CEM CHINA ELECTRONIC MARKET 中国电子商情

高性能ADC使ATE系统准确度达到全新水平

凌力尔特公司 || 设计经理 Atsushi Kawamoto，资深科学专家 JesperSteensgaard，设计部负责人 Heemin Yang

许多 ATE 系统必须以极高的准确度测量关键参数，因为这类系统的准确度必须远高于它们所测试的器件。新式 ATE 系统要求百万分之一（ppm）的准确度，促使最新信号处理技术取得了突破性进展。这类系统的设计非常复杂，需要性能最高的集成电路组件。在ATE系统中， ADC起到了关键作用，它将信号从模拟域转换到数字域，以进行数字信号处理。ADC 的准确度和性能常常决定了系统的总体准确度和性能。本文讨论突破性数据转换性能在实现新一代准确度更高、成本更低的 ATE 系统时所发挥的作用。

精准ATE系统的要求

精准ATE系统需要高分辨率ADC，以数字化真实世界中的模拟信号。对包括ADC及支持性信号调理电路（例如放大器、滤波器和基准）在内的模拟信号链路而言，一般要求卓越的DC规格（例如：失调、增益和线性度）。

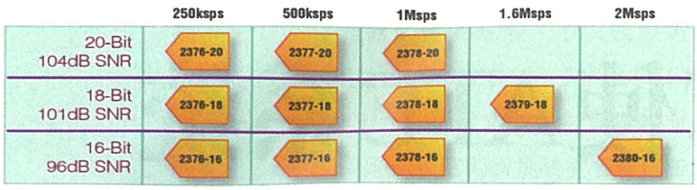
为了实现 ppm级分辨率和准确度，许多精准ATE系统是数字校准的，以消除任何系统级偏移和增益误差。因此，不能进行频繁校准而导致的误差就常常限制了系统的准确度，而且相对于关键参数的静态值而言，系统设计师也许更担心关键参数的潜在漂移。例如，精准ATE系统也许不仅需要在固定温度上达到ppm级准确度，而且需要在很宽的工作温度范围内，达到少于ppm/°C级漂移准确度。

ADC的线性度是影响系统总体准确度的关键因素。模拟输入信号和ADC的内部设计及架构相互影响，关系复杂，ADC的线性度就是由这种复杂关系决定的。ADC的非线性误差极难在系统级校准，因为这类误差从一个数字代码到另一个数字代码变化很大，而且可能与温度有非常强的相关性。整个温度范围内的ADC线性度和稳定性对于精准型ATE系统的总体准确度是极为重要的。

突破性性能

为了应对这些设计挑战，凌力尔特推出了一个20 位SAR ADC新系列，该系列ADC提供前所未有的高性能和高准确度，简化了高度精准的ATE系统的设计。LTC2378-20是该引脚和软件兼容的SAR ADC系列的旗舰产品，在250ksps至2Mspsp采样率时，提供高达20位的无漏码分辨率和高达104dB的SNR。LTC2378-20的DC精确度尤其引人注目：在-40° C 至 +85° C的整个工作温度范围内，对所有代码而言，该ADC积分非线性（INL）误差的典型值小于0.5ppm，并保证小于2ppm。失调误差为13ppm（最大值），偏压漂移为0.007ppm/℃，在漂移为0.05ppm/℃时，增益误差为10ppm。LTC2378-20在提供极高性能

图1 完整的20/18/16位引脚兼容的SAR ADC系列



的同时，还以非常低的功率工作，250ksps 时为5.3mW，1Msps时为21mW。每款器件都采用小型MSOP-16和DFN-16封装。图1对这个新的ADC系列进行了总结。

SAR ADC的特性

SAR ADC的特征是，能在一个模拟输入信号时间内采集精确的瞬像并在一个时钟周期内完成模数转换操作。SAR ADC在异步“start-and-go”操作上表现出色，这类ADC非常容易使用，因为转换结果在同一个时钟周期内立即提供。甚至在很长的空闲周期之后，SAR ADC也能在没有周期延迟的情况下产生准确的转换结果，因此这类ADC非常适合多种精准ATE系统。其他类型的ADC（例如:Δ Σ ADC和流水线型ADC）需要多个时钟周期完成单次转换。

