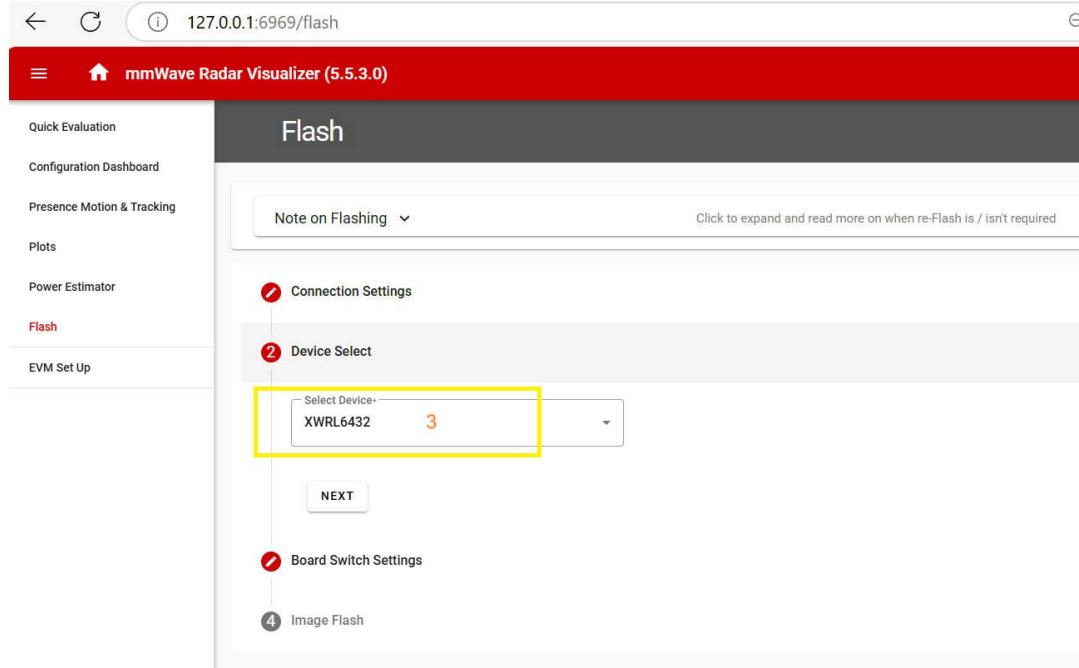


图 3-3. 器件选择

4. 在 *Board Switch Settings* 部分中选择 **SWITCH SETTINGS CONFIRMED** 按钮。在 PC 上点击 *Enter* 键。

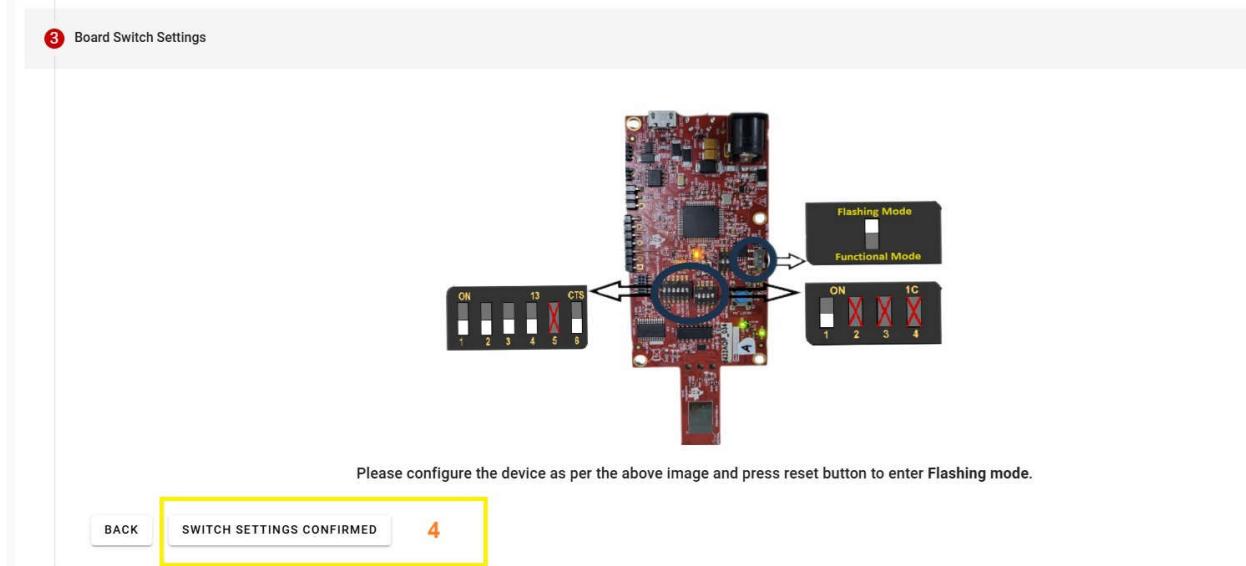


图 3-4. 电路板开关设置

备注

图示为 IWR6432AOP EVM 开关设置。忽略该设计中的开关设置。

1. 选择 *Custom Image* 图标。
2. 点击 *Upload* 按钮。选择

`motion_and_presence_detetion_demo_aop.release.appimage`

文件，该文件使用映像文件步骤中的最后版本生成。在项目文件夹中获取此文件，即：

```
SDK installed
directory\examples\mmw_demo\motion_and_presence_detection\prebuilt_binaries\xwrL64xx-aop
```

