ANALOG DEVICES

AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

MEMS加速度计在状态监测中的运用

ED SPENCE

营销经理

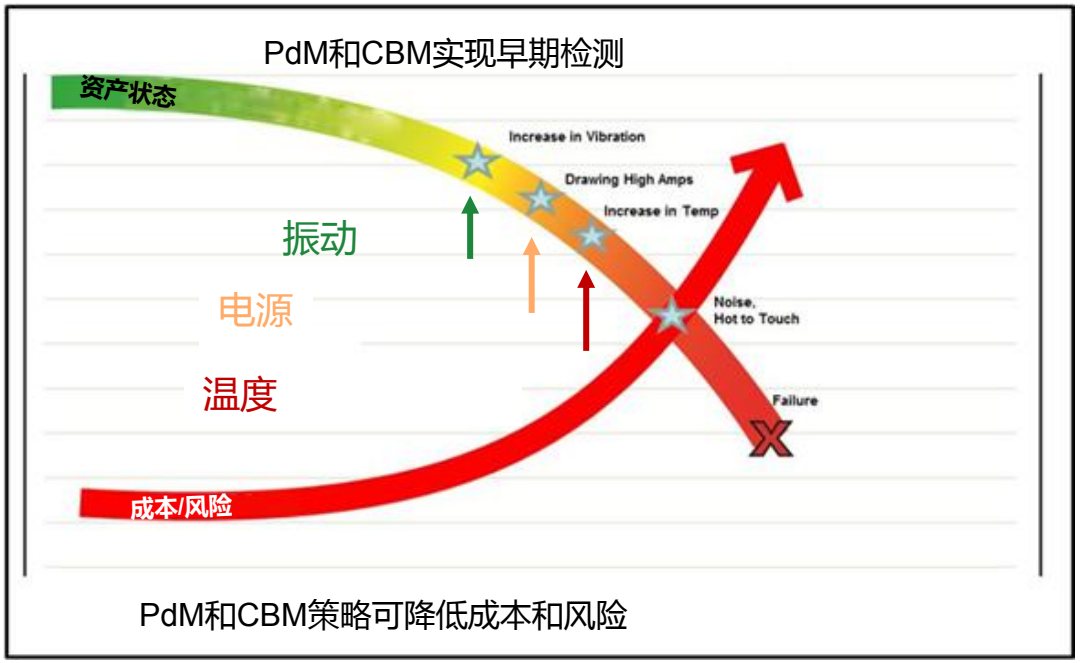
工业传感器业务部

2016年9月21日

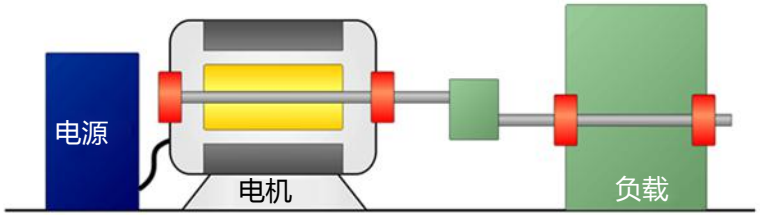
议题

- 基于状态的监测(CBM)方法概述
- MEMS加速度计的内在特性
- MEMS加速度计性能发展史回顾
- 管窥MEMS已经对CBM产生的影响

CBM方法
及早检测苗头性问题



驱动机构



电源	电源质量	EPVA（电压）	
MEC不平衡或对准误差	MCSA	振动	EPVA
绝缘故障	局部放电	EPVA	
定子电频率不平衡	EPVA	MCSA	电源质量
断条	MCSA	EPVA和IPSA	
轴承故障	振动	电流小波	MCSA、EPVA和IPSA
耦合和负载机械故障	振动	MCSA、EPVA和IPSA	

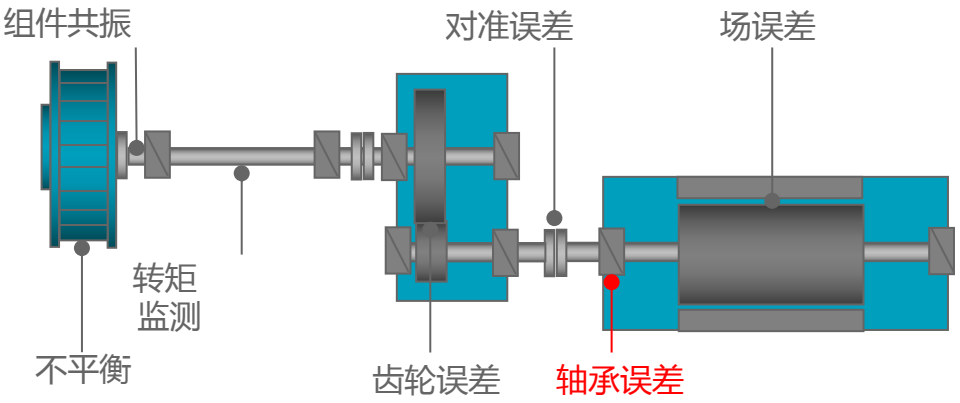
重要性：高 中 低

Induction Motors – Modeling and Control（感应电机——建模与控制）,R. Aruajo, 2012

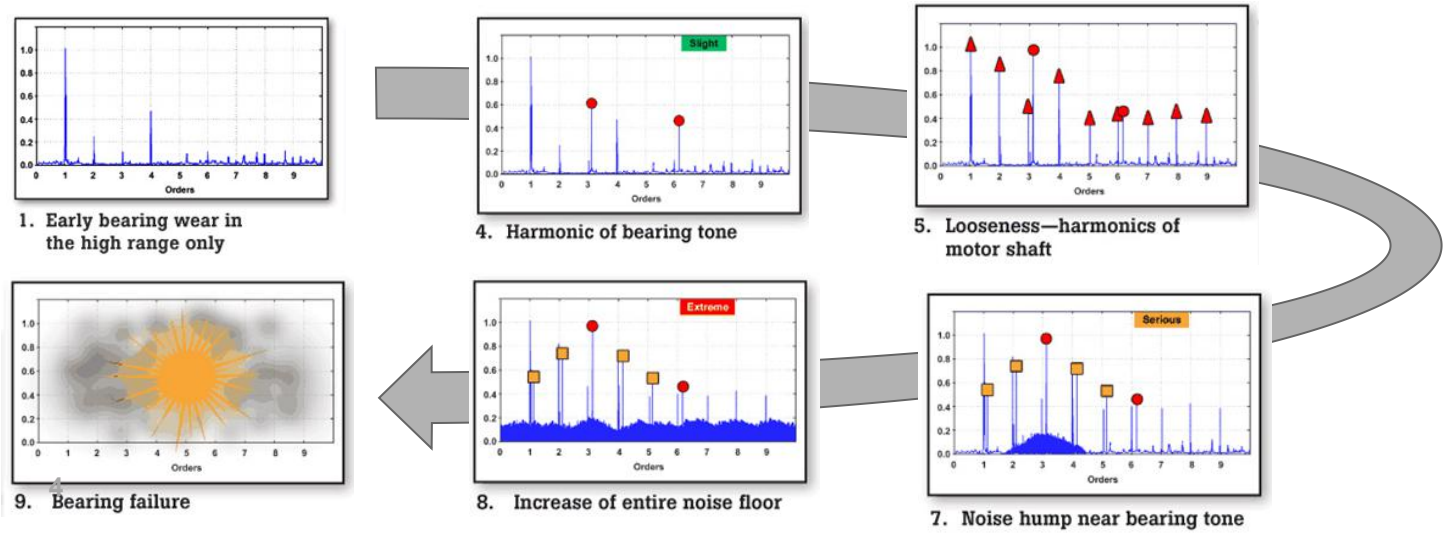
ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

