

Application Brief

采集宽带数据的 1MHz 信号链



Michael Saul and Rahul Kulkarni

Precision ADC

引言

需要使用宽带精密数据采集电路 (DAQ) 来测量信号振幅在短时间内快速变化的模拟信号。即使是用于测量低频或直流信号的电路也需要一个宽带精密数据采集电路, 这是因为信号多路复用器从一个输入通道变为另一个输入通道会导致输出发生阶跃变化, 如所图 1 示。

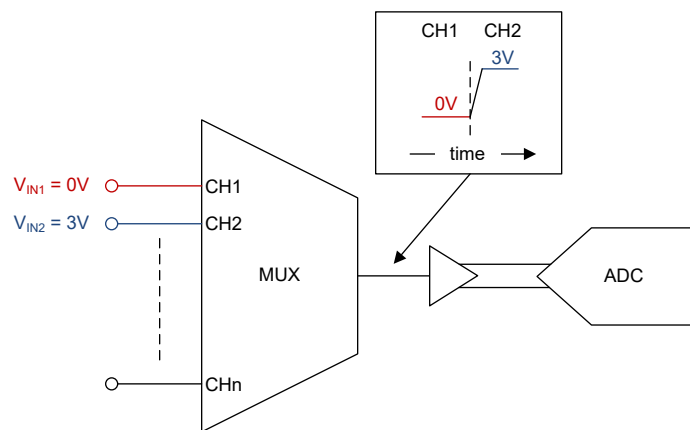


图 1. 多路复用宽带 DAQ 电路

在某些应用中, 模拟输入信号具有高频成分, 因此数据采集电路需要宽带。宽带精密数据采集电路可用于分析电动汽车牵引逆变器功率和测试近场热震。

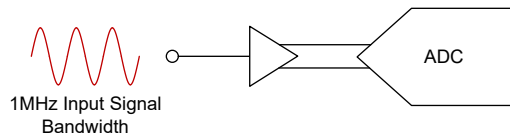


图 2. 宽带模拟信号的 DAQ 电路

1MHz 的 DAQ 电路

图 3 中的电路包括一个 ADC (ADS9219) 和一个 ADC 驱动器 (THS4541)。该 ADC 驱动器和 ADC 电路针对配置了 1MHz 带宽的信号进行了低失真和低噪声优化, 从而使该电路非常适合宽带数据采集系统。

