

用过压故障保护模拟开关代替分立保护器件

作者: Paul O'Sullivan

摘要

设计具有鲁棒性的电子电路较为困难, 通常会导致具有大量分立保护器件的设计的相关成本增加、时间延长、空间扩大。本文将讨论故障保护开关架构, 及其与传统分立保护解决方案相比的性能优势和其他优点。下文讨论了一种新型开关架构, 以及提供业界卓越的故障保护性能以及精密信号链所需性能的专有高电压工艺。ADI的故障保护开关和多路复用器新型产品系列(ADG52xxF和ADG54xxF)就是采用这种技术。

高性能信号链的模拟输入保护往往令系统设计人员很头痛。通常, 需要在模拟性能(例如漏电阻和导通电阻)和保护水平(可由分立器件提供)之间进行权衡。

用具有过电压保护功能的模拟开关和多路复用器代替分立保护器件能够在模拟性能、鲁棒性和解决方案尺寸方面提供显著的优势。过电压保护器件位于敏感下游电路和受到外部应力的输入端之间。一个例子是过程控制信号链中的传感器输入端。

本文详细说明了由过电压事件引起的问题, 讨论了传统分立保护解决方案及其相关缺点, 还介绍了过电压保护模拟开关解决方案的特性和系统优势, 最后介绍了ADI业界先进的故障保护模拟开关产品系列。

过电压问题—回顾基础

如果施加在开关上的输入信号超过电源电压(V_{DD} 或 V_{SS})一个以上二极管压降, 则IC内的ESD保护二极管将变成正向偏置, 而且电流将从输入信号端流至电源, 如图1所示。这种电流会损坏元件, 如果不加以限制, 还可能触发闩锁事件。

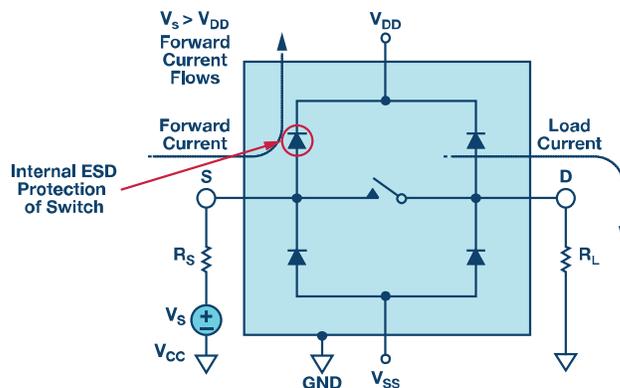


图1. 过压电流路径。

如果开关未上电, 则可能出现以下几种情形:

1. 如果电源浮动, 输入信号可能通过ESD二极管向上对 V_{DD} 供电轨供电。这种情况下, V_{DD} 电平会处于输入信号电压减去一个正向二极管压降的范围内。这意味着能够对开关有效供电, 就像使用相同 V_{DD} 电轨的其他元件一样。这可能导致信号链中的器件执行未知且不受控制的操作。
2. 如果电源接地, PMOS器件将在负 V_{GS} 下接通, 开关将把削减的信号传至输出端, 这可能会损坏同样未上电的下游器件(参见图2)。注: 如果有二极管连接至电源, 它们将发生正向偏置, 把信号削减为+0.7 V。

