

运算放大器的串联： 如何同时实现高精度 和高输出功率

Thomas Brand, 现场应用工程师

工程师常常面对各种挑战，需要不断开发新应用，以满足广泛的需求。一般来说，这些需求很难同时满足。例如一款高速、高压运算放大器（运放），同时还具有高输出功率，以及同样出色的直流精度、噪声和失真性能。市面上很少能见到兼具所有这些特性的运算放大器。但是，您可以使用两个单独的放大器来构建这种放大器，形成复合放大器。将两个运算放大器组合在一起，就能将各自的优秀特性集成于一体。这样，与具有相同增益的单个放大器相比，两个运算放大器组合可以实现更高的带宽。

复合放大器

复合放大器由两个单独放大器组合而成，分别具有不同的特性。图1所示就是这种结构。放大器1为低噪声精密放大器ADA4091-2。在本例中，放大器2为AD8397，具有高输出功率，可用于驱动其他模块。

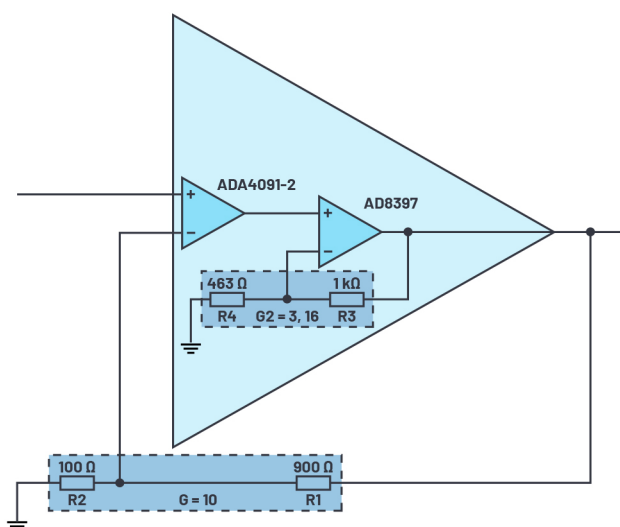


图1. 两个运算放大器串联构成复合放大器的示意图。

图1所示的复合放大器的配置与同相放大器的配置类似，后者具有两个外部操作电阻R1和R2。将两个串联在一起的运算放大器看作一个放大器。总增益(G)通过电阻比设置， $G = 1 + R1/R2$ 。如果R3与R4电阻比发生变化，会影响放大器2 (G2)的增益，也会影响放大器1 (G1)的增益或输出电平。但是，R3和R4不会改变有效总增益。如果G2降低，G1将增加。

带宽扩展

复合放大器的另一个特性是具备更高带宽。相比单个放大器，复合放大器的带宽更高。所以，如果使用两个完全相同的放大器，其增益带宽积(GBWP)为100 MHz，增益G = 1，那么-3 dB带宽可以提高约27%。增益越高，效果越明显，但最高只能达到特定限值。一旦超过限值，可能会不稳定。两个增益分布不均时，也会出现这种不稳定的情况。一般来说，在两个放大器的增益均等分布的情况下，可获得最大带宽。采用上述值 (GBWP = 100 MHz、G2 = 3.16、G = 10)，在总增益为10时，两个放大器组合的-3 dB带宽可以达到单个放大器的3倍。

这种说明相对简单。增益均匀分布时，G2也会获得与放大器1相同的有效增益。但是，每个独立放大器的开环增益更高。增益较低时，例如，从40 dB降至20 dB时，两个放大器都会在开环曲线的低区域内运行（参见图2）。如此，与具有同样增益的单个放大器相比，复合放大器可获得更高带宽。

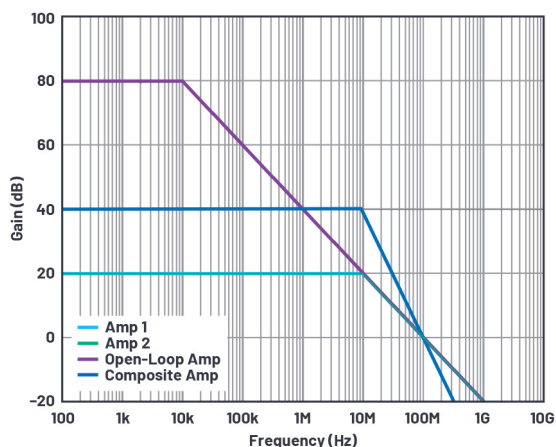


图2. 通过复合放大器扩展带宽。

直流精度和噪声

在典型运算放大器电路中，部分输出会馈送到反相输入。如此，可以通过反馈路径来修正输出误差，以提高精度。图1所示的组合也为放大器2提供了单独的反馈路径，虽然它也在放大器1的反馈路径中。整体配置输出会因放大器2产生更大误差，但在反馈给放大器1时，会修正这种误差。因此，可以保持放大器1的精度。输出失调仅与第一个放大器的输入失调误差成正比，与第二个放大器的失调电压无关。

噪声分量也一样。它也通过反馈得到修正，其中交流信号与两个放大器级的带宽预留相关。只要第一个放大器级具备足够带宽，它就会修正放大器2的噪声分量。至此，其输出电压噪声密度占主导地位。但是，如果超过了放大器1的带宽，那么第二个放大器的噪声分量开始占主导。如果放大器1的带宽过高，或者远高于放大器2的带宽，就会产生问题。这可能导致复合放大器的输出中出现额外的噪声峰值。

结论

通过将两个放大器串联在一起，可以将两者的出色特性相结合，从而获得使用单个运算放大器无法实现的结果。例如，可以实现具有高输出功率和高带宽的高精度放大器。图1所示的示例电路使用了轨到轨放大器AD8397（-3 dB带宽 = 69 MHz）和精密放大器ADA4091-2（-3 dB带宽 = 1.2 MHz），将两者组合得到的带宽比单个放大器（放大器1）的带宽要高2倍以上（ $G = 10$ ）。此外，将AD8397和各种精密放大器组合，还可以降低噪声，并改善THD特性。但是，在设计中，还必须通过修正放大器配置来确保系统的稳定性。如果考虑所有标准，复合放大器也可能适用于各种要求严苛的广泛应用。

作者简介

Thomas Brand于2015年加入德国慕尼黑的ADI公司，当时他还在攻读硕士。毕业后，他参加了ADI公司的培训生项目。2017年，他成为一名现场应用工程师。Thomas为中欧的大型工业客户提供支持，并专注于工业以太网领域。他毕业于德国莫斯巴赫的联合教育大学电气工程专业，之后在德国康斯坦茨应用科学大学获得国际销售硕士学位。联系方式：thomas.brand@analog.com。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区，中文技术论坛

与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问ez.analog.com/cn

