

Technical Article

射频 FDA 如何使用射频采样 ADC 来增强测试系统



Srinivas Seshadri 和 Keyur Tejani

为了在无线通信系统中实现更高的数据速率以及在雷达中使用更窄的脉冲来解析近距离目标，对测试和测量仪器的性能和带宽提出了更高的要求。高带宽示波器和射频数字转换器等射频 (RF) 测试和测量仪器可使用射频采样模数转换器 (ADC)，对从直流到数千兆赫的信号同时进行数字化。

射频采样 ADC 取代混频器 + 窄带 ADC 的配置，降低了系统复杂性并提高了宽带测试和测量仪器、雷达和无线收发器的性能。

设计人员通常使用与无源平衡-非平衡变压器级联的单端增益块来驱动射频采样 ADC。不过，这种方法也有缺点，即限制了可实现的性能。在本文中，我们将讨论这些缺点，并说明射频全差分放大器 (FDA) 如何帮助您更大限度提高射频采样 ADC 的性能。

直流耦合射频采样 ADC

射频采样 ADC 接受差分输入，可抑制共模噪声和干扰并改善二阶失真。由于带宽较宽，系统设计人员使用基于变压器的无源平衡-非平衡变压器，将单端射频信号转换为差分信号，以此驱动射频采样 ADC。然而，无源平衡-非平衡变压器在低频侧的工作频率为几百千赫或几十兆赫，视其支持的带宽而定。因此，在测试和测量仪器中使用无源平衡-非平衡变压器驱动射频采样 ADC 会限制可数字化的最低频率。

直流耦合 TRF1305 射频 FDA 可利用直流到 6.5GHz 范围的可用大信号带宽来执行单端至差分转换，同时提供增益。图 1 展示了 TRF1305 射频 FDA 在直流耦合应用中驱动射频采样 ADC 的情况。射频采样 ADC 具有较窄的输入共模范围，超出此共模范围运行会降低 ADC 性能。得益于可采用单电源或灵活双电源并支持输出共模控制，TRF1305 的输出共模更容易与 ADC 的输入共模相匹配。这些功能使该放大器广泛用于直流耦合射频测试和测量仪器，例如高带宽示波器、任意波形发生器和射频数字转换器。

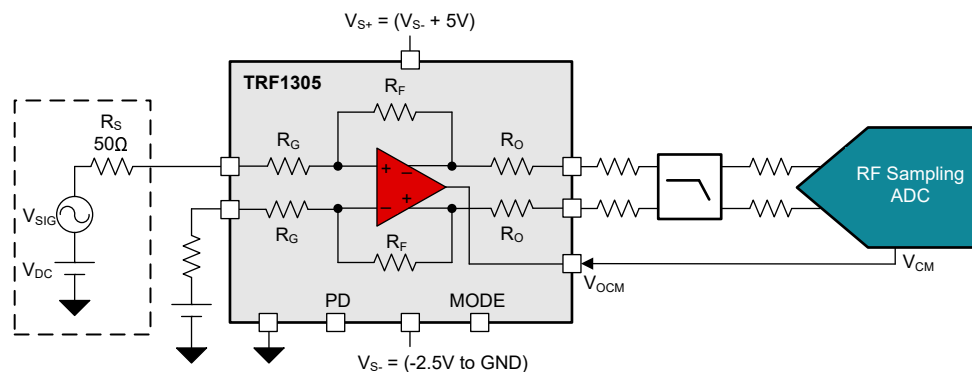


图 1. TRF1305 射频 FDA 直流耦合到射频采样 ADC

线性度更高

信号链中各元件的非线性会影响存在大干扰信号的情况下对小信号的检测。二阶非线性在窄带系统中无关紧要，因为产生的非线性在目标频带之外，并且通常会被滤除。不过，宽带系统并非如此。当输入信号带宽涵盖多个倍频程时，信号的二阶非线性会出现在频带内。例如，假设有一个射频采样 ADC 用于 0.5GHz 至 2GHz 的射频带宽。0.5GHz 信号的二阶非线性发生在该频率的两倍处，即 1GHz 位置。不过，这个二阶非线性小于 2GHz 的最大目标频率，由于无法将其滤除，因此必须将其尽可能降低。

射频采样 ADC 可以在其输入由平衡差分信号驱动时更大程度降低二阶非线性。宽带无源平衡-非平衡变压器的差分输出可能具有较差的增益和相位不平衡，会导致信号不平衡和 ADC 线性性能下降 [1]。用于在无源平衡-非平衡变压器之前放大信号的射频增益块采用单端运行方式，因此具有较差的二阶非线性。TRF1305 和 TRF1208 等射频 FDA 采用了反馈技术，有助于改善差分输出的增益和相位不平衡。这些放大器的差分特性确保了在提供信号放大功能的同时更大程度减少二阶失真，并增强整个系统的线性度。

