

Application Note

比例式输出隔离式放大器的系统优势



Jiri Panacek

摘要

本应用报告探讨了使用新一代具有单端输出的隔离式放大器的优势，特别是比例式配置 (AMC0330R)，它可自动调节增益以匹配基准电压。通过利用此功能，系统可以增强信号完整性并优化模数转换链。

内容

1 简介.....	2
2 将比例式输出隔离式放大器与 ADC 配对.....	3
2.1 测试设置.....	3
2.2 REFIN 电压跟踪.....	4
2.3 比例式配置噪声抑制.....	4
2.4 无伪波动态范围.....	6
2.5 REFIN 对 VOUT 的瞬态响应.....	7
2.6 REFIN 到 VOUT 的传递函数.....	8
3 总结.....	9
4 参考资料.....	9

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

在需要对电路的两个部分进行电气隔离的系统中，隔离式放大器是基本的构建块。隔离式放大器允许跨隔离栅传输模拟信号。原则上，隔离式放大器是高端精密模数 (ADC) 和数模 (DAC) 转换器，在一个封装中集成了数字隔离器。在初级侧 (输入)， Δ - Σ 调制器将输入信号转换为数字数据。然后，电容隔离将此数据跨隔离栅传输。次级侧 (输出) 的电路将数字数据转换回模拟电压。

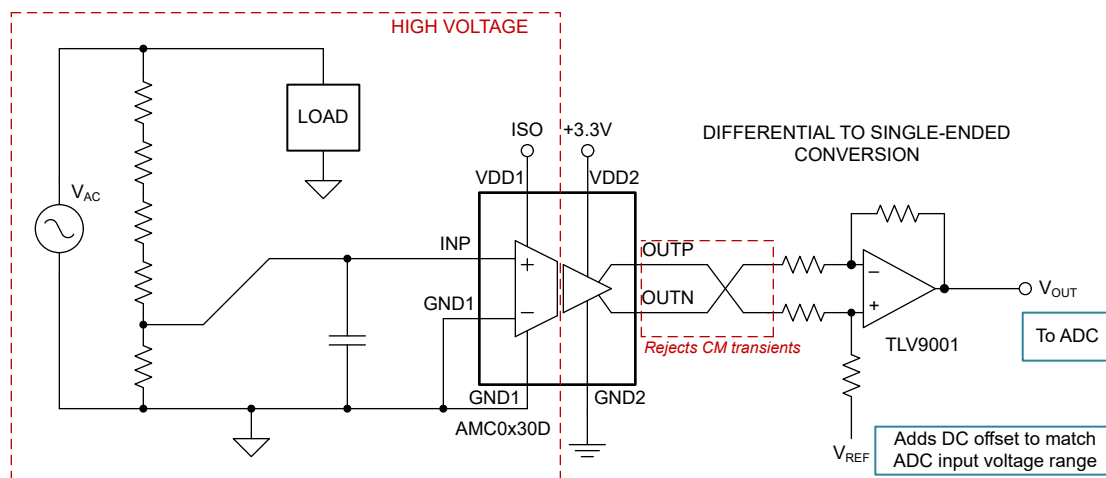


图 1-1. 具有差分输出的系统示例

最常见的隔离式放大器版本具有全差分输出，如 图 1-1 所示。在共模 (CM) 噪声可能干扰放大器和模数转换器之间的信号链的系统中，该配置非常有用。不过，如果系统对共模噪声并不敏感，那么单端输出型隔离式放大器 (图 1-2) 就不需要额外配置差分放大器，而在差分输出的情况下，这类差分放大器通常是必不可少的。AMC0x30S 系列电压检测器件就是一个很好的示例，可提供两种输出类型。