电路架构

LTC2378-20提供有保证的ppm级线性度和准确度，对许多精准ATE系统而言，是一种具颠覆性的产品，改变游戏规则的器件。LTC2378-20运用专有架构设计，该架构确保线性度，并最大限度地降低对温度以及其他工作条件变化的灵敏度。因此，在整个工作温度范围内，LTC2378-20保证提供前所未有的2ppm INL规格。

SAR ADC算法基于二进制搜索原理。把模拟输入采样至一个电容器，并与一个利用SAR算法选择的基准电压之多个分数进行顺序比较。SAR ADC由3个关键组件组成：基于电容器的数模转换器（CDAC）、快速低噪声比较器电路和逐次逼近寄存器。常规SAR ADC的INL性能可能受到CDAC中单个电容器匹配准确度有限的影响，许多精准SAR ADC运用模拟或数字微调方法来改进匹配准确度。不过，随着温度变化以及封装和电路板所受压力的不同，CDAC的电容器匹配总是会劣化，而且有可能限制ADC的线性度。

LTC2378-20采用专有架构，使INL不受CDAC电容器失配的影响，实现了最佳INL性能。这使该器件能极其可靠地应对严酷工业环境中的温度变化和封装压力效应。此外，其比较器电路经过仔细设计，以平衡速度、功耗和噪声，因此LTC2378-20能实现前所未有的104dB信噪比（SNR），在1Msps时仅消耗21mW功率，且不会引入任何周期延迟。LTC2378-20 SAR ADC系列的功耗是与采样率成比例的，因此当以1ksps工作时，这些器件仅消耗数mW功率。

准确度和速度

LTC2378-20实现了以前仅用速度慢得多的ADC架构才能实现的准确度。多通道ATE系统常常用这类速度较慢的ADC架构进行精准 DC测量，多路复用器使一个计量器能服务于多个输入。ADC转换时间常常可以在较宽的范围内调整，以用速度降低换取高分辨率。然而，在采样率高于100ksps时，测得的分辨率常常低于16位。LTC2378-20每秒可以获取数百万个读数，每个读数具有2.3ppm的噪声分辨率（噪声的标准偏差104dB SNR）。同一个模拟信号的多个读数产生的结果可以以数字方式整合，以改进噪声分辨率，并提供超过多斜率ADC 的性能。例如，通过对10个样本块进行平均处理，LTC2378-20实际上工作在1Msps/10 = 100ksps下，并具有一个0.7ppm的噪声分辨率（114dB SNR）。

Δ Σ ADC和多斜率ADC可以配置为在观察/积分时对输入信号进行平均，以抑制噪声和干扰。常常采用100ms的观察期，以同时抑制50Hz和60Hz线频干扰，从而产生每秒仅为10个采样的吞吐量。相应地，一个多斜率 ADC用完整的1秒时间为10个多路复用通道提供了服务。图2所示是以102.4ksps工作的单个LTC2378-20 ADC，其配

