

集成多路复用输入 ADC 解决方案

减轻功耗和高通道密度的挑战

作者: Maithil Pachchigar

简介

工业、仪器仪表、光通信和医疗保健行业有越来越多的应用开始使用多通道数据采集系统, 导致印刷电路板 (PCB) 密度和热功耗方面的挑战进一步加大。这些应用对高通道密度的需求, 推动了高通道数、低功耗、小尺寸集成数据采集解决方案的发展。这些应用还要求精密测量、可靠性、经济性和便携性。系统设计人员在性能、热稳定性和PCB密度之间进行取舍以维持最佳平衡, 并且被迫不断寻找创新方式来解决这些挑战, 同时要将总物料 (BOM) 成本降低最低。本文重点说明多路复用数据采集系统的设计考虑, 并聚焦于通过集成多路复用输入ADC解决方案来应对空间受限应用 (如光收发器、可穿戴医疗设备、物联网IoT和其他便携式仪器) 的这些技术挑战。本文提出的低功耗解决方案采用集成式多路复用输入4通道/8通道、16位、250 kSPS PulSAR® ADC [AD7682/AD7689](#), 其提供2.39 mm × 2.39 mm 小型晶圆级芯片规模封装 (WLCSP), 可节省60%以上的板空间, 能够很好地解决高通道密度和电池供电便携式系统的挑战, 同时具有灵活的配置和高精度性能。

多路复用数据采集系统

多通道数据采集系统通常采用不同类型的分立单通道或集成多路复用且同步采样的模拟信号链来与各类传感器 (如温度、压力、振动传感器及基于应用要求的其他许多传感器) 接口。例如: 将多个输入通道复用到一个ADC, 各通道均使用一个采样保持放大器, 以及将多个输入通道复用到一个ADC, 各通道均使用一个ADC以便对各通道同步采样。第一种情况通常使用逐次逼近型 (SAR) 模数转换器 (ADC), 如图1所示。它能节省相当多的功耗、空间和成本, 各通道的输入端可能需要低通抗混叠滤波器, 其通道切换和顺序与ADC转换时间正确同步。第二种情况如图2所示, 可实现的吞吐速率要除以同步采样的通道数, 但采样通道之间仍可以保持恒定的相位。如图3所示, 某

些应用要求每个通道使用专用放大器和ADC并对输入同步采样, 以提高每通道的采样速率并保护相位信息, 代价是板面积和功耗会增加。同步采样ADC通常用于自动测试设备、电力线监控和多相电机控制, 这些应用要求各通道以较高吞吐速率连续采样, 以保护通道之间的相位关系, 实现精确的瞬时测量。

