

Technical Article

采用差分放大器，差异化精密设计



Jason Clark, Rachel Scheller

虽然许多业界最新的高分辨率精密模数转换器 (ADC) 可实现差分输入以更大限度地提高性能，但许多设计人员仍然选择使用单端放大器，因为这是他们的舒适区。而全差分放大器 (FDA) 可在不牺牲精度的情况下提供诸多系统优势。本文将以 2025 年推出的 THS4536 超高精度、低噪声 80MHz FDA 为例，说明如何实现全差分放大器的诸多优势。

FDA 可通过直流 (DC) 耦合实现简单的单端到差分信号转换。在图 1 至图 3 中，您可以看到三种将单端信号驱动到 ADC 差分输入的不同示例。不过，FDA 可提供更低的功耗、更低的噪声，更大的动态范围和其他电路优势，同时简化了整个信号链。

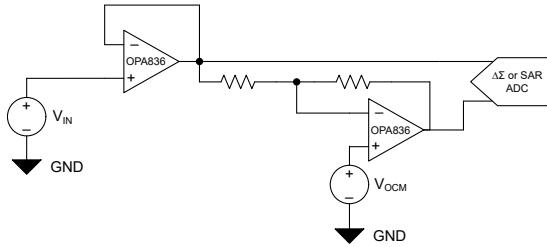


图 1. 使用双路运算放大器 (Op Amp) 的 ADC 驱动

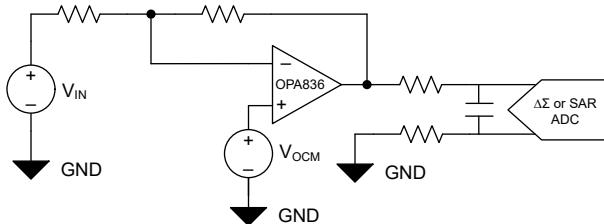


图 2. 使用伪差分输入的 ADC 驱动

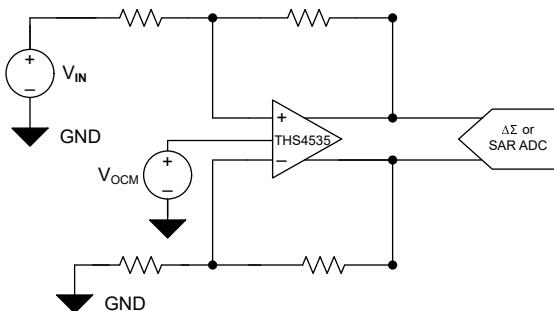


图 3. 使用全差分放大器的 ADC 驱动

FDA 架构可以通过降低 HD_2 显著降低总谐波失真 (THD)。实施 [图 3](#) 所示的 FDA 方法，可以提升总体系统性能，也可以使您能够灵活地使用较低功耗或较低带宽的放大器来满足相同的 THD 要求。

除了较低的 THD 外，单个 FDA ([图 3](#)) $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 在相同功耗下还将具有比一对单端运算放大器 ([图 1](#)) 低的噪声。例如，在双通道运算放大器电路配置中，输入电压噪声为 $4\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的运算放大器的总输入电压噪声将为 $4\sqrt{2}\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。相比之下，对于 THS4536 等全差分放大器，其输入电压噪声同样约为 $4\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，由于仅使用单个器件，因此总输入电压噪声相当于 FDA。

FDA 可以采用单电源电压运行，同时仍接受双极输入信号。[图 4](#) 显示 THS4536 接受 20Vpp 输入 (0V 共模)，并在 2.5V 共模下输出 8Vpp 。此功能可通过消除负电源及任何不必要的信号衰减级来降低系统复杂性。FDA 还包含共模输出环路，可完美匹配预期的 ADC 输入共模。 V_{OCM} 引脚可设置放大器的输出共模，而无需任何额外补偿。

