

用于数据采集的超高性能差分输出可编程增益仪表放大器

作者：Reem Malik和Sandro Herrera

数据采集系统和可编程逻辑控制器(PLC)需要多功能的高性能模拟前端，以便与各种传感器进行接口，来精确、可靠地测量信号。根据传感器具体类型和待测电压/电流幅度的不同，信号可能需要放大或衰减，从而匹配模数转换器(ADC)的满量程输入范围，以供进一步的数字处理和反馈控制。

数据采集系统的典型电压测量范围是从 $\pm 0.1\text{ V}$ 到 $\pm 10\text{ V}$ 。通过选择正确的电压范围，用户间接的更改系统增益，使模数转换器(ADC)输入端的采样电压幅度最大，进而最大程度地提高信噪比(SNR)和测量精度。在典型的数据采集系统中，需要衰减的信号与需要放大的信号分别通过不同的信号路径进行处理，这通常导致系统设计更为复杂，需要额外的器件，并且占用更多的电路板空间。在同一信号路径中实现衰减和放大的解决方案一般使用可编程增益放大器和可变增益放大器，但这些放大器往往不能提供许多工业和仪器仪表应用所需的高直流精度和温度稳定性。

有一种方法可以构建一个强大的模拟前端，以便在单一信号路径中实现衰减和放大，并且提供差分输出来驱动高性能模数转换器，如图1所示，将一个可编程增益仪表放大器(PGIA)，如AD8250（增益为1、2、5或10）、AD8251（增益为1、2、4或8）或AD8253（增益为1、10、100或1000）等，与一个全差分漏斗（衰减）放大器，如AD8475等级联。该解决方案简单灵活，具有高速特性，并提供出色的精度和温度稳定性。

上述可编程增益仪表放大器提供 $5.3\text{ G}\Omega$ 差分输入阻抗和 -110 dB 总谐波失真(THD)，非常适合与各种传感器接口。当增益为10时，AD8250的保证特性包括：3 MHz带宽、 $18\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 电压噪声、685 ns的0.001%建立时间、 $1.7\text{ }\mu\text{V}/\text{C}$ 失调漂移、10 ppm/C增益漂移以及90 dB共模抑制比(DC至50 kHz)。精密直流性能与高速能力的结合，使得这些放大器非常适合具有多路复用输入的数据采集应用。

AD8475是一款高速、集成精密电阻的全差分漏斗放大器，提供0.4或0.8倍的精密衰减、共模电平转换、单端差分转换及输入过压保护等功能。这个易于使用、完全集成的精密增益模块采用+5 V单电源供电时，可以处理最高 $\pm 10\text{ V}$ 的信号电平。因此，它能使工业电平信号与低压、高性能、采样速率高达4 MSPS的16位和18位逐次逼近(SAR)型ADC的差分输入范围匹配。

