

Design Guide: TIDA-010274

航天级分立式射频采样收发器参考设计



说明

此参考设计是一款分立式射频采样收发器，支持高达 5GHz 的瞬时信号带宽。该设计采用了专为航天应用设计的 SEP (增强型航天塑料) 级抗辐射有源器件。接收器使用 ADC12DJ5200-SEP ADC (模数转换器)。发送器使用 DAC39RF10-SEP DAC (数模转换器)。这些数据转换器支持各种不同的 JESD 模式，有助于 1 或 2 个输出通道在高达 X 带下部的位置运行。接收器包含 TRF0208-SEP 有源平衡-非平衡变压器，用于将单端输入转换为差分输出。发送器包含 TRF0108-SEP 有源平衡-非平衡变压器，用于将差分输出转换为单端输出。时钟设计位于一个插入主数据转换器板顶部的子板上。时钟卡包含 LMK04832-SEP，用于生成低频时钟和基准信号并分配给合成器、数据转换器和 FPGA。LMX2694-SEP 射频合成器为 DAC 提供 10GHz 采样时钟，并为 ADC 提供 5GHz 采样时钟。电源设计位于插入电路板底部的子卡上，负责为电路板上的所有有源器件进行电源分配。

资源

TIDA-010274	设计文件夹
ADC12DJ5200-SEP	产品文件夹
DAC39RF10-SEP	产品文件夹
LMK04832-SEP	产品文件夹
LMX2694-SEP	产品文件夹
TRF0208-SEP	产品文件夹
TRF0108-SEP	产品文件夹
TPS7H4010-SEP	产品文件夹
TPS7H1111-SEP	产品文件夹
TPS7H1210	产品文件夹



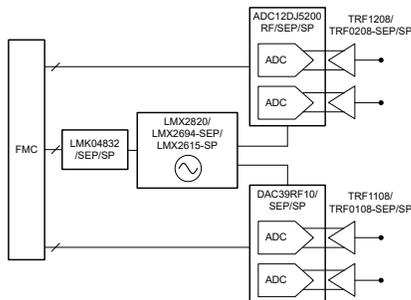
请咨询我司 TI E2E™ 支持专家

特性

- 高达 5GHz 瞬时带宽
- 可在高达 X 带内运行
- 10GHz/5GHz 时钟设计
- 宽带有源数据转换器接口
- 可插拔时钟设计
- 可插拔电源设计

应用

- 通信有效载荷
- 雷达成像有效载荷
- 命令和数据处理 (C&DH)



1 系统说明

与通信和雷达相关的卫星有效载荷应用利用宽瞬时带宽信号来支持大量数据。这些应用需要灵活、可配置的解决方案，并且解决方案能够在不同频段中快速重新配置。对于高达 **8GHz** 左右的应用，射频采样架构直接支持。对于在 **Ka 频带 (27GHz - 40GHz)** 上工作的应用，射频采样架构用作 **IF** 级来对频率进行上/下变频。这些系统在近地轨道 (LEO) 应用中运行，并需要抗辐射有源器件。

