ANALOG DEVICES
超越一切可能™

ADI精密窄带宽信号链平台解决方案助力系统开发

一直以来，ADI贯彻以客户为中心、以技术为先导的方针，致力于满足不同终端应用需求，提供完整、完善的信号链解决方案。精密信号链开发部门的核心职能之一是推动平台化战略的设计及实施，助力在整个行业中实现创新，实现由传感器到数字、再从数字到传感器的创新，覆盖工业自动化、能源、过程控制、仪器仪表、医疗健康、通信、航空航天、消费电子等多个市场和应用。

ADI深耕数十年，拥有ADC、DAC、放大器、隔离技术、基准电压源、模拟开关与多路转换器等模拟领域专业知识，基于核心精密技术，通过技术组合构建了稳定一致的信号链平台设计。平台化构建具有模块化、可配置、可扩展、高度灵活的特性，适应性强且方便灵活，为需求研究、方案评估、设计过程到验证全过程提供全方位技术支持。信号链平台为用户轻松开启与众不同的设计之旅。

精密信号链平台

传统思路通常以产品为中心，而平台化设计则将技术、整体设计和经验相结合，提供完整的信号链，覆盖基础至高级功能等全方面的应用。平台不仅为用户提供了基本工具，还提供一系列适应性强、灵活度高的设计，便于根据需要进行调整。

除此以外，ADI还提供出色的设计支持、在线工具和培训，包括硬件参考电路设计、示例模型、应用文章、验证电路、应用节点或视频等。所有组件均提供SPICE模型和设计向导，从而优化设计。借助以上资料，用户可缩小选择范围，根据特定应用需求快速完成器件选择、原型构建及生产全过程。精密信号链平台旨在帮助客户降低设计复杂性，助力产品快速投放市场。

图1. 精密信号链平台

带宽精密信号链是ADI平台策略的重要部分，ADI根据应用领域开发了以下七大平台，可在官网查询相关信息：

- 宽带宽精密信号链：以具备宽带宽为前提，测量和驱动大于500 kHz的信号频率时需保持高精度
- 精密窄带宽信号链：此信号链在窄带宽范围内将精密性作为首要因素
- 精密中等带宽信号链：中等带宽信号链侧重于提供直流至500 kHz带宽范围内的检测
- 高压精密信号链：此信号链针对高压环境的应用进行了优化，我们将高于50 V的电压定义为高压，大于200 mA的电流定义为大电流
- 低功耗精密信号链：此类应用多为电池供电，要求尽量降低功耗但不影响捕捉精密检测的信号转换
- 隔离式栅极驱动器和检测信号链：提供可靠的开关控制和可扩展的多通道监测，比如IGBT和快速开关的碳化硅器件的检测
- (ISO)/电流检测/驱动信号链：分为隔离式或非隔离式两种类型，均用于严苛、危险的环境中进行精密的电流测量和管理

精密窄带宽信号链

窄带宽精密信号链优先考虑直流精度，侧重于准确测量直流或低频信号，并尽可能准确地再现所测量设备的真实情况。信号链支持的频率可达10 kHz，具有较高的精度、分辨率、稳定性和可重复性。

构建精密稳定的信号链时，所选器件会尽量确保精度，提供非常出色的动态范围，例如具有出色零点漂移的放大器和基准电压源技术，确保在任何时间、任何温度下都可以得出可重复、可再现的结果。

图2为窄带宽精密信号链平台支持的部分关键应用，此外还包括：

- ATE类型仪器仪表：包括SMU、PMU、V/I、DMM和设备电源等仪器仪表。需注意，信号链的精度会直接影响到整个仪器的准确性，因此将精度作为精密窄带宽平台主要性能；
- 科学仪器：包括电子秤、实验室天平、气/液相色谱仪、地震仪器仪表、地震波检测设备等；
- 工业自动化过程控制，涉及多模式数据采集，采用多种不同的输入并通过控制输入控制整个系统；
- 半导体制造：涉及精密测量电机、控制激光设备、精密的电机控制等。

