

# 完整传感器数据采集解决方案 简化工业数据采集系统设计

作者: Maithil Pachchigar

## 简介

可编程逻辑控制器(PLC)是很多工业自动化和过程控制系统的核心,可监控和控制复杂的系统变量。基于 PLC 的系统采用多个传感器和执行器,可测量和控制模拟过程变量,例如压力、温度和流量。PLC 广泛应用于众多不同应用,例如工厂、炼油厂、医疗设备和航空航天系统,它们需要很高的精度,还要保持稳定的长时间工作。此外,激烈的市场竞争形势要求必须降低成本和缩短设计时间。

因此,工业设备和关键基础设施的设计人员在满足客户对精度、噪声、漂移、速度和安全的严格要求方面遇到了严峻的挑战。本文以 PLC 应用为例,说明多功能、低成本的高度集成 [ADAS3022](#) 如何通过更换模拟前端(AFE)级,降低复杂性、解决多通道数据采集系统中遇到的诸多难题。这种高性能器件具有多个输入范围,非常适合高精度工业、仪器、电力线和医疗数据采集卡应用,可以降低成本和加快产品面市,同时占用空间很小,易于使用,在 1 MSPS 速率下提供真正的 16 位精度。

## PLC 应用示例

图 1 显示在工业自动化和过程控制系统中使用 PLC 的简化信号链。PLC 通常包括模拟和数字输入/输出(I/O)模块、中央处理器(CPU)和电源管理电路。

在工业应用中,模拟输入模块可获取和监控恶劣环境中的远程传感器信号,例如存在极端温度和湿度、振动、爆炸化学物品的环境。典型信号包括具有 5 V、10 V、 $\pm 5$  V 和  $\pm 10$  V 满量程范围的单端电压或差分电压,或者 0 mA 至 20 mA、4 mA 至

20 mA、 $\pm 20$  mA 范围的环路电流。当遇到具有严重电磁干扰(EMI)的长电缆时,通常使用电流环路,因为它们本身具有良好的抗扰度。

模拟输出模块通常控制执行器,例如继电器、电磁阀和阀门等,以形成完整自动化控制系统。它们通常提供具有 5 V、10 V、 $\pm 5$  V 和  $\pm 10$  V 满量程范围的输出电压,以及 4 mA 至 20 mA 的环路电流输出。

典型模拟 I/O 模块包括 2 个、4 个、8 个或 16 个通道。为满足严格行业标准,这些模块需要提供过压、过流和 EMI 浪涌保护。大多数 PLC 包括 ADC 和 CPU 之间、CPU 和 DAC 之间的数字隔离。高端 PLC 可能还有国际电工委员会(IEC)标准规定的通道间隔离。很多 I/O 模块可以对每通道的对单端或差分输入范围、带宽和吞吐率单独进行软件编程。

在现代 PLC 中,CPU 自动执行多个控制任务,利用实时信息访问进行智能决策。CPU 可能包含高级软件和算法以及 Web 连接,用于差错校验诊断和故障检测。常用通信接口包括 RS-232、RS-485、工业以太网、SPI 和 UART。

## 分立式数据采集系统方案

工业设计人员可以使用分立式高性能组件,为 PLC 或类似数据采集系统构建模拟模块,如图 2 所示。主要设计考虑因素包括输入信号配置、整体系统速度、精度和精确性。此处所示的信号链采用 [ADG1208/ADG1209](#) 低泄漏多路复用器、[AD8251](#) 快速建立可编程增益仪表放大器(PGIA)、[AD8475](#) 高速漏斗放大器、[AD7982](#) 差分输入 18 位 PulSAR<sup>®</sup> ADC 和 [ADR4550](#) 超低噪声基准电压源。这种解决方案提供四个不同增益范围,但在  $\pm 10$  V 的最大输入信号的情况下,设计人员必然会担心多路复用器的切换和建立时间,以及其他模拟信号调理问题。此外,在 1 MSPS 速率下实现真正的 16 位性能可能是一个严峻挑战,即便在使用这些高性能器件时也是如此。

