



## 模拟开关和多路复用器常见问题解答

|    |            |
|----|------------|
| 编写 | CAC(XS)    |
| 时间 | 2013/09/07 |
| 版本 | V1.0       |

### 声明

Analog Devices 公司拥有本文档及本文档中描述内容的完整知识产权（IP）。Analog Devices 公司有权在不通知读者的情况下更改本文档中的任何描述。如果读者需要任何技术帮助，请通过 [china.support@analog.com](mailto:china.support@analog.com) 或免费热线电话 4006-100-006 联系亚洲技术支持中心团队。其他技术支持资料以及相关活动请访问以下技术支持中心网页 [http://www.analog.com/zh/content/ADI\\_CIC\\_index/fca.html](http://www.analog.com/zh/content/ADI_CIC_index/fca.html)。

Analog Devices, Inc.

## 版本历史

| 版本  | 日期       | 作者      | 描述   |
|-----|----------|---------|------|
| 1.0 | 2013/9/7 | CAC(XS) | 文档新建 |

## 目 录

|   |     |
|---|-----|
| 版本历史 .....                                    | II  |
| 目 录 .....                                     | III |
| 第 1 章 简介 .....                                | 4   |
| 1.1 产品简介 .....                                | 4   |
| 1.2 参考资料 .....                                | 5   |
| 第 2 章 模拟开关基础 .....                            | 6   |
| 第 3 章 常见应用问题解答 .....                          | 8   |
| 3.1 使用模拟开关时，会带来哪些直流误差？ .....                  | 8   |
| 3.2 使用模拟开关时，会带来哪些交流误差？ .....                  | 9   |
| 3.3 模拟开关的建立时间和开关时间代表什么？ .....                 | 14  |
| 3.4 在使用电子开关设置运放增益时，怎样减小模拟开关的导通电阻所带来的误差？ ..... | 14  |
| 3.5 什么条件会导致模拟开关的闩锁？ .....                     | 17  |
| 3.6 模拟开关可以驱动的电容量是多少，或者说其输出端的走线长度有要求吗？ .....   | 20  |
| 3.7 当数字控制口悬空时，电子开关的输入处在什么状态，会切换到固定的通道吗？ ..... | 20  |
| 3.8 模拟电子开关可否用来传输 4-20mA 电流信号？ .....           | 20  |
| 3.9 模拟电子开关的输入信号大小怎么确定？ .....                  | 20  |
| 3.10 模拟电子开关在没有上电的情况下其输入输出通道是什么状态？ .....       | 21  |
| 3.11 模拟电子开关有没有大电流导通能力的，可以应用在切断电源上的电子开关？ ..... | 21  |
| 3.12 电子开关是不是都是双向导通的？ .....                    | 21  |

## 第1章 简介

### 1.1 产品简介

在要求针对模拟信号控制和选择指定传输路径的电子系统的设计中，模拟开关和多路复用器已成为必要元件之一。这些器件广泛的应用在各种场合，包括多通道数据采集系统、过程控制、仪器仪表、视频系统等。

20 世纪 60 年代晚期的开关和多路复用器均以分立式 MOSFET 器件设计，并用小型 PC 板或模块生产。随着 CMOS 工艺的发展(以相同的基板生产优异的 PMOS 和 NMOS 晶体管)，开关和多路复用器在 20 世纪 70 年代中期快速转向了集成电路形式，推出了广受欢迎的 AD7500 系列(1973 年问世)以及其他产品。1976 年推出了带介质隔离系列，支持  $\pm 25\text{V}$  的输入过压(超出供电轨)，而且不易闩锁。

这些早期的 CMOS 开关和多路复用器主要设计用于处理最高  $\pm 10\text{V}$  的信号，并工作于  $\pm 15\text{V}$  的电源之下。1979 年，ADI 公司推出大获成功的 ADG200 系列开关和多路复用器。1988 年 ADG201 系列问世，该器件采用专有的线性兼容 CMOS 工艺(LC2MOS)制成。这些器件在  $\pm 15\text{V}$  电源下可支持最高  $\pm 15\text{V}$  的输入信号。

20 世纪 80 年代和 90 年代出现了大量的开关和多路复用器，其趋势是更低的导通电阻、更快的开关、更低的电源电压、更低的成本、更低的功耗和更小的表贴封装。

如今，模拟开关和多路复用器有多种配置、选项可供选择，可以适应几乎所有应用。低于  $0.5\Omega$  的导通电阻、皮安级漏电流、大于  $1\text{GHz}$  的信号带宽以及  $1.8\text{V}$  单电源供电，这些全都可以利用现代 CMOS 技术来实现。市场上同时还有采用  $\pm 15\text{V}$  电源、基于 ADI 公司 iCMOS®(工业 CMOS)工艺的工业产品。

尽管 CMOS 是目前最流行的开关和多路复用器 IC 工艺，但双极性工艺(JFET)和互补双极性工艺(也支持 JFET)通常用于视频开关和多路复用等特殊应用，因为这些应用要求的高性能是 CMOS 工艺无法实现的。传统的 CMOS 开关和多路复用器在视频频率下往往存在多种劣势。它们的开关时间一般不够快，而且需要外部缓冲才能驱动典型的视频负载。另外，CMOS 开关导通电阻随信号电平发生变化，RON 调制可能会给差分放大和相位带来无用的失真。基于互补双极性技术的多路复用器在视频频率下具有更好的表现——但其功耗和成本与 CMOS 器件相比有明显增加。

## 1.2 参考资料

[AN-1024: How to Calculate the Settling Time and Sampling Rate of a Multiplexer \(pdf, 210 kB\)](#)

[Switches and Multiplexers Product Selection Guide \(pdf, 1462 kB\)](#)

[CMOS Switches Offer High Performance in Low Power, Wideband Applications \(pdf, 320 kB\)](#)

[Data-acquisition system uses fault protection](#)

[AN-945: System Bandwidth vs. Resolution for Analog Video \(pdf, 364 kB\)](#)

[CMOS Switches Offer High Performance in Low Power, Wideband Applications \(pdf, 320 kB\)](#)

[Enhanced Multiplexing for MEMS Optical Cross Connects](#)

[AN-802: ADG794 - A 2.5 V Input Signal Range Switching Solution for HDTV \(pdf, 176 kB\)](#)

[Power-Off Protected Data Acquisition Signal Chain Using Fault-Protected CMOS Switches](#)

[Application Note \(pdf, 162 kB\)](#)

[CN-0253: A Robust, Low Power, Battery Monitoring Circuit Front End](#)

[\(pdf, 128 kB\)](#)

[CN-0058: Sample-and-Hold Circuit Using the ADG1211 Switch](#)

[\(pdf, 130 Kb\)](#)

## 第2章 模拟开关基础

理想型模拟开关不存在导通电阻，具有无穷大的关断阻抗和零时间延迟，可以处理大信号和共模电压。实际的 CMOS 模拟开关不满足其中任意一条，但是，如果我们了解模拟开关的不足，这些缺陷多数是可以克服的。