1.1 术语

- ADC：模数转换器
- DAC：数模转换器
- NCO：数控振荡器
- IF：中频
- LO：本机振荡器
- BW：带宽

2 系统概述

2.1 方框图

图 2-1 显示了参考设计的方框图。图 2-2 显示了电源设计的方框图。

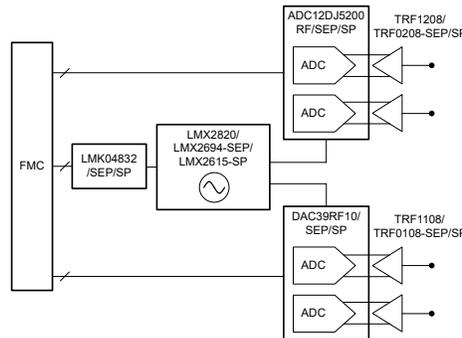


图 2-1. TIDA-010274 方框图

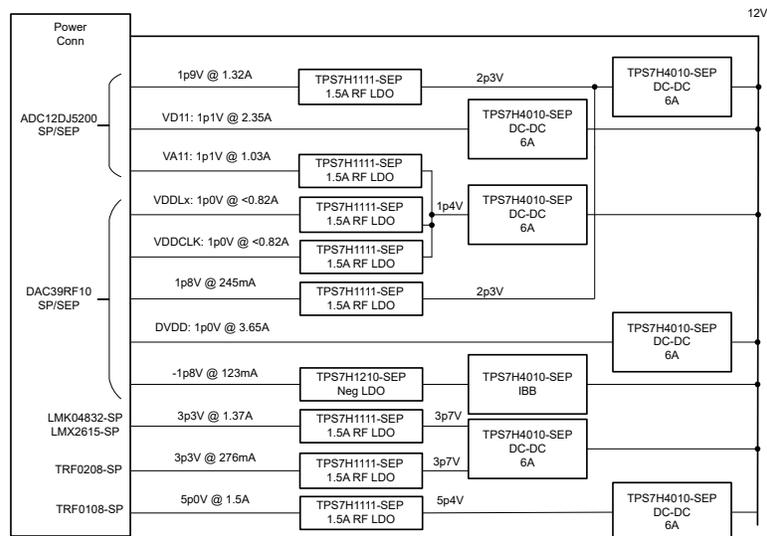


图 2-2. TIDA-010274 电源方框图

2.2 设计注意事项

此设计基于支持宽瞬时带宽信号的分立式 DAC 和 ADC 器件。接收通道利用有源平衡-非平衡变压器将单端输入转换为差分输出，以便与 ADC 输入连接。发送通道利用不同的有源平衡-非平衡变压器将差分接口转换为单端接口。由于与数据转换器和有源平衡-非平衡变压器相关的工业级、-SEP 级和 -SP 级器件均采用具有相同引脚排列的塑料封装，因此单个 PCB 设计支持所有级别。

时钟设计位于子卡上，后者插入数据转换器板的顶部。时钟子卡包含 LMK04832-SEP 和 LMX2694-SEP。LMK 为 LMX 合成器提供低频基准。LMK 还为 FPGA 提供低频时钟信号，并为数据转换器和 FPGA 提供 SysRef 信号，以支持 JESD204B 数字接口协议。LMX2694-SEP 为数据转换器提供低相位噪声、高频采样时钟。由于 DAC 和 ADC 时钟来自同一器件，因此 ADC 时钟必须是 DAC 时钟的整数分频器。

电源设计位于插入电路板底部的子卡上。电源板为 DAC、ADC、时钟芯片、射频有源平衡-非平衡变压器和电流传感器提供所有电源轨。这种方法通常在敏感的模拟电压轨上提供 LDO 以保持出色性能。直流/直流转换器为灵敏度较低的数字电压轨提供直接电源。

2.3 主要产品

2.3.1 DAC39RF10-SEP

DAC39RF10-SEP 是一款抗辐射射频采样 DAC。DAC39RF10-SEP 支持高达 10.24GSPS 的采样率。DAC39RF10-SEP 提供多种 JESD204B/C 工作模式，并支持高达 10GHz 的宽瞬时带宽和高达 10GHz 的宽工作频率。该器件具有极低的相位噪声。片上 DDS 功能有助于生成 CW 音调而无需 FPGA 信号发生器。

2.3.2 ADC12DJ5200-SEP

ADC12DJ5200-SEP 是一款抗辐射射频采样 ADC。ADC12DJ5200-SEP 支持高达 5.2GHz 的采样时钟。在标称工作模式下，该 ADC 的采样率高达 5.2GSPS，并具有两个输出。对于双边沿采样 (DES)，有效采样时钟会翻倍（通过使用时钟的下降沿和上升沿）。在该模式下，该器件只有一个通道输出，但支持 5GHz 的瞬时带宽。该器件提供多种 JESD204B/C 工作模式，并可在高达 8GHz 的宽频率内工作。