如图1所示，AD825x和AD8475配合工作，构成一个灵活的高性能模拟前端。表1列出了可以实现的增益组合，具体取决于输入和输出电压范围要求。

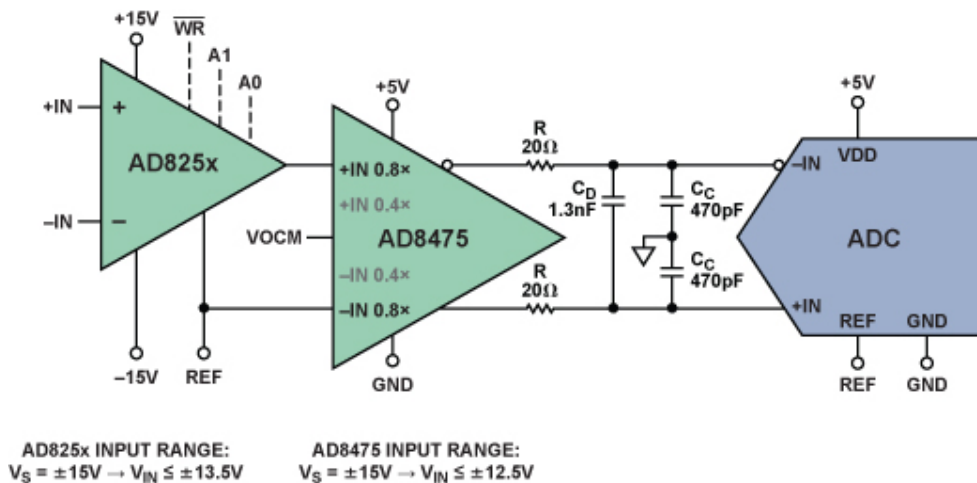


图1. 使用AD825x PGIA和AD8475 差分输出漏斗放大器的数据采集模拟前端

表 1. AD8475 与AD8250、AD8251 或AD8253 组合可以实现的输入电压范围和增益

数据采集仪器 测量范围(V)	峰峰值 电压(V)	ADC 每路输入 的最大电压(V)	整体系统 增益	AD825x 增益	AD8475 增益	ADC 输入端的 峰峰值电压	AD825x 输入电压限值 (保护 ADC)	
±10	20	4.096	0.4	1	0.4	8	10.24	AD8250 增益
±5	10	4.096	0.8	2	0.4	8	5.12	
±2	4	4.096	2	5	0.4	8	2.048	
±1	2	4.096	4	10	0.4	8	1.024	
±5	10	4.096	0.8	1	0.8	8	5.12	
±2.5	5	4.096	1.6	2	0.8	8	2.56	
±1	2	4.096	4	5	0.8	8	1.024	
±0.5	1	4.096	8	10	0.8	8	0.512	
±10	20	4.096	0.4	1	0.4	8	10.24	AD8251 增益
±5	10	4.096	0.8	2	0.4	8	5.12	
±2.5	5	4.096	1.6	4	0.4	8	2.56	
±1	2	4.096	3.2	8	0.4	6.4	1.28	
±5	10	4.096	0.8	1	0.8	8	5.12	
±2.5	5	4.096	1.6	2	0.8	8	2.56	
±1	2	4.096	3.2	4	0.8	6.4	1.28	
±0.5	1	4.096	6.4	8	0.8	6.4	0.64	
±10	20	4.096	0.4	1	0.4	8	10.24	AD8253 增益
±1	2	4.096	4	10	0.4	8	1.024	
±0.1	0.2	4.096	40	100	0.4	8	0.1024	
±0.01	0.02	4.096	400	1000	0.4	8	0.01024	
±5	10	4.096	0.8	1	0.8	8	5.12	
±0.5	1	4.096	8	10	0.8	8	0.512	
±0.05	0.1	4.096	80	100	0.8	8	0.0512	
±0.005	0.01	4.096	800	1000	0.8	8	0.00512	

能力：输入电压范围和带宽

采用±15 V电源供电时，AD825x系列PGA的最大输入电压范围约为±13.5 V (AD8250 和AD8251 提供最高超过电源轨 13 V 的额外过压保护)。在本应用中，对PGA输入电压范围的有效限制由ADC输入的满量程电压范围和从传感器到ADC的信号路径增益设置。例如，18 位 2 MSPS PulSAR ADC [AD7986](#) 采用 2.5 V单电源供电，典型基准电压为 4.096 V，其差分输入支持最高±4.096 V的电压（输入电压 0 V至 4.096 V和 4.096 V至 0 V）。如果模拟前端的总增益设置为 0.4，即AD825x的增益为 1，AD8475 的增益为 0.4，则系统可以处理的输入信号最大幅度为±10.24 V。