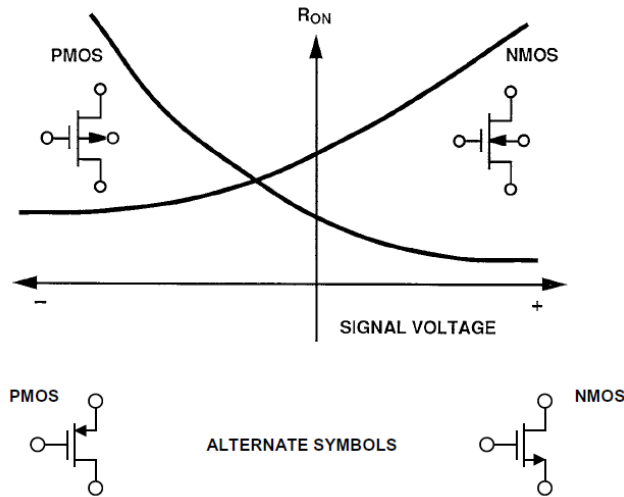


图 2-1 MOSFET 开关导通电阻与信号电压之间的关系

互补 MOS 工艺(CMOS)可以产出优异的 P 沟道和 N 沟道 MOSFET。并联连接 PMOS 和 NMOS 器件，结果会形成如图 2-2 所示的基本双向 CMOS 开关。这种组合有利于减少导通电阻，同时也可能产生随信号电压变化小得多的电阻。

互补 MOS 工艺(CMOS)可以产出优异的 P 沟道和 N 沟道 MOSFET。并联连接 PMOS 和 NMOS 器件，结果会形成如图 2-2 所示的基本双向 CMOS 开关。这种组合有利于减少导通电阻，同时也可能产生随信号电压变化小得多的电阻。

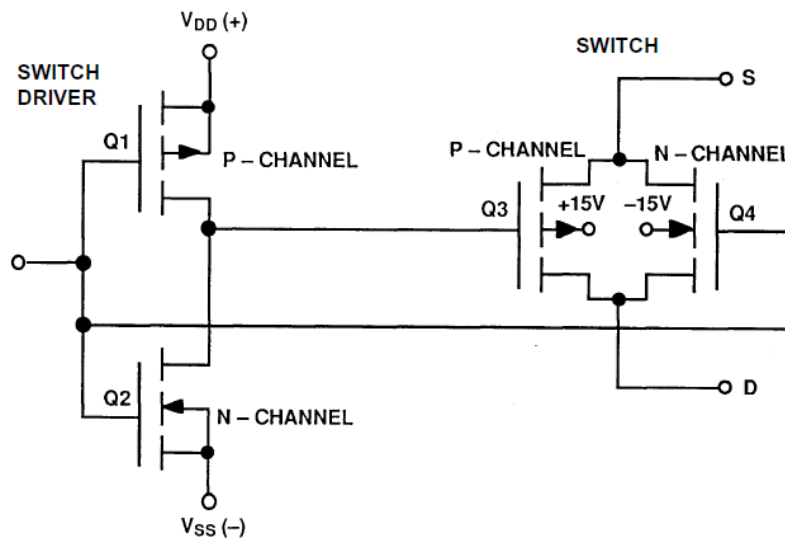


图 2-2 基础 CMOS 开关用互补对来减少信号摆幅引起的 RON 变化

图 2-3 展示的是 N 型和 P 型器件的导通电阻随通道电压的变化。这种非线性电阻

可能给直流精度和交流失真带来误差。双向 CMOS 开关可以解决这个问题。导通电阻大幅降低，线性度也得到了提升。图 2-3 底部曲线展示的是改进后的开关导通电阻特性的平坦度。

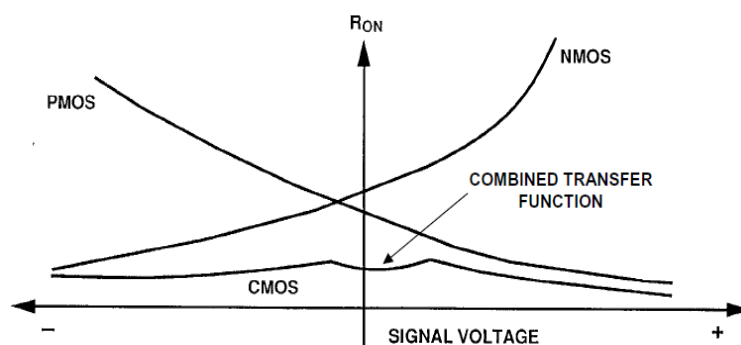


图 2-3 CMOS 开关导通电阻与信号电压之间的关系

ADG8xx 系列 CMOS 开关是专门针对导通电阻低于  $0.5\Omega$  的应用而设计的，采用亚微米工艺制成。这些器件可以传导最高 400 mA 的电流，采用 1.8 V 至 5.5 V 单电源供电(具体视器件而定)，额定扩展工作温度范围为  $-40^\circ\text{C}$  至  $+125^\circ\text{C}$ 。典型的导通电阻与温度和输入信号电平之间的关系如图 2-4 所示。

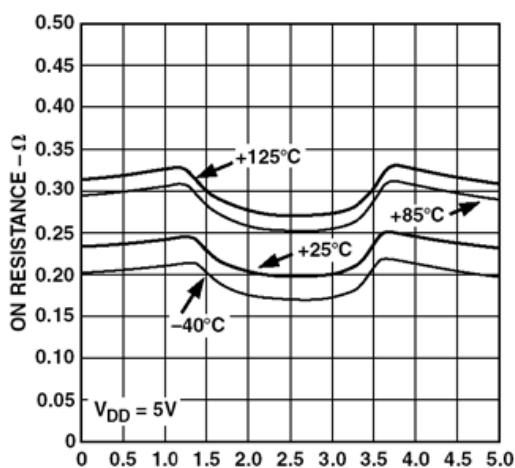


图 2-4 ADG801/ADG802 CMOS 开关的导通电阻与输入信号的关系， $V_{DD}=+5V$

## 第3章 常见应用问题解答

### 3.1 使用模拟开关时，会带来哪些直流误差？

在模拟开关中，有必要了解误差源。图 3-1 展示的是两个相邻 CMOS 开关的等效电路，该模型包括漏电流和结电容。

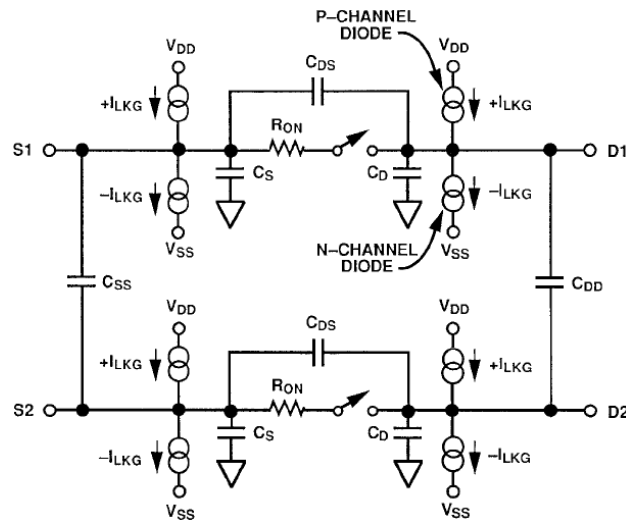
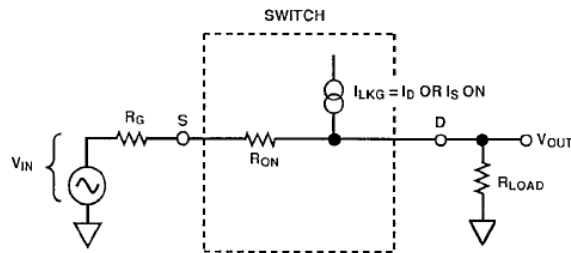


