

Application Brief

差分 ADC 的有源滤波器设计



Rachel Scheller

简介

本应用手册旨在优化将传统运算放大器的多反馈 (MFB) 滤波器转换为适合与全差分放大器 (FDA) 配合使用的差分滤波器的过程。将 FDA 用作有源滤波器时，大多数在线滤波器设计者和工具根本不会分析全差分放大器。使用全差分放大器来驱动这些 ADC 的输入有多项优势，例如，能通过直流耦合将单端信号转换为差分信号、在一级中增加增益和有源滤波、独立输出共模控制和改善二阶谐波性能等。

如需对各种滤波器类型（巴特沃斯，贝塞耳等）、传递函数、支持公式等进行更完整的分析，请考虑评估本文末尾列出的参考文献。

MFB 运算放大器实现方案

最简单地说，MFB 滤波器可设计用于传统运算放大器，然后只需翻转或镜像到负极端子上并在反馈网络的两侧进行复制。若要生成用于转换的运算放大器 MFB 模型，请使用 [德州仪器 \(TI\) 的滤波器设计工具](#)。图 1 通过下面的核心 5 基本组件演示了这一原理。

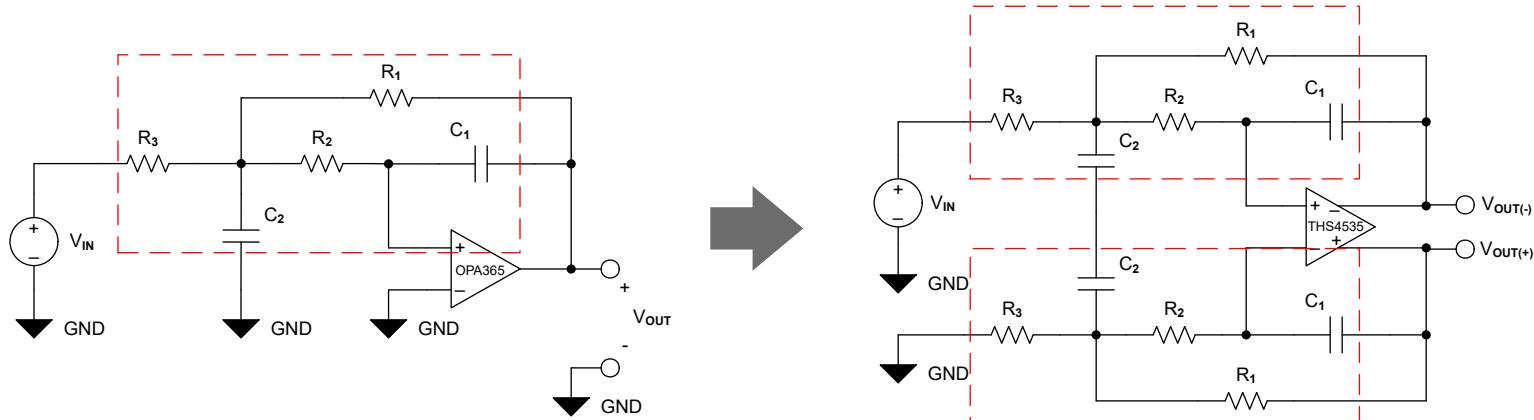


图 1. 运算放大器至差分放大器 MFB 滤波器

备注

如果正在开发的设计具有源阻抗或需要端接电阻器，请记住在 FDA 的反相输入端添加一个电阻器，以匹配同相输入的阻抗。有关此主题的更多详细信息，请参阅本文末尾的参考文献。