3. 点击 *Flash* 按钮，将映像刷写到 IWRL6432AOP。

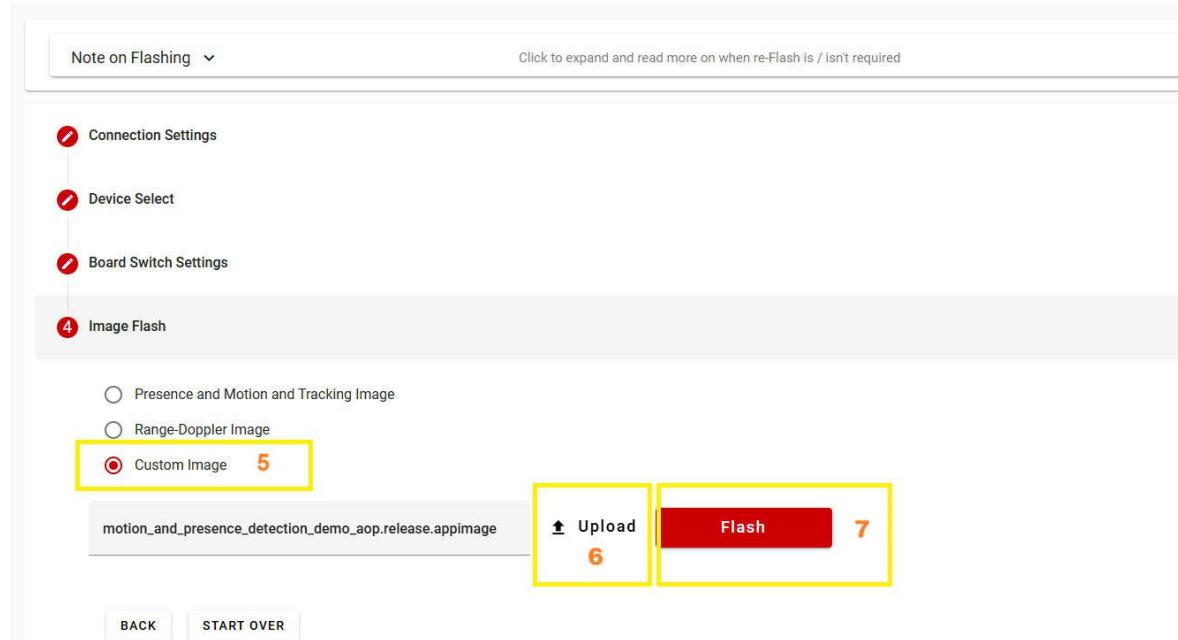


图 3-5. 映像刷写

IWRL6432AOP 编程完成后，拔下 USB 电缆关闭雷达模块并将 SW1 切换到功能模式。

按照以下步骤使用 UniFlash 刷写 IWRL6432AOP 映像文件：

1. 打开 UniFlash 软件
2. 从 *Category* 标题中选择 *mmWave*
3. 从可用器件字段中选择 *IWRL6432*
4. 点击 *Start* 按钮。

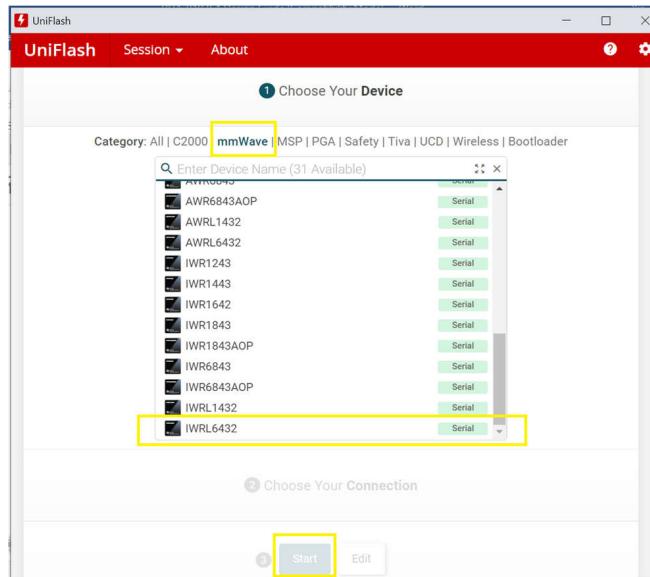


图 3-6. IWRL6432AOP 的 UniFlash 配置

5. 在 *Flash Image(s)* 下点击 *Meta Image 1* 的绿色 *Browse* 按钮
6. 选择

```
motion_and_presence_detetion_demo_aop.release.appimage
```

