

Design Guide: TIDA-020093

适用于汽车前置雷达的单芯片毫米波流式雷达参考设计



说明

随着自动驾驶功能日益丰富，汽车行业的发展重心正在向雷达的价值挖掘与性能优化转移。采用原始雷达数据流式拓扑，可同时提升雷达性能并降低成本。参考设计采用 AWR2188 雷达前端，具备 8TX 和 8RX 天线元件，可实现高角分辨率。该设计可与 DS90UB971S-Q1 FPD-Link™ 串行器相结合，将原始数据传输到中央处理单元和 MSPM0G3519-Q1 控制器，为流式雷达应用提供支持。系统中包含一个宽输入前置稳压器和一个雷达电源管理集成电路 (PMIC)，可提供对雷达性能至关重要的超低噪声电源。

资源

| | |
|---|-------|
| TIDA-020093 | 设计文件夹 |
| AWR2188、MSPM0G3519-Q1 | 产品文件夹 |
| DS90UB971-Q1、CDC6C-Q1 | 产品文件夹 |
| LM68635-Q1、TPS628501-Q1 | 产品文件夹 |

特性

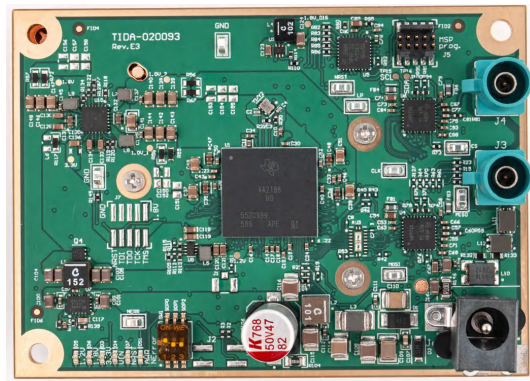
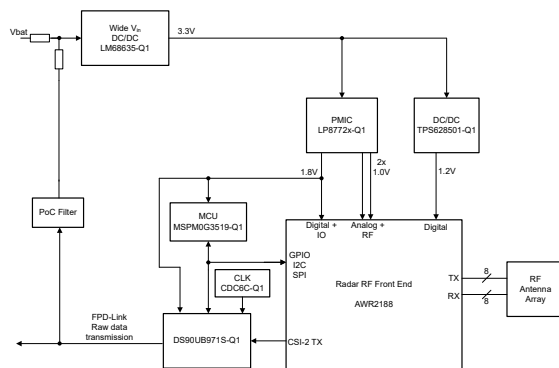
- 可用作成像雷达与远距离雷达的高性能雷达
- 8TX 和 8RX 3D 波导天线
- 设计经过空间优化，可安装在单个 PCB 上：82mm × 59mm
- 通过 FPD-Link™ 传输原始雷达数据
- 电源经过优化，具有小尺寸、高效率 and 低噪声
- 非电池电源或同轴电缆供电 (PoC)
- 功能安全型的诊断与监测功能

应用

- 用于中央处理的卫星、流式雷达
- 远距离雷达
- 4D 成像雷达



请咨询我司 TI E2E™ 支持专家



1 系统说明

全球汽车制造商致力于通过持续增强高级驾驶辅助系统 (ADAS) 功能来实现更高的自动驾驶水平。该雷达参考设计采用 TI 的集成电路构建完整雷达模块，通过结合 AWR2188 雷达收发器、低噪声电源及 FPD-Link 模数转换器 (ADC) 原始数据通信技术，实现了业界领先的性能，以应对汽车行业从边缘处理向流式雷达架构的转型趋势。

相较于传统边缘计算方法，流式雷达架构与集中式处理的结合具有显著优势：借助电缆供电技术，可有效降低传感器成本、尺寸、重量，并简化布线复杂度。此外，使用流式雷达传感器可实现系统可扩展性和模块化。如果能够将传感器放置在汽车周围更方便的位置，就可集成更多 ADAS 功能。该设计只需更改传感器的数量或配置就可以调整覆盖度数范围，从而将单个平台从成本敏感型低端车辆扩展到具有不同自主水平的差异化高端车辆。流式架构通过传感器融合算法和中央 ECU 更大的算力增加价值。通过软件简化的流式雷达传感器和差异化特性有助于降低系统复杂性并提供创造价值的新方法。性能、可扩展性和简易性等优势共同凸显了流式架构在汽车行业的突出地位。

1.1 主要系统规格

参考设计主要面向前向距离雷达系统应用，支持多种高级驾驶辅助系统 (ADAS) 功能，包括自适应巡航控制 (ACC)、自动紧急刹车 (AEB)、盲点检测、前侧来车辅助和车道变换辅助。表 1-1 列出了¹系统规格：

表 1-1. 主要系统规格

| 8 × 8 性能 | 说明 |
|------------|---|
| 最大距离 | 超远距离模式：高达 350m 远距离模式：高达 200m 中距离模式：高达 100m |
| 距离分辨率 | 超远距离模式：高达 0.43m 远距离模式：高达 0.29m 中距离模式：高达 0.14m |
| 最大速度 | 高达 - 300 至 +125kmph |
| 速度分辨率 | 高达 0.42kmph |
| 仰角 FoV | 高达 ±10 度 |
| 视轴处的仰角分辨率 | 高达 2 度 |
| 视轴处的仰角精度 | 高达 0.28 度 |
| 方位角 FoV | 高达 ±70 度 |
| 视轴处的方位角分辨率 | 高达 1 度 |
| 视轴处的方位角精度 | 高达 0.14 度 |
| 活动线性调频脉冲 | 高达 25ms |

