

状态监控系统设计选项及其对信号链实施方案的影响

Naiqian Ren, 应用工程师

摘要

本文深入探讨状态监控系统的传感器接口数据采集(DAQ)信号链设计考量。我们将会分析系统架构、传感器类型和分析方法等设计选项会如何影响DAQ信号链设计, 并通过详细论证两种DAQ信号链设计示例, 将这些理论应用于实践。

简介

状态监控的核心价值在于能长期节省成本。通过提供预测性维护, 可以降低维护成本, 并消除意外的生产停机, 从而节省成本。能否实现这一价值, 取决于状态监控系统在开发早期阶段准确检测并识别故障问题的能力。

与开发后期非常明显且易于检测的灾难性故障不同, 开发早期的故障只会使资产的正常运作行为产生微小偏差。这种偏差也可能是暂时的。要正确检测和分类早期故障特征, 通常需要使用传感方式各异的高性能传感器来作为整个监控解决方案的组成部分。这些传感器需要与性能匹配的DAQ信号链连接, 以充分利用其传感能力。然后, 可以使用专用算法来组合和处理这些数据, 以确定所监控资产的整体状况。

与所有系统设计一样, 在设计状态监控系统时需要做出许多选择。每种选择都会伴随相应的权衡和取舍, 可能会彻底改变DAQ信号链设计。

系统级考虑因素

系统架构

对于状态监控(CM)系统, 要考虑的第一层因素是系统架构。根据传感器和DAQ信号链之间的相对位置, 可以使用几种常见的CM系统架构选项, 每种都有一定的优势。

以DAQ为中心

典型的DAQ集中式系统将多个数据采集通道集中部署在某个位置, 通常是以柜式/架式仪器的形式。传感器部署在较远位置, 使用模拟电缆连接至DAQ系统。

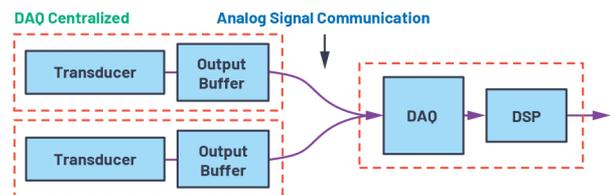


图1. DAQ集中式系统架构。

现有的许多测量解决方案广泛使用DAQ集中式架构。大部分台式振动监控仪器和工业模拟输入模块都使用这种架构。在设计带内置CM功能的资产时, 也适合使用这种架构, 例如, 在电机和泵中集成CM功能时。

这种架构的一些重要优势包括:

- ▶ 低布线成本。通常使用低成本同轴电缆和双绞线在传感器和DAQ之间远距离传输信号。

- ▶ 鲁棒的接口。设计采用多个标准接口协议（例如IEPE和4 mA至20 mA电流环路）来确保在嘈杂环境中提供鲁棒的传感器接口。
- ▶ 灵活的传感器支持。可以根据不同的测量要求，将同一个DAQ系统设计为支持多种传感器类型。
- ▶ 支持严苛的操作环境。传感器和DAQ信号链之间物理分隔使得某些传感器能够在电子元件通常不支持的条件下运行，例如在极高/极低工作温度下。
- ▶ 更高效的DAQ信号链配置。信号链设计可以共用更多公共模块，以提高效率和降低成本。

采用DAQ集中式架构的CM系统的典型数据采集信号链设计要求：

- ▶ 性能。大部分DAQ集中式系统设计都支持多种传感器类型。其中一些具有双重功能，也能作为通用DAQ仪器使用。这些需求提高了DAQ信号链的性能要求，以及宽动态范围、可调带宽、交流线性度和直流精度等需求指标。
- ▶ 输入保护。由于DAQ集中式系统的输入终端经常暴露在外部接入环境中，所以很容易受到错误接线、信号传输距离过远和ESD等因素的影响而损坏。通常需要额外的保护电路来保护DAQ输入。
- ▶ 混叠抑制。使用DAQ集中式体系结构的系统供应商并不总是控制传感器和系统要使用的输入信号。因此，这些系统需要能够抵抗目标测量频带之外的信号混叠和噪声。其中许多系统都要求DAQ能够完全抑制所有带外信号。
- ▶ 功率和区域。与其他系统架构相比，DAQ集中式架构对DAQ信号链的功耗和解决方案尺寸的限制较少。但是，一些较新的系统开始要求更高的通道密度，使得DAQ信号链解决方案的大小和热密度成为更加重要的设计考虑因素。

边缘节点

与DAQ集中式架构相比，边缘节点架构处于解决方案集成级别的另一端。在基于边缘节点的系统中，传感器、DAQ信号链和信号处理单元彼此非常靠近。信号检测、获取和处理都在边缘进行。处理后的数据通过有线或无线通信链路发送到主机。

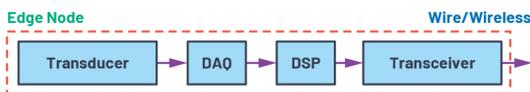


图2. 边缘节点系统架构。

许多由电池供电的智能状态监控系统采用边缘节点架构，具有以下优点：

- ▶ 易于安装。特别是对于无线系统，安装边缘节点系统时，在传感节点之间部署长电缆时要更加容易。
- ▶ 优化设计。由于整个系统定义更明确、更独立，所以更易于设计出优化的信号链。