图2. 精密窄带宽应用示例

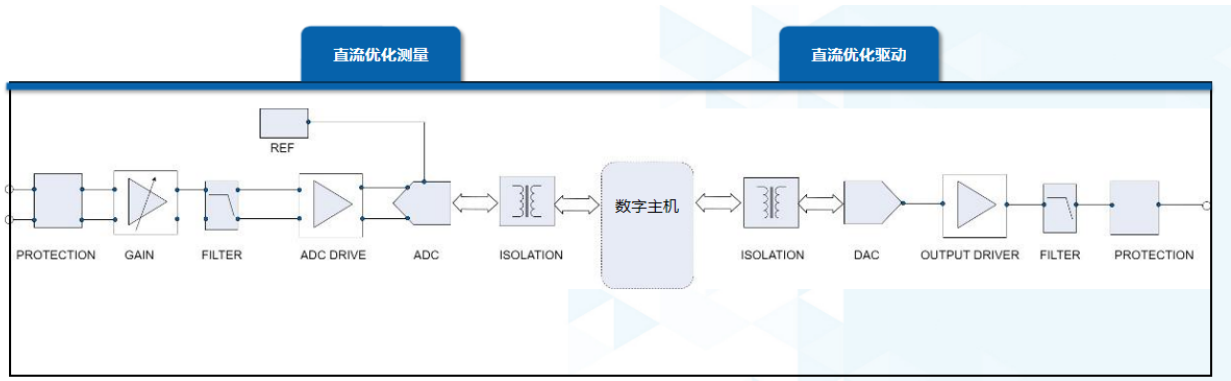


图3. 精密窄带宽信号链

根据应用，可将解决方案分为“测量”和“驱动”两类，测量解决方案是指由模数转换器支撑的信号链，而驱动解决方案则是指先测量或获取信号，再基于测量结果而采取的控制行动。窄带宽精密信号链平台中提供两类方案。

平台解决方案适应性强，使用灵活，可以根据应用进行选择，比如可以根据需求更改输入范围、滤波器带宽或基准电压源技术。

精密窄带宽—适应性电压/电流测量

一、适应性电压/电流测量：超低噪声、超低漂移

图4为超低噪声、超低漂移设计示例，用于测量直流类型信号，解决方案确保了出色的精度、稳定性和可重复性。该信号链支持单端或差分模式及不同的输入范围，使用方便灵活，适合客户的最终应用。此处介绍AD4630-24和ADR1000两款产品。

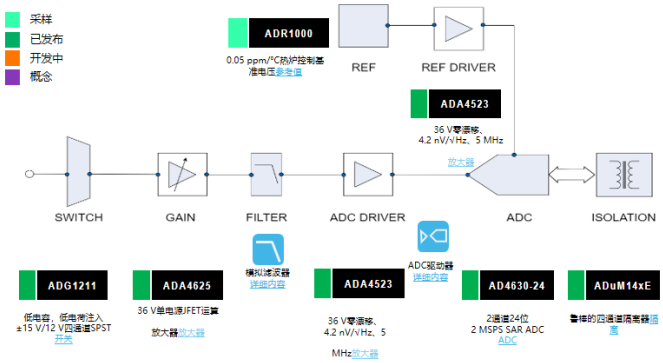


图4. 超低噪声、超低漂移信号链

1. 超低噪声、超低漂移：AD4630-24，采用出色的SAR ADC技术，具有高输入阻抗。使用零点漂移放大器作为ADC驱动器，JFET放大器作为传感器接口器件；
2. 基准电压源：ADR1000，使用恒温补偿埋入式齐纳二极管基准电压源，是LTZ1000升级版本。高端测试和测量设备中要求测量解决方案的精准度须高于被测量电子器件，这款基准电压源在整个测量解决方案中表现稳定。在数字万用表（DMM）或高端计量校准器均有使用。

