

## 应用ADA4177系列输入过压保护运算放大器的实际设计考虑

作者：Eric Modica和Michael Arkin

### 简介

ADI公司的精密和高速运算放大器产品线具有悠久的创新传统。有些创新旨在降低功耗，同时保持甚至改善速度和噪声性能；有些创新旨在通过降低失调、热漂移、电源抑制和共模电压变化来提高精度。

此外，最近的创新已经开始关注与放大器正常工作无关的环境因素。实例包括在放大器前端中集成电磁干扰(EMI)抑制和过压保护(OVP)特性。

抑制外部噪声源包括消除距离很近的开关器件或无线通信信号(来自WiFi、手持式无线电和手机等移动通信设备)的电磁与射频干扰的影响。EMI滤波元件的集成和规格已成为许多放大器设计的一个特性，ADI公司对此非常积极。

同样，保护运算放大器输入端免受高于正供电轨或低于负供电轨的电压影响也是这种创新的一个目标。

自1994年发布OPx91系列以来，ADI公司一直是OVP放大器市场的领军企业。OPx91是业界首款集成OVP的放大器，提供最高10 V保护，可防止电路在过压事件期间受到过大电流影响。2008年发布的ADA4091系列运算放大器将OVP性能水平提高到25 V。随后，2011年发布的ADA4096系列将OVP性能水平提高到32 V，这在如今仍然是集成保护的标准。

2014年，ADA4177系列([ADA4177-1](#)、[ADA4177-2](#)、[ADA4177-4](#))的发布首次将ADI集成OVP解决方案引入低噪声、精密运算放大器。它还给OVP解决方案增加一个额外特性，即在OVP事件期间防止输入电流提升正电压轨，另外还给增加了一个EMI滤波器。

ADA4177系列为运算放大器的鲁棒操作树立了新的标准。本应用笔记探讨ADA4177 OVP特性的应用，并就新OVP允许用户扩展保护范围，同时防止输入端过流并限制自热效应的方式提供指导。

## ADA4177限流与不限流

图1显示了一个用于测量ADA4177在过压事件期间的输入电流的测试电路。放大器配置为单位增益，在电源上下15V范围内扫描正输入，同时测量输入偏置电流。

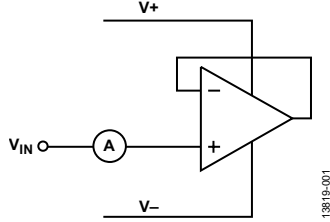


图1. 过压限流测量电路

图2显示了ADA4177和标准精密运算放大器的测量结果，用5V电源进行测试。注意在20V时，ADA4177输入电流是标准运算放大器的三分之一。如果用户想进一步限制输入电流，可以外加一个串联电阻。增加此电阻会提高系统的输入噪声(其等于电阻热噪声与放大器输入噪声的均方根和)。ADA4177噪声规格包括内部过压电路的贡献。

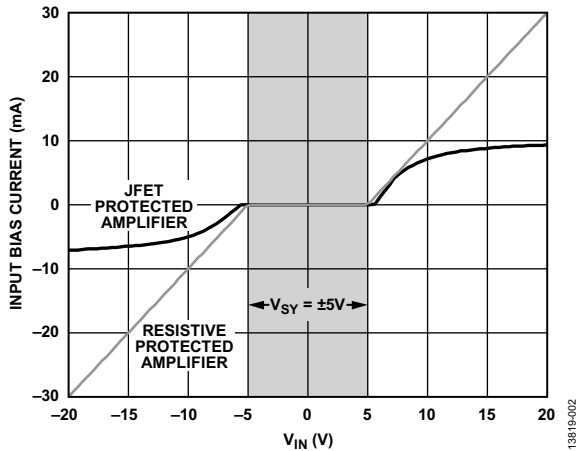


图2. ADA4177输入限流与带500Ω分立电阻的无保护运算放大器

## 在过压事件期间保护电源

保护运算放大器输入端免受过压影响的一种常见方法，是将小信号或肖特基二极管连接在输入引脚与正负电源之间。图3显示了这种方法的原理图。肖特基二极管的导通电压为0.4V，比小信号二极管低大约0.2V。这种相对差异可在发生过压事件时防止运算放大器的内部ESD二极管导通。