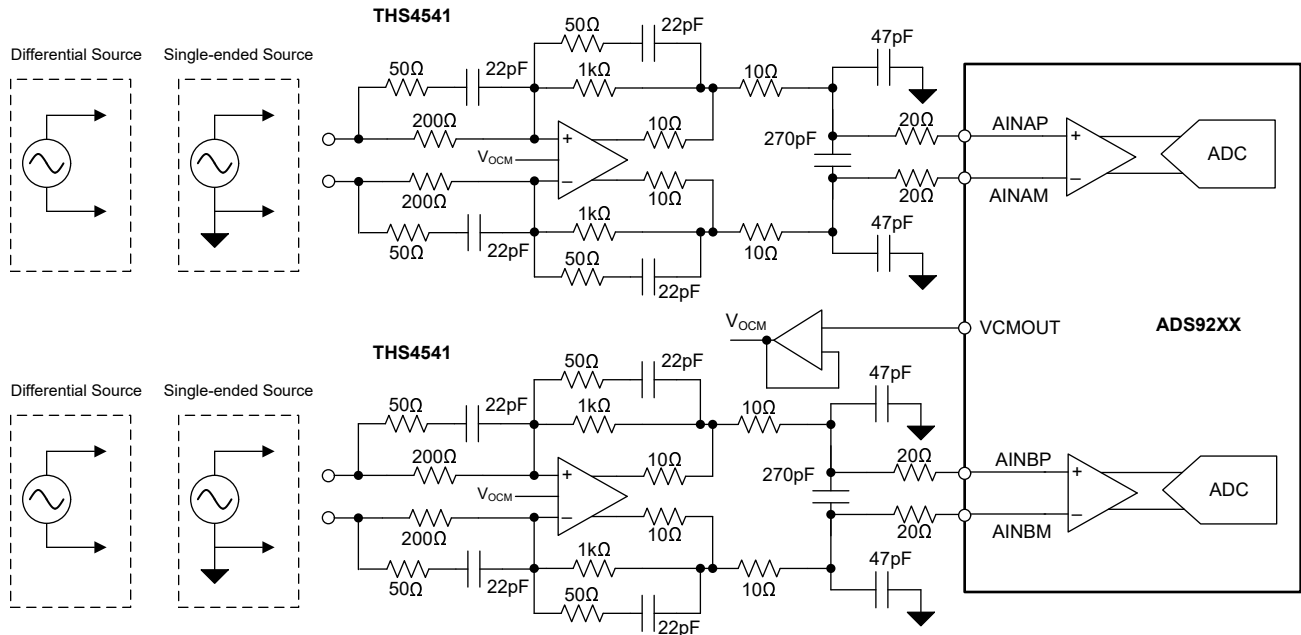


图 3. 适用于测量配置了 1MHz 带宽的输入信号的电路

元件选型

用于驱动模数转换器 (ADC) 模拟输入的电路需要足够的带宽 (通常远大于信号带宽), 以处理 ADC 开关电容器输入的反冲。不过, 放大器会产生宽带电压噪声 (通常在放大器数据表中指定为电压噪声密度), 该噪声会导致信噪比 (SNR) 随着电路带宽的增加而降低。因此, 在驱动 ADC 的模拟输入时, 可以在低噪声 (较低带宽) 和低失真 (较宽带宽) 之间进行权衡。如果模拟输入信号为高频信号 (这本质上需要宽带电路), 则折衷会更加明显。

图 4 和 图 5 图形所示的是两个全差分放大器的总谐波失真 (THD) 与频率的比较情况: 分别是 THS4551 和 THS4541。THS4541 在 1MHz 时提供 -120dB 的低谐波失真。因此, 该放大器是设计低失真和宽带信号链的理想选择。

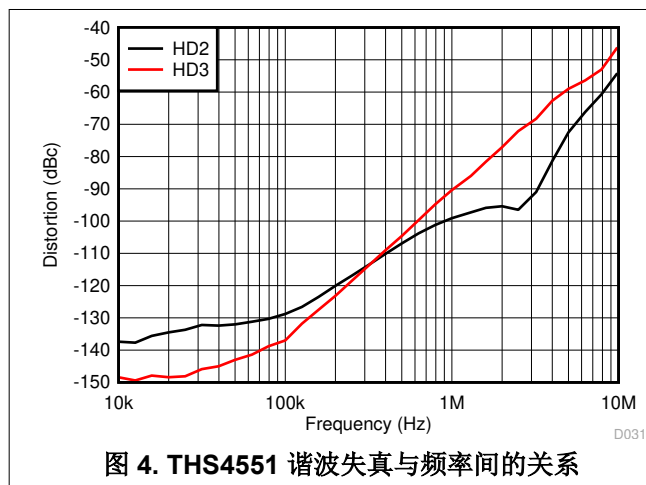


图 4. THS4551 谐波失真与频率间的关系

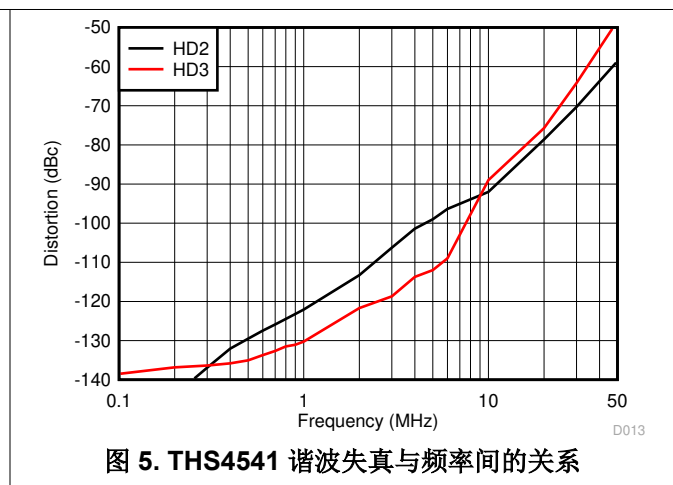


图 5. THS4541 谐波失真与频率间的关系

选择 ADC 时, 采样率和模拟输入带宽能足以将宽带信号或可在多路复用器输出端看到的快速变化信号数字化。根据奈奎斯特定理, ADC 的采样率为模拟输入信号带宽的两倍。不过, 实际上, ADC 采样率需要比信号带宽大得多, 才能获得足够数量的数据点进行后期处理。此外, ADC 的模拟输入带宽需要足够大, 以便可靠地对快速变化或高频模拟输入信号进行采样。

