

# 发掘绝对值电路更多价值—利用差动放大器实现低功耗、高性能绝对值电路

作者：Moshe Gerstenhaber 和 Reem Malik

传统上，精密半波和全波整流器均采用精心挑选的元件，这些元件包括高速运算放大器、快速二极管和精密电阻。元件数量繁多致使这种解决方案成本很高，而且无法摆脱元件间交越失真、温度漂移变化的困扰。

本文介绍了如何配置双通道差动放大器—不需任何外部元件来提供精密绝对值输出。这种创新方案可以比传统方案实现更高精度、更低成本和功耗。

如图 1 所示，**差动放大器**<sup>1</sup>包括一个运算放大器和四个电阻，它们配置成一个减法器。低成本单芯片差动放大器内置激光晶圆调整电阻，提供极高增益精度、低失调、低失调漂移、高共模抑制以及比分立替代器件更出色的整体性能。

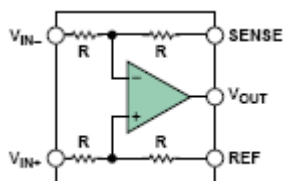


图 1：差动放大器

## 传统绝对值电路

图 2 所示为常用全波整流器电路示意图。这种设计依赖两个快速运算放大器和五个精密电阻来获得高性能。当输入信号为正时，A1 的输出为负，所以 D1 反向偏置。D2 正向偏置，从而关闭 A1 附近经过 R2 的反馈环路并形成反相放大器。A2 将乘以增益-2 的 A1 输出和乘以增益-1 的输入信号相加，得到净增益+1。当输入信号为负时，D1 正向偏置，从而关闭 A1 附近的反馈环路。D2 反向偏置，故不导通。A2 将输入信号反相，产生正输出。因而，A2 的输出为正电压，表示正负输入的绝对值。

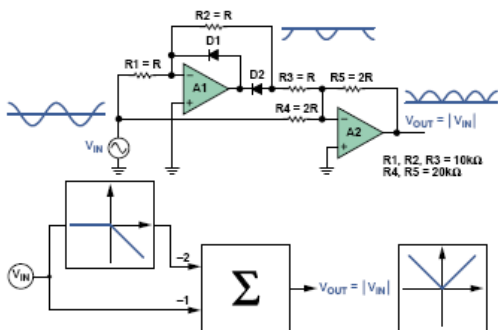


图 2：标准全波整流器<sup>2,3</sup>

这种设计有几个固有的性能和系统缺点，如成本、交越失真、增益误差及噪声等。该设计要求双电源和许多高性能元件，进一步提高了成本和复杂度。由于输入信号跨越  $0\text{ V} + \Delta\text{V}$  和  $0\text{ V} - \Delta\text{V}$ ，A1 的输出必须在  $-V_{\text{BE}}$  至  $+V_{\text{BE}}$  之间摆动，所以响应时间可能较长。高速运算放大器和二极管可以帮助减轻这个问题，不过代价是更高的功耗。绝对值输出的增益精度取决于 R1、R2、R3、R4 和 R5 的匹配程度。甚至一个电阻的小量失配，也会造成正负绝对值峰值之间的巨大误差。整体噪声增益为 6，放大了运算放大器噪声、失调和漂移效应。

## 改进的绝对值电路

图 3 所示为更简单、更有效的绝对值电路，只需一个 AD8277<sup>4</sup> 双通道差动放大器和一个正电源。当输入信号为正时，A1 充当电压跟随器。A2 两个输入端的电位与输入信号相同，所以 A2 只是将正信号传递到输出端。当输入信号为负时，A1 输出端处于 0 V，而 A2 反转输入信号。最终获得输入信号绝对值。可在高达 10 kHz 的频率下对高达  $\pm 10\text{ V}$  的信号进行整流。如果要整流的信号非常微弱，在每个运算放大器输出端放置一个下拉电阻可以提高 0 V 附近的电路性能。

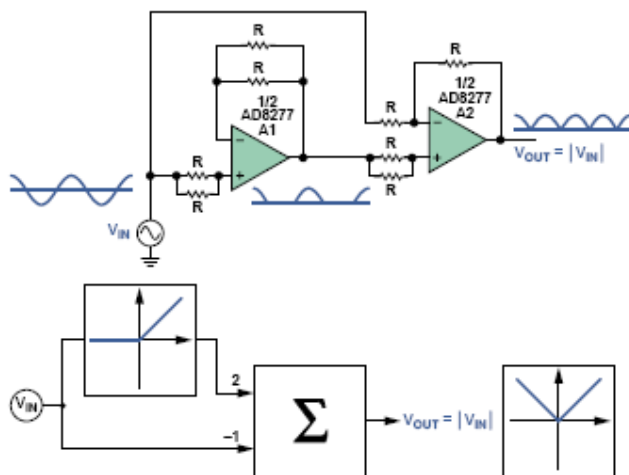


图 3：利用 AD8277 的单电源绝对值电路

这个电路看似简单，但功能可行，这完全得益于 AD8277 出色的输入输出特性以及单电源工作能力。和大多数单电源供电应用不同，该差动放大器的输入可在 0 V 以下驱动。这允许 A1 的输入端在接受负输入信号的同时，保持 0V 输出。输入端集成 ESD 二极管，过压保护能力更鲁棒。图 4 所示为 1 kHz 20 V p-p 输入信号的输入和输出波形及特性。

