



Ebenezer Dwobeng

摘要

时分双工 (TDD) 在时间域中分离上行链路和下行链路射频通道，并使上行链路和下行链路通道共用相同的射频通道资源，且互不干扰。在 AFE77xx 集成收发器中，可通过外部 GPIO 于 TDD 期间在待机和工作模式之间切换发送器、反馈和接收器数据路径。本应用手册演示了如何在 TDD 模式下配置 AFE77xx，以及如何使用 AFE77xxEVM 和 TSW14J56EVM 测量 TDD。这些内容假定读者对 HSDCPRO、TSW14J56EVM、AFE77xx EVM 和 Latte GUI 有基本了解，SBAU333 且读者熟悉《AFE77xx 评估模块快速入门指南》中的启动步骤。

内容

| | |
|----------------------------|---|
| 1 引言..... | 2 |
| 2 器件概述..... | 2 |
| 3 进行 TDD 评估所需的硬件和软件设置..... | 4 |
| 4 测量 TDD..... | 6 |
| 5 修订历史记录..... | 9 |

插图清单

| | |
|--|---|
| 图 2-1. AFE77xx 的方框图..... | 3 |
| 图 3-1. TDD 模式评估的设置..... | 4 |
| 图 3-2. 显示加载外部测试模式文件所需按钮的 HSDCPRO 界面..... | 5 |
| 图 4-1. HSDCPRO 的“DAC”选项卡显示了通道 3 上的 TDD 测试模式..... | 7 |
| 图 4-2. 开启和关闭门控时发送器输出端的频谱..... | 8 |
| 图 4-3. 显示发送器输出功率与时间之间关系的栅极视图..... | 8 |
| 图 4-4. TDD 模式下的接收器 ADC 频谱..... | 9 |

表格清单

| | |
|---------------------------------------|---|
| 表 1-1. 在 TDD 模式下使用的 AFE77xx GPIO..... | 2 |
| 表 1-2. 在 TDD 模式下共用串行器/解串行器通道..... | 2 |
| 表 3-1. 进行 TDD 评估所需的软件和硬件..... | 4 |
| 表 3-2. 有关进行 TDD 评估所需硬件设置的说明..... | 5 |
| 表 3-3. 进行 TDD 评估所需的发送器模式文件示例..... | 5 |

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在 AFE77xx 集成式收发器中，可使用外部 GPIO 于 TDD 期间在待机和在工作模式之间切换发送器、反馈和接收器数据路径。表 1-1 所示为 AFE77xx 在 TDD 模式下使用的外部 GPIO。在 TDD 模式下，共有 5 个 GPIO 用于在下行链路和上行链路之间进行切换：

- TXEN1
- TXEN2
- RXEN1
- RXEN2
- 1FBEN

表 1-1. 在 TDD 模式下使用的 AFE77xx GPIO

| TDD 模式 | TXEN1/TXEN2 | RXEN1/RXEN2 | 1FBEN | 发送器模式 | 接收器模式 | 反馈路径 |
|--------|-------------|-------------|-------|-------|-------|------|
| 下行链路 | 1 | 0 | 1 | 工作 | 待机 | 工作 |
| 上行链路 | 0 | 1 | 0 | 待机 | 工作 | 待机 |

对 TDD GPIO 的控制并不相互排斥，因此上行链路和下行链路模式可以同时处于待机或工作状态。在 TDD 模式下，反馈和接收器 ADC 可以分时使用串行器/解串器通道，最大程度减少在 FPGA 和 AFE77xx 中使用的串行器/解串器资源。串行器/解串器通道上的信息可根据 RXEN1/RXEN2 和 1FBEN GPIO 的状态在反馈 ADC 和接收器 ADC 之间动态切换。表 1-2 对此进行了总结。

表 1-2. 在 TDD 模式下共用串行器/解串器通道

| RXEN1/2 | 1FBEN | RX 链 | FB 链 | 串行器/解串器通道至 |
|---------|-------|------|------|------------|
| 1 | 0 | 打开 | 关闭 | RX |
| 0 | 1 | 关闭 | 打开 | FB |
| 1 | 1 | 开/关 | 开/关 | RX/FB |
| 0 | 0 | 关闭 | 关闭 | |