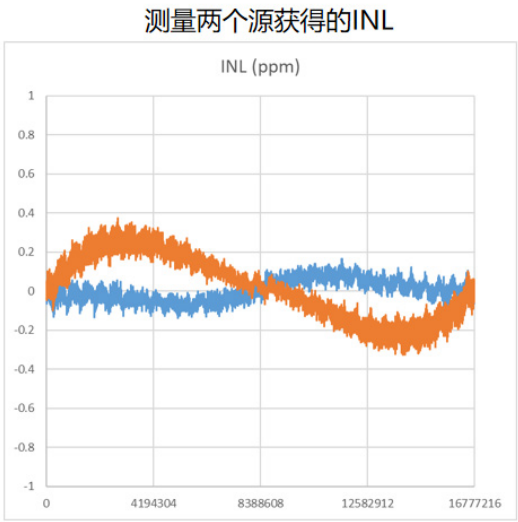
AD4630-24

此处重点介绍下AD4630-24，该产品是2021年11月末推出的一款24位、2 MSPS双通道同步采样新型旗舰款SAR ADC，综合性能出色。两个ADC、基准电压源缓冲器和所有关键解耦电容都集成于7 x 7大小的CSP_BGA封装中，大幅降低了系统面积和功耗。

AD4630模拟输入接口和基准电压源输入接口均经过了简化，系统复杂性显著减小，同时也简化了AFE设计，使用了易于驱动的模式而无需进行阻抗转换。

性能指标：

- 极低INL，-40 °C~125 °C温度范围内INL上限为0.9 ppm，而实验室测试性能指标远优于此上限值；
- 优异的动态范围，在满采样速率和无过采样情况下，每通道动态范围为106 db，相当于噪声谱密度略低于18 nV/√Hz；
- 高能效比，2 MSPS下单个通道功耗仅为15 mW；
- 温度范围内具有较低的漂移误差；
- 精准的首个样本，片内具有用户可编程采样滤波器，抽取率高达65536，相当于可将输出字位扩展至32位；
- Flexi-SPI用户接口，数字接口更加灵活，时序更简单、更宽松：
  - 较低的串行时钟速度下实现高数据吞吐量；
  - 更加灵活地选择输出数据的内容，时间和速度；
  - 提供ADC主时钟选项，确保时序与隔离应用的延迟保持一致，可为时钟选择单数据速率和双数据速率。可使用SDR或DDR输出时钟；
  - 隔离环境中，隔离栅可能会限制数据传输速率，使用Flexi-SPI接口实现与此接近的数据传输速率。



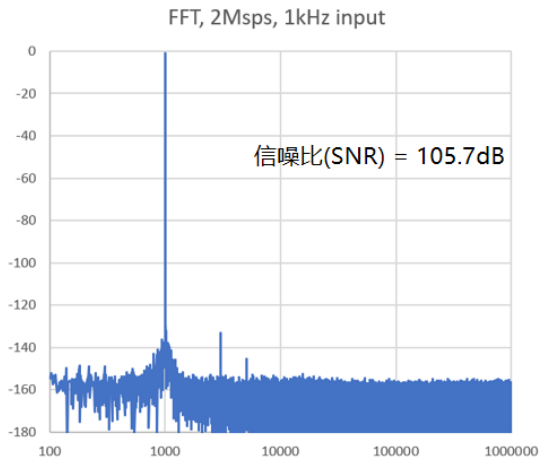


图5. INL测试对比

图5左侧为使用两种不同的源对同一器件进行测量得出的INL，Y轴单位为ppm。蓝色数值在0.2 ppm以内，橙色代表的是实际测量的设备保真度而非ADC保真度，由此看出该ADC具有出色的INL性能。右侧显示ADC在2 MSPS上限时，1 kHz输入情况下得到的SNR，此值为105 dB，具有优异的失真特性。

