

用于精准测量和快速信号跟踪的高准确度 SAR ADC

High accuracy SAR ADC for precision measurement and fast signal tracking

Alison Steer

凌力尔特公司产品市场经理混合信号产品

引言

如今，高精度模数转换器 (ADC) 市场主要由 $\Delta \Sigma$ ADC 提供支持，这得益于其高动态范围、精准DC性能及合理的价格。按照设计， $\Delta \Sigma$ ADC采用一个 $\Delta \Sigma$ 调制器和一个位于该调制器之后的数字抽取滤波器对输入信号进行过采样，因而产生低噪声、但缓慢的输出数据速率。过采样的一个额外优势是能够极大地简化外部模拟抗混叠滤波器，从而依赖数字滤波器以决定通带中的频率响应。

1 SAR ADC技术及相关产品

凌力尔特的新式SAR ADC技术把更高的性能带给了精准型应用，在DC规格指标 (INL、DNL、偏移、增益误差和稳定性) 方面可媲美最佳的 $\Delta \Sigma$ ADC，同时保持高采样速率和无延迟操作。快速采样SAR ADC常用于对低带宽信号实施过采样。传统的过采样允许使用一个抽取滤波器 (低通滤波器+降

频采样)，这增加了系统的动态范围。过采样的另一个好处是放宽了对模拟抗混叠滤波器的要求。在未采用过采样的场合，模拟抗混叠滤波器必需具有陡峭的滚降 (陡峭的过渡频带)，由此增加了其复杂性。作为一种选择，过采样允许使用一个简单的低阶模拟滤波器与一个数字滤波器的组合以构成一个具非常陡峭滚降的等效混合模式抗混叠滤波器。然而，因此付出的代价是该滤波任务的负担被加到了主机处理器上，并需要采用一个速度较快的处理器以快得多的速率从 ADC 输出采集数据。

因此，凌力尔特正以不同的方式接近高精度市场；将其专有SAR ADC架构的高准确度和速度与集成型数字滤波器相整合。最新推出的产品是LTC2508-32和LTC2512-24。LTC2508-32是一款具集成型引脚可配置数字滤波器的32位1Msps SAR ADC，专为低带宽、高精度应用而优化。LTC2512-24 是一款具集成滤波器的24位、1.6Msps SAR ADC，其专为较高带宽应用而优化。LTC2508-32在61sps的最慢输出速率下实现了145dB的动态范围，而LTC2512-24的目标则是在50ksps输出速率条件下提供117dB的动态范围。

$\Delta \Sigma$ ADC的一个重要方面是调制器的输出不是直接可用的。就是说，它是一种具整形量化噪声和非常低SNR的低分辨率信号。人们采用各种不同的方法对 $\Delta \Sigma$ 调制器的量化噪声进行整形，将其推送至一个较高的频率 (在此频率上更容易滤除量化噪声)，而让关注的信号占据滤