采用边缘节点架构的CM系统的典型DAQ信号链设计要求：

- ▶ 性能。明确知道需要将哪些传感器连接至DAQ，就可以定制DAQ信号链设计和改善效率。但是，有限的功率预算（尤其在电池供电式系统中）会限制传感器和信号链的性能。
- ▶ 输入保护。由于系统独立自足，模拟DAQ信号链不会暴露在外界中，所以模拟DAQ信号链输入保护要求也相对放宽。
- ▶ 混叠抑制。同样，传感器和DAQ系统之间的距离很短，加上独立式物理结构，使得边缘节点系统不太可能接收到带外干扰。DAQ系统可能仍然需要提供某种程度的滤波保护，以免受节点内部的干扰，例如来自传感器时钟器件、电源和通信链路的干扰，但所需的抑制等级要低于DAQ集中式系统。
- ▶ 功率和区域。对边缘节点系统来说，低功耗和紧凑的解决方案尺寸是常见要求。对于电池供电式系统，低功耗是关键。系统的尺寸会影响系统外壳的材料成本、安装的难度，对于振动传感系统还会影响传感器的机械特性。

DAQ分布式系统

DAQ分布式架构位于DAQ集中式架构和边缘节点架构之间。在这种架构中，DAQ信号链位于传感器一侧，数据处理能力有限或没有数据处理能力。采集到的传感器数据通过数字有线链路（例如RS-485或10BASE-T11以太网）传输至集中式主机进行后处理。

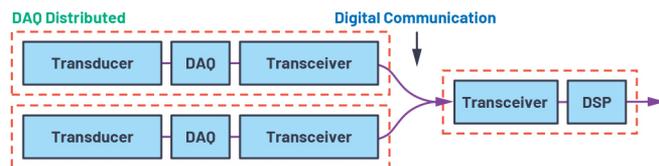


图3. DAQ分布式系统架构。

DAQ分布式架构的优势包括：更标准化的通信接口、与大型的工厂自动化系统的集成度更高。

DAQ分布式系统的信号链设计考虑与边缘节点系统相似。

传感器

检测模块

选择状态监控系统中使用的传感器时需考虑多个因素，第一个是要支持的检测模块。就像医生通过监控患者的多项生命体征来更好地诊断他们的健康状况一样，监控资产的多项参数也可以提高故障检测的准确性。例如，已经证明在开发的早期阶段，振动监控是检测机械故障的可靠方法。温度是状态监控中的另一个重要辅助参数，因为许多故障类型都会导致发热。状态监控中使用的其他常见检测模块包括：声音、电能质量、应变、扭矩和位移。给定的状态监控系统具体组合使用哪些检测模块，还取决于所监控的资产类型和要检测的故障类型。

传感器类型

同样的检测模块也可以选择多种传感器类型。不同类型的传感器可能有不同的属性和接口要求，没有一种传感器适合所有状态监控系统。

以振动监测为例。常见的振动传感器类型包括MEMS、压电式（压电）和压阻式（动态应变仪）。MEMS加速度计功耗低、重量轻、体积小，非常适合采用边缘节点架构的系统。压电式加速度计可以支持非常宽的带宽并具有高动态范围。带有IEPE接口的压电传感器与许多振动监控仪器兼容，通过搭配使用，可以构建采用DAQ集中式架构的状态监控系统。

这两种传感器对接口的要求也有很大不同。有些MEMS加速度计提供数字输出，可以直接连接到微处理器上。大多数高性能MEMS加速度计都提供模拟输出，需要使用数据采集信号链。MEMS传感器通常由与DAQ信号链共享的单端3.3 V至5 V电源供电。与之相比，带IEPE接口的压电式加速度计通常由24 V电源生成的~4 mA恒定电流源通过双绞线电缆供电，传感器输出为基于直流偏置电压（一般为8 V至10 V）的交流信号，该信号一般需要先缓冲、衰减和进行电平转换，然后才能被ADC获取。

通道数

另一个与传感器相关的考虑是使用的传感器数量，这会直接影响所需的DAQ通道数量。状态监控系统可以在多个位置部署相同类型的传感器，以更全面地掌握资产的状况。例如，一对振动传感器可以正交放置，以提供更准确的资产振动幅度信息。三轴振动传感器可以安装在任何角度位置，并且对各个方向的振动仍具有充分的灵敏度。某些故障诊断方法也依靠多个信号之间的相位差来三角测量故障位置。这要求状态监控系统同时从多个相同类型的传感器获取信号，可以转化成对DAQ信号链的同步采样、相位匹配和通道采样同步要求。

分析方法

分析方法的选择也是影响DAQ信号链设计决策的重要因素。

频域分析

频域分析是一种常用的状态监控方法，用于监控移动机械。旋转机器基频倍数的谐波可以通过振动、声音和电能质量等检测模块进行检测。确定这些谐波的振幅和频率是分析机器运行状况的第一个基本步骤。