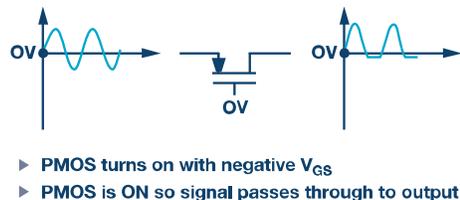


图2. 电源接地时的过电压信号。

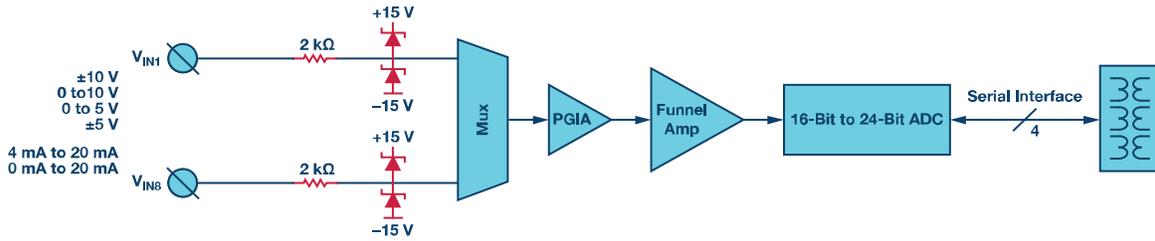


图3.分立保护解决方案。

分立保护解决方案

设计人员通常采用分立保护器件解决输入保护问题。

通常会利用大的串联电阻限制故障期间的电流，而连接至供电轨的肖特基或齐纳二极管将箝位任意过电压信号。图3所示为多路复用信号链中这种保护方案的一个示例。

但是，使用此类分立保护器件存在许多缺点。

1. 串联电阻会延长多路复用器的建立时间并缩短整体建立时间。
2. 保护二极管会产生额外的漏电流和不断变化的电容，从而影响测量结果的精度和线性度。
3. 在电源浮动情况时没有任何保护，因为连接至电源的ESD二极管不会提供任何箝位保护。

传统开关架构

图4为一种传统开关架构的概览。在开关器件（在图4的右侧）中，ESD二极管连接至开关元件输入和输出端的供电轨。图中还显示了外部分立保护器件—用于限制电流的串联电阻和用于实现过电压箝位的肖特基二极管（连接至电源）。在苛刻环境下，通常还需要利用双向TVS提供额外的保护。

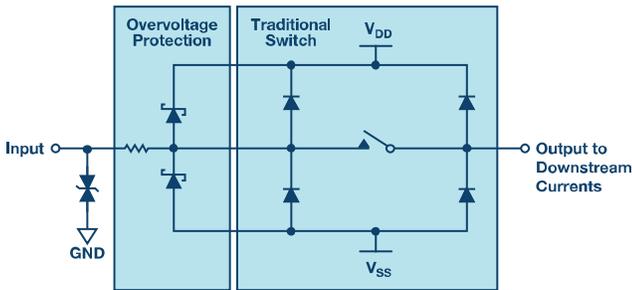


图4.采用外部分立保护器件的传统开关架构。

故障保护开关架构

故障保护开关架构如图5所示。输入端的ESD二极管用双向ESD单元代替，输入电压范围不再受连接至供电轨的ESD二极管限制。因此，输入端的电压可能达到工艺限值（ADI提供的新型故障保护开关的限值为±55 V）。

大多数情况下，ESD二极管仍然存在于输出端，因为输出端通常不需要过电压保护。

输入端的ESD单元仍然能够提供出色的ESD保护。使用此类ESD单元的ADG5412F过电压故障保护四通道SPST开关的HBM ESD额定值可达到5.5 kV。

对于IEC ESD (IEC 61000-4-2)、EFT或浪涌保护等更严格的情况，可能仍然需要一个外部TVS或一个小限流电阻。

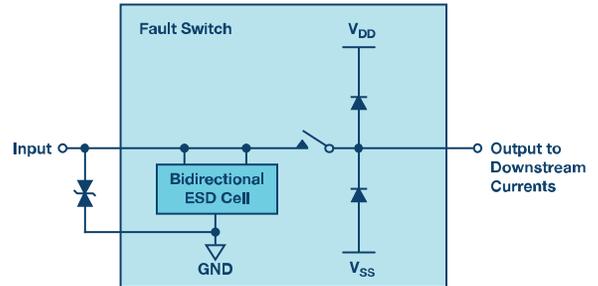


图5.故障保护开关架构。

开关的一个输入端发生过电压状况时，受影响的通道将关闭，输入将变为高阻态。其他通道上的漏电流仍然很小，因而其余通道能够继续正常工作，而且对性能的影响极小。几乎不用在系统速度/性能和过电压保护之间进行妥协。

因此，故障保护开关能够大幅简化信号链解决方案。很多情况下都需要使用限流电阻和肖特基二极管，而开关过电压保护消除了这种需要。整体系统性能也不再受通常会引起信号链漏电和失真的外部分立器件限制。

ADI 故障保护开关的特性

ADI的故障保护开关新型产品系列采用专有高电压工艺打造而成，能够在上电和未上电状态下提供高达±55 V的过电压保护。这些器件能够为精密信号链使用的故障保护开关提供业界卓越的性能。