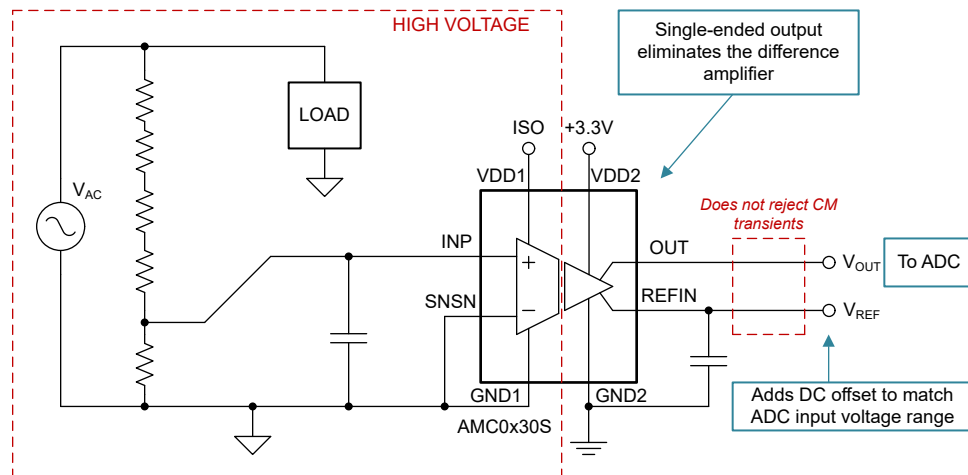


图 1-2. 具有单端输出的系统示例

2 将比例式输出隔离式放大器与 ADC 配对

隔离式放大器通常与单端 ADC 连接。ADC 输入范围对应于在内部或外部生成的基准电压 (V_{REF})。

对于比例式输出器件, 如果 $REFIN$ 和 $VREF$ 共享相同的电压, 则绝对电压并不重要, 因为两端都会自动调整增益并相互跟踪。这样就无需使用精确的电压基准, 可自动补偿长期漂移和低频纹波。当然, 影响仅限于特定的电压和频率范围。不过, 此配置有效地抑制低频纹波和基准电压偏差。接下来的几章将重点介绍采用 **AMC0330R** 的信号链的系统内抑制性能, 该信号链与具有 16 位逐次逼近寄存器 (SAR) ADC 的 **TMS320F28P650** 微控制器配合使用。

