

应用工程师问答—39

零漂移运算放大器

作者：Reza Moghimi

什么是零漂移放大器？

零漂移放大器可动态校正其失调电压并重整其噪声密度。自稳零型和斩波型是两种常用类型，可实现 nV 级失调电压和极低的失调电压时间/温度漂移。放大器的 1/f 噪声也视为直流误差，也可一并消除。零漂移放大器为设计师提供了很多好处：首先，温漂和 1/f 噪声在系统中始终起着干扰作用，很难以其它方式消除，其次，相对于标准的放大器，零漂移放大器具有较高的开环增益、电源抑制比和共模抑制比，另外，在相同的配置下，其总输出误差低于采用标准精密放大器的输出误差。

零漂移放大器适合哪些应用？

零漂移放大器适用于预期设计寿命 10 年以上的系统，以及使用高闭环增益 (>100) 和低频 (<100 Hz)、低幅度信号的信号链。应用示例包括精密电子秤、医疗仪器、精密计量设备和红外/电桥/热电堆传感器接口。

自稳零型放大器的工作原理

自稳零型放大器，如 AD8538、AD8638、AD8551 和 AD8571 系列，通常分两个时钟阶段校正输入失调。在时钟阶段 A 中，开关 ϕ_A 闭合，开关 ϕ_B 断开，如图 1 所示。指零放大器的失调电压经过测量后，储存在电容 C_{M1} 上。

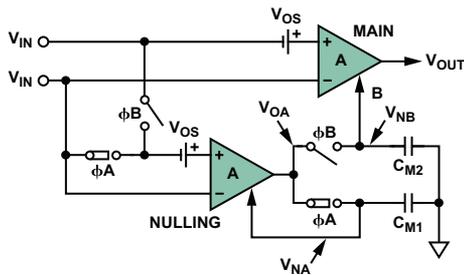


图 1. 自稳零型放大器的阶段 A：零点校准阶段

在时钟阶段 B 中，开关 ϕ_B 闭合，开关 ϕ_A 断开，如图 2 所示。主放大器的失调电压经过测量后，储存在电容 C_{M2} 上，同时，储存在电容 C_{M1} 中的电压调节指零放大器的失调。进而，在处理输入信号时将总失调电压施加到主放大器上。

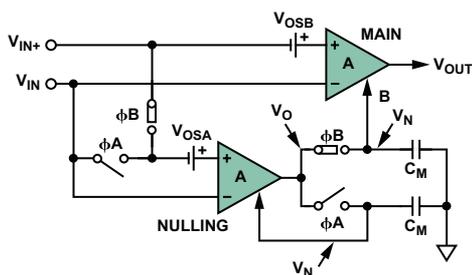


图 2. 自稳零型放大器的阶段 B：自稳零阶段

采样保持功能会将自稳零型放大器变为采样数据系统，使其容易发生混叠和折回效应。低频时，噪声变化缓慢，因此两个连续噪声采样相减可实现真正的抵消。高频时，这种相关性减弱，相减误差导致宽带成分折回基带。因此，自稳零型放大器的带内噪声高于标准运算放大器。为了减少低频噪声，必须提高采样频率，但这会引入额外的电荷注入。信号路径仅包括主放大器，因而可以获得相对较大的单位增益带宽。

