

CMOS 模拟开关的选择与典型应用

Maxim 公司北京办事处 魏智 编译

一、前言:

早期的模拟开关大多工作于 $\pm 20V$ 的电源电压, 导通电阻为几百欧姆, 主要用于模拟信号与数字控制的接口, 近几年, 集成模拟开关的性能有了很大的提高, 它们可工作在非常低的电源电压, 具有较低的导通电阻、微型封装尺寸和极佳的开关特性。被广泛用于测试设备、通讯产品、PBX/PABX 设备以及多媒体系统等。一些具有低导通电阻和低工作电压的模拟开关成为机械式继电器的理想替代品。

模拟开关的使用方法比较简单, 但在具体应用中应根据实际用途做合理的选择。本文主要介绍模拟开关的基本特性和几种特殊模拟开关的典型应用。

二、正确选择 CMOS 开关:

1、导通电阻: 传统模拟开关的结构如图 1 所示, 它由 N 沟道 MOSFET 与 P 沟道 MOSFET 并联构成, 可使信号双向传输, 如果将不同 V_{IN} 值所对应的 P 沟道 MOSFET 与 N 沟道 MOSFET 的导通电阻并联, 可得到图 2 并联结构下导通电阻 (R_{ON}) 随输入电压 (V_{IN}) 的变化关系, 如果不考虑温度、电源电压的影响, R_{ON} 随 V_{IN} 呈线性关系, 将导致插入损耗的变化, 使模拟开关产生总谐波失真 (THD), 这是设计人员所不希望的, 如何将 R_{ON} 随 V_{IN} 的变化量降至最小也是设计新一代模拟开关所面临的一个关键问题。

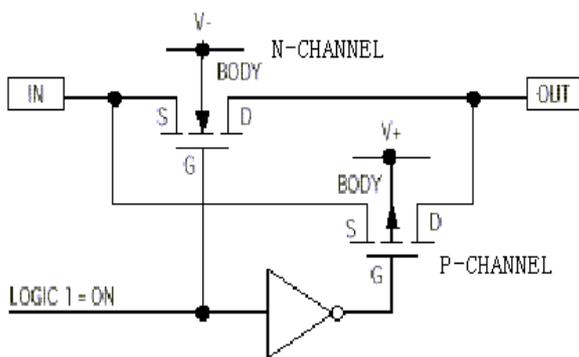


图1、模拟开关的基本结构

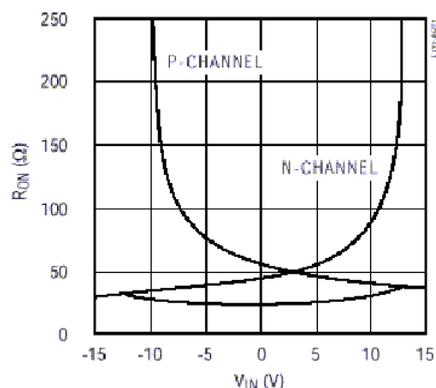


图2、导通电阻随输入电压的变化关系

另外, 导通电阻还与开关的供电电压有关, 由图 3 可以看出: R_{ON} 随着电源电压的减小而增大, 当 MAX4601 的电源电压为 5V 时, 最大 R_{ON} 为 8 Ω ; 当电源电压为 12V 时, 最大 R_{ON} 为 3 Ω ; 电源电压为 24V 时, 最大 R_{ON} 仅为 2.5 Ω 。 R_{ON} 的存在会使信号电压产生跌落, 跌落量与流过开关的电流成正比, 对于适当的电流这一跌落量在系统容许的误差范围内, 而要降低 R_{ON} 所耗费的成本却很高, 因此, 应根据实际需要加以权衡。 R_{ON} 确定后, 还需考虑通道间的失配度与 R_{ON} 的平坦度。通道失配度用来描述同一芯片不同通道间 R_{ON} 的差别; R_{ON} 的平坦度用于描述每一通道的 R_{ON} 在所规定的信号范围内的变化量。这两个参数的典型值为 2 Ω 至 5 Ω , 对于低 R_{ON} 模拟开关, 这些参数仅为 0.5 Ω 。失配度/ R_{ON} 、平坦度/ R_{ON} 这两个比值越小, 说明模拟开关的精度越高。