2.3.3 LMK04832-SEP

LMK04832-SEP 是支持 JESD204B/C 的抗辐射高性能时钟调节器。LMK04832-SEP 具有 14 个可配置为时钟或 SysRef 输出的时钟输出，以及两个 PLL（锁相环）。第一个 PLL 作为抖动清除器运行，用于将 VCXO 等局部低抖动基准源锁定到低频系统基准。第二个 PLL 将内部 VCO（压控振荡器）锁定到低抖动基准。该器件支持双 PLL、单 PLL 或时钟分配模式。

2.3.4 LMX2694-SEP

LMX2694-SEP 器件是一款具有集成式压控振荡器 (VCO) 的抗辐射、低相位噪声、宽带锁相环 (PLL)，支持 39.3MHz 和 15.1GHz 之间的频率。该器件具有两个带独立输出分频器控制的输出。

2.3.5 TPS7H4010-SEP

TPS7H4010-SEP 是一款抗辐射同步直流/直流降压转换器，可在 3.5V 至 32V 的电压范围内驱动高达 6A 的负载电流。该器件能够以非常小的设计尺寸提供出色的效率和输出精度。

2.3.6 TPS7H1111-SEP

TPS7H1111-SEP 是一款抗辐射低压降 (LDO) 稳压器。该器件能够提供高达 1.5A 的输出电流。TPS7H1111-SEP 具有极低的噪声，因此非常适合为敏感模拟和射频器件供电。

2.3.7 TPS7H1212-SEP

TPS7H1210 是一款抗辐射、低压降 (LDO) 负电压稳压器。该器件能够提供高达 1.0A 的输出电流。TPS7H1210 可在较宽的负电压输入下工作。该器件具有低噪声输出，因此非常适合敏感模拟和射频电源轨。

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

本参考设计的评估需要使用以下硬件。

- TIDA-010274 参考设计电路板
- TSW14J59EVM Rev B (或更高版本)
- Agilent PSA E4445A 频谱分析仪或等效产品
- Rohde and Schwarz SMA100B 信号发生器或等效器件用作输入
- 信号发生器用于生成 10MHz 基准 (可选)
- 固定或可变衰减器
- TSW14J59 电源 (12V、2A)
- TIDA-010274 参考设计电源 (12V、2A)

3.2 软件要求

本参考设计的评估需要使用以下软件。

- TIDA-010274_GUI_v2p0 (或更高版本)
- HSDC Pro GUI (5.0.3 或更高版本)
- AMD Vivado : Xilinx_HW_Server_Win_2019.1_0524_1430
- TI JESD FW : j59_ui.exe

3.3 测试设置

图 3-1 展示了测试设置方框图。

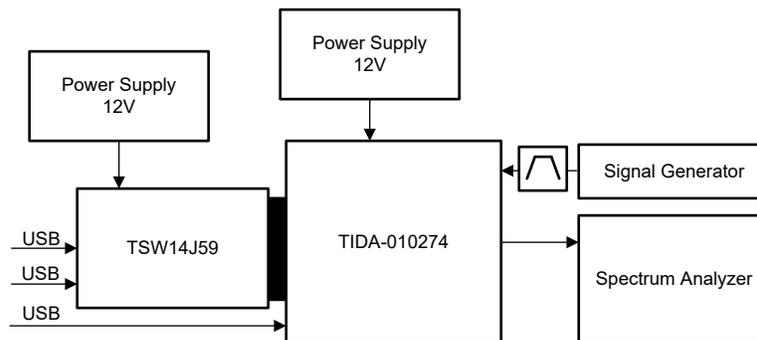


图 3-1. TIDA-010274 测试设置方框图

3.4 测试过程

初始硬件设置

- 将 TIDA-010274 参考设计连接到 'J59 图形/采集卡
- 将射频电缆从 DAC 输出 J9 通过 20dB 衰减器连接到 ADC 输入 J8
- 将 10MHz 基准连接到时钟板上的连接器 J5 (可选)
- 将两条 USB 电缆连接到 'J59；将 USB 电缆连接到 TIDA-010274
- 将 12V 电源连接到 'J59；确认电流限值设置为 2A 或更高
- 将 12V 电源连接到 TIDA-010274；确认电流限值为 2A 或更高
- 将频谱分析仪连接到 J11 以监测 DAC 输出 (可选)