¹ 正在进行的目标系统规格验证，以根据线性调频脉冲曲线和在中央 ECU 上运行的信号处理功能来确认性能和可能的偏差。

2 系统概述

该雷达模块可通过同轴电缆供电 (PoC) 或通过桶形插孔电源供电, 支持 12V 至 48V。输入电压首先经 LM68635-Q1 宽 VIN 降压转换器降至 3.3V, 再由 LP8772x-Q1 接收该 3.3V 输入, 并提供 1.8V 和 1.0V 电源轨, 为 AWR2188、DS90UB971S-Q1、MSPM0G3519-Q1 及 CDC6C-Q1 供电。TPS628501-Q1 为 AWR2188 生成所需的 1.2V 电压。通过 PoC 供电时, 数据与电力通过单根同轴电缆同步传输, 从而降低线束成本与重量。

2.1 方框图

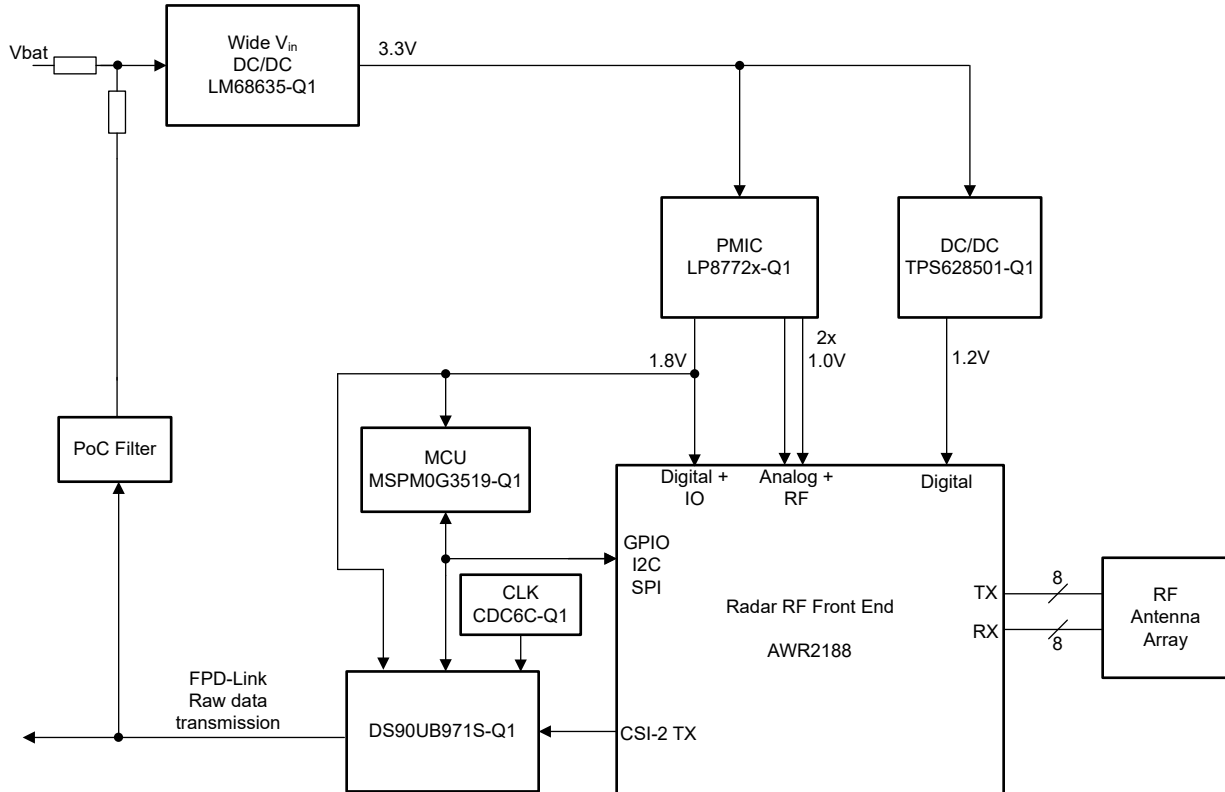


图 2-1. TIDA-020093 方框图

2.2 设计注意事项

流式雷达参考设计展示了一种贴近终端用户的检测方法, 其中每个元件都经过精心选择, 以构建一套无缝集成的高性能流式雷达系统。在其核心, AWR2188 是一款独立的 FMCW 收发器单芯片器件雷达传感器, 可简化 76GHz 至 81GHz 频段汽车雷达传感器的实现, 并提供卓越的探测距离、分辨率及原始数据传输能力。

DS90UB971S-Q1 FPD-Link IV 串行器设计用于通过同轴电缆传输雷达传感器原始数据, 并支持同轴电缆供电, 从而简化系统布线。该器件支持串行外设接口和 I2C, 可与 MSPM0G3519-Q1 微控制器及 LP8772x-Q1 电源管理集成电路 (PMIC) 通信。可通过通用输入输出 (GPIO) 控制 AWR2188 的复位与帧同步信号。

CDC6C025000-Q1 体声波 (BAW) 振荡器为 FPD-Link 串行器提供时钟。其低抖动和频率稳定性改善了 FPD-Link 的眼图质量, 并提升了系统在辐射抗扰度、大电流注入 (BCI) 和系统级静电放电 (ESD) 等干扰下的抗扰性能。