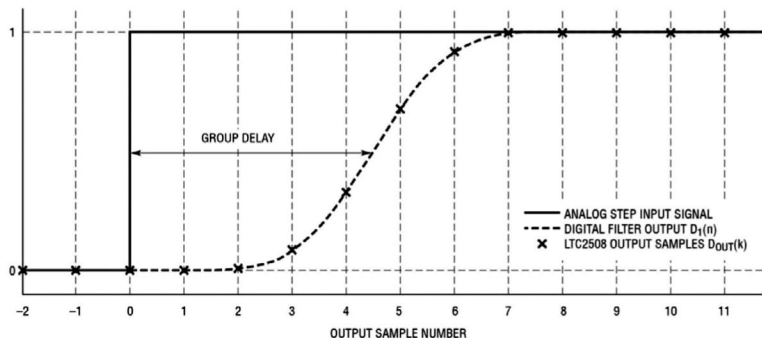


图1 LTC2508-32的阶跃响应

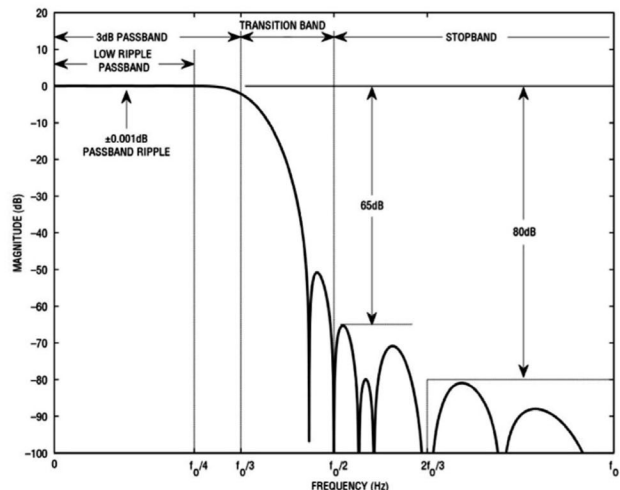


图2 LTC2512-24数字滤波器之频率响应的幅度。 $f_0 = f_{\text{SMPL}}/\text{DF}$

波器通带中的较低频率。接着，对调制器的输出进行低通滤波以产生可用的转换结果。不过，由于其架构的本质， $\Delta\Sigma$ 调制器因其输出频谱中的寄生音调而受到损害。尽管它们可能很努力，但是来自调制器的寄生音调仍然会（而且确实）出现在通带之中。

在存在这些毛刺信号的情况下试图搜索一个小信号几乎是不可能的。逐次逼近寄存器型（SAR）ADC不会遭受该缺陷之苦，并且具有一个接近理想的白噪声功率谱。这将使得SAR ADC成为检测处于非常低能量水平的音调或振动之一种更佳选择。然而，许多SAR ADC在16位至18位分辨率水平上仍然因为DC转移函数中的不连续性而受到损害，因而牺牲了

表1 LTC2508-32中滤波器的特性

SEL1: 降频采样因子(DF)	当 $f_{\text{SMPL}} = 1\text{MHz}$ 时的-3dB带宽	当 $f_{\text{SMPL}} = 1\text{MHz}$ 时的输出数据速率(ODR)	动态范围
00	256	480Hz	3096sps
01	1024	120Hz	796sps
10	4096	30kHz	244sps
11	16384	7.5kHz	61sps

表2 LTC2512-24中滤波器的特性

SEL1: 降频采样因子(DF)	当 $f_{\text{SMPL}} = 1.6\text{MHz}$ 时的-3dB带宽	当 $f_{\text{SMPL}} = 1.6\text{MHz}$ 时的输出数据速率(ODR)	动态范围
00	4	133kHz	400ksps
01	8	66.7kHz	200ksps
10	16	33.3kHz	100ksps
11	32	16.7kHz	50ksps

DC性能。

2 LTC2508-32和LTC2512-24

LTC2508-32和LTC2512-24拥有良好的线性特性，无漏失码。这使得应用能够充分利用经滤波之输出数据的巨大动态范围。

凭借仅为 $22\text{nV}_{\text{RMS}}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的噪声频谱密度，LTC2508-32在24位或32位分辨率下可提供优于任何同类竞争ADC解决方案的噪声性能(图1)。与 $\Delta\Sigma$ 调制器输出不同，这款凌力尔特SAR ADC的输出具有平坦的噪声功率频谱密度，没有需要应付的音调。这意味着数字滤波器可针对最终应用的要求(而不是以滤除调制器噪声和音调为目的)任意地设计。LTC2508-32滤波器是一种“扩展sinc”架构，代表了在阻带抑制和稳定时间之间的一种谨慎选择的平衡。LTC2512-24数字滤波器拥有延伸至 $f_0/4$ (奈奎斯特区的一半)之“不打折扣”的0.001dB通带平坦度。LTC2512-24滤波器过渡区和阻带衰减不如许多 $\Delta\Sigma$ 滤波器那么富有“侵略性”，因而可实现较快的稳定和较小的时域人为干扰。再一次地，使这样的滤波器具有实用性正是因为没有音调。

