

第三 dB：为什么有损耗的衰减网络焊盘适用于射频 ADC



Rob Reeder

摘要

使用射频 ADC 的客户，尤其是在开发无源模拟前端设计（例如，使用平衡-非平衡变压器或变压器耦合到 ADC 模拟输入引脚）时的一个常见问题是：为什么平衡-非平衡变压器和 ADC 之间存在 3 至 6db 的电阻衰减网络？这会导致大量的信号损耗！该三电阻器网络的作用是什么？实际上是六个，因为是差分输入。

内容

1 简介.....	2
2 3 至 6dB 原因.....	2
3 总结.....	7
4 参考资料.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

从采用平衡-非平衡变压器、衰减焊盘和 ADC 的简单方框图设置开始，如 图 1-1 所示。该系列是可以在标准高速或射频 ADC 评估板上找到的典型配置。衰减焊盘是一个有争议的元件；设计人员为什么要以这种方式实现前端网络？为什么不简单地将平衡-非平衡变压器输出直接连接到 ADC 的输入引脚？ADC 数据表显示，在大多数情况下，ADC 的输入阻抗为 $100\ \Omega$ 差分阻抗，即用于内部输入缓冲式高速 ADC。

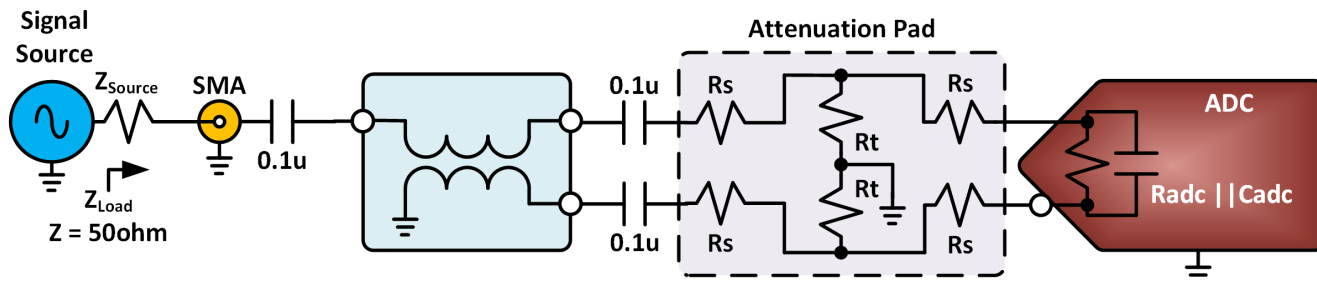


图 1-1. 具有衰减焊盘的通用 ADC 信号链方框图

2 3 至 6dB 原因

以下是五个橡皮图章答案，可以让您了解为何需要此类输入网络：

- 之所以使用 3-6dB 输入网络，是因为在任何通用评估平台 (EVM) 上，对于任何 ADC 制造商，应用组都必须设计一个 EVM 以尝试覆盖 ADC 能够覆盖的整个模拟带宽 (BW) 范围。此外，有各种各样应用范围大不相同的客户和终端用户，因此这种输入网络方法足够通用，能够处理客户在 ADC 模拟输入中所能应用的 95% 的模拟信号。如果需要，客户可以在稍后降低 BW、进行更改或修改输入网络，以便根据其特定的终端应用进行设计。
- 要求 ADC 具有最宽 BW 范围的应用需要 3-6dB 输入网络。一些客户和应用需要 ADC 的完整 BW 功能。电阻网络提供了一个满足平衡-非平衡变压器和 ADC 阻抗要求的良好通用网络。请参阅 图 2-1。

