

引脚兼容的高输入阻抗ADC系列 简化驱动并拓宽ADC驱动器选择范围

作者：Maithil Pachchigar

共享



简介

自动测试设备、机器自动化、工业和医疗仪器仪表等应用需要精密数据采集系统，以便准确分析并数字化物理或模拟信息。系统设计师为了实现高分辨率精密逐次逼近型(SAR) ADC数据手册中列示的最高性能，常常不得不使用专用高功率、高速放大器来驱动其精密应用中的传统型开关电容SAR ADC输入。这是设计精密数据采集信号链时遇到的常见难点，本文介绍的引脚兼容AD4000ADC系列可解决此问题。该系列16/18/20位精密SAR ADC采用ADI公司高级技术和先进架构设计而成，集成了多种简单易用的特性，提供很多系统级优势，有助于降低信号链功耗和复杂性，提高通道密度，而性能并无明显下降。高阻态模式、低输入电流和长采集阶段的独特结合，降低了ADC驱动挑战难度和对ADC驱动器的建立要求。因此，驱动ADC的放大器选择可以拓宽到较低功率/带宽的精密放大器，包括直流或低频(<10 kHz)应用所用的JFET和仪表放大器。本文是《模拟对话》之前发表的文章的后续改写版本，将介绍各种具有较低RC滤波器截止频率的精密放大器，它们能直接驱动该ADC，同时实现最优性能，而且无需专用ADC驱动器级，大幅减少系统功耗、电路板面积和BOM成本。

驱动传统SAR ADC输入

图1显示了构建精密数据采集系统时使用的典型信号链。受开关电容输入结构影响，高分辨率精密SAR ADC的驱动一直是系统设计人员的主要痛点和棘手问题。

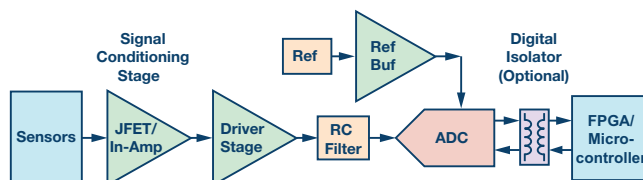


图1. 典型的精密数据采集信号链。

系统设计师需要密切关注ADC驱动器数据手册，了解噪声、失真、输入/输出电压上裕量/下裕量、带宽和建立时间等技术规格。一般地，采用的高速ADC驱动器需要具备宽带宽、低噪声和高功率等特征，以便在可用采集时间内建立SAR ADC输入的开关电容反冲。这项要求会大幅减少可用于驱动ADC的放大器选择，不得不在性能/功率/面积方面进行大幅妥协。另外，选择一款合适的RC滤波器置于驱动器与ADC输入之间，这项要求又对放大器选择和性能构成了进一步的限制。ADC驱动器输出与SAR ADC输入之间需要用RC滤波器来限制宽带噪声，减少电荷反冲的影响。一般情况下，系统设计师需要花费大量时间去评估信号链，确保所选ADC驱动器和RC滤波器能切实驱动ADC，以实现所需性能。

如图2中的时序图所示，SAR ADC吞吐速率(1/周期时间)包括转换和采集两个阶段，ADC产生的数据可利用串行SPI接口在采集阶段输出。在传统SAR架构中，转换阶段通常较长而采集阶段较短。在转换阶段，ADC电容DAC与ADC输入断开，以执行SAR转换。输入在采集阶段重新连接，ADC驱动器必须在下一个转换阶段开始之前将非线性输入反冲建立至正确的电压。由于较低截止频率的RC滤波器，ADC驱动器无法在可用采集时间内消除传统SAR ADC反冲，ADC失真/线性度性能因而下降。