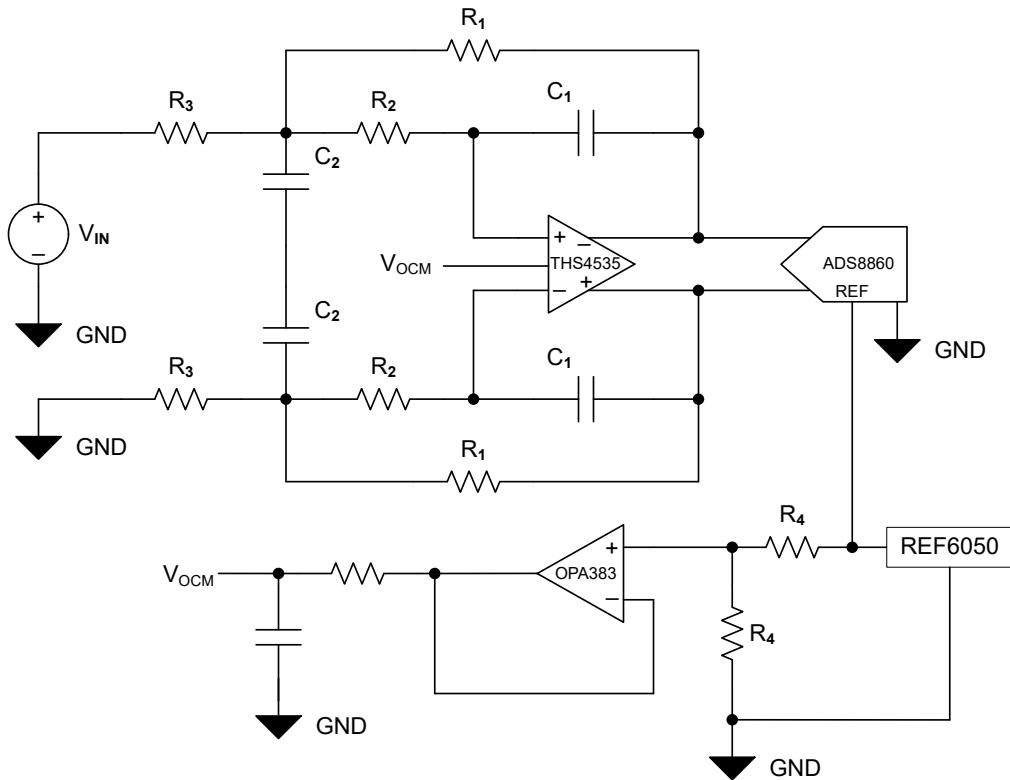


图 2. 驱动 ADC 的差分放大器 MFB 滤波器

两个标有 C2 的电容器可以使用公式 (1) 串联成一个无源元件，如图 6 所示。

$$C_{total} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{2}C_2 \quad (1)$$

仿真实现和结果

表 1 概述了一种常用滤波器应用的示例设计要求，即用于驱动 1MSPS SAR ADC 的抗混叠滤波器。要生成无源值，请使用 [德州仪器 \(TI\) 的滤波器设计工具](#) 来生成可转换为 FDA 滤波器的运算放大器滤波器。

表 1. 设计要求

参数	目标值
滤波器类型	二阶低通巴特沃斯 ($Q = 0.707$)
截止频率	500kHz
目标增益	1V/V
FDA	THS4535
ADC 采样率	1MSPS
目标 ADC	ADS8860