文件，该文件使用映像文件步骤中的最后版本生成。在项目文件夹中获取此文件，即：

```
SDK installed
directory\examples\mmw_demo\motion_and_presence_detection\prebuilt_binaries\xwrL64xx-aop
```

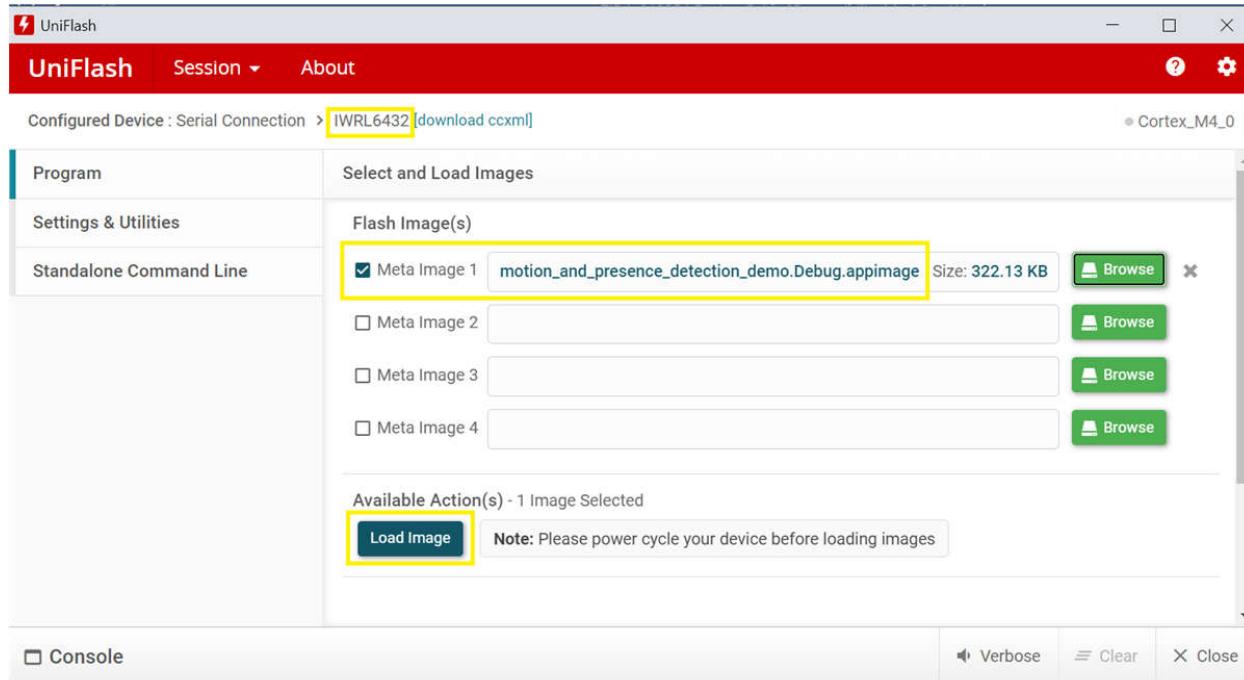


图 3-7. 适用于 IWRL6432AOP 的 UniFlash 软件加载映像

7. 在 *Quick Settings* 下手动输入 COMxx。“xx”是 PC 上的系统管理器程序中显示的 UART 端口号，连接到该设计模块上的 USB 转 UART 转换器。