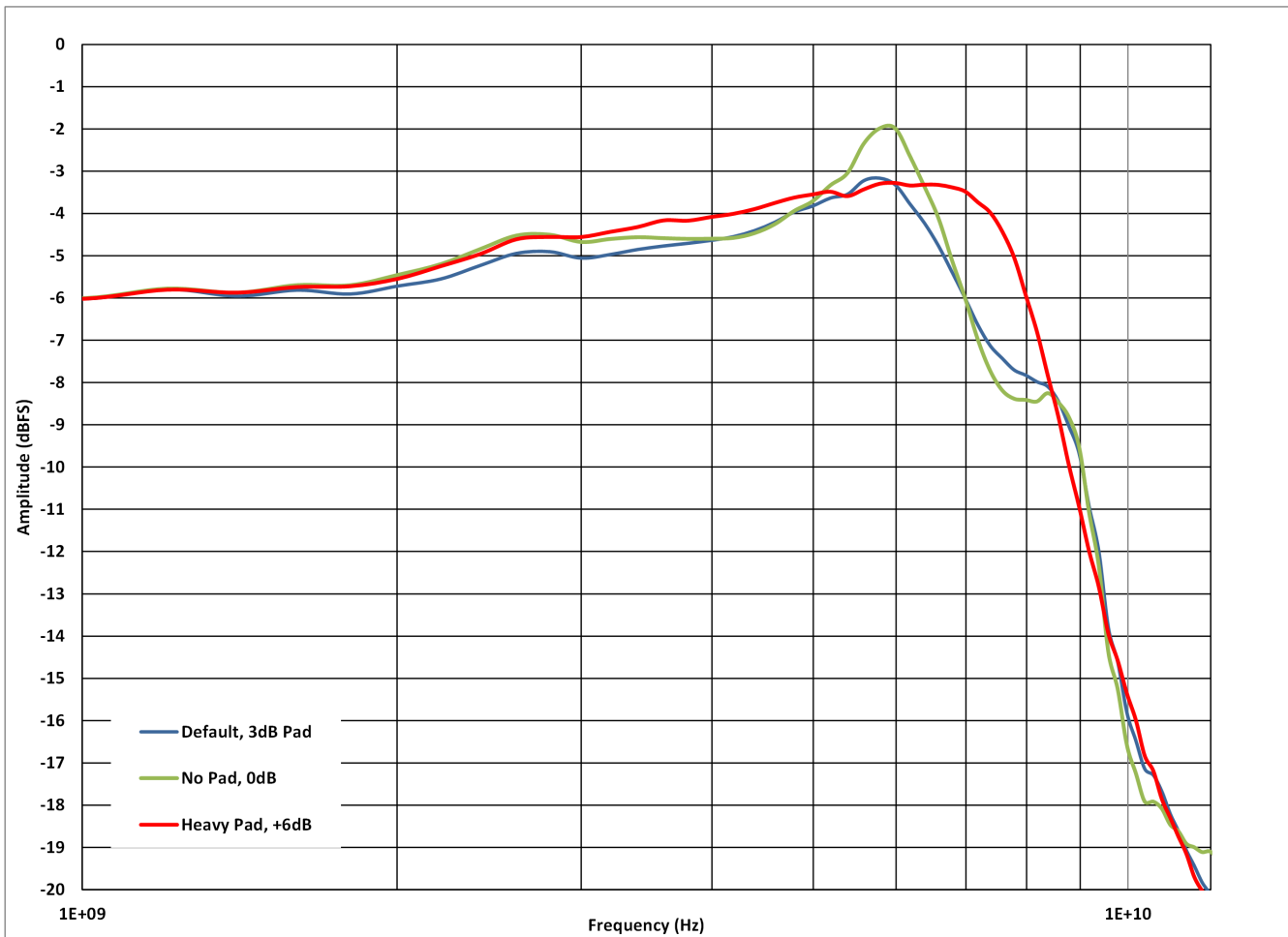


图 2-1. 具有和不具有衰减的平衡-非平衡变压器和 ADC 的带宽响应

- 通常，带宽更宽的平衡-非平衡变压器需要 3-6dB 输入网络。这种类型的网络在很宽的频率范围内提供硬阻抗。请记住，平衡-非平衡变压器通过 VNA 表征，这是在任何频率范围内都经过校准的 50Ω 环境。在测量平衡-非平衡变压器时，VNA 提供一个参考平面，该平面大致位于平衡-非平衡变压器每个主要输入或次级输出的点上。因此，如果以这种方式对平衡-非平衡变压器进行表征，平衡-非平衡变压器自然会希望看到/接近输入或输出的表征阻抗，从而解决平衡-非平衡变压器的自然表征频率能力问题。继续操作，移除差分两侧的三个电阻器，让我们查看一下差异。
- 图 2-2 显示了使用直通连接替换衰减网络时会发生的确切情况。如果我们只在平衡-非平衡变压器输出和 ADC 模拟输入之间使用两个直通互连，看看在没有损耗或匹配衰减焊盘的情况下 BW 如何大幅下降。

