

Design Guide: TIDEP-01037

低功耗车内参考设计



说明

此设计为基于 AWRL6432 (TI 的单芯片 60GHz 汽车雷达传感器) 的脚踢开启 (KTO) 终端应用提供了一个低成本、小外形参考方案。该设计采用高频性能 PCB 材料, 适用于车内感应终端应用, 例如车内儿童检测 (CPD) 和入侵检测 (ID)。AWRL6432 器件运行基于机器学习的存在和检测算法, 对车辆乘员进行检测和分类。

资源

TIDEP-01037	设计文件夹
AWRL6432	产品文件夹
TCAN3404-Q1	产品文件夹
TPS65036x-Q1	产品文件夹

特性

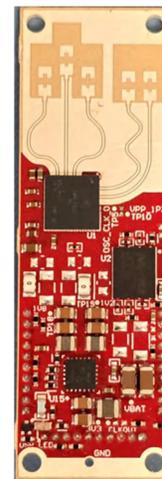
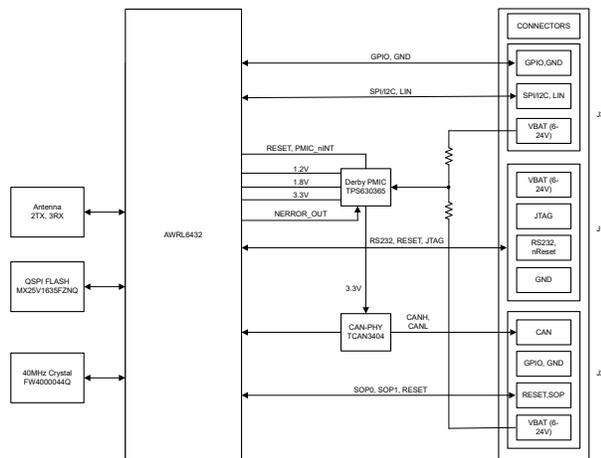
- 支持 12V 汽车电池连接
- 外形小巧 (18mm x 55mm)
- 宽天线 FOV (120° × 120°) 和 6.5dBi 峰值增益
- 用作基板的高性能 RO3003® 材料
- 通过板载 CAN PHY 和 LIN 信号连接来直接连接汽车网络
- 支持 3.3V IO

应用

- 车内感应
- 车内儿童检测
- 占位检测
- 入侵者检测
- 驾驶员生命体征监测
- 安全带提醒装置



请咨询我司 TI E2E™ 支持专家



1 系统说明

此参考设计基于 TI 的 60GHz 毫米波雷达传感器 AWRL6432 和完全符合汽车标准的物料清单 (BOM)。此设计具有小巧的外形，可轻松实现评估功能并集成到终端应用系统中。

AWRL6432 器件的运行基于调频连续波 (FMCW) 技术。此 FMCW 雷达系统使用两根 TX 天线发送射频信号，三根 RX 天线接收射频信号，可以捕获与反射雷达信号的距离、角度和速度相关的各种数据点，进而可以转换为检测到的特定动作或存在状态。

AWRL6432 器件由采用低功耗拓扑 (3.3V I/O) 的三个电源轨 (3.3V、1.8V 和 1.2V) 供电。这些电源轨由 TPS65036x-Q1 生成，它是一种使用 12V 电池电压输入的宽 V_{IN} Derby 电源管理集成电路 (PMIC)。由于使用单个 PMIC，该设计具有极小的外形尺寸。由电池供电的 12V 输入连接到从所有三个连接器引出的 VBAT 引脚。

此参考设计附带板载控制器局域网 (CAN) 物理层 (PHY)，有助于与外部汽车网络进行通信。此设计还支持基于串行外设接口 (SPI) 的原始数据采集。

1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

参数		注释	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IN}	电源电压	电池输入	6 ⁽¹⁾	12	24 ⁽¹⁾	V