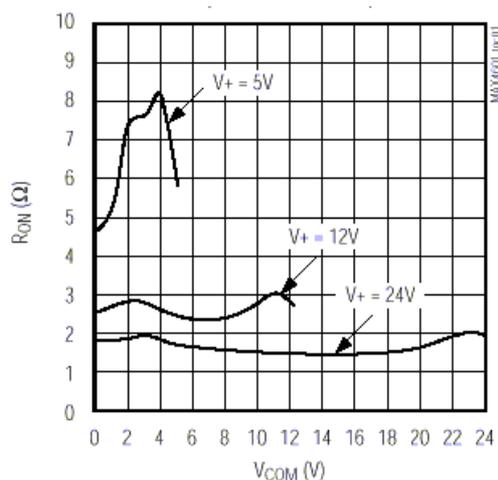


图3、导通电阻随电源电压的变化关系

2、注入电荷: 低 R_{ON} 并非适用于所有的应用, 较低的 R_{ON} 需要占据较大的芯片面积, 从而产

生较大的输入电容，在每个开关周期其充电和放电过程会消耗更多的电流。时间常数 $t = RC$ ，充电时间取决于负载电阻 (R) 和电容 (C)，一般持续几十 ns。这说明低 R_{ON} 开关具有更长的导通和关断时间。Maxim 提供两种类型的开关，每种开关都有微型 SOT23 封装，MAX4501 和 MAX4502 的导通电阻较高，但开关速度较快；MAX4514 和 MAX4515 具有较低的导通电阻，但开关时间较长。

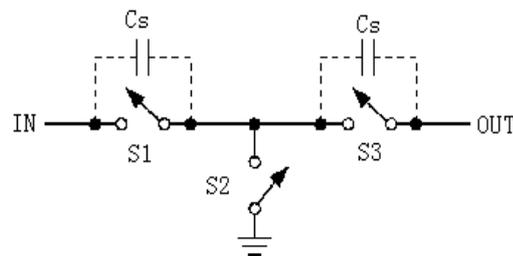
3、系统电源：为单电源供电系统选择模拟开关时，应尽量选择那些专为单电源供电而设计的产品，这类开关不需要单独的 V-和 GND 引脚，节省了一个引脚，能够把一个单刀双掷 (SPDT) 开关封装在微小的 SOT23-6 中。同样，低电压双电源供电系统需选用双电源供电开关，它们具有独立的 V-和 GND 引脚，还特别设有与标准的 CMOS 或 TTL 电平的逻辑接口，该系列中的 SPST 开关 (MAX4529) 同样可采用 SOT23-6 封装。许多高品质的模拟系统仍需较高的双极性电源如： $\pm 15V$ 或 $\pm 12V$ 供电，模拟开关与这些电源连接时需要一个额外的电源引脚，该引脚通常标为 VL，VL 与系统的逻辑电源相连，一般为 5V 或 3.3V，保证输入逻辑信号为精确的逻辑电平能够提高噪声裕量、节省功耗。

由于模拟开关只能处理幅度在电源电压摆幅以内的信号，输入信号幅度必须保证在所规定的电源电压范围内，对于未加保护的模拟开关，过高或过低的输入信号将在开关内部的二极管网络产生失控电流，造成模拟开关的永久损坏

三、几种特殊的模拟开关：

1、高频 T 型开关

T 型开关适用于视频及其它频率高于 10MHz 的应用，如图 4 所示，它由两个模拟开关 (S1、S3) 串联组成，另一开关 S2 接在地和 S1、S3 的交点之间，这种结构的开关其关断隔离高于单个开关，由于寄生电容与每个串联开关并联，断开状态的 T 型开关其容性串扰随频率的提高而增大。因此，影响开关高频特性的关键在于开关的断开状态而不是接通状态。



VIDEO T-SWITCH	S1	S2	S3
ON	ON	OFF	ON
OFF	OFF	ON	OFF

图4、高频T型开关的基本结构

当 T 型开关导通时，S1 和 S3 闭合，S2 断开；当开关断开时，S1、S2 断开，S3 闭合，此时，那些要通过串联 MOSFET 的寄生电容耦合到输出端的输入信号被 S3 旁路，断开状态下的 10MHz 视频 T 型开关 (MAX4545) 的关断隔离达 -80dB，而标准模拟开关 (MAX312) 的关断隔离度只有 -36dB。

2、微型封装

CMOS 开关的优点还包括小的封装尺寸，如 6 脚 SOT23 开关不含任何机械部件 (与舌簧继电器不同)，Maxim 提供的小型视频开关 (MAX4529) 及标准的低电压 SPDT 开关 (MAX4544) 均采用 6 脚 SOT23 封装，供电范围为 2.7V 至 12V。另外，Maxim 具有多种如同 CD4066 的通用模拟开关，例如新发布的 MAX4610-MAX4612 低成本四模拟开关，其中，MAX4610 引脚兼容于工业标准的 4066，而且能够工作在更低的电源电压 (低至 2V)，具有较高的精度，通道间最大失配电阻为 4Ω；平坦度在 8Ω 以内。这些型号有三种不同的开关设置，低导通电阻 (5V 时小于 100Ω) 适用于低电压应用，采用紧凑的 14 脚 TSSOP 封装 (6.5 x 5.1 x 1.1 mm³) 解决了线路板尺寸紧张问题。