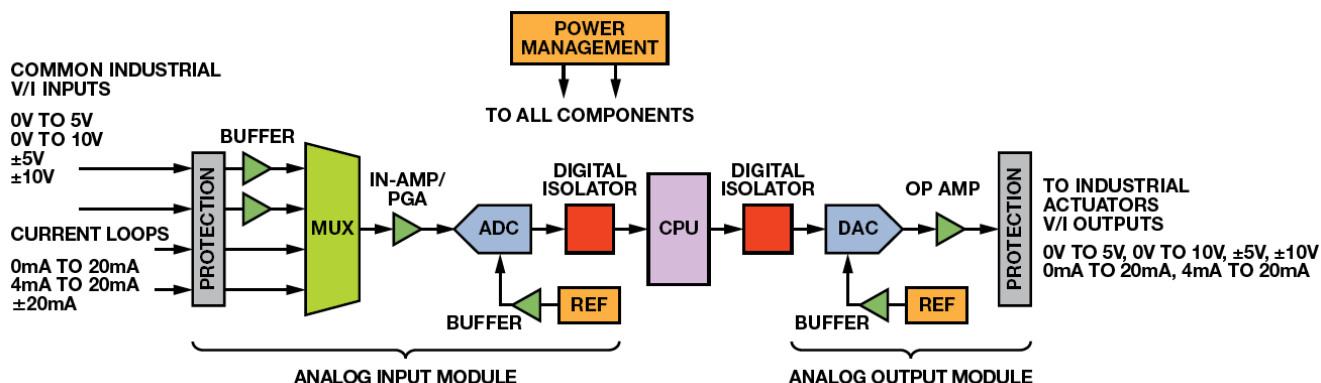


图 1. 典型 PLC 信号链。

AD7982 具有满量程阶跃的 290 ns 瞬态响应性能。因此,要在 1 MSPS 速率下进行转换的同时保证指定性能,PGIA 和漏斗放大器必须在 710 ns 时间内建立。但是,AD8251 针对 10 V 阶跃达到 16 位转换精度(0.001%)的建立时间为 785ns,因此该信号链的保证最大吞吐率将小于 1 MSPS。

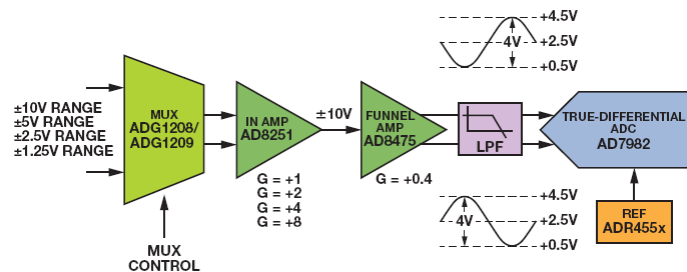


图 2. 使用分立式元件的模拟输入信号链。

### 集成式解决方案简化数据采集系统设计

16 位 1 MSPS ADAS3022 数据采集系统 IC 采用专有高压工业工艺技术 iCMOS<sup>®</sup> 制造,集成 8 通道、低泄漏多路复用器;高阻抗 PGIA (具有高共模抑制);高精度低漂移 4.096 V 基准电压源和缓冲器;16 位逐次逼近型 ADC。如图 3 所示。

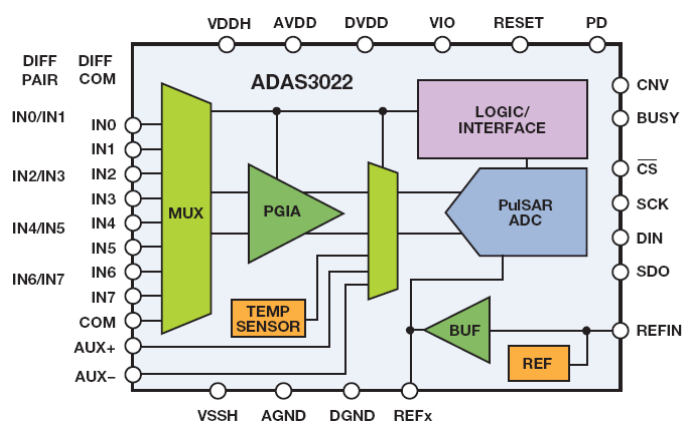


图 3. ADAS3022 功能框图。

这个完整传感器数据采集解决方案占用的电路板空间仅为分立方案的三分之一,有助于工程师简化设计,同时减小高级工业数据采集系统的尺寸,缩短产品面市时间,节省成本。它使得我们无需对输入信号进行缓冲、电平转换、放大、衰减或其他调理,也消除了我们对共模抑制、噪声和建立时间的担忧,还解决了与设计高精度 16 位 1 MSPS 数据采集系统相关的诸多难题。它可在 1 MSPS 速率下 (典型 SNR 为 91 dB) 提供同类最佳的 16 位精度 (典型 INL 为  $\pm 0.6$  LSB)、低失调电压、低温度漂移和优化噪声性能,如图 4 所示。该器件的额定温度范围为  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $+85^{\circ}\text{C}$  工业温度范围。