(1) 尽管 TPS65036x-Q1 支持 4.0V 至 35V 的宽输入电压范围，但建议在 6V 至 24V 电压范围内运行此参考设计以确保其正常运行。

2 系统概述

2.1 方框图

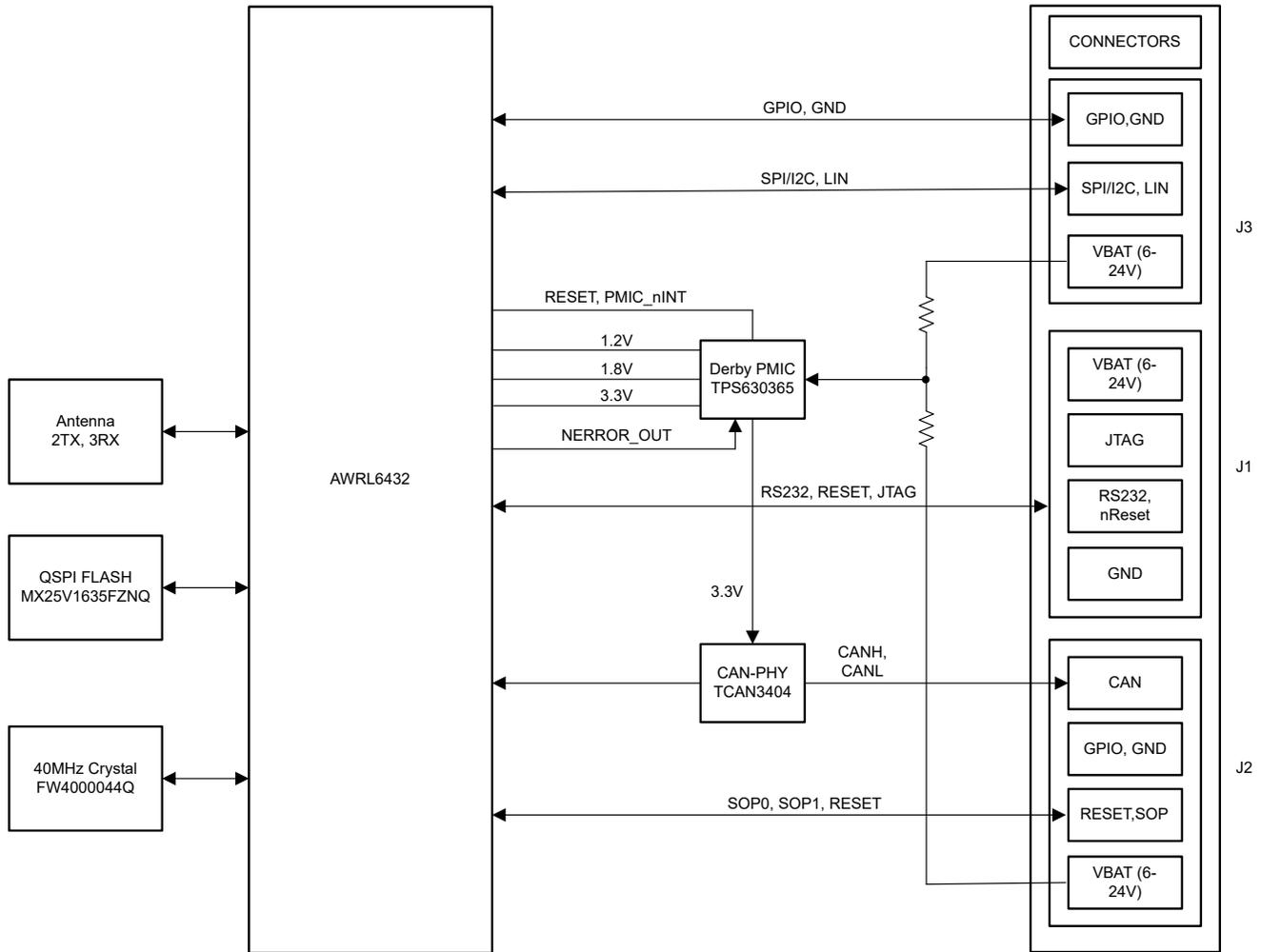


图 2-1. TIDEP-01037 方框图

2.2 设计注意事项

此设计旨在通过成本优化的物料清单为客户提供一个现成的小尺寸毫米波车内雷达传感器。在此设计中，由 PMIC 电源轨 (3.3V、1.8V 和 1.2V) 供电的 AWRL6432 器件无需使用多个直流/直流转换器，使设计具有超小的外形尺寸。为此电路板设计的天线能够使用高性能 Rogers® RO3003® 材料提供 120° (方位角) x 120° (仰角) 视场、3.5GHz 带宽和 6 到 7dBi 的峰值增益。此参考设计还采用 TI 的低成本、小尺寸、低功耗 Derby PMIC 和 CAN PHY。板载连接器 (J1、J2 和 J3) 可引出各种通信外设 (UART、RS232、SPI、CAN、LIN、JTAG、I2C、GPIO)、SOP、PWR 和 GND，包括一个专用的 10 引脚连接器 (J1) 用于直接连接 LP-XDS110，从而简化电路板运行。此设计中使用的板载连接器具有 1.27mm 间距，这也有助于减小电路板的总体外形尺寸。

2.2.1 电源拓扑

此参考设计采用低功耗模式电源拓扑并支持 3.3V IO。在此模式下，器件由三个电源轨（3.3V、1.8V 和 1.2V）供电。Derby PMIC (TPS65036x-Q1) 具有三个降压转换器，提供三个电源轨。这些转换器在强制 PWM 模式下运行；但可以配置为在 AutoPFM 模式下运行。

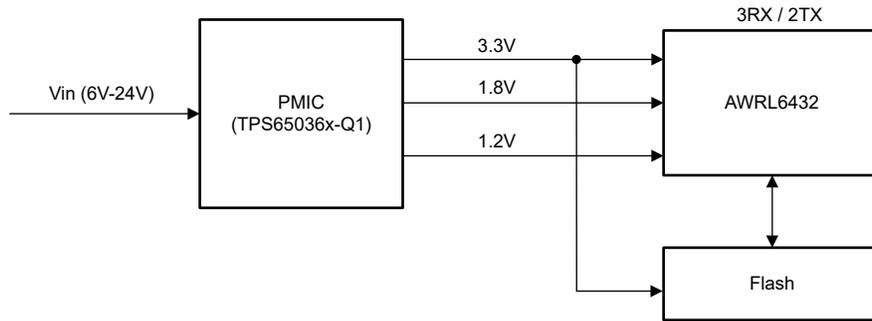
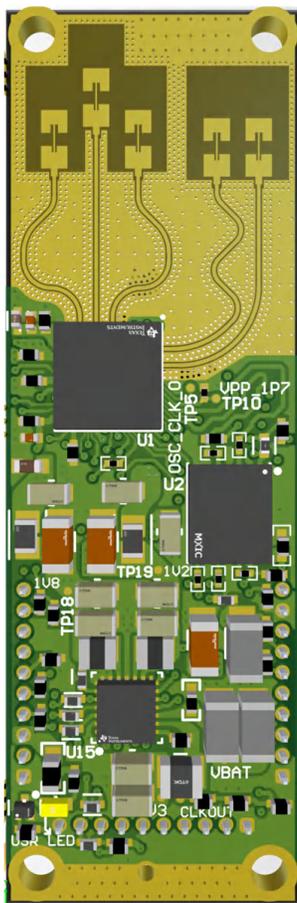


