

斩波稳定(自稳零)精密运算放大器

斩波放大器

要想获得最低的失调和漂移性能，斩波稳定(自稳零)放大器可能是唯一的解决方案。最好的双极性放大器的失调电压为 $25\ \mu\text{V}$ ，漂移为 $0.1\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。斩波放大器尽管存在一些不利影响，但可提供低于 $5\ \mu\text{V}$ 的失调电压，而且不会出现明显的失调漂移，

以下图1给出了基本的斩波放大器电路图。当开关处于“Z”(自稳零)位时，电容 C_2 和 C_3 将分别充电至放大器输入和输出失调电压。当开关处于“S”(采样)位时， V_{IN} 通过 R_1 、 R_2 、 C_2 、放大器、 C_3 和 R_3 构成的路径连接至 V_{OUT} 。斩波频率通常在几百赫兹到几赫兹之间，需要注意的是，由于这是一种采样系统，因此，输入频率必须远远低于斩波频率的一半，以防止出现混叠导致的误差。 R_1 - C_1 组合充当一个抗混叠滤波器。同时假定，在达到一个稳定状态条件后，开关周期中只会传输极少量的电荷。必须选择输出电容 C_4 和负载 R_L ，使自稳零周期中的 V_{OUT} 降保持最低。

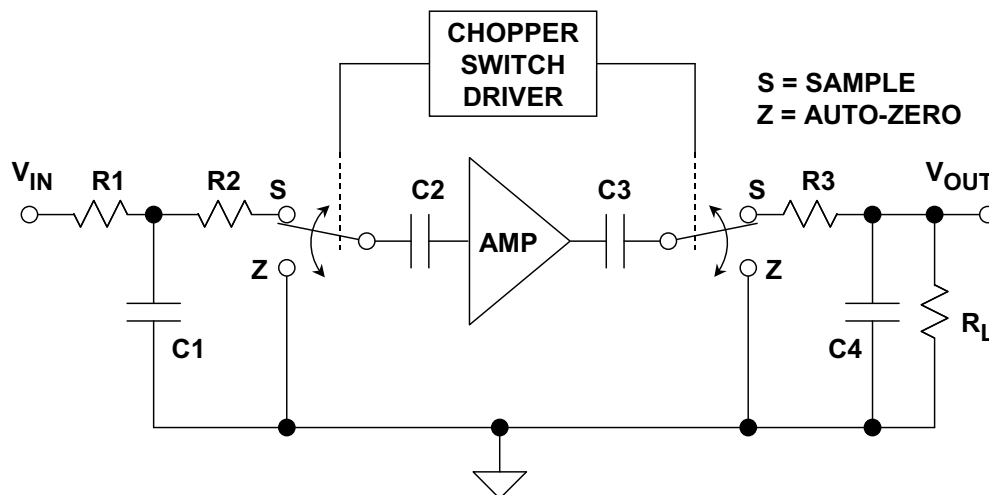


图1：经典斩波放大器

自稳零斩波稳定运算放大器

图1所示基本斩波放大器只能传递极低频率，因为需要输入滤波来防止混叠。与此相反，图2所示斩波稳定架构在斩波放大器应用中使用最为广泛。

