

# 失调电压校正方法：激光修整、e-Trim™ 和斩波器

Ying Zhou、Art Kay



## 简介

放大器输入失调电压往往是设计精度的关键参数，可使用不同的电路技术最大限度地降低该失调电压。为特定应用选择放大器时，了解不同的修整和失调电压校正方法可能富有成效。

### 激光修整：晶圆级修整

每个放大器都由数万个晶体管、电阻器和电容器构成。器件输入偏移误差是由每个放大器中输入晶体管的不匹配（或变化）造成的。图 1 显示了运算放大器裸片的图片。突出显示的区域所显示的是薄膜电阻器。在晶圆级测试过程中，激光烧掉了电阻材料部分，从而通过增加裸片的总电阻调节其值。

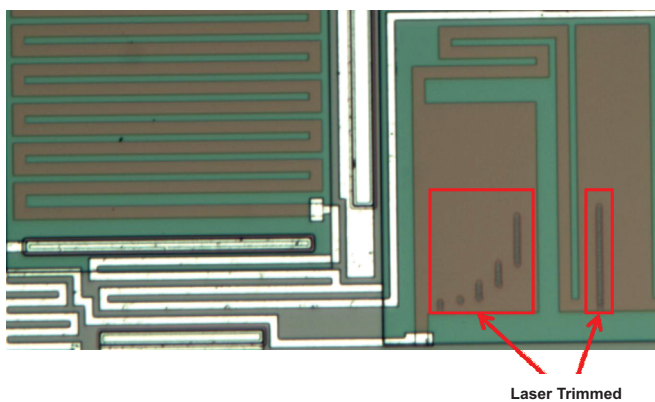


图 1. 薄膜电阻器上的激光修整

实际上可以在器件运行过程中用激光完成这种修整；也就是说，我们可以监控失调电压，然后对电阻器进行修整，直到失调电压归零。晶圆级修整可以得到非常精确的结果。然而，将晶圆切成独立的裸片并封装之后，对特定裸片的任何物理应力都可以导致失调电压发生变化。

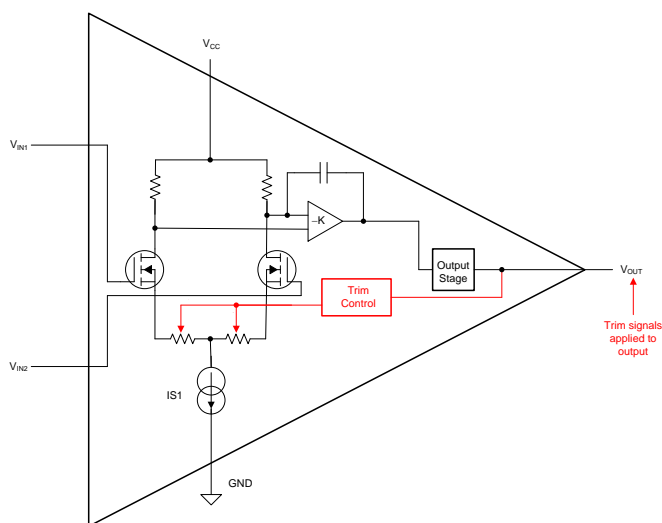
对于采用双极晶圆工艺制造的 IC 而言，激光修整是一种实用的修整方法。它不仅广泛应用于运算放大器，而且还应用于差分放大器和仪表放大器。它可以改善电阻器匹配，而这对于最大限度地降低增益误差，同时优化共模抑制比 (CMRR) 性能至关重要。INA826S 是一款

仪表放大器，使用激光修整来实现高直流精度和低静态电流：150 $\mu$ V 失调电压，2 $\mu$ V/°C 漂移和 250 $\mu$ A 静态电流。这款放大器具有传统的关断功能，采用较小 (3mm  $\times$  3mm) 的 DFN 封装，适合功耗敏感型应用，如断路器、便携式医疗仪器和测试设备。

### e-Trim™：封装级修整

用于实现低失调电压和漂移的另一种方法是 e-Trim，这是 TI 获得专利的修整架构，在器件封装后实施。在最后的封装级制造测试过程中对器件内部的校正电流源进行调整。修整完成后，修整电路的通道关闭，修整控制电路被禁用，调整成为永久性调整。图 2 说明了 e-Trim 方法。