图 2-2. 电源拓扑

2.2.2 PCB 和外形因数

此参考设计旨在打造一个简单易用、可立即用于车内应用且紧凑的小型雷达模块。加上安装孔的情况下，电路板尺寸约为 18mm × 55mm (0.7in × 2.16in)。图 2-3 和图 2-4 分别显示了 PCB 的顶视图和底视图。



所示图像并不代表电路板的实际尺寸。

图 2-3. PCB 顶视图



所示图像并不代表电路板的实际尺寸。

图 2-4. PCB 底视图

车内应用需要将雷达器件安装在适当的位置，从而有效覆盖车内区域。制造商会探索中央顶部安装、前部安装、侧柱安装、第二排顶部安装等安装位置，以实现最佳覆盖范围。此参考设计的外形尺寸使雷达能够固定在前部头顶安装位置，以实现两排覆盖，如图 2-5 所示。

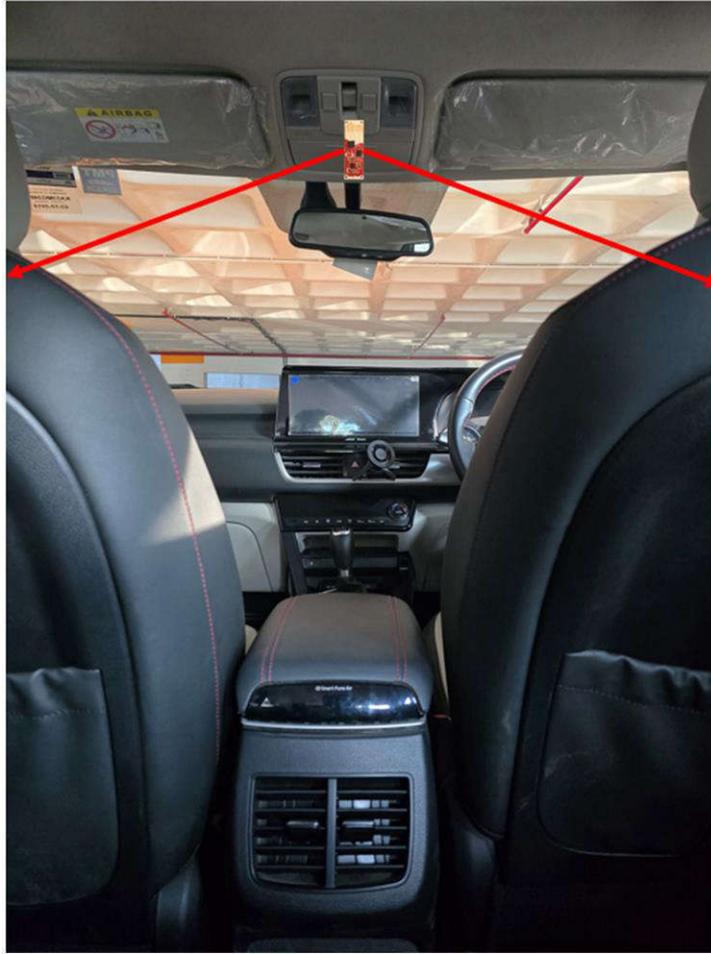


图 2-5. 前部安装传感器

2.2.3 天线

此参考设计包含用于三个接收器和两个发送器的板载蚀刻贴片天线。此天线设计可提供宽视场 (FoV) 方位角和仰角，并具有较高的增益和良好的带宽覆盖范围的。图 2-6 展示了此天线设计。

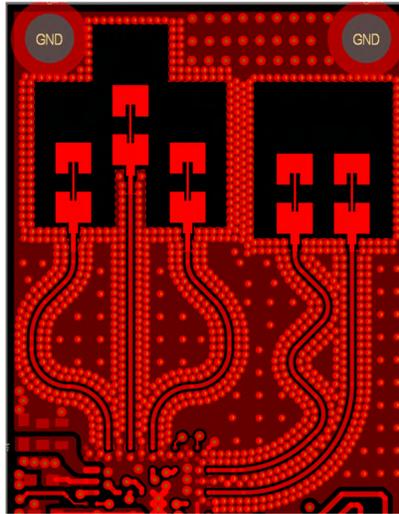


图 2-6. Altium 天线设计

此天线设计使用介电常数为 3，损耗正切约为 0.001 的 RO3003 基板材料，使得材料非常高效，并降低了功耗。57GHz 至 60.5GHz 工作频段的天线峰值增益大于 6dBi。图 2-7 展示了 S11 图。表 2-1 列出了性能参数。