初始上电

- 为 'J59 启用 12V 电源
- 为 TIDA-010274 启用 12V 电源；预计初始电流为 0.85A

初始软件设置

- 启动 HSDC Pro GUI 版本 5.3.03 或更高版本
 - 选择器件：ADC
 - 将“ADC Output Data Rate”设置为：10G
- 启动 j59_ui. gui
 - 确认软件已连接到 'J59 电路板

软件执行

- 启动 TIDA-010274 GUI
- 选择/确认为宽带模式选择 Case0
- 在 TIDA-010274 GUI 上：按“Run”按钮
 - 验证通信错误指示灯是否未亮起；
 - 如果该指示灯亮起，请重新运行和/或检查 USB 连接以及器件的电源。
 - 确认电流增加至 1.8A
 - 确认电流监视器指示 DAC 功率为 3.3W 且 ADC 功率为 3.8W

收发器数据采集过程

- 在 j59_ui.exe 上：运行脚本文件“Master Transceiver”
- 等待代码脚本加载图形、采集数据并传输到 HSDC Pro
- 在 HSDC Pro GUI 上验证 FFT 采集显示

3.5 测试结果

测试信号是一个宽带 OFDM (正交分频多路复用) 调制信号，其工作数据速率为 5GSPS。这些图形配置有 2GHz 和 4GHz 信号带宽。图 3-2 和图 3-3 显示了发送器的频谱性能。

