

如何有效地比较CMOS开关和固态继电器的性能

Stephen Nugent, 产品应用工程师

摘要

源极和漏极之间的关断电容 $C_{DS(OFF)}$ 可用于衡量关断开关后, 源极信号耦合到漏极的能力。它是固态继电器(如PhotoMOS®、OptoMOS®、光继电器或MOSFET继电器)中常见的规格参数, 在固态继电器数据手册中通常称为输出电容 C_{OUT} 。CMOS开关通常不包含此规格参数, 但关断隔离度是表征相同现象的另一种方法, 关断隔离度定义为, 开关关断状态下, 耦合到漏极的源极的信号量。本文将讨论如何从关断隔离度推导出 C_{OUT} , 以及如何通过它来更有效地比较固态继电器和CMOS开关的性能。这一点很重要, 因为CMOS开关适合许多使用固态继电器的应用, 例如切换直流信号和高速交流信号。

如何从关断隔离度导出 $C_{DS(OFF)}$

图1显示ADG5412的关断隔离度与频率的典型性能图。该图显示, 当源极上的信号频率上升时, 关断隔离度降低。

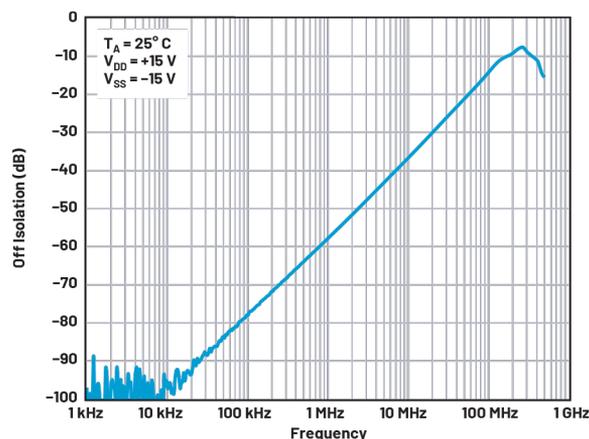


图1. ADG5412 关断隔离度与频率的关系 ($\pm 15\text{ V}$ 双电源)。

这意味着, 随着信号频率增加, 源极上有更多信号会出现在关断开关的漏极。如果您观察开关的等效电路在关断状态下的表现, 如图2中的测试电路所示, 会发现这种状况不足为奇。当开关处于断开状态时, 源极和漏极之间存在寄生电容, 即图中的 $C_{DS(OFF)}$ 。这种寄生电容使高频信号能够通过, 关断隔离图就是为了确定这些特征。

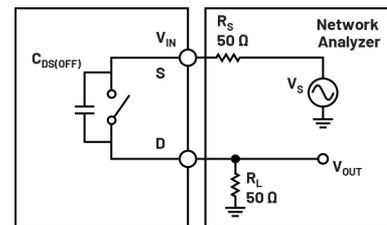


图2. 关断隔离度测量测试电路。

我们从图2所示的测试电路中获取 V_S 和 V_{OUT} , 然后将它们代入以下公式中, 以计算关断隔离度:

$$Off\ Isolation = 20 \log_{10} \frac{V_{OUT}}{V_S}$$

将从关断隔离图中得到的结果应用到开路开关的等效电路中, 可计算得出CMOS开关的 $C_{DS(OFF)}$ 。首先, 如果考虑关断开关通道和负载, 我们可以将电路视为高通滤波器, 如图3所示。

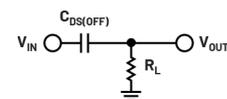


图3. $C_{DS(OFF)}$ 和 R_L 高通滤波器。

所示电路的转换函数可以通过以下公式计算得出：

$$\frac{V_{OUT}(S)}{V_{IN}(S)} = \frac{R_L}{R_L + \frac{1}{C_{DS(OFF)}S}} = \frac{R_L C_{DS(OFF)}S}{1 + R_L C_{DS(OFF)}S}$$

接下来，考虑源电压 V_S 及其阻抗，如图2所示。源阻抗 R_S 为50 Ω ，与50 Ω 负载阻抗 R_L 匹配。假设在理想情况下， $C_{DS(OFF)}$ 短路，那么在阻抗相等时， V_S 为 V_{IN} 的2倍。这意味着，当根据 V_S 计算转换函数时，整个转换函数会翻倍。

所以，整个系统的转换函数为：

$$H(S) = \frac{V_{OUT}(S)}{V_S(S)} = \frac{2R_L C_{DS(OFF)}S}{1 + R_L C_{DS(OFF)}S}$$

然后，可以将这个转换函数代入关断隔离度公式，得出：

$$\begin{aligned} Off_{iso} &= 20 \log_{10} \left(\frac{2R_L C_{DS(OFF)}S}{1 + R_L C_{DS(OFF)}S} \right) \\ &= 20 \log_{10} \left(\frac{2j2\pi f R_L C_{DS(OFF)}}{1 + j2\pi f R_L C_{DS(OFF)}} \right) \text{ as } s = j2\pi f \end{aligned}$$

然后，重新变换该公式，求解 $C_{DS(OFF)}$ 的值：

$$C_{DS(OFF)} = \frac{1}{2\pi f R_L \left(\frac{2}{10^{off_{iso}/20}} - 1 \right)}$$

这意味着，如果知道 R_L 、输入信号的频率 f ，以及关断隔离规格值(dB)，就可以计算出 $C_{DS(OFF)}$ 。这些值可以在ADI公司产品系列中的开关或多路复用器产品的数据手册中找到。以下示例将展示其执行步骤。