2 器件概述

AFE7798 是一款高性能、多通道收发器，集成了四条直接上变频发送器链、四条直接下变频接收器链和一条宽带射频采样数字化辅助链（反馈路径）。发送器链和接收器链的高动态范围可使无线基站生成和接收 2G、3G、4G 和 5G 信号。AFE7798 器件的低功率耗散和大规模通道集成特性克服 4G 和 5G 大规模 MIMO 基站的功率和尺寸限制。宽带和高动态范围反馈路径可以帮助发送器链中的功率放大器进行数字预失真 (DPD)。串行器/解串器的高速有助于减少数据传入和传出数据时所需的通道数。

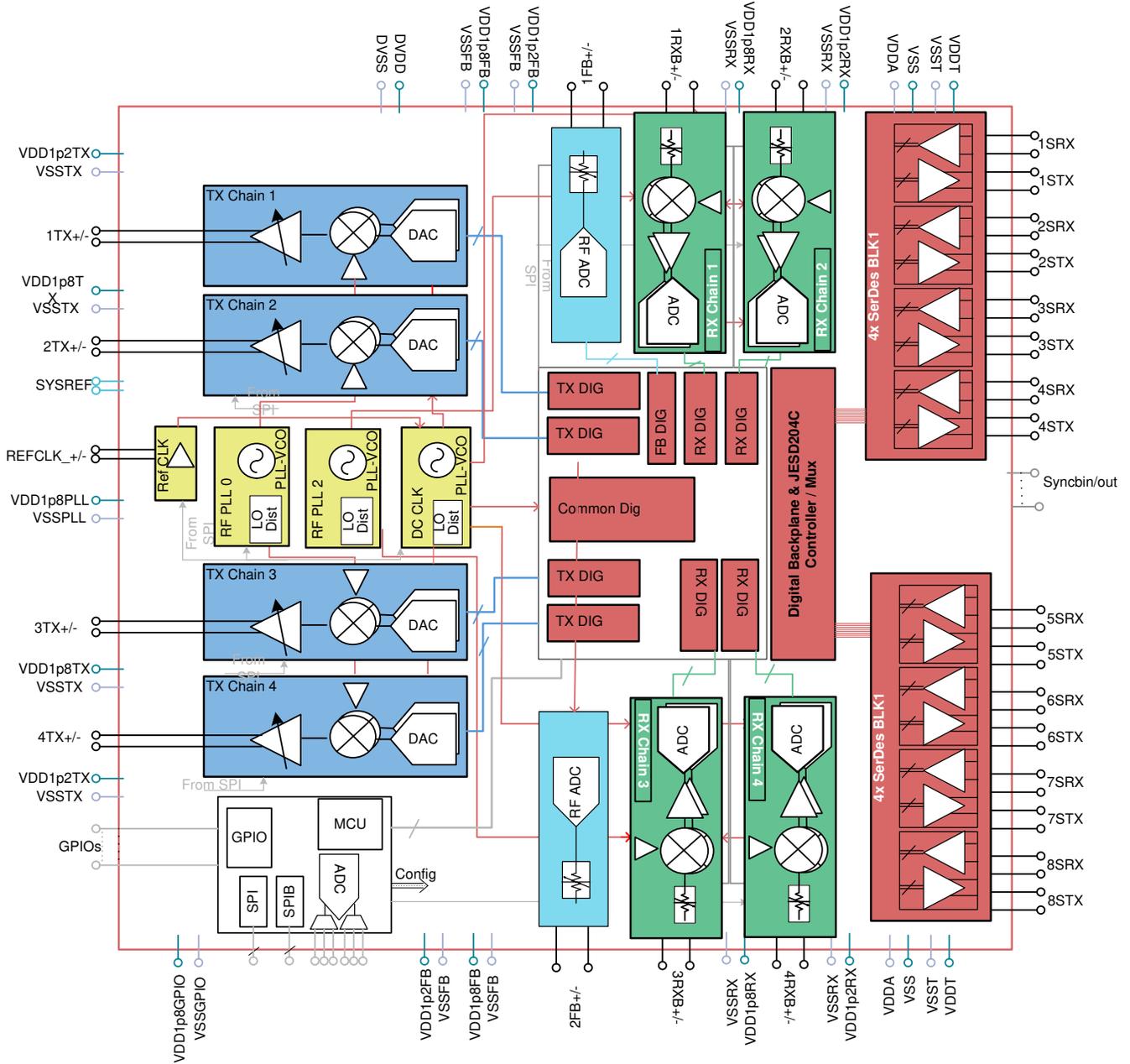


图 2-1. AFE77xx 的方框图

3 进行 TDD 评估所需的硬件和软件设置

要在 TDD 模式下成功评估 AFE77xx，需要使用以下工具：

表 3-1. 进行 TDD 评估所需的软件和硬件

| 评估工具 | 说明 |
|--------------------|---|
| HSDCPRO | 用于从 TSW14J56 任意波形发生器发送图形并捕获数据的软件。需要 2.5 或更高版本的软件。 |
| TSW14J56revD EVM | 基于 FPGA 的任意波形发生器，用于连接 AFE77xxEVM，从而生成发送器的图形以及从接收器和反馈路径捕获数据。 |
| AFE77xx EVM | AFE77xx 器件的主评估板 |
| Latte | 配置 AFE77xxEVM 所需的软件。需要 2.2 或更高版本。 |
| Latte_GUI_TDD_MODE | 启用 TDD 评估所需的软件补丁。可通过当地的 TI 支持团队获得 |

