

ESD 二极管用于电压箝位

作者：Paul Blanchard和Brian Pelletier

摘要

当放大器发生外部过压状况时，ESD 二极管是放大器与过电应力之间的最后防线。正确理解 ESD 单元在一个器件中是如何实现的，设计人员就能通过适当的电路设计大大扩展放大器的生存范围。本文旨在向读者介绍各种类型的 ESD 实现方案，讨论每种方案的特点，并就如何利用这些单元来提高设计鲁棒性提供指南。

引言

有许多应用的输入不受系统控制，而是连接到外部世界，例如测试设备、仪器仪表和某些检测设备。对于此类应用，输入电压可能会超过前端放大器的额定最大电压，因而必须采用保护方案来维持设计的使用范围和鲁棒性。前端放大器的内部 ESD 二极管有时会用来箝位过压状况，但为了确保这种箝位能够提供充分可靠的保护，需要考虑许多因素。了解前端放大器内部的不同 ESD 二极管架构，以及具体保护电路的热影响和电子迁移影响，有助于设计人员解决保护电路相关的问题，并提高其在现场的使用寿命。

ESD二极管配置

应当明白，并非所有 ESD 二极管都是连接到电源和地的简单二极管箝位。有许多可能的方案可以采用，例如：多个二极管串联、二极管和电阻、背靠背二极管等。下面介绍一些较为常见的方案。

连接到电源的二极管

图 1 显示了一个放大器实例，二极管连接在输入引脚和电源之间。在正常工作条件下，二极管反偏，但当输入高于正电源电压或低于负电源电压时，二极管变为正偏。当二极管变为正偏时，电流经过放大器的输入端流至相应的电源。

对于图 1 所示电路，当过压超过 $+V_s$ 时，放大器本身不会限制输入电流，需要外部增加串联电阻来限流。当电压低于 $-V_s$ 时， $400\ \Omega$ 电阻会起到一定的限流作用，设计时应当纳入考虑中。

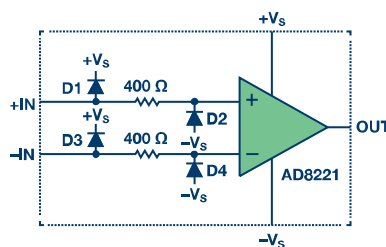


图1. AD8221的输入ESD拓扑结构

图 2 显示了一个具有相似二极管配置的放大器，但在本例中，电流受内部 $2.2\ \text{k}\Omega$ 串联电阻的限制。它与图 1 所示电路的区别不仅在于限流电阻 R 的值，还在于 $2.2\ \text{k}\Omega$ 可保护电路不受 $+V_s$ 以上电压的影响。这个例子复杂难懂，务必充分了解以便在使用 ESD 二极管时优化保护。

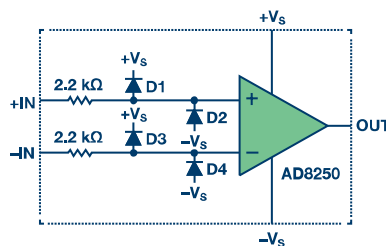


图2. AD8250的输入ESD拓扑结构

限流JFET

与图 1 和图 2 中的方案不同，IC 设计可以使用限流 JFET 代替二极管箝位。图 3 显示了一个例子，当输入电压超过器件的额定工作范围时，JFET 被用来保护器件。JFET 输入使该器件自身就能耐受相反供电轨的最高 $40\ \text{V}$ 电压。由于 JFET 会限制流入输入引脚的电流，因此 ESD 单元无法用作额外的过压保护。

当需要最高 40 V 的电压保护时，此器件的 JFET 保护可提供严格受控的、可靠的、完全明确的保护方案。这常常与使用 ESD 二极管的保护方案相反，后者关于二极管限流的信息常常指定典型值，甚至完全不明确。

