

解决方案

状态监控CbM系统中捕获同步数据的挑战及解决方案

随着AI和机器学习的发展，状态监控越来越多地应用于各种市场中，如发电、汽车、航空航天和制造业。状态监控作为一种维护策略，利用传感器来监测机器，可以比人类更早地发现故障，旨在避免意外停机、延长机器寿命，优化性能并且提高输出质量。

多传感器的结合及其各传感器通道数据的准确度和相关性决定着状态监控系统分析结果的可靠性。故障检测智能质量依赖于每个通道的时序和通信，因此同步数据采集至关重要，而捕获同步数据也具有一定的挑战性。

本文旨在讨论信号链及其隔离系统中同步数据采集的常用技术、存在的挑战、以及应对这些挑战的优化解决方案。

状态监控概述

振动检测是状态监控系统中最常用的检测方式，当多种检测技术结合使用时则可能监测机器的更多位置或部位，或增加了其它检测方式，如图1对电机的监测中除了常规的振动传感器外还增加了电流传感器和麦克风声学传感器，通过综合分析和处理来自不同传感器的数据得出更准确的诊断结果。这要求采集数据时保持一定程度的同步。不同类型的传感器可能对特定故障更为敏感，同时在固有隔离性能和耐用性方面也各有优势。

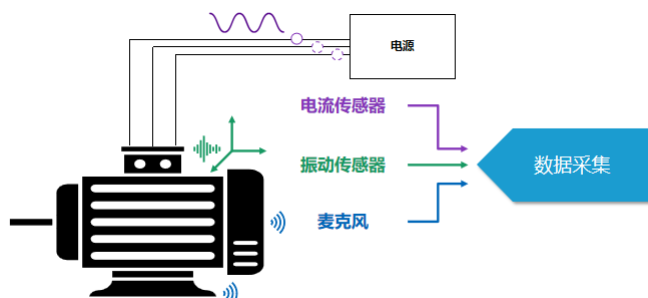


图1. 多传感器监测对电机的监测

图2进一步示例了多种检测技术的应用：通过振动模式和频率来判断机器的未对准；通过X轴和Y轴加速度计的相位信息插值来确定轴承故障的确切位置，以此定位存在缺陷的轴承；通过监测三相电机各相的电压和电流来发现电机的早期故障迹象，并且通过三相数据的同步采集来确保运行期间电流和电压平衡，以此来优化电机操作的控制和能效。

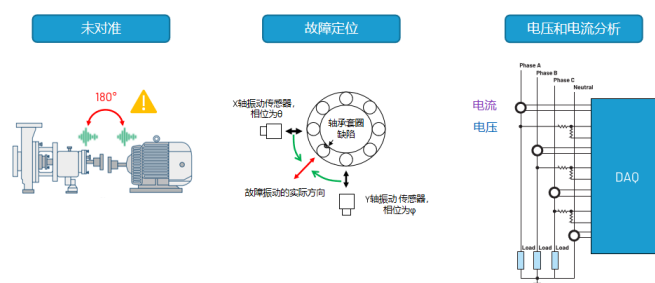


图2. 多传感器同步数据捕获的应用

实现数据采集同步的最简单解决方案是使用多通道同步采样ADC。所有ADC通道都由器件内路经过优化的同一时钟信号触发，因此它们的数据转换会同时触发。

多通道同步采样ADC及挑战

在SAR 和SD ADC (Sigma-Delta ADC) 多通道ADC中，SAR ADC的孔径延迟匹配是指任意两个通道之间转换周期的时间延迟差值，这源于采样保持电路的孔径。收益于器件本身更高分辨率和具有数字滤波器选项，状态监控系统中SD ADC的使用更为普遍，其既适合进行基于时间的分析也适合进行基于频率的分析。SD ADC更常用的术语是通道间相位匹配（或失配），“失配”基本上等于匹配值的一半，其中相位延迟是通过使用某个频率来测量的。

