

# 如何利用输入高阻技术来降低解决方案的功耗并减小尺寸

Sanjay Rajasekhar, 首席模拟设计工程师和  
Arvind Shankar, 设计评估工程师

## 摘要

在多路复用(muxed)逐次逼近寄存器模数转换器(SAR ADC)应用中, 一般会有尺寸和功耗限制, 这通常取决于每通道模拟信号链的设计选择。本文说明为什么采用模拟输入高阻(高阻抗)技术的多路复用SAR ADC是在不影响性能和精度的情况下大幅减小解决方案尺寸和降低功耗的关键。

## 引言

多路复用SAR ADC通常用于需要不断监测系统中多个关键变量的应用。在光通信应用中, 可以通过光功率测量监测激光偏压, 而在VSM应用中可以监测来自电极的EEG/ECG信号。这些多路复用应用有一些共同的要求:

- ▶ 有很多通道需要监测。一般来说, ADC会按顺序监测所有通道。
- ▶ 通道电压通常彼此不相关。
- ▶ 在系统尺寸和功耗方面存在严格的限制。

由于上述这些要求, 设计人员会面临一些挑战。当ADC在一个通道上完成转换时, ADC内的采样电容会充电至该通道电压。如果采样电容的电压与序列中下一个通道的电压相差很大, 则必须通过信号链设计, 使采样电容能够在允许的采样时间内准确地稳定在新电压。过去通常是使用一个宽带驱动放大器, 再配合一个RC滤波器来解决这个问题。典型的信号链如图1所示。

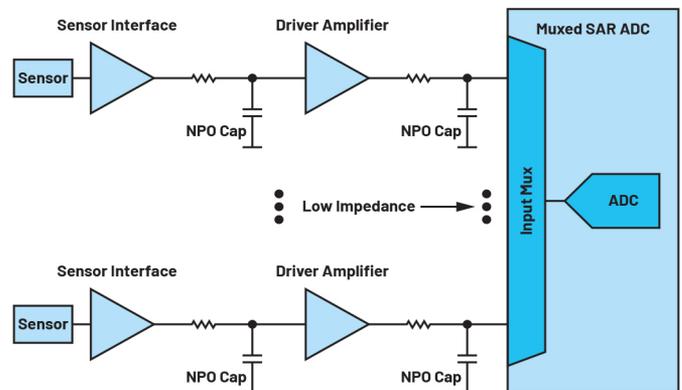


图1. 采用传统多路复用SAR ADC的信号链。

传感器可以输出电压或电流, 而传感器接口电路可以分别是一个仪表放大器或一个互阻抗放大器。电容通常为NPO/COG型, 因为其它类型的电容会造成明显的失真。NPO电容线性度高, 但密度低。选用的NPO电容也要比ADC内部采样电容的值大得多。它执行两个关键功能:

- ▶ 减少ADC采样电容的反冲
- ▶ 滤除所需稳定带宽以外的噪声, 从而降低信号链的宽带噪声

在传统的信号链中, 每个通道必须使用驱动放大器和大电容。每个驱动放大器的功耗在零点几毫安到几毫安之间。每个电容(包括间隙)可能占据约1 mm<sup>2</sup>的电路板面积。如果多个通道都采用这种信号链, 将非常不利于减小系统尺寸和降低功耗。这是当今多路复用SAR ADC应用中的主要问题之一。