MSPM0G3519-Q1 微控制器取代闪存存储器并存储配置和固件。该微控制器将 I2C 转换为 SPI, 通过主处理器的 mmWaveLink 应用程序 API 进行交互, 并控制 AWR2188 的运行。该微控制器支持 AWR2188 的启动及运行时校准, 并提供特定网络安全增强功能, 以满足汽车传感器的网络安全要求。

LM68635-Q1 支持高达 70V 的输入电压。该设计 2.2MHz 的较高开关频率使其能够满足 FPD-Link 规范要求, 并提供低噪声输出电压来为系统供电。LP8772x-Q1 PMIC 在提供低噪声的同时具有 1% 的高压输出精度, 是 AWR2188 的推荐电源方案。这种在成本、BOM 和空间上均经过优化的 PMIC 电源方案为雷达传感器及其主要外

设供电。其集成降压稳压器的低噪声与低纹波性能符合 AWR2188 的噪声与纹波性能规格，可确保提供有效的雷达性能。配套的 TPS6285018A-Q1 降压转换器为 AWR2188 提供 1.2V 电源轨。

与兼容的主数据采集板结合使用时，该雷达评估板具备以流式配置对 AWR2188 进行评估所需的全部功能。

2.3 重点产品

2.3.1 AWR2188

AWR2188 器件是一款能够在 76GHz 至 81GHz 频带内运行的集成式单芯片 FMCW 收发器。该器件采用非常小的外形尺寸实现了出色的集成度。AWR2188 设计用于汽车领域中的低功耗、自监控、超精确雷达系统。

AWR2188 器件是一种自包含 FMCW 收发器单芯片器件，简化了汽车雷达传感器在 76GHz 至 81GHz 频带范围内的实施。该器件基于 TI 低功耗 45nm RFCMOS 工艺构建，从而实现了一个具有内置 PLL 和 ADC 转换器的单片实施 8TX、8RX 系统。简单更改编程模型即可得到各种传感器实现方案（近距离、中距离和远距离），并且能够进行动态重新配置，从而实现多模式传感器。此外，该器件作为完整的平台器件进行提供，该包括硬件参考设计、软件驱动程序、样例配置、API 指南以及用户文档。

2.3.2 DS90UB971S-Q1

DS90UB971S-Q1 是一款串行器，专为支持超高速原始数据传感器而设计，包括 800 万像素以上的成像仪、卫星雷达、激光雷达及飞行时间 (ToF) 传感器。该芯片提供 7.55Gbps 的正向通道数据传输能力，并配备超低延迟的 47.1875Mbps 双向控制通道。该器件支持通过单根同轴电缆或 STP 电缆进行供电。DS90UB971S-Q1 具备先进的数据保护与诊断功能，适用于 ADAS 等需要实现功能安全的汽车应用。在与配套的德州仪器 (TI) 解串器结合使用的情况下，DS90UB971S-Q1 可提供精确的多摄像头传感器时钟和传感器同步功能。此外，该器件还具有 I2C 接口、SPI 和多达 8 个 GPIO。

DS90UB971S-Q1 完全符合 AEC-Q100 标准，具有 -40°C 至 115°C 的宽工作温度范围。该串行器采用小型 5mm × 5mm VQFN 封装，适用于空间受限的传感器应用。

2.3.3 MSPM0G3519-Q1

MSPM0G3519-Q1 微控制器 (MCU) 是 MSP Arm® Cortex®-M0+ 32 位内核平台的一部分。该器件在成本、性能、安全性及设计灵活性之间实现了良好平衡，适用于汽车环境。为确保在极端环境中稳定运行，该 MCU 符合 AEC Q100 1 级认证标准，支持 -40°C 至 125°C 的扩展工作温度范围，并采用符合 ASIL-B 功能安全等级的架构设计。MSPM0 通过全面的引脚对引脚兼容设计，提供了极致的可扩展性与灵活性，使工程师能够构建顺应未来趋势的硬件设计方案，实现在多种车辆项目间的高效能扩展与平台整合。

MSPM0G351x-Q1 在通过汽车级认证的单芯片器件中集成了高性能计算核心（带数学加速器的 80MHz Cortex-M0+）与紧密耦合的模拟及数字外设。该 MCU 稳健的存储器子系统支持最高 512KB 带 ECC 校验的双组 OTA 闪存，以及 128KB 带奇偶校验的 SRAM。关键集成特性包括：两个 12 位 4Msps ADC、比较器、放大器、一个 12 位 DAC 及完整的通信套件（UART、I²C、SPI、CAN FD）。内置安全功能（AES、TRNG、CRC）保障数据完整性。依托成熟的汽车生态系统（包括量产级 CAN/LIN 驱动器、MCAL、诊断库及参考设计），该器件能够助力快速开发安全的集中式 ECU，同时有效降低 BOM 成本与系统复杂度。

2.3.4 LM68635-Q1

LM686x5-Q1 是一个汽车级降压转换器系列，专为实现高效率、高功率密度及超低电磁干扰 (EMI) 而设计。这些转换器在 3V 至 70V (可耐受 75V) 的宽输入电压范围内工作，减少了对外部输入浪涌保护的需求。LM686x5-Q1 提供可通过引脚选择的 3.3V 和 5V 固定输出电压，也可以采用可调节配置。得益于超小的环路电感和优化的开关节点压摆率，可实现低 EMI 运行。电流模式控制架构，搭配 30ns 典型最短导通时间，可在高频下实现高转换比，同时提供快速瞬态响应以及出色的负载和线路调整。