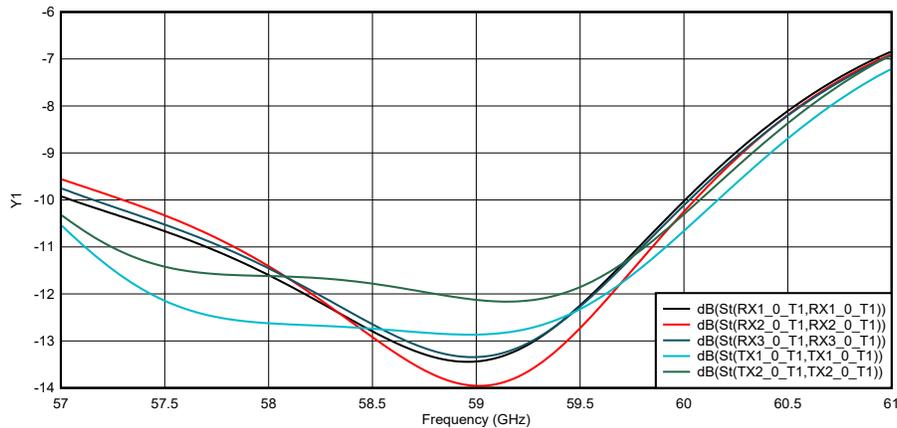


图 2-7. 天线 S11

表 2-1. 性能表

参数	值
增益	> 6dBi
FOV	120° (方位角) × 120° (仰角)
带宽	3.5GHz

图 2-8 展示了 RX2 天线元件在 59GHz 频率下的辐射方向图，其中包括水平面 (黑色, $\Phi = 0^\circ$) 和垂直面 (红色, $\Phi = 90^\circ$)。

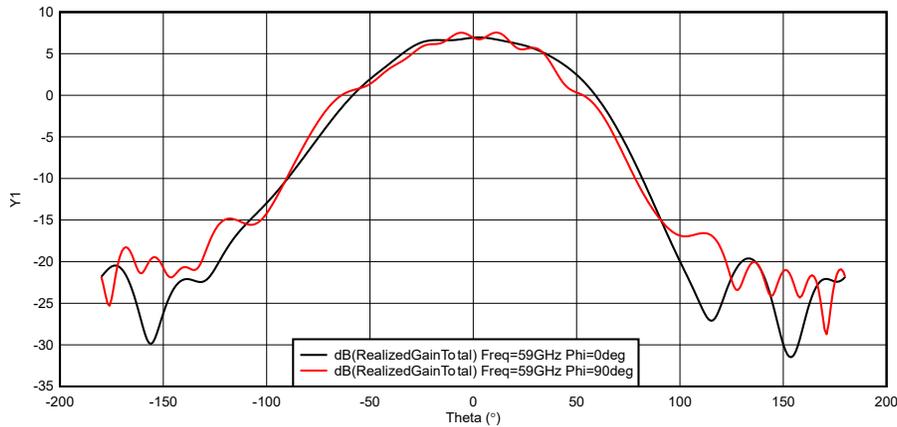


图 2-8. 天线方向图

2.3 重点产品

2.3.1 AWRL6432BGAMFQ1

这款集成式单芯片调频连续波 (FMCW) 雷达传感器的工作频段为 57GHz 至 63.9GHz。该器件采用 TI 的低功耗 45nm 射频互补金属氧化物半导体 (RFCMOS) 工艺制程，并且在超小封装 (SFF) 中实现了出色的集成度。AWRL6432 专为汽车领域的低功耗、自监控、超精确雷达系统而设计，适用于车内儿童检测、入侵监测、手势检测和占位检测等应用。

2.3.2 TCAN3404DDFRQ1

TCAN3404-Q1 器件是符合汽车电磁兼容性 (EMC) 标准的 3.3V 控制器局域网灵活数据速率 (CAN FD) 收发器 PHY。该器件与数据速率无关，因此向后兼容，可支持传统 CAN 应用，同时还支持高达 8Mbps 的 CAN FD 网络。该器件支持待机模式，可将收发器置于低电流消耗模式。在 CAN 总线上接收到有效的唤醒模式 (WUP) 后，器件会通过 RXD 引脚向微控制器发送信号。然后，MCU 可以使用 STB 引脚将器件置于正常模式。TCAN3404-Q1 支持超低功耗关断模式，在该模式下，大多数内部块都被禁用。此特性针对电池供电型应用进行了优化。

2.3.3 TPS65036x-Q1

TPS65036x-Q1 器件是一款高度集成的电源管理 IC，适用于汽车应用。此器件包含三个降压转换器和一个低压降 (LDO) 稳压器。BUCK1 降压转换器的输入电压范围高达 35V。所有转换器都可以在强制固定频率 PWM 模式或自动 PFM 模式下运行，并支持可选的展频调制 (SSM) 以降低 EMI。TPS65036x-Q1 支持低功耗模式，通过引脚或 I2C 进行控制。

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

3.1.1 开始使用硬件

此参考设计可以通过将 VBAT 引脚 (J2.2 或 J3.2) 连接到电池电源 (直流电源, 通常为 12V) 来上电。另一个选择是放置 R10 电阻并使用 J1.2 为器件上电。在这两种方式中, 都可以使用 LP-XDS110 将 AWRL6432 器件与 PC 连接起来。LP-XDS110 可访问板载 XDS110 (TM4C1294NCPDT) 仿真器, 该仿真器提供以下连接 PC 的接口:

- Code Composer Studio (CCS)[™] 连接的 JTAG :
- 应用或用户通用异步接收器/发送器 (UART) (配置和与 PC 进行数据通信)