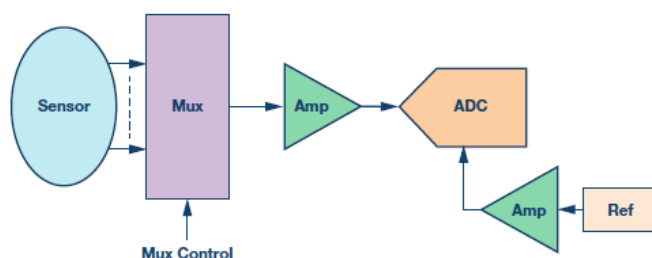


图1. 简化多通道数据采集信号链——第一种情况

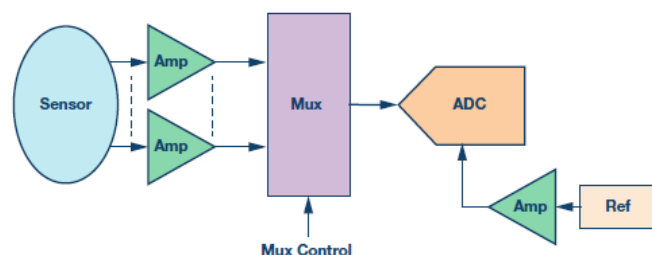


图2. 简化多通道数据采集信号链——第二种情况

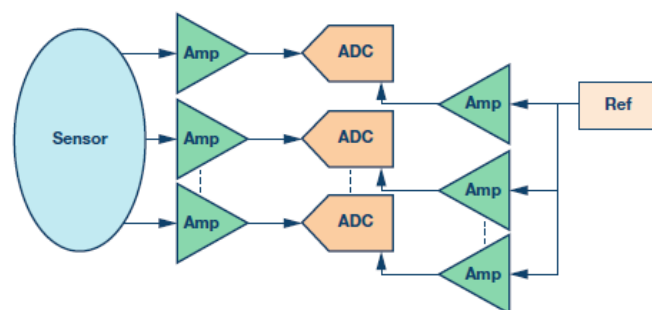


图3. 简化多通道数据采集信号链——第三种情况

多路复用的关键优势在于每个通道需要的ADC数量较少，因而空间、功耗和成本更低。然而，多路复用系统可实现的吞吐速率等于单一ADC吞吐速率除以采样通道数。SAR型ADC具有低延迟和动态功耗与吞吐速率成比例的固有优点。它们常用于通道复用架构，非常适合于检测和监控功能。光收发器模块采用的多路复用数据采集系统需要高通道密度，可穿戴医疗设备要求小尺寸和低功耗，来自多个传感器的信号需要监控，多个输入通道复用到单个或多个ADC。多路复用数据采集系统的主要挑战之一是，当输入切换到下一通道时，它需要快速响应接近满量程幅度的步进输入，以使建立时间或串扰问题最小化。下面介绍基于SAR架构的多路复用输入ADC用于光收发器和可穿戴电子设备的实际例子，其中解释了为什么AD7689是此类应用的理想选择。

光收发器

100 Gbps光收发器市场在未来十年将迎来增长机会，因为它支持高速相干光传输。光收发器的关键挑战是采集并处理更宽带宽的信号，或以更低的功耗在更小的空间中复用多个输入通道。当今收发器最初是针对远程应用而设计的，尺寸、功耗和成本结构限制了其在对成本更敏感的城域网中的使用。城域网包括：都会区域500 km至1000 km、都会核心100 km至500 km和都会接入100 km以下应用。由于城域网竞争激烈，空间溢价相当高，使得线路卡密度异常重要，因此，较低成本的光线路卡或较小尺寸的插接式模块对相干应用越来越重要。

在光网络中，随着每通道的比特率从10 Gbps提高到100 Gbps或更高，光纤非理想因素会严重降低信号质量，影响其传输性能。当光纤缺陷引起光噪声、非线性效应和消散等不利影响时，远程光网络也会产生技术挑战。为了应对这些重大挑战，许多40 Gbps和100 Gbps光收发器制造商使用相干技术来支持更高数据速率连接、最大的覆盖范围和更长的距离，以适应城域远程、远程和超远程网络需求。相干技术一般会整合多级信号格式和相干检测，利用双重极化、正交和相移键控 (DP-QPSK) 优化信号调制，从而抑制较高数据速率时的光纤影响，

使得100 Gbps传输在经济上和技术上可行。下一代100 Gbps（及以上）数据速率光收发器将要求更低的功耗和更小的尺寸，以便提高通道密度，大幅节省空间、功耗和成本。根据具体要求，光系统的通道数通常在8到64之间。对PCB设计人员而言，元件放置和走线布线变得重要起来，尤其是高通道密度系统。

图4显示了通用光模块的简化框图，其中包括发射器、接收器、微型ITLA（集成可调谐激光组件）和数据采集器件。图5显示了微型ITLA的简化框图，它是一种宽带电子调谐激光器件，用于控制快速波长切换。发射器包括Mach-Zehnder驱动器和调制器，用以控制出射激光的幅度或强度。多路复用输入ADC通常用在控制和监测功能中，以便对来自光模块和微型ITLA的多个通道的数据进行数字化。