图 3-1 两个相邻 CMOS 开关的等效电路

与处于导通状态的单个 CMOS 开关相关的直流误差如图 3-2 所示。当开关导通时，直流性能主要受开关导通电阻( $R_{ON}$ )和漏电流( $I_{LKG}$ )的影响。 $R_G$ - $R_{ON}$ - $R_{LOAD}$  组合形成一个阻性衰减器，结果会产生增益误差。漏电流  $I_{LKG}$  流过与  $R_G$  和  $R_{ON}$  之和并联的  $R_{LOAD}$  的等效电阻。不仅  $R_{ON}$  可能导致增益误差——可用系统增益校准——而且其随应用的信号电压的变化( $R_{ON}$  调制)也可能带来失真——这个失真无法校准的。低阻电路更容易出现因  $R_{ON}$  导致的误差，而高阻电路则受漏电流影响。图 3-2 同时还给出了可体现这些参数对直流性能的影响的一些等式。



$$V_{OUT} = V_{IN} \left[ \frac{R_{LOAD}}{R_G + R_{ON} + R_{LOAD}} \right] + I_{LKG} \left[ \frac{R_{LOAD} (R_{ON} + R_G)}{R_G + R_{ON} + R_{LOAD}} \right]$$

IF  $R_G \rightarrow 0$ ,

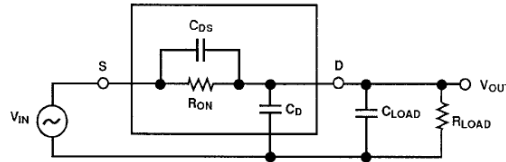
$$V_{OUT} = V_{IN} \left[ \frac{R_{LOAD}}{R_{ON} + R_{LOAD}} \right] + I_{LKG} \left[ \frac{R_{LOAD} R_{ON}}{R_{ON} + R_{LOAD}} \right]$$

图 3-2 影响导通开关条件下直流性能的因素： $R_{ON}$ 、 $R_{LOAD}$  和  $I_{LKG}$



### 3.2 使用模拟开关时，会带来哪些交流误差？

模拟开关的交流误差主要是由自身的结电容引起的。图 3-3 显示的是影响 CMOS 开关交流性能的寄生器件。额外的外部电容会进一步导致性能下降。这些电容会影响馈通、串扰和系统带宽。 $C_{DS}$ (漏极到源极电容)、 $C_D$ (漏极-地电容)和  $C_{LOAD}$  与  $R_{ON}$  和  $R_{LOAD}$  相配合，以形成整体传递函数。



$$A(s) = \left[ \frac{R_{LOAD}}{R_{LOAD} + R_{ON}} \right] \left[ \frac{sR_{ON}C_{DS} + 1}{s \left( \frac{R_{LOAD}R_{ON}}{R_{LOAD} + R_{ON}} \right) (C_{LOAD} + C_D + C_{DS}) + 1} \right]$$

$$A(dB) = 20 \log \left[ \frac{R_{LOAD}}{R_{LOAD} + R_{ON}} \right] + 10 \log [\omega^2 (R_{ON}C_{DS})^2 + 1] - 10 \log \omega^2 \left[ \left( \frac{R_{LOAD}R_{ON}}{R_{LOAD} + R_{ON}} \right)^2 (C_{LOAD} + C_D + C_{DS})^2 + 1 \right]$$

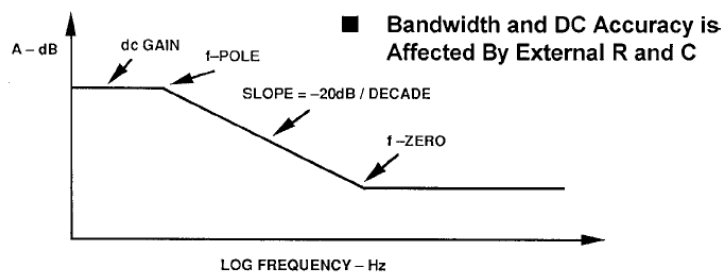
图 3-3 动态性能考虑：传输精度与频率的关系

在等效电路中， $C_{DS}$  会在传递函数  $A(s)$  的分子中形成一个零点。该零通常出现在高频下，因为开关导通电阻很小。带宽同时也是开关输出电容与  $C_{DS}$  和负载电容的函数。该频率极点出现在等式的分母中。

复合频率域传递函数可以改写为如图 3-4 所示形式，图 3-4 所示为导通状态下的开关的整体波特图。多数情况下，主要受输出电容  $C_D$  的影响，极点断点频率将首先出现。

因此，为了使带宽最大化，开关应具有低输入电容、低输出电容和低导通电阻。

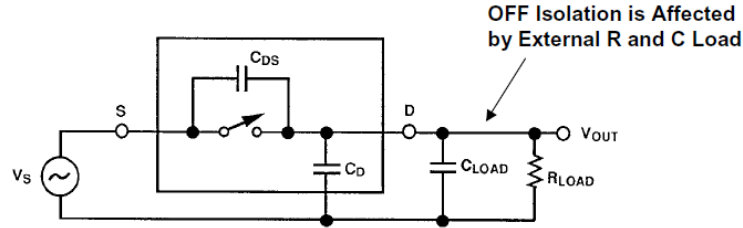
串联旁路电容  $C_{DS}$  不但会在导通状态响应中形成一个零，同时也会在关断状态下导致开关馈通性能下降。当开关关断时， $C_{DS}$  将把输入信号耦合至输出负载之中，如图 3-5 所示。



$$A(s) = \left[ \frac{R_{LOAD}}{R_{LOAD} + R_{ON}} \right] [sR_{ON}C_{DS} + 1] \left[ \frac{1}{s \left( \frac{R_{LOAD}R_{ON}}{R_{LOAD} + R_{ON}} \right) (C_{LOAD} + C_D + C_{DS}) + 1} \right]$$

$$DC\ GAIN = \frac{R_{LOAD}R_{ON}}{R_{LOAD} + R_{ON}}, \quad f_{ZERO} = \frac{0.159}{R_{ON}C_{DS}}, \quad f_{POLE} = \frac{0.159}{\left( \frac{R_{LOAD}R_{ON}}{R_{LOAD} + R_{ON}} \right) (C_{LOAD} + C_D + C_{DS})}$$

图 3-4 CMOS 开关传递函数在导通状态下的波特图



$$A(s) = \frac{s(R_{LOAD})(C_{DS})}{s(R_{LOAD})(C_{LOAD} + C_D + C_{DS}) + 1}$$

图 3-5 动态性能考虑：关断隔离

较大的  $C_{DS}$  值会导致较大的馈通值，后者与输入频率成比例。图 3-6 所示关断隔离度的下降随频率变化的函数。实现关断隔离最大化最简单的方式是选择  $C_{DS}$  尽量小的开关。