斩波放大器的工作原理

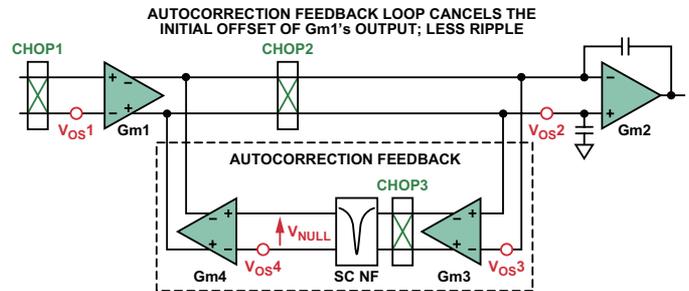


图 3. ADA4051 所用斩波方案

图 3 显示斩波型放大器 ADA4051 的功能框图，它采用本地自动校正反馈 (ACFB) 环路。主信号路径包括输入斩波网络 CHOP1、跨导放大器 G_{m1} 、输出斩波网络 CHOP2 和跨导放大器 G_{m2} 。CHOP1 和 CHOP2 将来自 G_{m1} 初始失调和 1/f 噪声调制到斩波频率。跨导放大器 G_{m3} 检测 CHOP2 输出端的调制纹波，斩波网络 CHOP3 将该纹波解调回 DC。所有三个斩波网络的开关频率均为 40 kHz。最后，跨导放大器 G_{m4} 消除 G_{m1} 输出端的直流成分，否则，它会作为纹波出现在总输出中。开关电容陷波滤波器 (SCNF) 有选择地抑制不需要的失调相关纹波，但不会干扰总输出中的有用输入信号，它与斩波时钟同步，以便完全地滤除调制分量。

这两种技术可以结合使用吗？

ADI 公司新系列放大器正是这样做的。图 4 所示的零漂移放大器 AD8628 同时使用自稳零和斩波技术来降低斩波频率时的能量，同时将低频噪声保持在非常低的水平。相对于传统零漂移放大器，这种技术组合可以实现更宽的带宽。

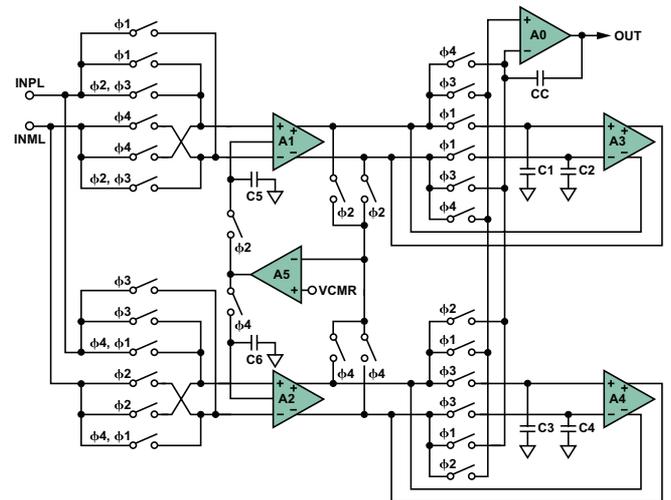


图 4. AD8628 集自稳零和斩波于一体，可实现更宽的带宽

使用零漂移放大器时会遇到哪些应用问题?

零漂移放大器是利用数字电路动态校正模拟失调误差的复合放大器。数字开关动作会造成电荷注入、时钟馈通、交调失真和过载恢复时间延长,从而可能在设计不佳的模拟电路中引起问题。时钟馈通的幅度随着闭环增益或信号源阻抗增大而增大;在输出端增加一个滤波器,或者在同相输入端使用一个低值电阻,可以减小其影响。此外,输入频率越接近斩波频率,零漂移放大器的输出纹波越大。

对频率高于内部时钟频率的信号有何影响?

频率高于自稳零频率的信号会被放大。自稳零型放大器的速度取决于增益带宽积,后者取决于主放大器,而不是零点校准放大器;自稳零频率指示何时开始出现开关伪像。

自稳零型与斩波型有何区别?

自稳零型通过采样校正失调,斩波型则采用调制和解调。采样会导致噪声折回基带,因此自稳零型放大器的带内噪声较大。为了抑制噪声,需要使用更大电流,因此其功耗一般较高。斩波型放大器具有与其平带噪声一致的低频噪声,但在斩波频率时会产生大量能量和谐波。可能需要进行输出滤波,因此这些放大器最适合低频应用。自稳零和斩波技术的典型噪声特性如图5所示。

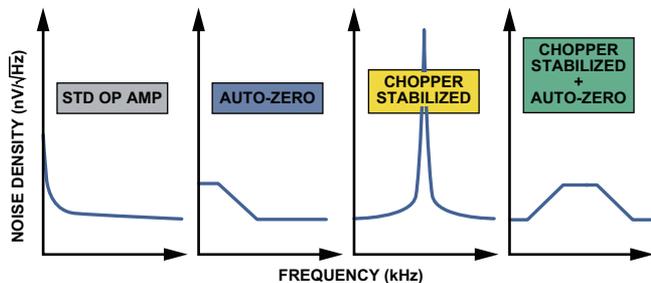


图5. 各种放大器结构的典型噪声与频率的关系

何时用自稳零型放大器? 何时用斩波型放大器?