3.1.1.1 上电选项

图 3-1 展示了上电连接。

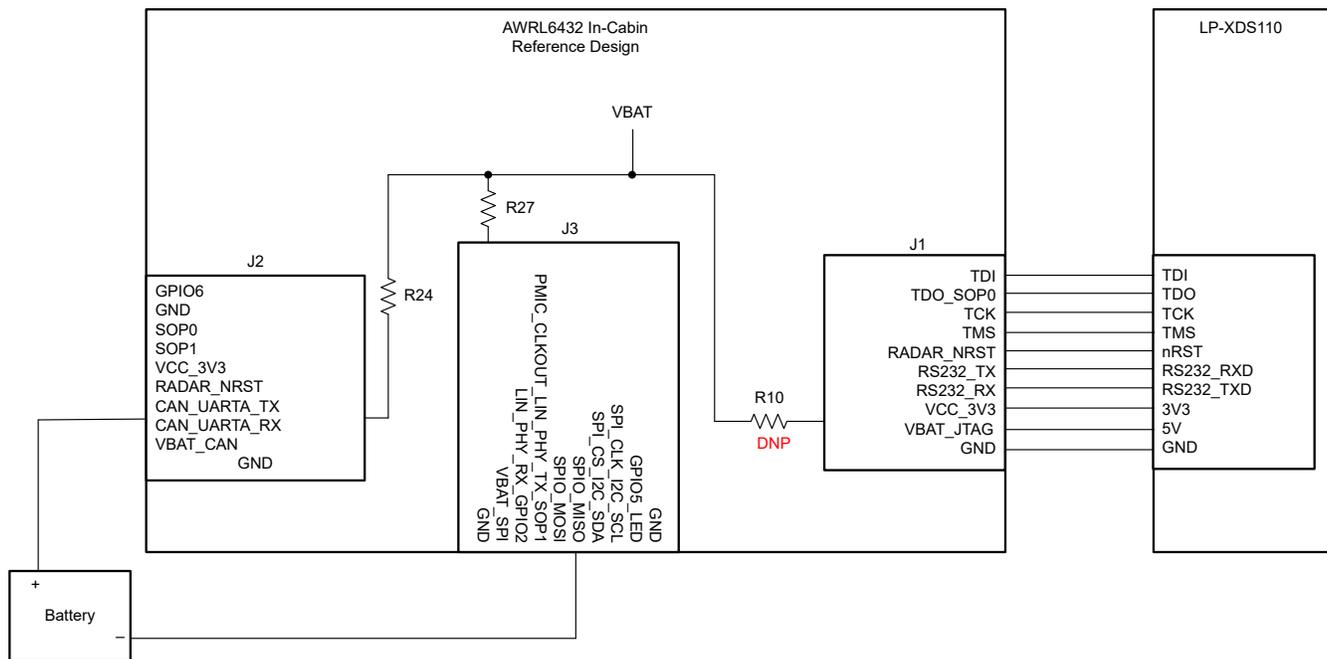


图 3-1. 上电连接

按照以下步骤通过上电选项为的参考设计上电：

1. 将 VBAT (J2.2 或 J3.2) 引脚连接到 12V 直流电源。在图 3-1 中, VBAT 被提供给 J2.2。
2. 将直流电源的 GND 引脚连接到参考设计的 GND 引脚或 LP-XDS110 的 GND 引脚, 以便在整个设置中提供公共 GND
3. 将跳线放置在 LP-XDS110 P9 连接器的 2-3 引脚上, 以确保参考设计向 LP-XDS110 提供 3.3V IO 电源
4. 使用母对母连接器将 J1 连接器与 LP-XDS110 底部的 10 个引脚连接在一起。请参阅图 3-1。
5. 使用 USB Type-C[®] 电缆为 LP-XDS110 上电
6. 确保在为器件上电时通电检测 (SOP) 线路的配置正确。有关正确的 SOP 配置, 请参阅节 3.1.2。
7. 由于 J1.6 引脚连接到 LP-XDS110 nRST 引脚, 因此可通过 LP-XDS110 复位开关来发出 nRESET

或者, 也可以在组装 R10 电阻后, 从 J1.2 提供 VBAT。

3.1.2 通电检测 (SOP)

AWRL6432 器件具有 3 种不同的启动模式 (SOP 模式) 配置：应用模式 (功能模式)、器件管理模式 [四线串行外设接口 (QSPI) 刷写模式] 和调试模式 (开发模式)。先执行表 3-1 所示的 SOP 模式配置。在设置正确的 SOP 模式之后，必须发出 nRESET 以注册 SOP 设置。

连接器引脚 J1.8 和 J1.7 分别专用于 SOP0 和 SOP1。默认情况下，SOP0 在参考设计中被拉至高电平，SOP1 被拉至低电平。因此，未从外部连接 J1.8 和 J1.7 时，器件将以应用 (功能) 模式启动。将 J1.8 连接到 GND 可将器件切换到器件管理模式 (QSPI 闪存模式)。同样，将 J1.7 连接到 VCC_3V3 可将器件切换到调试模式 (开发模式)。

表 3-1. 不同的 SOP 模式

SOP 模式	PMIC_CLK_OUT、TDO	组合 (SOP1、SOP0)	SOP1 所需的连接	SOP0 所需的连接
SOP_MODE1	器件管理模式 (QSPI 刷写模式)	00	NC	GND
SOP_MODE2	应用模式 (功能模式)	01	NC	NC
SOP_MODE4	调试模式 (开发模式)	11	VCC_3V3	NC

3.1.3 AWRL6432 初始化：电路板编程

使用 VBAT (通常为 12V) 连接为电路板供电后，必须将一个程序加载到外部闪存中。Radar Toolbox 中提供了用于运行脚踢开启演示的应用程序二进制文件、线性调频脉冲配置和 GUI (有关更多详细信息，请参阅节 3.2)。TI 还提供了毫米波低功耗软件开发套件 (L-SDK)。这是适用于 AWRLx 系列毫米波传感器的统一软件平台，可实现评估和开发。毫米波雷达可视化工具用户指南中介绍了如何使用此设计环境。按照以下步骤加载应用程序映像文件：