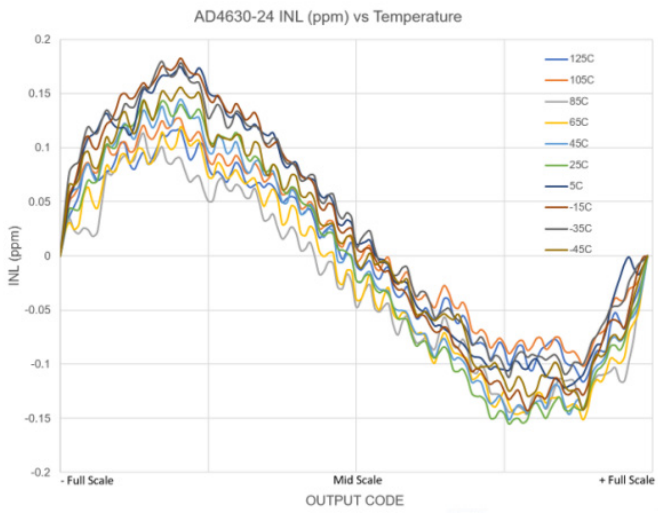


图6. INL与温度的关系

图6为同一器件在不同温度下测量时得出的漂移结果。每条曲线对应一种不同的温度，温度范围为-45 °C至125 °C，可以看出INL并未随着温度的变化而变化，不同温度下该器件的INL都在0.2 ppm以内。

ADI已推出了4630-24双通道2 MSPS ADC，后续将推出双通道16位、单通道24位、采样速率为2 MSPS和500 KSPS的器件，均于2022年发布。

二、适应性电压/电流测量：超高精度、低延迟

要实现低延时，则需要信号具有较快的建立时间，此处设计是通过扩展模拟前端带宽的方法来实现。图7所示信号链提供高输入阻抗、宽动态范围和出色的增益精度，同时支持多种输入范围。

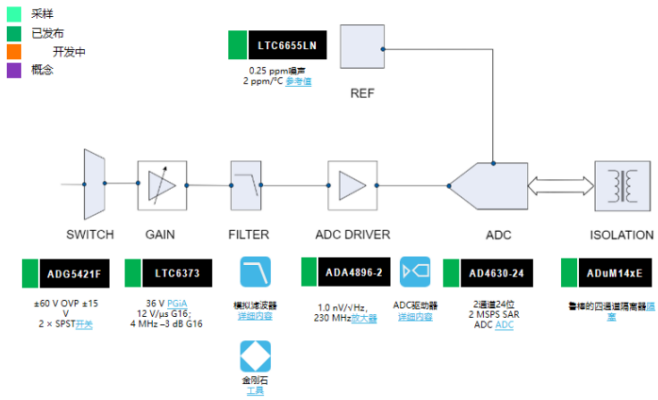


图7. 低延迟信号链示例

图7所示的器件LTC6373，该款产品是新推出的可编程增益仪表放大器，具有更宽的带宽，适合低延迟应用。

如图6所示，部分应用使用基准电压源缓冲器将基准电压转换到ADC的基准电压范围之内。而图7的应用中使用了低漂移、低噪声带隙基准电压源LTC6655，无需外部基准电压源缓冲器，而将ADC内部基准电压源作为缓冲器。

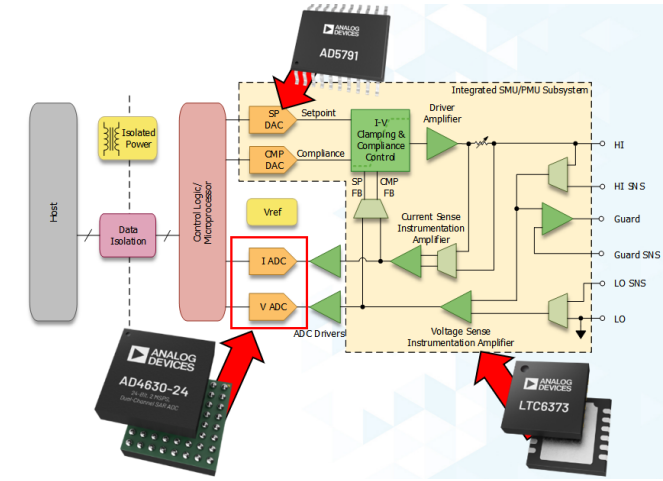


图8. SMU应用示例（低延时）

图8为SMU示例，这是低延迟信号链的典型应用之一，包含电流和电压两种检测信号链。LTC6373和AD4630则是适宜之选，不仅提供高输入阻抗，同时还能准确测量电流和电压。