增加 $R_{OVP}$ 电阻可提供额外的限流能力，不过热噪声会提高。关于这种方案的详细分析及其局限性，参见技术文章“[鲁棒的放大器提供集成过压保护](#)”。

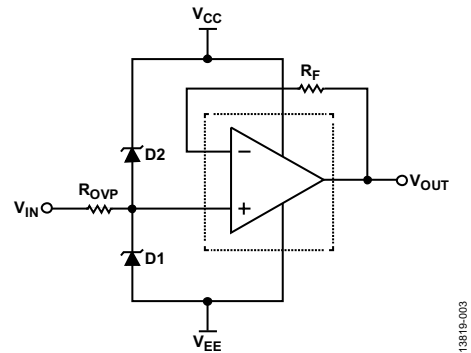


图3.  $R_{OVP}$ 、 $D1$ 和 $D2$ 提供输入过压保护

这种方案的工作原理是将电流路由到运算放大器输入端以外的地方。然而，当电流被注入电源时，适当的解决方案便要取决于涉及到的应用和电路。如果电源为低压差(LDO)稳压器， $V_{CC}$ 和 $V_{EE}$ 的设计很可能只能沿一个方向路由电流。图4显示了一个低压差稳压器的典型概念原理图，其中输出电压由下式确定：

$$V_{OUT} = V_{REF} \times \frac{R1 + R2}{R2}$$

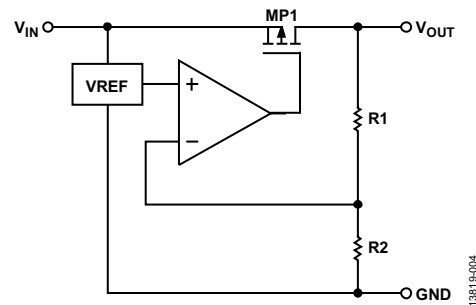


图4. 低压差稳压器概念原理图

MP1是一个串联PMOS调整管，设计用来提高电源可以流出的电流。由此可推断， $V_{OUT}$ 不是设计用于吸收电流。因此，如果图3所示的过压保护将电流注入电源，该电流将经过R1和R2分压器，这会随着过压而线性提升电源。

如果过压发生在电源通电的情况下，电源电压可能会超过系统的目标工作电压。如果过压发生在系统关断的情况下，OVP电流可能会意外地让系统上电。ADA4177有内部电路可防止正过压提升电源。

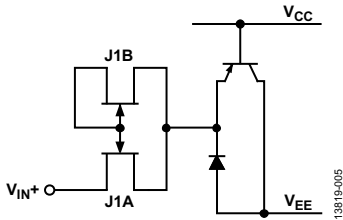


图5. ADA4177输入保护概念原理图

图5为ADA4177正输入端的概念原理图。如果 $V_{IN}$ 超过 $V_{CC}$ ，限流FET J1B就会使过压电流流入QP1的发射极。此电流由QP1的电流增益(或 $\beta$ )减小，使得过压电流路由至负电源，而不是正电源。

**利用限流电阻扩展输入OVP保护范围并使OVP事件期间的自热效应最小**

ADA4177输入端配有限流JFET。在过压或差分故障期间，这些JFET限制电流流入放大器，从而提高器件的鲁棒性和可靠性。然而，为使正常工作期间的输入噪声保持最小，这些FET必须很大。

与此相关的工程权衡结果是，限流可能不是低到能满足所有应用的需求。如图6所示，在10 V过压(OV)时，正输入端吸收大约7.5 mA电流。功耗( $P_D$ )计算如下：

$$P_D = 10 \text{ V} \times 7.5 \text{ mA} = 7.5 \text{ mW}$$

$\theta_{JA}$ 为158 W/°C，因而温度升幅约为12°C。如果ADA4177-4在所有控制输入都可能受过压状况影响且时间不定的情况下，功耗可能会将结温快速提升到最大值150°C。