在振动和音频应用中，该规格可能是以某个频率下的“度数”来表示而不是“秒”单位，从秒到度的转换可以使用图3所示的

公式。状态监控系统的供应商可能提供相位的匹配规格，其值在20kHz时低至1度。虽然同步采样ADC的相位失配非常小，但整个信号链中可能存在更大的相位失配误差源。

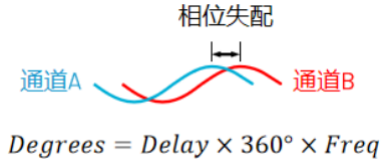


图3. 相位失配示例

多通道采样ADC相位失配原因

多通道采样ADC的相位失配会发生在不同的节点，首先是输入级，比如高阻抗放大器，不同器件之间可能存在不匹配，并且相位延迟因增益设置不同而不同。其二是ADC驱动级，它可能有附加的抗混叠滤波器。图4右边示出频率响应，DTSD ADC（离散时间sigma-delta ADC）在采样频率的倍数处无法有效地抑制混叠，因此系统可能容易受到带外干扰的影响而有可能破坏目标CbM信号。为了提升这些频率下的抑制能力，ADC驱动级采用模拟抗混叠滤波器。例如，设计一个二阶巴特沃兹滤波器，其在16MHz的采样频率下具有80dB的抑制能力，3dB带宽为160kHz，使用1%容差的电阻和电容，在20kHz时可能会有+/-0.15度的相位失配。最后，ADC的数字隔离可能会引入额外的延迟和抖动，但对于像状态监控这样的中等带宽应用来说不那么严重。

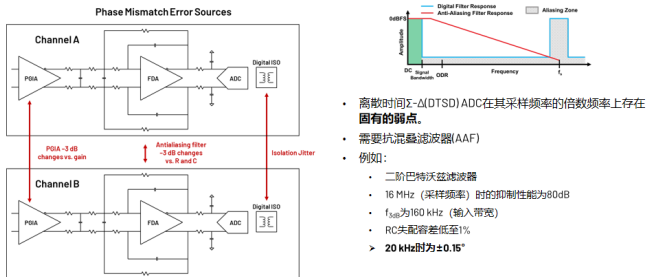


图4. 相位失配的原因

多通道ADC采样相位失配问题的解决方案1: 相位校准

为了校正相位失配，一些多通道ADC具有相位校准功能，例如AD7768和AD4134。通过延迟每个通道的内部同步和数据采集，可以抵消每个通道的模拟前端引入的相位延迟。图5所示的AD7768和AD4134能够将每个通道在20kHz时的相位失配校准到1度以下。

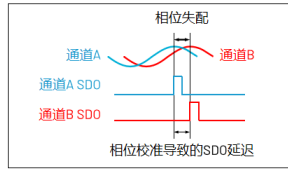


图5. 相位失配问题的解决方案1: 相位校准

| 不同ADC的相位校准分辨率 | | |
|----------------|---------------|--------|
| | AD7768/7768-4 | AD4134 |
| 20kHz时的相位校准分辨率 | 0.88° | 0.3° |

多通道ADC采样相位失配解决方案2: 采用连续时间Σ-Δ(CTSD)

另一种有效减少相位失配的解决方案如图6所示，采用连续时间Σ-Δ(CTSD) ADC，不再需要模拟抗混叠滤波器。CTSD的特性与DTSD大致相同，但CTSD的架构自带抗混叠滤波器，因此不需要DTSD通常需要的高阶模拟滤波器级。得益于数据手册保证的相位匹配性能规格，整体系统设计得到了极大简化。

鉴于CTSD的诸多优势，是否再选择传统的DTSD取决于具体应用。当前技术下的DTSD的功耗较低，并且能够根据所需的噪声性能更轻松地调整其功耗。如果某些通道在分辨率较低的情况下可以降低功耗，那么DTSD可能比CTSD更省电。

以上阐述我们已了解到使用多通道同步采样ADC通常足以满足同步数据采集的需要。

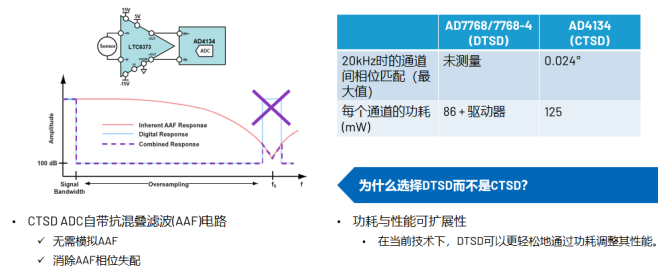


图6. 相位失配问题的解决方案2: 采用连续时间Σ-Δ(CTSD)