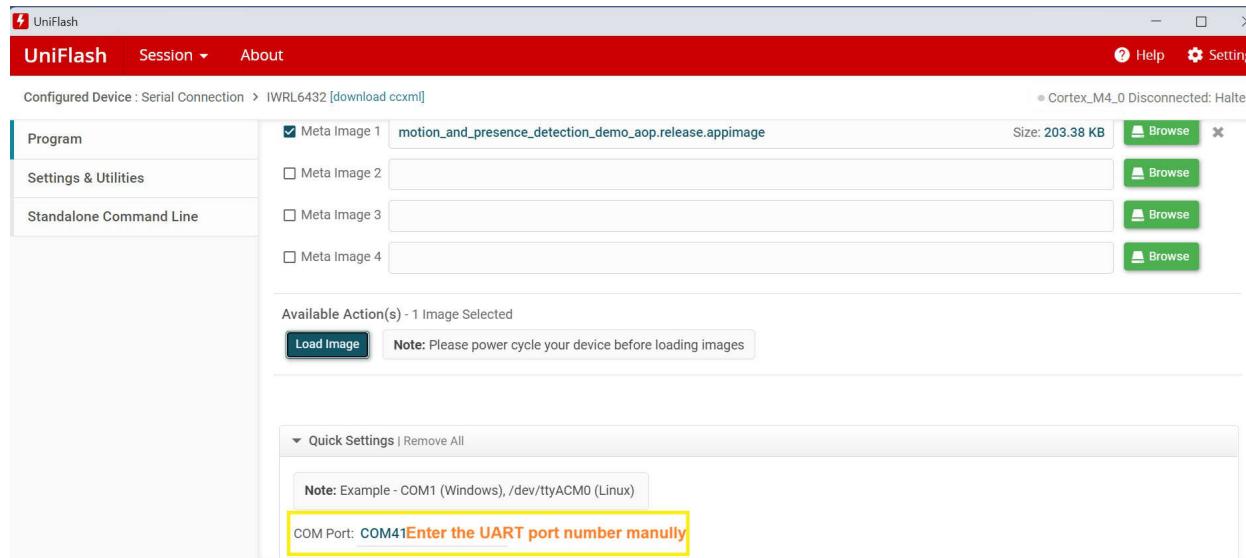


图 3-8. UniFlash 软件快速设置

8. 点击 *Load Image* 按钮，将映像刷写到 IWRL6432AOP。

IWRL6432AOP 编程完成后，拔下 USB 电缆关闭雷达模块并将 SW1 切换到功能模式。

3.2 软件要求

该参考设计软件包括：

- 毫米波 SDK 中的运动和存在检测示例，该示例通过硬件设置程序刷写到 IWRL6432AOP。毫米波 SDK 可从 [mmWave-SDK](#) 获取。
- Visualizer GUI，该软件可直观显示雷达数据。GUI 可从 [毫米波雷达工具箱](#) 获取。将工具箱下载到本地 PC。GUI 在项目文件夹中，即：

```
Radar Toolbox installed  
directory\tools\visualizers\Applications_Visualizer\Industrial_Visualizer\
```

使用 UniFlash 软件或可视化工具软件将运动和存在检测示例的二进制文件刷写到 IWRL6432AOP 雷达。

3.3 测试设置

3.3.1 运动和存在检测演示设置

使用以下设置程序进行运动和存在检测示例演示：

1. 将该雷达模块夹在三脚架上。距地面高 1.8m，无向下倾斜：0 度。



图 3-9. 三脚架上的设计模块

2. 将 USB 电缆连接到该设计模块，然后连接到 PC，为该模块加电并在 USB 转 UART 转换器使用的模块上与 IWRL6432AOP 器件通信。



图 3-10. 演示位置设置

3. 在 PC 上通过毫米波雷达工具箱运行 Visualizer GUI 软件并开始演示。点击 图 3-11 中所示四个步骤的按钮。步骤 2 中的 GUI 配置文件来自 *mmWave-SDK*。GUI 配置文件夹为：

Radar Toolbox installed directory
 \examples\mmw_demo\motion_and_presence_detection\profiles\xwrl64xx-aop\PresenceDetect.cfg