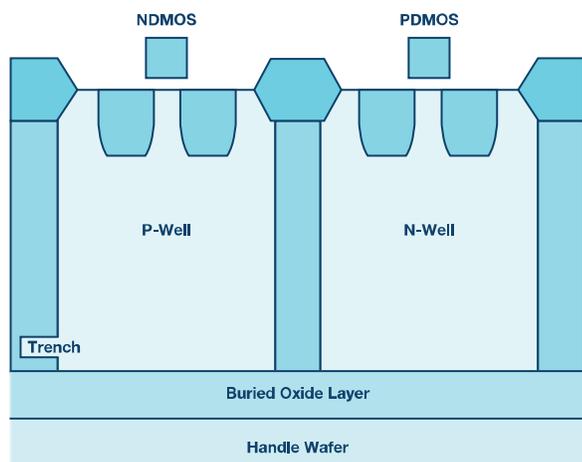


图 6.沟槽隔离工艺。

防闩锁性

专有高电压工艺也采用了沟槽隔离技术。各开关的NPMOS与PDMOS晶体管之间有一个绝缘氧化物层。因此，它与结隔离式开关不同，晶体管之间不存在寄生结，从而抑制了所有情况下的闩锁现象。例如，ADG5412F通过了1秒脉宽±500 mA的JESD78D闩锁测试，这是规范中最严格的测试。

模拟性能

新型ADI故障保护开关不仅能够实现业界先进的鲁棒性（过电压保护、高ESD额定值、上电时无数字输入控制时处于已知状态），而且还具有业界卓越的模拟性能。模拟开关的性能总是要在低导通电阻和低电容/电荷注入之间进行权衡。模拟开关的选择通常取决于负载是高阻抗还是低阻抗。

低阻抗系统

低阻抗系统通常采用低导通电阻器件，其中模拟开关的导通电阻需要保持在最小值。在电等低阻抗系统中—例如源或增益级—导通电阻和源阻抗与负载处于并联状态会引起增益误差。虽然许多情况下能够对增益误差进行校准，但是信号范围内或通道之间的导通电阻 (R_{ON}) 变化所引起的失真就无法通过校准进行消除。因此，低阻电路更受制于因 R_{ON} 平坦度和通道间的 R_{ON} 变化所导致的失真误差。

图7显示了一个新型故障保护开关在信号输入范围内的导通电阻特性。除了能够实现极低的导通电阻外， R_{ON} 平坦度和通道之间的一致性也非常出色。这些器件采用具有专利技术的开关驱动器设计，能够确保在信号输入电压范围内 V_{GS} 电

压保持恒定从而导致平坦的 R_{ON} 性能。权衡就是信号输入范围略有缩小，开关导通性能实现优化，这可从 R_{ON} 图的形状看出。在对 R_{ON} 变化或THD敏感的应用中，这种 R_{ON} 性能可使系统具有明显的优势。

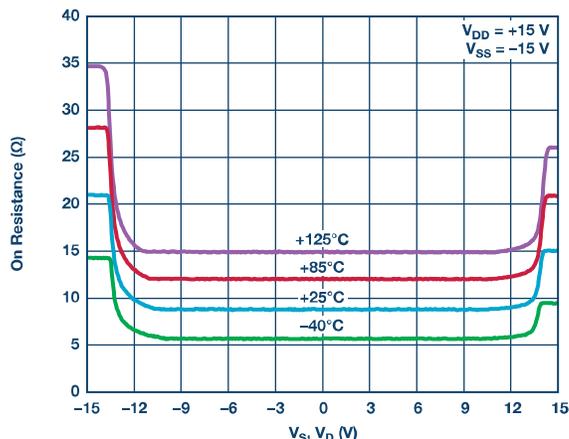


图 7.故障保护开关导通电阻。

ADG5404F是一款新型的具有防闩锁、过压故障保护功能的多路复用器。与标准器件相比，具有防闩锁功能和过电压保护功能的器件通常具有更高的导通电阻和更差的导通电阻平坦度。但是，由于ADG5404F设计中采用了恒定 V_{GS} 方案， R_{ON} 平坦度实际上优于ADG1404（业界领先的低导通电阻）和ADG5404（防闩锁，但没有过电压保护功能）。在很多应用中，例如RTD温度测量， R_{ON} 平坦度实际上比导通电阻的绝对值更重要，因此具有故障保护功能的模拟开关在此类系统中具有提高其产品性能的潜力。