振动分析

泵/风扇　　齿轮箱　　驱动

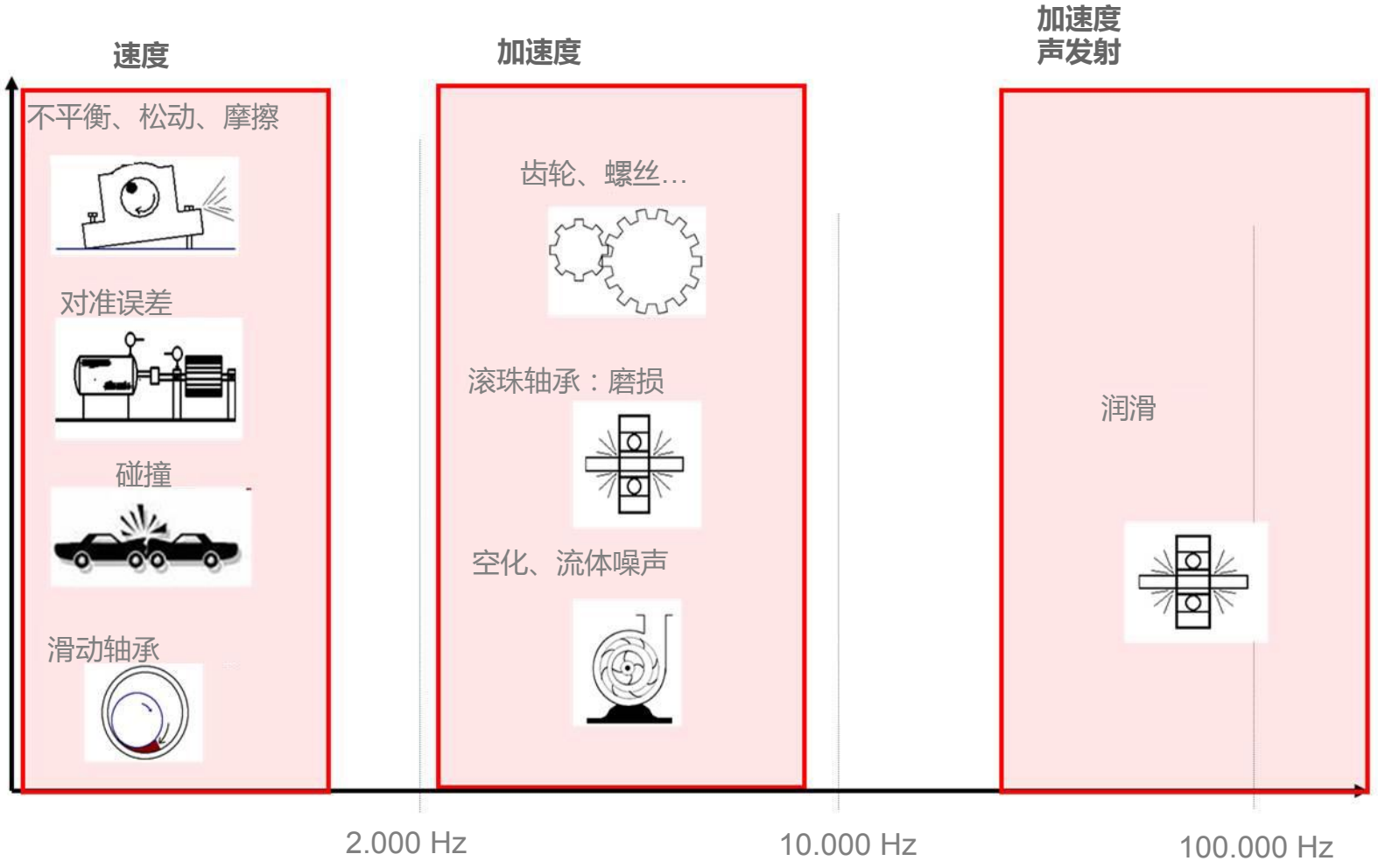


- 机械系统
- 适用信号分析技术和算法



ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

机器故障和振动频率

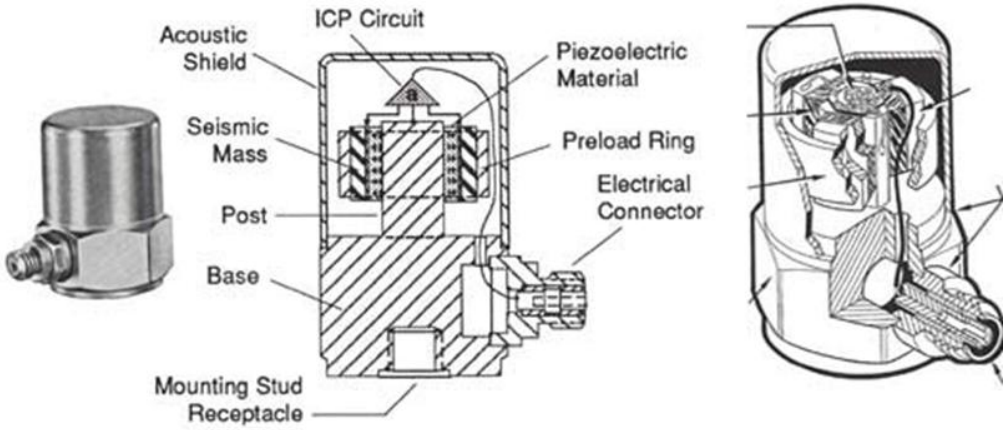


一般机器振动(ISO) 10816) 10Hz … 1000 Hz或2Hz … 1000 Hz

机械磨损 2000 Hz … 6000 Hz

资料来源：IFM Efector

状态监测加速度计现状



- 在超高频工作范围内实现低噪声
- 工业电源电平（如24V）
- 组装机械技术——人工密集型制造技术
- 灵敏度随冲击或漂移而变化（若下降则要求再校准）
- 电荷输出器件的信噪比通常在较低频率时下降
- 有限自测
- 与子系统的集成不太容易

ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

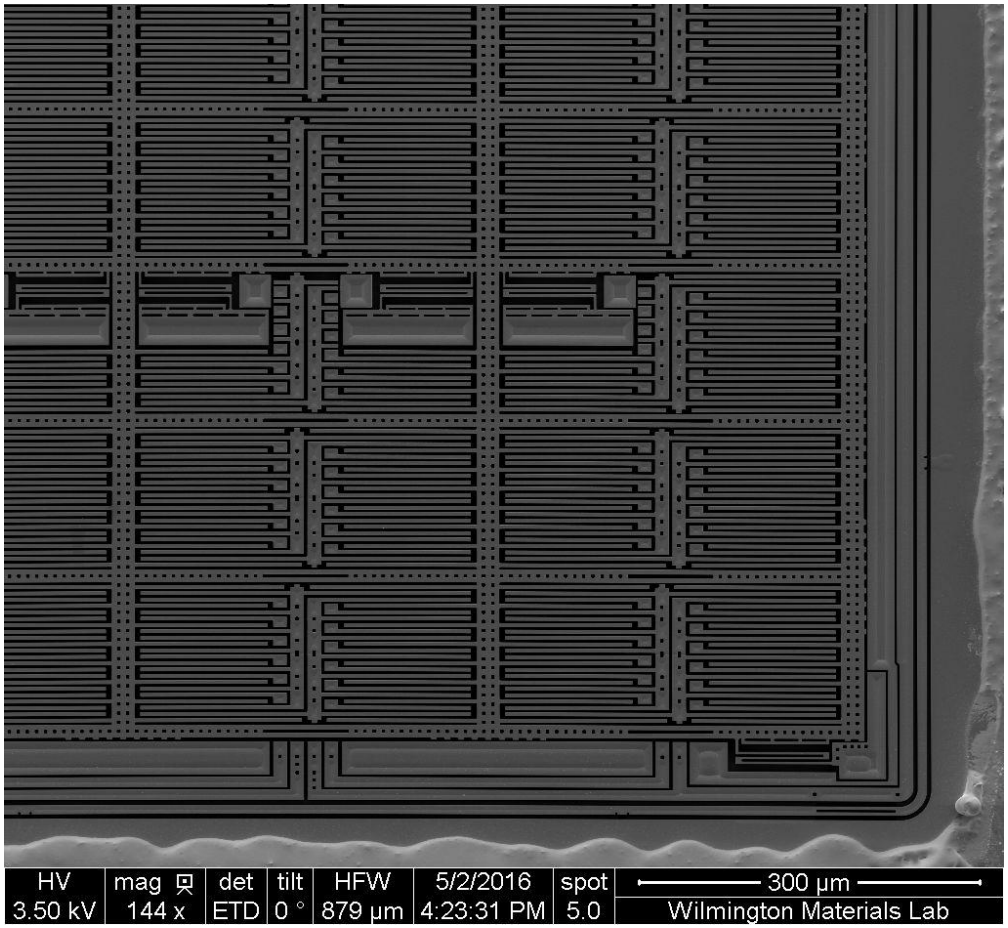
ANALOG DEVICES

AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

MEMS加速度计——内在特性

面向状态监测的MEMS加速度计
内在特性

- 灵敏度稳定
- 直流响应
- 耐冲击
- 静电自测
- 高可靠性
- 低功耗
- 高度集成
- 小尺寸
- 制造规模可伸缩



ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