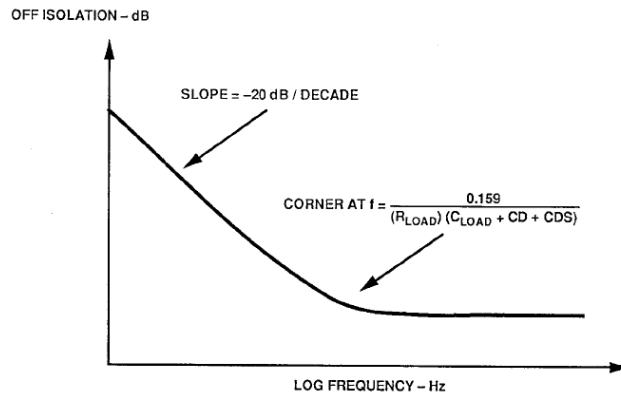


图 3-6 关断隔离与频率的关系

图 3-7 展示了 ADG708 8 通道多路复用器的典型 CMOS 模拟开关关断隔离，表现为频率的函数。从直流到几千赫，多路复用器拥有近 90 dB 的隔离能力。随着频率的增加，将有越来越多的信号到达输出端。然而，即使在 10 MHz 时，所示开关仍然拥有近 60 dB 的隔离能力。

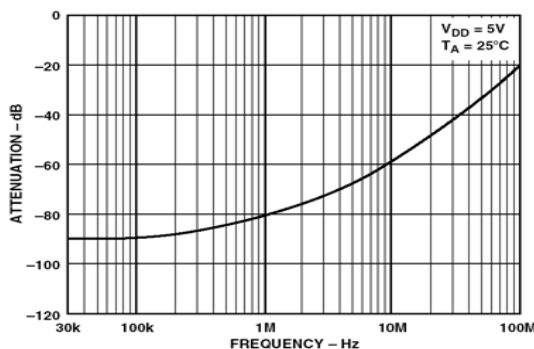


图 3-7 ADG708 8 通道多路复用器关断隔离与频率的关系

影响系统性能的另一个交流参数是开关期间发生的电荷注入。图 3-8 所示为电荷注入机制的等效电路

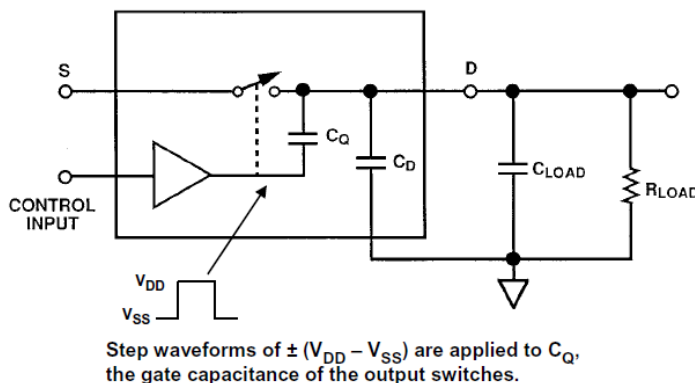


图 3-8 动态性能考虑：电荷注入模型

当开关控制输入置位时，结果会使控制电路在 CMOS 开关的栅极处发生较大的电压变化(从  $V_{DD}$  至  $V_{SS}$ ，反之亦然)。电压的这种快速变化会通过栅极-漏极电容  $C_Q$  将一个电荷注入开关输出。耦合电荷的数量取决于栅极-漏极电容的大小。

电荷注入会在开关过程中在输出电压中导致阶跃变化，如图 3-9 所示。输出电压的变化  $\Delta V_{OUT}$  为注入的电荷量  $Q_{INJ}$ (为栅极-漏极电容  $C_Q$  的函数)和负载电容  $C_L$  的函数。

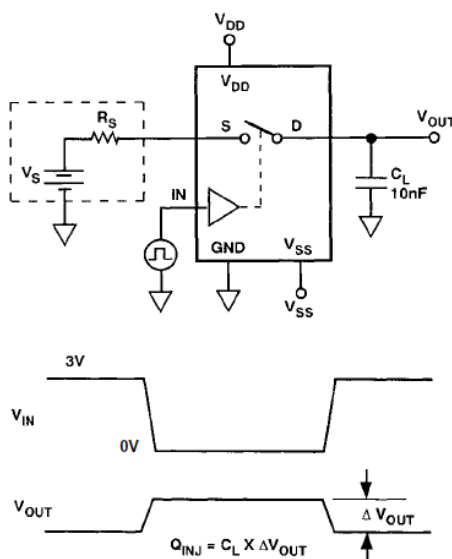


图 3-9 电荷注入对输出的影响

开关电容导致的另一个问题是开关通道时保留的电荷。这种电荷会在开关输出中导致瞬变，图 3-10 所示即为该现象。设开始时  $S_2$  闭合、 $S_1$  断开。 $C_{S1}$  和  $C_{S2}$  充电至  $-5\text{ V}$ 。当  $S_2$  断开、 $S_1$  闭合时， $-5\text{ V}$  会保持于  $C_{S1}$  和  $C_{S2}$  上。因此，放大器 A 的输出会看到一个  $-5\text{ V}$  的瞬变。在放大器 A 的输出使  $C_{S1}$  和  $C_{S2}$  完全放电并建立至  $0\text{ V}$  之前，输出不会稳定下来。图 3-11 中的示波图描述的即是该瞬变。因此，在选择正确的输入缓冲时，放大器的瞬变和建立特性是一个重要的考虑因素。