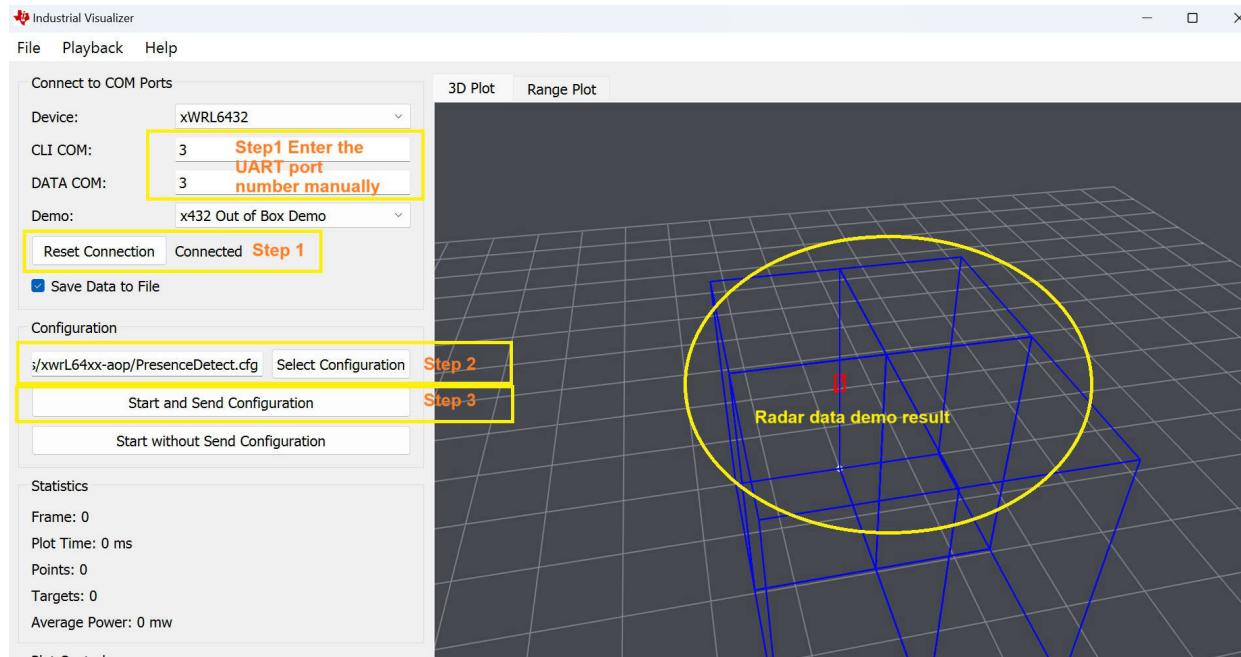


图 3-11. 用于演示的 Visualizer GUI 软件

3.3.2 Bluetooth® LE 通信演示设置

使用以下设置程序进行 Bluetooth LE 通信的运动和存在检测演示：

1. 将该雷达模块连接到 TIDA-010254 基础板上。将组合板夹在三脚架上。高度比地面高 1.8m，无向下倾斜：0 度。
2. 使用 18650 锂离子电池为基础板和雷达模块供电。