利用快速傅立叶变换(FFT)对时域样本实施转换，可以得到频域信息。在实施频率分析时，需要考虑的关键DAQ信号链设计参数包括：

- ▶ 目标带宽。目标带宽测量取决于被监控资产的属性和故障覆盖类型。监控齿轮箱轴承所需的振动监控带宽可能远高于监控风塔结构摆动所需的带宽。整个监控信号链应具有足够带宽，足以涵盖最高目标能量谱分量。
- ▶ 振幅平坦度。要实施频率分析，通常要求目标频率上的振幅响应保持平坦，即增益在频率上保持恒定。传感器响应和DAQ信号链内部的滤波响应可能使得振幅响应随频率变化。通过选择在目标频带上具有平坦响应的传感器，并将滤波器设计为具有平坦的通带响应，可以实现良好的平坦度。
- ▶ 带外信号抑制。目标频带外的信号对状态监控系统无用，可能会消耗宝贵的处理资源，甚至是污染目标信号。对于DAQ信号链来说，最好去除目标频带外的所有信号。
- ▶ 噪声。与信号平坦度一样，测量系统要求在目标频带上具有均匀平坦的噪声谱密度(NSD)。本底噪声应低于最小的目标信号幅度。因为调制增益，FFT处理功能还具有一个额外优势，即可以降低频率输出中的总体本底噪声。简单的说，就是处理的样本越多，bin的尺寸就越窄，每个bin内的功率噪声就越低。这使得测量系统能够人为地增大其测量动态范围（仅在频域中），以检查原本将会低于本底噪声的信号。调制增益的限制在于：需要很大的内存和更长的处理时间。测量信号链的无杂散动态范围(SDFR)也可以设置要测量的最小的有意义的信号幅度。
- ▶ 动态线性。在实施频域谐波分析时，低谐波失真非常重要。测量信号链的非线性引起的额外谐波会掩盖故障条件引起的真实谐波信号的偏差。

时域分析

频域分析只能监控周期性信号，例如旋转机器本身产生的信号。要监控以非周期性方式运行的资产，例如进行线性和往复运动的资产，以及基于特定时序运行的资产，例如液压/气缸，则需要采用时域分析。即使是监控旋转机器，某些分析方法（例如冲击脉冲法）也依赖于时域数据分析。

通过简单分析采样得到的数据波形，即可获得时域信息。在实施时域分析时，需要考虑的关键的DAQ信号链设计参数包括：

- ▶ 目标带宽。测量信号链的带宽应足够宽，以免最高目标频率下的信号波形失真。测量带宽要求通常不是由瞬态事件发生的频率决定的，而是由瞬态事件导致的信号的振荡频率决定的。在某些情况下，例如使用冲击脉冲法实施监控时，瞬态事件引起的信号振荡由传感器的谐振频率决定。
- ▶ 采样速率。与频率分析（原则上，有效信号采样速率无需高于要监控的最高能量谱分量的两倍）相反，时域分析可能要求采样速率远高于最高目标输入信号频率。这是被监控信号的瞬态特性造成的。对瞬态信号进行过采样，以便分析信号波形的特征，包括其峰谷幅度和变化率。峰值比最大误差可以由 $1 - \cos(\pi/OS)$ 推导出来，其中OS为过采样率，等于输入信号频率范围内的有效采样速率。以10倍瞬态信号振荡频率进行过采样，可以将峰值检测精度限制在±5%以内。

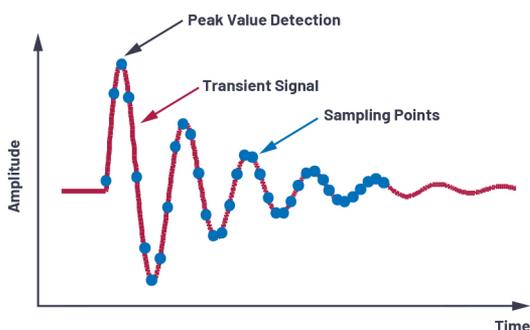


图4. 要对瞬态信号进行时域峰值检测，需要进行过采样。

- ▶ 噪声。由于每个样本中所包含的噪声会直接影响时域波形的幅度检测精度，所以在时域分析中，总均方根噪声值非常重要。噪声谱密度的平坦度并不重要，只要有效噪声带宽上的总积分噪声满足要求的测量精度即可。在时域分析中，噪声改善DSP技术（例如FFT处理增益）不再可用。
- ▶ 阶跃响应。测量信号链需要具有良好的阶跃响应，以便复制瞬态信号输入的特征。这会影响到DAQ信号链中的滤波器设计和选择。

DAQ信号链设计示例

在本节中，我们将使用两个状态监控系统DAQ信号链示例来展示如何将系统需求转化为信号链设计。

示例1

系统要求

- ▶ 采用边缘节点架构、由3 V至3.6 V电池供电的系统
- ▶ ±50 g范围的单轴振动检测
- ▶ 支持高达10 kHz（平坦）带宽的频率分析

- ▶ 在10 kHz带宽下，动态范围>80 dB
- ▶ 支持采样速率为128 kSPS的时域分析，包括冲击脉冲法
- ▶ 在满量程范围内，动态非线性度等于或小于0.1%
- ▶ 能够在高噪声环境中工作，且能够抑制电磁干扰(EMI)

