

带可调输出共模的多功能、精密单端转差分电路提升系统动态范围

作者：Darwin Tolentino和Sandro Herrera

差分信号适合于需要大信噪比、高抗扰度和较低二次谐波失真的电路，例如高性能ADC驱动和高保真度音频信号处理等应用。《模拟对话》曾刊载过一篇相关文章——“多功能、低功耗、精密单端差分转换器”¹，其中介绍了一种有很大改进的单端转差分电路，它具有很高输入阻抗，最大输入偏置电流为2 nA，最大失调 (RTI) 为60 μV ，最大失调漂移为0.7 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。性能改进是通过在反馈环路中将OP1177与差分增益为1的AD8476级联而实现的。

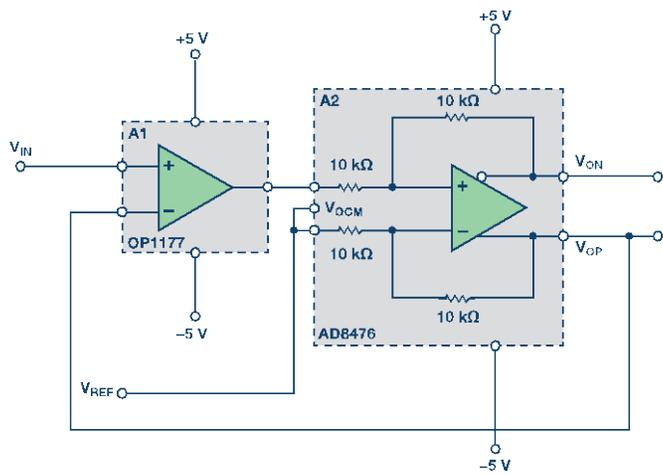


图1. 改进的单端转差分电路

然而，许多应用需要更大的输出动态范围，例如温度和压力传感器输出的信号调理等。如果还能调节共模，那么该电路将能非常方便地与许多ADC接口，其基准电压决定满量程范围。

将环路内部差分放大器的增益配置为大于1的值，可提高电路的输出动态范围 (图2)。输出通过下式计算：

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

其中 R_G 保持开路，电路的总增益为2。A1 (OP1177) 的输出通过下式计算：

$$V_{OUT, OP1177} = \frac{V_{OUT, DIFF}}{G_{DIFF, A2}} + V_{REF}$$

注意： V_{REF} 始终增加到OP1177的输出上，从而会限制其输出裕量。多数应用中， V_{REF} (输出共模) 设置在电源的中点，以提供最大输出动态范围。环路内部增益大于1的差分放大器，例如图2中的ADA4940 (增益为2)，可降低A1输出电压，降低倍数为A2的差分增益，这样便有助于避免A1输出饱和。采用 $\pm 5\text{ V}$ 电源时，OP1177的典型输出摆幅为4.1 V，因此，当 V_{REF} 设置为0时，图2所示电路的差分输出电压摆幅约为 $\pm 8\text{ V}$ 。将A2增益配置为3可进一步改善输出动态范围，实现电路的最大输出摆幅。另一个可用增益为1、2和3的放大器ADA4950，也适合用作A2。