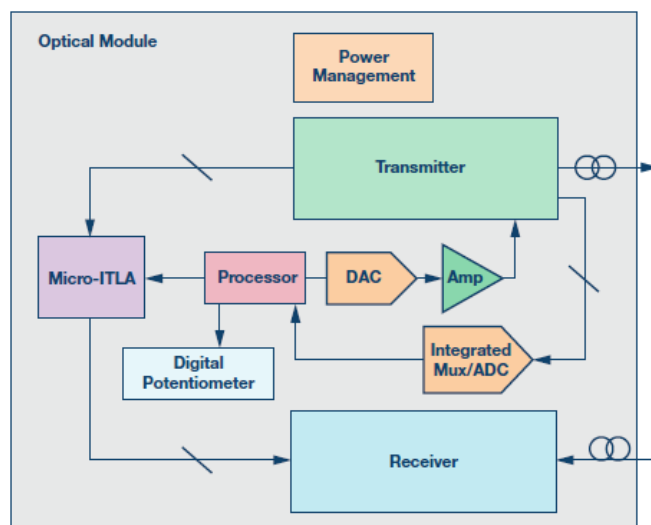


图4. 光模块简化框图

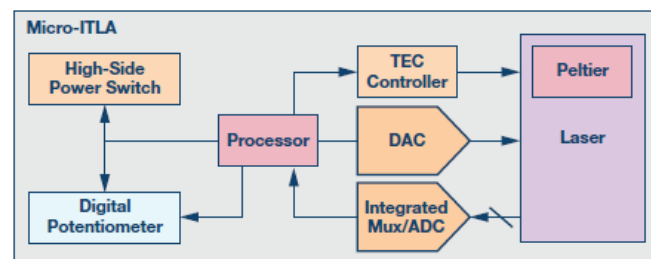


图5. 微型集成可调谐激光组件简化框图

利用可穿戴电子设备监测生命体征

图6显示了典型可穿戴电子设备的简要框图。现代可穿戴电子设备集成了多种传感器来实时精确监测人体多种生物指标。它们提供灵活的用户接口用于数据存储，通过Wi-Fi将数据传输到个人智能手机、平板电脑或笔记本电脑。此类设备利用生物电位、生物阻抗或光传感器来获取有关心率、呼吸速率、血氧饱和度 (SpO₂) 等多种生命体征的信息。声传感器用来提取有关血压和饮食活动的信息，温度传感器用来测量体温。基于MEMS的惯性运动传感器（加速度计）用来跟踪每日身体活动。来自不同传感器的信号需要进行模拟信号调理，然后多路复用器到ADC。根据系统要求，某些信号可能还需要进行同步采样。ADC随后对这些信号进行数字化，处理器或微控制器最终对其进行后期处理，提取有关各种生理指标的信息。

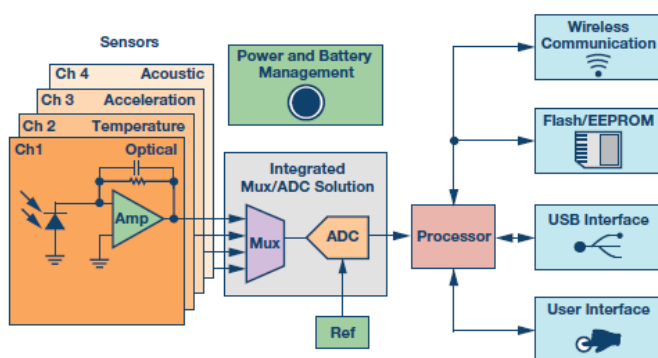


图6. 可穿戴电子设备简化框图

心电图 (ECG) 传统上用来监测心脏活动，这对生理监测和心脏诊断至关重要。然而，智能可穿戴系统使用光传感器和生物阻抗传感器，支持将心率监护仪集成到腕表、腕带或活动追踪器等可穿戴电子设备中。

在光系统中，快速闪烁的红外光透射皮肤表面，光电检测器测量血红细胞吸收的光线。模拟前端调理该微弱信号并将其数字化，然后利用光电脉搏波 (PPG) 技术进行后处理，以提取有关心率、呼吸速率和SpO₂等多种生理变量的信息。

与光等技术相比，生物阻抗传感器的功耗要低得多，因而可延长电池续航时间。生物阻抗传感器可用来测量呼吸速率或皮肤阻抗。通过电极将一个正弦信号注入皮肤（体组织），测量、数字化并后处理流过的微小电流，从而精确解读各种生理信号，如呼吸速率、皮肤电导率或肺积水等。