3.1 硬件设置

图 3-1 所示为测量 TDD 所需的硬件设置示例。

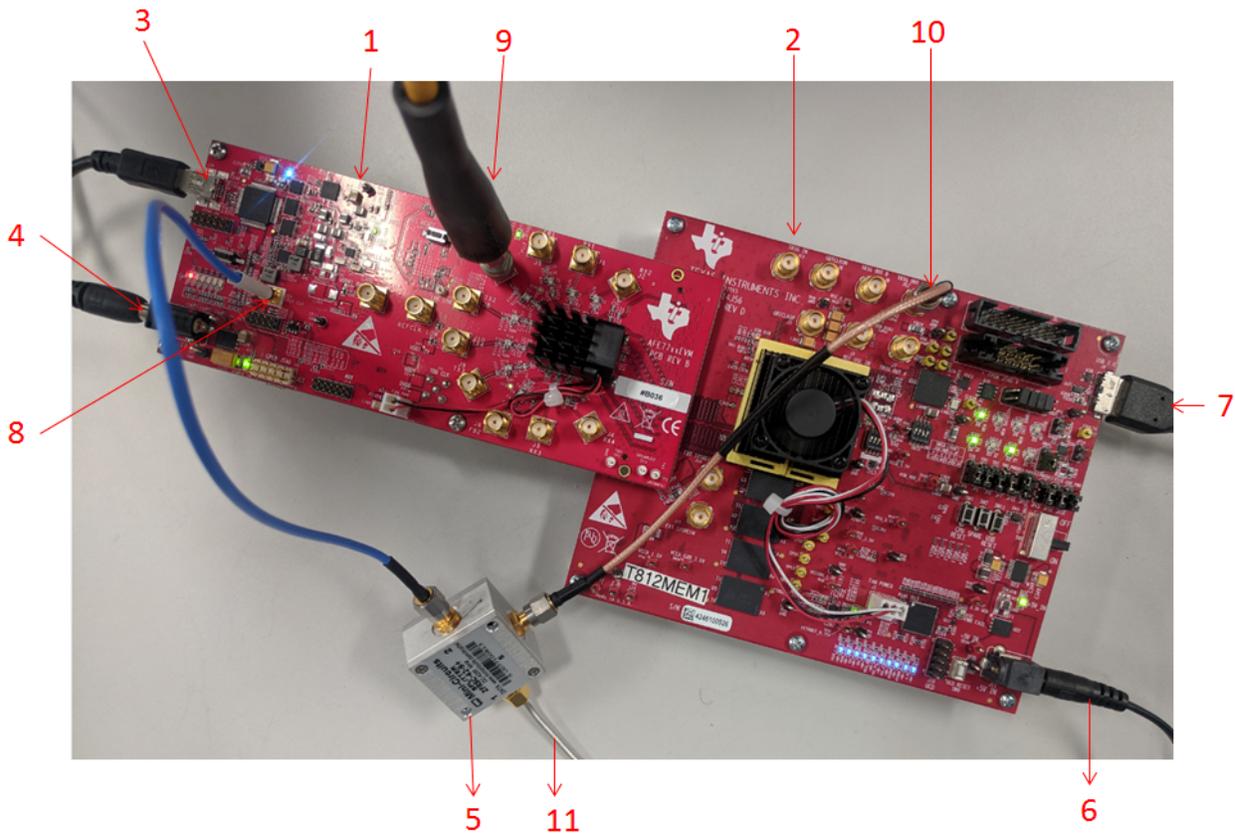


图 3-1. TDD 模式评估的设置

表 3-2. 有关进行 TDD 评估所需硬件设置的说明

| 标签 | 说明 |
|----|--|
| 1 | AFE77xx 评估模块 |
| 2 | TSW14J56 评估模块 |
| 3 | USB 2.0 迷你连接器。必须将另一端连接到运行 Latte 软件的电脑。 |
| 4 | AFE77xxEVM 的电源。连接到 5.5V/5A 工作台电源。 |
| 5 | 1 : 2 个射频功率分配器。将输入端连接到 TSW14J56EVM 上的 SMA J12，将输出端分别连接到 AFE77xxEVM 上的连接器 J24 和频谱分析仪的触发输入端。 |
| 6 | TSW14J56EVM 的电源。连接到 5.5V/5A 工作台电源。 |
| 7 | USB 3.0 连接器。将另一端连接到运行 HSDCPRO 软件的电脑。 |
| 8 | TDD 控制输入端到 AFE77xxEVM |
| 9 | 发送器输出端。连接到频谱分析仪的射频输入端。 |
| 10 | TSW14J56EVM 的 TDD 输出端 |
| 11 | 用于触发频谱分析仪输入端的 TDD 控制信号 |

3.2 生成 TDD 测试模式并将其加载到 HSDCPRO 中

表 3-3 所示为可加载到 HSDCPRO 中的测试模式示例。模式文件的格式必须满足以下要求：

- 模式文件必须具有三列，且定义如下：
 - 列 1：发送器的同相数据 (I-data)。范围为 -32767 到 32768。
 - 列 2：正交相位数据 (Q-data)。范围也为 -32767 到 32768。
 - 列 3：TDD 控制模式。设置为 0 表示禁用 TDD，设置为 1 表示启用 TDD。
- 行数必须为 512 的倍数。
- 模式文件可以使用 .csv 文件扩展名并以逗号作为分隔符保存，也可以使用 .txt 文件扩展名并以制表符作为分隔符保存。

表 3-3. 进行 TDD 评估所需的发送器模式文件示例

| I-DATA | Q-DATA | TDD |
|--------|--------|-----|
| 9889 | 31239 | 0 |
| -6662 | 32083 | 0 |
| -21508 | 24720 | 0 |
| -30853 | 11035 | 0 |