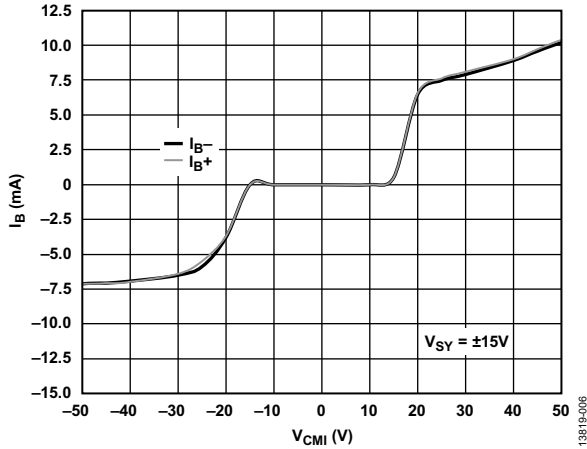


图6. 正/负过压状况下的输入电流

如果所有输入可能会同时经受长时间(>500 ms)过压，则输入端必须串联限流电阻。此电阻不仅能扩展器件的过压范围，还能分担过压期间的功率负荷。图7所示为ADA4177-4在32 V过压事件期间的功耗，一条曲线反映的是仅两个正输入端经受过压，另一条曲线反映的是所有四个正输入端同时经受过压。图7显示了两个/四个输入端经受32 V过压时ADA4177的功耗与附加输入串联电阻的关系。

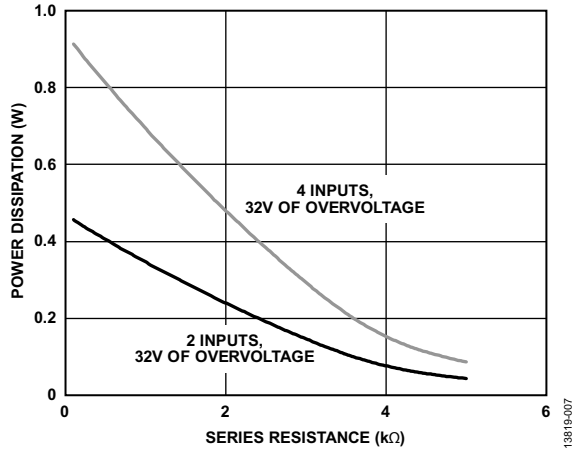


图7. ADA4177-4在过压期间的功耗

图8显示了ADA4177-4在相同过压事件期间的温度升幅，使用假设的 $\theta_{JA}$  (158 W/°C)来计算芯片温度的升幅，其绘制方式与图7所示功耗相同。

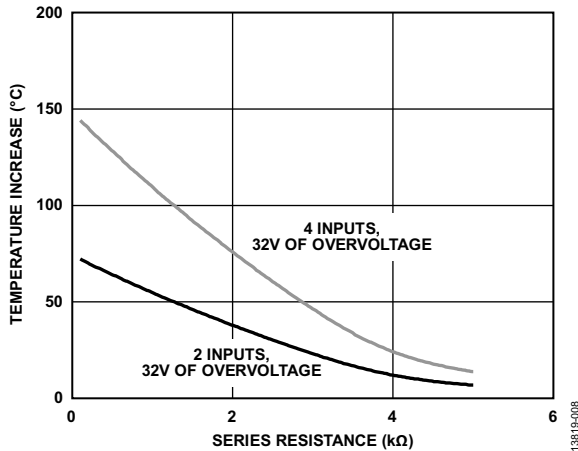


图8. ADA4177-4在过压期间的温度升幅

例如，将一个2 kΩ电阻与正输入端串联可使ADA4177在过压期间的功耗减半，而在正常工作期间，其仅给系统增加大约1 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 的噪声。增加此电阻会限制过压期间的温度升幅。若没有此电阻，当所有四个输入端都经受过压时，温度上升可能达到大约150°C；若有该外部电阻，温度上升仅为大约75°C。类似地，若有两个输入端经受过压，在没有此电阻的情况下，温度上升可能达到大约70°C；在有该电阻的情况下，温度上升仅为大约40°C。

此外，过压保护范围也从32 V提高到50 V，因为外部电阻会分担一部分过压负荷。

## 参考文献

[ADA4177-4产品页面和数据手册](#)

[ADA4177-2产品页面和数据手册](#)

[ADA4177-1产品页面和数据手册](#)

Eric Modica和Michael Arkin, “鲁棒的放大器提供集成过压保护”, *Analog Dialogue*, 46-02, 2012年2月

## 修订历史

2015年12月—修订版0: 初始版