传感器选择

选择使用ADXL1002 MEMS加速度计来实施振动检测。它满足关键性能标准，具有低功耗、小尺寸，非常适合边缘节点系统。

ADXL1002具有11 kHz平坦响应带宽，非常适合用于在10 kHz目标带宽上实施频率分析。传感器的谐振频率为21 kHz。可以对该频率下的信号进行过采样，以支持冲击脉冲法等时域分析方法。

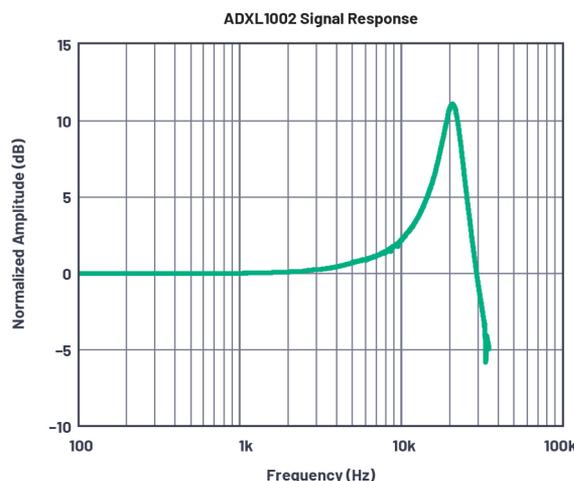


图5. ADXL1002加速度计的频率响应划分。

该传感器的噪声密度为 $25 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，最高可达10 kHz。如果10 kHz带宽以上的总均方根噪声为 $25 \times \sqrt{(10e^3)} = 2.5 \text{ mg rms}$ ，输入范围为±50 g，可使用以下公式计算传感器的动态范围

$$20 \times \left(\frac{50}{\frac{\sqrt{2}}{2.5e^{-3}}} \right) = 83 \text{ dB} \quad (1)$$

ADXL1002的输出是一个缓冲电压信号，其幅度与传感加速度和传感器的电源电压成正比。输出信号在直流电压（等于传感器电源电压的一半）下偏置。采用5 V电源时，ADXL1002的灵敏度为40 mV/g。采用3.3 V电源时，±50 g输入范围中的最大传感器输出信号摆幅为 $\pm 50 \times 40e^{-3}/5 \times 3.3 = \pm 1.32 \text{ V}$ ，以

$$\frac{3.3 \text{ V}}{2} = 1.65 \text{ V bias voltage} \quad (2)$$

为中心

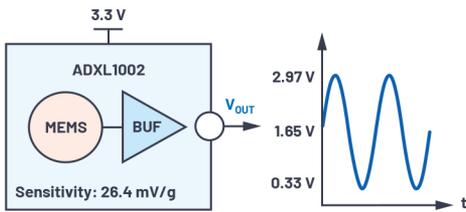


图6. ADXL1002的满量程输出信号。

DAQ要求

与ADXL1002传感器连接的DAQ信号链需要满足以下要求：

- ▶ 支持传感器的整个输出电压范围
- ▶ 在11 kHz以上的频率下具有平坦的频率响应
- ▶ 能够对谐振频率进行至少5倍的过采样
- ▶ 允许传感器主导整个交流和直流性能
- ▶ 对目标频段外的信号提供充分的混叠抑制
- ▶ 低功耗
- ▶ 小尺寸解决方案

建议使用的解决方案如图7所示。它由单通道精密 Σ - Δ ADC AD7768-1和ADC驱动放大器ADA4805-1组成。

ADC选型

AD7768-1是一款多功能精密ADC，具有多种工作模式，可以在功率、带宽和噪声之间进行权衡和取舍。可编程数字滤波器是进行混叠抑制的关键，可以使用不同类型的滤波器来支持频域和时域分析。

在本设计中，我们选择采用以下配置来操作设备：

- ▶ 在REF+输入端启用集成基准电压缓冲器
- ▶ 低功耗模式
- ▶ 具有32 kSPS ODR的低纹波宽带滤波器（滤波器选项A）
- ▶ 具有128 kSPS ODR的Sinc5滤波器（滤波器选项B）