LM686x5-Q1 降压转换器专为功能安全相关应用而设计。一系列安全特性包括启动时的 ABIST、冗余和快速 VOUT 监测、反馈路径故障检测、冗余温度传感器、热关断和电流限制，可显著减少残余时基故障 (FIT)。

2.3.5 LP8772x-Q1

LP8772x-Q1 器件满足各种汽车和工业雷达应用中 AWR、IWR 及其他单片微波集成电路 (MMIC) 的电源管理要求。该器件包含三个降压 DC/DC 转换器、一个 LDO 稳压器以及一个负载开关。LDO 接收外部电力，并为以太网器件或系统中的任何其他器件供电。负载开关在传感器睡眠模式期间切断 3.3V IO 电源。该器件通过 I2C 通信接口和使能信号运行。

低噪声直流/直流降压转换器支持 17.6MHz、8.8MHz 或 4.4MHz 的出厂编程开关频率。高开关频率和宽频率范围内的低噪声可实现无 LDO 的电源方案，有助于降低设计成本并提高热性能。开关时钟会强制进入 PWM 模式以获得出色的射频性能，并且还可以与外部时钟同步。LP8772x-Q1 器件支持远程电压检测，可补偿稳压器输出与负载点 (POL) 之间的 IR 压降，从而提高输出电压的精度。

2.3.6 TPS6285018A-Q1

TPS62850x-Q1 包括一系列引脚对引脚 1A、2A (持续) 和 3A (峰值) 易用型高效同步降压 DC/DC 转换器。这些器件基于峰值电流模式控制拓扑，这些器件专为信息娱乐系统和高级驾驶辅助系统等汽车应用而设计。低阻开关可支持高达 2A 的持续输出电流和 3A 的峰值电流。TPS62850x-Q1 的开关频率可外部调节，可调范围为 1.8MHz 至 4MHz。这些器件还可以与相同频率范围内的外部时钟同步。在 PWM/PFM 模式下，该器件会在轻负载情况下自动进入省电模式，从而在整个负载范围内维持高效率。该系列可在 PWM 模式下提供 1% 的输出电压精度，这有助于实现具有高输出电压精度的电源设计。

2.3.7 CDC6C025000-Q1

德州仪器 (TI) 的高精度体声波 (BAW) 微谐振器技术集成于封装中，可实现低抖动时钟电路。与其他硅基制造工艺一样，BAW 完全由 TI 工厂设计和制造。

CDC6Cx-Q1 器件是一个低抖动、低功耗的固定频率振荡器，采用 BAW 作为谐振器源。工厂根据特定频率和功能引脚配置进行编程。借助频率控制逻辑和输出频率分频器，CDC6Cx-Q1 可生成 250kHz 至 200MHz 间的任意频率，可通过单个器件系列满足所有频率需求。

该器件的高性能时钟、机械稳定性、低功耗、灵活性和小型封装选项专为汽车应用中的基准时钟和内核时钟而设计。

3 系统设计原理

流式雷达设计需要高性能处理器以及解串器来检索和处理中央计算单元上的雷达数据。通过 PoC 供电时，可通过单根同轴电缆提供数据和供电。

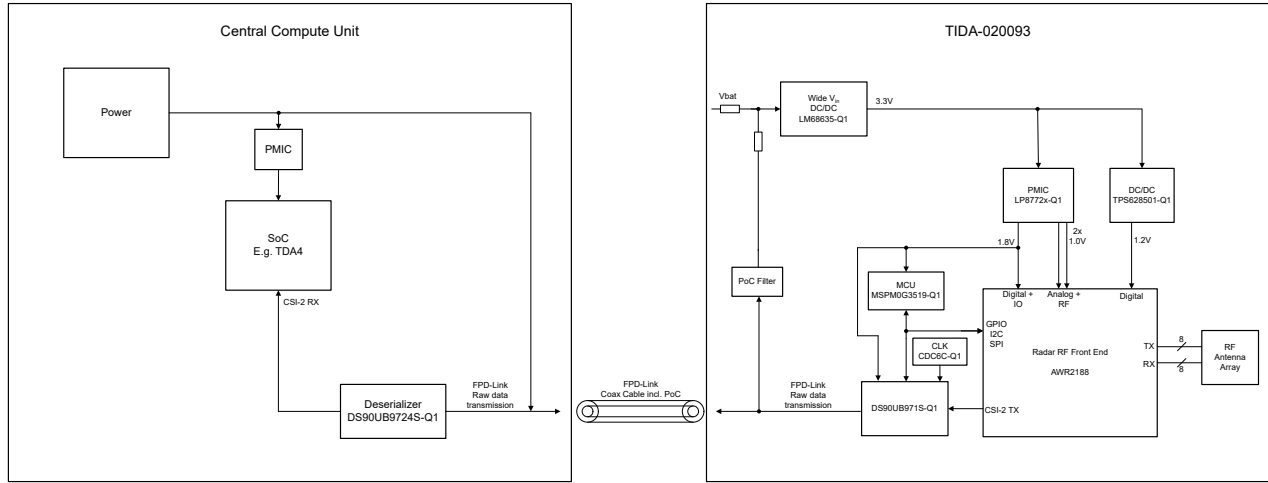


图 3-1. 中央计算单元和雷达模块系统图

3.1 诊断和监测功能

对于具有额外安全要求的系统，此参考设计中包含诊断和监控功能。

看门狗：LP8772x-Q1 器件包含可监测软件锁定情况的问答式看门狗，以及可监测随附 AWR2188 所产生锁步信号且具有故障注入选项的系统错误监测输入 (nERR)。在该实现方案中，使用 I2C 总线在 PMIC 和 MSPM0G3519-Q1 之间通信。该看门狗需要 MSPM0 以特定的时间间隔发出特定的消息，以检测 MSPM0 是否正常运行。当看门狗检测到 MSPM0 运行错误时，LP8772x-Q1 会利用 nRESET 引脚向 AWR2188 发出硬复位命令。