1. 从 UNIFLASH 下载并安装 UniFlash 软件：UniFlash 闪存编程工具。安装后继续执行下一步。
2. 使用节 3.1.1.1 中提到的上电选项将电路板与 PC 相连。
3. 打开 UniFlash 软件。从 Category 标题中选择 mmWave，从可用器件字段中选择 AWRL6432，然后点击 Start 按钮 (请参阅图 3-2)。

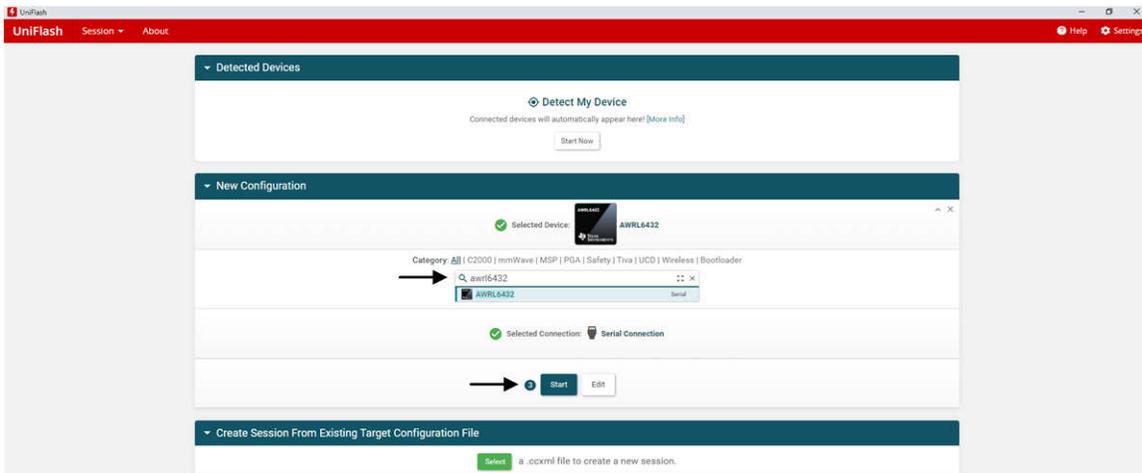
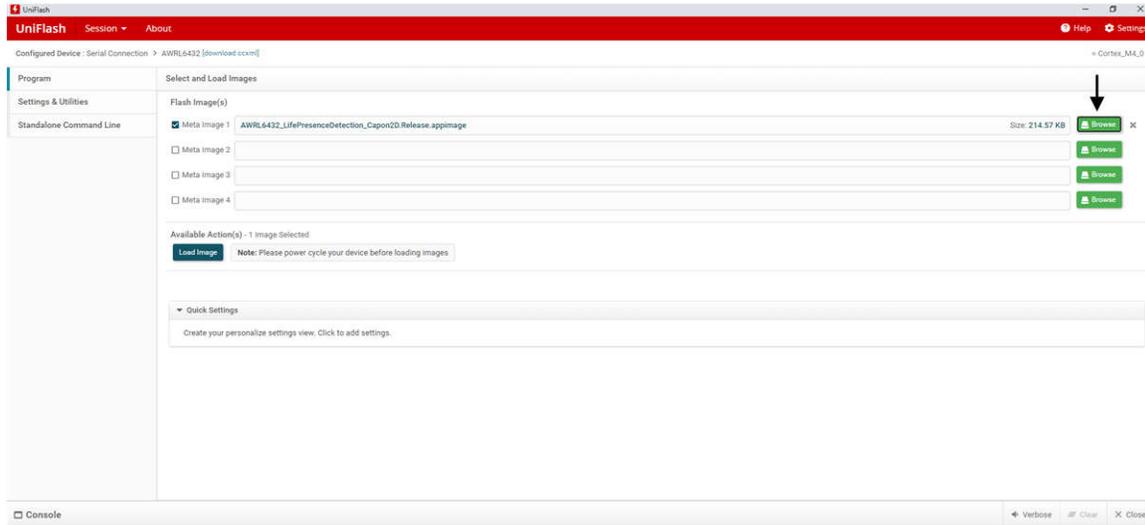
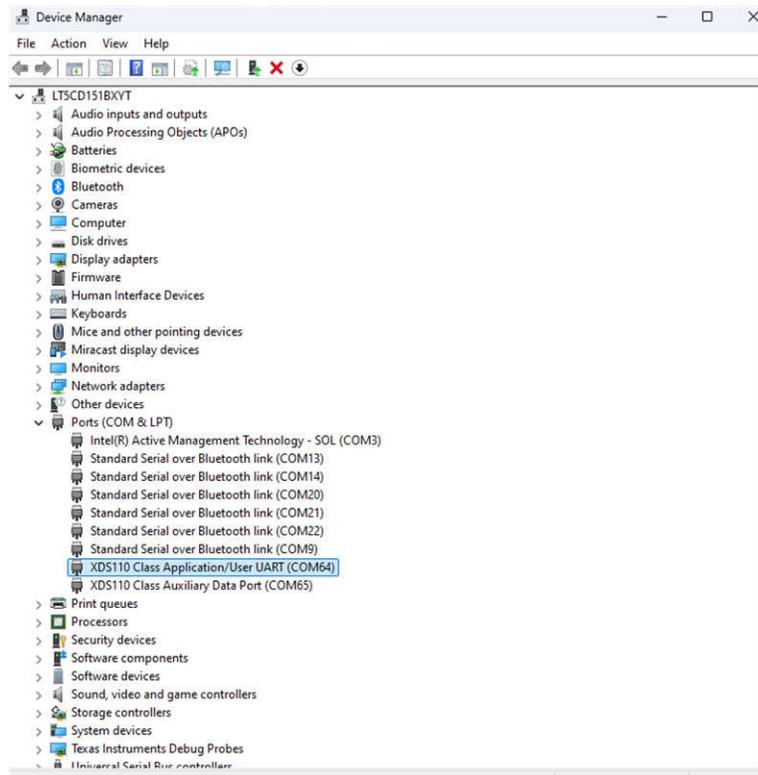


