

用低噪声仪表放大器设计高性能系统

作者: Gustavo Castro和Scott Hunt, ADI公司集成放大器产品部应用工程师

什么是低噪声仪表放大器?

低噪声仪表放大器是一种非常灵敏的器件,它能够在嘈杂的环境中或出现较高不感兴趣电压的条件下对非常微弱的信号进行测量。放大器通过抑制两个输入端的共模电压和放大输入信号的差值来测量信号。低噪声仪表放大器宽带噪声极低且 $1/f$ 噪声转折频率低,因此,能满足大多数精确应用的需要。

哪种系统需要低噪声仪表放大器?

通常,低噪声仪表放大器用在需要精密放大功能和需要传感器信号调理的系统中。此类系统生成的信号太弱,无法直接为数据转换器所用。一些传感器生成的窄带信号的强度可能非常微弱,而有些传感器可在较宽带宽范围内产生各种频率的时变信号,在这两种情况下,都需要将这些信号放大至高于系统的噪底。在高共模电压(通常为交流电力线频率)条件下,系统必须在噪声环境下保持其应有的性能。

什么应用需要用到这种放大器?

低噪声仪表放大器可应对当今某些最严峻的挑战。这些挑战要求信号监控、数据分析和物理测量工具具备精密放大功能。它们的应用场合如下:

- 采矿和能源开采所需的数据记录系统
- 用于校正心律失常的心脏导管消融术所需的手术器械

- 用于提高机械和车辆安全性的模态振动分析工具

其它应用包括麦克风前置放大器、声波换能器、压电传感器调理、血压监测仪、脑瘤诊断仪(EEG)、心脏监护仪(ECG)、磁传感器调理和功率监测仪。

如何确定仪表放大器的噪声规格?

像运算放大器一样,仪表放大器将噪声规定为折合到输入端噪声(RTI)。也就是说,出现在放大器输入端的都会计入。但与运算放大器不同的是,仪表放大器还具有输出级的噪声(e_{no}),必须用该值除以增益,以获得RTI值。折合到放大器输出端的噪声(RTO)等于RTI噪声与放大器的增益的乘积。

如何计算总噪声密度?

仪表放大器的一个简单的噪声模型见图1。如需获得总噪声,必须要考虑放大器输入端的源电阻。任何与仪表放大器相连的传感器都有输出电阻,电阻值可能因传感器的类型不同而有较大差异。串联电阻用于保护仪表放大器,这些电阻阻值之和构成了总源电阻(以 R_s 表示),见图1。该电阻对噪声的影响有两方面。无论制作多么精良的电阻都会产生极低的热噪声,该噪声与阻值的平方根成比例。此外,电流噪声(i_{ni})通过 R_s 可转化为电压噪声。因此,三个主要噪声源为:与 R_s 无关的电压噪声(e_{ni} 和 e_{no})、源电阻的热噪声(e_{ns})和电流噪声(i_{ni})。

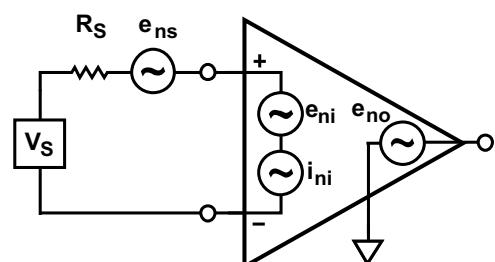


图1. 简单的仪表放大器噪声模型

将这些噪声综合起来，可以获得总噪声密度，计算公式如下：

$$\text{Total RTI Noise (nV}/\sqrt{\text{Hz}}) = \sqrt{(e_{ns})^2 + (e_{ni})^2 + (e_{no}/G)^2 + (i_{ni} * R_s)^2}$$

欲获得关于放大器电路噪声的详细分析资料，请参阅应用笔记AN-940。

如何选择最符合应用需要的低噪声仪表放大器？

输入电压噪声数值(nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$)最低的仪表放大器不一定是最佳低噪声仪表放大器。在对噪声敏感的应用中，为找到最佳放大器，必须考虑增益、源电阻和频率范围。图2显示了ADI公司三款仪表放大器的总噪声，以在几乎全部源电阻条件下提供最佳噪声性能。

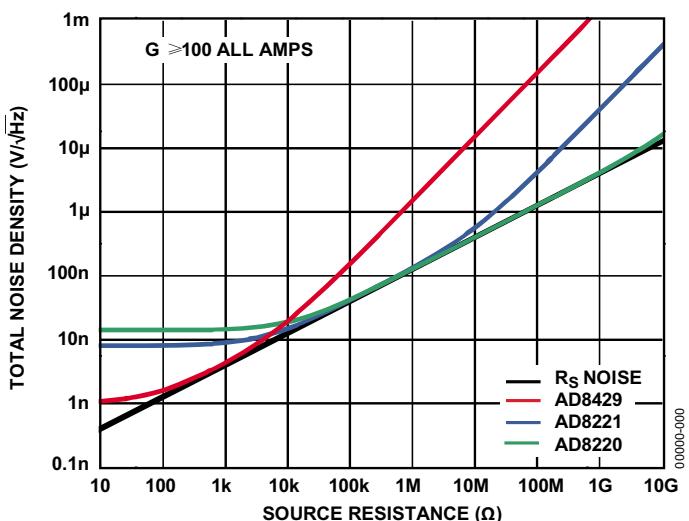


图2. 总噪声与源阻抗的关系

注意，无论选择哪种放大器，当 R_s 值较低时，电压噪声为主要噪声，而 R_s 值较高时，电流噪声为主要噪声。在给定源电阻值的情况下，可以利用下面公式决定哪种噪声为主要噪声。

$$R_L(k\Omega) = \frac{[\text{Total Amplifier Noise Voltage (nV} / \sqrt{\text{Hz}})]^2}{16}$$

$$R_H(k\Omega) = \frac{16}{[\text{Amplifier Current Noise (pA} / \sqrt{\text{Hz}})]^2}$$

如果源电阻低于 R_L ，则电压噪声为主要噪声，这时，应该选择电压噪声较低的放大器。而如果源电阻高于 R_H ，则电流噪声为主要噪声，这时，应该选择电流噪声较低的放大器。

在上述示例中，当 R_s 值在5 k Ω 至10 k Ω 之间时，这些放大器的噪声性能会非常接近，甚至相同。这时，需要考虑优化系统的其它参数(如：带宽、功率、失真、成本)。

我可以自己构建低噪声仪表放大器吗？

可以自己构建分立式低噪声仪表放大器，但必须克服某些困难。例如：必须保证高共模抑制、低漂移、高带宽和低失真。要在分立设计中实现这些参数相当困难，必须用到多种器件，调整的成本非常高，功耗较高，而且占用电路板的面积也比较大。ADI公司提供的低噪声仪表放大器可以为各种应用提供更好的解决方案。

参考文献

- ¹ 视频：“仪表放大器电路的噪声。”
- ² MT-065指南，仪表放大器噪声(ADI)。
- ³ AN-940应用笔记，最佳噪声性能：低噪声放大器选择指南(ADI)。