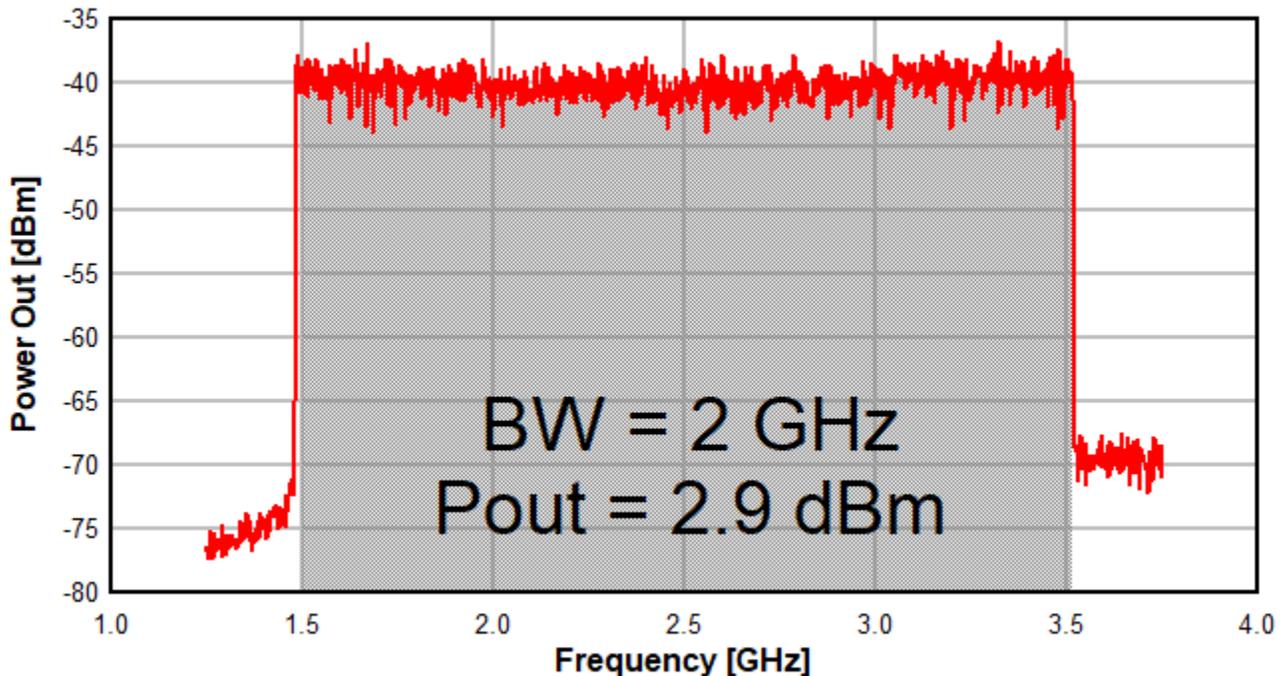


图 3-2. 具有 2GHz 宽 OFDM 信号的 DAC 输出

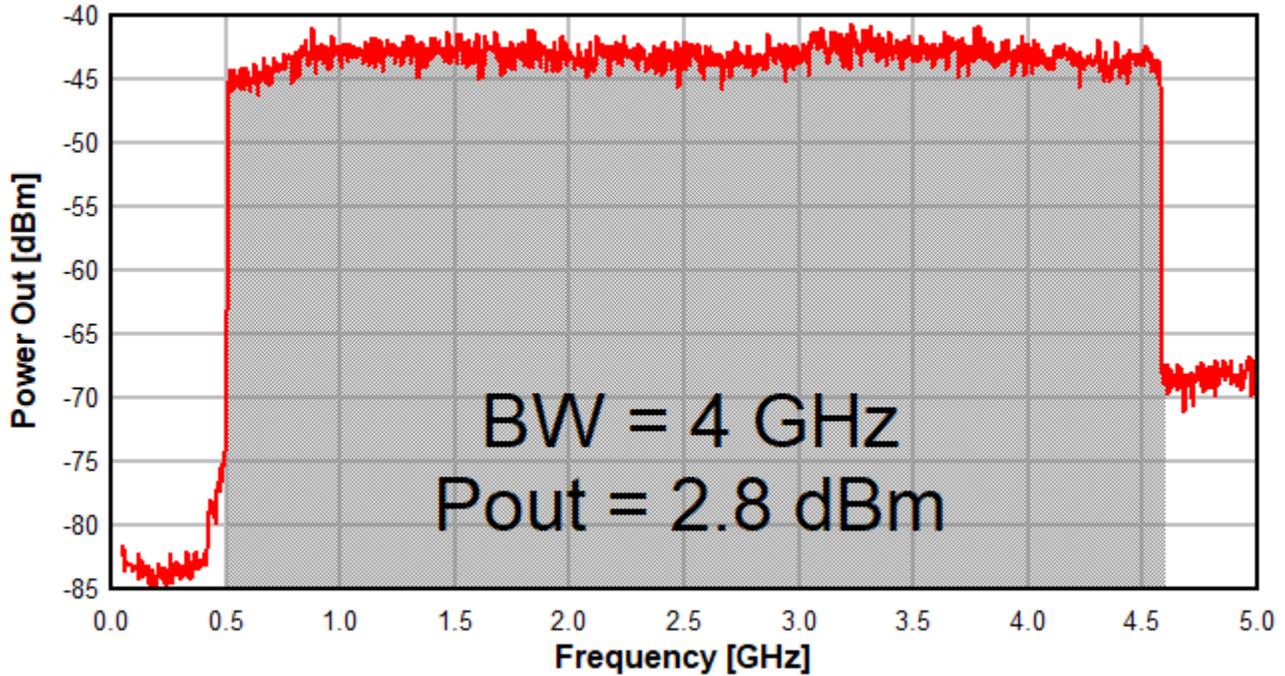


图 3-3. 具有 4GHz 宽 OFDM 信号的 DAC 输出

