

多功能低功耗精密单端转差分转换器

作者: Sandro Herrera 和 Moshe Gerstenhaber

很多应用都需要差分信号, 包括驱动现代模数转换器(ADC)、通过双绞线电缆传输信号、调理高保真音频信号。由于差分信号在一组特定电源电压下使用较大信号, 提高了对共模噪声的抑制能力, 降低了二次谐波失真, 因而实现了更高的信噪比。由于这一需求, 我们需要可将大多数信号链中的单端信号转换为差分信号的电路模块。

图 1 显示了简单的单端转差分转换器, 它使用 AD8476 精密低功耗完全差分放大器(diff-amp), 带有集成精密电阻。差分放大器内部配置的差分增益为 1, 因此电路的传递函数为:

$$V_{OUT, DIFF} = V_{OP} - V_{ON} = V_{IN}.$$

输出共模电压($V_{OP} + V_{ON}$)/2 由 V_{OCM} 引脚上的电压设置。如果允许 V_{OCM} 引脚浮空, 则由于形成电源的电阻分压器的内部 1 M Ω 电阻, 输出共模电压将会浮动至电源电压中间值。电容 C1 会滤除 1 M Ω 电阻的噪声, 以降低输出共模噪声。由于 AD8476 的内部激光调整增益设置电阻, 因而电路的增益误差最大值仅为 0.04%。

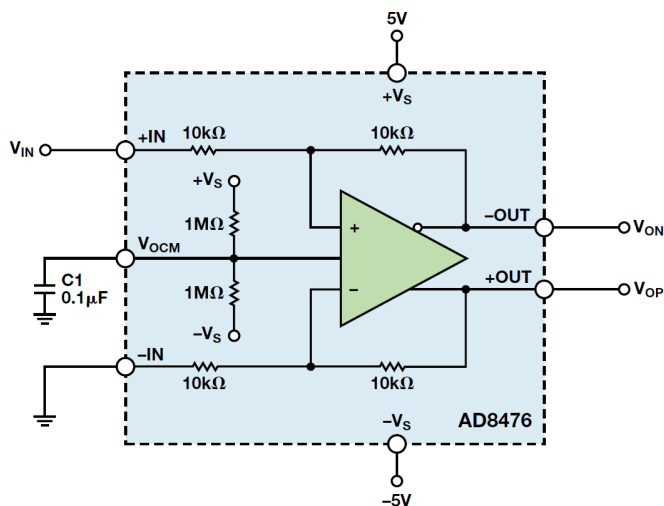


图 1. 简单的单端转差分转换器。

对于很多应用, 图 1 中的电路已足以用于执行单端转差分的转换。对于需要更高性能的应用, 图 2 显示的单端转差分转换器具有很高输入阻抗, 最大输入偏置电流为 2 nA, 最大失调(RTI)为 60 μ V, 最大失调漂移为 0.7 μ V/°C。该电路通过将 OP1177

精密运算放大器(op amp)与 AD8476 级联, 并将 AD8476 的正输出电压反馈至运算放大器的反相输入端, 达到这种级别的性能。这种反馈方式使得运算放大器能够确定配置的精度和噪声性能, 因为它将反馈环路内的差分放大器与前面的运算放大器的大开环增益相连。因此, 当以输入为基准时, 这种大增益可以减少 AD8476 的误差, 包括噪声、失真、失调和失调偏移。

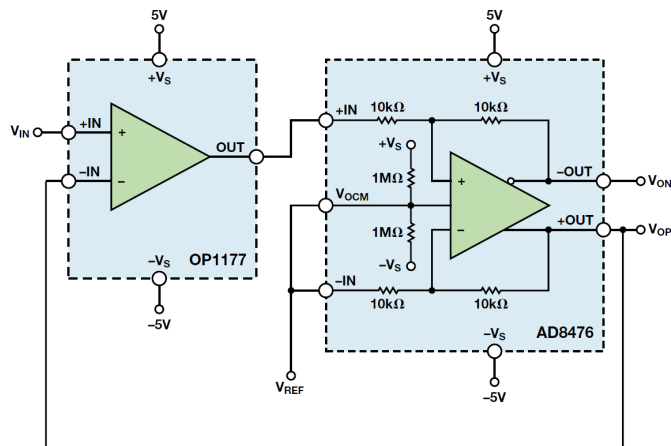


图 2. 改进的单端转差分转换器。

图 2 中的电路可以用以下公式表示:

$$V_{OP} \approx V_{IN} \quad (1)$$

$$(V_{OP} + V_{ON}) = 2 V_{OCM} = 2 V_{REF} \quad (2)$$

$$V_{ON} = 2 V_{REF} - V_{IN} \quad (3)$$

联立(1)和(3):

$$V_{OUT, DIFF} = V_{OP} - V_{ON} = 2(V_{IN} - V_{REF}) \quad (4)$$

公式 3 展示了有关电路的两个重要特性: 首先, 电路的单端转差分增益为 2。第二, V_{REF} 节点作为输入信号的基准, 因此它可用于消除输入信号中的偏置。例如, 如果输入信号具有 1 V 的偏置, 则将 1 V 施加于 V_{REF} 节点可以消除偏置。

如果目标应用需要大于 2 的增益, 则可以修改图 2 中的电路, 如图 3 所示。在这种情况下, 电路的单端转差分增益取决于外部电阻 R_F 和 R_G , 如下所示:

$$Gain = \frac{V_{OUT, DIFF}}{V_{IN}} = 2 \left(1 + \frac{R_F}{R_G} \right) \quad (5)$$

