

Gautam Havaladar, Srinivas Murthy

Data Converters and Clocks

## 摘要

本应用手册介绍了 AFE8092 函数如何使用发送器链中的数字块帮助校正由内部和外部因素引起的射频功率衰减。本文档介绍了 AFE8092 中射频功率衰减校正宏的方法和功能。

本应用手册的结构如下：

- 了解射频功率衰减校正的需求
- 射频功率衰减背后的原因
- 找到射频功率衰减系数的过程
- 部署射频功率衰减宏

---

## 内容

1 简介.....	2
2 射频功率衰减.....	2
2.1 射频功率衰减背后的原因.....	2
2.2 射频功率衰减数字校正.....	2
2.3 射频功率衰减校正测量概述.....	2
2.4 启用射频功率衰减校正.....	2
2.5 使用射频功率衰减校正的示例.....	3
2.6 功率衰减校正前后的频率响应和限制.....	5
3 总结.....	6
4 参考文献.....	6

## 插图清单

图 2-1. 射频电路.....	2
图 2-2. 振幅（无射频功率衰减）与频率间的关系.....	4
图 2-3. 输出功率频率响应.....	5

## 表格清单

表 2-1. 用于启用射频功率衰减校正的函数和变量.....	3
--------------------------------	---

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

AFE8092 是一款高性能多通道射频收发器。该器件由 8 个发送器和接收器链以及 2 个反馈通道组成。发送器的采样能力高达 12GSPS，频率范围为 6GHz。射频接收器能够以 4GSPS 的速率对数据进行采样。本应用手册的重点是发送器链。

## 2 射频功率衰减

### 2.1 射频功率衰减背后的原因

射频发送器的重要性能要求之一是，在所使用频段的整个频率范围内提供恒定功率。多个外部和内部因素（对于器件）会导致输出功率随频率而变化。这种现象在本文中称为射频功率衰减。下面概述了导致射频功率衰减的原因

1. **路径中的电容器或电感器**：发送器的输出路径包含多个电容器和电感器，要么用于某些设计目的，要么用作寄生元件。由于这些元件的阻抗随频率而变化，因此输出功率也随频率而变化。
2. **匹配电路**：匹配电路旨在通过将器件阻抗与传输系统的特性阻抗相匹配，使频率响应尽可能平坦。由于插入损耗和反射功率，仍然可以看到一些非平坦的频率响应。由于为宽带应用设计匹配的电路相当困难，因此这种频率变化在宽带应用中变得很明显。
3. **功率放大器**：通常，系统在发射器输出端处和天线之前使用功率放大器，如图 2-1 所示。该功率放大器还会根据参数产生特定的频率响应。

### 2.2 射频功率衰减数字校正

全新 AFE8092 射频功率衰减校正块使用数字校正来校正上述的非平坦频率响应。数字校正块通过实现二阶拟合来校正射频功率衰减。因此，要确定校正参数，我们需要在 3 个频率下进行功率衰减测量： $F_{NCO}$ 、 $F_{NCO} + \Delta F$  和  $F_{NCO} - \Delta F$ ，其中  $F_{NCO}$  是给定频段的中心频率。通常，选择接近  $0.4 \times$ （传输数据接口速率）的  $\Delta F$ 。假设频率  $F_{NCO} - \Delta F$  和  $F_{NCO}$  的振幅差为  $M1$ ，频率  $F_{NCO} + \Delta F$  和  $F_{NCO}$  的振幅差为  $M2$ 。

### 2.3 射频功率衰减校正测量概述

本节介绍了如何在 AFE8092 中实现射频功率衰减校正。图 2-1 展示了一种常见的射频电路和可从中进行输入测量的分接点。如果选择 *Meas1* 分接点，则校正引入至匹配网络输出的射频功率衰减。如果选择 *Meas2* 分接点，则校正引入至功率放大器输出的射频功率衰减。

