

Edward Mullins, Ian Williams, Giuseppe Lo Voi, Raphael Puzio

## 引言

压力变送器用于在工业过程控制系统中监测重量、液位、力和流量。设计压力变送器时面临的主要挑战是非线性和温度依赖性。克服这些挑战需要正确实现合适的运算放大器 (op amp) 并深入了解运算放大器的精度、电压范围和驱动特性。

## 压力传感器

压力变送器应用中使用的四种最常见的压力传感器类型为：电阻式、电容式、硅和线性可变差动变压器 (LVDT)，其中电阻式应变计最为常见。这四种类型在压力变送器信号链中均使用类似的路径。图 1 展示了典型压力变送器信号路径的方框图。

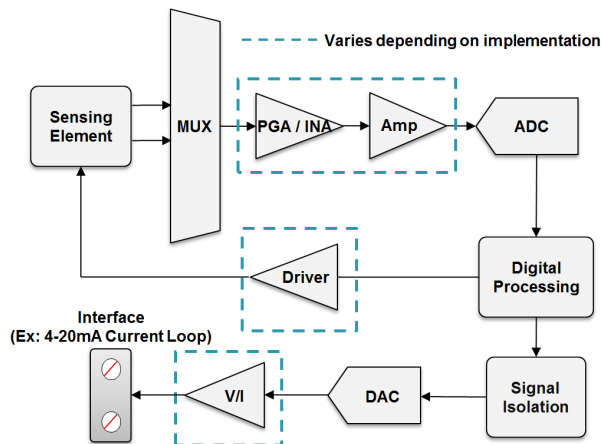


图 1. 常见压力变送器方框图

不同的传感器和接口需要不同的器件实现。

- 仪表放大器 (也称为 INA) 用于在存在较大或嘈杂的共模信号时放大小的差分信号
- 可编程增益放大器 (也称为 PGA) 可使用可选择的增益步长提供更高的增益精度
- 电容式、LVDT 和硅传感器需要实现驱动器放大器，以提供传感器捕获压力或位移变化所需的励磁。
- 电压至电流 (V/I) 转换器用于与常用 4-20mA 电流环路相连接。

## 仪表放大器

由于传感器信号通常非常小，且通常在很低的单毫伏范围内，所以在数字转换之前，来自检测元件的输出信号需要放大。仪表放大器为差分信号提供必需的放大，同时提供低噪声和良好的共模信号抑制。

带有超  $\beta$  输入晶体管的 INA819 仪表放大器提供超低的输入失调电压、失调电压漂移、噪声和输入偏置电流，有助于在连接检测元件时保持信号精度。此外，该放大器具有宽电源电压范围 (4.5V 至 36V) 和在电源电压的基础上向外扩展高达 60V 的输入过压保护，因而可以支持各种检测元件。

## 可编程增益放大器

检测元件通常会随着温度和压力的变化输出非线性信号。可以使用带有线性化电路的可编程增益放大器（例如，PGA309）来调节非线性。PGA309 是一款专为桥式传感器设计的可编程模拟信号调节器。PGA309 的输出足以驱动任何 5V 模数转换器 (ADC)。任何更高电压的 ADC 必须由低噪声、低失调电压和低漂移运算放大器进行缓冲，以便扩展输出信号和使用 ADC 的全动态范围。OPA189 具有高达 36V 的宽电压范围、零漂移和低噪声 ( $5.8\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ) 性能，是一个不错的缓冲放大器选择。

## 驱动器放大器

电容式、LVDT 和硅检测元件需要通过具有足够驱动特性的运算放大器来励磁，以使检测元件能够捕捉压力和位移的微小变化。这些运算放大器的重要设计参数是输出电流和容性负载驱动。OPA196 运算放大器提供足够的输出电流 (65mA) 和高容性负载驱动 (1nF) 能力，使该器件成为此应用的一个很好选择。

表 1. 仪表放大器/PGA 器件选择

INA/PGA	主要优势
INA819	具有输入过压保护功能的宽电源电压范围 (4.5V 至 36V)、高精度 ( $35\ \mu\text{V}$ , $0.4\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )、低噪声 ( $8\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ) 仪表放大器
INA823	具有输入过压保护功能和低于地电平输入范围的低功耗 ( $180\ \mu\text{A}$ )、宽电源电压范围 (2.7V 至 36V)、精密 ( $100\ \mu\text{V}$ ) 仪表放大器。
INA333	超低功耗 ( $50\ \mu\text{A}$ )、高精度 ( $25\ \mu\text{V}$ , $0.1\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )、零漂移仪表放大器
PGA309	可编程增益放大器提供设计多功能性，同时通过高度集成的线性化电路、故障监控和数字温度补偿来减轻压力和温度的非线性。