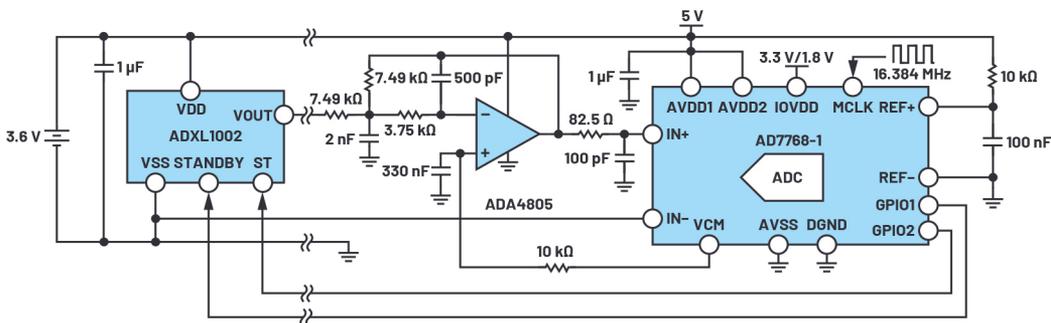


图7. 支持使用ADXL1002加速度计实施单轴振动检测、由电池供电的边缘节点传感器解决方案的DAQ信号链示例。

使用集成基准电压缓冲器之后，可以实现非常紧凑的设计，且无需再使用额外的缓冲器放大器。本设计在传感器和ADC之间共用3.3 V电池电源，并使用与ADC的基准电压相同的电压，以利用ADXL1002的输出与其电源电压之间的比率关系，以及AD7768-1的基准电压缓冲器对轨到轨操作的支持。如此，不仅不再需要为DAQ信号链生成专用的基准电压，还消除了由于电源电压变化（例如电池随时间放电）而产生的测量信号幅度变化。

低功耗模式操作最大限度地降低了ADC的功耗，从而尽可能延长电池的寿命。在低功耗模式下，AD7768-1可以支持砖墙式低纹波宽带滤波器，在32 kSPS ODR时使用13 kHz平坦(-0.1 dB)带宽（滤波器选项A），可以完全涵盖ADXL1002的11 kHz平坦带宽，以执行频率分析。砖墙式滤波器具有比较理想的滤波器特征，非常适合用于频率分析，但高阶滤波器使其不太适合执行时域分析。因此，可以使用具有较大阶跃响应的sinc5滤波器来满足时域分析需求。AD7768-1在低功耗模式下使用sinc5滤波器来支持高达128 kSPS的输出数据速率和26 kHz时的-3 dB频率（滤波器选项B），足以对传感器的21 kHz谐振频率进行超过5倍的过采样。数字滤波器类型和输出数据速率均可通过SPI接口进行寄存器编程，以便基于应用需求动态调整信号带宽。

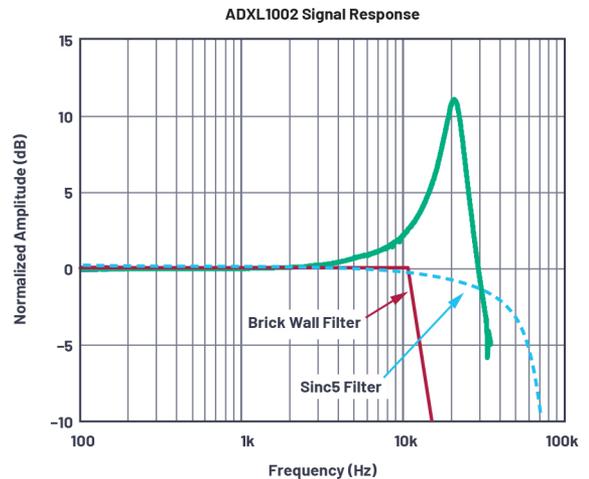


图8. 如何根据不同的测量要求使用不同的数字滤波器响应。

与将未经滤波的过采样数据发送到外部数字主机进行后处理相比，AD7768-1上的集成数字滤波器大大提高了数字处理的功效比。在低功耗模式下，在AVDD1、AVDD2和IOVDD上使用3.3 V电源，且使能REF+引脚上的基准电压缓冲器时，AD7768-1上具有128 kSPS ODR的sinc5滤波器的功耗约为10.2 mW，具有32 kSPS ODR的宽带低纹波滤波器的功耗约为12.6 mW。

在这种配置下，AD7768-1的噪声为11.5 $\mu\text{V rms}$ （滤波器选项A）和49.5 $\mu\text{V rms}$ （滤波器选项B）。本设计中ADC的输入信号为 $\pm 1.32\text{ V}$ 的伪差模信号。在此输入范围内，ADC的有效动态范围为 $20 \times \log(1.32/\sqrt{(2)/11.5e^{-6}}) = 98\text{ dB}$ （滤波器选项A）和85.5 dB（滤波器选项B）。在这两种情况下，传感器都足以主导整个噪声性能。

AFE设计

虽然ADXL1002提供缓冲输出，但在ADC的采样频率(2.048 MHz)下，其输出阻抗不够低，不足以在采样期间使ADC的输入完全稳定下来。建议采用宽带宽驱动放大器将传感器与ADC连接起来。根据ADA4805-1的宽带宽、低输出阻抗、低噪声、小尺寸和低功耗特性，我们选择使用它来执行此项任务。

由于ADC和驱动放大器组合的噪声性能低于传感器的噪声性能，所以无需增大传感器的输出信号。ADA4805-1具有轨到轨输出，但没有轨到轨输入。因此，将驱动器配置成增益为1的反相缓冲器。已经证实驱动器的输出余量足以支持满量程信号摆幅。

