

Yunjing Wang

Analog FAE

惠斯通电桥传感器为多种工业设备常见的一种传感器类型，经常用来感应应变、压力、温度等物理量的变化，本文将介绍比例测量如何降低惠斯通电桥传感器的采样误差，提高系统采样精度。

如图 1 所示为一个典型的惠斯通电桥-四分之一电阻桥传感器，其由两个并联电阻支路组成，包含一个三个静态电阻元件 R 和一个可变电阻传感器 $R + \Delta R$ ，物理参数的变化可以转换为该可变电阻传感器的阻值变化。

当物理参数变化为 0 时， $\Delta R = 0\Omega$ ，电阻桥输出 $V_{out} = 0$ ；当物理参数变化时候， $\Delta R \neq 0\Omega$ ，电桥输出 V_{out} 如方程式 1 所示；

$$V_{out} = V_{excitation} \times \left[\left(\frac{R + \Delta R}{R + R + \Delta R} \right) - \left(\frac{R}{R + R} \right) \right] = V_{excitation} \cdot \left[\left(\frac{\Delta R}{2(R + \Delta R)} \right) \right] \quad (1)$$

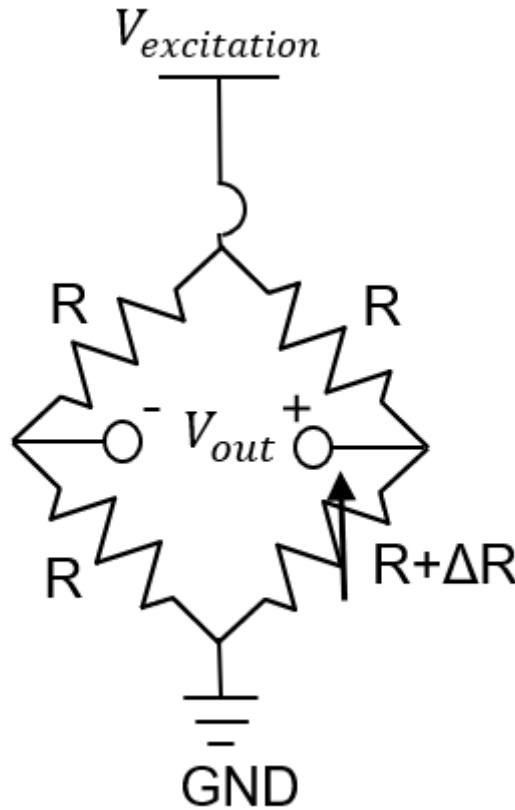


图 1. 四分之一电阻桥传感器

电桥输出的传统采样系统通常如图 2 所示。

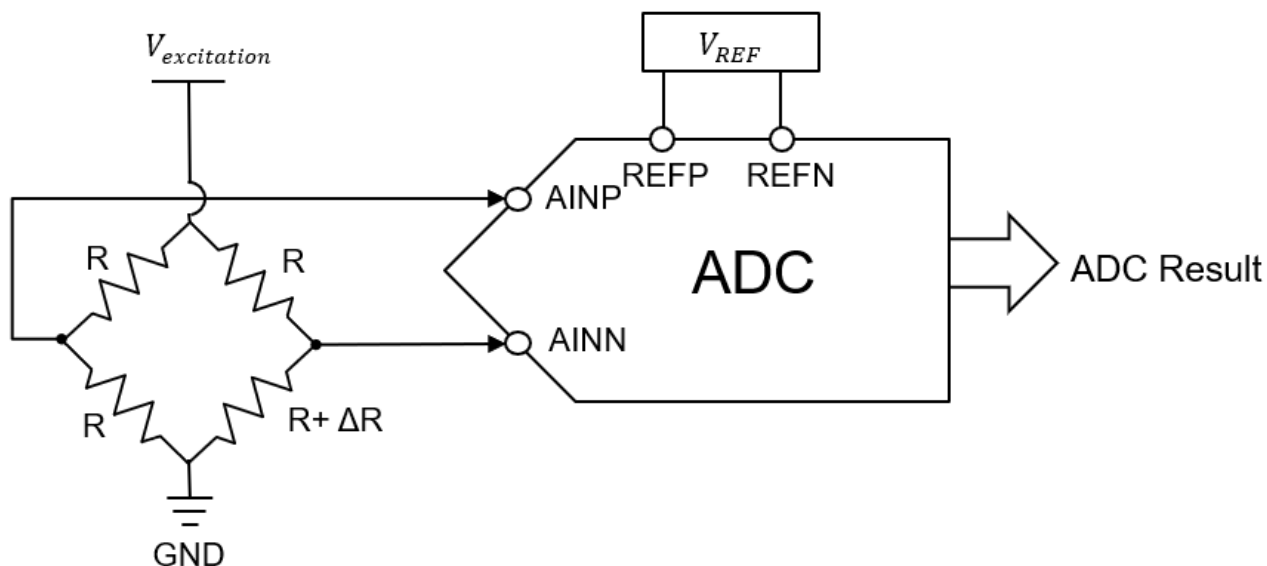


图 2. 电桥传感器-传统采样电路

将方程 1 的电桥输出电压代入 ADC 输出码字公式，可以得到电桥电压的 ADC 转换码字如下：

$$ADCresult = (V_{excitation} + V_{exc_noise}) \cdot \left[\left(\frac{\Delta R}{2(2R + \Delta R)} \right) \right] \cdot \frac{2^N}{V_{REF} + V_{REF_noise}} \quad (2)$$