这个改进的绝对值电路克服了传统整流器设计的诸多缺陷，其价值超乎想象。其中最为突出的是减少了所需元件数：只需一个器件。取消了外部二极管，同时也消除了交越失真。激光晶圆调整电阻精确匹配，确保增益误差低于 0.02%。电路的噪声增益只有 2，噪声、失调及漂移更低。由于采用 2 V 至 36 V 单电源供电，AD8277 静态电流低于 400  $\mu\text{A}$ 。

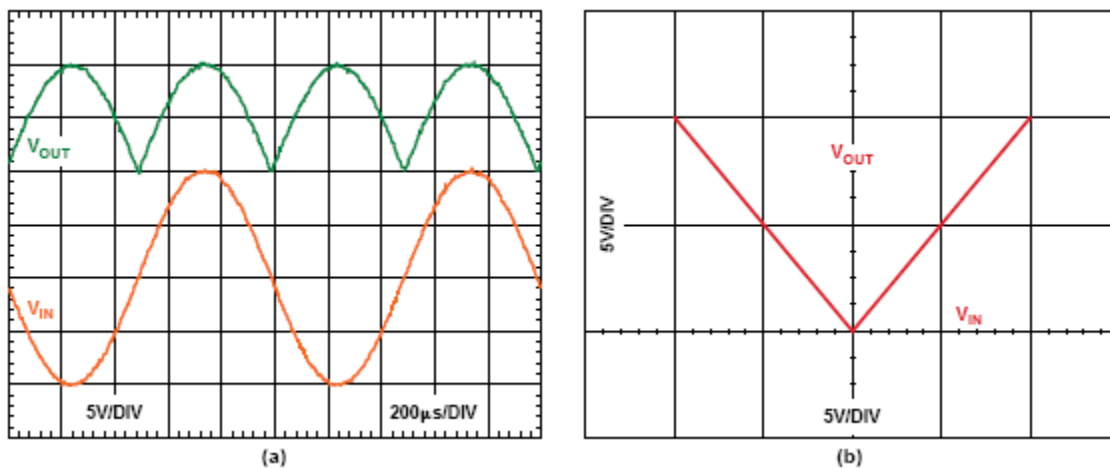


图 4: (a) 1 kHz 20-V p-p 输入信号的输入和输出 (b) 输入与输出特性曲线

## 结论

采用单个双通道差动放大器构建的精密全波整流器在多个方面超越了传统设计。其中最值得一提的是，取消了高性能外部元件和双电源，成本和复杂程度均大幅降低。该差动放大器解决方案不存在交越恢复问题并经优化以在广泛温度范围内获得低漂移。采用 AD8277，可利用单个 IC 实现低功耗、低成本、高精度绝对值电路。

## 参考文献

<sup>1</sup>[www.analog.com/en/amplifiers-and-comparators/difference-amplifiers/products/index.html](http://www.analog.com/en/amplifiers-and-comparators/difference-amplifiers/products/index.html).

<sup>2</sup><http://sound.westhost.com/appnotes/an001.htm>.

<sup>3</sup>Sedra, A.S. and K.C. Smith. *Microelectronics Circuits*. 4th ed. New York: Oxford University Press. 1998.

<sup>4</sup>[www.analog.com/en/amplifiers-and-comparators/difference-amplifiers/ad8277/products/product.html](http://www.analog.com/en/amplifiers-and-comparators/difference-amplifiers/ad8277/products/product.html).

## 关于作者

### Moshe Gerstenhaber

[moshe.gerstenhaber@analog.com] 现为 ADI 公司研究员 (Fellow)。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 目前担任集成放大器产品 (IAP) 小组的设计总监。他在放大器设计领域作出了突出贡献，尤其在极高精度专业放大器方面，如仪器仪表和差动放大器等。



### Reem Malik [reem.malik@analog.com]

是马萨诸塞州威尔明顿市集成放大器产品 (IAP) 小组的一名应用工程师。她为仪器仪表、工业及医疗领域的顾客提供支持并负责差动放大器和可变增益放大器等产品。Reem 于 2003 和 2008 年分别获得伍斯特理工学院电子工程学士学位和硕士学位。她于 2008 年 6 月加入 ADI 公司。