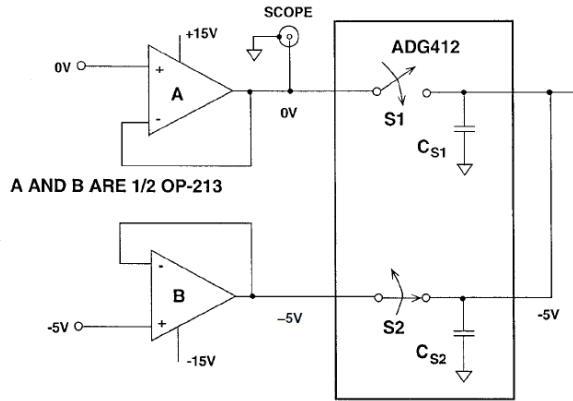


图 3-10 电荷耦合会在多路复用信号时导致动态建立时间瞬变

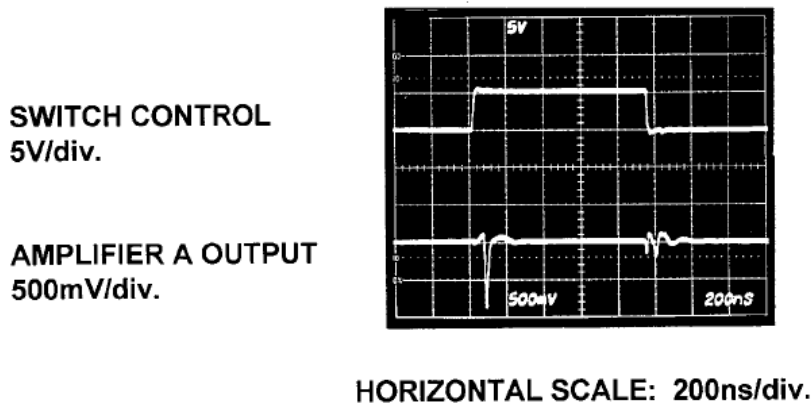


图 3-11 放大器输出展示了因电荷耦合导致的动态建立时间瞬变

串扰与两个开关之间的电容相关，表示为 $C_{SS}$ 电容，如图3-12所示。

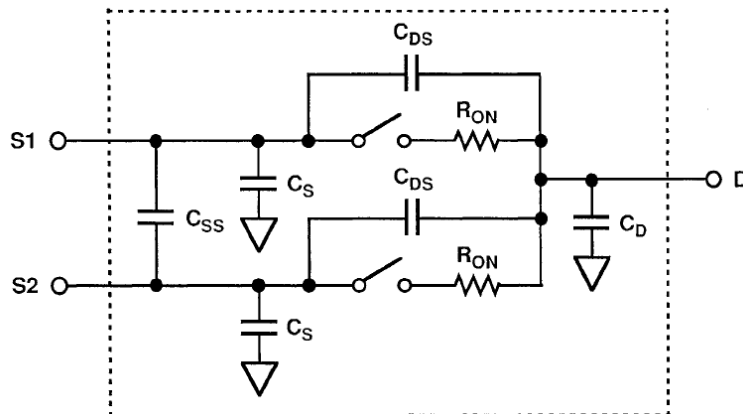


图 3-12 相邻开关的通道间串扰等效电路

图 3-13 展示了 ADG708 8 通道 CMOS 多路复用器的典型串扰性能。

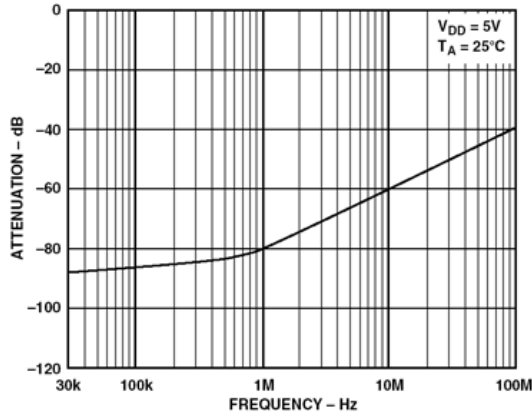
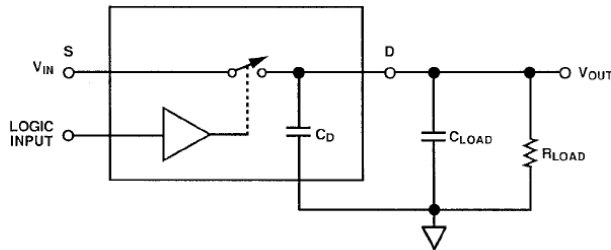


图 3-13 ADG708 8 通道多路复用器的串扰与频率的关系

最后，开关本身有着自己的建立时间，这也是必须考虑的。图 3-14 显示了动态传递函数。建立时间可以计算是因为响应是开关和电路电阻与电容的函数。可以假定这是一个单极点系统，并计算建立目标系统精度所需时间常数的数量，如图 3-15 所示。



$$\text{OFF - TO - ON: } t_{\text{SETT}} = t_{\text{ON}} + \left( \frac{R_{\text{ON}} R_{\text{LOAD}}}{R_{\text{ON}} + R_{\text{LOAD}}} \right) (C_{\text{LOAD}} + C_{\text{D}}) \left( -\ln \frac{\% \text{ERROR}}{100} \right)$$

$$\text{ON - TO - OFF: } t_{\text{SETT}} = t_{\text{OFF}} + (R_{\text{LOAD}}) (C_{\text{LOAD}} + C_{\text{D}}) \left( -\ln \frac{\% \text{ERROR}}{100} \right)$$

Settling time is the time required for the switch output to settle within a given error band of the final value.

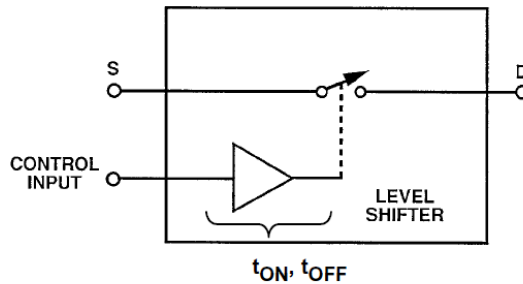
图 3-14 多路复用器的建立时间

| RESOLUTION, # OF BITS | LSB (%FS) | # OF TIME CONSTANTS |
|-----------------------|-----------|---------------------|
| 6                     | 1.563     | 4.16                |
| 8                     | 0.391     | 5.55                |
| 10                    | 0.0977    | 6.93                |
| 12                    | 0.0244    | 8.32                |
| 14                    | 0.0061    | 9.70                |
| 16                    | 0.00153   | 11.09               |
| 18                    | 0.00038   | 12.48               |
| 20                    | 0.000095  | 13.86               |
| 22                    | 0.000024  | 15.25               |

图 3-15 为单极点系统建立 1 LSB 精度所需时间常数数量

### 3.3 模拟开关的建立时间和开关时间代表什么？

开关时间与建立时间是两个不同的概念。开关时间只是从控制输入到开关切换间的传播延迟的一种衡量指标，主要由驱动和电平转换电路中的时间延迟导致(见图 3-16)。t<sub>ON</sub> 和 t<sub>OFF</sub> 两个值一般是在从控制输入前沿的 50% 点到输出信号电平的 90% 点之间测量的。



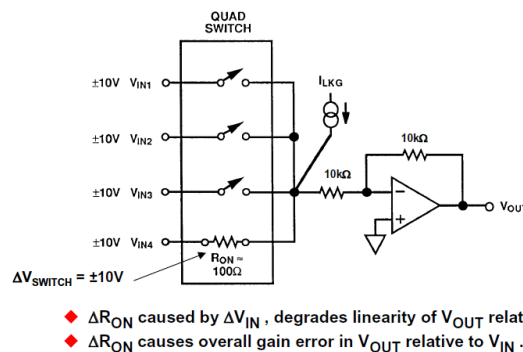
- ◆ t<sub>ON</sub> and t<sub>OFF</sub> should not be confused with settling time.
- ◆ t<sub>ON</sub> and t<sub>OFF</sub> are simply a measure of the propagation delay from control input to operation of the analog switch. It is caused by time delays in the drive / level-shifter logic circuitry.
- ◆ t<sub>ON</sub> and t<sub>OFF</sub> are measured from the 50% point of the control input to the 90% point of the output signal level.

图 3-16 模拟开关的开关时间

模拟开关的建立时间指的是输出端信号由于其寄生电容的影响，需要一定的时间在输出端电容上完整建立。一般规定建立到输入信号的 90% 所需要的时间定义为建立时间。信号从电子开关的输入到输出所需要的时间是模拟开关的开关时间和建立时间的总和。

### 3.4 在使用电子开关设置运放增益时，怎样减小模拟开关的导通电阻所带来的误差？

当一个 CMOS 多路复用器接至反相求和放大器时，应该注意的是，导通电阻及其作为输入电压函数的非线性变化将导致增益误差和失真误差，如图 3-17 所示。如果电阻较大，则开关漏电流有可能带来误差。小电阻有利于减少漏电流误差，但会增加因 R<sub>ON</sub> 有限值导致的误差。



- ◆ ΔR<sub>ON</sub> caused by ΔV<sub>IN</sub>, degrades linearity of V<sub>OUT</sub> relative to V<sub>IN</sub>.
- ◆ ΔR<sub>ON</sub> causes overall gain error in V<sub>OUT</sub> relative to V<sub>IN</sub>.