其它应用如PMU、VI、半导体制造时控制电机或激光设备的控制环路，也就是一般所说的数字控制，低延迟信号链也是很好的解决方案。

三、适应性电压/电流测量：PGIA可配置运算放大器

图9所示的信号链为适应性较强的测量解决方案，信号链具有PGIA可配置增益仪表运算放大器，实现了出色性能、稳定性和精度。除SAR ADC技术外，还融合了32位Σ-Δ技术，具有零漂移模拟前端架构和可配置的数字滤波器，优化了直流测量。此信号链可用于DMM、过程控制温度压力测量、地震勘测设备、色谱仪中，需注意此类应用并不注重延迟指标。

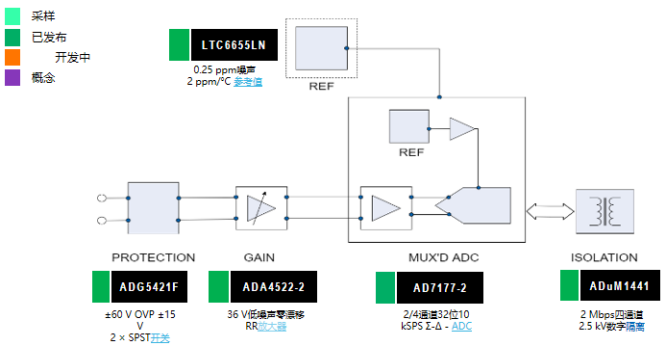


图9. 具有PGIA信号链示例

现对图9示例中的两款器件ADA4522和AD7177进行特别说明：

ADA4522：零点漂移轨到轨放大器，使用32位Σ-Δ型ADC和内部基准电压源，可根据给定设置进行配置

AD7177：该款2~4通道ADC，各通道均配备输入缓冲器，输出数据速率为10 KSPS，具有PGIA可配置运算放大器。AD7177可以实现低频率信号的采样，具有出色的稳定性和精度性能。

精密窄带宽：适应性电压驱动

电压驱动信号链主要用于驱动信号而非获取或测量信号。基于此，对噪声和稳定性进行优化，进而获得具有高精度、高稳定性、可复制、灵活且适应性强的驱动信号链。图10信号链通过分辨率的控制，整体精度得到改善，具有出色的低温度漂移和长期漂移。

此信号链适合SMU、PMU、V/I、电子秤、半导体制造、激光定位器和过程自动化等应用场景。

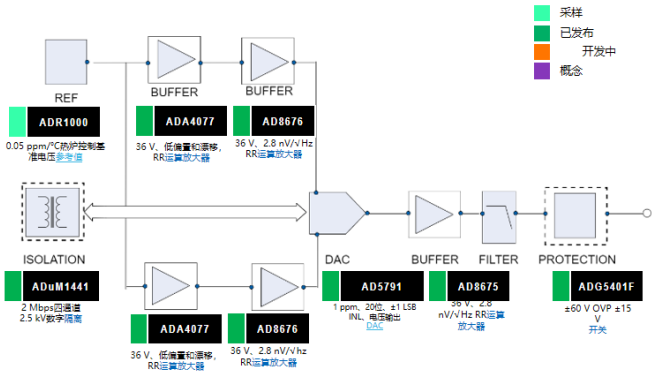


图10. 高直流性能、低漂移驱动信号链

图10中的AD5791值得一提，该款产品是20位、具有1 ppm INL的高精度电压输出DAC。输出噪声为7.5 nV/√Hz，较之前解决方案，噪声性能提升40%。具有±0.04 ppm FSR/°C出色的低温度漂移系数，较之前产品改善了3倍之多，在时间和温度范围内实现了出色的可重复性和稳定性。AD5791基准电压源输入上具有强制性的检测放大器，用于确保满足额定性能。