保护 ADC 不受损坏

在许多测试和测量以及航空航天和国防系统中，用户输入是未知的。这些系统的核心射频 ADC 对高功率级别和过驱很敏感。这些 ADC 也往往具有高性能，通常是信号链中最昂贵的元件之一。因此，务必谨慎设计信号链，确保上述元件不会损坏 ADC。按照设计，射频 FDA 在将射频采样 ADC 驱动到满量程时呈线性。

图 2 展示了 TRF1208 FDA 在发生 4GHz 连续波输入过载时对应的输出饱和电平。TRF1208 具有 16dB 的增益，其输出在 FDA 的输入功率约为 2dBm 时饱和至 3.6Vpp。因此，通过使用射频 FDA 来驱动 ADC，本身就会在输出削波导致过载期间限制功率。

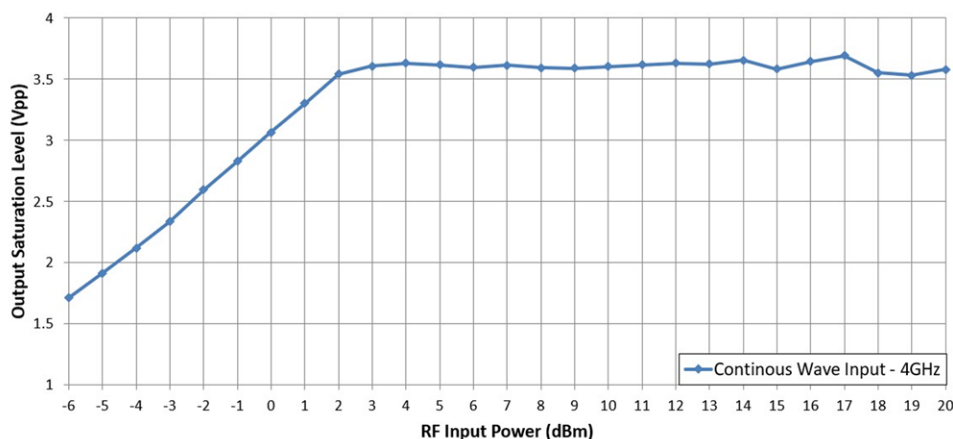


图 2. 发生 4GHz 连续波输入过载时，TRF1208 FDA 的差分输出钳位在 3.6Vpp

如图 3 所示，在 FDA 和 ADC 之间设计一个衰减器垫可以限制 ADC 引脚上的电压摆幅，保护 ADC 不受损坏，简化系统设计注意事项，同时提供更多设计灵活性。

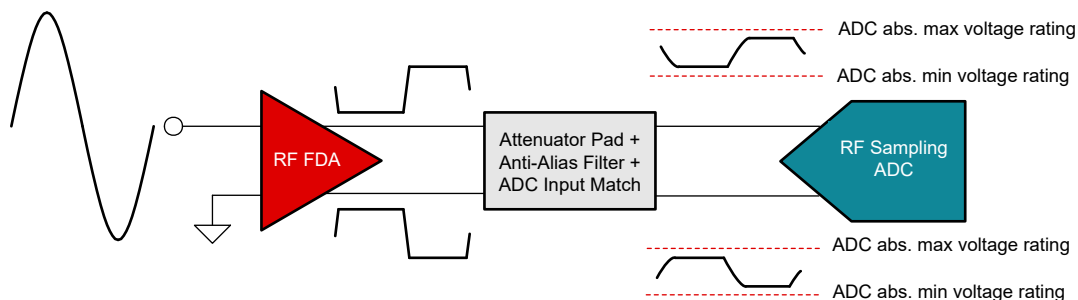


图 3. 射频 FDA 的输出在过载时削波，从而限制进入 ADC 的信号功率

结语

射频采样 ADC 的技术进步和实际运用可减少元件数量并减小电路板尺寸，从而简化射频测试和测量仪器的系统架构。专为 ADC 驱动应用定制的射频 FDA (例如 TRF1305) 可以对直流到 6.5GHz 以上的信号进行单端至差分转换，进一步简化了系统架构。在接收信号链中配合使用宽带射频 FDA 和射频采样 ADC，可增强系统性能，同时减少元件数量，减小电路板尺寸，并降低系统成本。

其他资源

- 在 TI.com 上订购 [TRF1305EVM](#) 并立即开始使用。
- 阅读文章“[在发送信号链设计中使用差分转单端射频放大器的优势](#)”。
- 阅读 [TRF1208](#)、[TRF1108](#) 具有 [Xilinx RFSoc](#) 数据转换器的有源平衡-非平衡变压器接口应用手册，了解更多信息。
- 查看 [TI](#) 的射频和微波产品。

参考资料

1. Reeder, Rob. “[A close look at active vs. passive RF converter front ends](#)”. Planet Analog, Jan. 26, 2022.

发表于《电子设计》杂志。

商标

所有商标均为其各自所有者所有。

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