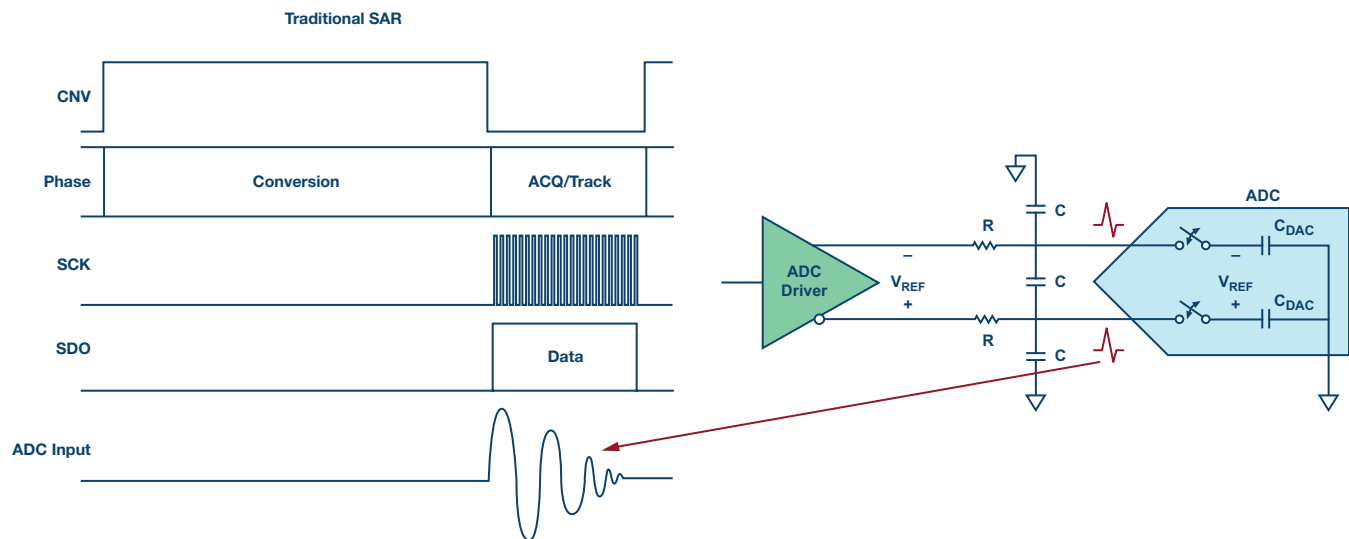


图2. 传统SAR ADC时序图。

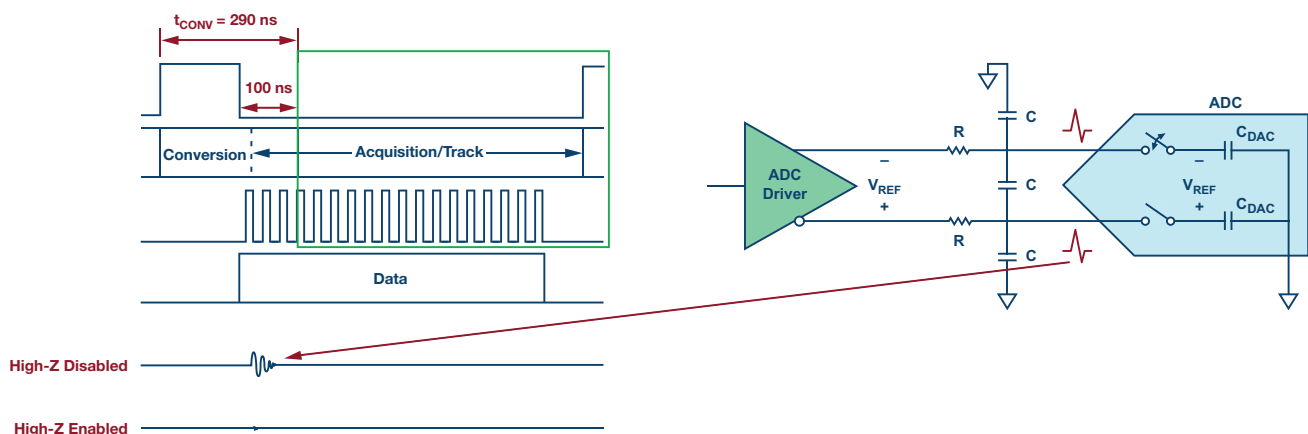


图3. AD4000 ADC系列时序图, 包括输入反冲。

较长采集阶段

AD4000 ADC系列的转换时间非常短(290 ns), ADC会在当前转换过程结束前100 ns返回采集阶段, 因而采集阶段较长, 如图3所示。即使高输入阻抗(Z)模式禁用, 从该ADC系列输入端看到的非线性反冲也显著降低; 当高阻态模式使能时, 非线性反冲降至几乎可忽略不计的程度。这可以降低ADC驱动器的建立时间负担, 并且支持较低的RC截止频率和较大R值, 因此噪声较高且/或功耗/带宽较低的放大器也可以使用。这样便可基于目标信号带宽, 而非基于开关电容输入的建立要求来选择ADC之前的放大器和RC滤波器。RC滤波器可以使用较大的R值和较小的对应C值, 减少放大器稳定性问题, 同时也不会大幅影响失真性能。较大的R值有助于在过压情况下保护ADC输入, 并降低放大器的动态功耗。较长采集阶段的另一个好处是它支持低SPI时钟速率, 从而可以降低输入/输出功耗, 拓宽处理器/FPGA选择范围, 简化数字隔离要求, 而ADC吞吐速率不受影响。

高阻态模式

AD4000 ADC系列集成了一个高阻态模式, 在采集开始时, 该模式可以在电容DAC切换回输入时减少非线性电荷反冲。使能高阻态模式时, 电容DAC在转换结束时充电, 以保持上次采样的电压。