图 3-2. UniFlash 配置

4. 点击 **Browse** 按钮并导航到要加载的应用程序映像文件。文件路径和名称为
`<RADAR_TOOLBOX_INSTALL_DIR>\radar_toolbox latest version\source\ti
 \examples\InCabin_Sensing\AWRL6432_Life_Presence_Detection_Demo_Capon2D
 \prebuilt_binaries\AWRL6432_LifePresenceDetection_Capon2D.Release.appimage`。在字
 段中填入文件名后，点击程序左侧的 **Settings & Utilities** 菜单（请参阅图 3-3）。


图 3-3. UniFlash 设置

5. 将 LP-XDS110 连接到 USB 端口后，打开 Microsoft® Windows® *Device Manager*。找到 *XDS110 Class Application/User UART* 端口并记下 COM 端口号。图 3-4 中的示例显示该 COM 端口为 COM20。


图 3-4. 确定 COM 端口

- 返回到 UniFlash 软件并输入从设备管理器中记下的 COM 端口号。然后，点击窗口左侧的 **Program** 菜单以返回到上一个菜单（请参阅图 3-5）。

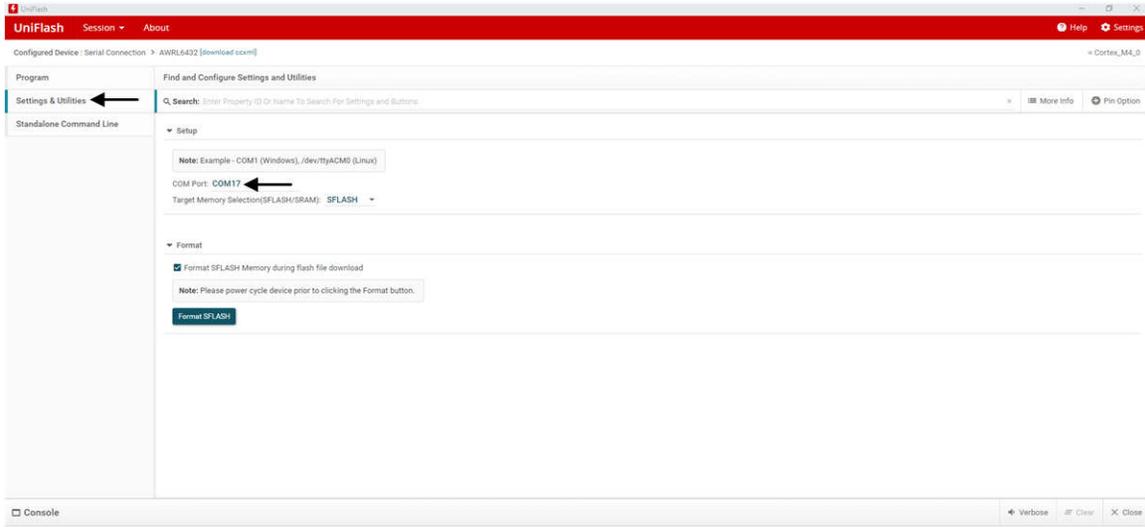


图 3-5. 输入 COM 端口

- 按下 LP-XDS110 上的复位按钮以复位 AWRL6432 器件。然后，选择 **Load Image**。此操作会将程序加载到闪存中。要执行该程序，请将 SOP 设置更改为功能模式。程序随即运行。