这种多晶硅保险丝熔断技术不需要额外的引脚或测试点，与晶圆级修整相比性能得到大幅提升。这种方法还可避免通常由封装应力引起的参数变化，提供只有零漂移放大器才能实现的出色精度，并允许采用微型封装尺寸。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 2. 封装级 e-Trim

OPA2191 是 e-Trim 放大器系列的新成员，每个放大器都具有 25 $\mu$ V 失调电压（最大值）、0.8 $\mu$ V/°C 温漂（最大值）和 200 $\mu$ A 的低静态电流。

斩波器：动态校正

第三种校正失调电压和漂移的方法是使用**零漂移放大器**，尽管它本身并不是一种修整方法。斩波器是一种常见的零漂移放大器，使用内部动态校准方法最大限度地降低失调电压。图 3 显示了典型斩波器架构的示意图。第一个跨导级的输入和输出设有一组开关，每个校准周期交换一次输入信号的极性。随时间推移和温度变化的漂移平均为零。此特性还消除了传统放大器在频率非常低时出现的  $1/f$  噪声。这些特性使斩波放大器非常适合直流（或低频）信号调节应用，例如称重秤、应变计和温度测量。OPA2187 是一个斩波器示例，每个放大器都具有  $10\mu\text{V}$ （最大值）失调电压、 $0.05\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ （最大值）温漂和  $0.4\mu\text{V}_{\text{pp}}$  低频噪声（ $0.1\text{Hz}$  至  $10\text{Hz}$ ），仅  $145\mu\text{A}$ （最大值）的静态电流。

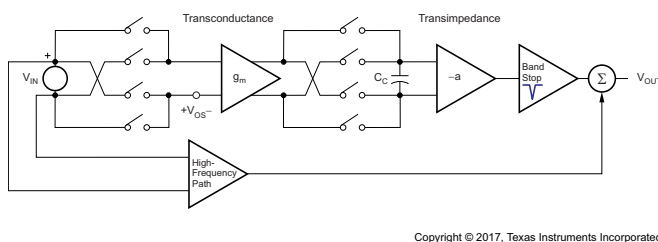


图 3. 斩波放大器的典型示意图

然而，斩波放大器可能会插入一个由电荷注入（因开关开合）导致的额外噪声分量，这些操作会导致输入偏置电流中出现尖峰，而这可能转化为高源阻抗应用中的电压尖峰，或者在使用高阻值电阻器的过程中上调信号。有鉴于此，在医疗仪器等工作温度范围较小的应

用中，接近于零的漂移可能不如与高源阻抗结合使用的放大器的超低输入偏置电流那样重要。在这种情况下，OPA2187 虽然温漂低得多，但偏置电流为  $350\text{pA}$ （最大值），与之相比，具有  $20\text{pA}$ （最大值）偏置电流的 OPA2191 可能是一个更好的选择。

### 总结

表 1 比较了三种失调电压校正方法。此技术简介可作为指南，帮助你选择最适合低失调电压、低漂移电路需求的放大器。

表 1. 激光修整、e-Trim 和斩波器之间的比较

| 器件                                    | 校正方法   | 优势                 | 劣势                |
|---------------------------------------|--------|--------------------|-------------------|
| INA826S<br>OPA145<br>OPA2325          | 激光修整   | 在工作温度范围内的制造流程简洁    | 封装后的参数变化          |
| OPA2191<br>OPA2192<br>OPA2376         | e-Trim | 封装不会引起参数变化         | 在工作温度范围内的制造流程复杂   |
| INA188<br>OPA189<br>OPA2187<br>OPA388 | 斩波器    | 可能最低的漂移；无 $1/f$ 噪声 | 偏置电流尖峰可导致高源阻抗出现问题 |

表 2. 其它博客文章和资源

| 视频                               | 运算放大器技术概述               |
|----------------------------------|-------------------------|
| <a href="#">Precision Hub 博客</a> | 封装级修整与其他失调电压校正方法相比如何？   |
| <a href="#">Precision Hub 博客</a> | 修整还是斩波：你喜欢哪种运算放大器？      |
| <a href="#">EDN 模拟设计文章</a>       | 突破精度极限 – 了解运算放大器面临的精度挑战 |

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司