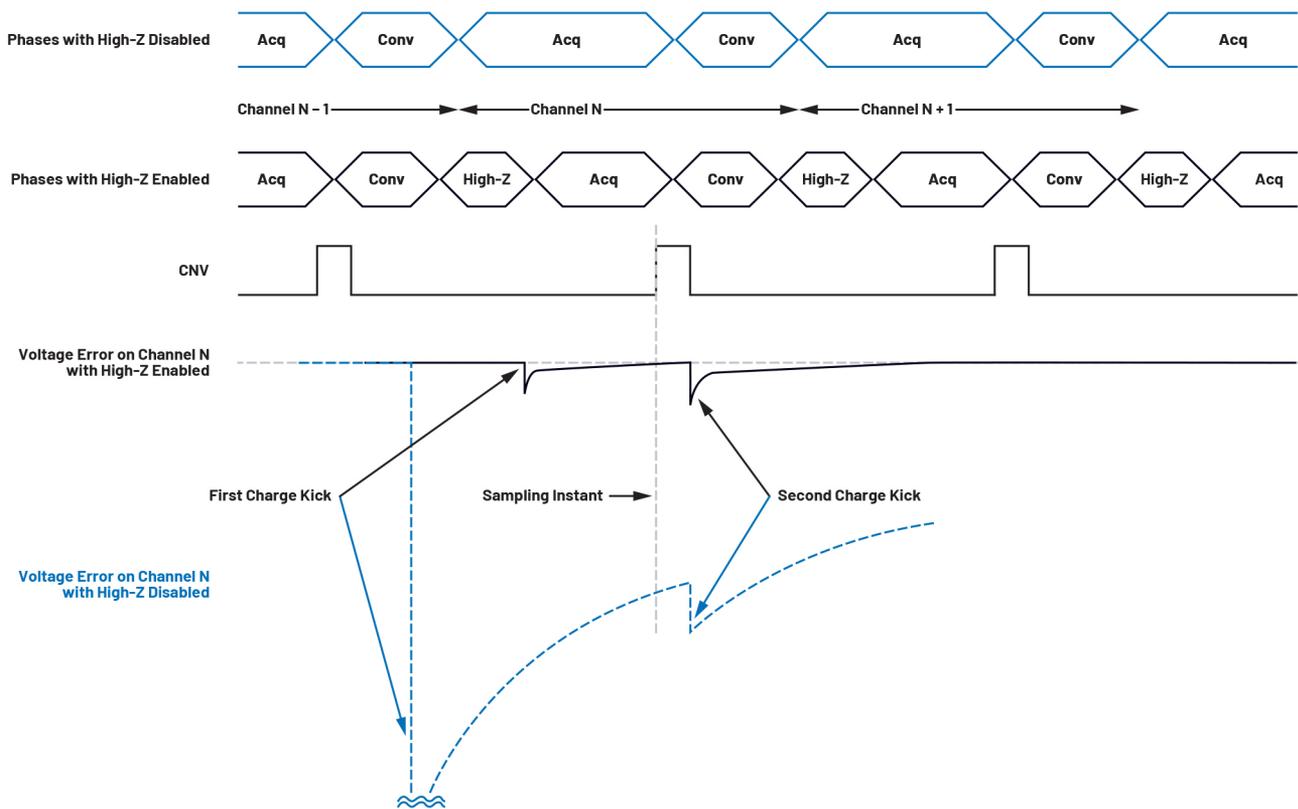


图2. 启用和禁用高阻功能时AD4696的相位。

## 什么是输入高阻技术？

就模拟输入而言，高阻技术是指一组电路技术，可在不消耗静态或连续功率的情况下，大幅提高ADC的有效输入阻抗。这使得ADC的输入易于驱动。

假设多路复用ADC正在通道N-1上转换，下一个要转换的通道是通道N。

在转换启动(CNV)的上升沿，对通道电压进行采样。在图2中，CNV的第一个上升沿对通道N-1的电压进行采样。然后ADC对通道N-1上的采样电压进行转换。转换后，在禁用输入高阻的情况下，ADC继续获取序列中的下一个通道，即通道N。通道N上的电压通常与通道N-1上的电压大不相同，此时要对ADC电容充电，达到通道N的电压水平。这会在通道N（深蓝色虚线）上产生巨大的电压冲击，并在采样瞬间（CNV的第二上升沿）在通道电压中引入较大误差。因此需要一个较大的外部电容来吸收冲击，并且需要一个驱动放大器来提供必要的电荷。