可以将这个信号链视为精密基准电压源，若需设置某种直流电平及诸如AT仪器仪表、科学仪器和过程控制需要精准控制输出电平的精准应用，AD5791是优选的解决方案。

精密窄带宽：正弦波电压产生驱动器

图11是正弦波电压生成应用信号链，我们可以发现只需进行少量调整，即可从基准电压源输出信号链转变为正弦波电压生成信号链。

图11信号链生成DC至40 kHz的高保真信号，+/-10 V输出范围。采样保持电路从相当稳定的缓冲器改变为由多个组件构成的缓冲器，旨在创建输出正弦波时从DAC生成的信号中去除毛刺电能，可用于执行半导体或音频测试，实现出色的失真性能、噪声及稳定性。

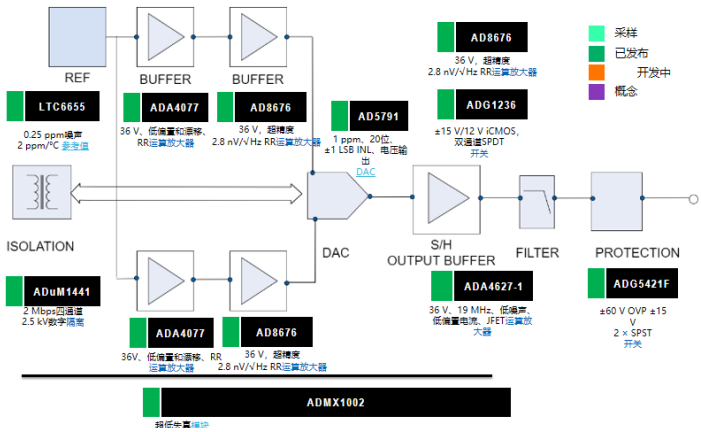


图11. 正弦波电压产生驱动器

表1. 主要产品

器件	规格	应用场合
超低噪声、超低漂移信号链		
ADR1000	烤箱补偿、埋入式齐纳二极管、6.62 V 基准电压源	适用于高精度仪器仪表，万用表，电子秤，电动天平，自动测试设备，测量仪器，标准电池和校准器
ADG1211	低电容、低电荷注入、±15 V/+12 V iCMOS、四通道单刀单掷开关	适用于自动测试设备，数据采集系统，电池供电系统，采样保持系统，音频信号路由，视频信号路由和通信系统
AD4630-24	24位、2 MSPS/500 kSPS、双通道SAR ADC	适用于自动测试设备，数字控制环路，医疗仪器，地震学，半导体制造和科学仪器
低延迟信号链		
ADG5421F	±60 V 故障保护和检测、11 Ω RON、双路 SPST 开关	适用于模拟输入和输出模块，远程控制和分布式控制系统，数据采集，仪器仪表，航空电子设备，自动测试设备，通信系统和继电器替代方案
LTC6373	36 V全差分可编程增益仪器仪表放大器，带25pA输入偏置电流	适用于数据采集系统，生物医疗仪器仪表，测试与测量设备，差分ADC驱动器，单端-差分转换和多路复用应用
ADA4896-2	1 nV/√Hz、低功耗、轨到轨输出放大器	适用于低噪声前置放大器，超声放大器PLL环路滤波器，高性能ADC驱动器和DAC缓冲器
PGIA信号链		
ADA4522-2	双通道55 V、EMI增强型、零漂移、超低噪声、RRO运算放大器	适用于电感、电容和电阻(LCR)计量仪/兆欧计前端放大器，称重传感器和桥式传感器，磁力天平，高精密分流检测，热电偶/电阻温度检测器(RTD)传感器，可编程逻辑控制器(PLC)输入和输出放大器
AD7177-2	32位、10 kSPS Σ-Δ型ADC，具有100 µs建立时间，集成真轨到轨缓冲器	适用于过程控制：PLC/DCS模块，温度和压力测量，医疗与科学多通道仪器和色谱仪
ADuM1441	微功耗四通道数字隔离器，默认高电平（3/1通道方向性）	适用于通用低功耗多通道隔离，1 MHz、低功耗外设接口(SPI)和4 mA至20 mA环路过程控制
高直流性能、低漂移驱动信号链		
AD8676	超高精度、36 V、2.8 nV/√Hz双路RRO运算放大器	适用于精密仪器，PLL滤波器，激光二极管控制环路，应变计放大器，医疗仪器和热电偶放大器
AD8675	36 V、精密、2.8 nV/√Hz轨到轨输出运算放大器	适用于精密仪器，PLL滤波器，激光二极管控制环路，应变计放大器，医疗仪器和热电偶放大器
ADG5401F	故障保护，6 Ω RON带0.6 kΩ反馈通道的SPST开关	适用于DAC 输出保护，放大器输出保护，模拟输出模块，远程控制/分布式控制系统，数据采集和仪器仪表
正弦波电压产生驱动器		
LTC6655	0.25 ppm 噪声、低漂移、精准基准系列	适用于仪器仪表和测试设备，高分辨率数据采集系统，电子秤，精密电池监控器，精密稳压器和医疗设备
ADG1236	低电容、低电荷注入、±15 V/12 V iCMOS、双通道单刀双掷开关	适用于自动测试设备，数据采集系统，电池供电系统，采样保持系统，音频/视频信号路由和通信系统
ADA4627-1	36 V、19 MHZ、低噪声、低偏置电流、JFET运算放大器	适用于高阻抗传感器，光电二极管放大器，精密仪器，锁相环滤波器，高端专业音频设备，DAC输出放大器，自动测试设备和医疗