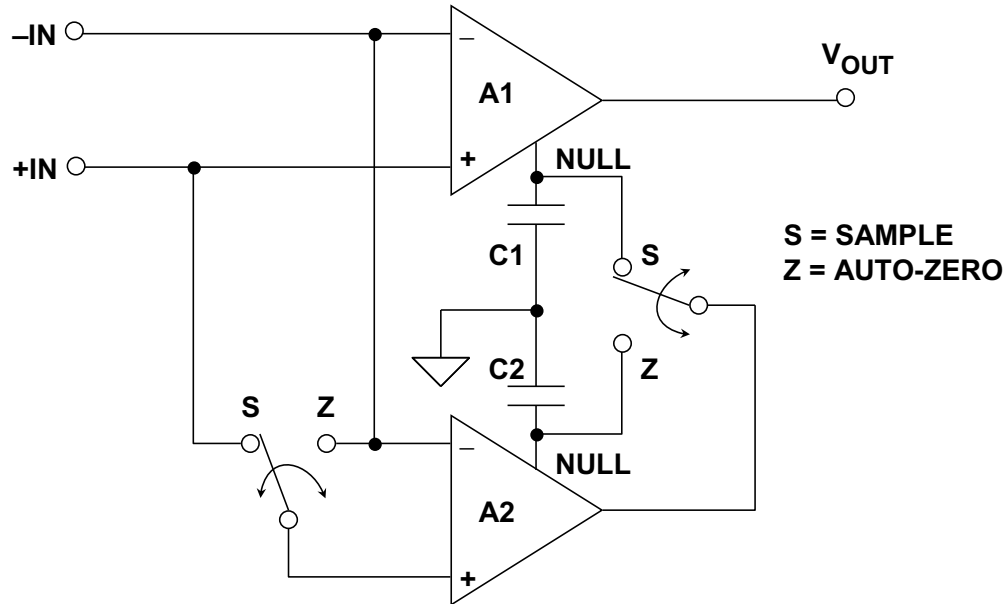


图2：现代自稳零(斩波稳定)运算放大器

在该电路中，A1为主放大器，A2为指零放大器。在采样模式(开关处于“S”位)下，指零放大器A2将监控A1的输入失调电压，并在A1的零点校准引脚处施加一个合适的校正电压，从而将其输出驱动至零。然而需要注意的是，A2也有一个输入失调电压，因此在对A1的失调进行零点校准之前，必须纠正自身的误差。在自稳零模式下(开关处于“Z”位)，其实现方式是先暂时将A2从A1断开，将其输入端一起短路，并将其输出端耦合至自己的零校准引脚。在自稳零模式期间，A1的校正电压由C1暂时保持。类似地，C2则在采样模式期间保持A2的校正电压。在现代IC斩波稳定运算放大器中，存储电容C1和C2是片内提供的。

注意，在这种架构中，输入信号始终通过A1连接至输出端。因此，A1的带宽决定着整体信号带宽，输入信号不像传统斩波放大器架构那样，限制为斩波频率的一半。然而，开关操作确实会在斩波频率下产生较小的瞬变，而该瞬变则可能与输入信号频率混合起来，结果导致交调失真。

[AD8571/AD8572/AD8574](#)系列单电源斩波稳定运算放大器采用了一种专利扩频技术，基本消除了交调效应。这些器件采用一种伪随机斩波频率，范围在2 kHz和4 kHz之间。图3比较了一种传统斩波稳定运算放大器的交调失真性能。

[AD8551/AD8552/AD8554](#)(左)采用一种固定的4 kHz斩波频率, [AD8571/AD8572/AD8574](#)(右)采用伪随机斩波频率。