当启用输入高阻时，会对ADC的内部采样电容充电，使其达到将要采集通道的当前电压水平，然后开始真正的电压采样。在通

道N-1上进行转换后，立即引入高阻相位，将ADC采样电容精确充电到通道N的当前电压水平。这意味着，当ADC采样电容连接到外部输入时，它不会提供任何电荷，也不会导致任何反冲。在实践中，由于内部开关的电荷注入（第一次电荷冲击），通常会有较小的残余误差。这种微小的残余误差使得通道N采样瞬间的稳定误差几乎可以忽略不计。在启用高阻的情况下，这个电荷误差将明显改善系统的稳定动态。

当通道N的采样完成后，ADC必须进行转换。因此，内部开关将ADC的采样电容与外部输入断开。由于开关打开电荷注入，这会导致第二次电荷冲击。通常情况下，第二次电荷冲击的稳定时间较长，所以第一次电荷冲击的幅度决定了通道的稳定误差。因此，必须尽可能减小第一次电荷冲击的幅度。

AD4696（新一代多路复用SAR ADC）采用了输入高阻技术，作为EasyDrive™功能集的一部分。因此，AD4696在通道上开始电压采样时非常平稳。每个通道不再需要反冲吸收电容和驱动放大器。这使得系统尺寸和功耗大幅减少，并且信号链明显简化，如图3所示。

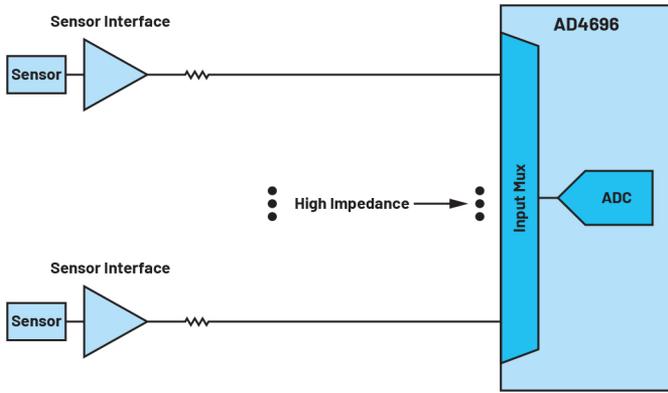


图3. 采用AD4696多路复用SAR ADC的信号链。

在AD4696系列中实现输入高阻有一个重要优势，就是执行高阻功能的电路都可以按转换速率进行循环上电。因此，高阻功能的功耗将与ADC的吞吐量成线性比例，就像核心SAR ADC本身一样。与刻板的传统信号链设计相比，这具有明显的灵活性。

AD4696的LTspice®模型中也内置了输入高阻功能。对第一次和第二电荷冲击进行了精确建模，从而能够可靠地仿真信号链设计中的稳定伪影。

## 一些细节

回顾一下会发现，NPO电容还提供了信号链的宽带噪声滤波。如果想去除这个电容，就必须找到其它方法来滤除噪声。实现相同的有效信号链噪声带宽的一个简单方法是增加外部串联电阻。AD4696有一个60 pF的内部电容，与一个240 Ω的典型内部电阻串联。通过设置外部电阻，我们可以将信号链噪声带宽调整到目标值。

在没有NPO电容的情况下，外部电阻对信号链的噪声性能、线性度和精度起着重要作用。小阻值电阻有助于快速稳定采样电荷冲击，从而提高线性度和精度，但更高的有效噪声带宽会导致整体噪声增加。相反，大阻值电阻可以更好地滤除噪声，但线性度和精度会降低。

正如下一节所述，AD4696采用高阻技术的主要优势，就是它允许使用大阻值电阻（从而实现更好地滤除噪声），且不会降低线性度和精度。它支持对信号链中的所有参数进行优化，包括噪声、线性度、精度、功耗和解决方案尺寸。

## 测量结果

在没有任何NPO电容的情况下，用一个2 kΩ的外部电阻进行测量。结果显示，在启用模拟输入高阻的情况下，交流和直流性能得到了大幅改善。实验中以1 MSPS的速度运行AD4696的核心ADC，但选择了更多的通道作为轮询序列的一部分。数据都在一个通道上收集，而序列中其它通道的输入电压为0 V。