调制输出信号通过 20dB 衰减器环回到发送器，以保持接收器不会过驱动。图 3-4 和图 3-5 显示了从接收器捕获的波形的 FFT 频谱。

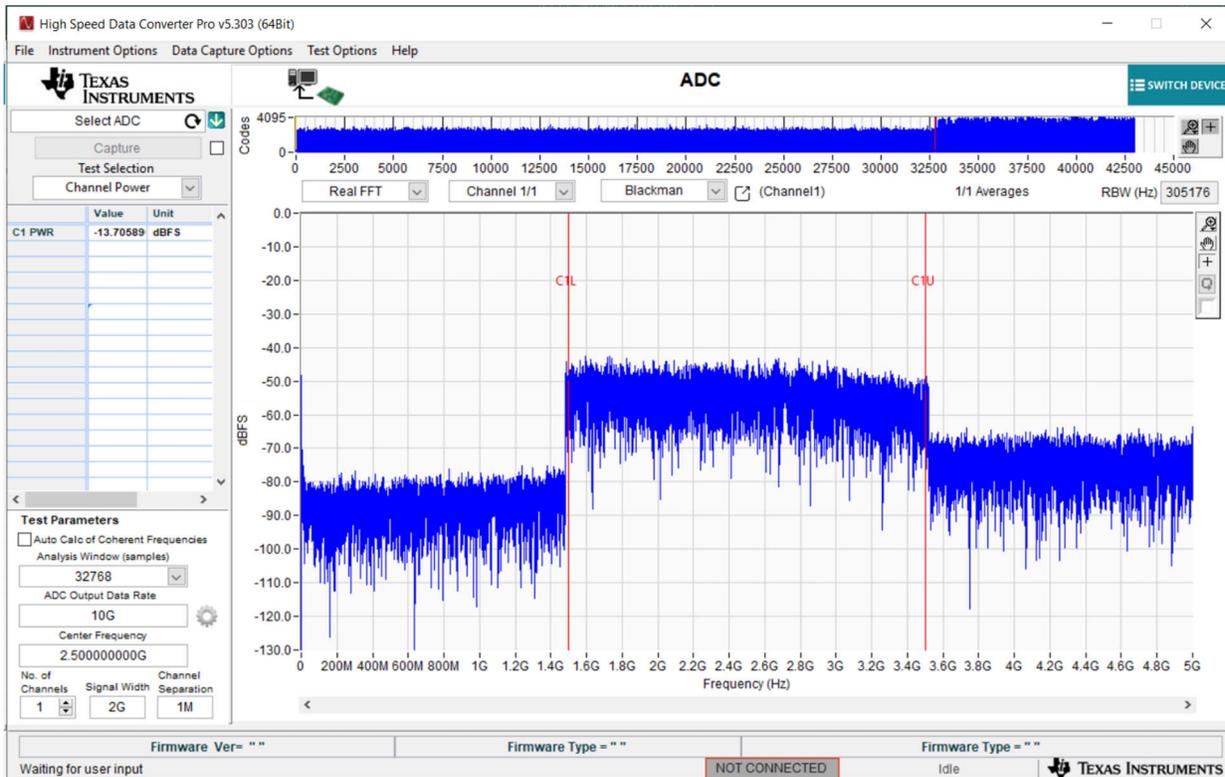


图 3-4. 2GHz 宽 OFDM 信号的 ADC 捕捉 (环回)

