

Errol Leon, Richard Barthel, Tamara Alani

## 引言

零漂移放大器采用独特的自校正技术，可提供超低输入失调电压 ( $V_{OS}$ ) 和接近零的随时间和温度变化的 ( $dV_{OS}/dT$ ) 输入失调电压漂移，适用于通用应用和精密应用。TI 的零漂移拓扑结构还具备其他优势，包括无  $1/f$  噪声、低宽带噪声以及低失真，这就简化了开发复杂性并降低了成本。可以通过两种方式中的一种来完成：斩波器或自动调零。本技术手册将解释标准的连续时间和零漂移放大器之间的差异。

## 适用零漂移放大器的应用

零漂移放大器适用于各种通用和精密应用，使其从信号路径的稳定性中受益。这些放大器出色的失调电压和漂移性能使其在信号路径的早期特别有用，其中高增益配置和连接微伏信号的接口很常见。受益于此技术的常见应用包括精密应变仪和体重秤、电流分流测量、热电偶、热电堆和桥式传感器接口。

## 轨到轨零漂移放大器

使用标准的连续时间放大器与系统级自动校准机制，可优化系统性能。然而，这种额外的自动校准需要复杂的硬件和软件，从而增加了开发的时间、成本和电路板空间。另一种更有效的解决方案是使用零漂移放大器，例如 OPA388。

传统的轨到轨输入 CMOS 架构具有两个差分对：一个 PMOS 晶体管对（蓝色）和一个 NMOS 晶体管对（红色）。支持轨到轨输入操作的零漂移放大器使用相同的互补 P 沟道（蓝色）和 N 沟道（红色）输入配置，如图 1 中所示。

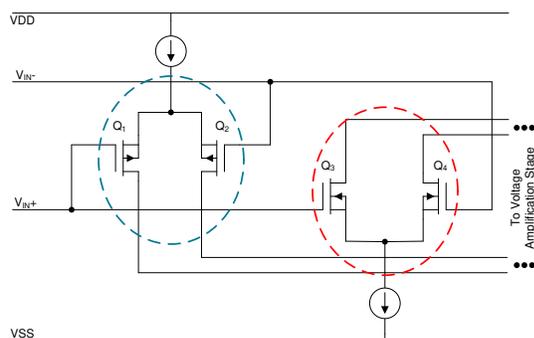


图 1. 简化的 PMOS/NMOS 差分对

这种输入架构的结果表现出一定程度的交越失真（关于交越失真的更多信息，请参阅[零交越放大器：特性和优势](#)）。然而，放大器的失调会通过其内部定期的校准来纠正，所以失调变化的幅度和交越失真大大减小。图 2 显示了标准 CMOS 轨到轨和零漂移放大器之间失调电压的比较。

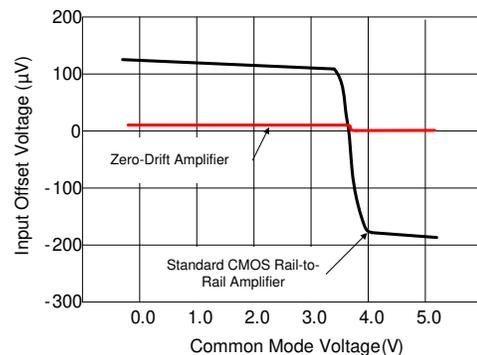


图 2. CMOS 和零漂移输入失调电压的比较

## 零漂移的工作原理

斩波零漂移放大器的内部结构可以具有与连续时间放大器一样多的级数——主要区别在于第一级的输入和输出具有一组开关，用于在每个校准周期内反转输入信号。图 3 显示了前半周期。在前半周期，两组开关都配置为翻转输入信号两次，但失调翻转一次。这使输入信号保持同相，但失调误差极性相反。

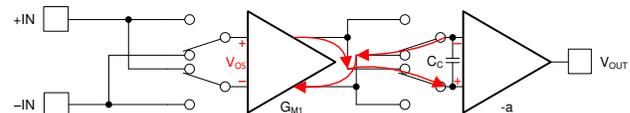


图 3. 内部结构的前半周期

图 4 显示了后半周期。在这里，两组开关都配置为通过未改变的方式传递信号和失调误差。实际上，输入信号永远不会发生相位变化，始终保持不变。由于来自第一时钟相位和第二时钟相位的失调误差极性相反，因此误差被平均为零。