可以看到，当 ADC 参考电压和电桥激励电压有任何噪声、温漂等误差时，都会计入电桥电压的 ADC 转换码字误差，并且此类误差通常是 ADC 转换结果误差中较大的贡献量。

采用比例测量方式可以轻松抵消电桥采样系统的这两项误差源，如 图 3 所示，使用 ADC 参考电压作为电阻桥激励电压。

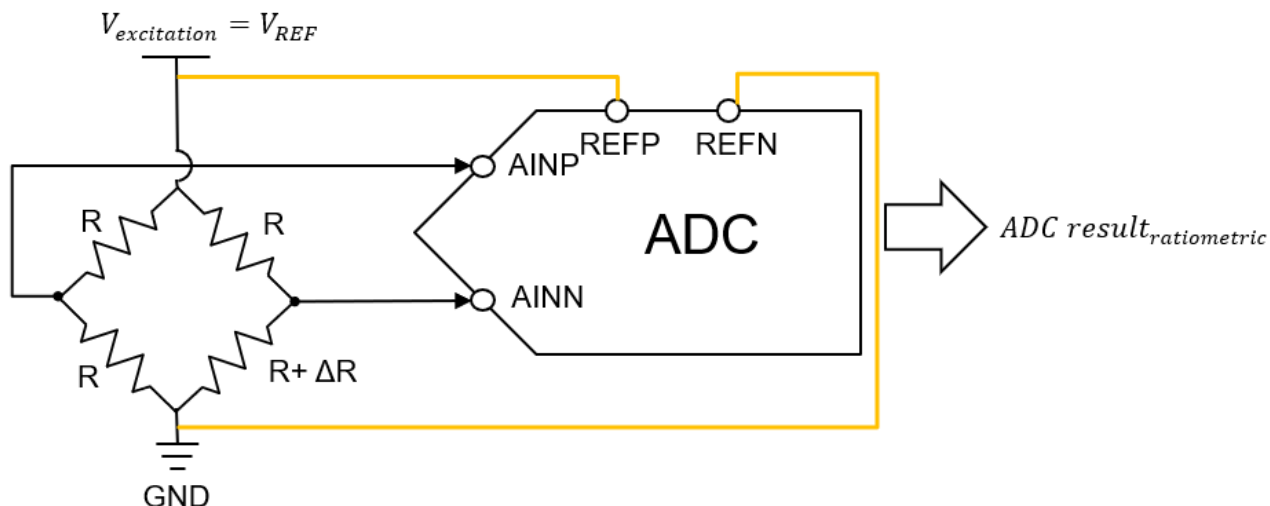


图 3. 电桥传感器-比例测量采样

那么 $V_{excitation} + V_{exc_noise} = V_{REF} + V_{REF_noise}$ ，代入 方程 2，即可得到使用比例测量配置的电桥电压经采样 ADC 转换后的码字输出：

$$ADCresult_{ratiometric} = \frac{2^N \Delta R}{2(2R + \Delta R)} \quad (3)$$

可以看到，原本 [方程式 2](#) 的电阻桥激励电压和 ADC 参考电压，在比例测量的 ADC results _{ratiometric} [方程式 3](#) 里得以抵消，相应地，激励电压和参考电压在系统误差中的贡献也能够消除。

以 ADS124S06 为例，使用 ADS124S06 进行电阻桥测量，对非比例测量和比例测量两种配置下地系统误差进行对比。若使用非比例测量配置，采用最低 BOM 成本配置：电阻桥激励电压由系统电源轨 Buck 的 5V 提供，ADC 参考电压使用片内基准。常温校准后，350mV 电阻桥电压下，系统误差大约为 552ppm；使用比例测量配置，只要将 ADC 片内基准同时提供给电阻桥激励，无需增加任何额外系统 BOM 成本，即可即可抵消电阻桥激励电压和 ADC 基准电压的误差，系统误差降低至 130ppm。

Absolute vs Ratiometric Measurement Accuracy				
Parameter	Maximum			
Initial error specs	VIN = 30 mV	VIN = 150 mV	VIN=350mV	Units
INL	15	15	15	ppm
Offset	66.67	13.33	5.71	ppm
Gain Error	200	120	120	ppm
RREF initial accuracy	500	500	500	ppm
Temperature drift specs				
Offset Drift (no cal)	41.67	8.33	3.57	ppm
Offset Drift (cal at 25°C)	21.67	4.33	1.86	ppm
Gain Drift (no cal)	250	250	250	ppm
Gain Drift (cal at 25°C)	130	130	130	ppm
RREF Drift (no cal)	375	375	375	ppm
RREF Drift (cal at 25°C)	195	195	195	ppm
Total error				
Total error (Absolute measure, cal at 25°C)	552.83	552.42	552.41	ppm
Total error (Ratio measure, cal at 25°C)	132.644052	130.9342498	130.8757005	ppm

因此，使用比例测量，能够在不增加原有 BOM 成本条件下，消除采样中的最大误差源--REF 参考误差，从而显著降低系统误差、提高电桥传感器采样精度。

参考文献

1. [ADS124S06 datasheet](#)
2. [Fundamentals of Precision ADC Noise Analysis \(Rev. A\)](#)

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月