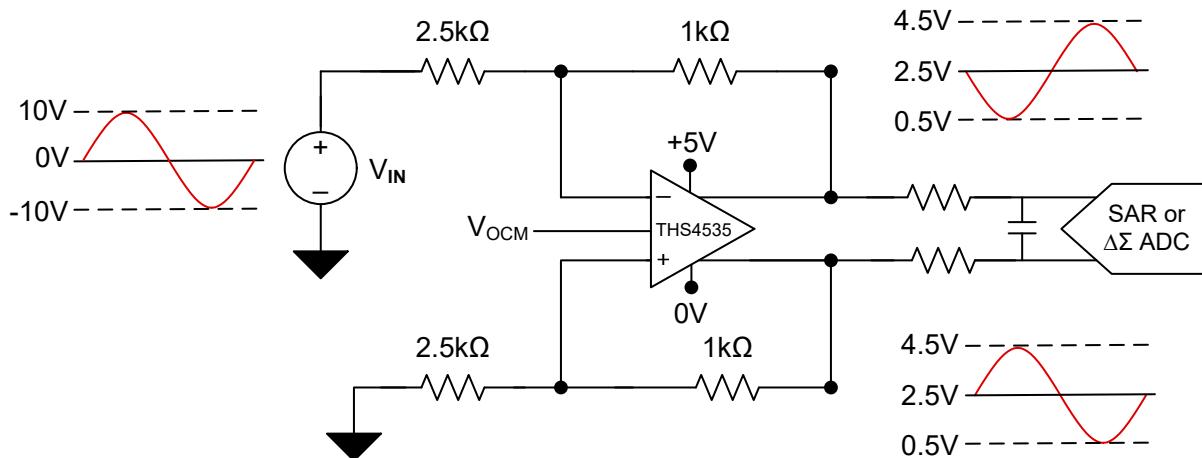


图 4. 衰减配置中的 FDA

如图 5 和图 6 所示，大多数 TI 的 FDA 均采用这两种小型封装，其中包括的 **2mm x 2mm 10 引脚 QFN (RUN)** 是业界最小的 FDA 封装，适用于对空间要求极为严苛的应用。

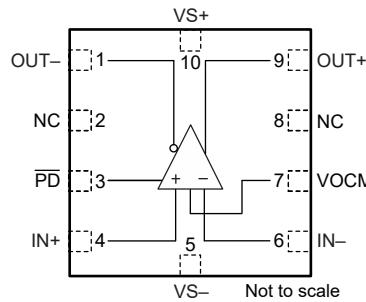


图 5. 2mm x 2mm 10 引脚 QFN

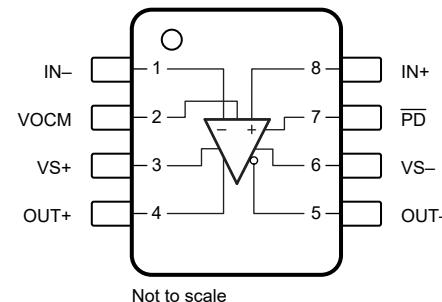


图 6. 5mm x 3mm 8 引脚 VSSOP

TI 于 2025 年推出的 **THS4536** 是业界最高精度的 FDA 之一，输入失调电压低至 $\pm 50\mu\text{V}$ ，最大温漂仅为 $0.8\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。这可以提升系统性能，并更大限度地减少了昂贵且耗时的系统校准需求。

广受欢迎的 **ADS127L11** 24 位 400KSPS $\Delta-\Sigma$ ADC 展示了 FDA 的影响。如图 7 所示，在 1kHz 输入信号 (OSR = 32) 条件下，ADC+驱动器对可实现 102dB 的信噪比 (SNR) 和 -115dB 的 THD。之所以能在增加不到 24mW 系统功耗的同时实现这种性能水平，是因为 **THS4536** 成为设计中不可或缺的关键器件：该设计既能实现极低功耗影响，又能提供出色的谐波失真和精度性能。