多通道ADC采样相位失配解决方案3: 封装

ADI的μModule产品在封装层面也解决了相位失配问题，与同步采样ADC的相位性能相当，就尺寸而言，μModule产品只有采用分立元件的同类产品的1/10。通过利用iPassives网络实现四阶抗混叠滤波器，实现了器件之间的精确相位匹配性能。

ADI技术使用iPassives电阻在制造中实现精确的电阻匹配，图7示例用颜色渐变来表示电阻的差异，若使用来自两个不同晶圆的红色电阻，其电阻值可能有显著不同，而灰色iPassives电阻可能具有非常相似的电阻值和漂移性能。这意味着RC滤波器带宽受到严格控制，在不同温度下都能保持稳定，从而确保各通道之间相位精确匹配。μModule通过使用iPassives，解决了物料清单和组装方法引入的相位失配问题，树立了传统分立信号链无法达到的新性能标杆。

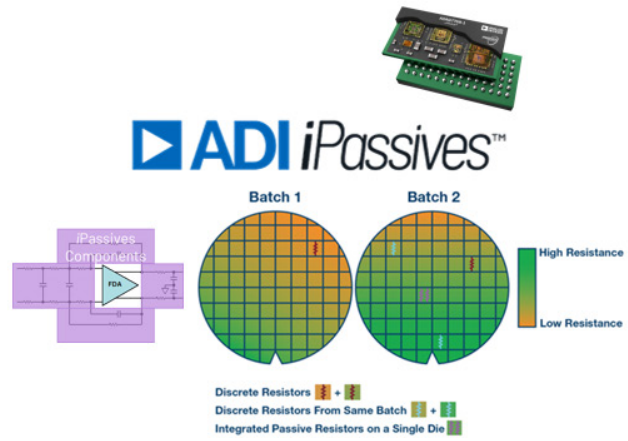
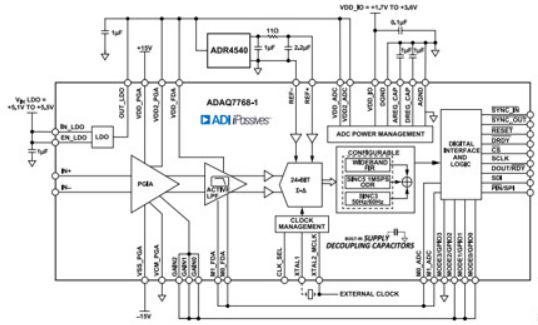
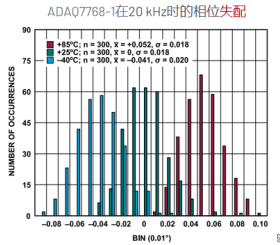


图7. ADI iPassives增强性能的μModule示例

图8示例了ADAQ7768-1器件间相位匹配性能，与多通道ADC的相位校准分辨率相当：25°C时失配的σ值为0.018度，就最大相位匹配而言，结果为0.22度。使用ADAQ7768-1是实现通道间隔离的解决方案，它们具有相同的同步输出引脚，可使用此引脚通过SPI写入同步指令来同步所有通道。



| | AD7788/7768-4 DTSO多通道 | AD4134 CTSIO多通道 | ADAQ7768-1 DTSO 单通道 |
|----------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------|
| 20kHz时的通道间相位匹配 (最大值) | 未测量 | 0.024° | 0.22° |
| 20kHz时的相位校准分辨率 | 0.88° | 0.3° | |

*ADAQ7768-1相位匹配 (最大值) = ±6 σ
*相位匹配 = 失配 * 2

图8. 相位匹配性能示例

多通道ADC挑战—接地环路

在一些应用中我们可以看到这种系统架构面临一些挑战。以前述检测“未对准”案例为例，若在泵侧和电机侧使用外壳接地的加速度计并将其连接到数据采集仪器的同一公共端，由于这些机器采用金属表面则可能会形成接地回路，当系统中有多于一个接地点时就会出现接地环路，其中可能存在电位差，这会导致感应电流沿着电缆流动并耦合来自电力线和附近机器的电磁噪声。为了正确接地，理想情况下从系统中的任何点到地应该只有一条路径。为了消除接地环路，可以在传感器侧或仪表处实现电隔离。