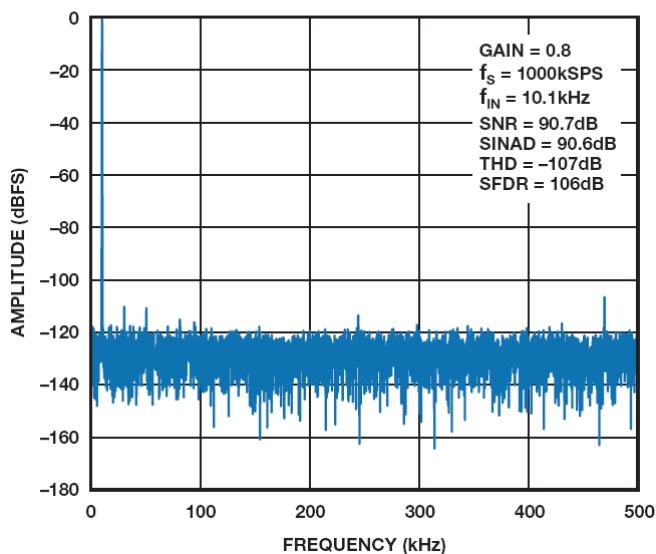
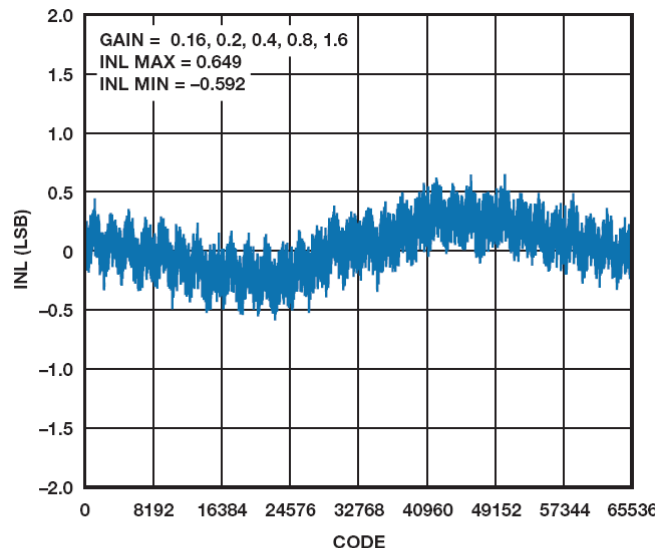


图 4. ADAS3022 的 INL 和 FFT 性能。

PGIA 具有很大的共模输入范围、真正的高阻抗输入 ( $>500 \text{ M}\Omega$ ) 和宽动态范围,这使得它能够处理 4 mA 至 20 mA 的环路电流,精确测量小传感器信号,抑制交流电力线、电机和其他来源的干扰 (90 dB 的最小 CMR)。

辅助差分输入通道可处理  $\pm 4.096 \text{ V}$  输入信号。它旁路多路复用器和 PGIA 级,允许与 16 位 SAR ADC 直接接口。片内温度传感器可以监控本地温度。

这种高集成度可以节省电路板空间,降低整体部件成本,使得 ADAS3022 非常适合空间受限的应用,例如自动测试设备、电力线监控、工业自动化、过程控制、病人监护以及其他工业和仪表系统,它们都采用  $\pm 10 \text{ V}$  的工业信号电平工作。