图2 LTC2378-20配置为在100ms观察期内同时读取和平均10个模拟输入

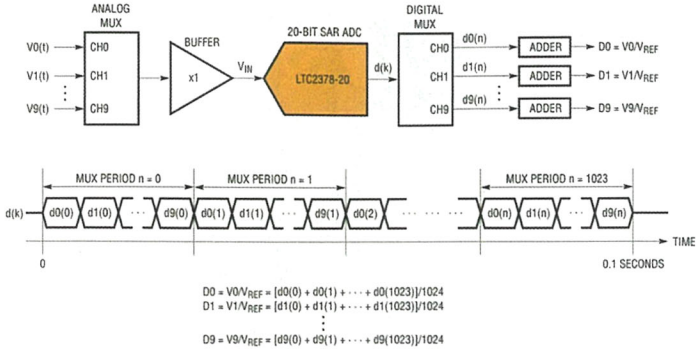


图3a 常规方法：用两个或更多ADC设计系统

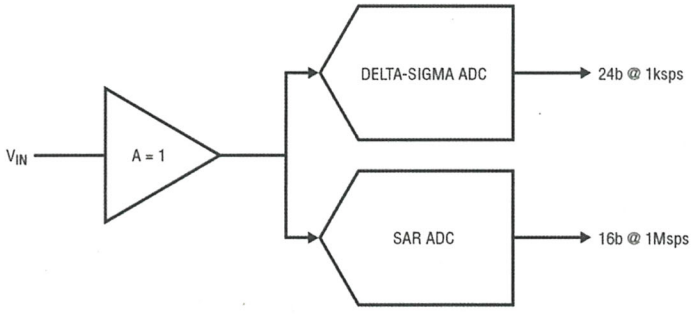
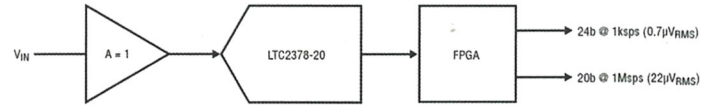


图 3b 可配置的ADC系统：采用 LTC2378-20，并用软件选择吞吐量/噪声，以在高达 1Msps 的采样率实现最佳性能



备了一个多路复用器电路，以在 100ms观察期内同时测量所有10个信号（交错式）。在保持对相应于100ms观察期的线频干扰进行抑制的同时，吞吐量提高了，提高的倍数等于多路复用数（这里是10，可以更大），因而使ATE系统的效率提高了很多。在这个例子中，通过在观察期内对取自每个通道的1024个采样进行平均，提高了噪声分辨率，结果提供22位噪声分辨率（0.07ppm或70nV，rms），这种平均操作可以用简单的加法器完成，加法器用可编程逻辑或处理器很容易实现。因此，LTC2378-20实现了测量速度的极大提高，同时保持了先前架构的关键优势。

因为单个LTC2378-20器件可以取代多斜率设计所需的多个分立式组件，所以提供了宝贵的设计自由度，有助于平衡成本、电路板空间和通道数。用一个或多个LTC2378-20 ADC取代多路复用仪表，可以缩小系统尺寸、减小功耗、降低解决方案成本并提高速度，与传统方法相比改进可达几个量级。此外，由于该器件能够以高达1Msps速率工作于其本机模式，如充当一个奈奎斯特（Nyquist）ADC，因此单个LTC2378-20 ADC非常适用于那些有可能需要使用不止一种ADC的系统。

可配置ADC系统简化信号链路

有些ATE系统可能要求能以很高的精确度和一定的带宽评估信号。更大的带宽意味着更大的噪声，因此这类系统一般需要两个数字数据流：一个具备低噪声、小带宽和高准确度；另一个具备较高的噪声、较大的带宽和较低的准确度。常规方法是针对每个数据流采用单独的 ADC，每个ADC或者是准确度优化的，或者是带宽/噪声优化的，如图3a所示。LTC2378-20同时针对这两个方面进行了优化，因此一个ADC可用于两个数据流。LTC2378-20与数字后端（可以在现场重新配置）联合使用，能以最高达1Msps的采样率提供最佳性能。

当对SAR ADC过采样时，抗混叠要求降低了，就像它们是Δ Σ ADC 一样。历史上，SAR ADC的线性度是无法与Δ Σ ADC 匹敌的。但如今情况完全不同了。LTC2378-20树立了一个全新的标准，其INL 实际上好于Δ Σ ADC。这就在ATE应用领域创造了许多令人振奋的新机会，如图3b所示。一个高性能SAR ADC可以取代两个非常不同且分别优化的ADC，因此极大地简化了系统设计。

结论

精准ATE系统设计有几种新的改进信号链路性能的选择。LTC2378-20是一款20 位SAR ADC，在高转换率（1Msps）和低功耗（21mW）时，提供前所未有的准确度（INL保证为2ppm）和低噪声（104dB SNR）。高准确度、低噪声和无周期延迟相结合，使LTC2378-20可通用于精准测量和控制系统，从而可实现新一代高度准确、灵活和具成本效益的精准型ATE系统。CEM