电压监控器 (VMON)：LP8772x-Q1 的电压监测引脚已连接到 TPS6285018A-Q1 产生的 1V2。因此，如果发生欠压或过压事件，PMIC 就可以监测该电源轨，并使用 nRESET 引脚向 AWR2188 发出硬复位命令。VMON 阈值和在 OV/UV 条件下采取的操作均在 PMIC 的非易失性存储器 (NVM) 设置中进行配置，并可通过 I2C 进行重新配置。

3.2 同轴电缆供电 (PoC) 网络

同轴电缆供电网络的作用是将高速数据信号与直流电源信号相分离。高速信号内容包含一个将视频和控制数据传送到解串器的高速正向通道和一个将控制数据传送到串行器的低速反向通道。

要设计合适的 PoC 网络，请考虑该网络必须能够进行滤波的频率范围。PoC 网络必须有效地对从反向通道频率的一半到正向通道频率的频率范围进行滤波。

参考设计支持同步和非同步模式下的 FPD-Link。PoC 滤波器需要支持 4.72MHz 至 3.775GHz 的频率范围。

表 3-1. PoC 滤波器要求

| 解串器 | 串行器 | 模式 | BC 频率 | FC 频率 | POC 滤波器频率范围 |
|----------------|---------------|-----|----------|----------|---------------------|
| DS90UB9724S-Q1 | DS90UB9715-Q1 | 同步 | 47.19MHz | 3.775GHz | 23.59MHz 至 3.775GHz |
| | | 非同步 | 9.44MHz | 3.775GHz | 4.72MHz 至 3.775GHz |

所选 PoC 滤波器支持 5MHz 至 4.2GHz 的频率范围，额定温度为 115°C 时的额定电流高达 1,000mA

表 3-2. PoC 滤波器元件选择

| 指示符 | 说明 | 器件型号 | 供应商 |
|------|-------------|----------------|-----|
| L10 | 电感器，10 μ H | ADM45FDC-100M | TDK |
| L11 | 电感器，2.2 μ H | ADL3225VM-2R2M | |
| L12 | | | |
| R132 | 1k Ω | | |
| R133 | | | |

3.3 SPI 和 I2C 通信接口

AWR2188、DS90UB971S-Q1 以及 MSPM0G3519-Q1 支持 I2C 和 SPI 通信。该板也同时支持这两种接口。默认情况下，会启用 I2C 来在 DS90UB971S-Q1 和 MSPM0G3519-Q1 之间进行通信。MSPM0G3519-Q1 通过 SPI 与 AWR2188 通信，通过 I2C 与 PMIC 通信。

可以修改连接模式，通过 SPI 将 DS90UB971S-Q1 直接连接到 AWR2188，并通过 I2C 与 PMIC 通信。这样，可以在不需要 MCU 的情况下绕过 MSPM0G3519-Q1。可完成以下操作来实施这一更改：

- 组装 R36、R61、R62、R63、R64、R69、R70、R127
- 移除 R82、R83、R84、R85、R86、R90、R91

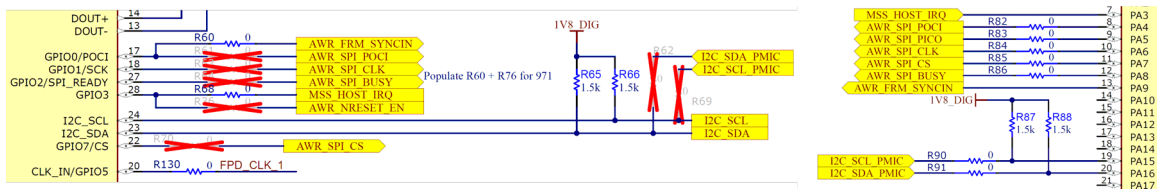


图 3-2. SPI 和 I2C 连接原理图

4 硬件、软件、测试要求和测试结果

TI 提供了多种连接选项，可将流式雷达参考设计连接到高性能主处理器以进行雷达处理。

4.1 硬件要求

采用 DCA2000EVM 数据采集与 mmWave Studio 后处理相结合的方法，验证流式雷达模块的功能。

表 4-1. 评估所需元件

| 数量 | 器件说明 | 器件型号 | 注释 |
|-----|--|--|--|
| 1 × | TIDA-020093 卫星雷达模块 | TIDA-020093 | |
| 1 × | DCA2000EVM 原始数据采集模块 | 立即申请 | 12V、≥5A 桶形插孔电源 (2.1mm 内径 × 5.5mm 外径 × 9.5mm) • 建议器件型号：SDM65-12-U-P5 |
| 1 × | 适用于 DCA2000EVM 的 DS90UB9724S-Q1 解串器适配器卡 | 立即申请 | 需要 12V 至 24V、≥ 2A 的桶形插孔电源 |
| 1 × | LP-XDS110 LaunchPad™ TMSDS 或 EMU110-U 调试探针 | LP-XDS110 、 TMDSEMU110-U | 用于对 MSPM0G3519-Q1 进行编程。 LP-XDS110 需要以下电缆：FFSD-05-D-06.00-01-N |
| 2 × | FAKRA 同轴电缆 (3.5GHz+) | 例如：TE: 2081376-3 | |