图 3-2 保存测试模式后，可以使用中突出显示的“加载外部模式文件”按钮将其加载到 HSDCPRO 中。

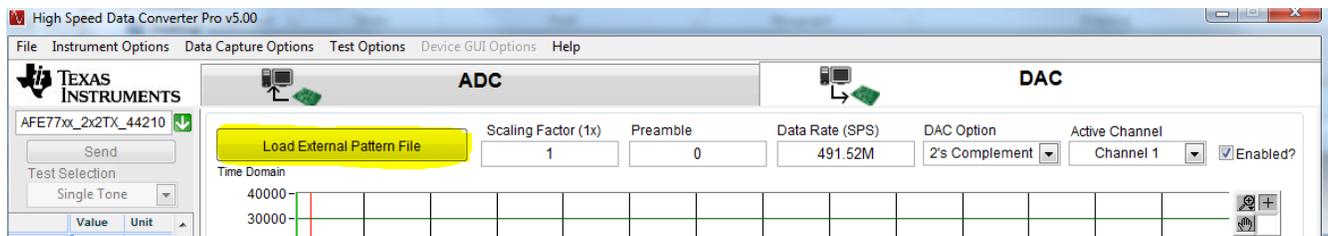


图 3-2. 显示加载外部测试模式文件所需按钮的 HSDCPRO 界面

3.3 HSDCPRO 中 TDD 的器件初始化 (.ini) 文件

发送器的初始化 (.ini) 文件中必须包含一些参数，才能在运行于 TSW14J56EVM 上的固件中启用 TDD 模式，其中包括：

1. 自动复制通道 = 1
 - 可通过此参数将从 DDR3 存储器读取的数据复制到四个发送通道。
2. 可加快通道速率的通道数量 = 8
 - 将“TDD 自动复制通道”参数设为 1 时，此参数可以精确计算 SERDES 比特率。
3. 通道数据中的 BCM = 1
 - 固件可通过此参数将第三列中的信号视为 TDD 信号，而非视为传输给发送器的数据。

安装软件补丁“Latte_GUI_TDD_MODE”后，.ini 示例文件 (AFE77xx_2x2TX_44210_tdd.ini) 也会放在 HSDCPRO 目录下。

对于接收器和反馈 ADC 初始化文件，器件初始化 (.ini) 文件中不需要其他参数。

4 测量 TDD

节 3.1 第一步是按照 中的描述安装硬件。SBAU333 然后，按照《AFE77xx 评估模块快速入门指南》中所述的步骤，使用 Latte 和 HSDCPRO 软件对程序进行配置。请注意，应使用以下 .ini 文件：

- TX DAC：使用 AFE77xx_2x2TX_44210_tdd.ini。
- RX ADC：使用 AFE77xx_2x2RX_24410_tdd.ini。
- FB ADC：使用 AFE77xx_2x1FB_22210_tdd.ini。

这些 .ini 文件均通过 Latte_GUI_TDD_MODE 安装程序分发。

4.1 发送器 TDD 评估

由于在 DAC 模式文件中定义了 TDD 开/关模式，因此应在接收器或反馈 ADC 之前在 HSDCPRO 中设置发送 DAC。在 TDD 模式下评估发送 DAC 的顺序如下：

1. 节 3.2 生成 TDD 模式，加载到与中所述格式兼容的 HSDCPRO 中。
2. 将生成的测试模式加载到 HSDCPRO 中，然后将加载的模式发送到 TSW14J56EVM。

图 4-1 在 HSDCPRO 中，可以将通道视图切换至通道 3 以显示 TDD 模式的开/关时间，如 所示。其他通道 (通道 1 和 2) 显示的是实际信号的波形。