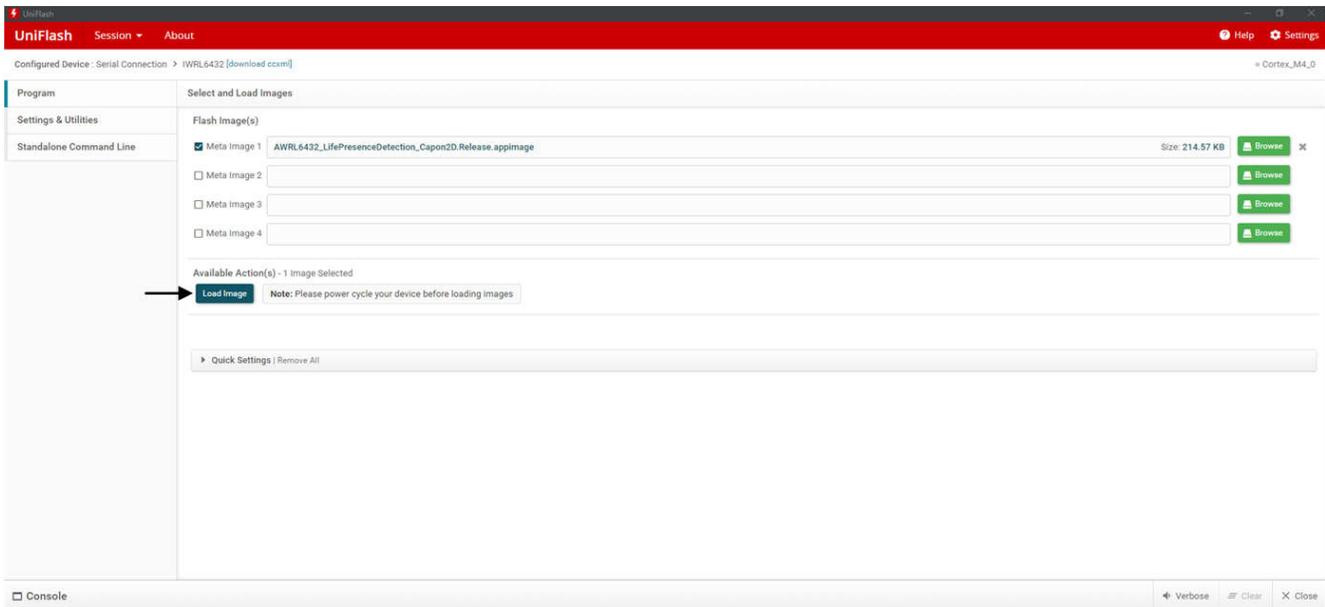


图 3-6. 加载映像

或者，可以通过可视化工具刷写 AWRL6432 器件。有关详细信息，请参阅 [毫米波雷达可视化工具用户指南](#)。

3.2 测试设置

按照 [硬件入门](#) 部分所述对器件上电并在不同的 SOP 模式下配置器件。

安装 [TI Resource Explorer](#) 中 *mmWave RADAR SENSORS* → *Embedded Software* 下的最新 Radar Toolbox。

请参阅

`\radar_toolbox latest version\source\ti\examples\InCabin_Sensing
\AWRL6432_Life_Presence_Detection_Demo_Capon2D\docs` 下的
`AWRL6432_Life_Presence_Detection_Capon2D_users_guide` 来运行 LPD 演示。

此参考设计中的 *生命体存在检测* 功能使用 AWRL6432 上的低功耗模式（低功耗深度睡眠）以及在用户应用代码空间中实现的 Capon2D 链算法，该算法可用于检测汽车座椅中的成人和儿童以及双排座汽车的搁脚空间中的儿童。

3.3 测试结果

本节演示了双排座汽车中的成人检测。图 3-7 和图 3-8 展示了检测前排成人和第二排成人的 GUI 显示。为了便于参考，以下显示的图像中还包括实时捕获的图像以及 GUI 图像。



图 3-7. 驾驶员座椅中的成人检测



图 3-8. 第二排座椅中的成人检测

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 [TIDEP-01037](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDEP-01037](#) 中的设计文件。

4.1.3 布局图

要下载板层图，请参阅 [TIDEP-01037](#) 中的设计文件。

4.1.4 Altium 工程

要下载 Altium 工程文件，请参阅 [TIDEP-01037](#) 中的设计文件。

4.1.5 Gerber 文件

要下载 Gerber 文件，请参阅 [TIDEP-01037](#) 中的设计文件。

4.2 工具与软件

工具

[适用于毫米波传感器的 Radar Toolbox](#) 提供一系列帮助评估 TI 雷达器件的演示、软件工具和文档。

UNIFLASH

UniFlash 是一款软件工具，用于对 TI 微控制器和无线连接器件上的片上闪存以及 TI 处理器的内部 FLASH 进行编程。UniFlash 提供图形界面和命令行界面。

MMWAVE-L-SDK

适用于 xWRL1432 和 xWRL6432 的毫米波软件开发套件 (SDK)：毫米波低功耗软件开发套件 (SDK) 是一个软件包集合，支持在 TI 的低功耗毫米波传感器上进行应用评估和开发。此工具包括 MMWAVE-L-SDK 和支持客户设计需求的配套包。

4.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[TPS65036x-Q1 汽车摄像头、雷达和 MCU PMIC 数据表](#)
2. 德州仪器 (TI)，[TCAN340x-Q1 具有待机模式和 ±58V 总线关断电压的 3.3V 汽车级 CAN FD 收发器数据表](#)
3. 德州仪器 (TI)，[AWRL6432 单芯片 57GHz 至 64GHz 汽车雷达传感器数据表](#)

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

TI E2E™ and Code Composer Studio (CCS)™ are trademarks of Texas Instruments.

Rogers® and RO3003® are registered trademarks of Rogers Corporation.

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementer's Forum.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

ABHED MISRA 是德州仪器 (TI) 毫米波雷达业务部门车身和底盘产品线的硬件应用经理。过去 20 年来，他一直从事 EVM 设计和参考设计。**Abhed Misra** 获得了印度国立理工学院 (斋浦尔) 通信技术专业的技术硕士学位。

SREEDEEP K S 是毫米波雷达车身和底盘产品线的硬件应用工程师。他拥有彼拉尼博拉理工学院 (BITS, Pilani) 的微电子学硕士学位。他于 2023 年加入 TI，目前仍然担任同一职位。自 2023 年以来，他一直从事 EVM 和参考设计开发。

SREEDEEP K S 是毫米波雷达车身和底盘产品线的硬件应用工程师。他拥有印度特里凡得琅工程学院应用电子和仪表工程学士学位。他于 2023 年加入 TI，目前仍然担任同一职位。

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司