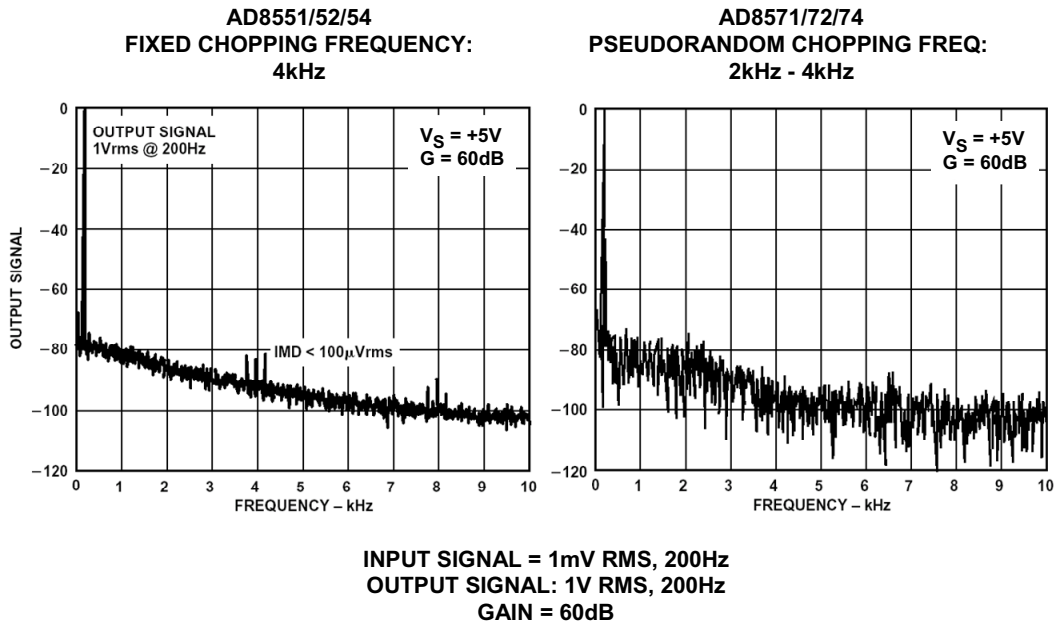


图3: 交调积: 固定与伪随机斩波频率

下面的图4比较了固定与伪随机斩波对电压噪声的影响。注意, 对于固定斩波频率, 在奇次谐波4 kHz下, 噪声频谱中存在显著的峰值, 而对于伪随机斩波, 频谱更统一, 只是其平均噪声电平较高。

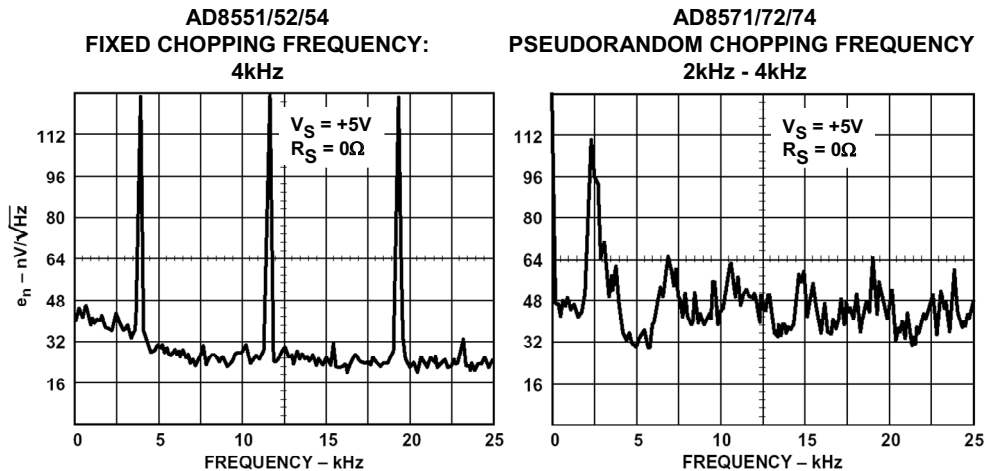


图4: 电压噪声频谱密度比较: 固定与伪随机斩波频率

减少因自稳零放大器开关操作导致的交调效应的另一种方法是以一种专利方式将自稳零与斩波结合起来，就如AD8628/AD8629/AD8630系列一样。这种独特的拓扑结构使得这些放大器能够在宽温度范围和整个工作寿命内维持低失调电压。

与前几代的自稳零放大器相比，AD8628/AD8629/AD8630在噪声和带宽上进行了优化，电压噪声减少了50%以上，是所有自稳零放大器中最低的。其他设计采用自稳零或斩波技术来提高放大器的精度。自稳零技术使自稳零频率时的噪声能量较低，但由于自稳零频带中混叠宽带噪声，因此会造成低频噪声较高。斩波技术可降低低频噪声，但斩波频率时的噪声能量较大。

AD8628/AD8629/AD8630系列采用已获专利的乒乓式配置，同时使用自稳零和斩波技术，可在斩波和自稳零频率获得较低的低频噪声以及较低的能量，从而使大部分应用的信噪比达到最高，且不需要额外滤波。时钟频率相对较高(15 kHz)，因此可简化滤波器对有效、无噪声、宽带宽的要求。该系列的噪声谱密度如图5所示。

