

## Application Brief

位置反馈：采用同步采样 SAR ADC 采集  $1V_{PP}$  正弦或余弦编码器信号

## 简介

精密运动系统需要高分辨率的位置反馈以确保精确控制。这在诸如伺服驱动器、工业自动化、机器人技术和 CNC 加工等应用中尤其重要。为了满足这些需求，此类行业中的编码器通常会生成  $1V_{PP}$  差分正弦和余弦信号。这些输出可提供更高的抗噪性并允许更精确的插值，最终有助于提高系统精度和可靠性。

本应用简报介绍了一种信号链实现方案，此方案可通过  $1V_{PP}$  正弦或余弦输入实现 16 位插值。

## 正弦或余弦编码器信号

编码器广泛用于运动控制系统，用于跟踪旋转或线性位置和速度。虽然 TTL 和 HTL 数字输出格式很常见，但编码器提供的分辨率有限。相比之下，模拟正弦/余弦编码器通过具有  $90^\circ$  相移的连续波形提供高分辨率反馈。这些信号是差分信号，以直流失调电压为中心，并标准化为  $1V_{PP}$ 。

为了在电机速度提高时保持精度，模拟前端和 ADC 必须提供足够的带宽并支持同步差分采样。

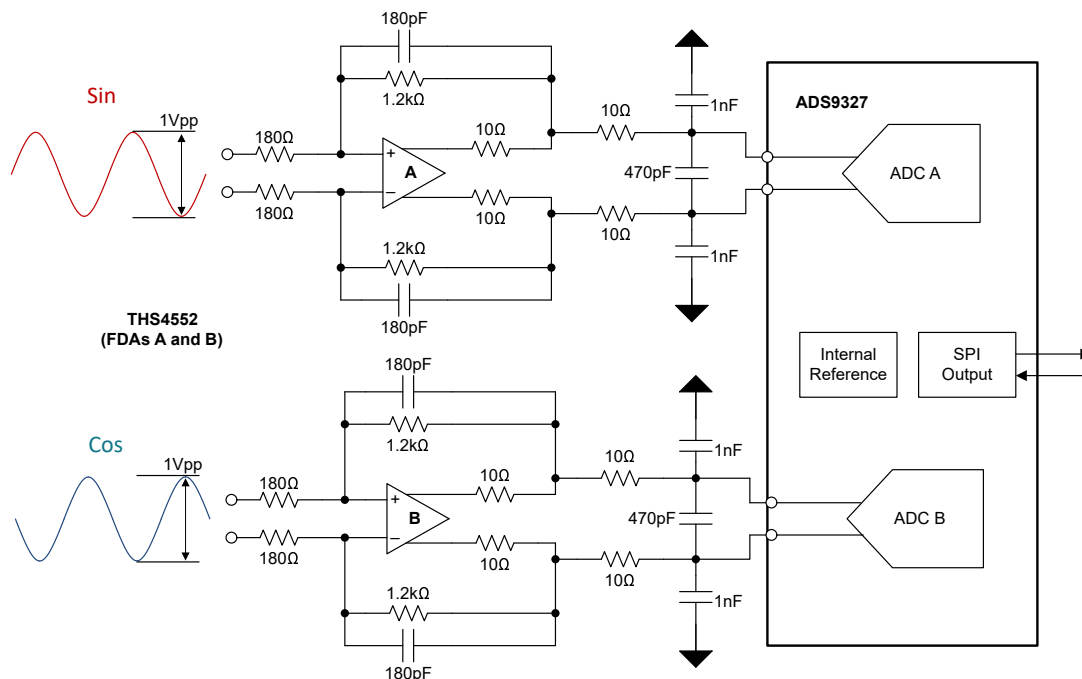


图 1. 适用于测量  $1V_{PP}$  正弦和余弦信号的电路

## 信号链 1V<sub>PP</sub> 增量信号

本应用手册介绍了一种紧凑的高性能 2 通道信号链，用于将来自模拟编码器的 1V<sub>PP</sub> 差分正弦和余弦信号数字化。此设计利用了 [THS4552](#)（双路全差动放大器）和 [ADS9327](#)（双路 16 位 5MSPS SAR ADC，采用节省空间的 3.5mm × 3.5mm QFN 封装）。

两个器件都支持全差分信号传输，因此可在电气噪声较大的电机环境中实现高共模抑制和稳健性能。THS4552 通过向 ADC 提供增益、电平转换和低失真驱动来调节差分编码器信号。ADS9327 同时捕获正弦和余弦输入，同时实现出色的通道匹配。

通过在放大器和 ADC 中集成双通道，该电路减少了组件数量和 PCB 尺寸，因此该电路非常适合空间受限，需要高达 16 位插值精度来提供电机位置反馈的应用。

## 电路设计

模拟前端 (AFE) 旨在放大和过滤 1 V<sub>pp</sub> 差分正弦/余弦编码器信号，以通过具有 ±4.096V 差分输入范围的同步采样 SAR ADC (ADS9327) 进行数字化。