图 3-12. 三脚架上的采用 TIDA-010254 基础板的设计模块

3. 使用 USB 电缆加电并将 LAUNCHXLCC1352R1 无线 MCU LaunchPad™ 连接到 PC。



图 3-13. LAUNCHXLCC1352R1 已连接至 PC

4. 将 LAUNCHXLCC1352R1 布置在基础板和该设计雷达模块附近。TI 建议使距离小于 1m。



图 3-14. Bluetooth® LE 演示位置设置

5. 在 PC 上通过毫米波雷达工具箱运行 Visualizer GUI 软件并开始演示。按 图 3-15 中所示的三个步骤点击按钮。

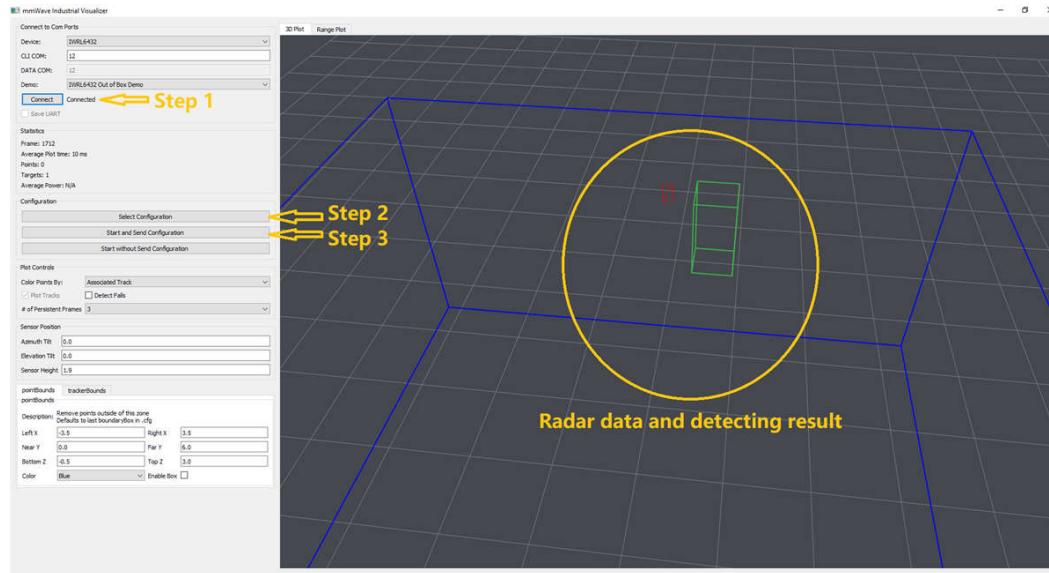


图 3-15. 用于演示的 Visualizer GUI 软件

3.4 测试结果

3.4.1 运动和存在检测演示测试结果

图 3-16 中的演示在 Visualizer GUI 软件中展示人员跟踪。

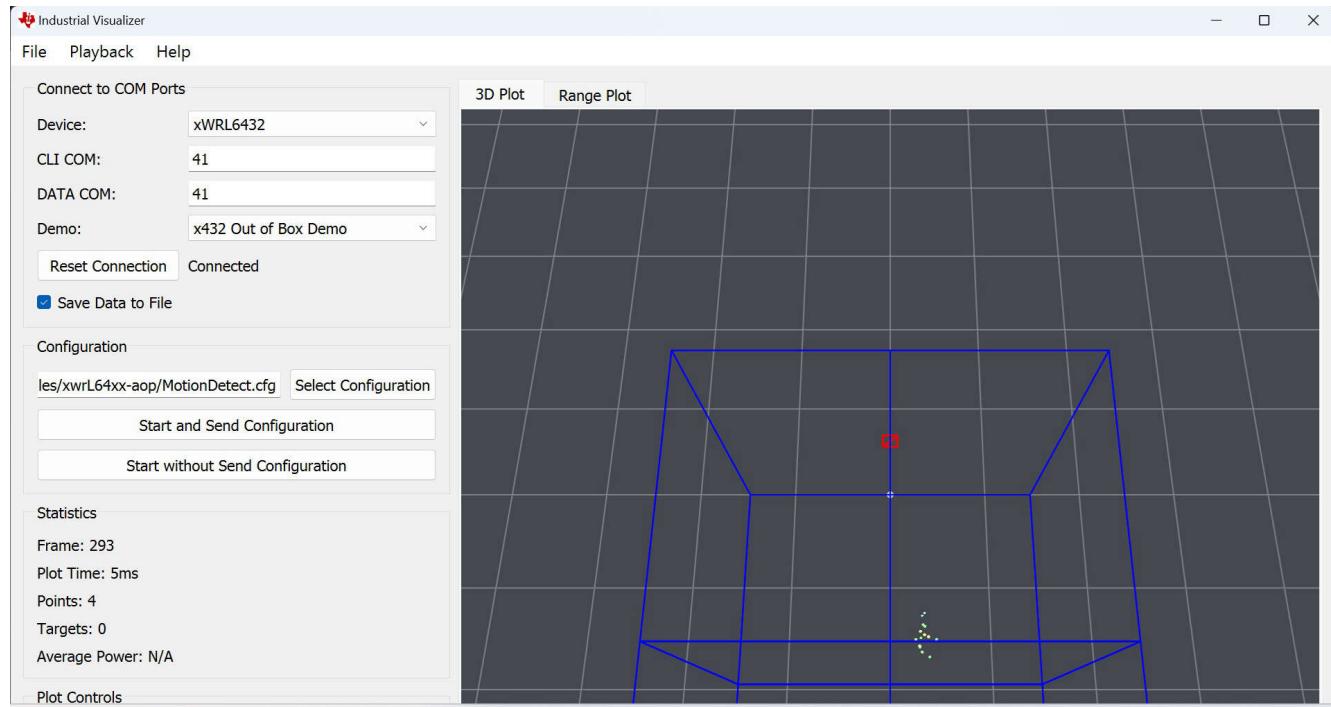


图 3-16. 适用于运动和存在检测演示的 Visualizer GUI 软件

在 ± 70 度的条件下，检测距离超过 8m。

有关毫米波人员跟踪和人员计数测试结果的更多详细信息，请参阅 [IWRL6432 人员跟踪](#)用户指南。

备注

TIDA-010967 旨在通过 PFM 开关和强制 PWM 开关同时在自动模式下运行直流稳压器。该方法可以显著降低系统级功耗，但会导致特定配置条件下的距离曲线中的参数偏差增加，在某些情况下降低性能。

3.4.2 Bluetooth® LE 通信演示测试结果

此演示利用 Bluetooth LE 串行端口配置文件 (SPP) 协议将雷达检测数据传输到 Visualizer GUI 软件。

Visualizer GUI 软件演示结果与运动和存在检测演示测试结果相同。

在露天办公环境中测得的 Bluetooth LE 通信距离约为 8m。有关测试设置和详细信息，请参阅 [TIDA-010254](#) 参考设计。

3.4.3 功耗测试结果

电源电流消耗测试点为 L4。移除 L4 并将数字万用表跨 L4 连接到该设计模块。

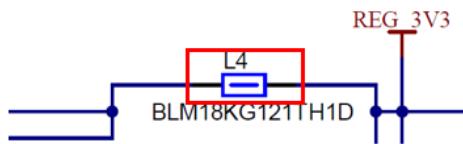


图 3-17. 功耗原理图设置

测试固件是 [RADAR-TOOLBOX](#) 中的可视门铃应用示例。appimage 的文件夹为：

```
Radar_Toolbox installed directory
\source\ti\examples\Industrial_and_Personal_Electronics\Video_Doorbell\prebuilt_binaries\video_doorbell_demo_aop.Release.appimage
```

下列活动是必要的或在安装过程中发生的：

- 使用 IWRL6432AOP 编程过程将 appimage 文件刷写到 TIDA-010967 雷达中。
- 将 TIDA-010967 板连接到 TIDA-010254 基础板。TIDA-010967 基础板添加了一个 TPS22995 作为 TIDA-010967 板输入电源 3.3VDC 电源轨的负载开关。
- TIDA-010254 上的 PIR 传感器唤醒 (上电) TIDA-010967，持续 5 秒。