表 2. ADC 缓冲器器件选择

ADC 缓冲器	主要优势
OPA2182	业界先进的高精度 ( $0.012\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , 最大 $4\ \mu\text{V}$ )、低噪声 ( $5.7\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ )、零漂移运算放大器，带支持多路复用器的输入
OPA210	超低噪声 ( $2.2\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ )、宽带宽 (14MHz)、高精度、超 $\beta$ 运算放大器
THP210	高精度 ( $40\ \mu\text{V}$ , $0.1\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )、高电压 (36V)、低噪声 ( $3.7\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ )、全差分放大器和 ADC 驱动器

表 3. 驱动器放大器器件选择

驱动器放大器	主要优势
OPA202	低噪声 ( $0.2\ \mu\text{V}_{\text{PP}}$ , $9\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ )、高容性驱动 ( $25\text{nF}$ )、超 $\beta$ 、精密运算放大器
OPA196	高容性负载驱动 (1nF) 和高输出电流 (65mA) 可实现电容式传感器励磁。

表 4. 电压至电流 (集成) 器件选择

电压至电流 (集成)	主要优势
XTR115 XTR116	4-20mA 环路的集成解决方案可实现低非线性误差、便利的片上 5V 稳压器和精密 VREF。
XTR111	4-20mA 驱动器具有成本效益，可为集成器件提供低非线性、良好精度、宽电源电压范围和输出错误标志。
XTR300 XTR305	集成 4-20mA 环路解决方案：输出可配置为电流或电压，无需外部分流电阻器，并提供错误标志和监测故障检测引脚 (XTR305 是具有成本效益的版本)

表 5. 电压至电流 (运算放大器) 器件选择

电压至电流 (运算放大器)	主要优势
OPA187	低功耗和零漂移架构可降低功耗，并在整个工业温度范围内提供高精度。
OPA391	采用 e-Trim™ 技术的低功耗 ( $24\ \mu\text{A}$ )、高精度、宽带宽 RRIO 运算放大器

## 电压至电流转换器

压力变送器应用中的常见接口是 4-20mA 电流环路，它使用精密、低功耗运算放大器来根据电压范围创建可测量的电流范围。此应用中的运算放大器的必要条件是低功耗和高精度。OPA391 是一款 e-Trim™ 运算放大器，具备  $45\ \mu\text{V}$  的最大失调电压和  $24\ \mu\text{A}$  的静态电流，因而该器件成为可满足此类要求的理想选择。

集成解决方案也可以使用 XTR115、XTR300 或 XTR305 来实现，这些精密电流输出转换器旨在提供低电平信号的信号调节，并将这些信号转换为强大、抗噪声的 4-20mA 传输。

## 温度、功率和非线性

在实际应用环境中，温度变化会影响关键器件规格（例如输入失调电压和输入偏置电流）的性能。通过选择[零漂移](#)运算放大器可减轻这种影响。

对于具有功率限制的应用（例如，电池供电传感器或带有许多传感器节点的 4-20mA 环路），可以使用保持高精度的低功耗器件。

传感器输出随压力或温度产生的非线性可以通过调整传感器的励磁来校正。此功能可通过数字处理或集成线性化电路来实现。

## 总结

压力变送器中放大器的部署因检测元件和接口而异。适当地使用仪表放大器、可编程增益放大器和运算放大器，可以缓解宽温度漂移和非线性问题。[表 6](#) 概述了在压力和现场变送器应用中常用的一些器件。

**表 6. 相关文章与资源**

媒体	标题
技术指南	<a href="#">TI Field 变送器解决方案指南</a>
应用简报	<a href="#">失调电压校正方法：激光修整、e-Trim™ 和斩波器</a>
应用报告	<a href="#">选择模数转换器</a>
应用简报	<a href="#">零漂移放大器：特性和优势》</a>
应用简报	<a href="#">超 <math>\beta</math> 输入放大器：特性和优势》</a>

## 重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司