资源

工具

- 仪表放大器钻石图工具
- 滤波器向导
- ADI DiffAmpCalc™
- 虚拟评估
- 电源管理工具
- ADI线性稳压器设计工具和参数搜索(下载zip文件)
- IBIS模型

视频

- 精密窄带宽信号链解决方案
- LTC6655产品简介视频
- 虚拟评估(VE)教程

技术文章

- 驱动高精度模数转换器
- 参考滤波器将32位ADC SNR提高6 dB
- Σ-Δ型ADC拓扑结构基本原理：第一部分

应用笔记

- 用于低噪声基准电压源的775 nV噪声测量
- 低噪声、精密运算放大器驱动高分辨率SAR ADC
- 20位、1.8 MSPS、±2.5 ppm INL、低漂移、高精度数据采集解决方案
- 高灵敏度飞安测量平台

结论

凭借信号链的灵活性和可调节性，ADI技术可以满足不同终端应用的需求。纵观整个行业或市场，客户群无需具备大量模拟专业知识经验，完全可以借助于完善、完整的开发平台开启设计之路，加快整个设计周期，缩短产品上市时间。

您可登录analog.com/precision获取信号链、参考电路技术设计、模型、工具和相关文章等详细信息。同时ADI还为每个平台构建了中文技术论坛，工程师可通过社区互动，浏览技术博客和应用笔记，用户可获取此类内容解答自身的疑问，了解使用精密窄带宽技术的方法。

ADI智库

一站式电子技术宝库

ADI智库是ADI公司面向中国工程师打造的一站式资源分享平台，除了汇聚ADI官网的海量技术资料、视频外，还有大量首发的、免费的培训课程、视频直播等。九大领域、十项技术，加入ADI智库，您可以尽情的浏览收藏、下载相关资源。此外，您还可一键报名线上线下会议活动，更有参会提醒等贴心服务。

关注ADI智库

在线支持社区

ADI EngineerZone™ 中文技术论坛

访问ADI在线支持社区，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

ANALOG DEVICES 超越一切可能™

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和技术支持，请访问analog.com/cn/contact。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。请访问ez.analog.com/cn。

©2022 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。