2.1 测试设置

图 2-1 和 图 2-2 展示了用于测量的测试配置。任意波形发生器 (AWG) 提供基准电压, 允许动态更改基准电压 V_{REF} 。

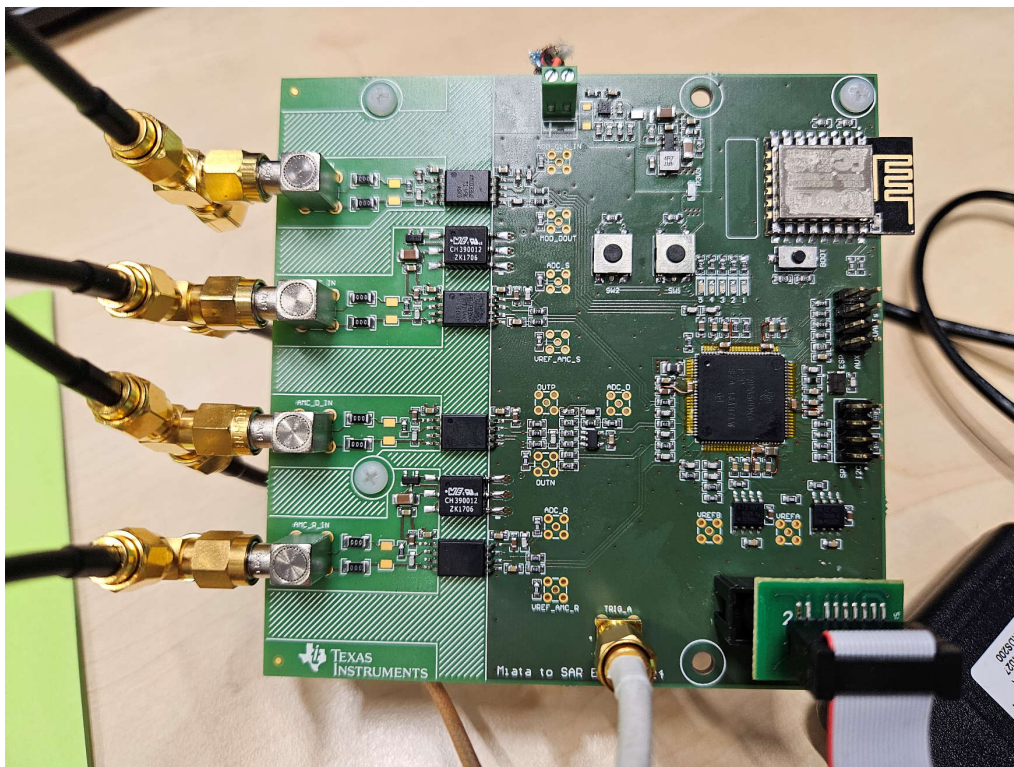


图 2-1. 实验测试设置

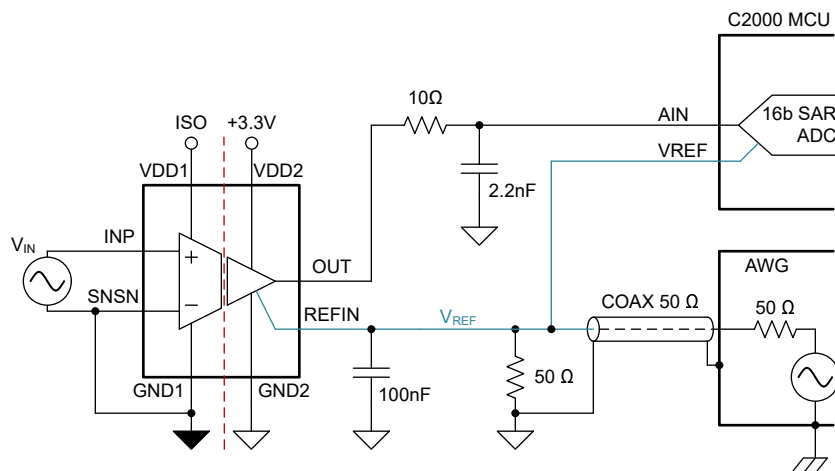


图 2-2. 采用 **AMC0330R** 和 SAR ADC 进行测量的测试配置

2.2 REFIN 电压跟踪

图 2-3 说明了 AMC0330R 器件的输出如何跟踪 REFIN 电压。输入信号是振幅为 1V 的 10kHz 正弦波。施加到 REFIN 引脚的基准电压是 1kHz 三角波，具有 3V 直流偏移和 300mV 峰值间纹波，相当于直流偏移的 10%。