以及

$$V_{OUT, DIFF} = V_{OP} - V_{ON} = 2 \left(\left(1 + \frac{R_F}{R_G} \right) V_{IN} - V_{REF} \right) \quad (6)$$

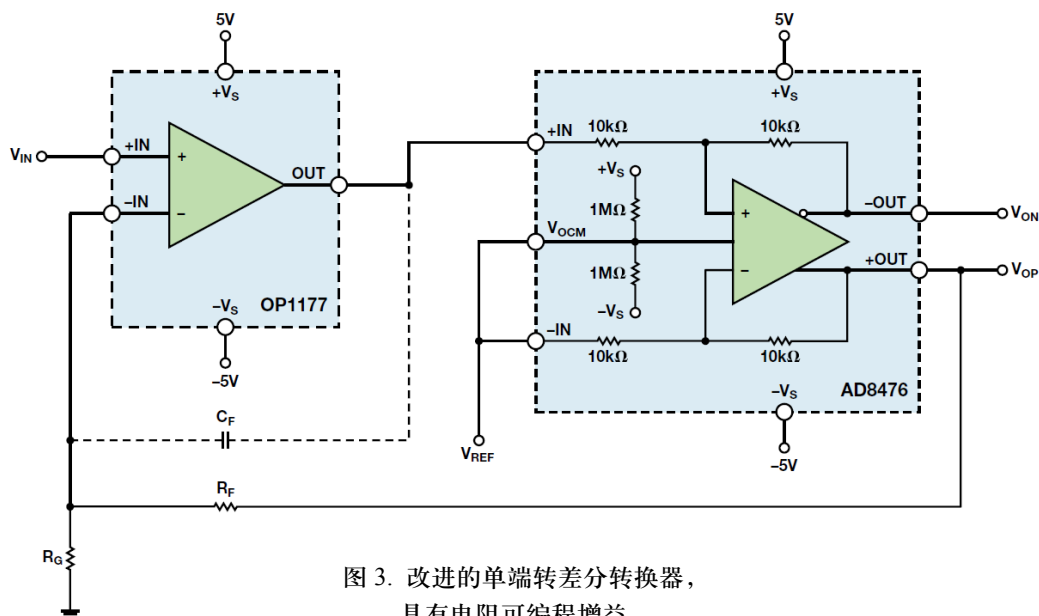


图 3. 改进的单端转差分转换器，
具有电阻可编程增益。

与图 2 中的电路相似，这种经过改进的单端转差分转换器可将差分放大器放置在运算放大器的反馈环路内部，从而抑制差分放大器的误差。与任何反馈连接相同，我们必须小心地确保系统是稳定的。请参考图 2，OP1177 和 AD8476 的级联形成了复合差分输出运算放大器，频率范围的开环增益是运算放大器的开环增益和差分放大器的闭环增益的乘积。因此，AD8476 的闭环带宽为 OP1177 的开环增益添加了一个极点。为确保稳定性，差分放大器的带宽应高于运算放大器的单位增益频率。在图 3 所示的电路中，这一要求有所放宽，因为电阻反馈网络有效地将 OP1177 的单位增益频率降低了 $R_G/(R_G + R_F)$ 倍。由于 D8476 具有 5 MHz 的带宽，OP1177 具有 1 MHz 的单位增益频率，因此所示的电路不会出现稳定性问题。图 4 显示了图 2 中的电路的输入和输出信号的示波图，由以地为基准的 10 Hz、1 V p-p 正弦波驱动。为简明起见， V_{REF} 节点接地。

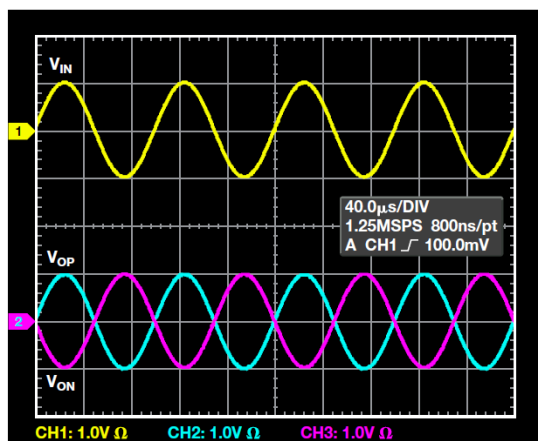


图 4. 由以地为基准的 10 Hz、1 V p-p 正弦波驱动时，
图 2 中电路的输入和输出信号。

如果使用的运算放大器的单位增益频率远大于差分放大器的带宽，则可插入带宽限制电容 C_F ，如图 3 所示。电容 C_F 和反馈电阻 R_F 构成积分器，因而整个电路的带宽按以下方式计算：

$$BW = \frac{1}{2} \frac{1}{2\pi R_F C_F} \quad (7)$$

带宽公式中的 $1/2$ 是因为反馈是单端的，而不是差分的，这样会将反馈和带宽减少一半。如果减少的带宽低于差分放大器的闭环带宽，则电路将会非常稳定。这种带宽限制技术也可在增益为 2 的情况下使用，让 R_G 保持开路。

作者简介

Sandro Herrera [sandro.herrera@analog.com] 是马萨诸塞州威廉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。



Moshe Gerstenhaber [moshe.gerstenhaber@analog.com] 现为 ADI 公司研究员。他于 1978 年加入 ADI，数年间先后担任过制造、产品工程及设计方面的多种高级职务。Moshe 目前是集成放大器产品部门的设计经理。他在放大器设计领域做出了重大贡献，特别是极高精度专用放大器，如仪表放大器和差动放大器等。