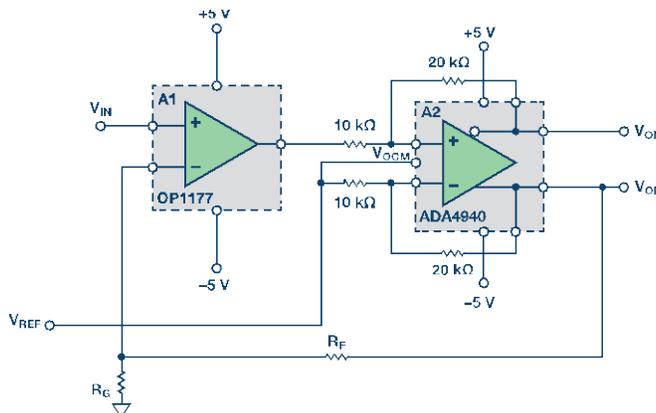
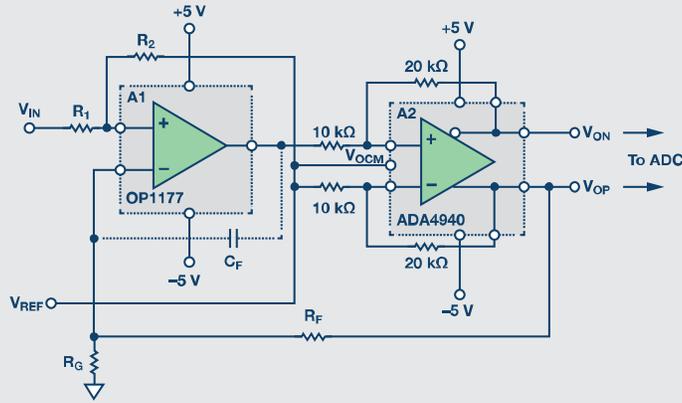
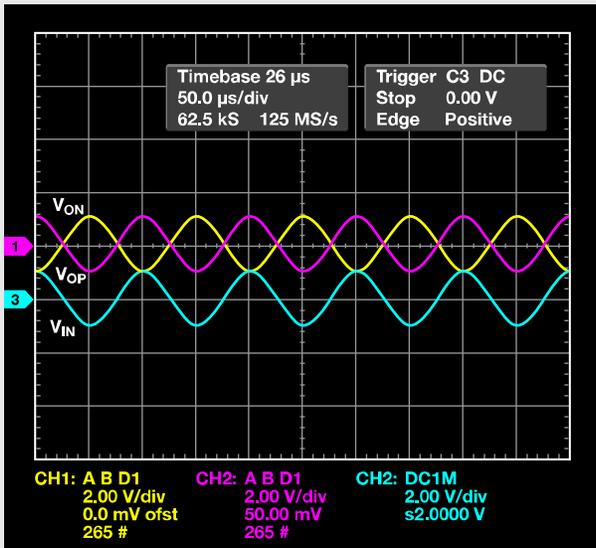


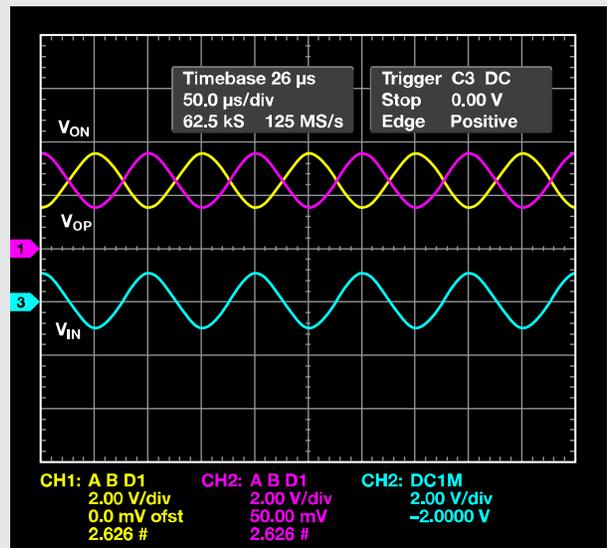
图2. 具有改进动态范围的单端转差分电路



(a) 改进的单端差分转换器，具有可调共模。



(b) 输入和输出图，红线为 V_{OP} ，黄线为 V_{ON} ，蓝线为输入。共模为 $0V$ 。



(c) 输入和输出图，红线为 V_{OP} ，黄线为 V_{ON} ，蓝线为输入。共模为 $2.5V$ 。

图3.