### 增益配置

为了在不引入输入削波风险的情况下更大幅度地提高 ADC 分辨率，选择了 6.8V/V 的增益来应对整个范围内高达 20% 的输入信号（例如，最大 1.2V<sub>PP</sub>），确保即使在最坏的情况下，信号也保持在 ADC 的输入限制范围内。这种权衡为振幅漂移、过驱和增益校准误差提供了余量。

$$V_{ADCpeak} = \left(\frac{1.2V}{2}\right) \times 6.8 = 4.096V \quad (1)$$

$$Gain(V/V) = \frac{R_f}{R_g} = \frac{1.2k\Omega}{180\Omega} \cong 6.8V/V \quad (2)$$

### 带宽和滤波

放大器的闭环带宽由反馈 RC 网络定义，该网络还实现一阶有源低通滤波。此配置可衰减高频噪声并保持放大器稳定性，尤其是在存在容性负载和输出滤波级的情况下。

选择反馈值是为了实现约 500kHz 的 -3dB 带宽，从而针对典型编码器信号频率在噪声抑制、相位响应和稳定性能之间提供平衡的权衡。

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_f C_f} = \frac{1}{2\pi \times 1.2k\Omega \times 180pF} \approx 700kHz \quad (3)$$

这种增益和带宽平衡可提供足够的动态范围和低失真，从而实现精确的编码器信号捕获。

### 输出滤波

小型串联电阻器与差分或共模输出电容器的组合在放大器输出端构成一个无源低通滤波器。这些组件可衰减高频噪声，而不会显著影响信号带宽。主要带宽控制保留在放大器的反馈路径中。

## 测试结果

为了评估模拟前端的性能，我们在代表性条件下测量了增益、带宽和信号完整性等关键特性。此设计应用  $1V_{pp}$  差分输入信号来模拟典型的正弦/余弦编码器输出，然后在一系列频率范围内捕获并分析输出响应。结果验证该设计满足指定的带宽和增益目标，同时保持专为高分辨率编码器应用设计的一致性能。

表 1. 模拟信号链测试结果

$f_{in}$	SNR	THD
2kHz	91.72dB	-113.02dB
5kHz	91.72dB	-112.14dB
10kHz	91.87dB	-112.37dB
20kHz	91.62dB	-112.27dB
50kHz	90.79dB	-111.62dB

表 2. 直流偏移直方图结果

标准偏差	SNR
0.568812	95.2096dB

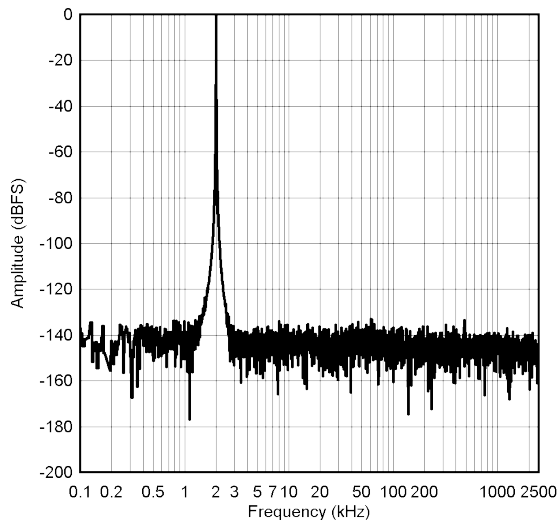


图 2.  $f_{in} = 2\text{kHz}$  时的 FFT

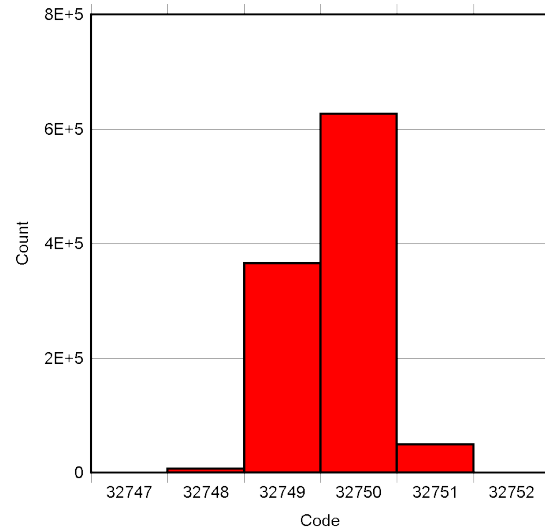


图 3. 短路输入直流偏移直方图

## 结语

此模拟前端设计展示了一种在精密运动控制系统中连接正弦/余弦编码器的实用有效方法。通过平衡增益、带宽和滤波，电路实现了可靠的信号采集，同时保持精度和稳定性。此设计支持  $1V_{pp}$  差分信号和经过精心调谐的  $500\text{kHz}$  带宽，非常适合在宽速度范围内运行的高分辨率编码器应用。此实施方案符合实际系统需求，并为集成到双通道 ADC 架构提供了坚实的基础。

## 了解更多

- 德州仪器 (TI), [伺服驱动器中的精密 ADC](#), 应用简报
- 德州仪器 (TI), [适用于电机编码器和位置感应的精密 ADC](#), 产品概述
- 德州仪器 (TI), [宽带宽数据采集的 1MHz 信号链](#), 应用简报
- 德州仪器 (TI), [具有高分辨率位置内插的正弦/余弦编码器接口](#), 参考设计

## 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