为了确定系统所需的增益设置组合，应考虑 ADC (VFS)的满量程输入电压以及传感器预计会提供的最小/最大电流或电压电平。

$$GAIN_{SYSTEM} = GAIN_{AD825x} \times GAIN_{AD8475}$$

$$V_{INmax} = \frac{V_{FS(ADC)}}{GAIN_{SYSTEM}}$$

就其精度和功能水平而言，该模拟前端的速度和带宽极为出色。该电路的速度和带宽由下列因素共同决定：

- AD825x 建立时间：对于 10 V 输出电压跃迁，AD8250 的 0.001% (16 位) 建立时间为 615 ns。
- AD825x 压摆率：AD825x 的压摆率在 20 V/μs 到 30 V/μs 之间，具体取决于增益设置。AD8475 的压摆率为 50 V/μs，因此系统受限于 AD825x 的压摆率。
- 抗混叠滤波器(AAF)截止频率：该滤波器由用户定义，用于限制 ADC 输入端的信号带宽，防止混叠，并提高信号链的信噪比（详情参阅放大器和 ADC 的数据手册）。
- ADC 采样速率：AD8475 可以驱动最高 4 MSPS 的 18 位分辨率转换器。

许多数据采集和过程控制系统需要测量压力、温度和其它低频输入信号，因此前端放大器的直流精度和温度稳定性对于系统性能至关重要。许多应用使用多个传感器，这些传感器以轮询方式多路复用连接到放大器输入端。通常而言，轮询频率远大于目标信号的带宽。当多路复用器从一个传感器切换到另一个传感器时，放大器输入端经历的电压变化是未知的，因此设计必须考虑最差情况——满量程电压跃迁。放大器必须能够在所分配的切换时间内从该满量程跃迁完成建立，该建立时间还必须短于 ADC 采集信号所需的建立时间。

在 AD8475 与 ADC 输入端之间，建议使用一个抗混叠滤波器 (AAF)，以便对提供给 ADC 输入端的信号和噪声带宽进行限制，防止不需要的混叠效应，并提高系统的信噪比。此外，AAF 能够吸收一些 ADC 输入瞬变电流，因此该滤波器也能在放大器与 ADC 的开关电容输入端之间提供某种隔离。AAF 通常利用简单的 RC 网络实现，如图 1 中所示。滤波器带宽通过下式计算：

$$FilterBW_{DIFF} = \frac{1}{2\pi \times 2RC_D}$$
$$FilterBW_{CM} = \frac{1}{2\pi \times RC_C}$$

许多情况下，该滤波器的 R 和 C 值根据经验进行优化，以便为 ADC 提供必需的带宽、建立时间和驱动能力。如需具体建议，请参阅 ADC 数据手册。

结束语

AD8475 与 AD825x 系列 PGIA 相结合，可实现一种简单灵活、高性能、多功能的模拟前端。针对信号放大和衰减处理，该模拟前端可以提供多种可编程的增益组合，从而优化不同的测量电压范围。AD825x 的性能和可编程能力非常适合多路复用型测量系统，AD8475 则能提供出色的接口来连接精密模数转换

器。两种放大器协调工作以保持传感器信号的完整性，为工业测量系统提供一个高性能模拟前端。

有关 AD8475 用作精密逐次逼近型 ADC 驱动器的更多信息，请参阅 [电路笔记 CN-0180：用于工业级信号的精密、低功耗、单电源、全集成差分 ADC 驱动器](#)。

作者简介

Reem Malik [reem.malik@analog.com] 是马萨诸塞州威明顿市集成放大器产品 (IAP) 部门的一名应用工程师。她为仪器仪表、工业及医疗领域的顾客提供支持，并负责热电偶放大器和精密差动/差分放大器产品。Reem 拥有伍斯特理工学院电气工程学士学位 (BSEE) 和电气工程硕士学位 (MSEE)。她于 2008 年 6 月加入 ADI 公司。



Sandro Herrera [sandro.herrera@analog.com] 是马萨诸塞州威明顿市集成放大器产品 (IAP) 部门的一名电路设计工程师。他目前主要从事固定、可变或可编程增益的全差分放大器设计工作。Sandro 拥有麻省理工学院电气工程学士学位 (BSEE) 和电气工程硕士学位 (MSEE)。他于 2005 年 8 月加入 ADI 公司。