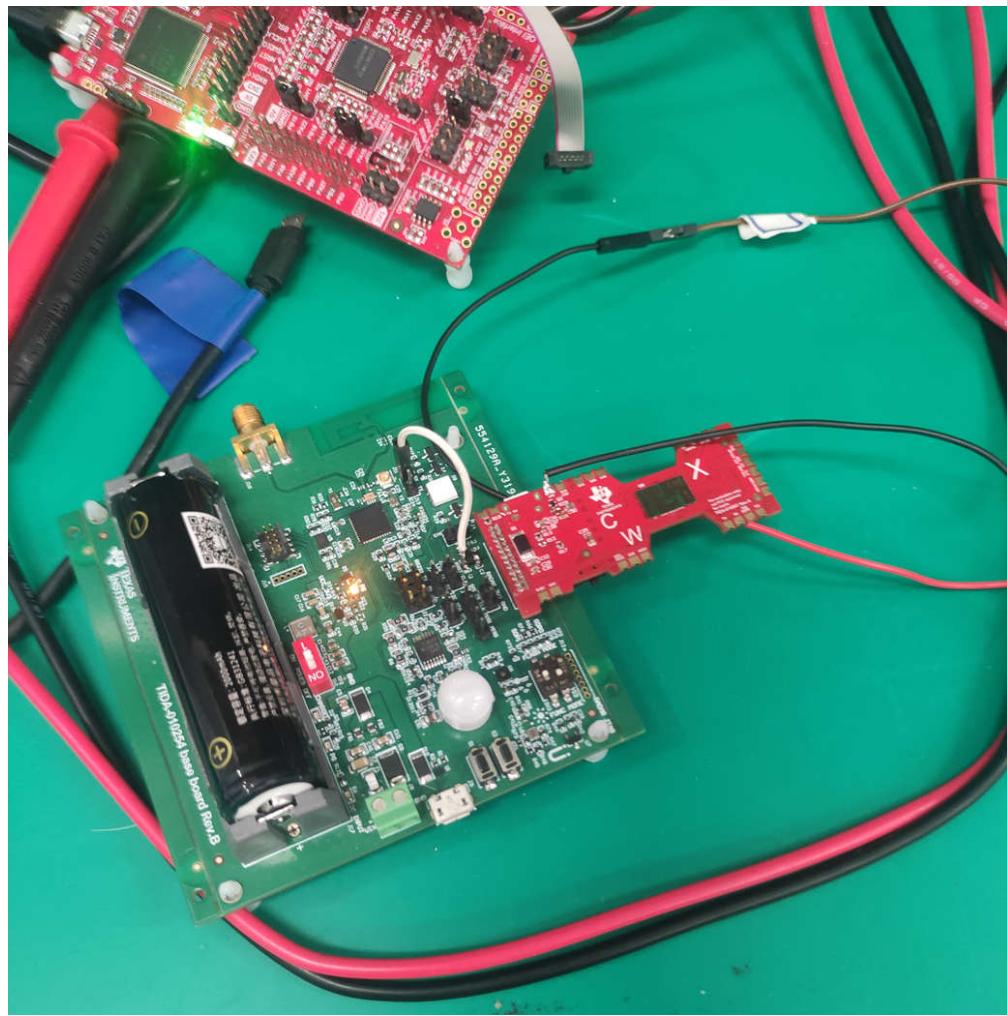


图 3-18. 测试设备设置

表 3-2 列出了电源测量的结果。电流在设计模块的输入电源 REG_3V3 处测得。

表 3-2. 功耗

| 测量器件 | 平均功率 每 2 分钟上电 5 秒 | 平均功率 每 5 分钟上电 5 秒 |
|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| TIDA-010967 ⁽¹⁾ | 3.3VDC 下为 0.288 μ A 0.95mW | 0.38mW |

(1) 根据发送到 xWRL6432AOP 的配置，该设计模块的电流消耗可能显著降低。另请参阅 [xWRL6432 低功耗雷达 - 功耗优化技术](#)应用手册。