AD7768-1的数字滤波器在ADC采样频率周围的频段下不提供抑制。有源抗混叠滤波器采用ADA4805-1构成，以帮助数字滤波器在整个频率范围内实现准确的总带外信号抑制。该设计为一个二阶低通滤波器，采用多反馈架构，提供近巴特沃兹响应，在32 Hz时具有-3 dB角度，在2 MHz时提供-73 dB抑制。

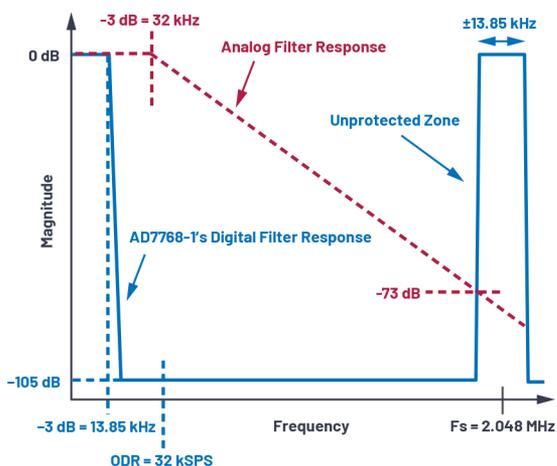


图9. 示例1信号链的总滤波器响应。

驱动电路中使用的电阻值经过精心选择，以平衡功耗、电路噪声、电容大小和ADA4805-1输入偏置电流造成的直流偏置误差。

组合信号链的整体性能如表1所示。

表1. 示例1传感器和DAQ特性

传感器特性	DAQ特性		
整个测量范围	$\pm 50\text{ g}$ (0.33 V至2.97 V)	最大输入范围	0.02 V至3.28 V
最大平坦带宽 (3 dB)	11 kHz	最大平坦带宽 (-3 dB)	13.8 kHz
谐振频率	21 kHz	Sinc5滤波器 ODR最大值	128 kSPS (-3 dB BW = 26 kHz)
在13.8 kHz带宽 下的动态范围	80 dB*	在13.8 kHz带宽下 的动态范围	98 dB
线性度	0.1% (全温度范围)	线性度	在整个范围内， 优于0.001%
使用3.3 V电源 时的功耗	3.3 mW	功耗	14 mW
封装尺寸	25 mm ²	IC封装的总尺寸	28 mm ²

*基于输出噪声曲线估算

示例2

系统要求

- ▶ 在DAQ集中式架构中采用DAQ模块，提供通道与通道间的隔离
- ▶ 伪差分输入， $\pm 12\text{ V}$ 最大输入范围
- ▶ 支持IEPE接口
- ▶ 交流和直流偏置输入选项
- ▶ 输入过压保护，高达 $\pm 60\text{ V}$
- ▶ 1 M Ω 输入阻抗
- ▶ 支持高达100 kHz（平坦）带宽的频率分析
- ▶ 在100 kHz带宽下，动态范围>105 dB
- ▶ 无混叠（可以对目标频带外的所有信号提供-105 dB抑制）
- ▶ 支持时域分析，包括冲击脉冲法
- ▶ 总谐波失真 $\leq -115\text{ dB}$ ，1 kHz满量程输入
- ▶ 高直流精度
- ▶ 支持可编程的滤波器带宽和输出数据速率