图 3-17 应用模拟开关：带开关输入的单位增益反相器

为了减少因输入电压变化导致的  $R_{ON}$  变化的影响, 建议把多路复用开关置于运算放大器求和点, 如图 3-18 所示。这样可以确保开关仅以约  $\pm 100\text{ mV}$  而非全  $\pm 10\text{ V}$  电压调制——但各个输入引脚都需要一个独立的电阻。

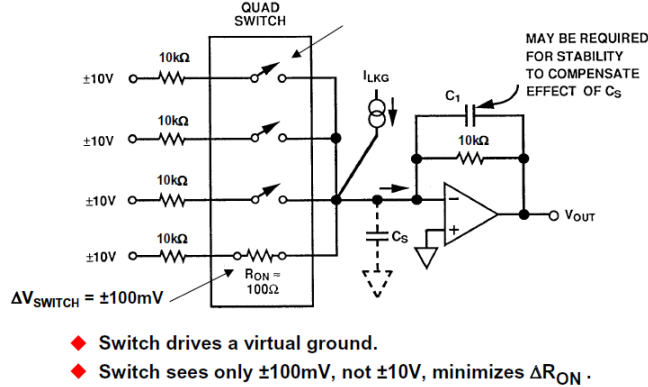


图 3-18 应用模拟开关: 减少  $\Delta R_{ON}$  的影响

必须了解因添加多路复用器给求和点增加了多少寄生电容, 因为给该节点增加的任何电容都会给放大器闭环响应带来相移。如果该电容过大, 则放大器可能变得不稳定并产生振荡。可能需要在反馈电阻上跨接一个小电容  $C_1$  来稳定电路。

在如图 3-19 所示电路中,  $R_{ON}$  的有限值可能成为重要的误差源。增益设置电阻应该至少是开关导通电阻的 1000 倍, 以保证 0.1% 的增益精度。较高的值会带来更高的精度, 却会降低带宽, 增加对漏电流和偏置电流的敏感度。

补偿  $R_{ON}$  的一种更好的方式是使一个开关与反相放大器的反馈电阻串联, 如图 3-20 所示。不妨假定, 单个芯片上的多个开关在绝对特性和温度跟踪特性方面良好匹配。因此, 放大器在单位增益下具有闭环增益稳定性, 因为总前馈电阻和反馈电阻是相匹配的。

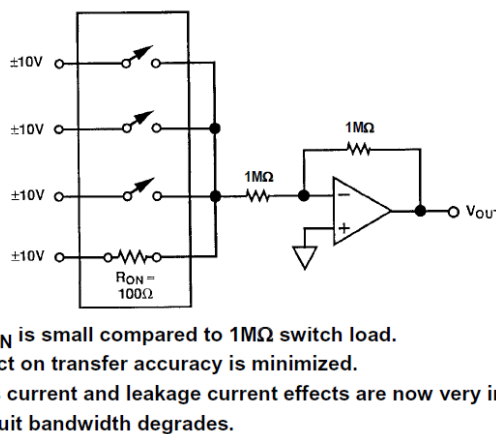


图 3-19 应用模拟开关: 用大电阻值减少  $\Delta R_{ON}$  的影响

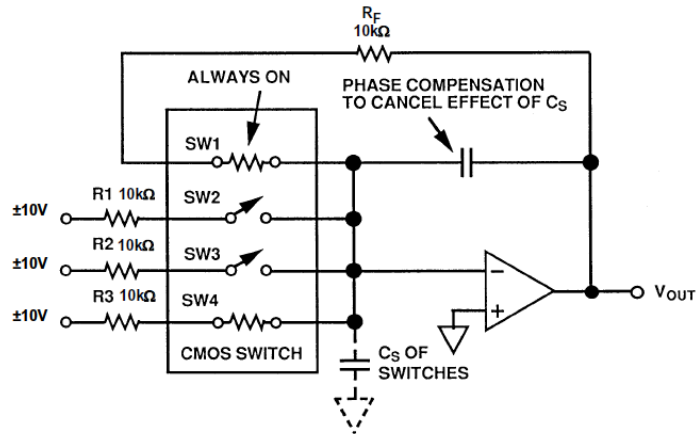


图 3-20 应用模拟开关：利用反馈中的“虚拟”开关降低  $\Delta R_{ON}$  导致的增益误差

最好的多路复用器设计以如图 3-21 所示方法驱动放大器的同相输入。同相输入较高的输入阻抗将消除  $R_{ON}$  带来的误差。

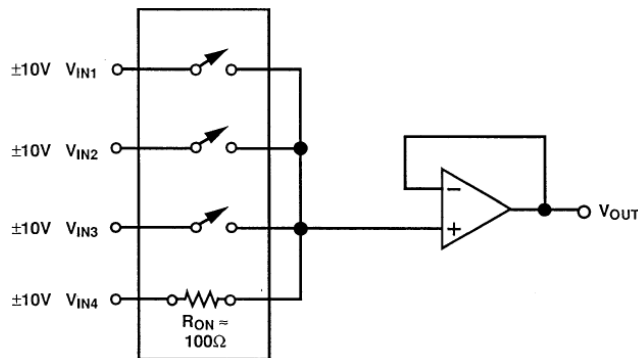


图 3-21 应用模拟开关：利用同相配置减少  $\Delta R_{ON}$  的影响

CMOS 开关和多路复用器通常与运算放大器相结合，以形成可编程增益放大器 (PGA)。为了了解  $R_{ON}$  对其性能的影响，我们来考察一下图 3-22 中的不良 PGA 设计。一个同相运算放大器有 4 个不同的增益设置电阻，各通过一个开关接地， $R_{ON}$  为 100-500  $\Omega$ 。即使当  $R_{ON}$  低至 25  $\Omega$  时，增益为 16 时的误差为 2.4%，比 8 位精度还要差！ $R_{ON}$  还会随温度而变化，在开关间也会发生变化。

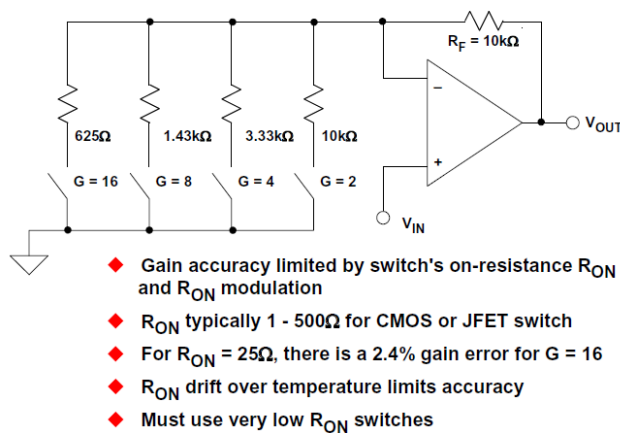


图 3-22 用 CMOS 开关设计不当的 PGA

要尝试“修复”该设计，可以增加电阻，但随之而来的是噪声和失调问题。对于这种



电路，提高精度的唯一方法是使用几乎不存在  $R_{ON}$  的继电器。只有在这种情况下，继电器仅数  $m\Omega$  的  $R_{ON}$  只会产生较小的误差（与  $625\ \Omega$  相比）。