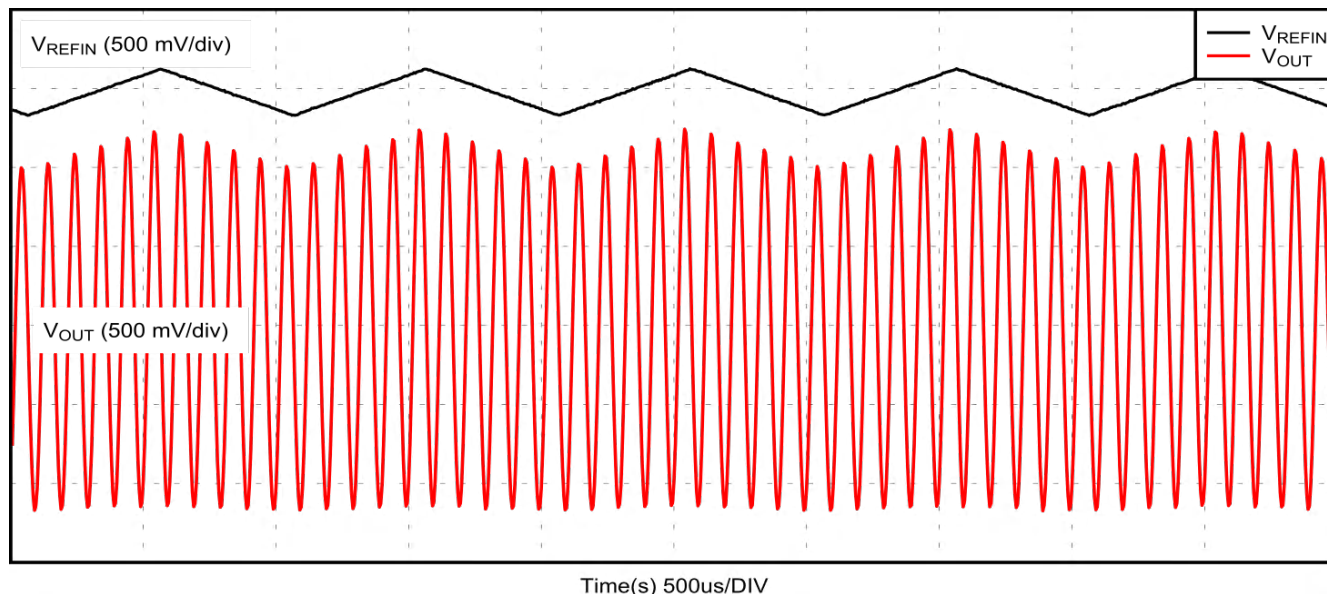


图 2-3. 比例式输出电压跟踪 REFIN

2.3 比例式配置噪声抑制

对于噪声抑制基准测试，该测试使用以下配置。

- VREF 与 TMS320F28P650 MCU 和 AMC0330R 器件中的 16 位 SAR ADC 共享，如 图 2-2 所示
- AWG 注入调制基准电压，其中 $V_{REF(NOM)} = 3V$ ， $V_{REF(INJ)} = 300mV_{pp}$ (正弦波) (图 2-4)
- 输入电压为零 ($V_{IN}=0V$)

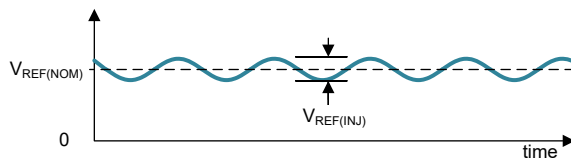


图 2-4. 施加到 V_{REF} 以进行抑制测试的波形

测试操作步骤如下：

- AWG 会以多步方式对 V_{REF} 进行扫频，范围为从 500Hz 到 100kHz
- 在每个步骤中，MCU 都会存储 8192 个 ADC 样本
- 在每个步骤中，个人计算机 (PC) 中的软件都会对 ADC 样本应用快速傅里叶变换 (FFT)，并以与当前步骤和 AWG 输出相对应的频率读取峰值
- 软件根据 FFT 峰值计算峰值振幅 $V_{ADC(OUT)}$
- 系统计算衰减

$$\text{Attenuation[dB]} = 20 \times \log_{10} \frac{V_{ADC(OUT)}}{V_{REF(INJ)}} \quad (1)$$