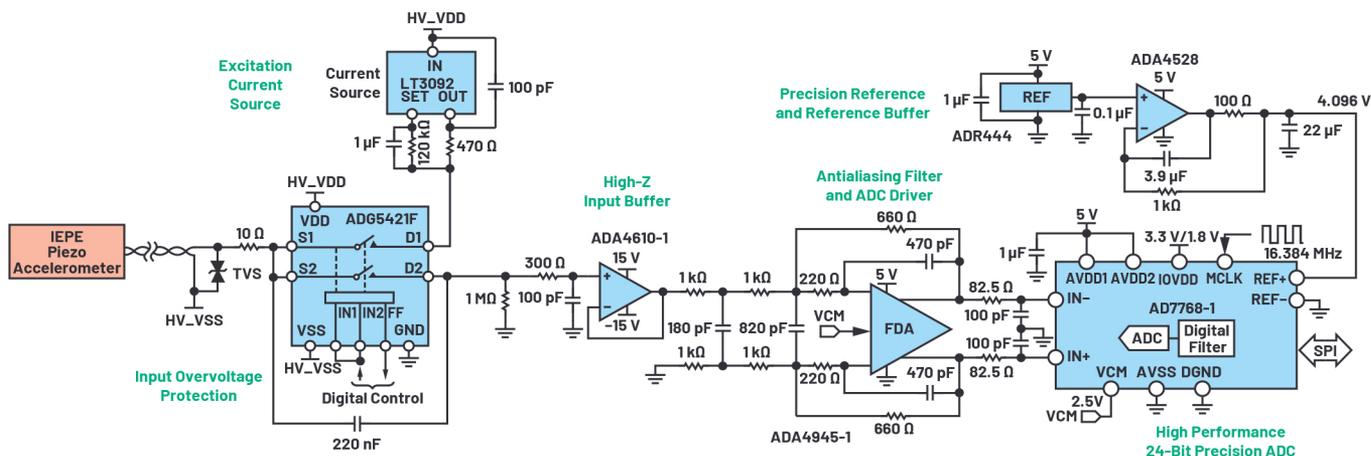


图10. 支持直接IEPE传感器接口和通道间隔离的DAQ集中式解决方案的DAQ信号链示例。

建议使用的解决方案如图10所示。它使用与示例1相同的24位精密 Σ - Δ ADC (AD7768-1)。模拟前端包括ADG5421F输入保护开关、LT3092恒定电流源（用于提供IEPE传感器电源电流）、ADA4610-1精密JFET缓冲放大器、ADA4945-1全差分放大器（用于ADC驱动），以及抗混叠滤波器结构。ADR444精密基准电压源用于配合ADA4528-1精密运算放大器（作为基准电压缓冲器）为ADC提供基准电压源。

传感器电源

IEPE接口是双线接口，传感器输出信号（电压）和传感器电源（电流）共用同一根电缆。LT3092用于在30 V电源中构建低噪声2.5 mA电流源，为传感器供电。电流值可以通过电阻值设置，以支持更长的电缆/更大的电缆电容。

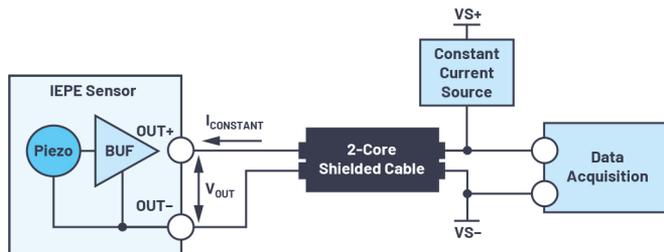


图11. 只需要使用一根双绞线电缆来连接IEPE传感器。

有些IEPE传感器不是通过外壳隔离，这意味着它们的输出端子可能局部接地。如果传感器接口DAQ也没有隔离，那么DAQ也需要接地。在此设计中，DAQ通道已被隔离。这有助于消除接地和电源电平限制，允许DAQ采用双极性电源设计，以支持更对称的双极输入信号。

输入保护

采用ADG5421F保护开关为电路提供输入过压保护。当输入电压超过供电范围时，内部开关打开，以保护DAQ信号链的其余部分。ADG5421F可以承受高达 ± 60 V输入电压，并提供低且稳定的 R_{ON} ，这是尽可能减少信号失真的关键。

在此设计中，此开关还用于为信号链输入配置提供可编程选项。根据开关配置，可以将信号链输入配置为交流或直流耦合，电流源可以独立切换输入和输出。

额外添加一个带小型(10 Ω)串联电阻的TVS，以帮助改善输入节点的ESD保护。

ADC选型

在通道隔离要求的推动下，需要使用单通道DAQ解决方案。

这两个示例展示了AD7768-1的多功能性。在全功率模式下使用时，此ADC可以使用砖墙式数字滤波器(ODR = 256 kSPS)实现110 kHz平坦带宽，同时仍然实现108 dB动态范围（采用4.096 V基准电压）。它还支持使用sinc5滤波器来捕捉时域波形，提供最大1.024 MSPS的输出数据速率。

AD7768-1还提供行业领先的动态线性度和直流性能。包括提供-120 dB典型THD、1 kHz近满量程正弦输入信号、300 nV/ $^{\circ}$ C偏置误差漂移和0.25 ppm增益误差漂移。

对于不需要通道隔离的多通道DAQ系统，可使用同一个ADC的四通道(AD7768-4)或八通道(AD7768)版本。

AFE设计

输入信号需要进行缓冲，以实现所需的阻抗。缓冲放大器需要具备低输入偏置电流、低噪声、良好的动态线性度、高直流精度和足够的带宽。基于这些要求，我们选择使用ADA4610-1 JFET运算放大器。将该放大器配置为单位增益缓冲器，需要采用 ± 15 V电源。

然后，需要对信号进行衰减和电平转换，以适应ADC的输入范围。需要将伪差分信号转化为全差分信号。这种转换使测量动态范围提高了6 dB，大大减少了二次谐波失真。然后需要对信号进行滤波以抑制混叠，并使用高带宽和低输出阻抗ADC驱动放大器进行缓冲，以确保稳定ADC输入。幸运的是，使用一个ADA4945-1全差分ADC驱动放大器的电路设计可以实现所有这些功能，提供低失真，会增加噪声，但可以保持出色的直流精度。