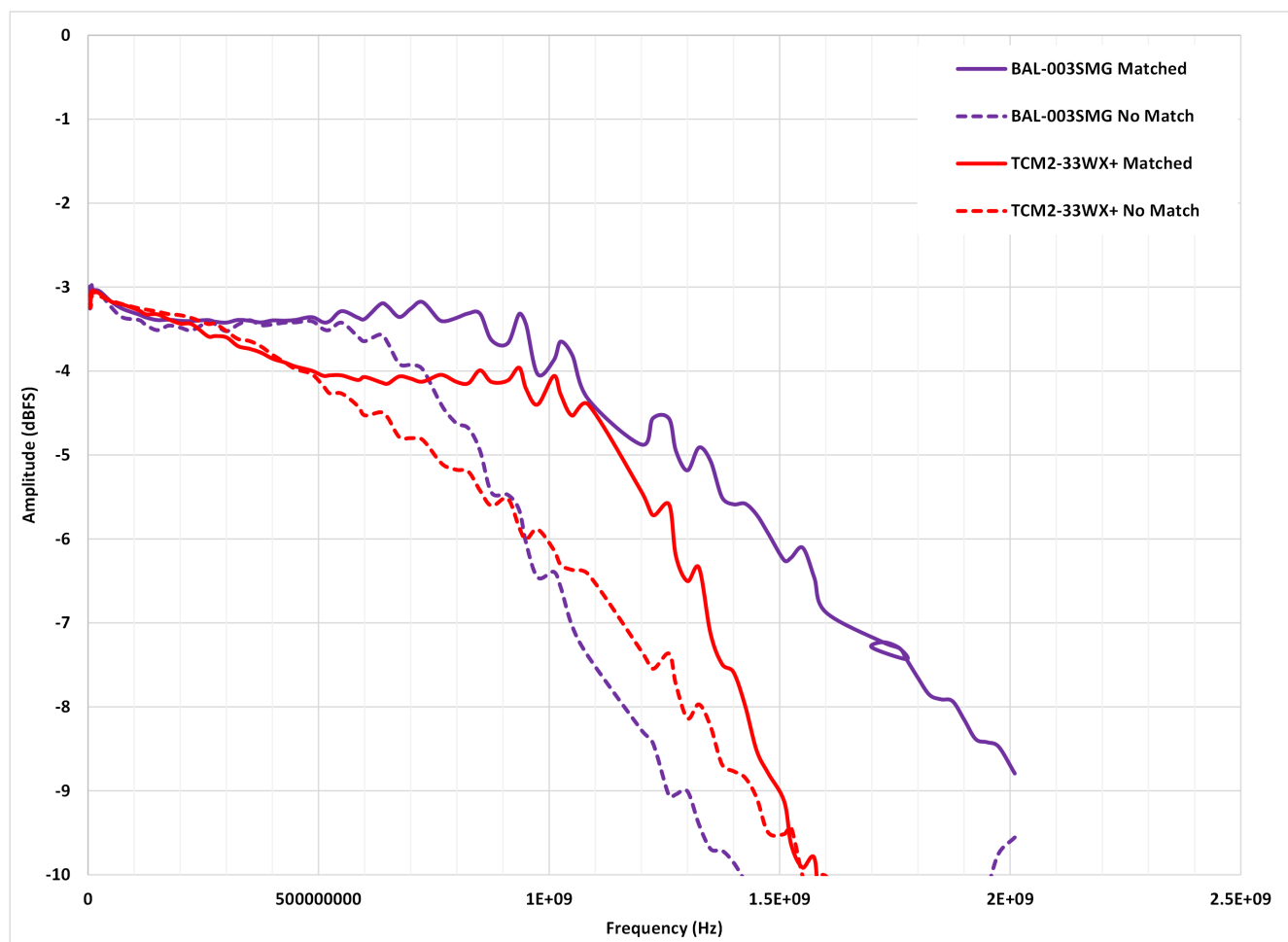


图 2-2. ADC3669 和平衡-非平衡变压器带宽比较：匹配（实线）与不匹配（虚线）

- 需要 3-6dB 输入网络是因为 ADC 的输入阻抗并不精确，即使数据表说这是 $100\ \Omega$ 差分，但遗憾的是实际并非如此。请参阅图 2-3，下面是 ADC12DJ5200RF 模拟输入的 SDD11 s 参数史密斯圆图的测量示例。这是否看起来像是所有频率上的 $100\ \Omega$ 差分？我同意，这不是。最近似乎越来越多的设计人员将数据表阻抗规格视为确切（和固定）值，而实际上，这些值仅在特定条件下用作参考。因此请注意这一点，并在 PCB 上的任何输入或输出或其附近放置一个真实的端接电阻器，以在宽射频频率范围内解决更好的阻抗匹配问题。我是否提到对于任何或所有指定的电阻终端，大多数 IC 工艺节点都有大约 $\pm 20\%$ 的变化？