4.2 软件要求

- [UniFlash 9.1.0 或更高版本](#)
- 可通过安全访问途径使用：[立即申请](#)
 - DCA2000EVM 卫星固件映像
 - mmWave Studio 4.5.1.0
 - AWR2188 卫星雷达封装

若要在参考设计中对 MSPM0G3519-Q1 MCU 进行编程，请通过 Samtec 电缆和 J5 连接器将 XDS110 调试探针连接至 ARM 串行线调试 (SWD) 接口。

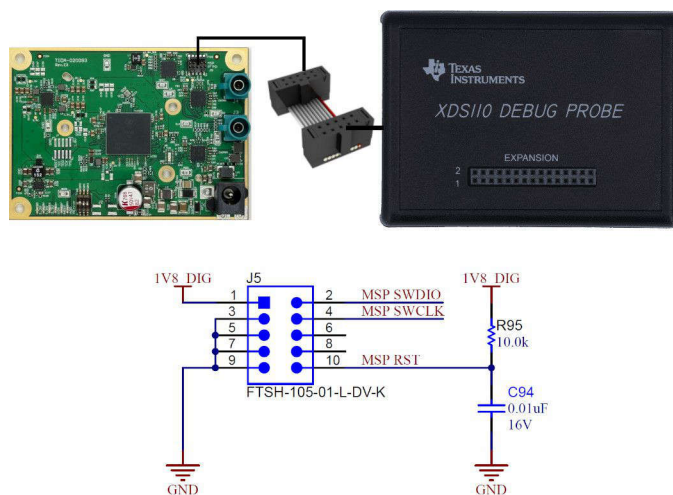


图 4-1. MSPM0G3519-Q1 编程

4.3 测试设置

4.3.1 注意事项



警告

表面高温！接触会导致烫伤。请勿触摸！

电路板上电后，某些元件可能会达到 55°C 以上的高温。在运行过程中或运行刚结束时，不得触摸电路板，因为可能存在高温。

4.3.2 数据采集方法

图 4-2 展示了使用 DCA2000EVM 的采集方法。

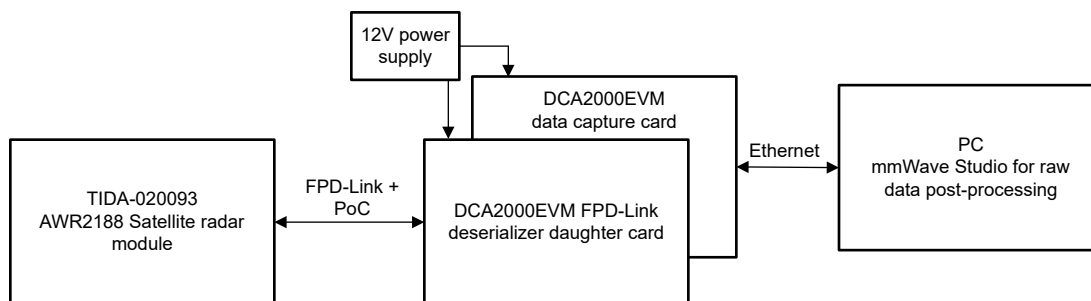


图 4-2. DCA2000EVM 雷达数据采集设置

参考设计通过同轴电缆连接，以将数据传输到 DCA2000EVM FPD-Link 解串器子卡。该子卡集成了 DS90UB9724S-Q1 FPD-Link 解串器。该子卡通过 Samtec 高速连接器将来自解串器的 CSI-2 连接到 DCA2000EVM。DCA2000EVM 将来自 AWR2188 的雷达数据存储在连接的 SSD 上，并能够通过标准以太网接口将记录的数据传输到 PC。

5 设计和文档支持

5.1 设计文件

5.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-020093](#) 中的设计文件。

5.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-020093](#) 中的设计文件。

5.1.3 PCB 布局建议

5.1.3.1 封装发射 (LOP 天线)

参考设计基于 TI 的 AWR2188 雷达芯片，该芯片采用了 TI 的 LoP 技术。辐射元件通过 PCB 的波导模块直接将射频信号发射到 3D 天线中。TI 的 LoP 技术支持将信号直接从封装传输到天线，这与传统的 MMIC 封装形成了鲜明的对比，后者需要首先将信号传输到 PCB，然后再传输到天线。发射元件嵌入到封装底层，而发射元件周围的 BGA 焊球会在信号通过 PCB 波导孔传播到 3D 天线时提供射频屏蔽。要检查 PCB 的狗骨形切口以及波导模块的安装孔、定位孔与边界，请参阅 [TIDA-020093](#) 设计文件。

5.1.3.2 同轴电缆供电 (PoC)

PoC 滤波器靠近 Fakra 连接器放置，包含多个用于分离数据与电力信号的电感器。选择布线宽度以提供 $50\ \Omega$ 的单端特性阻抗（微带或带状线）。为了与阻抗匹配并能够承受消耗的电流，可接受约 8mil 至 10mil 的布线宽度。保持 Fakra 连接器尽可能靠近 PoC 滤波器的第一个电感器。