这一过程可以减少转换过程的任何非线性电荷效应, 该效应会影响到下次采样前在ADC输入端采集的电压。高阻态模式的好处是无需专用高速ADC驱动器, 可以选择较低功率/带宽的精密放大器, 包括针对低频(<10 kHz)或直流信号的JFET和仪表放大器。

图4所示为AD4003/AD4007/AD4011在高阻态模式使能/禁用时的输入电流。低输入电流使ADC比市场上现有的传统SAR ADC更易驱动, 即便是在高阻态模式禁用的情况下。如果将图4中高阻态模式禁用时的输入电流与上一代AD7982 ADC的输入电流进行比较, 会发现AD4007在1 MSPS条件下的输入电流降低了4倍。高阻态模式使能时, 输入电流进一步降至亚微安级。

此ADC系列较低的输入电流，使得我们能以比传统SAR高得多的源阻抗来驱动它。这意味着，RC滤波器中的电阻值可以比传统SAR设计大10倍。

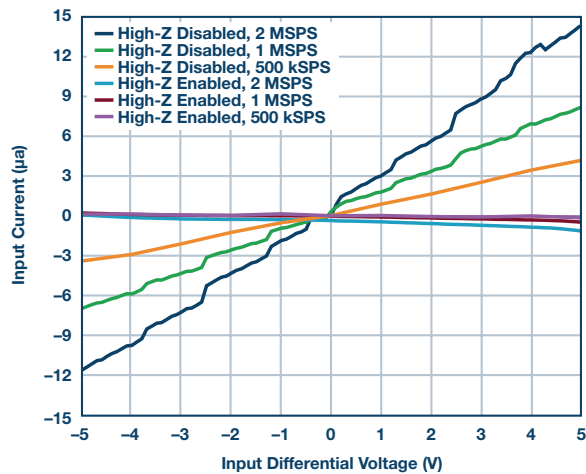


图4. 高阻态使能/禁用条件下AD4003/AD4007/AD4011 ADC输入电流与输入差分电压的关系。

精密放大器直接驱动AD4000 ADC系列

对于多数系统，前端（非ADC本身）通常会限制信号链可以实现的整体交流/直流性能。从图5和图6所选的精密放大器数据手册中可以看出，精密放大器自身的噪声和失真性在某个输入频率下决定了SNR和THD规格。然而，这种带高阻态模式的ADC系列极大地拓宽了驱动放大器的选择范围，包括信号调理级中使用的精密放大器，同时提高了RC滤波器选择的灵活性，而且对于选定放大器，仍能实现最优性能。