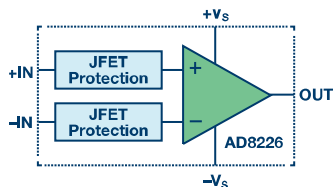


图3. AD8226的输入保护方案

二极管堆叠

在允许输入电压超过电源电压或地的应用中，可以使用二极管堆叠来防止输入受 ESD 事件的影响。图 4 所示的放大器就是采用堆叠二极管保护方案。该配置使用二极管串来防范负瞬变。在可用输入范围内，二极管串用于限制漏电流，但当超过负共模范围时，它就会提供保护。记住，二极管串的等效串联电阻是唯一的限流措施。对于给定电压，可使用外部串联电阻来降低输入电流。

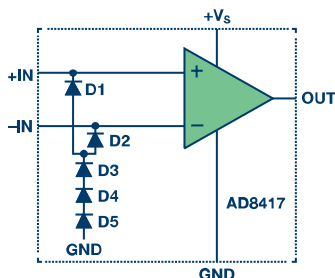


图4. AD8417的低端输入保护方案

背靠背二极管

当允许输入电压范围超过电源电压时，也可使用背靠背二极管。图 5 所示的放大器采用背靠背二极管来为器件提供 ESD 保护，采用 3.3 V 电源供电时，其允许电压最高达到 70 V。D4 和 D5 是高压二极管，用于应对输入引脚上可能存在的高电压；当输入电压在正常工作范围以内时，D1 和 D2 用于防止漏电流。在这种配置中，不建议使用这些 ESD 单元来提供过压保护，因为若超过高压二极管的最大反偏电压，很容易造成器件永久损坏。

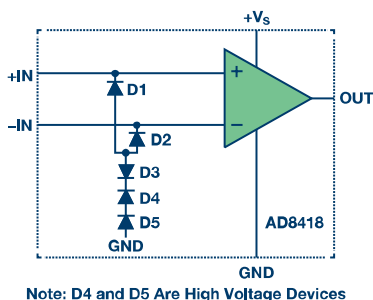


图5. AD8418的高端输入保护方案

无ESD箝位

某些器件的前端没有 ESD 器件。很显然，如果没有 ESD 二极管，设计人员当然无法将其用于箝位。之所以提到这种架构，是因为在研究过压保护 (OVP) 时，需要注意这种情况。图 6

所示的器件仅使用大阻值电阻保护放大器。

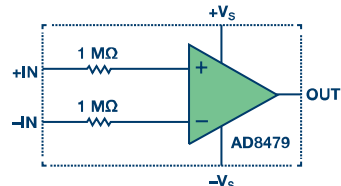


图6. AD8479的输入保护方案

ESD单元用于箝位

除了解 ESD 单元如何实现之外，还必须知道如何利用这些结构提供保护。典型应用使用串联电阻来限制额定电压范围内的电流。

当放大器配置为图 7 所示时，或者输入受连接到电源的二极管保护时，输入电流限值可利用以下公式计算。

$$I_{DIODE} = \frac{V_{STRESS} - (V_{SUPPLY} + 0.7 \text{ V})}{R_{PROTECTION}} \quad (1)$$

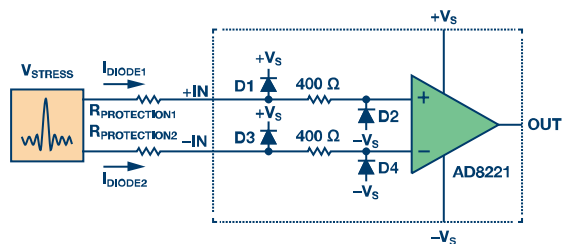


图7. ESD单元用于箝位

公式 1 用到一个假设，即 $V_{STRESS} > V_{SUPPLY}$ 。若非如此，应测得更精确的二极管电压并将其用于计算，而不要使用 0.7 V 的近似值。