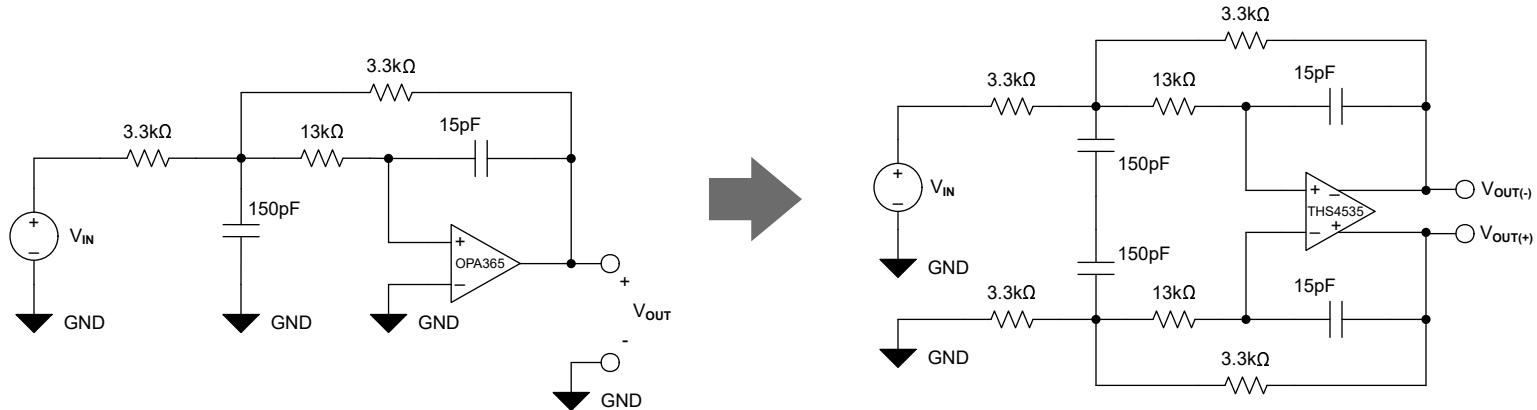


图 3. 500kHz、增益 = 1V/V、低通滤波器原理图

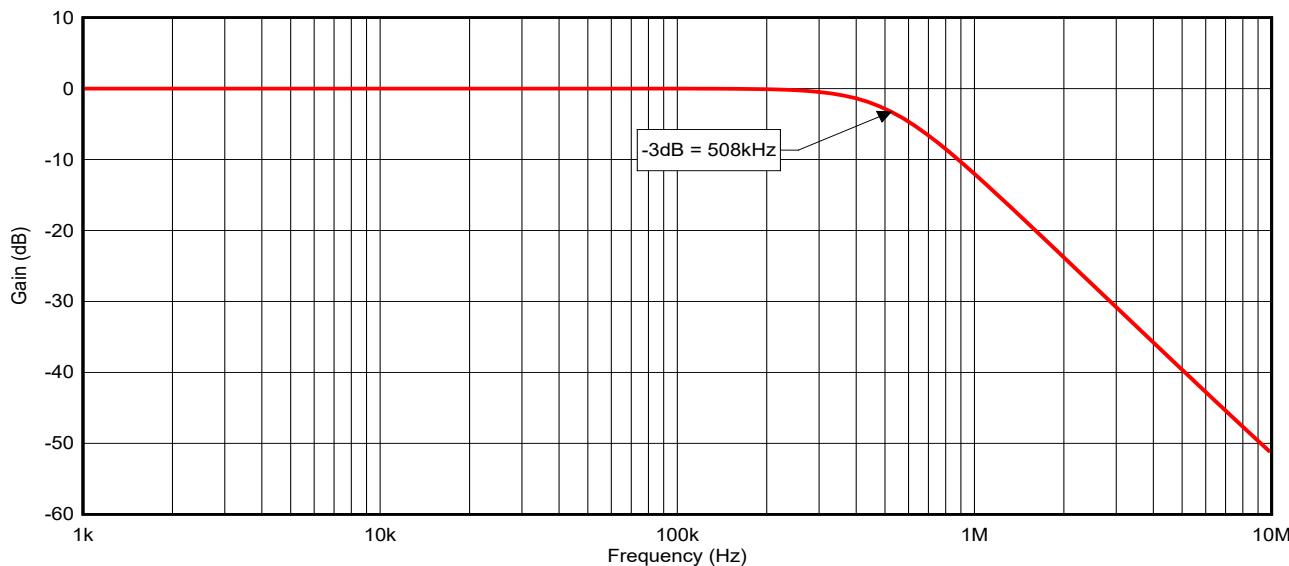


图 4. 500kHz、增益 = 1V/V、低通滤波器 OPA365 运算放大器频率响应

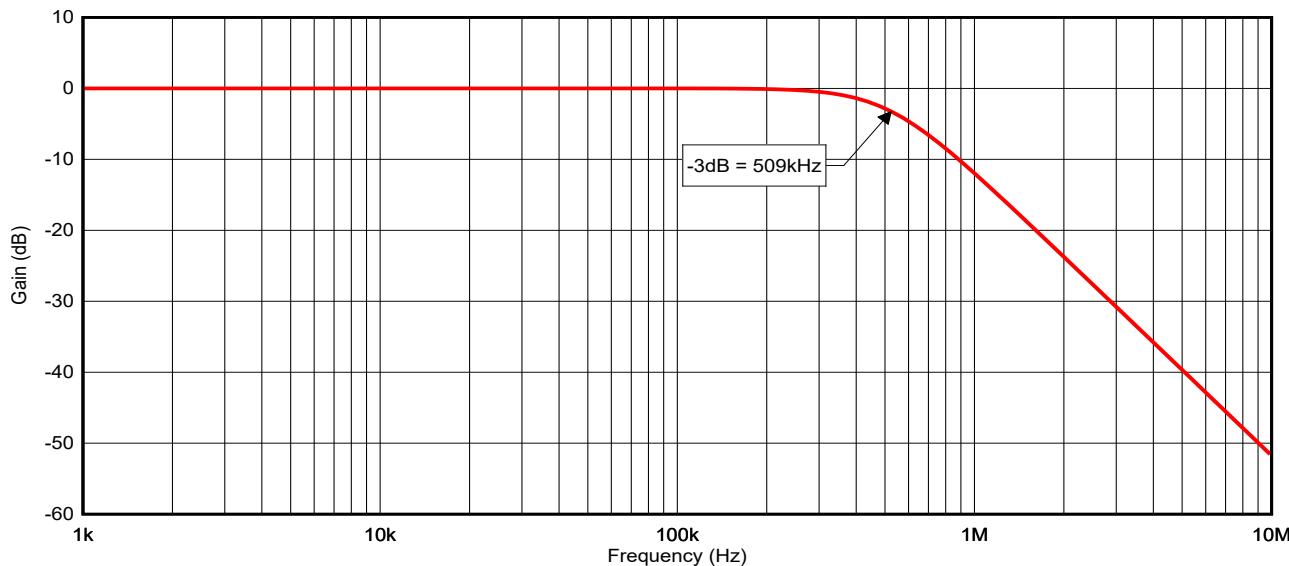


图 5. 500kHz、增益 = 1V/V、低通滤波器 THS4535 FDA 频率响应

表 2 概述了一个增益为 2V/V 的其他设计示例，以展示仅利用一个有源元件时，单端到差分转换、增益增加和有源滤波情况。

表 2. 设计要求

参数	目标值
滤波器类型	二阶低通巴特沃斯 ($Q = 0.707$)
截止频率	500kHz
目标增益	2V/V
FDA	THS4535
ADC 采样率	1MSPS
目标 ADC	ADS8860