图 2-5 展示了 500Hz 至 100Hz 范围内所有步骤的曲线。

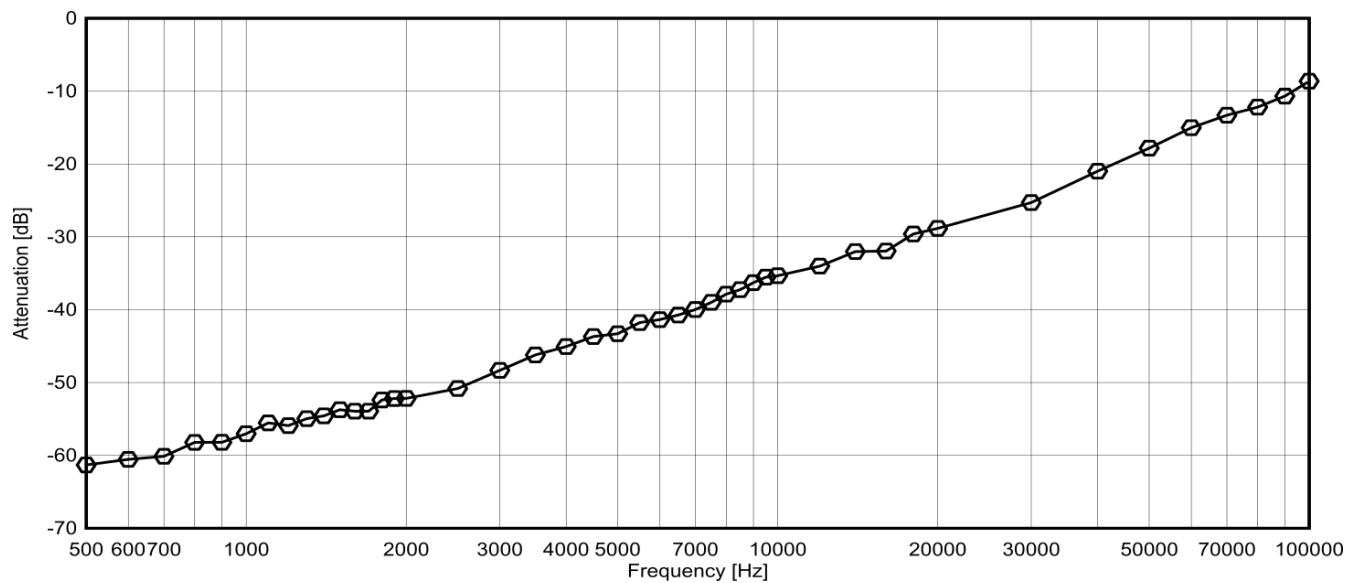


图 2-5. 比例式配置 V_{REF} 噪声抑制

2.4 无伪波动态范围

无伪波动态范围 (SFDR) 在通信行业中更为相关，但这也是一个在频域中可以清楚地看到的实用指标 (图 2-6)。此参数有助于了解注入噪声与目标信号相比有多大。

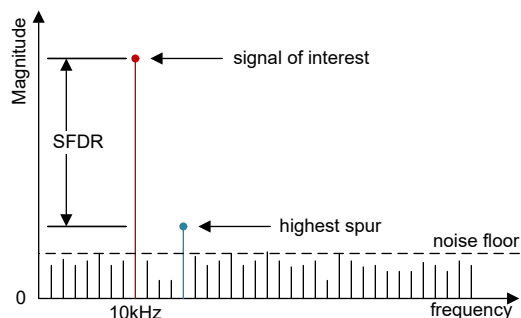


图 2-6. 无伪波动态范围

测试程序和配置与上一个示例中的测试程序和配置类似，但并不相同。输入电压 V_{IN} 是振幅为 $2V_{PP}$ 的 10kHz 正弦波。该信号表示目标信号。**AWG** 注入调制的 V_{REF} ，如上一个示例所示。