$C_{DS(OFF)}$ 计算示例

本例使用受SPI控制的4路SPST开关ADGS1612。ADGS1612的关断隔离规格为-65 dB，可以在数据手册中的表1中找到。根据关断隔离规格的测试条件部分， R_L 为50 Ω ，信号频率 f 为100 kHz。将这些值代入 $C_{DS(OFF)}$ 公式，可以计算得出电容值。

$$\begin{aligned} C_{DS(OFF)} &= \frac{1}{2\pi f R_L \left(\frac{2}{10^{off_{iso}/20}} - 1 \right)} \\ &= \frac{1}{2\pi(100 \times 10^3)(50) \left(\frac{2}{10^{-65/20}} - 1 \right)} \approx 9 \text{ pF} \end{aligned}$$

注意，在开关与多路复用器的关断隔离测量电路中，在开关通道的源极引脚之前，可能包含一个额外的50 Ω 端接电阻，如图4所示。采用以这种方式测量得出的关断隔离规格，仍然可以使用 $C_{DS(OFF)}$ 公式进行计算。但是，如果源极引脚使用50 Ω 端接电阻（随后用于 $C_{DS(OFF)}$ 公式中），需要在数据手册给出的关断隔离规格的基础上加上6 dB。这是为了进行补偿，因为源极的50 Ω 端接电阻会使电压减半，相当于-6 dB。

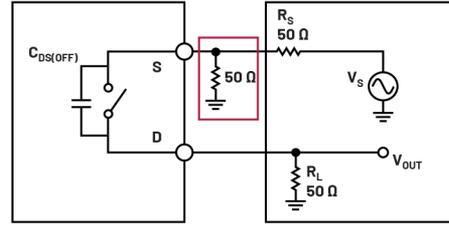


图4. 源极上具有50 Ω 端接电阻的关断隔离度测试电路。

CMOS开关与固态继电器的关系

表1显示从ADI公司产品系列中选择的开关产品的 $C_{DS(OFF)}$ 值。ADG54xx和ADG52xx系列可以处理摆幅高达44 V的信号电压，ADG14xx和ADG12xx系列可以传输摆幅高达33 V的信号电压。这种可比较信号的范围为30 V至40 V固态继电器。表中的最后一列还显示了如何使用 $C_{DS(OFF)}$ 和开关导通电阻来计算 $R_{ON} \cdot C_{DS(OFF)}$ 乘积，在固态继电器中，它被用作等第值(order of merit)。 $R_{ON} \cdot C_{DS(OFF)}$ 乘积显示在开关开启时，对信号的衰减影响非常小，以及开关在关断时，阻截高速信号的作用有多强。该表显示ADG1412的 $R_{ON} \cdot C_{OFF}$ 乘积小于5，在市面上的固态继电器中，这一点相当有优势。

表1. 在ADI公司产品系列中选择SPST × 4开关的 $C_{DS(OFF)}$

	最大电源电压	关断隔离	C_{DS} (关断)	导通电阻	$R \times C$
ADG5412	±22 V、+40 V	-78 dB @ 100 kHz	4 pF	9.8 Ω	39.2
ADG5212	±22 V、+40 V	-80 dB @ 1 MHz	0.32 pF	160 Ω	51.2
ADG1412	±16.5 V、+16.5 V	-80 dB @ 100 kHz	3.2 pF	1.5 Ω	4.8
ADG1212	±16.5 V、+16.5 V	-80 dB @ 1 MHz	0.32 pF	120 Ω	38.4

与固态继电器相比，CMOS开关具有多项优势。具体包括：

► 更易于驱动开关逻辑

ADI公司大部分CMOS开关的典型数字输入电流为1 nA，而固态继电器中二极管的推荐正向电流为5 mA。这意味着，CMOS开关易于直接被微控制器上的GPIO控制。

► 更快的开关速度

ADG1412的典型开启时间为100 ns，固态继电器的开启时间为几百毫秒。

► 单个封装内集成更多开关

例如，ADGS1414D采用5 mm × 4 mm封装，具有8个开关通道、1.5 Ω 导通电阻和5 pF $C_{DS(OFF)}$ 。也就是说，每2.5 mm²封装面积内一个开关。

结论

开关在关断状态下拦截信号的能力至关重要。在固态继电器中， C_{off} 规格用于衡量开关两端的电容，它允许输入信号耦合到关断开关的输出。在CMOS开关中，不会直接测量此电容；但是，可以通过关断隔离度规格来推算此电容。通过推导开路开关的转换函数，可以使用关断隔离度值(dB)、输入信号的频率和负载电阻来确定 $C_{D(SOFF)}$ 。在比较CMOS开关和固态继电器的 C_{OUT} 规格

时， $C_{D(SOFF)}$ 是一个重要值。此外， $C_{D(SOFF)}$ 还可用于计算 R_{ON} 、 $C_{D(SOFF)}$ 乘积，这是一个等第值，用于显示开关的整体关断隔离和信号丢失性能。这样针对应用选择开关时，可以更直观对CMOS开关和固态继电器进行比较选择。相比固态继电器，CMOS开关也有诸多优势，例如，更易于驱动开关逻辑、更快的开关速度，以及能够在封装中集成更多开关。



作者简介

Stephen Nugent是ADI公司自动化测试设备团队的应用工程师。2014年毕业于英国贝尔法斯特女王大学，获电气电子工程硕士学位。Stephen于2014年加入ADI公司，负责为模拟开关和多路复用器产品系列提供技术支持。联系方式：stephen.nugent@analog.com。