图5和图6显示了AD4003/AD4020 ADC的SNR和THD性能，采用低功耗ADA4692-2 ($I_{QUIESCENT} = 180 \mu A/\text{放大器}$)、低输入偏置JFET ADA4610-1 ($I_{QUIESCENT} = 1.5 \text{ mA}/\text{放大器}$)和零交失真ADA4500-2 ($I_{QUIESCENT} = 1.55 \text{ mA}/\text{放大器}$)精密放大器，使用1 kHz输入音驱动ADC输入，基准电压为5V，以最高吞吐速率运行，高阻态模式使能和禁用两种情况，并使用不同的RC滤波器值。使能高阻态模式时，对于260 kHz和498 kHz的较低RC带宽，ADA4692-2和ADA4610-1放大器可实现98 dB以上的典型SNR，这有助于在目标信号宽带较低时，消除来自上游信号链组件的宽带噪声。根据应用要求，设计人员可以选择合适的精密放大器来驱动ADC输入。例如，ADA4692-2轨到轨放大器更适合便携式、功耗敏感型应用，能够直接驱动该ADC系列，同时仍能实现最优性能。

在高阻态模式使能的情况下使用此类放大器时，即便RC带宽低于1.3 MHz，R值大于390 Ω ，AD4003/AD4020 SNR也会提高至少10 dB；RC滤波器截止频率为4.42 MHz时，THD保持在-104 dB以上。注意，该ADC系列可利用最高吞吐速率来进行过采样，从而以较低RC滤波器截止频率实现更好的SNR性能。

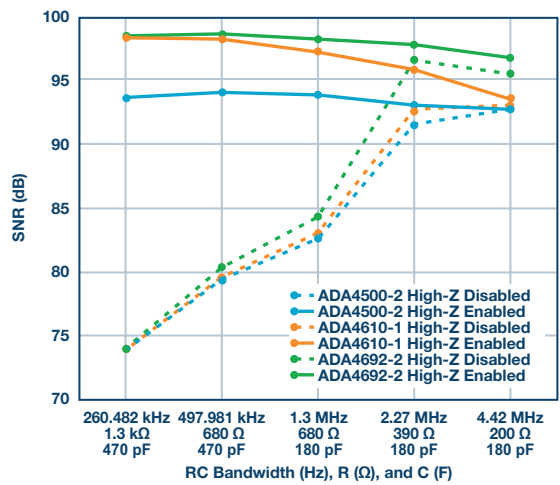


图5. AD4003/AD4020 SNR与RC带宽的关系，使用ADA4692-2、ADA4610-1和ADA4500-2精密放大器， $f_{IN} = 1 \text{ kHz}$ ， $REF = 5 \text{ V}$ 。

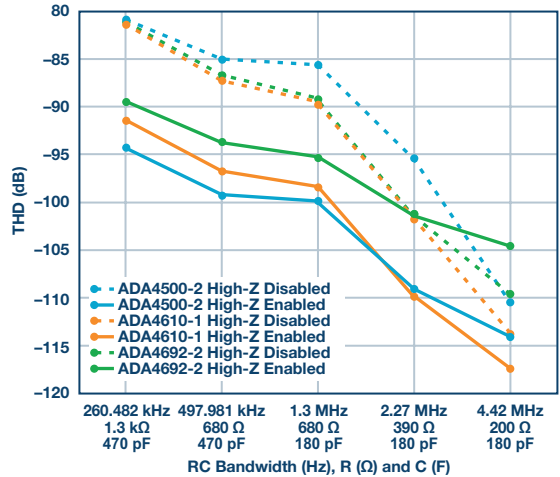


图6. AD4003/AD4020 THD与RC带宽的关系，使用ADA4692-2、ADA4610-1和ADA4500-2精密放大器， $f_{IN} = 1 \text{ kHz}$ ， $REF = 5 \text{ V}$ 。