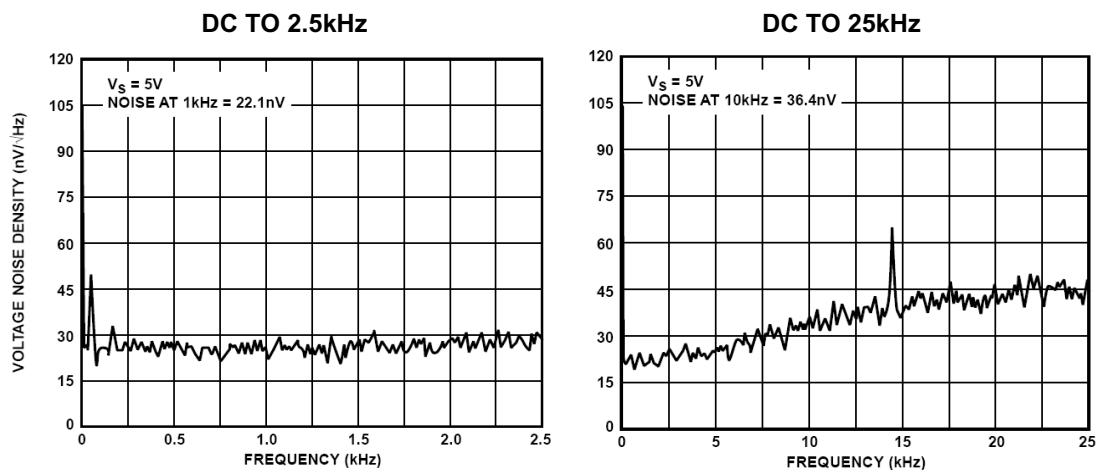


图5: AD8628/AD8629/AD8630系列精密零漂移、自稳零运算放大器的电压噪声谱密度

AD8628是少数几种采用5引脚TSOT封装的自稳零放大器。这使得其交流参数要比以前的自稳零放大器有明显改善。AD8628/AD8629/AD8630均在相对较宽的带宽范围内(0 Hz至10 kHz)具有低噪声特性，适合要求最高直流精度的应用。在信号带宽范围为5 kHz至10 kHz的系统中，AD8628/AD8629/AD8630可提供真16位精度，因而是极高分辨率系统的最佳选择。

AD8628/AD8629/AD8630系列的主要特性如图6所示。

- ◆ Single Supply: +2.7V to +5V
- ◆ 1 μ V Typical Input Offset Voltage
- ◆ 0.002 μ V/ $^{\circ}$ C Typical Input Offset Voltage Drift
- ◆ 130dB Typical CMR, PSR
- ◆ 0.85mA Typical Supply Current/Amplifier
- ◆ 10 μ s Overload Recovery Time
- ◆ 22nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ Input Voltage Noise @ 1kHz
- ◆ Patented Auto-Zero and Chopper-Stabilized Technique @ 15kHz Switching Frequency
- ◆ 2.5MHz Gain-Bandwidth Product
- ◆ AD8628 (Single) in TSOT and SOT-23 Packages
- ◆ AD8629 (Dual), AD8630 (Quad)

图6: AD8628/29/30系列精密自稳零运算放大器的主要特性

需要注意的是，在应用所有斩波稳定器件时必须极其小心。这是因为，为了完全发挥出器件本身的失调和漂移性能，必须避免外部电路中的寄生热电偶效应。

斩波稳定运算放大器的噪声考虑因素

如果考察斩波放大器对低频 $1/f$ 噪声的影响，结果将发现有趣的现象。如果斩波频率明显高于 $1/f$ 输入噪声的转折频率，则斩波稳定放大器会逐个采样地连续消除 $1/f$ 噪声。理论上讲，斩波运算放大器是没有 $1/f$ 噪声的。然而，斩波操作会产生宽带噪声，其程度比精密双极性运算放大器要糟糕得多。

下面的图7展示了精密双极性放大器([OP177](#))与[AD8628](#)/[AD8629](#)/[AD8630](#)斩波稳定运算放大器的噪声性能。图下方的表格中算出了二者在各种带宽下的峰峰值噪声。