下面是一个计算实例，其中放大器采用 $\pm 15 \text{ V}$ 电源供电，要防范的输入过压高达 $\pm 120 \text{ V}$ ，输入电流限制在 1 mA。根据公式 1，我们可以使用这些输入进行计算：

$$I_{DIODE} = \frac{V_{STRESS} - (V_{SUPPLY} + 0.7 \text{ V})}{R_{PROTECTION}} \quad (1)$$

$$1 \text{ mA} = \frac{120 \text{ V} - (15 \text{ V} + 0.7 \text{ V})}{R_{PROTECTION}} \quad (2)$$

$$R_{PROTECTION} = 104,300 \Omega \quad (3)$$

根据上述要求， $R_{PROTECTION} > 105 \text{ k}\Omega$ 可将二极管电流限制在 1 mA 以下。

了解限流

I_{DIODE} 最大值随器件而不同，它还取决于施加过压的特定应用情形。持续数毫秒的一次性事件，与在应用的全部 20 年或更多年的任务寿命中持续施加电流，其最大电流将会不同。具体指导值可在放大器数据手册的绝对最大值部分或应用笔记中找到，通常在 1 mA 至 10 mA 范围内。

故障模式

具体保护方案的最大电流额定值最终要受两个因素的限制：二极管功耗的热影响和电流路径的最大电流额定值。功耗应保持在阈值以下，使工作温度始终处于有效范围；所选电流应在额定最大值范围内，以免电子迁移引起可靠性问题。

热影响

当电流流入 ESD 二极管时，二极管的功耗会引起温度升高。多数放大器数据手册指定了热阻（通常指定 θ_{JA} ），它显示了结温升幅与功耗的关系。考虑最差情况下的应用温度，以及功耗引起的最坏温度升幅，可以判断保护电路是否有效。

电子迁移

即使电流不引起热问题，二极管电流也可能造成可靠性问题。由于电子迁移，任何电气信号路径都有一个最大寿命电流额定值。二极管电流路径的电子迁移电流限值通常受与二极管串联的内部走线的厚度限制。放大器制造商不一定会发布此信息，但若二极管长时间工作（而不是工作很短时间），就需要予以考虑。

举个例子，当放大器监控（因而连接到）一个独立于其自身供电轨的电压轨时，电子迁移便可能是一个问题。当存在多个电源域时，可能会发生因电源时序问题而引起电压暂时超过绝对最大条件的情况。考虑最差情况下的电流路径和在整个使用寿命中以此电流工作的持续时间，并了解电子迁移的最大允许电流，便可避免电子迁移引起可靠性问题。

结论

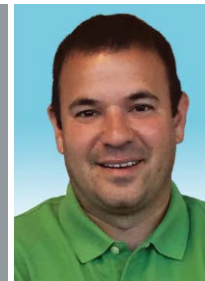
了解放大器内部 ESD 二极管如何在过电应力期间激活，有助于轻松提高设计的鲁棒性。研究保护电路的热影响和电子迁移影响，可以凸显潜在的问题并显示是否需要额外的保护。考虑本文提出的条件可以让设计人员作出明智选择，避免在现场发生鲁棒性问题。

Paul Blanchard [paul.blanchard@analog.com] 是 ADI 公司位于麻萨诸塞州威明顿市的仪器仪表、航空航天与国防业务部门的应用工程师。Paul 于 2002 年加入 ADI 公司的先进线性产品 (ALP) 部门，从事仪表放大器和可变增益放大器方面的工作。2009 年，作为线性产品部门 (LPG) 的一员，他主要负责汽车雷达、电流检测和 AMR 相关应用。目前，作为线性与精密技术 (LPT) 部门的一员，他从事精密输入信号调理 (PISC) 信号链技术方面的工作。Paul 拥有伍斯特理工学院电气工程学士学位和硕士学位。



Paul Blanchard

Brian Pelletier [brian.pelletier@analog.com] 是 ADI 公司线性产品技术部门的产品开发工程师。他从马萨诸塞大学获得电气工程学士学位后，于 2003 年加入 ADI 公司。Brian 专门研究精密放大器，包括仪表放大器和电流检测放大器。



Brian Pelletier