也可以考虑一种更实用的设置，即使用带屏蔽的电缆。为了提供电磁场保护，电缆屏蔽应该接地。如果传感器被隔离，电缆屏蔽可以在仪表处接地。

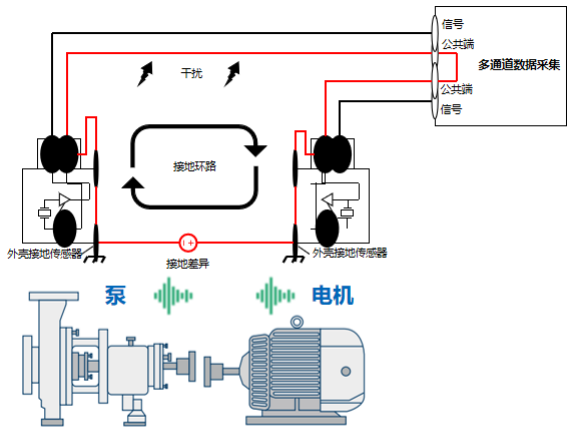


图9. 多通道ADC挑战：接地环路

多通道ADC接地环路解决方案—隔离

对于图示10所示的集成电子压电 (IEPE) 传感器的隔离，有些可以利用涂层垫等隔离材料实现外壳隔离，或者使用隔离基座与金属表面隔离，这种情况仍然可以使用多通道ADC，但每个传感器的隔离要求可能会导致成本显著增加，尤其是在有大量通道的情况下。

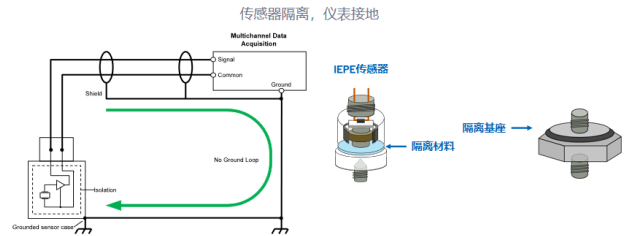


图10. IEPE传感器的隔离方式

如果信号在传感器处接地，那么可以在两个域中对仪表进行隔离。图11显示了的单通道ADC实现隔离的方案。

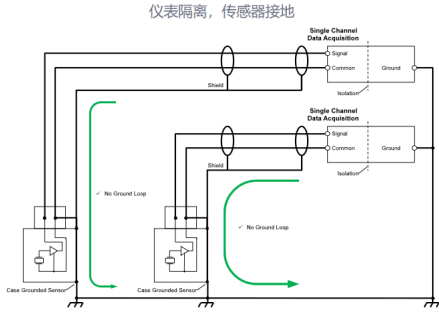


图11. 单通道ADC实现隔离示例

一般在仪表上实现带有电源和数字隔离器的单通道ADC两种方案，模拟隔离和数字隔离，如图12所示。首先，可以使用隔离放大器在模拟域进行隔离。例如，如果连接到分流器，那么隔离放大器可以处理分流器的高共模电平，通过在ADC之前的放大器处进行隔离，ADC就不太可能被瞬变和高电压损坏，然而，模拟隔离会引入更高的非线性和噪声，这会降低信号链的精度。

其次是在数字域进行隔离，即在模数转换之后进行隔离。由于信号失真较小，因此精度更高，这和我们在状态监控中所追求的目标一致，同时也是一种成本更低的选择。需要注意的是ADC更容易受到瞬态事件的影响，所以需要更多地了解环境情况。数字隔离一般都是使用带有电源和数字隔离器的单通道ADC。为了避免前面所示的接地环路，当两个或更多通道在传感器处接地时，使用单通道ADC来实现通道间隔离，这是在设计通用数据采集模块时通常需要的功能。虽然需要额外的电源和数字隔离器，但与额外的传感器隔离方案相比，这种解决方案更加经济实惠。

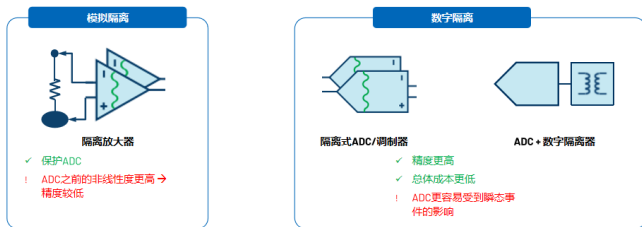


图12. 模拟及数字隔离

状态监控系统可能需要符合一定的标准，这些标准要求满足隔离等级，从而保护人员和设备的安全。隔离对于危险环境中的系统非常重要，例如暴露在雷击之下的风力涡轮机，因此隔离技术在应用中具有实在意义。