低阻抗系统的典型故障模式是在发生故障时漏极输出变成开路。

高阻抗系统

在高阻抗系统通常采用低漏电流、低电容和低电荷注入开关。由于多路复用器输出上的放大器负载，数据采集系统通常具有高阻抗。

- 漏电流是高阻抗电路的主要误差来源。任意漏电流都可能产生显著的测量误差。
- 低电容和低电荷注入也对快速建立至关重要。这可使数据采集系统实现最大的数据吞吐量。

新型ADI故障保护开关的漏电性能非常出色。正常工作时，漏电流处于低nA范围内，这对在许多应用中进行精确测量至关重要。

最重要的是，即使其中一条输入通道处于故障状态，防漏性能依然十分出色。这意味着，在修复故障前，可继续对其他通道进行测量，因而系统停机时间得以缩短。ADG5248F 8:1多路复用器的过电压漏电流如图8所示。

高阻抗系统的典型故障模式是在发生故障时使漏极输出拉至供电轨。

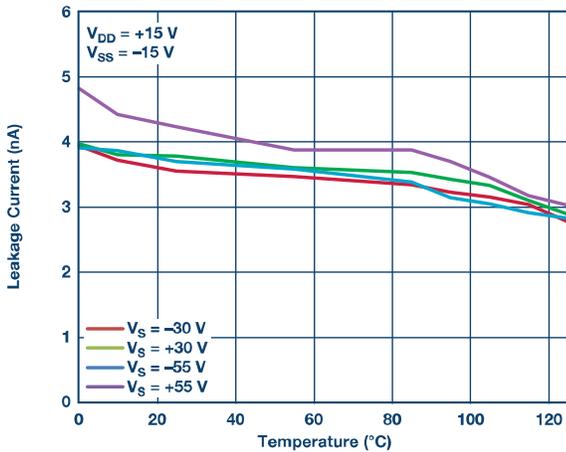


图8.ADG5248F 过电压漏电流的温度特性。

故障诊断

大部分新型ADI故障保护开关还采用了数字故障引脚。FF引脚是通用故障标志，表示其中一条输入通道处于故障状态。特殊故障引脚（或SF引脚）可用于诊断哪一路特定输入处于故障状态。

这些引脚对在系统中进行故障诊断非常有用。FF 引脚首先向用户发出故障警告。随后，用户可轮询数字输入，然后 SF 引脚将报出哪些特定开关或通道处于故障状态。

系统优势

故障保护开关新型产品系列的系统优势如图9所示。无论是在确保精密信号链的出色模拟性能方面，还是在系统鲁棒性方面，该产品系列为系统设计人员带来的优势都非常巨大。

Features	System Benefits
Fault Protection ±55 V Overvoltage Protection	Prevents damage to downstream circuitry Reduces the need for discrete protection components
Fault Detection Digital Output Indicator for Fault Conditions	Alerts to source of fault Eliminates the need for complex fault detection software routines
High ESD Industry-Leading 5.5 kV HBM ESD	Eases board assembly Reduces ESD components
Precision Performance Low RON and RON Flatness Low Leakage Current	Prevents signal distortion Maximizes system performance

图9.ADI 故障保护开关—特性和系统优势。

与分立保护器件相比，其优势非常明显，这些优势已在前文详细说明。专有高电压工艺和新型开关架构还赋予了ADI故障保护开关新产品系列多项优于同类解决方案的优势。

- 业界领先的RON平坦度，非常适合精密测量
- 业界领先的故障漏电流，能够在未受故障影响的其他通道上继续工作（比同类解决方案性能好10倍）
- 器件配备副故障电源，可实现精密故障阈值设定，同时还能维持出色的模拟开关性能
- 适合系统故障诊断的智能故障标志

应用范例

图10所示的第一个应用范例是过程控制信号链，其中，微控制器可监控多个传感器，例如RTD或热电偶温度传感器、压力传感器和湿度传感器。在过程控制应用中，传感器可能连接在工厂中一条非常长的电缆上，整条电缆都有可能出现故障。