3、ESD 保护开关

基于 Maxim 成功的 ESD 保护接口产品， $\pm 15kV$ ESD 保护电路被引入到某些模拟开关中，新推出的可承受 $\pm 15kV$ 静电冲击的模拟开关完全符合 IEC1000-4-2 Level 4 标准，所有模拟输入通路均经过人体模型 ESD 检测和 IEC1000-4-2 规定的空气间隙放电模式检验。

MAX4551-4553 引脚与多种标准开关（如 DG201/211 和 MAX391 等）兼容，针对多路复用器系列产品，如 74HC4051 和 MAX4581，Maxim 还研制生产了带有 ESD 保护的多路复用器。在新的设计中，无需再采用昂贵的 Transzorbs™ 器件对模拟输入进行保护。

4、故障保护型开关

模拟开关的电源电压限制了输入信号的范围，一般情况下，这种限制对模拟开关的使用没有影响，但在某些应用中，系统断电时模拟开关的输入端仍有信号存在，此时，由于输入信号超出了电源电压的范围，将造成开关的永久性损坏。

Maxim 带有故障保护的模拟开关和多路复用器能够提供 $\pm 25\text{V}$ 的过压保护，掉电时保护电压达 $\pm 40\text{V}$ ，同时可处理满电源摆幅信号，并具有较低的导通电阻。故障状态下，输入端被置成高阻态，与开关状态和负载电阻无关，只有 nA 级的泄漏电流流过信号源。

5、加载-感应开关

在过去几年中，Maxim 推出了一系列新型模拟开关，其中 MAX4554-MAX4556 加载-感应型开关，适用于自动检测设备（ATE）中的 Kelvin 检测。每中型号包含有用于加载电流的低电阻、大电流开关和用于检测电压或切换保护线的高阻开关。 $\pm 15\text{V}$ 供电时，电流开关导通电阻仅 $6\ \Omega$ ，感应开关导通电阻为 $60\ \Omega$ ，MAX4556 内置三路 SPDT 开关。

加载感应开关主要用于高精度系统和远距离测量系统（图 5），在 4 线测量中，2 线为负载加载电压或电流，其余 2 线直接与负载感应线连接。2 线系统中，负载电压感应线与加载线连接到负载的两端。由于加载电压或电流会沿线产生压降，所以负载电压比信号源电压略低，负载与信号源间的距离以及负载电流、导通电阻等都将造成负载电压的衰减。采用 4 线方式可减小信号衰落，4 线方式中的 2 条附加电压感应线上流过的电流可忽略。新型加载感应开关简化了许多应用，例如 nV 级电压表、飞欧级电阻计等。

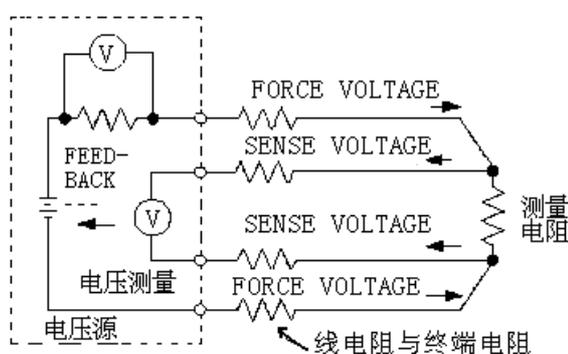


图5、4线电阻测量

6、校准型多路复用器

校准型多路复用器（Cal-muxes）主要用于高精度 A/D 转换器和自监控系统，芯片内的组合结构主要包括：从输入基准电压产生精密电压比的模拟开关，高精度电阻分压器，用于选择不同输入的多路复用器。该类器件中，MAX4539 和 MAX4540 可用于修正 A/D 转换中的两个主要误差：失调误差与增益误差。利用内部精密的分压器，在微处理器的串行接口控制下测量增益和失调电压，参考比为 $15/4096$ 和 $4081/4096$ ，精确到 15 位，对于基准为 4.096V 的 A/D 转换器， $15/4096$ 倍的基准电压为 15mV ，二进制数字输出为 00000001111 ，为测量失调误差，控制器记录二进制数 00000001111 与 ADC 实际输出之差，用该误差值对失调电压加以修正。为测量增益误差，校准多路复用器用 $4081/4096$ 代替 $(V_{\text{REFHI}} - V_{\text{REFLO}})$ ，微控制器记录二进制数 11111110000 与 ADC 实际输出之差，已知 ADC 的失调误差和增益误差后，系统软件可建立修正系数，调节后续输出到修正值。