单通道ADC及其同步

使用通道间隔离的单通道ADC，也需要解决考虑相位失配问题。为了尽可能减少单通道SD ADC通道间的相位失配，一般是通过多种方式实现同步。

图13显示的常用方法是使用来自控制器的共享MCLK和同步脉冲。同步脉冲通常用于复位数字滤波器，并用作有效数据开始转换时的时间参考。使用AD7768-1单通道ADC实现的同步提供了可用的同步输出引脚，该引脚允许SPI写操作触发同步输出脉冲，此脉冲与MCLK信号同步，通过将同步指令同时写入所有通道实现所有通道的同步。这种方案无需来自控制器的同步线，从而减少了跨隔离栅的数字走线数量。虽然在单通道ADC中可以实现同步，但仍需要注意它们容易受到前面讨论的相位失配误差源的影响。多通道同步采样ADC共享一个非常接近的MCLK，单通道ADC则不然，不能保证同步采样，因为它们的共享时钟源可能由于布线原因而在传播延迟差异。此外，它们也没有相位校准功能来抵消信号路径的相位失配。

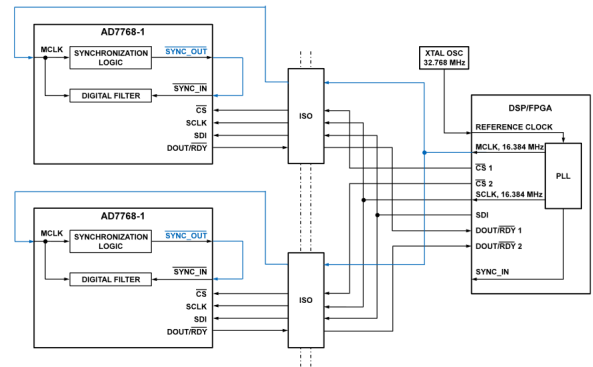


图13. 单通道ADC中的同步

通过如上篇幅讨论了隔离和同步的必要性，设计人员在设计中需要了解通道间隔离、通道间相位匹配或同步采样的需求。

产品介绍

ADI提供了一系列隔离式单通道ADC解决方案，如ADP1031、ADUM140、ADAQ7768-1和ADAQ7767/9等。

ADP1031

ADP1031是一款带有七个数字隔离器的三通道隔离式低功耗管理单元，用于实现电源和数字隔离，可以应用于反激式（集成100V MOSFET）、降压、反相等DC/DC稳压器电路拓扑中。这款产品的高速数据隔离通道用于SPI、时钟和SYNC，还提供了低速通用数据隔离通道。具有过热保护、过流保护和专有过压保护功能，符合多项隔离和辐射标准。

ADUM140D/E

ADUM140提供额外的隔离数字走线，该系列产品对共模瞬变、电噪声和磁干扰具有很高的抗扰度；能承受高电压，符合许多隔离标准的要求，具有低传播延迟和低动态功耗。工作温度最高可达125°C，适合广泛的应用。

ADAQ7768-1

ADAQ7768-1 μ Module是一款适合状态监控应用的数据采集解决方案，集成了一个36V可编程增益仪表放大器、一个四阶有源抗

混叠滤波器，以及一个24位单通道DTSD ADC，具有与AD7768-1相同的特性，图14展示了参考应用示例。其PGA有7种可编程增益选项，差分电压范围高达12V并支持宽共模范围。具有出色的交流和直流性能，可准确捕捉各种传感器信号。器件间不仅相位匹配，不同增益之间的相位匹配也很出色。具有三种线性相位滤波器选项，适用于时域和频域分析。提供多种功耗模式，各模式的性能有所不同工作温度最高可达85°C。

若需要了解更多详情可以参考数据手册，同时ADI还提供了评估板和软件及IBIS和LTSpice模型，帮助客户将该产品集成到系统设计中。

ADAQ7767/9

ADAQ7767/9是ADI的 μ Module，专为IEPE传感器应用量身定制。IEPE传感器的偏置电压和信号摆幅范围非常宽，因此，它们通常交流耦合到数据采集系统以降低电压电平，一般而言这种交流耦合电容会限制传感器的低频性能。ADAQ7767/9具有24V的宽电压输入范围，支持直流耦合到信号链，直流耦合不仅能够充分发挥IEPE传感器的低频性能优势，还能简化整体电源解决方案。与ADAQ7768相比，ADAQ7767没有PGA，客户可以定制信号调理电路，ADAQ7769具有单端可编程增益放大器，其噪声和偏置电均很低。