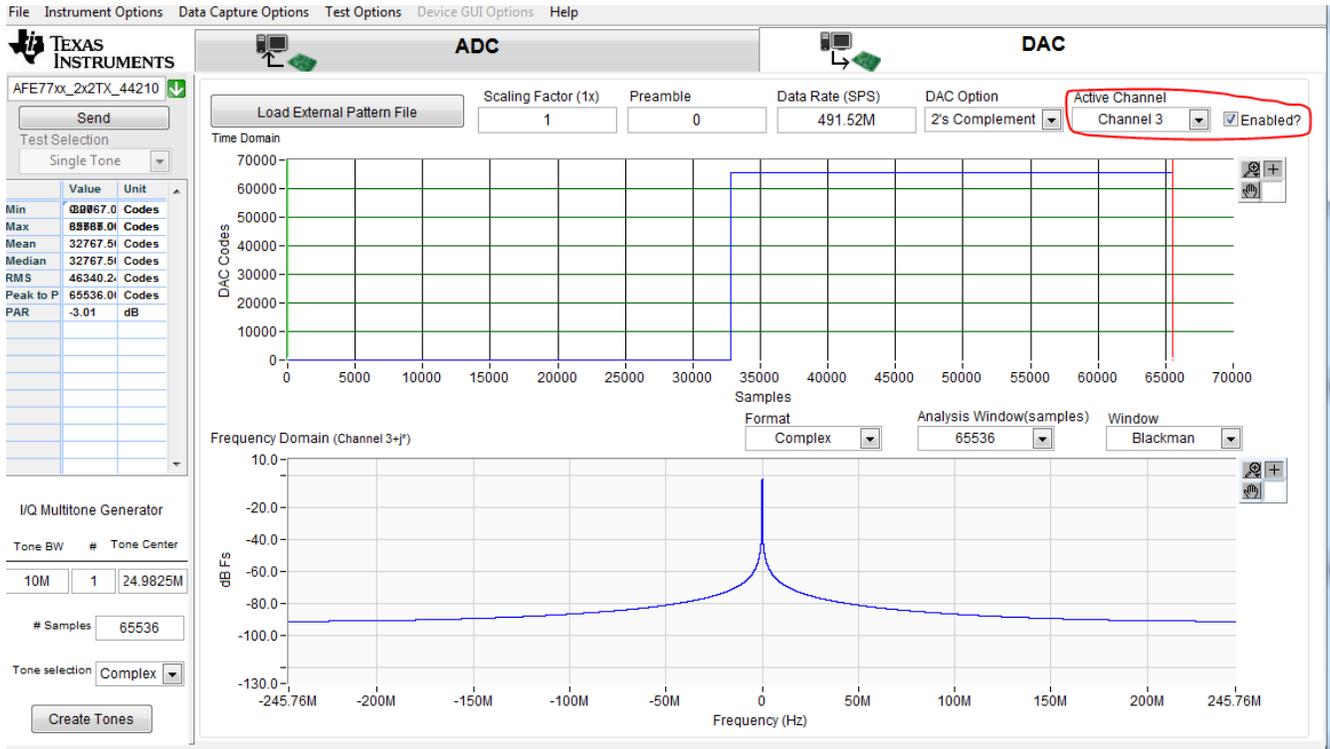


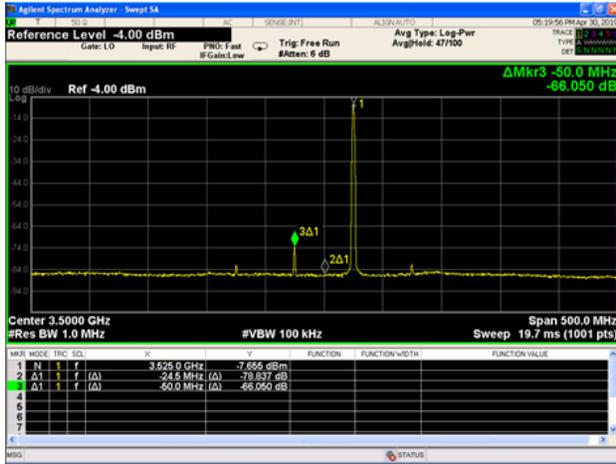
图 4-1. HSDCPRO 的“DAC”选项卡显示了通道 3 上的 TDD 测试模式

4.1.1 进行时间门控测量

如果未在 TDD 测试模式下对频谱分析仪进行门控，则由于信号在时间上的不连续性，TDD 信号的频谱会出现很多寄生信号。下文列出了使用 PXA 或 MXA 频谱分析仪进行时间门控测量的步骤：