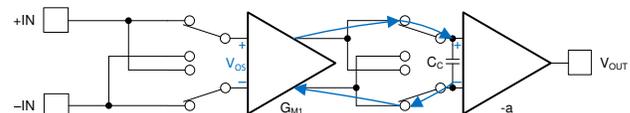


图 4. 内部结构的后半周期

在相同的开关频率下使用同步陷波滤波器来衰减任何残留误差。这个原理在整个放大器的输入、输出和环境操作过程中依然有效。从本质上讲，TI 的零漂移技术凭借这种自我修正机制提供超高性能和卓越的精度。

表 1 显示了连续时间和零漂移放大器的  $V_{OS}$  和  $dV_{OS}/dT$  的比较。请注意，零漂移放大器上的  $V_{OS}$  和  $dV_{OS}/dT$  要小三个数量级。

表 1. 输入失调电压和漂移的比较

器件		$V_{OS}$ ( $\mu V$ )	$dV_{OS}/dT$ ( $\mu V/^{\circ}C$ )
OPA388 (零漂移)	典型值	0.25	0.005
	最大值	5	0.05
OPA2325 (连续时间)	典型值	40	2
	最大值	150	7.5

自动调零需要不同的拓扑结构，但功能相似。自动调零技术在输出端失真较少。斩波可以降低宽带噪声。

### 零漂移放大器的噪声

通常，零漂移放大器具有最低的  $1/f$  噪声 (0.1Hz - 10Hz)。  $1/f$  噪声 (也称为闪烁或粉红噪声) 是低频时的主要噪声源，并且可能对精密直流应用产生不利影响。零漂移技术利用周期性自我校正机制有效地抵消缓慢变化的失调误差 (例如温漂和低频噪声)。

图 5 显示了零漂移 (红色) 和连续时间 (黑色) 放大器的  $1/f$  和宽带电压噪声频谱密度。请注意，零漂移曲线没有  $1/f$  电压噪声。

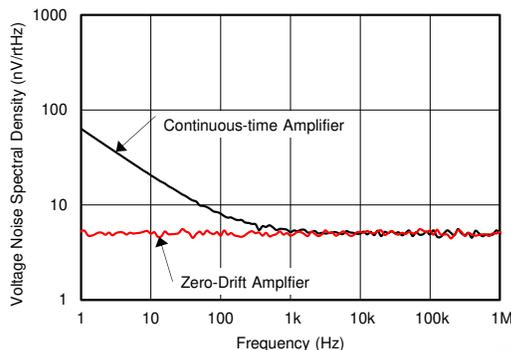


图 6. 电压噪声比较

### 再次，为什么选择零漂移放大器？

零漂移放大器可提供超低输入失调电压，接近零的随时间和温度变化的输入失调电压漂移，并且无  $1/f$  电压噪声 — 这些设计因素对通用和精密应用至关重要。

### 其他资源

表 2 重点介绍了 TI 的部分零漂移放大器。如需完整列表，请查看我们的 [参数搜索工具结果](#)。

表 2. TI 零漂移放大器

器件	$V_{drift}$ ( $\mu V/C$ , 最大值)	$V_{OS}$ ( $\mu V$ , 最大值)	$I_Q$ (mA)	BW (MHz)
OPA2333P $1.8V < V_S < 5.5V$	0.05	10	0.017	0.35
OPA2387 $1.8V < V_S < 5.5V$	0.012	2	0.570	5.7
OPA2388 $2.5V < V_S < 5.5V$	0.05	5	1.9	10
TLV2186 $4.5V < V_S < 24V$	1.0	0.25	0.09	0.75
OPA2182 $4.5V < V_S < 36V$	0.012	4	0.85	5
OPA2189 $4.5V < V_S < 36V$	0.015	3	1.3	14
INA333 $1.8V < V_S < 5.5V$	0.1	25	0.05	0.15
INA188 $4V < V_S < 36V$	0.2	55	1.4	0.6

表 3. 相关文档

SBOA181	零交越放大器：特性和优势
---------	--------------

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司