MEMS加速度计的内在特性
灵敏度稳定

1 级： 参数趋势监测
-全面
-长期
-对人员技能要求不高

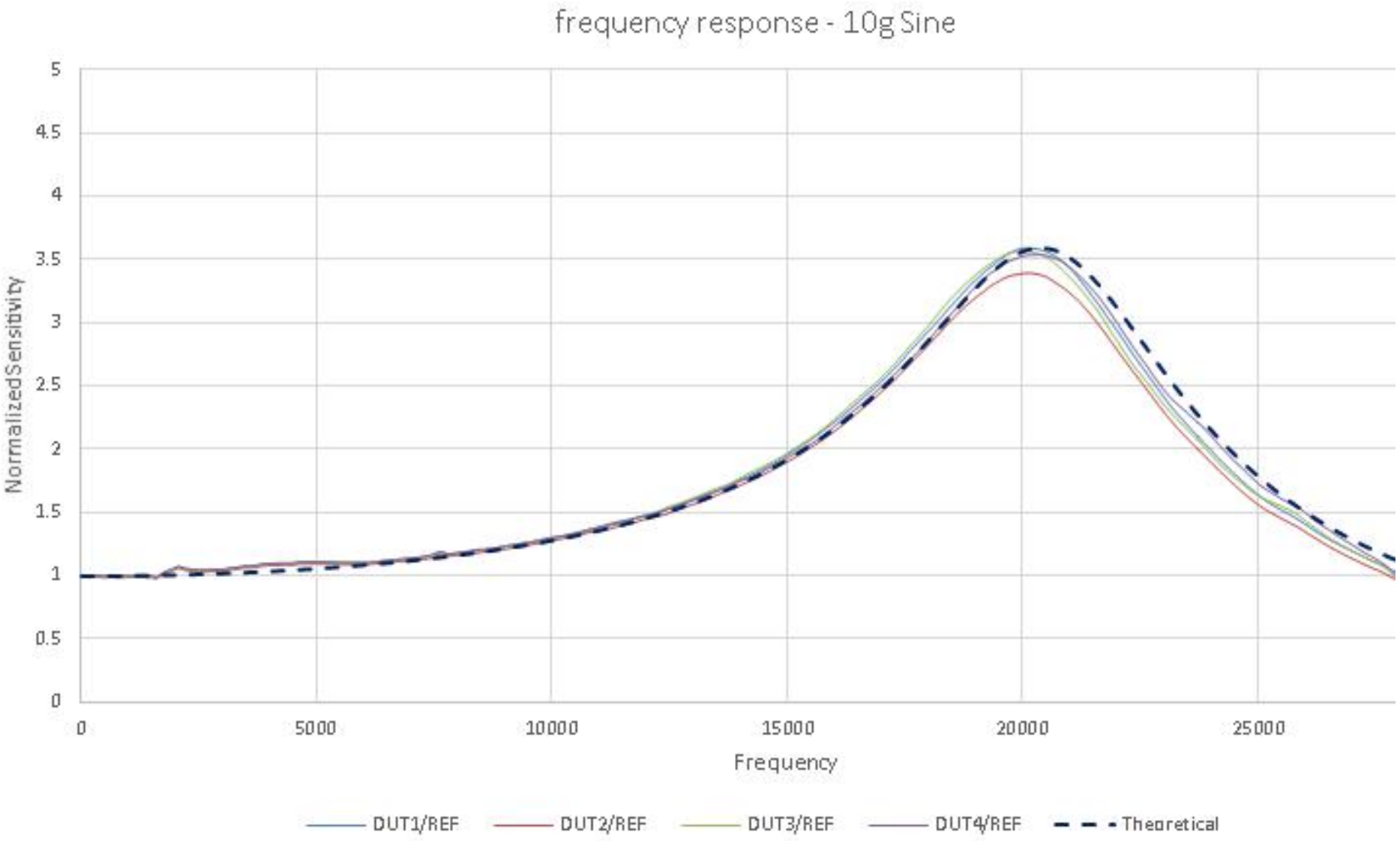
机器监控
振动负载
轴承状态

参数
振动强度、位移、加速度
用于轴承评估的冲击脉冲
温度
RPm
泵空化

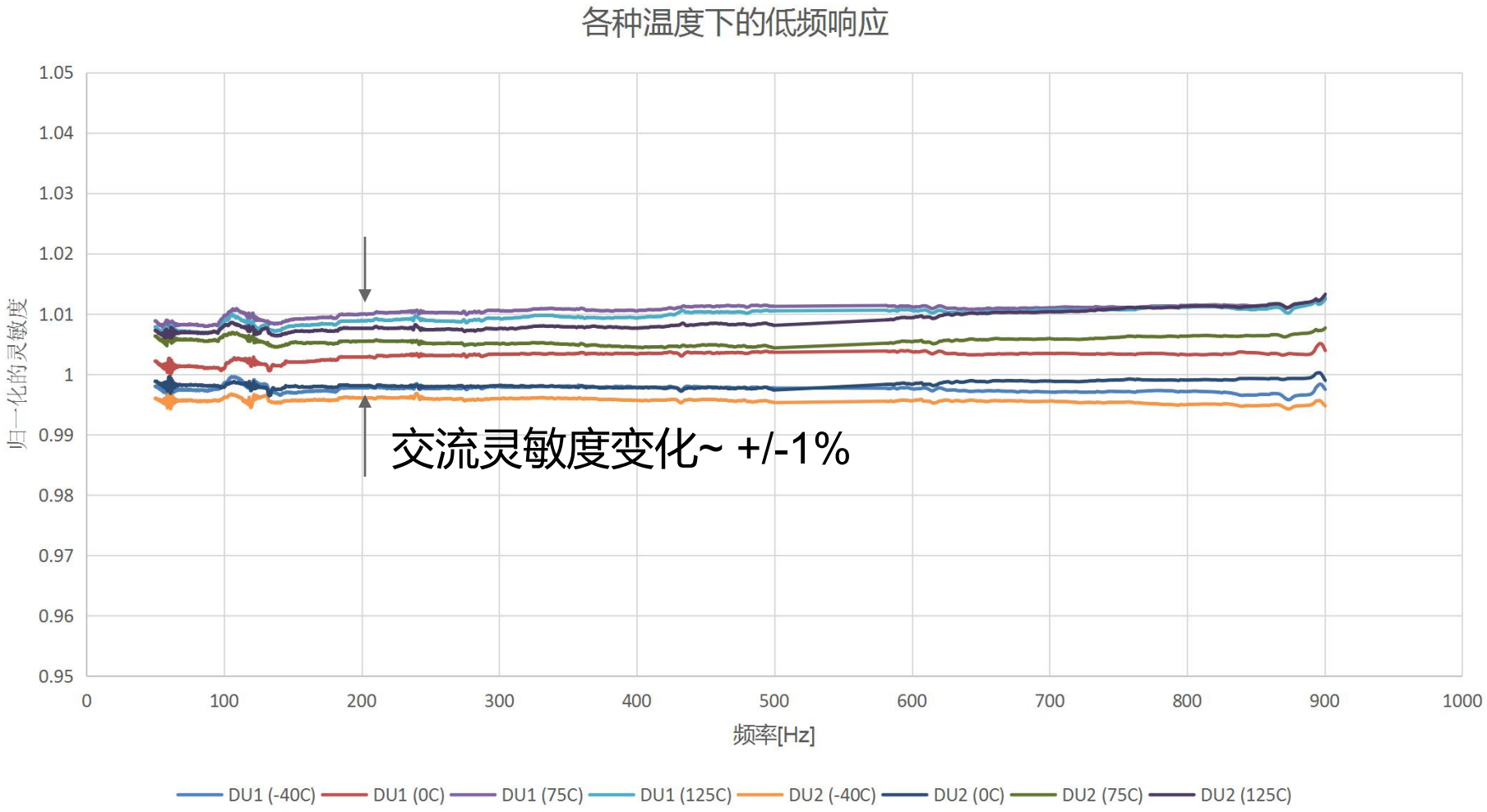
- 跟踪时间集成加速度（速度）
  - 建立基线，监测与额定行为的偏差
- 机械加速度计的常见问题
  - 灵敏度可能随时间和温度而变化，也可能在受到冲击时发生变化
- 稳定的灵敏度可以减少误差
  - 在整个温度范围内，MEMS加速度计灵敏度通常保持在±5%以内