可调输出共模

可以修改电路，使输出共模可调且独立于输入信号的共模。对于输入以地为基准且需要转换为具有高共模的差分信号以与ADC接口的单电源应用，这样做可带来极大的灵活性和便利。

实现方法是在输入端增加两个电阻 R_1 和 R_2 ， R_2 连接到 V_{OCM} 。若需要，可以使用输入放大器A1的双通道版本OP2177，对于非常低的输入偏置电流，可将第二放大器用作输入缓冲器。

在图1所示电路中，输入以 V_{REF} 为基准。参见图3所示电路，输入以地为基准，直接获取后转换为差分输出。现在可以调节 V_{OCM} 以使共模输出偏移，而输入仍然以地为基准。 V_{OCM} 可以设为基准电压源的一半或转换器的中间电平。 V_{OCM} 基本上像 V_{IN} 一样，用作另一个输入。所选电阻值应满

$$\text{足下式: } \frac{R_1}{R_G} = \frac{R_2}{R_F}。$$

通过叠加，当 V_{IN} 为0时，输出值与 V_{OCM} 相同。由于 V_{OCM} 是设置输出共模的值，因此差分输出为0。若 $R_1 = R_G$ 且 $R_2 = R_F$ ，则输出电压由下式给出：

$$V_{OP} = \left(\frac{R_F}{R_G}\right) V_{IN} + V_{OCM}$$

$$V_{ON} = -\left(\frac{R_F}{R_G}\right) V_{IN} + V_{OCM}$$

$$V_{OUT, DIFF} = 2\left(\frac{R_F}{R_G}\right) V_{IN}$$

带宽和稳定性

两个放大器构成一个伺服环路配置的复合差分输出运算放大器。OP1177/OP2177的开环增益和ADA4940的差分增益合并，得到电路的总开环增益，其定义电路的总带宽。其极点的合并则使环路的相移增加。A2使用较高增益时，会降低其带宽，并可能影响电路整体的稳定性。电路设计人员须检查电路整体的频率响应，评估是否需要补偿。为了确保反馈系统的稳定性，经验法则是随频率而变化的合并开环增益必须以-20 dB/十倍频程的滚降速率跨过单位增益。这在最小增益（2倍增益）的应用中更为重要，因为环路增益处于最大值，相位裕量最差。提高总增益，从而减小带宽并增加反馈环路的相位裕量，也能改善稳定性。因为环路增益减小，它会在较低的频率跨过单位增益。环路增益由下式计算：

$$\text{环路增益} = (A_{OL, 1st\ Amp})(A_{Diff, 2nd\ Amp})\beta$$

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\frac{R_G}{R_G + R_F} \right)$$

反馈系数 β 中有一个 $\frac{1}{2}$ ，这是因为输出为差分，而反馈仅从差分输出之一中获得。ADA4940在2倍增益时的带宽为50 MHz，而OP1177的单位增益带宽约为4 MHz。受限于OP1177和闭环增益，图3所示电路在带宽约为1 MHz时可稳定工作。如之前文章中所指出的，当使用差分放大器无法满足稳定性条件时，可以使用一个限带电容，如图3(a)所示。该电容与反馈环路内部的 R_F 形成一个积分器，将电路整体的带宽限制为：

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2\pi R_F C_F}$$

可以适当选择电容和反馈电阻，使总带宽受上式限制。

参考资料：

- ¹ Sandro Herrera和Moshe Gerstenhaber。“多功能、低功耗、精密单端差分转换器”模拟对话，第46卷，第4期。

Darwin Tolentino [darwin.tolentino@analog.com] 是菲律宾 ADI 公司线性精密技术部门的高级测试开发工程师。他曾在产品与测试工程部门工作，为放大器和线性产品（包括转换器）开发了测试解决方案。他于 2000 年加入 ADI 公司，在半导体行业已有 17 年的经验。他的兴趣包括历史和模拟电路设计。



Darwin Tolentino

该作者的其它文章：

[简单电路提供可调CAN级差分输出信号](#)

第46卷第2期

Sandro Herrera [sandro.herrera@analog.com] 是美国马萨诸塞州威明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。



Sandro Herrera

该作者的其它文章：

[多功能、低功耗、精密单端差分转换器](#)

第46卷第4期