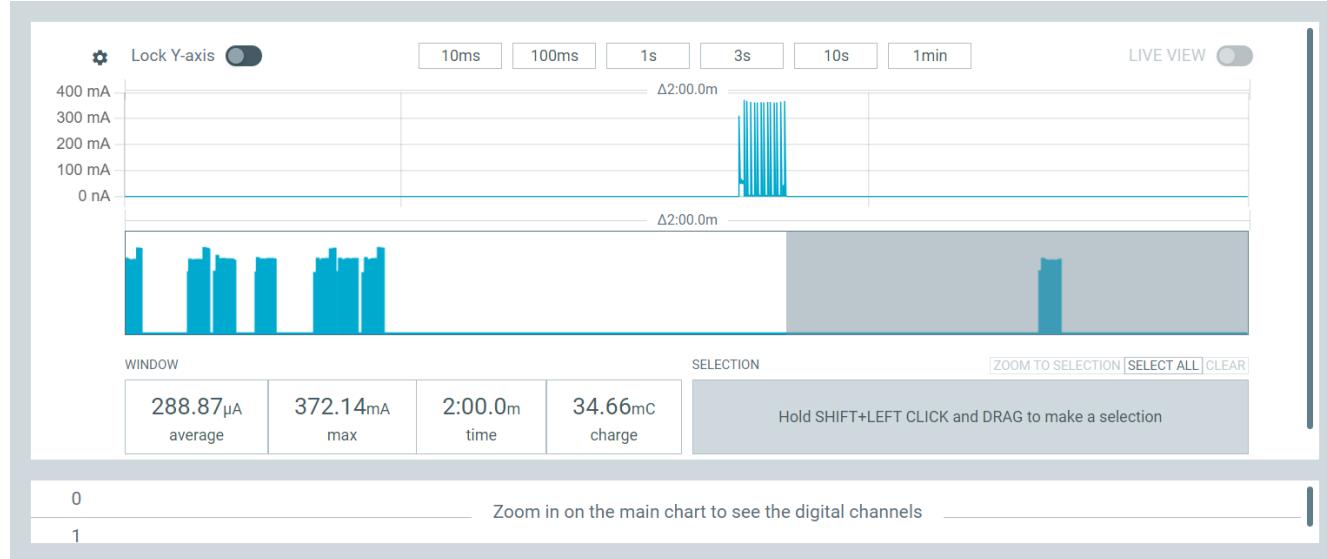


图 3-19. 模块电流波形帧

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-010967](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010967](#) 中的设计文件。

4.1.3 PCB 布局建议

该设计模块使用双层超低成本 FR4 PCB 材料。

| Top Overlay | | Overlay | | |
|-------------|----------------|-------------|--------|-----------|
| Top Solder | Solder Resist | Solder Mask | 0.4mil | 4.5 |
| 1 | Top Layer | Signal | 1oz | 1.401mil |
| | Dielectric 1 | Core | | 41.929mil |
| 2 | Bottom Layer | Signal | 1oz | 1.401mil |
| | Bottom Solder | Solder Mask | 0.4mil | 4.5 |
| | Bottom Overlay | Overlay | | |

图 4-1. PCB 层堆叠

4.1.3.1 布局图

要下载板层图，请参阅 [TIDA-010967](#) 中的设计文件。

4.2 工具与软件

工具

[Visualizer GUI](#) 适用于毫米波传感器的雷达工具箱

软件

[MMWAVE-L-SDK](#) 适用于 xWRL1432 和 xWRL6432 的毫米波软件开发套件 (SDK)

4.3 文档支持

- 德州仪器 (TI)，[IWRL6432AOP](#) 采用封装天线 (AOP) 的单芯片 57GHz 至 63.5GHz 工业雷达传感器数据表
- 德州仪器 (TI)，[TPS62850x](#) 采用 SOT583 封装的 2.7V 至 6V、1A/2A/3A 降压转换器数据表

4.4 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](#)。

4.5 商标

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

Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.

Zigbee® is a registered trademark of ZigBee Alliance.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

JUSTIN YIN 是德州仪器 (TI) 楼宇自动化系统工程与营销 (SEM) 团队的系统工程师，负责开发适用于楼宇安全系统和防火安全系统的传感参考设计项目。他在上海交通大学获得了控制工程硕士学位，并在上海工程技术大学获得了自动化理学学士学位。

ANKIT MOHANTY 是工业雷达团队的硬件应用工程师。他拥有国家技术学院电气工程学士学位。2023 年，Ankit 进入 TI 实习，随后以应届毕业生 (NCG) 的身份成为全职员工。此后，他成为雷达业务部门不可或缺的人才，为嵌入式系统设计和应用领域的各种雷达产品做出贡献。

CHETHAN KUMAR Y. B. 已在 TI 工作了 24 年。他拥有印度理学院的电子设计与技术硕士学位。他于 2000 年作为设计工程师加入 TI，后来在 TI 的模拟、无线和嵌入式处理部门内的多个团队内担任过多个职位。在过去 24 年里，他参与了多种混合信号产品的开发工作，涉及硅片、系统和应用领域。他在自己所在的领域发表了多项专利和论文，并在多个会议中分享。目前，Chethan 领导雷达小组中的硬件系统与应用团队，专注于毫米波无线系统。

ADABALA PAVAN KUMAR 是雷达团队的模拟设计工程师。他拥有班加罗尔印度科学学院 MVLSI 硕士学位。Pavan 以硬件应用团队实习生的身份加入 TI，负责天线和天线罩设计工作。目前他在模拟与射频设计团队工作。

DEVA ISSA 是德州仪器 (TI) 楼宇自动化系统工程和营销 (SEM) 团队的一名系统工程师。她拥有德州农工大学电气工程学士学位。Deva 于 2023 年进入 TI 实习，2024 以应届毕业生 (NCG) 的身份成为全职员工。

6 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 2025) to Revision A (October 2025) | Page |
|--|------|
| • 新增了 天线罩设计和仿真 部分。 | 10 |
| • 删除了 天线辐射图测量 部分。 | 15 |
| • 更新了 功耗测试结果 部分。 | 29 |
| • 更新了 节 4.1.3 中的 PCB 堆叠详细信息。 | 31 |

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