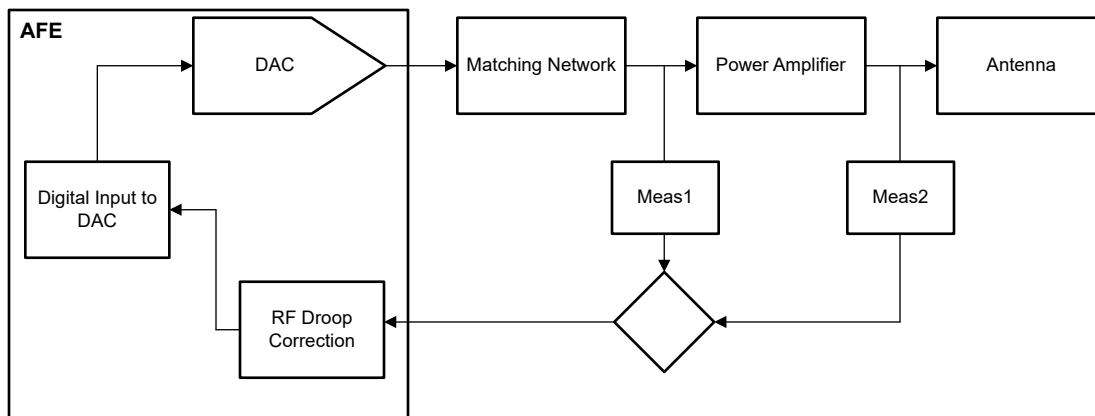


图 2-1. 射频电路

$M1$  可在 *Meas1* 处进行测量， $M2$  可在 *Meas2* 处进行测量。

### 2.4 启用射频功率衰减校正

要启用射频功率衰减校正，请执行以下步骤。

1. 按照所需的系统配置启动器件。启动完成后，检查器件的 JESD 链路是否已启动，FPGA 能否发送数据。（AFE80XX 配置指南在 JESD 配置部分提供了有关此方面的详细信息。）

2. 发射  $F_{NCO}$ 、 $F_{NCO} - \Delta F$  和  $F_{NCO} + \Delta F$  频率的多音信号，测量 Meas1 或 Meas2 分接点的振幅，如图 2-1 所示。
3.  $\Delta F$  必须始终小于或等于  $0.4 \times$  (传输数据接口速率)。该函数将尝试使频带  $F_{NCO} \pm \Delta F$  的频率响应变得平坦。
4. 函数的单音振幅输入根据 LHS 和 RHS (均为对数刻度) 给出。LHS 和 RHS 是多音信号相对于  $F_c$  单音信号的振幅。例如， $LHS = F_c$  单音振幅 (dBm) -  $F_c - \Delta F$  单音振幅 (dBm)。
5. 确定 M1 和 M2 后，可使用 CAFÉ 函数 `configureTxRfDroop` 应用校正。

要了解如何输入测量值并通过微控制器启用射频功率衰减校正块，请参阅表 2-1。启用微控制器后，输入值可以在各种启动时使用。

表 2-1. 用于启用射频功率衰减校正的函数和变量

函数和变量	注释
<code>configureTxRfDroop(afInst, txChSel, bandNo, ncoNo, deltaFreq, amp1, amp2)</code>	CAFÉ 函数，用于启用射频功率衰减校正[NP1]
<code>afInst</code>	AFE 实例
<code>txChSel</code>	选择 TX 通道 0 表示 TXA 1 表示 TXB 2 表示 TXC 3 表示 TXD 4 表示 TXE 5 表示 TXF 6 表示 TXG 7 表示 TXH
<code>bandNo</code>	选择 TX 频带。0-Band0，1-Band1
<code>ncoNo</code>	选择 NCO 0 表示 nco1 1 表示 nco2 2 表示 nco3 3 表示 nco4
<code>deltaFreq</code>	$\Delta F \times 2^{16} / F_{data}$ ，其中 $\pm \Delta F + F_{NCO}$ 是 <code>amp1</code> 和 <code>amp2</code> 测量的频率， $F_{data}$ 是传输数据接口速率
<code>amp1</code>	<code>int(10**(RHS/20)*2**15)</code>
<code>amp2</code>	<code>int(10**(LHS/20)*2**15)</code>

## 2.5 使用射频功率衰减校正的示例

使用以下步骤，部署射频功率衰减校正宏。

1. 按照要求的配置启动器件。
2. 发送多音信号并测量其在频带边缘 ( $\pm \Delta F + F_{NCO}$ ) 和频带中心 ( $F_{NCO}$ ) 的振幅。
3. 图 2-2 演示了通道 A 发送器 (TXA) 的振幅与频率间的关系图，NCO 频率 ( $F_{NCO}$ ) 配置为 2GHz，发送器数据速率 ( $F_{data}$ ) 配置为 983MHz。