1. 扫描控制 >> 门控 >> 打开
2. 扫描控制 >> 门控视图 >> 关闭
3. 扫描控制 >> 门控方法 >> LO
4. 扫描控制 >> 更多信息 >> 门控资源 >> 外部 1
 - a. 节 3.1 确保将 TDD 模式连接到 中所述频谱分析仪的外部触发器 1 的输入端。
5. 扫描控制 >> 更多信息 >> 门控资源 >> 外部 1 >> 触发电平 >> 500mV
6. 扫描控制 >> 更多信息 >> 控制 >> 级别

Gate ON



GATE OFF

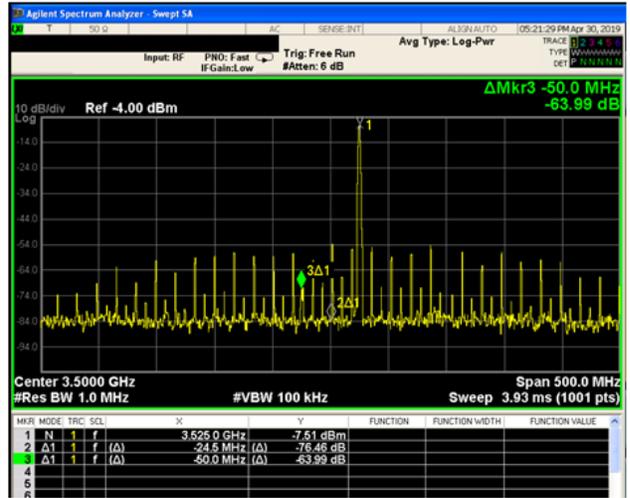


图 4-2. 开启和关闭门控时发送器输出端的频谱

图 4-3 也可以在频谱分析仪中启用门控视图，以查看发送器输出功率与时间的关系，还可以设置门控的开始和停止时间，如所示。

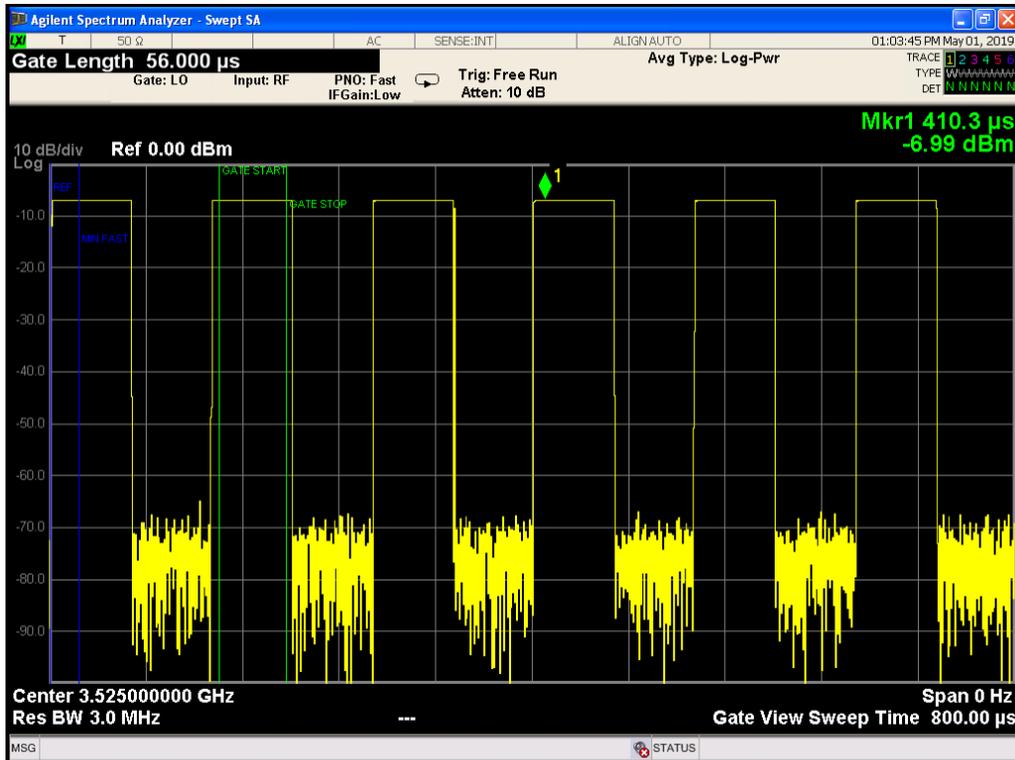


图 4-3. 显示发送器输出功率与时间之间关系的栅极视图

4.2 接收器 TDD 评估

按以下顺序评估 TDD 模式下的接收器 ADC 和反馈 ADC。