图 2-7 展示了比例式配置与非比例式配置的 SFDR 性能对比。默认的非比例式配置动态范围 (由注入噪声与目标信号的比值决定) 在实践中保持恒定。

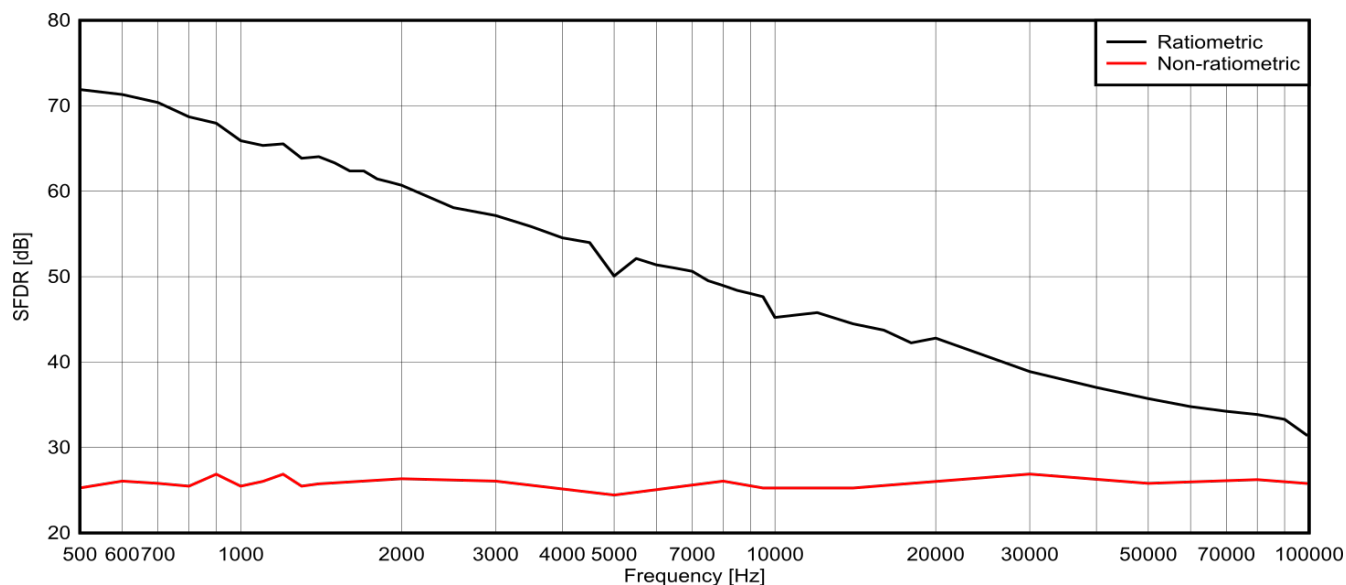


图 2-7. 固定增益配置与比例式配置的无伪波动态范围比较

2.5 REFIN 对 VOUT 的瞬态响应

当输入电压 V_{IN} 为 0V 时，AMC0330R 器件的输出电压为 $V_{OUT}=V_{REFIN}/2$ 。该测试研究了输出电压 V_{OUT} 对基准电压 V_{REF} 变化的响应速度。图 2-8 显示了测试设置。驱动阻抗为 25Ω 。图 2-9 展示了移除 C_{REFIN} 时的瞬态响应，图 2-10 展示了组装电容器 $C_{REFIN}=68nF$ 时的瞬态响应。在这两种情况下， V_{OUT} 趋稳时间约为 $8\mu s$ 。带有电容器的配置仅表现出很小的过冲。