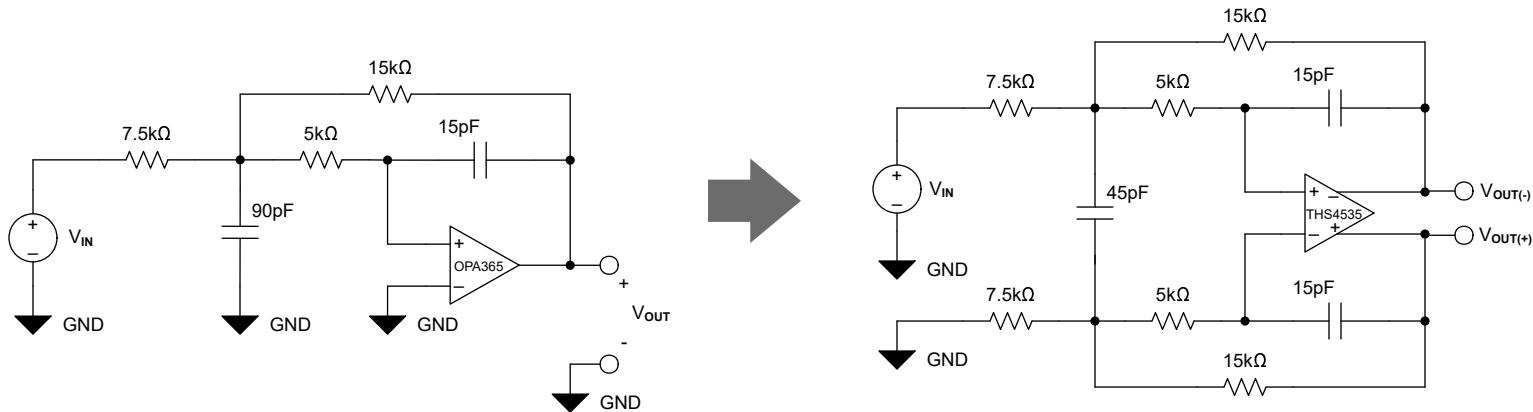


图 6. 500kHz、增益 = 2V/V、低通滤波器原理图

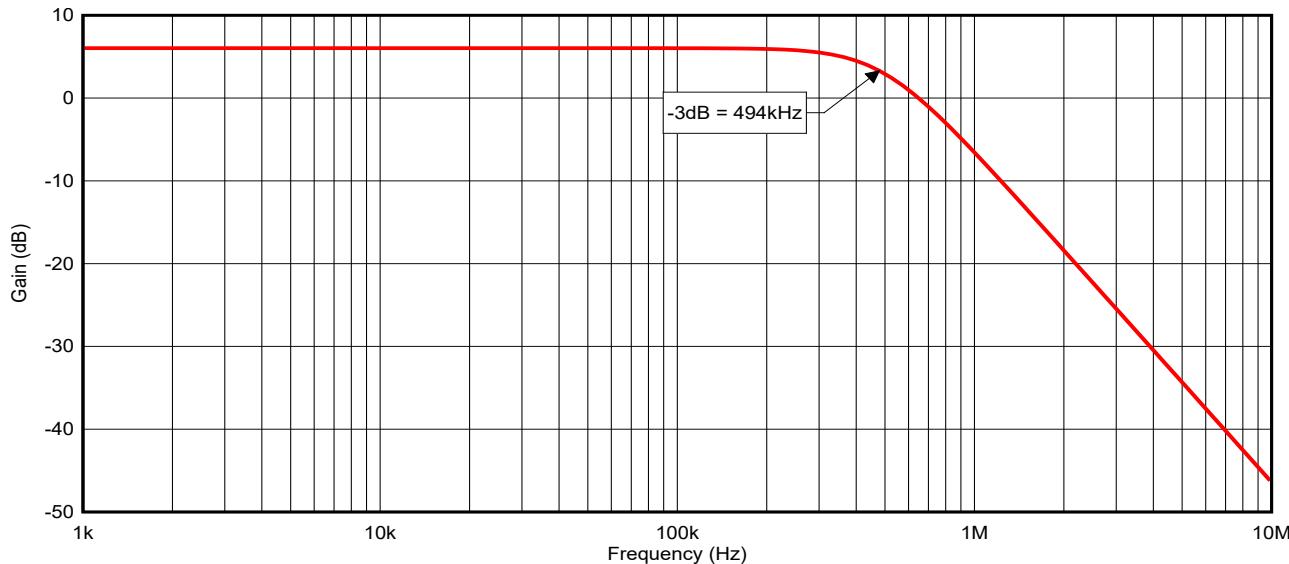


图 7. 500kHz、增益 = 2V/V、低通滤波器 OPA365 运算放大器频率响应

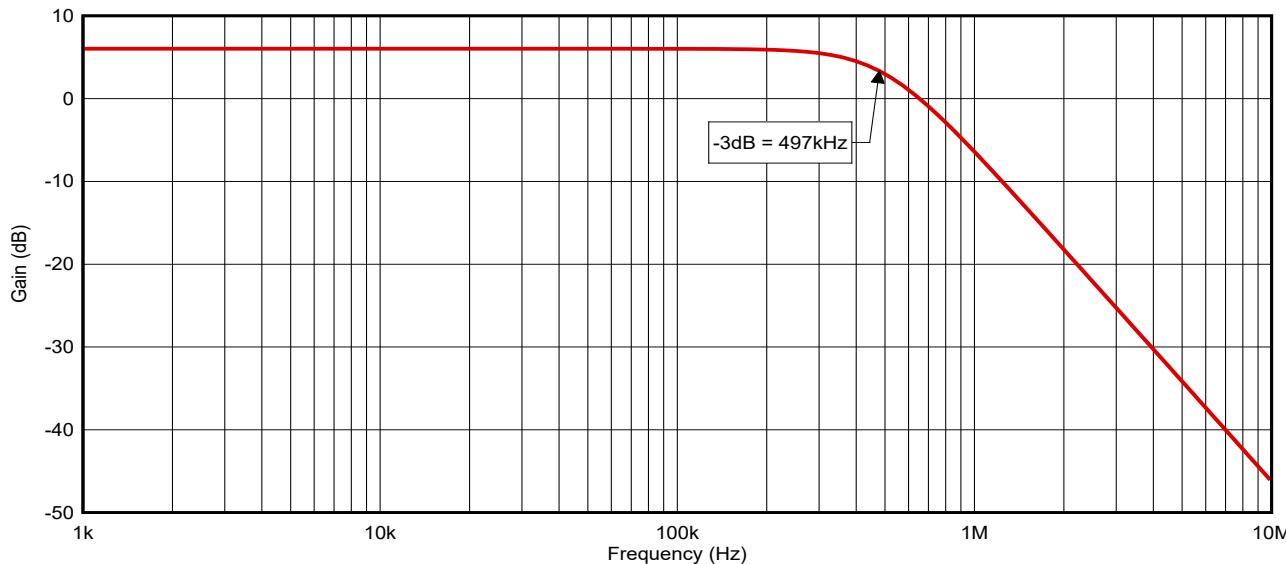


图 8. 500kHz、增益 = 2V/V、低通滤波器 THS4535 FDA 频率响应

为了进一步提高系统的滤波器匹配和 CMRR 性能，请考虑使用 TI 的精密匹配电阻器 [RES11A](#)。

Sallen-Key 实现

Sallen-Key 滤波器通常不与全差分放大器一起使用。由于依赖于连接到传统运算放大器反相和同相端子的反馈路径，因此在本文件中不考虑这一点。在此配置中，每个端子上的阻抗不匹配 - 如果将其复制到 FDA 上，阻抗不匹配会导致高失真和其他电路异常。因此，通常建议在全差分放大器中使用前述的 MFB 滤波器拓扑。

参考资料

- 德州仪器 (TI)，[德州仪器 \(TI\) 的滤波器设计工具](#)
- 德州仪器 (TI)，[在全差分有源滤波器中使用无限增益、MFB 滤波器拓扑](#)，模拟应用说明。
- 德州仪器 (TI)，[设计前端以驱动差分 ADC](#)，视频
- 德州仪器 (TI)，[有源低通滤波器设计](#)，应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[AN-1393 使用高速差分放大器驱动模数转换器](#)，应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[使用全差分放大器，从单端输入至差分输出电路](#)，模拟工程师电路。
- 德州仪器 (TI)，[THS4551 低噪声、高精度 150MHz 全差分放大器](#)，数据表。

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月