最好使用对  $R_{ON}$  不敏感的电路。在图 3-23 中，开关与运算放大器的反相输入串联。由于运算放大器的输入阻抗非常大，因而与开关  $R_{ON}$  不再相干，而此时的增益完全由外部电阻决定。请注意——如果运算放大器偏置电流较高， $R_{ON}$  可能会增加较小的失调误差。如果情况确实如此，则可在  $V_{IN}$  用一个等效电阻进行补偿。

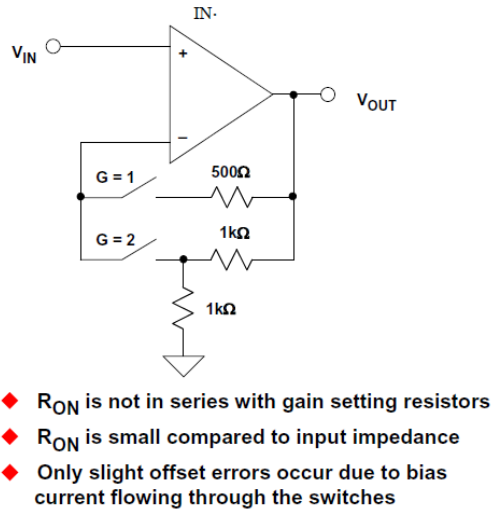


图 3-23 替代 PGA 配置降低  $R_{ON}$  的影响

### 3.5 什么条件会导致模拟开关的闩锁？

由于多路复用器往往处于数据采集系统的前端，因此，其输入一般来自远程位置——因而它们往往会受到过压条件的影响。了解这个问题及其与 CMOS 器件的相关性显得尤其重要。尽管本文主要讨论的是多路复用器，但它与几乎所有类型的 CMOS 器件都有密切关系。

多数 CMOS 模拟开关是以结隔离 CMOS 工艺制成的。单个开关单元的横截面如图 3-24 所示。如果模拟开关引脚的正电压比  $V_{DD}$  大或者负电压比  $V_{SS}$  大，则可能发生寄生硅控整流器(SCR)闩锁现象。即使是瞬变条件（如有输入电压时上电）也有可能激活寄生闩锁。如果传导电流过大（数百毫安或以上），结果可能损坏开关。

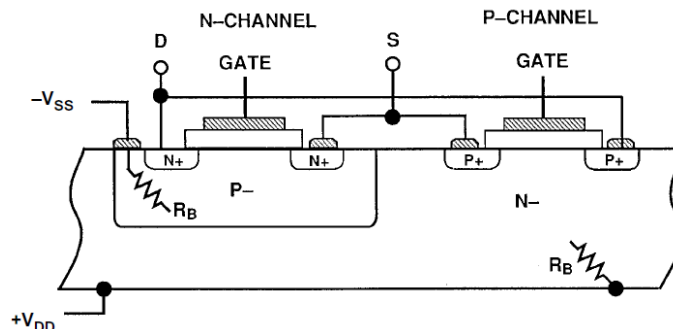


图 3-24 结隔离 CMOS 开关的横截面

寄生 SCR 机制如图 3-25 所示。当开关的引脚之一（源引脚或漏引脚）比正  $V_{DD}$  大一个二极管压降或者比负  $V_{SS}$  大一个二极管压降时，将产生 SCR 动作。前一种情况下， $V_{DD}$  引脚变成 SCR 栅极输入，并提供电流以激活 SCR 动作。当负电压比  $V_{SS}$  大时， $V_{SS}$  引脚变成 SCR 栅极输入，并提供栅极电流。任一情况下，电源之间都会有高电流通过。电流量取决于两个晶体管的集电极电阻，可能非常小。

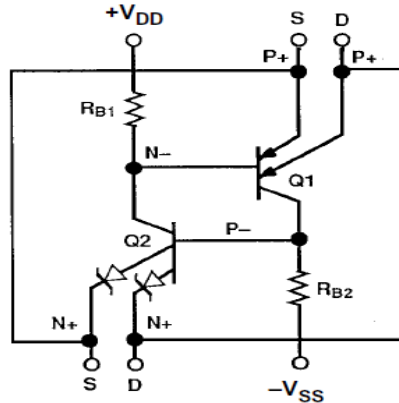
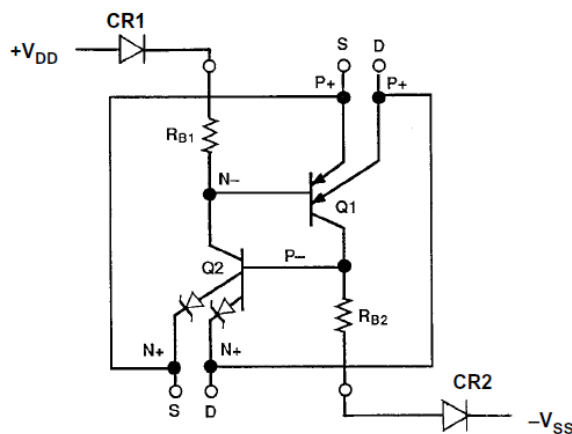


图 3-25 CMOS 开关的双极性晶体管等效电路展现出寄生 SCR 闩锁

一般而言，为了防止发生闩锁条件，CMOS 器件的输入不得高于正电源 0.3 V，也不得低于负电源 0.3 V。请注意，这一限制同样适用于电源关断 ( $V_{DD} = V_{SS} = 0$  V) 的情况，因此，当输入端存在信号时，如果此时将电源施于某个器件，则器件很可能闩锁。CMOS 器件的制造商们无一例外地把这一限制列于数据手册的绝对最大额定值表中。另外，过压条件下的输入电流应限制为 5-30 mA，取决于具体的器件。

为了防止出现这种 SCR 闩锁，可以将一个串联二极管插入  $V_{DD}$  和  $V_{SS}$  引脚中，如图 3-26 所示。二极管会阻止 SCR 栅极电流。正常情况下，寄生晶体管 Q1 和 Q2 的  $\beta$  较低（通常不到 10），需要相对较大的栅极电流来激活 SCR。二极管对反向栅极电流进行限制，以免激活 SCR。



Diodes CR1 and CR2 block base current drive to Q1 and Q2 in the event of overvoltage at S or D.