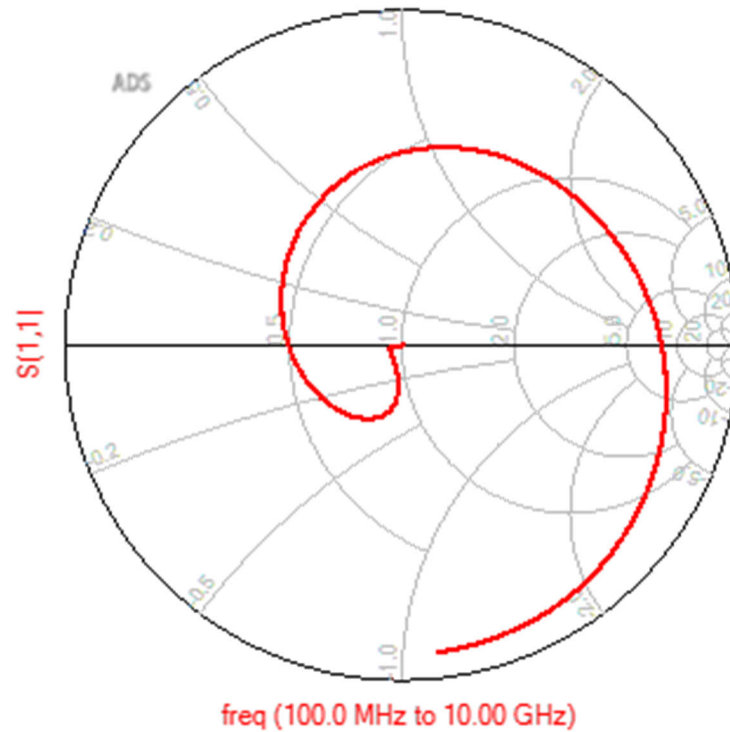


图 2-3. ADC12DJ5200RF 模拟输入的 SDD11 S 参数

- 需要 3-6dB 输入网络的最后一个原因是，随着频率带宽的增加，我们现在是 10GHz，下周将达到 20GHz，依此类推。这推动了对宽带匹配的需求，如上几点所示。但是，放置一个硬阻抗有损耗的衰减焊盘也有助于解决平衡-非平衡变压器输出和 ADC 输入所需的任何阻抗不匹配问题。如您所知，阻抗的任何不匹配都会开始产生驻波，进而导致通带或相关频带中出现纹波。通过将有损耗的衰减焊盘放置在平衡-非平衡变压器输出和 ADC 输入之间，有助于解决这一不匹配问题，并最终快速消除这些驻波而不中断交流性能，例如 SFDR 或无伪波动态范围。请注意在 图 2-4 中，每当实施 3-6dB 衰减焊盘时，纹波和反射如何在 1GHz 以上快速消失。