资料来源：Pruftechnik
2010年5月应用笔记

25C时的频率响应
FSR ±50g



频率响应与温度的关系
25g正弦



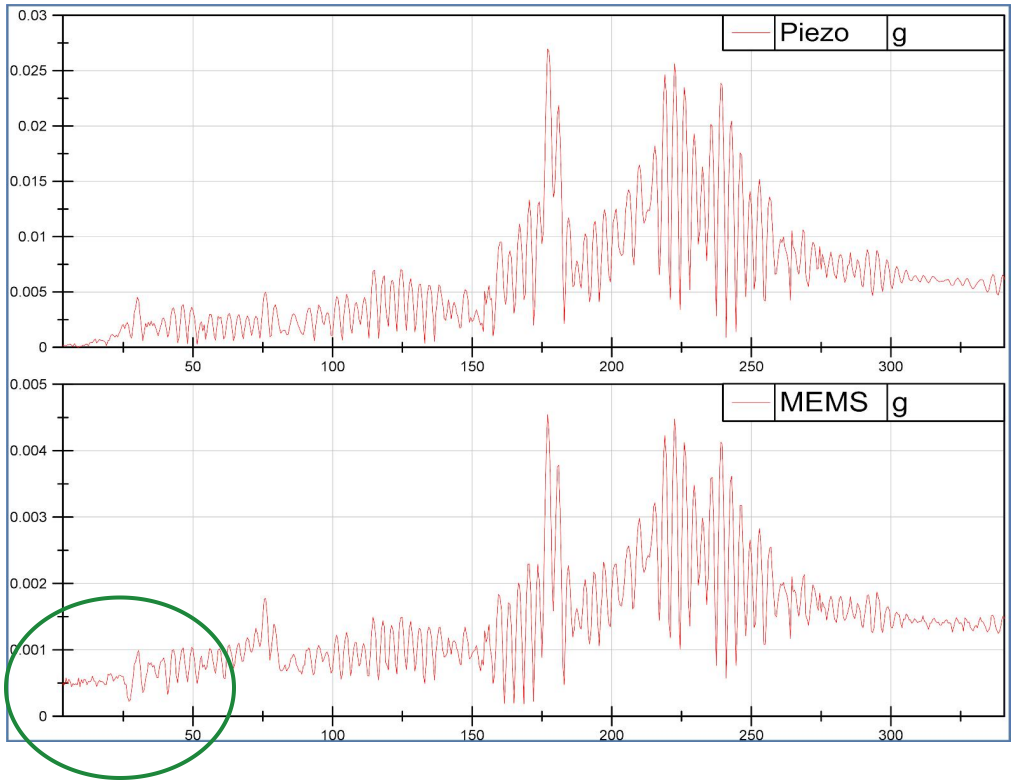
ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

MEMS加速度计的内在特性
直流耦合、低阻抗输出

- 低旋转速率集成速度低至0.1Hz
- 另外，低阻抗输出意味着能更快地从饱和状态恢复
- 用户可以用外部组件定制频率响应

ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

MEMS加速度计的内在特性
直流响应

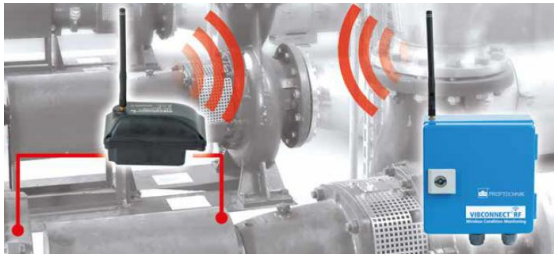


- MEMS与PZT的横向比较
- 加速度计在记录数据时受到轻度冲击，计算出FFT
- 结果表明，MEMS加速度计最小分辨率为直流……

ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

MEMS加速度计的内在特性
低功耗电子元件

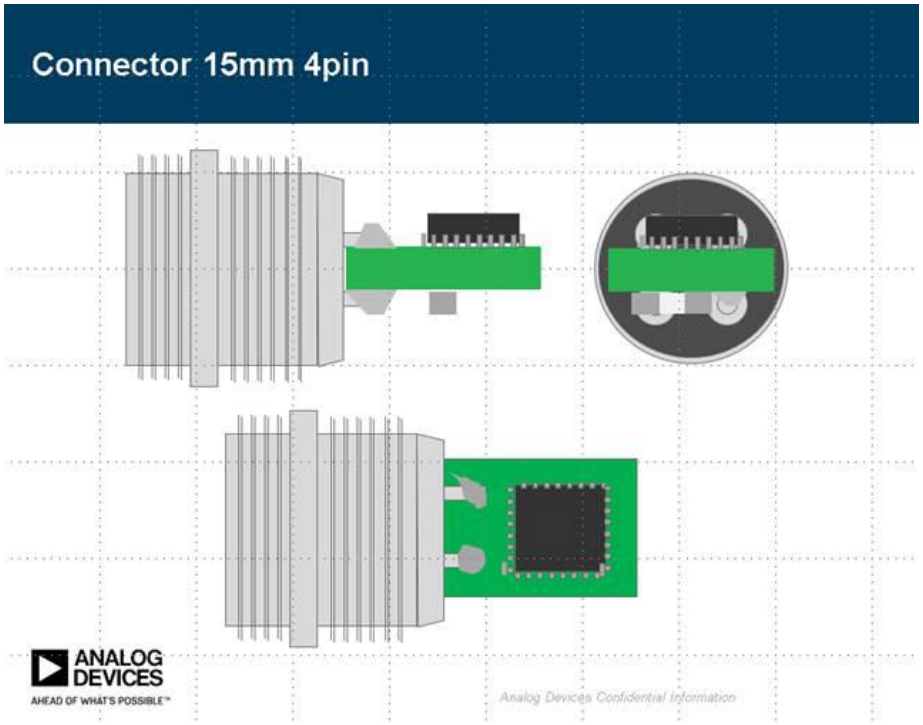
- 单电源信号调理电子元件
  - +5V或以下的电源电压取代较高的工业电压
  - 连接更简单
- 低功耗传感器电子元件延长电池寿命
- 低成本电源管理BOM
  - 更广泛的组件选择
- 尺寸更小
  - 主要受电池尺寸、天线影响



ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

MEMS加速度计的内在特性
小尺寸

- 嵌入机器或资产
- 可以集成到标准的通孔封装中
- 多数DAQ或控制器均支持+5V模拟接口
  - 支持其他接口模式
- 优化定位能提高机械振动传输质量吗？

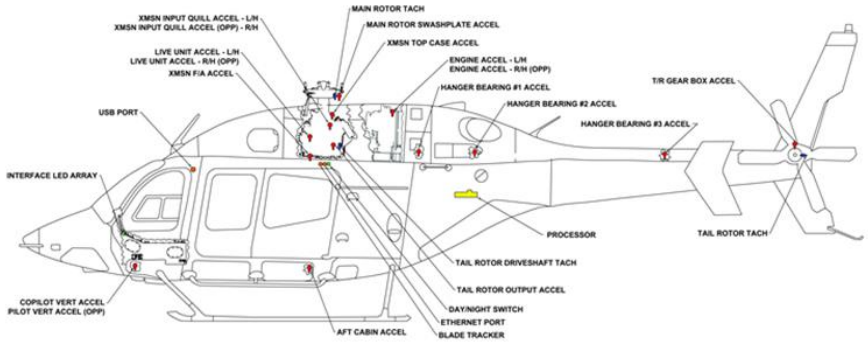


MEMS加速度计的内在特性
重量轻

- 采用6 x 6 mm LCC封装的高性能加速度计的重量不到1克

- 数字接口可以降低线缆成本和重量
  - 单电源信号调理可提高集成度

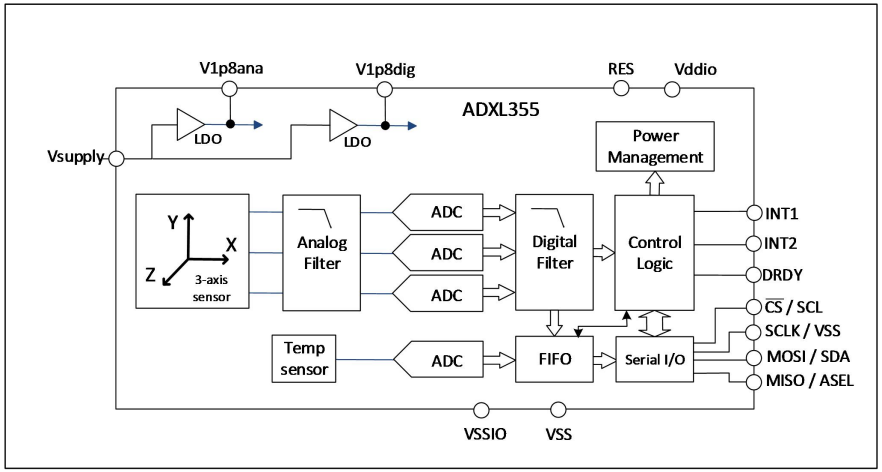
- 机载应用会因燃油成本下降而受益



将加速度计用作HUMS监测系统的一部分

单电源信号调理电子元件
实现增强特性

- 静电自测
  - MEMS运动偏转通过整个信号链传递
- 超量程指示器
  - 快速评估造成“滑雪坡”的原因
- 集成ADC和数字接口
  - 更高的EMI抗扰度
  - 更低的线缆成本
  - 数字滤波
  - 存储缓冲器



ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

ANALOG DEVICES

AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

MEMS加速度计——性能发展史

2009年时的经典高频MEMS加速度计

- 满量程范围为±70 g至±500 g
- 共振频率为22 kHz
- 典型电源电流为2.5mA
- 集成自测功能
- -40C至+125C
- 5 x 5 mm 8引脚LCC封装
- 噪声密度为4mg / √Hz

  （10kHz时为500mg (RMS)）

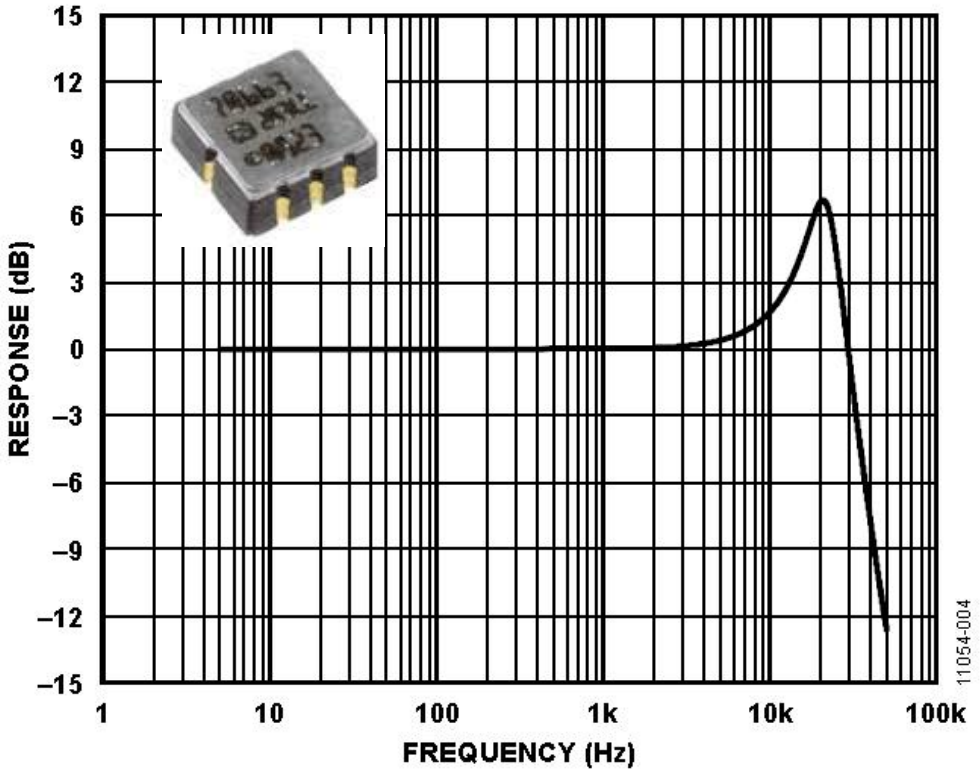


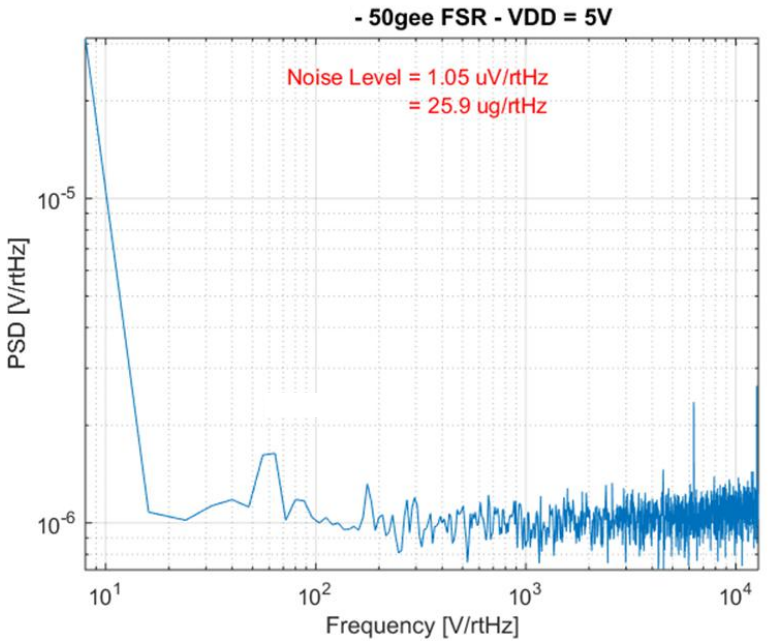
Figure 4. ADXL001 Frequency Response

ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

2016年时升级后的加速度计性能

MEMS加速度计真的为主流CBM做好准备了吗？

	第1代	第2代
FSR	±70 g至±500 g	±50 g至±100 g
F0	22kHz	21kHz
电源电流	2.5mA	1.0mA
自测	是	是
温度范围	-40C至+125C	-40C至+125C
封装	5 x 5 mm 8引脚 LCC封装	5 x 5 mm 32引脚 LFCSP封装
噪声密度	4000μg / √Hz	<30μg / √Hz