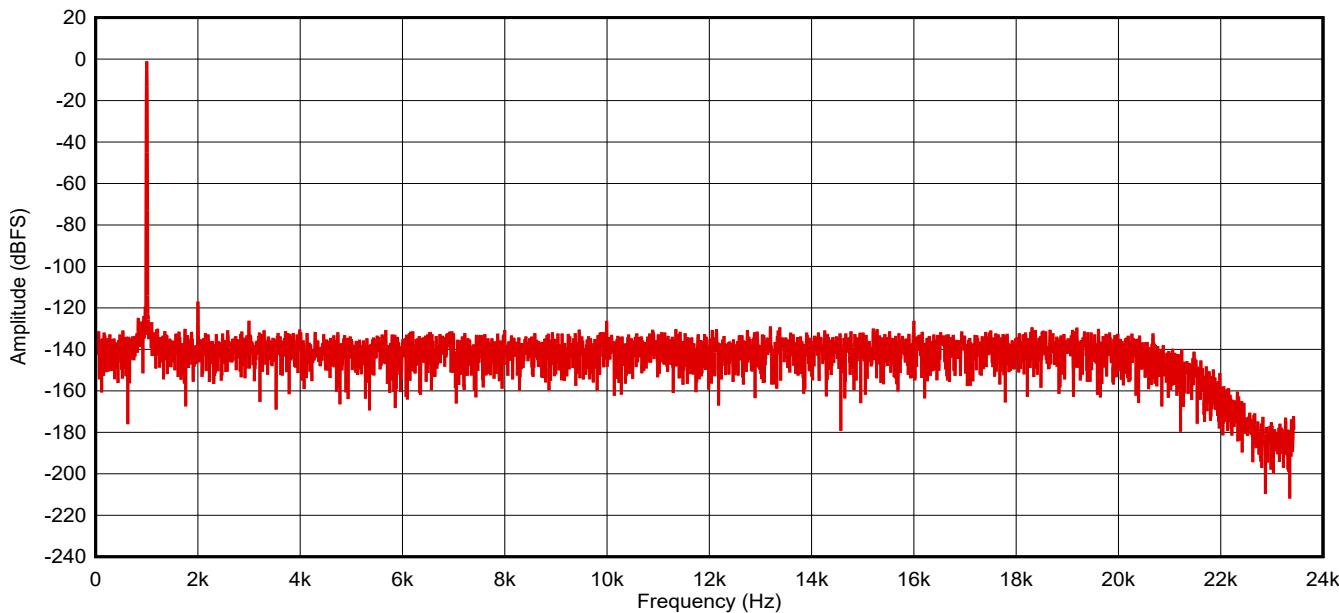


图 7. ADS127L11 搭配 THS4536 频谱

如果您的 ADC 具有差分输入，则使用 **THS4536** 等精密 FDA 是一个不错的选择，可以简化系统设计并实现低噪声、低功耗和低谐波失真。

其他资源

除本文档外，还可以参阅位于 www.ti.com 的以下参考资料。

1. [德州仪器 \(TI\) 的滤波器设计工具](#)
2. [差分 ADC 的有源滤波器设计](#)
3. [差分 ADC 驱动的运算放大器与全差分放大器](#)
4. [在全差分有源滤波器中使用无限增益、MFB 滤波器拓扑](#)
5. [设计用于驱动差分 ADC 的前端](#)
6. [有源低通滤波器设计](#)
7. [AN-1393 使用高速差分放大器驱动模数转换器](#)
8. [使用全差分放大器的单端输入至差分输出电路](#)
9. [使用全差分运算放大器作为衰减器](#)
10. [Dallas Logic Corp. 开发的、用于高速 ADC 的高性能单端至差分有源接口 \(TIDA-00294\)](#)

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出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#))、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026 , 德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期 : 2025 年 10 月