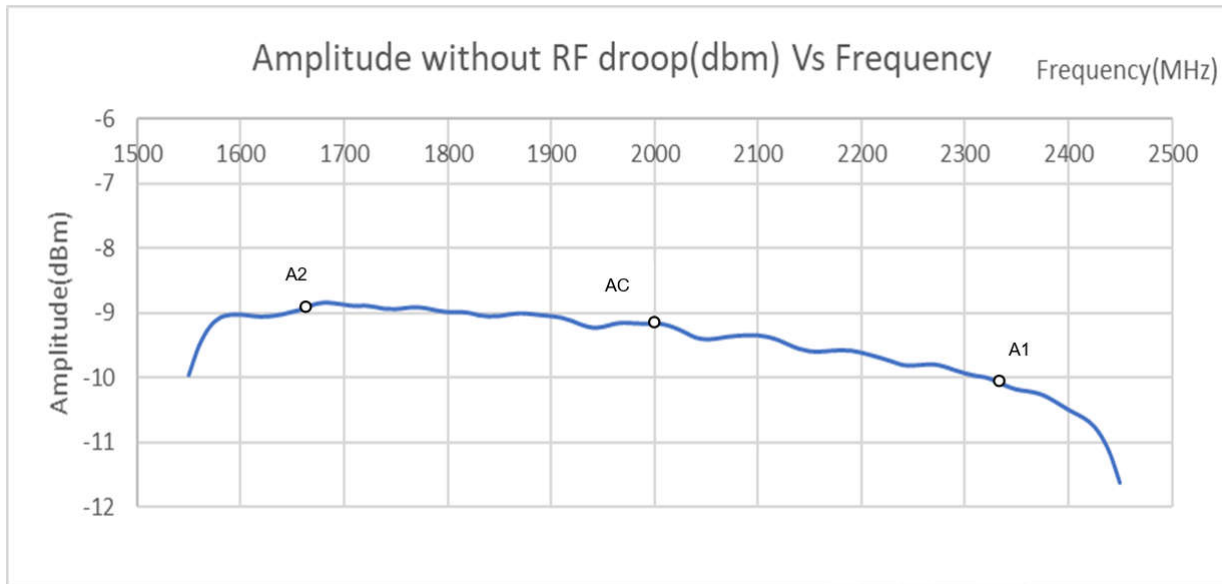


图 2-2. 振幅 (无射频功率衰减) 与频率间的关系

4. 如前所述，我们需要在  $F_{NCO}$  和  $\pm\Delta F + F_{NCO}$  处对振幅进行三次测量。我们假设  $\Delta F = F_{data} \times 0.35 \approx 340\text{MHz}$ ，因此函数调用所用的值确定如下。

变量	观察值	计算	C-AFE 函数调用的最终值。
afeInst	单个器件	0	0
txChSel	TXA	0 表示 TXA	0
bandNo	Band0	0-Band0	0x0
ncoNo	NCO1	0 表示 NCO1	0
deltaFreq	340MHz	$\Delta F \times 2^{16}/F_{data}$	Int(22667)
$F_{NCO} = 2000\text{MHz}$ 时的 Amplitude( $A_c$ )	-9.51dBm	不适用	不适用
$F_{NCO} + \Delta F = 2340\text{MHz}$ 时的 Amplitude( $A_1$ )	-10.122dBm	不适用	不适用
$F_{NCO} - \Delta F = 1660\text{MHz}$ 时的 Amplitude( $A_2$ )	-8.933dbm	不适用	不适用
RHS	0.61dbm	$A_c - A_1$	不适用
LHS	-0.577dbm	$A_c - A_2$	不适用
amp1	不适用	$\text{int}(10^{**}(\text{RHS}/20)*2^{**15})$	Int(35151)
amp2	不适用	$\text{int}(10^{**}(\text{LHS}/20)*2^{**15})$	Int(30661)

5. 此外，可以通过以下命令调用先前示例的函数：

`CAFÉ.configureTxRfDroop(0,0,0,0,int(22667),int(35151),int(30661))`

6. 必须为每个发送器通道重复前面的过程。

## 2.6 功率衰减校正前后的频率响应和限制

平坦度是衡量射频 DAC 性能的关键因素，已通过 TI 实验室测得。图 2-3 展示了在 AFE8092 上启用和不启用射频功率衰减校正时输出功率的实际频率响应。请注意，在本例中，M1 和 M2 测量是在匹配电路 ( 处于 Meas1 位置 ) 之后进行的。