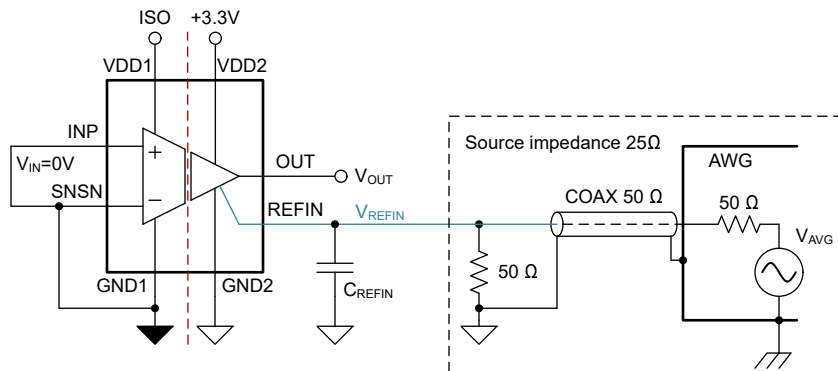


图 2-8. 瞬态和频率响应测试设置

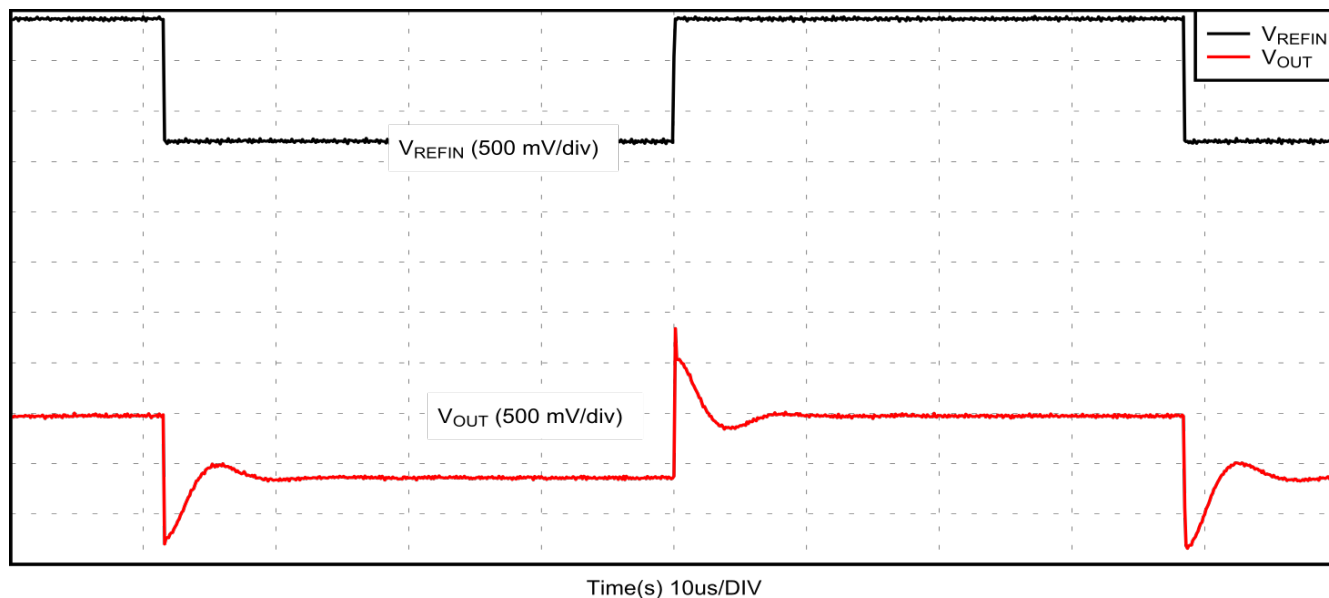


图 2-9. REFIN 至 OUT 瞬态响应 (未组装 C_{REFIN})

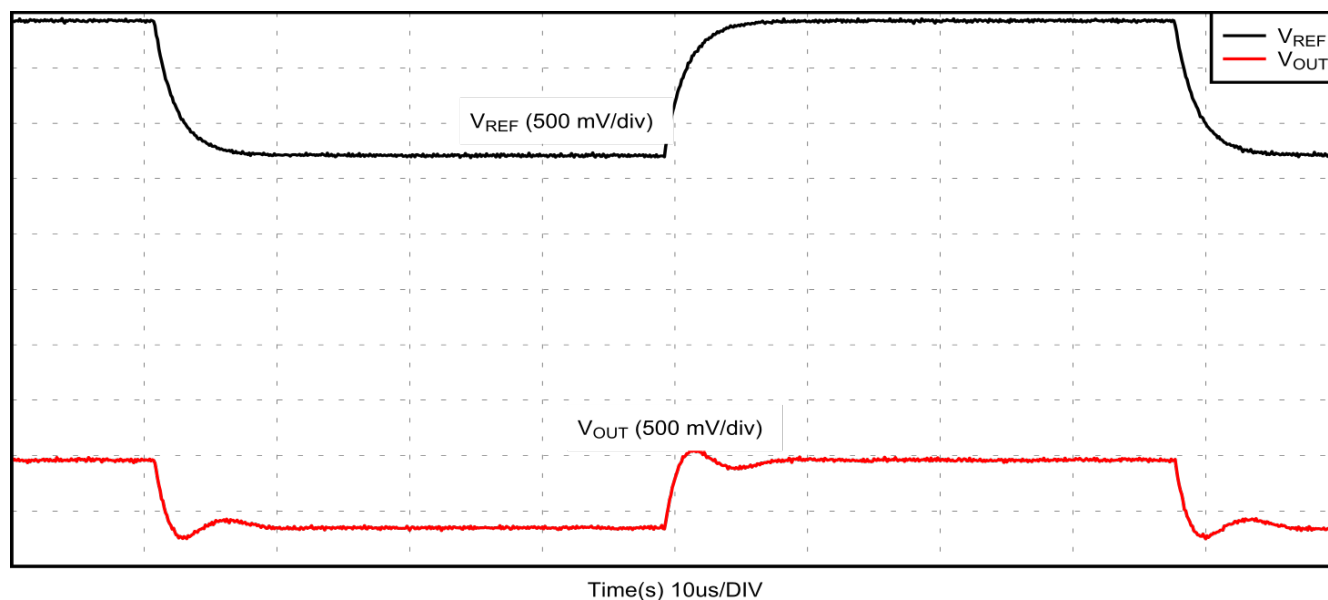


图 2-10. REF_{IN} 至 OUT 瞬态响应 ($C_{REFIN}=68\text{nF}$)