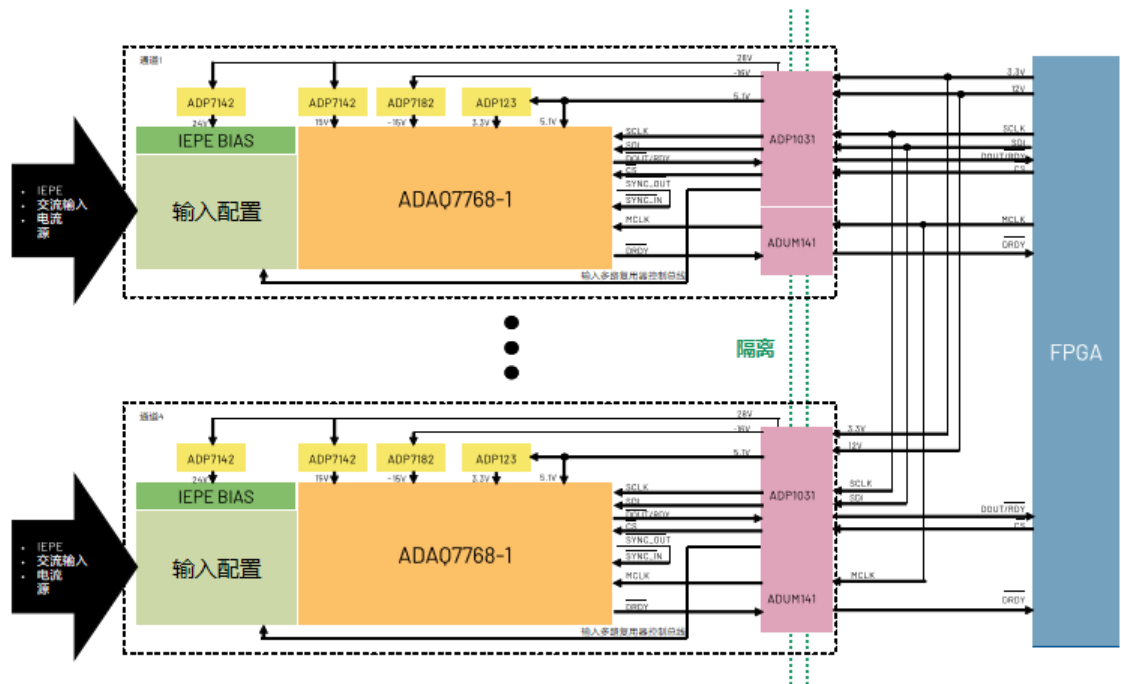


图14. ADAQ7768-1通道间隔离解决方案

结论

为实现状态监控的可靠性，本文对多传感器应用场景的方案进行了详细阐述，解决了多传感器的同步采集、相位失配、接地环路、通道隔离等问题。多通道同步采样ADC通常满足同步数据采集的需要，提供了相位失配方案；单通道ADC解决了通道间隔离并具有同步特性，简化了同步数据捕获和隔离要求；信号链uModule在封装层面解决相位失配问题，与同步采样ADC的相位性能相当，高集成度使其尺寸比分立解决方案更小的尺寸，简化BOM，为电路板上的其他功能留下更多空间，因此更适合空间受限的应用。

关于ADI状态监控和uModule解决方案的更多信息，ADI提供数据手册，评估板以及客户支持和工程师论坛资源。有关CbM解决方案，可以访问<https://www.analog.com/cn/solutions/industrial-automation/predictive-maintenance.html>；若进一步了解精密信号链uModule，可以访问<https://www.analog.com/cn/product-category/precision-signal-chain-umodule-solutions.html>。

ADI为CbM提供广泛的解决方案，致力于构建出色的状态监控系统。

访问我们的在线技术支持社区，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。

ez.analog.com/cn

 **ADI EngineerZone™**
中文技术论坛

 **ANALOG
DEVICES**
超越一切可能™

analog.com/cn

有关地区总部、销售和代理商的信息，或客户服务和技术支持的联系信息，请访问analog.com/cn/contact。
©2024 Analog Devices, Inc.保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。