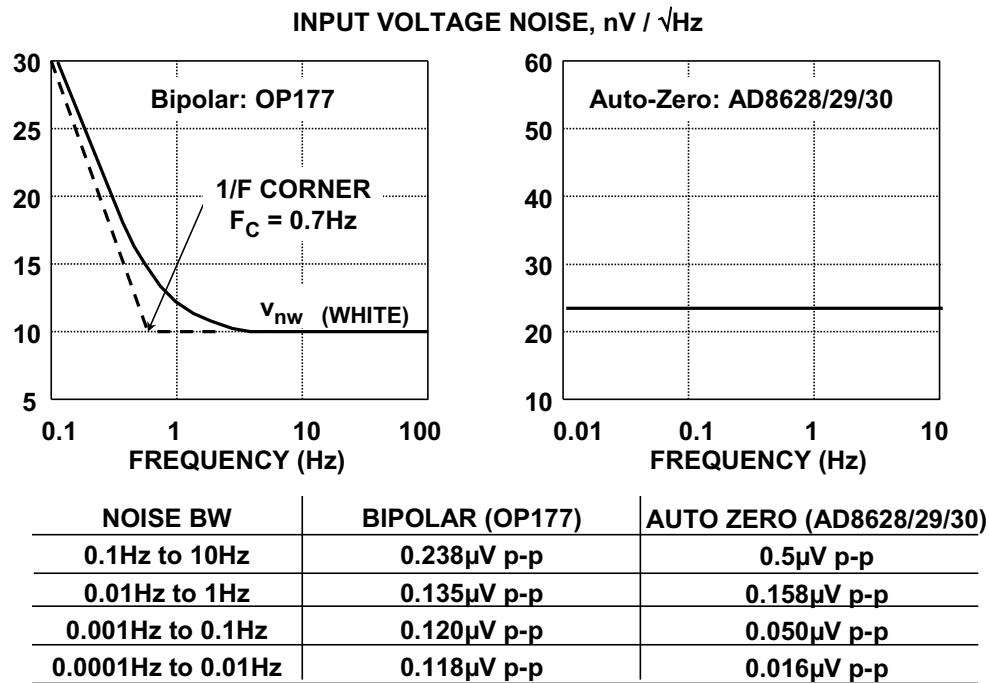


图7：噪声：双极性与自稳零运算放大器

根据数据可以看出，随着频率的下降，自稳零放大器的噪声继续下降，而双极性放大器的噪声则接近一个限值，该限值取决于 $1/f$ 转折频率及其白噪声。请注意，只有在极低的频率(<0.1 Hz)下，斩波放大器的噪声性能才会优于双极性运算放大器。

为了利用斩波运算放大器没有 $1/f$ 噪声的特性，需要采用较多的滤波机制——否则，斩波运算放大器的总噪声将始终不如一个优良的双极性运算放大器。因此，选择斩波运算放大器时要看其低失调和漂移特性——而不是基于其没有 $1/f$ 噪声的特性。

参考文献

1. Hank Zumbahlen, *Basic Linear Design*, Analog Devices, 2006, ISBN:0-915550-28-1. 另见 [Linear Circuit Design Handbook](#), Elsevier-Newnes, 2008, ISBN-10:0750687037, ISBN-13:978-0750687034。Chapter 1.
2. Walter G. Jung, *Op Amp Applications*, Analog Devices, 2002, ISBN 0-916550-26-5, 另见 [Op Amp Applications Handbook](#), Elsevier/Newnes, 2005, ISBN 0-7506-7844-5. Chapter 1.

Copyright 2009, Analog Devices, Inc. All rights reserved. Analog Devices assumes no responsibility for customer product design or the use or application of customers' products or for any infringements of patents or rights of others which may result from Analog Devices assistance. All trademarks and logos are property of their respective holders. Information furnished by Analog Devices applications and development tools engineers is believed to be accurate and reliable, however no responsibility is assumed by Analog Devices regarding technical accuracy and topicality of the content provided in Analog Devices Tutorials.