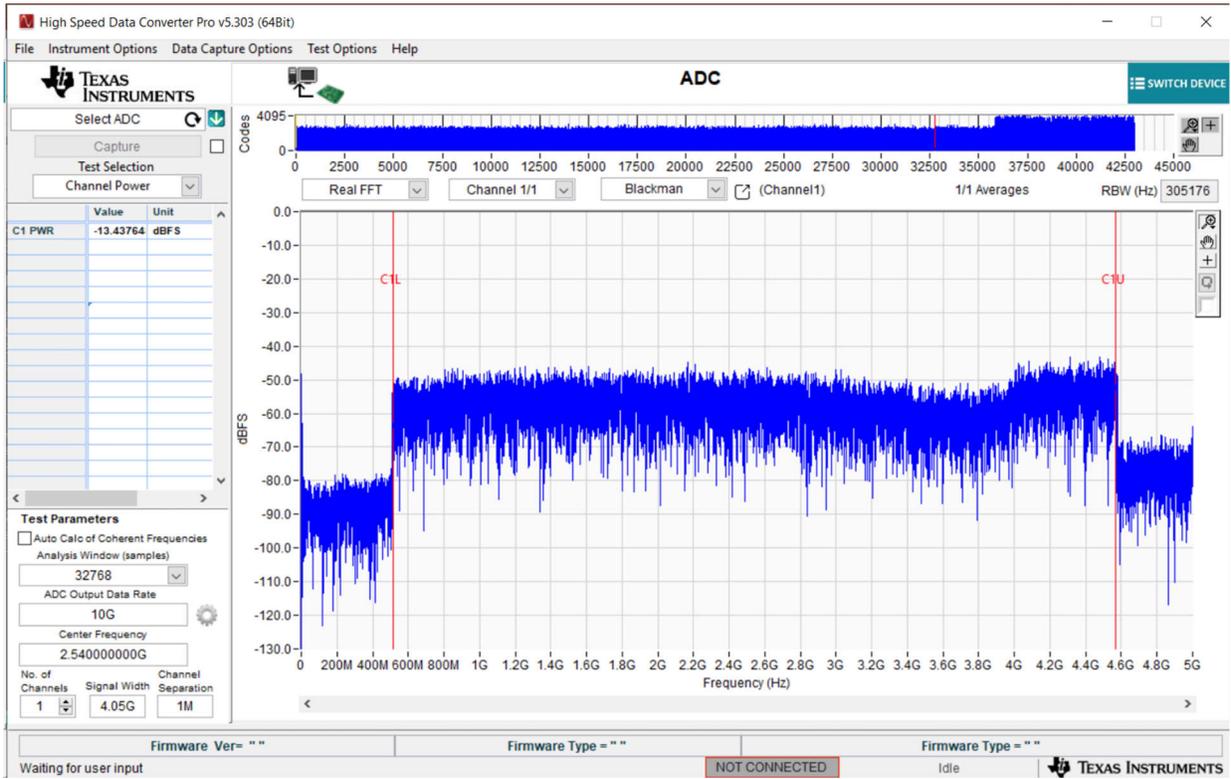


图 3-5. 4GHz 宽 OFDM 信号的 ADC 捕捉 (环回)

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-010274](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010274](#) 的设计文件。

4.2 工具与软件

工具

[TSW14J59](#) JESD204B/C 图形/采集卡

软件

[HSDC Pro](#) TSW14J59 GUI
[TIDA-010274_GUI_v2p0](#) TIDA-010274 编程 GUI (2.0 或更高版本)

4.3 文档支持

- 德州仪器 (TI)，[DAC39RF10、DAC39RFS10 具有 JESD204B 和 C 接口的 10.24、20.48GSPS 16 位双通道和单通道多奈奎斯特数模转换器 \(DAC\) 数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[ADC12DJ5200-SEP 10.4GSPS 单通道或 5.2GSPS 双通道 12 位射频采样模数转换器 \(ADC\) 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™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

Russell Hoppenstein 是系统工程营销 (SEM) 团队的一名系统工程师，为航空航天和国防部门提供支持。他拥有 20 多年半导体产品方面的经验，专注于通信和国防市场的高性能射频器件和射频采样数据转换器。他之前为无线基础设施市场设计了射频收发器、有源天线系统和线性化功率放大器。Russell 在德克萨斯大学奥斯汀分校获得了电子工程学士学位，在德克萨斯大学阿灵顿分校获得了电子工程硕士学位。

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 * (April 2024) to Revision A (May 2024)

Page

重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司