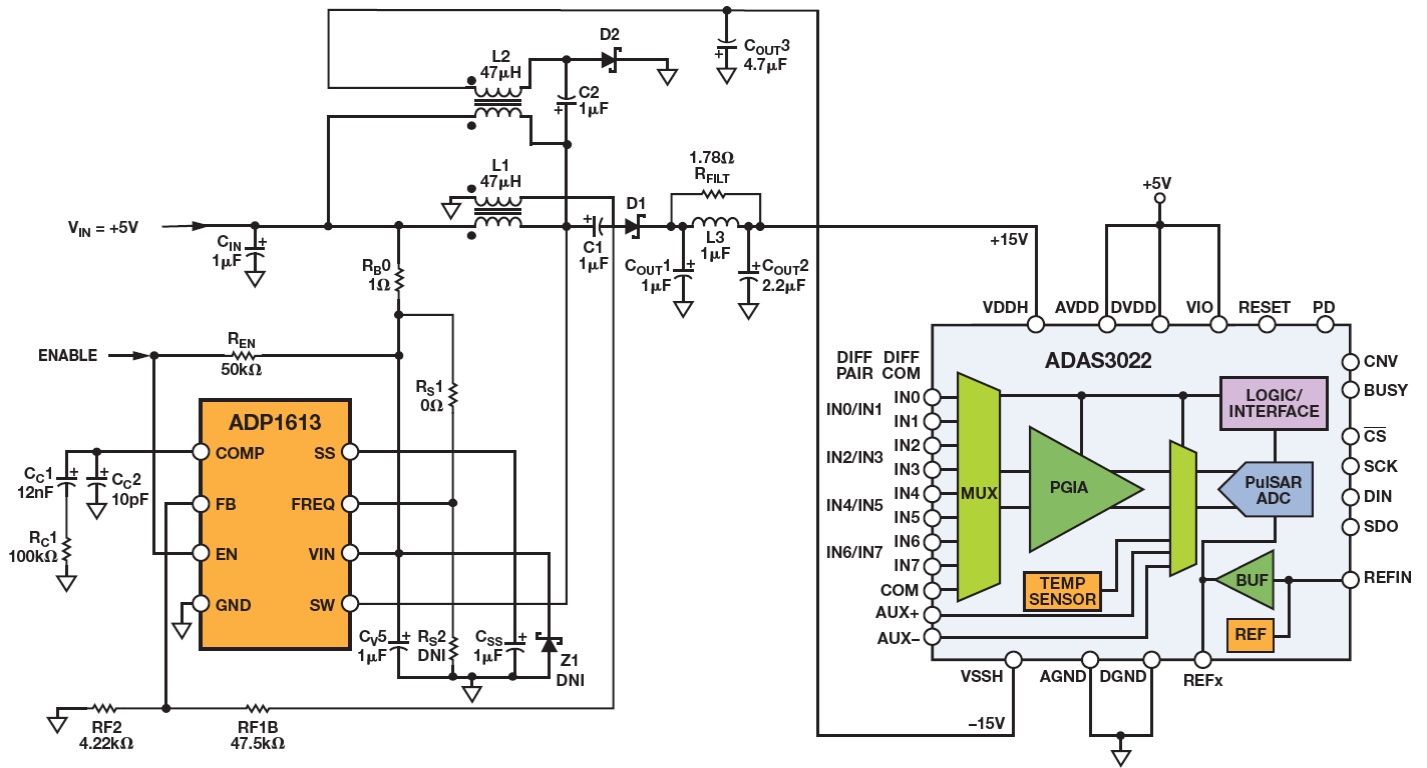


图 5. 采用集成 PGA 的完整 5 V、单电源、8 通道数据采集解决方案。

图 5 显示完整的 8 通道数据采集系统(DAS)。ADAS3022 采用 $\pm 15\text{ V}$ 和 $+5\text{ V}$ 模拟和数字电源，以及  $1.8\text{ V}$  至  $5\text{ V}$  逻辑 I/O 电源。高效率、低纹波 DC-DC 升压转换器 ADP1613 使得 DAS 能够采用  $5\text{ V}$  单电源工作。ADP1613 使用 ADIsimPower™设计工具配置为单端初级原边电感(SEPIC)拓扑，提供多路复用器和 PGA 所需的 $\pm 15\text{ V}$ 双极性电源，而不会影响性能。

表 1 对 ADAS3022 和分立信号链的噪声性能进行了比较，并利用每个元件的输入信号幅度、增益、等效噪声带宽(ENBW)和折合到输入端的(RTI)噪声，计算整个信号链的总噪声。

表 1. ADAS3022 和分立信号链的噪声性能

	ADG1209	AD8251	AD8475	AD7982		总噪声		ADAS3022	输入信号
噪声	RTI	RTI	RTI	RTI	SNR	RTI <sub>Total</sub>	SNR	SNR	
	( $\mu\text{V rms}$ )	( $\mu\text{V rms}$ )	( $\mu\text{V rms}$ )	( $\mu\text{V rms}$ )	(dB)	( $\mu\text{V rms}$ )	(dB)	(dB)	(V rms)
增益 = 1 ( $\pm 10\text{ V}$ )	6.56	124	77.5	148	95.5	208	90.6	91.5	7.07
增益 = 2 ( $\pm 5\text{ V}$ )	6.56	83.7	38.8	74.2	95.5	119	89.5	91.0	3.54
增益 = 4 ( $\pm 2.5\text{ V}$ )	6.56	68.2	19.4	37.1	95.5	80.3	86.8	89.7	1.77
增益 = 8 ( $\pm 1.25\text{ V}$ )	6.56	55.8	9.69	18.5	95.5	60.0	83.4	86.8	0.88