图 3-26 CMOS 开关的二极管保护方案

如果采用二极管保护模式，则开关各供电轨的模拟电压范围将减少一个  $V_{BE}$  压降，在使用低电源电压时，这样做可能不太方便。

如前所述，CMOS 开关和多路复用器也可以免受过流的影响，其方法是插入一个

串联电阻,把电流限制在安全电平以内,如图 3-27 所示,一般低于 5-30 mA。鉴于  $R_{LOAD}$  和  $R_{LIMIT}$  形成的阻性衰减器,只有在开关驱动相对较高的阻抗负载的时候,这种方法方才有效。

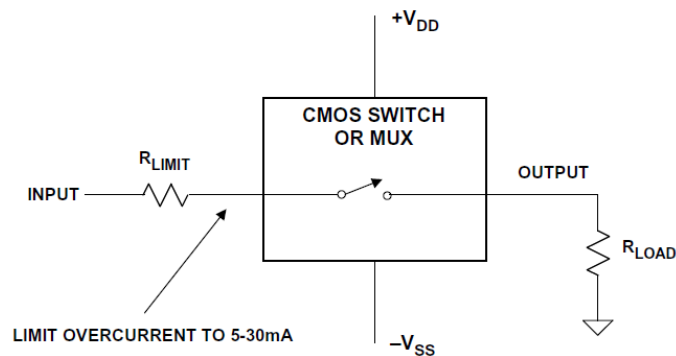


图 3-27 用外部电阻实现过流保护

一种常见的输入保护法如图 3-28 所示,其中,肖特基二极管从输入引脚连接至各个电源电压。二极管实际上可以有效防止输入引脚超过电源电压达 0.3-0.4 V 以上,由此避免了闩锁条件的发生。另外,如果输入电压超过电源电压,则输入电流会经过外部二极管流至电源,而不流到器件中。肖特基二极管可以轻松处理 50-100 mA 瞬变电流,因而,  $R_{LIMIT}$  电阻可以非常低。

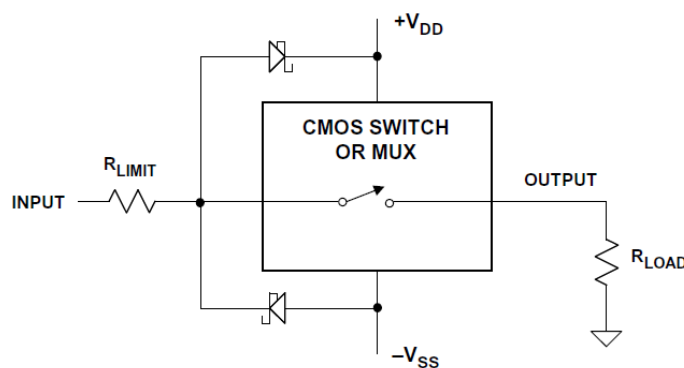


图 3-28 用外部肖特基二极管实现输入保护

多数 CMOS 器件的内置 ESD 保护二极管都是从输入连接到供电轨,大幅降低了闩锁的可能。然而,内置的二极管在 0.6 V 时开始导电,而且电流处理能力有限,因此,添加外部肖特基二极管可以提供额外的保护。然而,必须考虑二极管漏电流和电容的影响。

请注意,闩锁保护并不提供过流保护,反之亦然。如果一个系统中可以同时存在两个故障条件,则须同时使用保护性二极管和电阻。

ADI 公司采用沟道隔离技术来生产 LC2MOS 模拟开关。这种工艺有利于降低器件的闩锁可能和结电容,增加了开关时间和漏电流,模拟输入电压扩大至供电轨。

图 3-29 所示为沟道隔离 CMOS 结构的横截面视图。嵌入式氧化物层和侧壁将基板与各晶体管结完全隔离开来。因而不会形成反向偏置 PN 结。结果,可能减少带宽的电容以及 SCR 闩锁的可能性都大幅降低了。

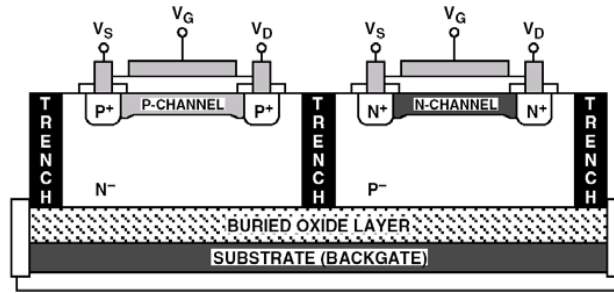


图 3-29 沟道隔离 LC2MOS 结构

ADG508F、ADG509F、ADG528F、ADG438F 和 ADG439F 均为  $\pm 15\text{V}$  沟道隔离 LC2MOS 多路复用器, 可为  $-40\text{V}$  和  $+55\text{V}$  之间的输入及输出过压提供“故障保护”功能。这些器件在信号路径中采用一种由三个 MOSFET 构成的串联结构。一个 N 沟道, 其后为一个 P 沟道, 再后为一个 N 沟道。另外, 当电源关闭时, 信号路径变成高阻抗。该结构可提供较高的门锁和过压保护能力——但其代价是更高的  $R_{ON}$  ( $\sim 300\ \Omega$ ), 而且  $R_{ON}$  随信号电平变化的幅度也会增大。有关这种保护方法的详细情况, 请参见各产品数据手册。

### 3.6 模拟开关可以驱动的电容量是多少, 或者说其输出端的走线长度有要求吗?

通常来讲, 大部分电子开关驱动的电容量主要影响其建立时间, 具体的影响客户可以根据导通电阻配合驱动电容来计算。针对具体的导线长度, 应该尽可能的短。至于短到什么程度, 客户可以根据传输线原理计算出群延时时间应该小于十分之一的上升或者下降时间。

### 3.7 当数字控制口悬空时, 电子开关的输入处在什么状态, 会切换到固定的通道吗?

如果数字控制口是悬空的, 客户应该仔细查看数据手册, 从而确认输入口是否有上拉或者下拉电阻。如果内部没有上拉或者下拉电阻, 客户可以在外部加上拉或者下拉电阻上拉到 VDD 或者下拉到 VSS。

### 3.8 模拟电子开关可否用来传输 4-20mA 电流信号?

在选用此类电子开关时, 应尽量选用导通电阻小的开关, 例如 ADG801/ADG802, 其导通电阻小于  $400\text{m}\Omega$ , 连续导通电流的大小为  $400\text{mA}$ 。

### 3.9 模拟电子开关的输入信号大小怎么确定?

针对具体的模拟电子开关, 客户应该仔细查看数据手册, 确认其是否有过压保护功能的开关, 例如 ADG528F, ADG509F, ADG508F 这类芯片的输入电压可以超过电源轨。

这类带保护功能的芯片可以将超过电源轨的电压信号限制在电源电压。但是需要注意的是这些带保护功能的开关不能保护逻辑控制口的电压,也就是说数字口不能超过电压轨电压。没有保护功能的电子开关的输入信号大小不能超过供电电压,这也包括逻辑控制信号的大小。

### 3.10 模拟电子开关在没有上电的情况下其输入输出通道是什么状态?

对那些没有断电保护功能的模拟电子开关来讲,在没上电的情况下的模拟输入和输出的状态是不确定的。而且最为重要的是,此时不能有信号施加在输入或者输出引脚上。但是我们有一些带断电保护功能的产品,例如 ADG508F,ADG4612/ADG4613 在没上电的情况下,其输入是高阻状态。

### 3.11 模拟电子开关有没有大电流导通能力的,可以应用在切断电源上的电子开关?

我们有应用在高边电源控制的电子开关,例如 ADP190/ADP191 的最大导通电流可以达到 500mA,专门应用在电源导通和切断的应用。

### 3.12 电子开关是不是都是双向导通的?

大部分模拟电子开关是可以双向导通的,但是有一个前提条件就是这些电子开关内部没有缓冲器,带缓冲器的电子开关不可以双向导通,例如 AD8188。还有一种高速的模拟开关,例如 ADV3219/ADV3220, ADV3222。这类开关不仅有导通作用,还有增益工作,当然也不能双向导通。