LTC2508-32提供了4个引脚可选的抽取滤波器，这些滤波器的特性列于表1。4个不同的抽取滤波器使得设计师能够依据应用的选择在带宽和噪声之间进行权衡。对于LTC2508-32的每种配置，该数字滤波器是一种具线性相位响应的低通有限脉冲响应(FIR)滤波器。数字滤波器的输出随后利用对应的降频采样因子(DF)进行降频采样。于是，最终产生的输出数据速率(f_0)等于 $f_{\text{SMPL}}/\text{DF}$ 。在每种抽取滤波器选择中，-3dB带宽与所选的DF值成反比。对于处在 $f_0/2$ 至 $f_{\text{SMPL}} - f_0/2$ 范围内的频率，每种配置提供一个最小80dB的衰减。降频采样因子每增加4倍，ADC动态范围扩大约6dB，从而产生一个从131dB(在 $\text{DF} = 256$)至高达145dB(在 $\text{DF} = 16384$)的动态范围。这相当于一个24位的有效位数(ENOB)。需注意的是，ADC结果受限于一个品质特性噪声过程(即：热噪声)，而非其量化噪声，这一点很重要。这意味着ADC应提供比ENOB至少多几个位，对于一个32位输出字，LTC2508-32提供足够数量的位，以采用整数字节来代表经过滤波的数据。

LTC2508-32的输出始终在10个输出采样中完全地稳定，这与DF无关。当降频采样因子增加时，带宽减小，从而限制了噪声并随后扩大了动态范围。当采用一个数值为256的降频采样因子时，滤波输出的-3dB带宽为(下转第73页)

(上接第67页) 480MHz, 并产生一个3906sps的输出数据速率。在16384 的最高DF条件下, -3dB带宽是很窄的7.5Hz, 可提供最高的噪声滤波水平, 并产生61sps 的最慢输出数据速率。

此外, LTC2508-32还提供了双数据输出流, 即: 输入信号的32位数字滤波版本, 和一个直接来自前端SAR转换器的无延迟、22位复合输出。无延迟输出字由一个代表差分输入的14位代码和一个代表输入共模电压的8位代码组成。无延迟输出在控制应用中特别适用于输入信号的快速跟踪和提供针对不断变化之负载情况的即时反馈。另外, 它还可用于监视输入信号的质量和指示系统故障 (例如: 通过检测有可能被数字滤波器隐藏的强噪声或振荡信号)。该信息可与8位共模值组合使用以提供预见性维护。共模电压的变化也许表示会使上游受扰, 从而导致潜在的设备故障。对于设计人员来说, 这看似两个ADC合为一体, 提供了输入信号的完全匹配表示, 并不受失配或漂移问题的制约。

LTC2512-24提供了与LTC2508-32的很多相似之处, 具有4个引脚可选的抽取滤波器, 如表 2所示。图2示出了数字滤波器从DC至fO (输出数据速率) 的幅度响应。支4至高达32的降频采样因子, 降频采样因子每增加两倍将实现3dB的动态范围改善。LTC2512-24具有相同的22位复合代码输出, 可提供输入信号一种近乎理想的实时表示。对于LTC2512-24, 输出始终在35个输出采样中完全地稳定。

LTC2508-32 是一款面向地震学应用以及石油和天然气勘探的极佳候选方案, 在此类应用中 ADC 必须分辨“埋藏”于噪声中的极低电平信号。LTC2512-24 的较宽带宽和平坦通带可能更适合于心电图 (EKG) 等医疗仪器, 此类仪器既受益于滤波输出的高动态范围, 同时又可利用无延迟输出以提供诸如探头位置等实时信息。对于任何采用了一个必须对输入信号中的变化 (其通过较慢的滤波输出将不会立即显示出来) 做出快速反应的控制环路的精准型应用而言, 这些 ADC 是理想的选择。