AD8475 和 AD7982 (图 2) 之间的单极点低通滤波器(LPF)可以衰减来自 AD7982 的开关电容输入的反冲,限制高频噪声量。LPF 的-3 dB 带宽( $f_{-3dB}$ )为 6.1 MHz ( $R = 20\ \Omega$ ,  $C = 1.3\ \text{nF}$ ), 在 1 MSPS 速率下进行转换时,可快速建立输入信号。LPF 的 ENBW 计算方法为:

$$\text{ENBW} = \pi/2 \times f_{-3dB} = 9.6\ \text{MHz}.$$

请注意,此计算方法忽略了来自基准电压源和 LPF 的噪声,因为它不会对主要由 PGIA 决定的总噪声产生很大影响。

以使用 $\pm 5\ \text{V}$ 输入范围为例。在此情况下,AD8251 的增益设置为 2。漏斗放大器设置的固定增益为 0.4,适用于所有四种输入范围。因此 AD7982 要处理 0.5V 至 4.5V 的差分信号(4 V p-p)。ADG1208 的 RTI 噪声从 Johnson/Nyquist 噪声公式得出:  $e_n^2 = 4K_B T R_{ON}$ , 其中  $K_B = 1.38 \times 10^{-23}\ \text{J/K}$ ,  $T = 300\text{K}$ ,  $R_{ON} = 270\ \Omega$ 。AD8251 的 RTI 噪声由数据手册中增益为 2 时的 27 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  噪声密度得出。同样,AD8475 的 RTI 噪声也由 10 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  噪声密度得出,使用的增益为 0.8 ( $2 \times 0.4$ )。在这些计算中,ENBW = 9.6 MHz。AD7982 的 RTI 噪声则根据数据手册中增益为 0.8 时的 95.5 dB SNR 计算得到。整个信号链的总 RTI 噪声根据分立元件的 RTI 噪声的方和根(rss)计算。89.5 dB 的总 SNR 可通过公式  $\text{SNR} = 20 \log(V_{IN\text{rms}}/\text{RTI}_{\text{Total}})$  计算。

虽然分立信号链的理论噪声估计值(SNR)和整体性能与 ADAS3022 相当,特别是在低增益 ( $G = 1$  和  $G = 2$ ) 和低吞吐率 (远低于 1 MSPS) 条件下,但它并非理想解决方案。与分立式解决方案相比,ADAS3022 可以节省大约 50%的成本和大约 67%的电路板空间,它还可以接收其他三个输入范围 ( $\pm 0.64\ \text{V}$ 、 $\pm 20.48\ \text{V}$ 、 $\pm 24.576\ \text{V}$ ),这是分立式解决方案无法提供的。

## 结论

下一代工业 PLC 模块需要高精度、可靠运行和功能灵活性,所有这些特性都必须通过外形小巧的低成本产品提供。ADAS3022 具有业界领先的集成度和性能,支持广泛的电压和电流输入,以便处理工业自动化和过程控制的各种传感器信号。ADAS3022 是 PLC 模拟输入模块和其他数据采集卡的理想之选,它使得工业制造商能够让他们的系统具有与众不同的特性,同时满足更加严苛的用户要求。

## 参考文献

Kessler, Matthew. [Synchronous Inverse SEPIC Topology Provides High Efficiency for Noninverting Buck/Boost Voltage Converters](#), *Analog Dialogue*, Vol. 44, No. 2, 2010.

Slattery, Colm, Derrick Hartmann, and Li Ke. [PLC Evaluation Board Simplifies Design of Industrial Process Control Systems](#), *Analog Dialogue*, Vol. 43, No. 2, 2009.

Circuit Note CN0201. [Complete 5 V, Single-Supply, 8-Channel Multiplexed Data Acquisition System with PGIA for Industrial Signal Levels](#).

MT-048 Tutorial. [Op Amp Noise Relationships; 1/f Noise, RMS Noise, and Equivalent Noise Bandwidth](#).

## 作者简介

**Maithil Pachchigar** [[maithil.pachchigar@analog.com](mailto:maithil.pachchigar@analog.com)]

是位于马萨诸塞州威明顿的 ADI 高精度转换器业务部门的应用工程师。他于 2010 年加入 ADI 公司,为工业、仪表、医疗和能源行业的客户提供高精度 ADC 产品技术支持。自 2005 年以来, Maithil 一直在半导体行业工作,并已发表多篇技术文章。他于 2006 年获得圣何塞州立大学电气工程硕士学位,并于 2010 年获得硅谷大学 MBA 学位。