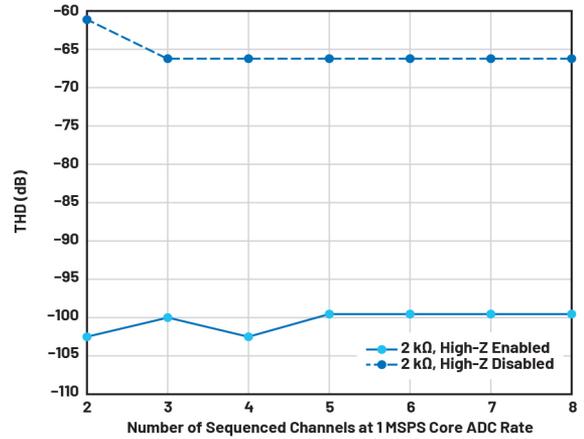


图4. THD与序列中通道数的关系。测试音：1 kHz, -1 dBFS。

图4显示了1 kHz、-1 dBFS信号音下相关信道的失真性能。当通道在禁用高阻的情况下进行排序时，由于采样电容未充电到后续通道的电压水平，因此会出现非线性稳定误差。这会导致严重失真。启用高阻后，失真性能有了很大的改善。

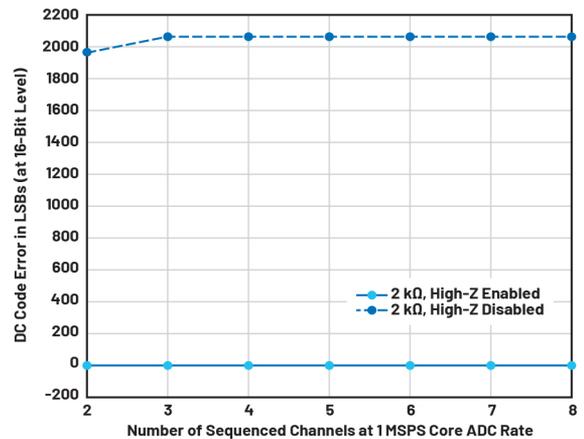


图5. 16位电平LSB中的直流稳定误差。

图5显示了有和没有高阻功能的直流稳态建立误差。在这个测试中，相关的通道具有接近满量程的输入值，序列中的其它通道驱动电压为0 V。在相关通道上进行转换，同时将越来越多的通道添加到序列中，并绘制出平均输出代码与预期代码的偏移。

当核心ADC以低于1 MSPS的吞吐量运行时，用户可能需要进一步降低有效的信号链噪声带宽，来限制模拟前端噪声混叠。这将需要更高的电阻值，而高阻功能非常有助于在这些条件下保持性能。

## 结论

AD4696系列产品采用输入高阻技术为多路复用SAR应用带来了很大的优势，比如降低系统级功耗、减小尺寸和减少元件数量等，同时保持高水平的交流性能和直流精度。这样每个通道不再需要专用驱动放大器和反冲吸收电容。高阻功能本身的功耗与ADC的吞吐量成比例，为系统级设计提供了良好的灵活性和多功能性。AD4696的LTspice模型可用于仿真用户希望设计的任何系统中电荷冲击的影响。

## 致谢

作者在此感谢Asif Ahmad、Peter Hurrell和Tyler Schmitt对本文的贡献。

## 作者简介

Sanjay Rajasekhar是ADI公司电子测试和测量部门的首席模拟设计工程师。他于2008年加入ADI公司，拥有印度NITK-Surathkal大学电子和通信工程学士学位。他专注于高精度SAR和 $\Sigma$ - $\Delta$ 型ADC产品。

Arvind Shankar是ADI班加罗尔印度公司过程控制转换器部门的员工设计评估工程师。他于2013年加入ADI公司，拥有印度果阿邦BITS-Pilani大学的电气和电子工程学士学位和物理学硕士学位。

## 在线支持社区



访问ADI在线支持社区，中文技术论坛  
与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问[ez.analog.com/cn](http://ez.analog.com/cn)