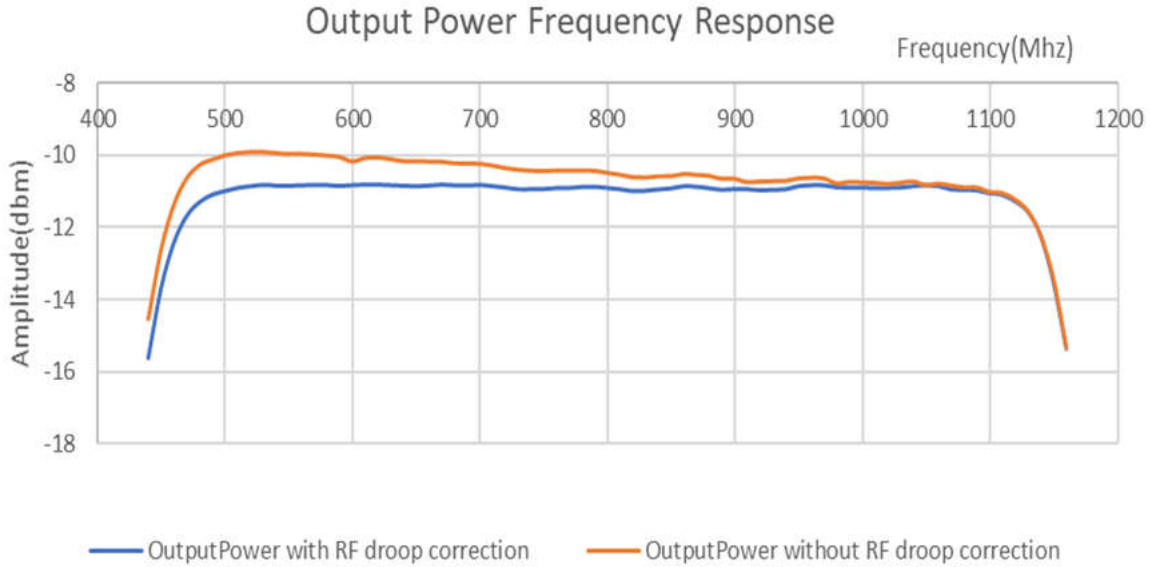


图 2-3. 输出功率频率响应

如图 2-3 所示，在不启用射频功率衰减校正的情况下，带宽的功率衰减几乎为 1dB，而启用射频功率衰减校正后功率衰减会大幅降低。请注意，M1 和 M2 测量分别在 520MHz 和 1080MHz 下进行。

可校正的 (  $|Ac - A1|$  和  $|Ac - A2|$  ) 射频功率衰减最大值存在上限。下图展示了可校正的射频功率衰减最大值以及对应的  $\Delta F$  与带宽 (Fdata) 之比。

$\Delta F/F_{data}$	( $ Ac - A1 $ 和 $ Ac - A2 $ ) 最大值 (dBm)
0.1	0.8dBm
0.2	2.2dBm
0.3	3.3dBm
0.4	4.7dBm

### 3 总结

对每个已启用的频带进行射频功率衰减估算并进行校正，可改善相关频率范围内的幅度平坦度。

我们可以根据测试数据总结得出，使用上述方法可以校正最多二阶频率范围内的振幅分布，以满足所需的规格要求。频率响应可能是由器件的内部或外部因素造成的。假设误差在上述限制范围内，借助射频功率衰减宏的正确输入，可以对响应进行数字校正，以满足所需的规格要求。

### 4 参考文献

1. AFE80xx C API (CAFE) 库和 Latte EVM 软件可供有权访问 TI 安全服务器的获准客户使用。要访问安全服务器，请在 AFE8030 和 AFE8092 产品文件夹页面上申请访问权限。
  - a. 德州仪器 (TI)，[AFE8030 具有反馈路径的八通道射频收发器](#)，数据表。
  - b. 德州仪器 (TI)，[AFE8092 具有反馈路径的八通道射频收发器](#)，数据表。
2. 德州仪器 (TI)，[AFE80xx 射频采样收发器](#)，数据表。

## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司