使能高阻态模式时，AD4003/AD4020通常会消耗2 mW/MSPS至2.5 mW/MSPS的额外功耗，但这仍然显著低于使用ADA4807-1之类专用ADC驱动器时的功耗，而且这还能节省PCB面积和物料成本。系统设计师可以使用功耗低5.5倍的ADC驱动器ADA4692-2（相比ADA4807）；当高阻态模式禁用时，对于2.27 MHz和4.47 MHz RC带宽，此ADC仍能实现约96 dB的典型SINAD。高阻态模式使能时，使用ADC驱动器驱动ADC，SNR/THD性能更好；高阻态模式禁用时，需要权衡ADC SNR/THD性能与RC滤波器截止频率。

仪表放大器直接驱动AD4000 ADC系列

仪表放大器提供出色的精密性能、共模抑制和高输入阻抗，可与传感器直接接口，但小信号带宽一般较低(<10 MHz)。利用SAR ADC和仪表放大器设计精密信号链（如ATE和医疗设备）的客户，在将信号送至ADC输入端之前，通常会使用信号调理或驱动器级，以便转换电平 and 消除反冲。

图7所示为AD8422直接驱动AD4000的简化框图，高阻态模式使能，消除了驱动器级，节省了电路板空间。基于目标带宽选择优化的RC滤波器值600 Ω和25 nF，消除10 kHz以上的宽带噪声。AD8422的REF引脚偏置到V_{REF}/2，并利用ADA4805进行缓冲以实现最佳性能。对于100 Hz和1 kHz输入信号，在增益（通过RG设置）为1（无RG）和10（RG = 2.2 kΩ）时，此信号链提供最优SNR和THD性能。图8和图9显示，当高阻态模式使能，增益为1和10，对于100 Hz输入信号和最高2 MSPS的每种吞吐速率，ADC实现了91 dB以上的SNR和-96 dB以上的THD。从图8和图9可看出，随着ADC吞吐速率降低，采集时间更长，有利于消除输入反冲，因此SNR和THD性能略有提高。

表1. AD4000系列引脚兼容精密SAR ADC

速度	16位， 单端	16位， 差分	18位， 单端	18位， 差分	20位， 差分
2 MSPS	AD4000	AD4001	AD4002	AD4003	AD4020
1 MSPS	AD4004	AD4005	AD4006	AD4007	
500 kSPS	AD4008		AD4010	AD4011	

结语

表1显示了不同速度和输入类型的AD4000系列引脚兼容、低功耗16/18/20位精密SAR ADC，这些器件集易用特性和精密性能于一体，有助于设计人员解决系统级技术难题。

AD4000 ADC系列的高阻态模式、低输入电流和较长采集阶段的独特组合，简化了驱动要求，消除了专用高速ADC驱动器级，有助于节省PCB面积、功耗和BOM成本，同时拓宽了ADC驱动器选择范围。此外，这些特点使得设计人员可根据目标带宽优化RC滤波器值，减轻对宽带噪声、放大器稳定性、ADC输入保护和动态功耗的担心。本文说明了精密放大器的各种使用情形，包括仪表放大器直接驱动该ADC系列输入，并解释了该系列产品如何有助于解决常见系统级问题，而不会显著影响精密性能。

参考文献

Mathil Pachchigar和Alan Walsh。“新一代SAR ADC解决精密数据采集信号链设计的难点。”模拟对话，第50卷，2016年12月。

Maithil Pachchigar [maithil.pachchigar@analog.com]是ADI公司麻萨诸塞州威明顿市仪器仪表、航空航天与国防业务部门的应用工程师。2010年加入ADI公司以来，他致力于仪器仪表、工业、医疗健康和能源行业的精密ADC产品系列工作和客户支持。自2005年以来，Maithil一直在半导体行业工作，并已发表多篇技术文章。Maithil于2003年获印度S.V.国家技术学院电子工程学士学位，2006年获圣何塞州立大学的电气工程硕士学位，2010年获硅谷大学MBA学位。



Maithil Pachchigar

该作者的其它文章：
新一代SAR
ADC解决
精密
数据采集信号链
设计的难点
第50卷，第4期