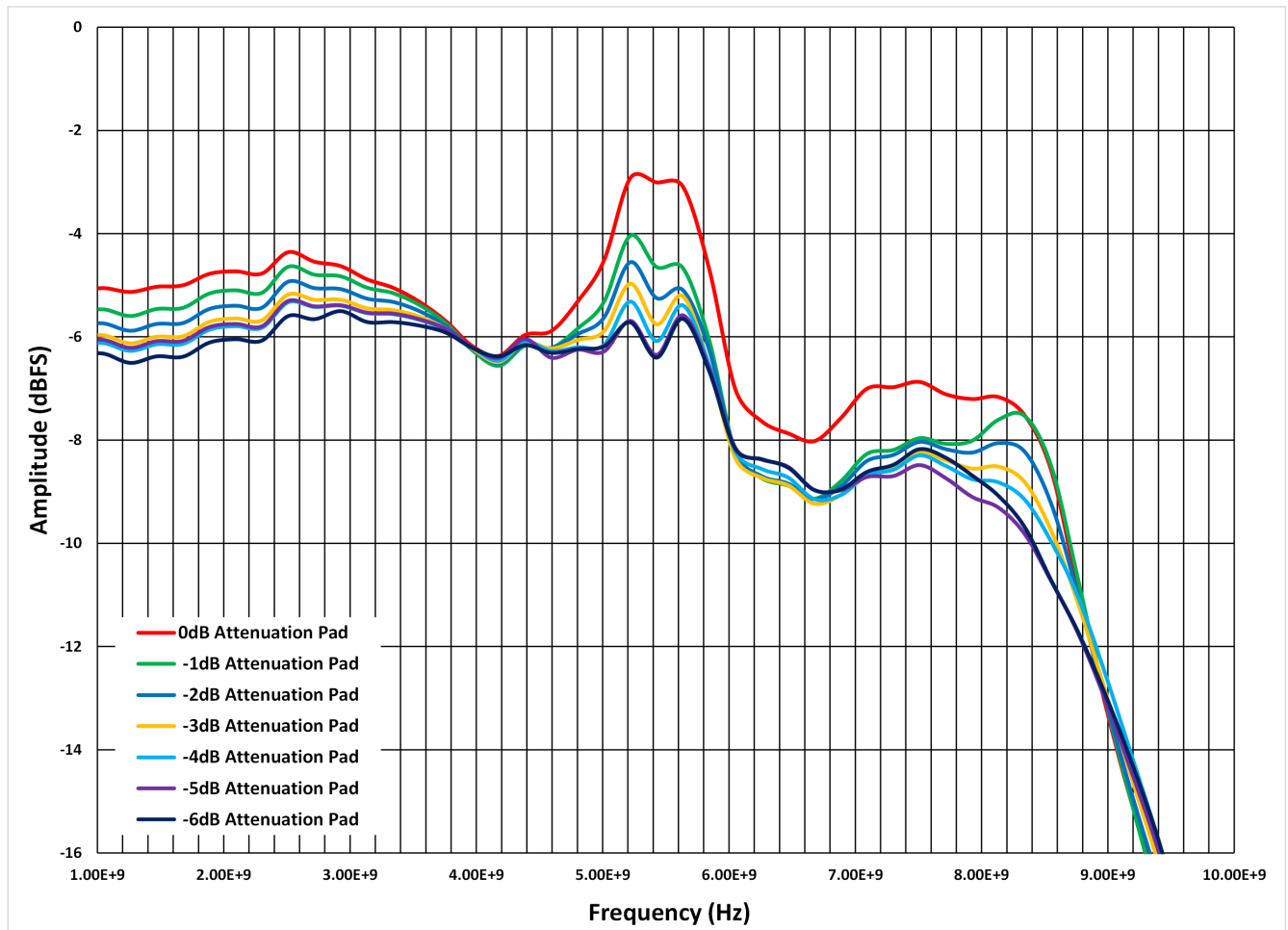


图 2-4. 衰减焊盘与纹波抑制

3 总结

总而言之，当夹在平衡-非平衡变压器输出和 ADC 模拟输入之间时，3-6db 匹配焊盘很有用，这有五个充分的理由。

1. 这有助于在广泛的应用带宽范围内为客户 EVM 提供支持。
2. 从而提供使用 ADC 的全带宽功能的有效方法。
3. 形成硬平衡-非平衡变压器输出阻抗。
4. 形成稳定的 ADC 输入阻抗。
5. 减轻通带纹波和驻波。

虽然有时无法实现有损耗的平衡-非平衡变压器或接口网络，尤其是当设计人员在噪声系数 (NF) 计算或信号链频谱分析方面没有发现任何改进时，这似乎有违直觉，但其价值不可低估。对于无源接口网络，这已被证明有益和有效，并且几乎始终是超出 3-4GHz 范围的宽带或高频应用所必需的。

4 参考资料

- 德州仪器 (TI), [ADC12DJ5200RF 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。
- Planet Analog, [仔细查看有源与无源射频转换器前端](#)。
- 德州仪器 (TI), [探索和理解射频转换器前端的实际设计与工作原理](#) 研讨会。
- 德州仪器 (TI), [高速模数转换器模拟输入前端无源匹配的精妙技巧](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [那么 S 参数到底是什么?](#) 技术文章。
- 德州仪器 (TI), [那么什么是 VNA?](#) 技术文章。
- 德州仪器 (TI), [那么什么是处理频率响应](#) 技术文章。

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、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。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司