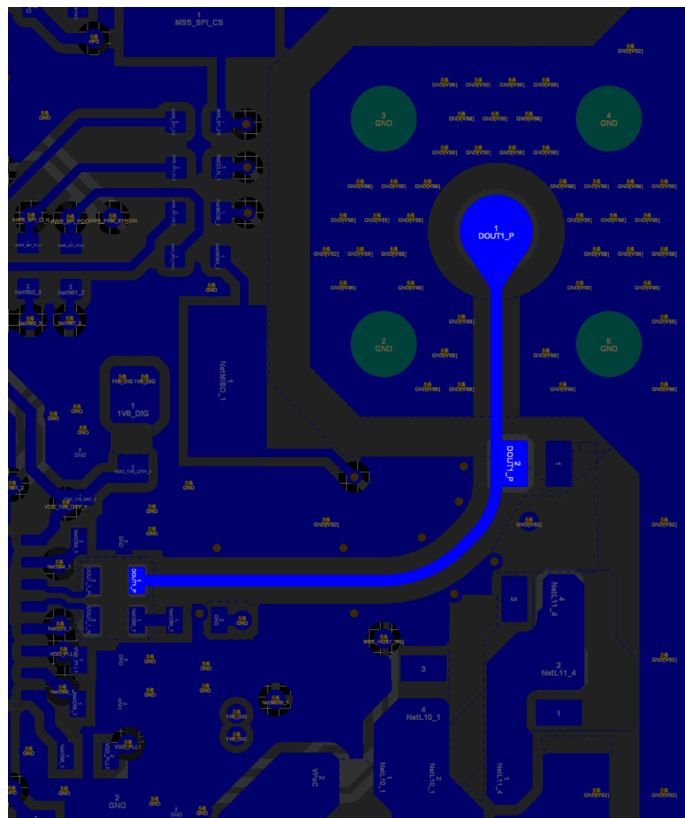


图 5-1. FPD-Link™ DOUT1_P PoC 布线

5.1.3.3 PCB 层堆叠

以下信息为 PCB 层堆叠建议。鉴于目标应用为汽车领域，在设计过程中需采取若干额外措施与考量，特别是在处理高速信号与小型 PCB 时：

- 至少使用一个具有电源和接地平面的四层电路板。将 LVCMOS 信号远离差分线路布置，以防止 LVCMOS 线路与差分线路耦合
- 如果使用四层板，则第 2 层必须是接地平面。由于大部分元件与开关电流均位于顶层，该设计能有效降低电流通过平面返回时产生的过孔电感效应。
- 该板中使用了两个额外的层以简化 BGA 扇出和布线。图 5-2 展示了该六层板中使用的堆叠结构：

| # | Name | Material | Type | Weight | Thickness | Dk | Copper Orientation |
|---|-------------------------|---------------|-------------|--------|-----------|-----|--------------------|
| | Top Overlay | | Overlay | | | | |
| | Top Solder | Solder Resist | Solder Mask | | 0.5mil | 3.5 | |
| 1 | Layer 1 - Top Layer | | Signal | 1oz | 1.378mil | | Above |
| | Dielectric 1 | FR-4 High Tg | Prepreg | | 7.992mil | 4.4 | |
| 2 | Layer 2 - GND | | Signal | 1oz | 1.181mil | | Above |
| | Dielectric 2 | FR-4 High Tg | Core | | 0.984mil | 4.2 | |
| 3 | Layer 3 - CSI and Power | CF-004 | Signal | 1oz | 1.181mil | | Below |
| | Dielectric 6 | PP-006 | Prepreg | | 7.992mil | 4.4 | |
| | Dielectric 4 | FR-4 High Tg | Prepreg | | 4.213mil | 4.2 | |
| | Dielectric 7 | PP-006 | Prepreg | | 7.992mil | 4.4 | |
| 4 | Layer 4 - GND | CF-004 | Signal | 1oz | 1.378mil | | Above |
| | Dielectric 5 | FR-4 High Tg | Core | | 0.984mil | 4.2 | |
| 5 | Layer 5 - Signal | | Signal | 1oz | 1.378mil | | Below |
| | Dielectric 3 | FR-4 High Tg | Prepreg | | 7.992mil | 4.4 | |
| 6 | Layer 6 - Bottom Layer | | Signal | 1oz | 1.378mil | | Below |
| | Bottom Solder | Solder Resist | Solder Mask | | 0.5mil | 3.5 | |
| | Bottom Overlay | | Overlay | | | | |