斩波型放大器适合低功耗、低频应用(<100 Hz),自稳零型放大器则更适合宽带应用。AD8628集自稳零和斩波两种技术于一体,堪称要求低噪声、无开关毛刺、宽带宽应用的理想之选。表1列出一些设计的利弊因素。

表 1

自稳零型	斩波稳定型	斩波稳定型 + 自稳零型
极低失调 TCV_{OS}	极低失调 TCV_{OS}	极低失调 TCV_{OS}
采样保持	调制/解调	采样保持、调制/解调
混叠导致低频噪声较高	类似于平带噪声 (无混叠)	随频率分布的组合噪声
功耗较高	功耗较低	功耗较高
宽带宽	窄带宽	带宽最宽
纹波最小	纹波最大	纹波水平低于斩波型
在自稳零频率上的能量很小	在斩波频率上能量很大	在自稳零频率上的能量很小

ADI 公司的哪些零漂移放大器最受欢迎?

表2列出了ADI公司的一些代表性零漂移放大器。

参考文献

- “Bridge-Type Sensor Measurements Are Enhanced by Auto-Zeroed Instrumentation Amplifiers.” www.analog.com/library/analogdialogue/cd/vol38n2.pdf#page=6.
- “Demystifying Auto-Zero Amplifiers—Part 1.” www.analog.com/library/analogdialogue/cd/vol34n1.pdf#page=27.
- “Demystifying Auto-Zero Amplifiers—Part 2.” www.analog.com/library/analogdialogue/cd/vol34n1.pdf#page=30.
- MT-055 Tutorial, *Chopper Stabilized (Auto-Zero) Precision Op Amps*. www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-055.pdf.

作者简介

Reza Moghimi [reza.moghimi@analog.com] 是位于美国加利福尼亚州圣何塞的ADI公司应用工程师。他于1984年获得圣何塞州立大学电子工程学士学位,并于1990年获得工商管理硕士学位(MBA),此外还获得多个在职证书。他曾供职于Raytheon Corporation、Siliconix, Inc.和Precision Monolithics, Inc. (PMI),其中PMI公司于1990年与ADI公司合并。在ADI公司,他曾从事测试、产品和项目工程设计工作,并且撰写过许多文章和设计构想,曾在技术研讨会上做相关介绍。他业余时间爱好旅行、音乐和足球。

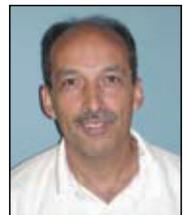


表 2

产品型号			电源电压		轨到轨		最小值 时带宽 (MHz)	压摆率 (V/μs)	V_{OS} 最大 值(μV)	TCV_{OS} 典型值 μV/°C	CMRR 最小值 (dB)	PSRR 最小 值(dB)	AVOL 最小 值(dB)	1 kHz 时噪声 (nV/√Hz)	每个放大 器 ₀ 最大 值(mA)	拓扑 结构
单路	双路	四路	最小值	最大值	输入	输出										
AD8628	AD8629	AD8630	2.7	5.5	•	•	2.5	1	5	0.002	120	115	125	22	1.1	AZ, C
AD8538	AD8539		2.7	5.5	•	•	0.43	0.4	13	0.03	115	105	115	50	0.18	AZ
AD8638	AD8639		4.5	16		•	1.35	2.5	9	0.01	118	127	120	60	1.3	AZ
AD8551	AD8552	AD8554	2.7	5.5	•	•	1.5	0.4	5	0.005	120	120	125	42	0.975	AZ
AD8571	AD8572	AD8574	2.7	5.5	•	•	1.5	0.4	5	0.005	120	120	125	51	0.975	AZ
ADA4051-1	ADA4051-2		1.8	5.5	•	•	0.115	0.04	15	0.02	105	110	106	95	0.017	C