1. 切换到 HSDCPRO 中的“ADC”选项卡，然后选择接收器或反馈 ADC 的 .ini 文件。
2. 设置数据速率，然后点击“捕获”按钮以从 AFE77xx 接收器或反馈 ADC 采集数据。
3. 图 4-4 在“代码”视图中（中用红色圆圈标出的部分），在打开 RX TDD 信号期间，将绿色标记移至数据模式的开头。
4. 更改“分析窗口”的大小（用于 FFT 的样本数），以使红色标记（在代码视图中）在 RX TDD 开启期间位于数据模式的末尾（或内部）。

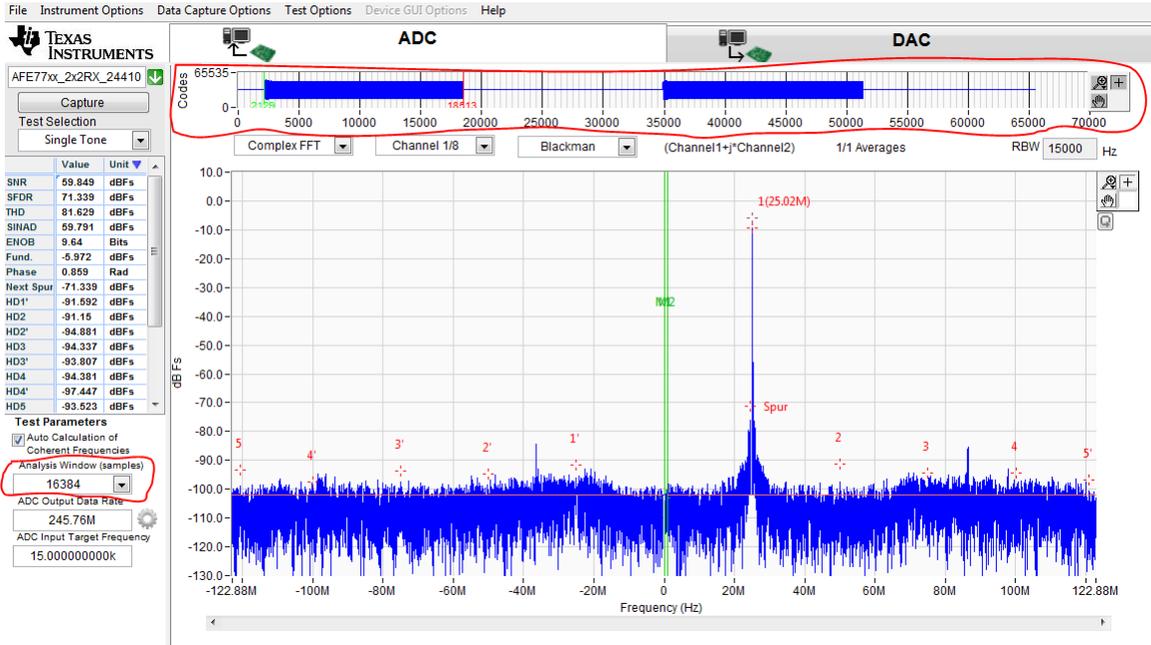


图 4-4. TDD 模式下的接收器 ADC 频谱

5 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 2019) to Revision A (April 2021)

Page

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。..... 2

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司