2.6 REF_{IN} 到 V_{OUT} 的传递函数

图 2-11 展示了 REF_{IN} 信号到 V_{OUT} 信号的传递函数。测量使用的配置与节 2.5 中所述的配置相同。该图从 -6dB 点开始，因为输出电压 V_{OUT} 是基准电压 V_{REFIN} 的一半。

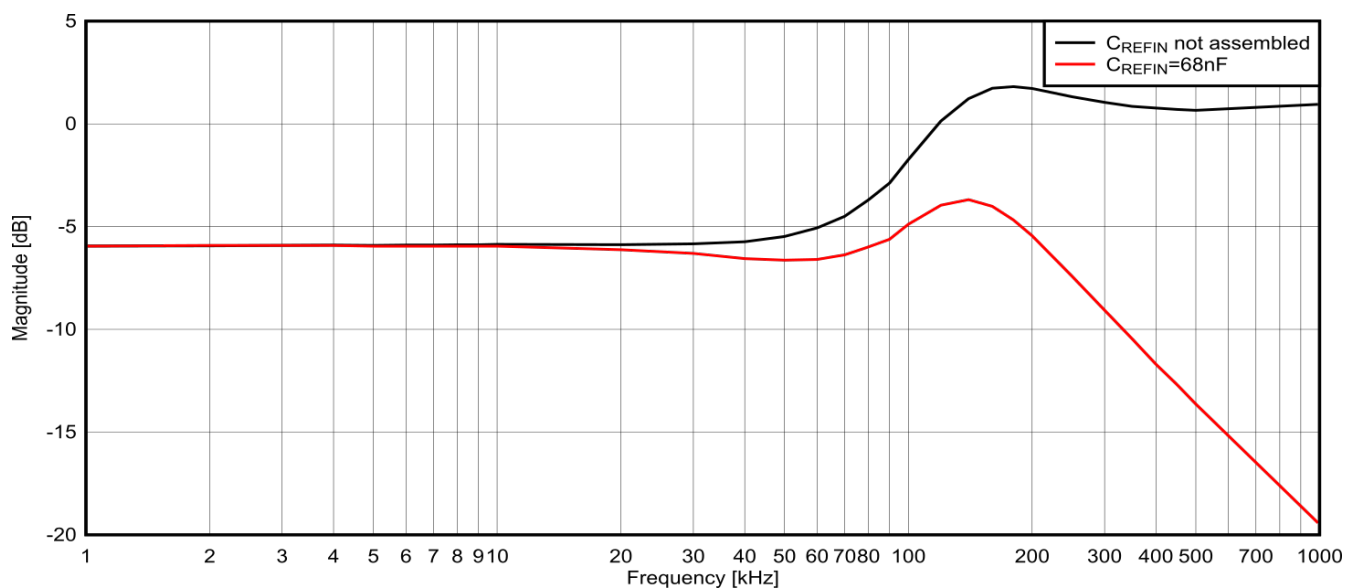


图 2-11. REF_{IN} 至 OUT 传递函数

3 总结

本应用报告演示了比例式输出隔离式放大器的系统内性能，重点说明了抑制低频基准电压变化的能力。在许多情况下，设计人员可以完全去除 ADC 的精确电压基准，改用集成电压基准或为微控制器供电的数字电源轨。虽然比例式配置在低频率下具有优势，但由于滤波器级存在延迟和相移，其有效性在较高频率下会受到限制，这会导致输出信号 V_{OUT} 无法及时跟踪基准电压 V_{REF} 。尽管如此，在所有情况下都建议组装 C_{REFIN} 电容器，因为这可以有效地防止高频噪声耦合到 REFIN 引脚。

4 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，[AMC0x30R-Q1](#) 具有比例式单端输出的汽车级 $\pm 1V$ 输入、基础型隔离和增强型隔离精密放大器数据表。

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、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