图 5-2. PCB 层堆叠

5.1.3.4 电路板照片

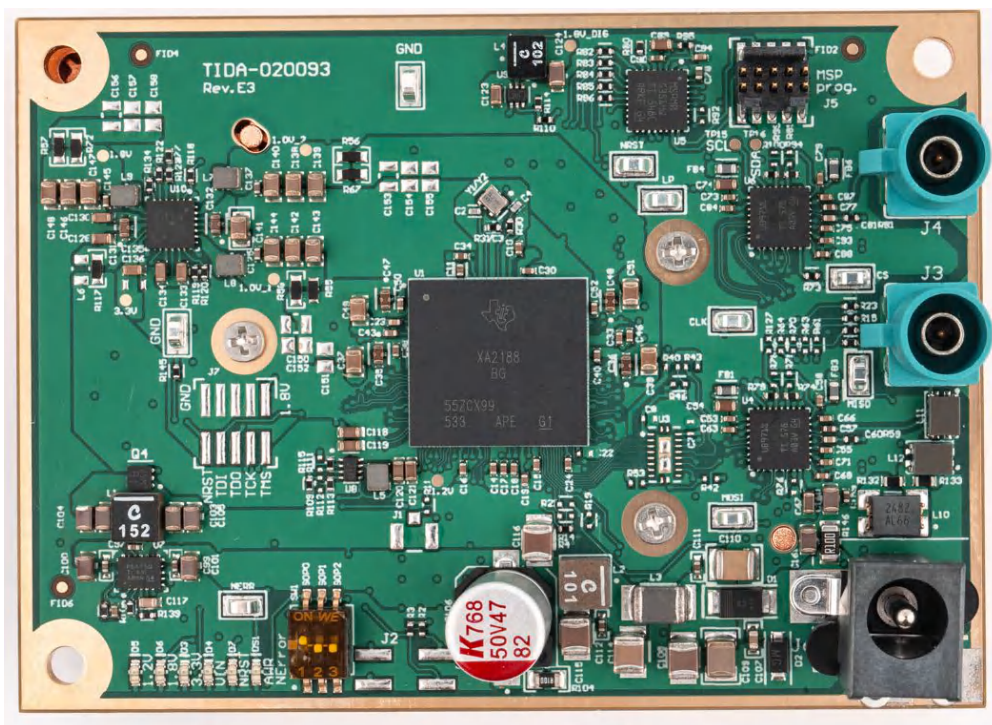


图 5-3. 电路板 A 侧

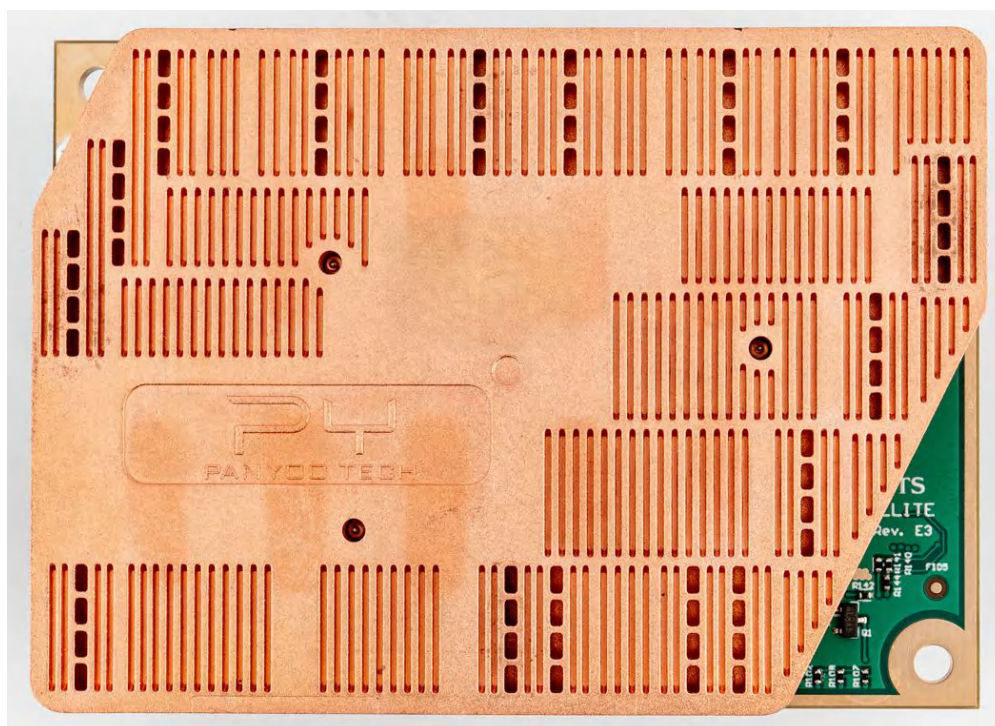


图 5-4. 电路板 B 侧

5.2 工具与软件

工具

| | |
|--|---------------------|
| DCA2000EVM | 适用于雷达传感的数据采集适配器评估模块 |
| LP-XDS110、TMDSEMU110-U | XDS110 JTAG 调试探针 |
| LP87725Q1EVM | LP87725-Q1 评估模块 |
| DS90UB9724S-Q1EVM | DS90UB9724S-Q1 评估模块 |
| DS90UB971S-Q1EVM | DS90UB971S-Q1 评估模块 |

软件

| | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| MMWAVE-STUDIO | mmWave Studio |
| UNIFLASH | UniFlash 闪存编程工具 |
| CCSTUDIO | Code Composer Studio™ 集成开发环境 (IDE) |
| MSPM0-SDK | MSPM0 软件开发套件 (SDK) |

5.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI), [毫米波传感器入门应用手册](#)
2. 德州仪器 (TI), [使用毫米波雷达传感器且符合功能安全标准的系统设计指南](#) 功能安全信息
3. 德州仪器 (TI), [毫米波技术的进步：汽车雷达封装发射技术白皮书](#)
4. 德州仪器 (TI), [FPD-Link ADAS 同轴电缆供电设计指南](#) 应用手册
5. 德州仪器 (TI), [MSPM0 MCU 中的网络安全机制技术白皮书](#) 应用手册
6. 德州仪器 (TI), [毫米波雷达传感器基础知识营销白皮书](#)
7. 德州仪器 (TI), [对 TI 雷达器件中的线性调频脉冲参数进行编程](#) 应用手册
8. 德州仪器 (TI), [毫米波器件固件包 \(DFP\)](#)

5.4 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](#)。

5.5 商标

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

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

所有商标均为其各自所有者的财产。

6 作者简介

YANNIK MUENDLER 是德州仪器 (TI) 汽车 ADAS 系统工程和营销团队的系统工程师。他专攻雷达等外部 ADAS 传感器及高性能计算单元，同时也专注于单线对以太网与 FPD-Link™ 等高速接口技术。Yannik 拥有德国兰茨胡特应用技术大学电气工程硕士学位。

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、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