这些设备需要高集成度、非常敏感、高性价比、高效率、可装入微小模块中的电池供电解决方案。它们必须精确可靠地监测多种生理变量，同时能够更好地抑制运动产生的伪像和外部环境条件，否则真实信号可能被噪声淹没，导致读数不准确。因此，ADC必须具有良好的噪声性能，常常利用过采样或均值法来改善整体动态范围。目标输入频段是从DC到250 Hz，故而ADC采样速率接近数kSPS。

集成多路复用输入4通道/8通道、16位、250 kSPS ADC

AD7682/AD7689是业界先进的集成多路复用输入4通道/8通道、16位、250 kSPS SAR型ADC，采用ADI公司专有0.5 μm CMOS工艺制造。集成4通道/8通道低串扰多路复用器引入的邻道间不匹配极小，支持顺序采样。这些ADC允许选择超低温漂的内部2.5 V或4.096 V精密基准电压源、外部基准电压源或外部缓冲基准电压源，片上温度传感器监控ADC的内部温度典型值。这样就无需外部元件，大幅节省PCB面积和BOM成本。这些ADC内置一个通道序列器，用于逐个或成对扫描通道，内部温度传感器可以重复使能或禁用。其灵活的串行数字接口兼容SPI、MICROWIRE、QSPI和其他数字主机。用户可通过内部14位配置寄存器选择各种选项，包括要采样的通道数、基准电压源、温度传感器和通道序列器。在转换模式、转换后读取模式以及含或不含繁忙指示的转换全程读取模式下，该接口允许执行4线式读操作。AD7682/AD7689非常适合高通道密度应用，例如光收发器、可穿戴医疗设备和其他用于精密检测与监控的便携式仪器。

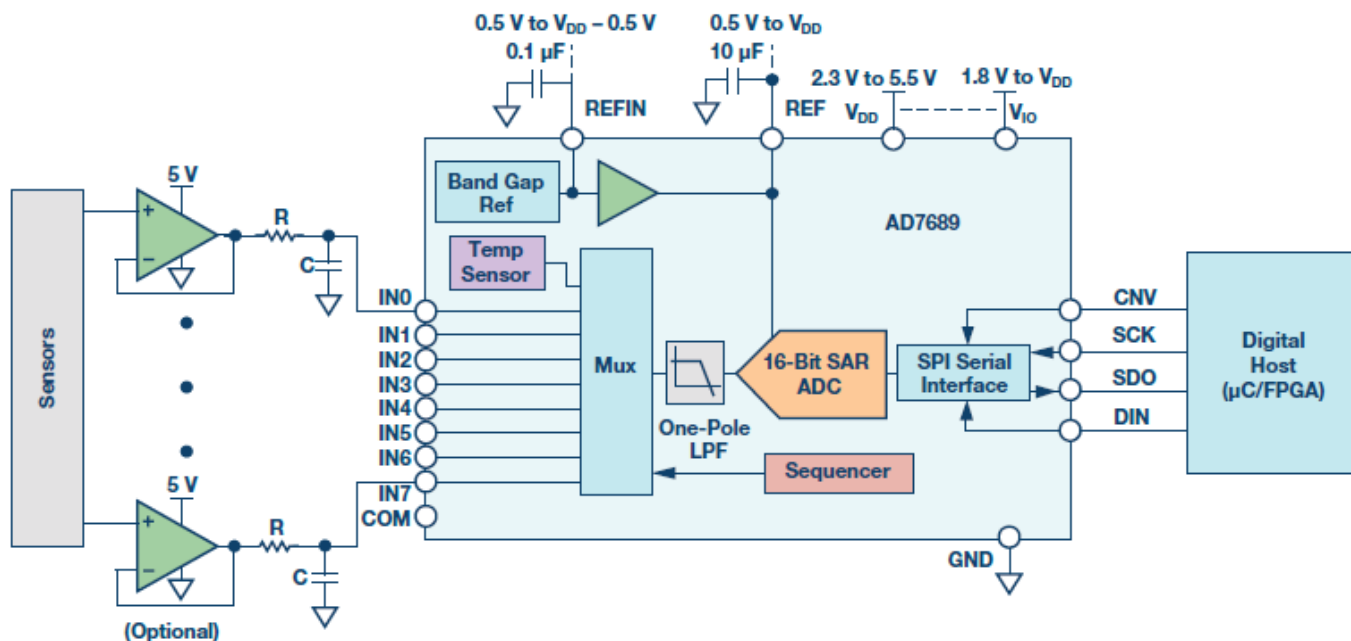


图7. AD7689典型应用框图 (未显示所有连接和去耦)