此范例采用的多路复用器是ADG5249F，该器件已针对低电容和低漏电流进行优化。对于此类小型信号传感器测量应用，低漏电流非常重要。

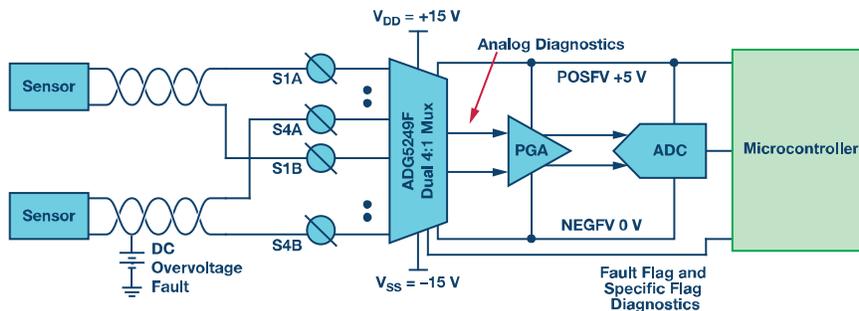


图10.过程控制应用范例。

产品系列汇总

表1.低导通电阻型故障保护开关

产品	配置	故障触发阈值	输出故障模式	故障标志
ADG5412F ADG5413F	四通道SPST	主电源	开路	普通标志
ADG5412BF ADG5413BF	四通道SPST和双向OVP	主电源	开路	普通标志
ADG5462F	四通道保护器	副电源	拉至副电源或开路（默认）	普通标志
ADG5404F	4:1多路复用	主电源	拉至副电源或开路（默认）	普通标志和特殊标志
ADG5436F	双通道SPDT	主电源	拉至副电源或开路（默认）	普通标志和特殊标志

表2.低电容/低电荷注入型故障保护开关

产品	配置	故障触发阈值	输出故障模式	故障标志
ADG5208F	8:1多路复用器	主电源	拉至供电轨	无
ADG5209F	差分4:1多路复用器	主电源	拉至供电轨	无
ADG5248F	8:1多路复用器	副电源	拉至副电源	普通标志和特殊标志
ADG5249F	差分4:1多路复用器	副电源	拉至副电源	普通标志和特殊标志
ADG5243F	三通道SPDT	副电源	拉至副电源	普通标志和特殊标志

模拟开关采用±15 V电源，同时副故障电源设置为5 V和GND，能够保护下游PGA和ADC。

主传感器信号通过多路复用器传至PGA和ADC，而故障诊断信息则直接发送至微控制器，用于在发生故障时提供中断功能。因此，用户可收到故障状况的警告，并确定哪些传感器发生故障。然后便可派出技术人员对故障进行调试，必要时可更换发生故障的传感器或电缆。

得益于业界先进的低故障漏电流规格，当其中一个传感器故障、正在等待更换时，其他传感器可以继续执行监控功能。如果没有这种低故障漏电流，一条通道发生故障可能导致所有其他通道无法使用，故障被修复后才可重新使用。

图11中的第二个应用范例是数据采集信号链的一部分，其中，ADG5462F通道保护器可增添额外的价值。在此范例中，PGA采用±15 V供电，而下游ADC则具有0 V至5 V的输入信号范围。

通道保护器位于PGA和ADC之间。采用±15 V作为主电源，以获得出色的导通电阻性能，而其副供电轨则采用0 V和5 V电压。正常工作时，ADG5462F允许信号通过，但会将PGA的所有过电压输出箝位至0 V和5 V之间，以保护ADC。因此，与前面的应用范例一样，目标信号输入范围会在平坦的 R_{ON} 工作区域中。

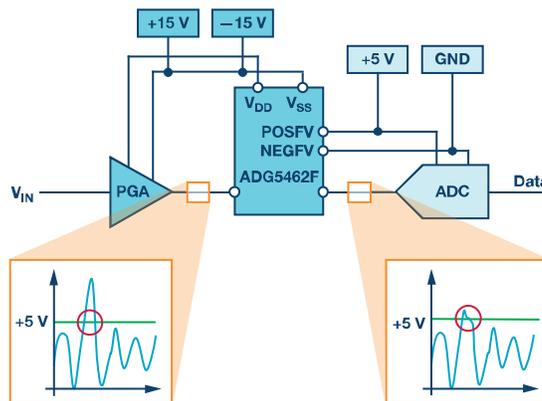


图 11.数据采集应用范例。

总结

用具有过电压保护功能的模拟开关和多路复用器代替传统分立保护器件可在精密信号链中提供多项系统优势。除了节省电路板空间外，代替分立器件的性能优势也非常明显。

ADI公司提供多种具有过电压保护功能的模拟开关和多路复用器。表1和表2列出了最新的故障保护器件产品系列。这些产品系列采用专有的高电压和防闩锁工艺打造而成，能够为精密信号链提供业界卓越的性能和特性。

Paul O'Sullivan 是位于爱尔兰利默里克的 ADI 线性与精密技术业务部门的一位应用工程师。他现在负责为开关/多路复用器产品系列提供支持，之前他负责为 ADI 的电源管理产品系列提供支持。他于 2004 年加入 ADI 公司，拥有科克大学的电气与电子工程学士学位和利默里克大学的工程硕士学位。



Paul O'Sullivan