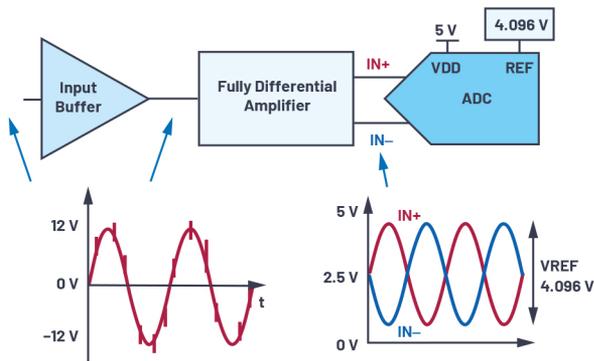


图12. 模拟前端中的信号调理。

在此电路中，信号衰减0.33，可以在使用4.096 V ADC基准电压源时实现 $\pm 4.096/0.33 = \pm 12.41$ V满量程输入摆幅。该信号可以转换为 ± 4.096 V幅度的全差分信号，并电平转换为2.5 V（中间电源）共模电压，以支持FDA输出和ADC输入。

如示例所示，AD7768-1的数字滤波器在ADC采样频率周围的频段下不提供抑制。在全功率模式下，ADC的有效采样频率为16.384 MHz。有源抗混叠滤波器采用ADA4945-1构成，以帮助数字滤波器在整个频率范围内实现准确的总带外信号抑制。此设计是一个三阶低通滤波器，采用多反馈架构，提供近巴特沃兹响应。通过ADA4610-1缓冲放大器之前的RC电路增加另一个低通极，以帮助进一步增加FS的混叠抑制。信号链的总体频率响应在440 kHz时具有-3 dB转折频率，从而尽可能降低带内响应的幅度和相位失真。AAF在100 kHz时引起的幅度下降小于10 dB。16.3 MHz时的幅度响应约为-108 dB。这些特性配合使用砖墙式数字滤波器AD7768-1，可以生成无混叠信号链，对所有带外信号提供至少105 dB抑制。

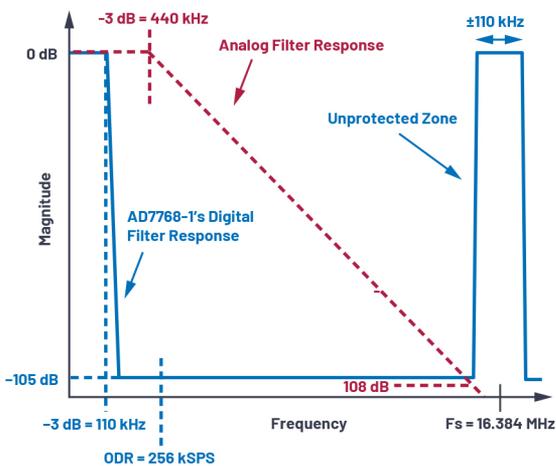


图13. 示例2信号链的总滤波器响应。

隔离和电源管理

关于数字、电源隔离和电源管理解决方案，本文不加以赘述。ADP1031等解决方案可以提供SPI接口，以及跨隔离的 ± 15 V和5 V电源电压。ADuM1400高速数字隔离器可用于跨隔离提供MCLK和SYNC_IN信号，实现跨通道采样同步。

表2. 示例2 DAQ特性

DAQ特性	
最大输入范围	± 12.4 V伪差分
最大平坦带宽 (-3 dB)	110 kHz
Sinc5滤波器ODR最大值	1024 kSPS (-3 dB BW = 209 kHz)
在 110 kHz 带宽下的动态范围	优于105 dB
1 kHz近满量程输入时的THD	优于-105 dB
增益误差漂移*	10 ppm/ $^{\circ}$ C
失调误差漂移*	5 μ V/ $^{\circ}$ C
sinc5 滤波器的功耗	110 mW
砖墙式滤波器的功耗	130 mW

*不包括电阻匹配误差

示例3

关于一种可替代IEPE传感器接口DAQ信号链设计的方法，请参见CN0540。

CN0540设计支持0 V至24 V单极输入范围，适用于与IEPE传感器接口、不提供外壳隔离的非通道隔离DAQ系统，在这种情况下，IEPE传感器和DAQ信号链共用同一个接地。此设计支持直流耦合到IEPE传感器。尽管压电传感器不支持直流响应，但直流耦合为该信号链提供了优势，使其可以不受低带宽交流耦合电路的起动延迟干扰，直接提取低频振动信息。

相比之下，示例2中所示的信号链设计支持双极输入信号。它需要在交流耦合模式下工作，以便连接IEPE传感器，但这个 ± 12.4 V输入范围和高输入阻抗使其更适合多用途DAQ系统。

总结

总之，本文详细介绍了系统架构、传感器类型和分析方法的选择会对状态监控系统中的DAQ信号链设计产生哪些影响。希望本文中讨论的设计考虑和提供的参考设计示例能帮助系统设计人员在设计状态监控系统时做出最好的设计选择。

如需了解ADI公司的状态监控系统解决方案的更多信息，请访问analog.com/CbM。

作者简介

Naiqian Ren是ADI公司在爱尔兰科克的精密转换器技术部门的应用工程师，Naiqian于2007年加入ADI公司，拥有都柏林城市大学的电气工程学士学位和利默里克大学的VLSI系统硕士学位。联系方式：naiqian.ren@analog.com。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区，中文技术论坛

与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问ez.analog.com/cn



如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和技术支持，请访问analog.com/cn/contact。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。请访问ez.analog.com/cn。

©2021 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。

TA23090sc-10/21



请访问analog.com/cn