图7显示了AD7689用于一个多通道数据采集系统的简化框图，其提供易于使用的灵活配置选项和精密性能。它能解决与通道切换、序列化和建立时间相关的复杂设计问题，节省设计时间。

对于多通道、多路复用应用，有些设计人员利用低输出阻抗缓冲器处理多路复用器输入端的反冲影响（取决于所用的吞吐速率）。SAR ADC的输入带宽（数十MHz）和ADC驱动器的输入带宽（数十到数百MHz）高于采样频率，而所需输入信号带宽通常在数十Hz到数百kHz范围。因此，根据系统要求，多路复用器输入端可能需要单极点低通RC抗混叠滤波器来消除不需要的信号（混叠），防止其折回到目标带宽中，从而限制噪声并减轻建立时间问题。各输入通道使用的RC滤波器值应根据以下取舍关系精心选择（因为过多的限带可能影响建立时间并增加失真）：电容较大会有助于衰减多路复用器的反冲影响，但也可能会降低前一放大器级的相位裕量，使其变得不稳定。为使RC滤波器具有高Q、低温度系数，并且在变化电压下具有稳定的电气特性，建议使用C0G或NP0型电容。应选用合理的串联电阻值，以保持放大器稳定并限制其输出电流。电阻值不可过大，否则多路复用器反冲后ADC驱动器将无法对电容再充电。

小尺寸

AD7682/AD7689现可提供2.39 mm × 2.39 mm、引脚兼容、晶圆级芯片规模封装 (WLCSP)，它比现有4 mm × 4 mm引线框芯片规模封装 (LFCSP) 或其他同类竞争器件小60%以上，故而在很小的系统空间中实现更高的电路密度。图8所示为小型WLCSP尺寸与标准6 mm铅笔尺寸对比图。



图8. AD7682/AD7689晶圆级芯片规模封装与标准铅笔的尺寸对比

AD7682/AD7689 WLCSP芯片的有源侧在反面，可以利用焊球连接到PCB，图11显示了PCB装配后的芯片尺寸。PCB装配后芯片表面与基板之间的实际距离（离板高度）与印刷在基板上的阻焊网和焊盘直径有关。

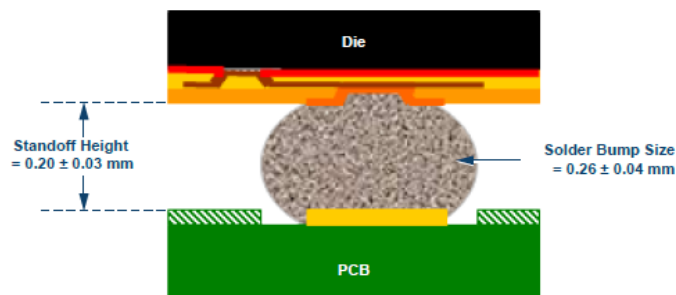


图9. PCB装配后的AD7682/AD7689 WLCSP尺寸

低功耗

AD7682/AD7689需要一个模拟和数字内核电源 (V_{DD}) 以及一个数字输入/输出接口电源 (V_{IO})，以便与任何介于1.8 V和 V_{DD} 之间的逻辑直接接口。 V_{DD} 和 V_{IO} 引脚也可以连在一起以节省系统所需的电源数量，并且它们与电源时序无关。这些器件采用5 V (V_{DD}) 和1.8 V (V_{IO}) 电源供电，其功耗与吞吐速率成线性比例关系，故而可以实现非常低的功耗：在采用外部5 V基准电压源的情况下，100 SPS时的典型功耗约为1.7 μ W，250 kSPS时为12.5 mW，如图10所示。因此，该ADC具有高效率，对高低采样速率（甚至低至数Hz）均适合，能够很好地支持便携式和电池供电系统。该器件的重要特性之一是其会在每个转换阶段结束时自动关断，仅消耗非常低的待机电流（典型值50 nA），因而在不使用器件时可以节省电池电量，延长电池续航时间。