与 1MHz 上的模拟输入信号带宽相比，使用快得多的 ADC 所面临的挑战是 ADC 驱动器设计在低失真和低噪声之间实现平衡变得非常复杂。这是因为 ADC 输入驱动器必须具有高带宽，才能在两次连续采样之间为 ADC 的采样电容器充满电，从而保持低失真。ADS9219 配有一个集成式 ADC 驱动器，其模拟输入带宽大于 45MHz，这表明外部电路无需为 ADC 的采样电容器充电，并且 ADC 配有足够的模拟输入带宽，可靠地对 1MHz 模拟输入信号进行数字化。

由于 ADS9219 配有集成式 ADC 驱动器，因此 THS4541 电路需要有足够的带宽，以便为 1MHz 模拟输入提供低失真。电路优化 中所述的电路是一个宽带数据采集电路的示例，该电路针对高达 1MHz 的模拟输入信号的低噪声和低失真进行了优化。

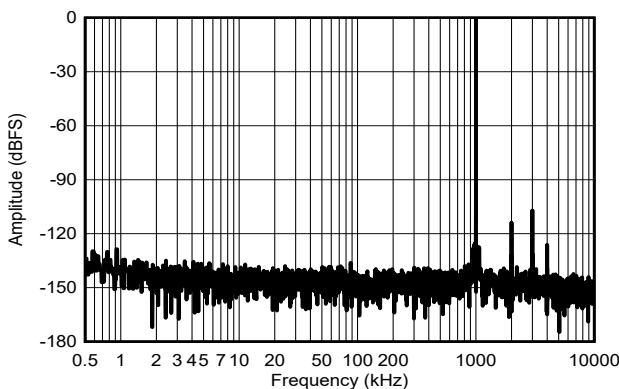
电路优化

为了提高图 3 中所示电路的性能，进行了以下设计优化：

1. **THD 优化** - 为了提高电路的 THD，将反馈电阻器设置为 1k Ω 且将 Z_{LOAD} 设置为 270pF，以此增加 R_{LOAD} 。
2. **SNR 优化** - THS4541 电路的反馈网络生成白噪声，因此添加了 270pF 差分电容器和 22pF 反馈电容器以限制信号链噪声带宽。
3. **放大器稳定性** - 为了提高相位裕度和稳定性，增加了与反馈电容器串联的 50 Ω 电阻器。

测量结果

THS4541 和 ADS9219 电路采用 1MHz 模拟输入信号进行了测试。该电路的 SNR 为 94.9dBFS 且 THD 为 -104.2dB，如图 6 所示。THS4541 和 ADS9219 电路具备这种低噪声和低失真的优势，非常适合用于需要高保真信号处理的系统，例如宽带数据采集系统。



$f_{IN} = 1\text{MHz}$ 、SNR = 94.9dBFS、THD = -104.2dB

图 6. $f_{IN} = 1\text{MHz}$ 时的典型 FFT

总结

设计一款宽带精密电路对于测量短时间内信号幅度快速变化的模拟信号至关重要。为了实现这一目标，工程师必须平衡低噪声和低失真，这可能具有挑战性，尤其在处理高频信号时更是如此。THS4541 全差分放大器和 ADS9219 ADC 配置了高模拟输入带宽的集成式 ADC 驱动器，是此应用的理想选择。如 [电路优化](#) 所述，在由 1MHz 的输入信号驱动时，通过优化 THS4541 电路的低失真和低噪声，该电路的 SNR 为 94.9dBFS 且 THD 为 -104.2dB。通过优化 SNR、THD 和放大器的稳定性，可提高电路性能，因此，在需要高保真信号处理（如功率分析和高温冲击测试）的应用中，此电路是一种极佳的选择。

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