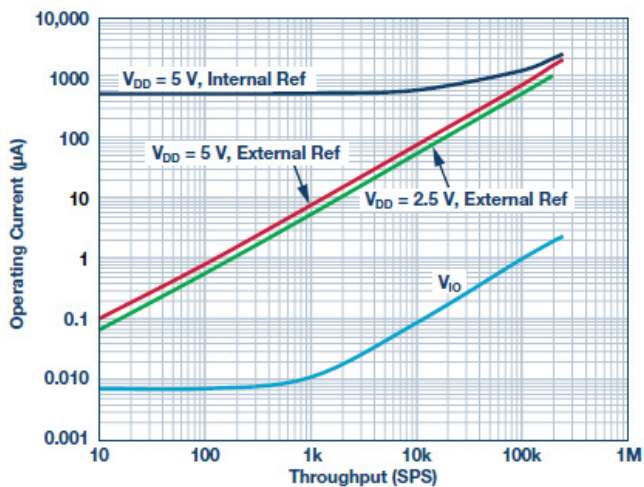


图10. AD7682/7689工作电流与吞吐速率的关系

精密性能

对于需要多个AD7682/AD7689器件的应用，使用内部基准电压缓冲器缓冲外部基准电压会更有效，这样能降低SAR转换串扰。由于内部基准电压限制在4.096 V，因此使用5 V外部基准电压源时SNR性能最佳。对于2 kHz输入信号音，采用5 V外部基准电压源且以250 kSPS全速运行时，它提供出色的交流和直流性能：INL为 ± 1.5 LSB，信纳比（SINAD）约为93 dB，有效位数（ENOB）约为15.2位。图11显示了给定外部基准电压下SNR、SINAD和ENOB的典型性能。

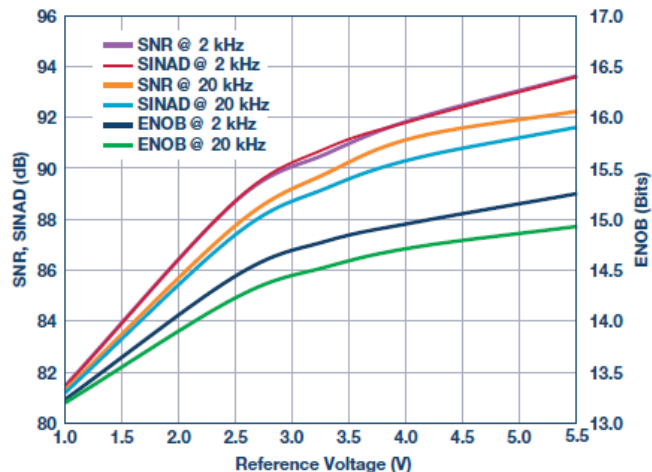


图11. AD7682/7689 SNR、SINAD和ENOB与基准电压的关系

结论

下一代插接式光收发器模块和其他便携式系统需要高效率、小尺寸、低成本数据采集系统。AD7682/AD7689提供业界先进的集成度和精密性能，支持广泛的传感器接口，设计人员利用这些器件不仅能满足苛刻的用户要求，还能实现系统的差异化。这种高效率集成ADC解决方案能够应对空间受限应用的高电路密度和热功耗挑战，与现有LFCSP和竞争产品相比可节省60%以上的空间，对高低采样速率应用都很合适。

Maithil Pachchigar [maithil.pachchigar@analog.com]是 ADI 公司位于美国麻萨诸塞州威明顿市的仪器仪表、航空航天与国防业务部门的应用工程师。他于 2010 年加入 ADI 公司，从事仪器仪表、工业、医疗保健和能源行业的精密 ADC 产品相关工作和客户支持。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。他于 2006 年获得圣何塞州立大学电气工程硕士学位，并于 2010 年获得硅谷大学 MBA 学位。



Maithil Pachchigar

该作者的其它文章：

[用于高温电子应用的低功耗数据采集解决方案](#)

第49卷第3期