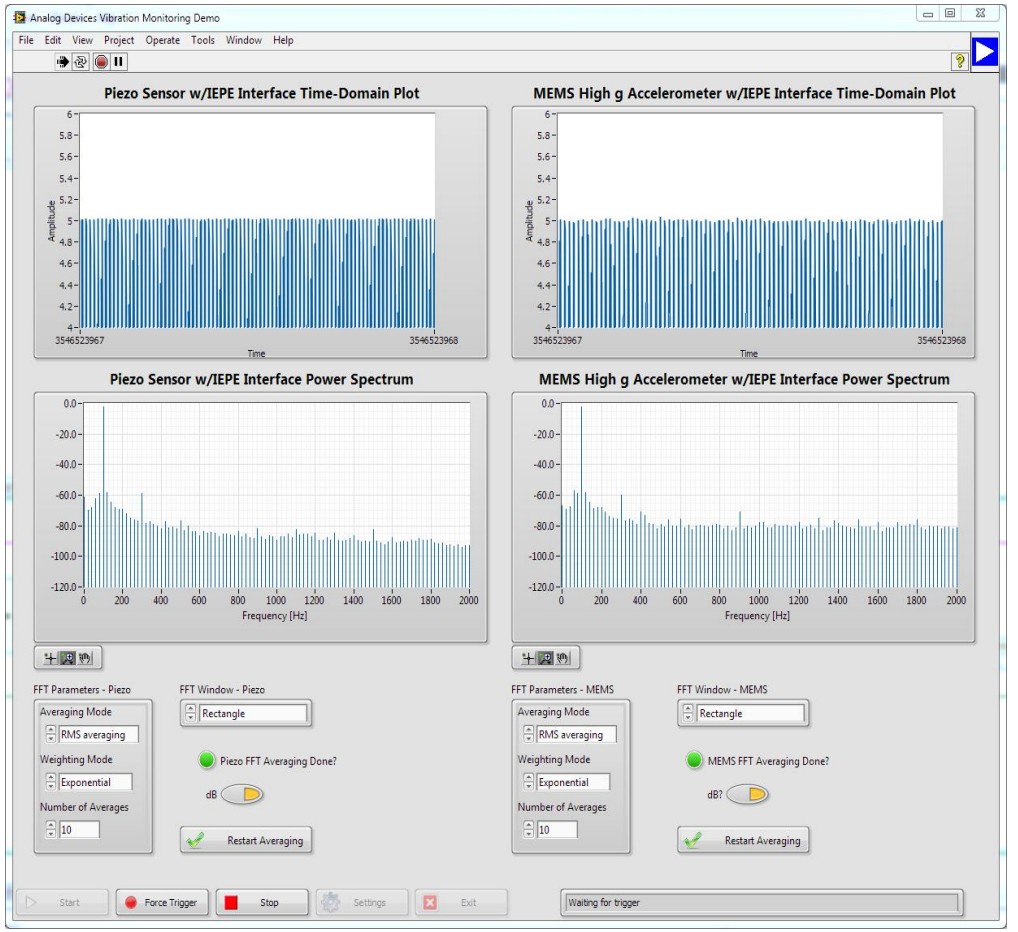


RMS噪声下降2个数量级，从500mg降至3mg
（1至10kHz）

ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

加速度计技术比较

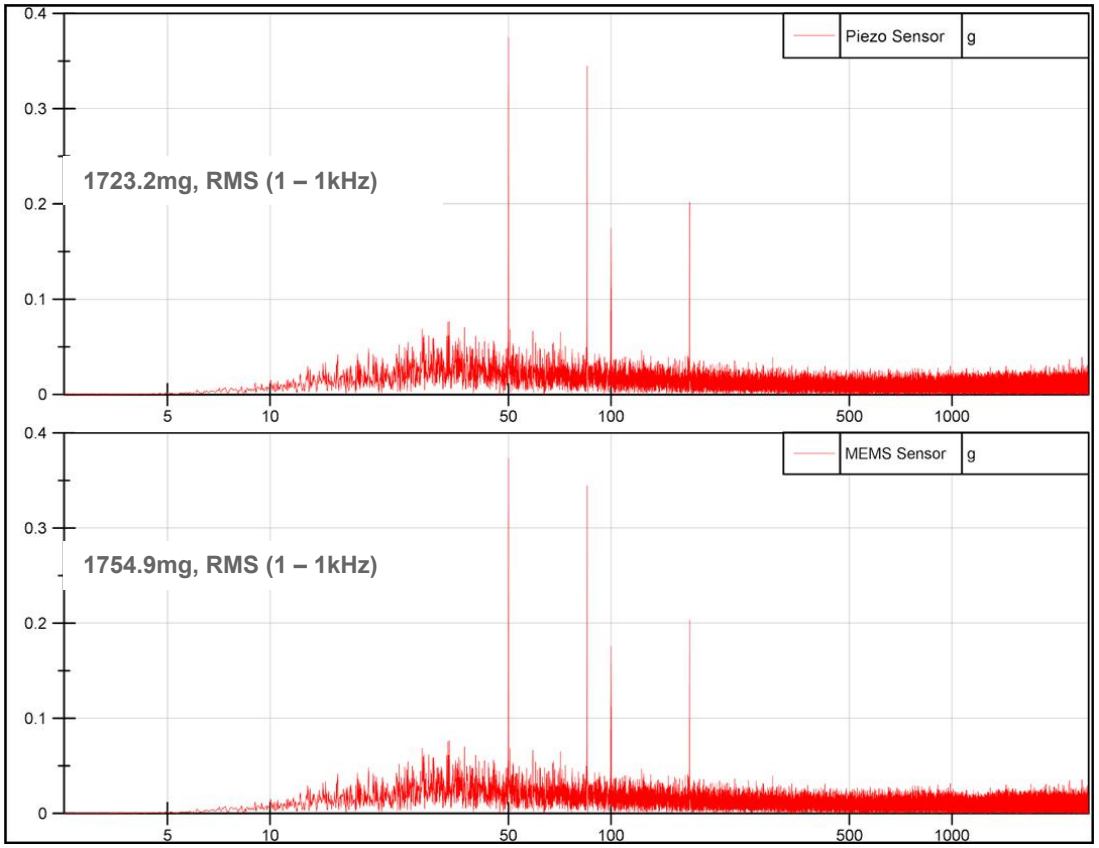
专门用于比较商用PZT与新型21kHz MEMS加速度计的测试



ANALOG DEVICES

AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

电机对准误差仿真[1]
在激励中加了谐波



- 可比性能
  10kHz范围内……
- PZT为30mg，RMS较低
  (1 – 1000Hz)
  - 传感器间的变化为1.7%

R B Randall, Vibration-based Condition Monitoring（基于振动的状态监测）,2011 John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, P34.

ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

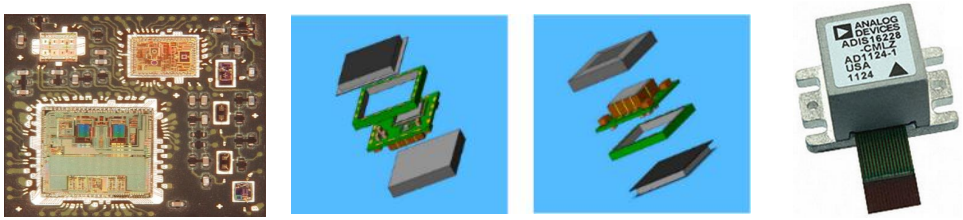
ANALOG DEVICES

AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

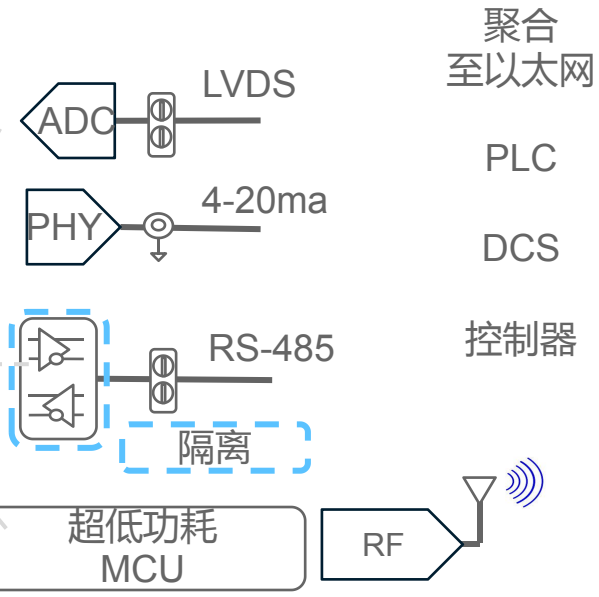
面向CBM的MEMS加速度计——启示与未来发展

MEMS加速度计可实现高集成度的解决方案

- 高频加速度计
- 信号调理解决方案组合
  - ADC
  - MCU
  - 接口PHY
- SIP生产能力

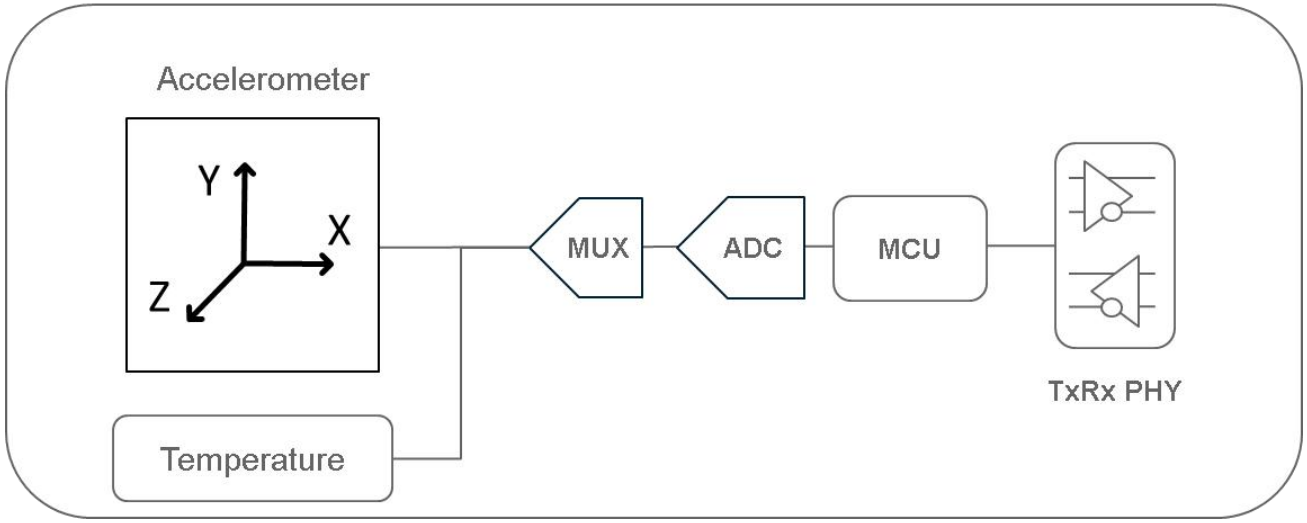


系统级封装(SIP)生产



ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

面向状态监测的嵌入式连网智能传感器
示例概念



- 高频、低噪声MEMS加速度计
- 低功耗、+3V信号链
- 应用处理
- 工业接口（如RS-485）
- 工作温度高达105C
- 面积小于125 mm^2

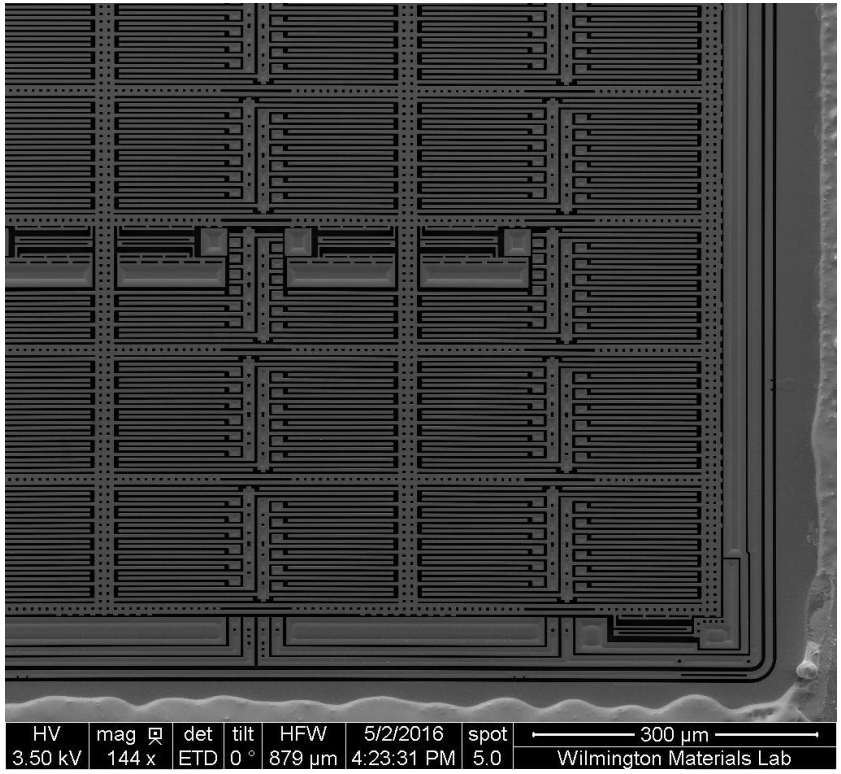
ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

总结

MEMS加速度计具有令人激动的内在特性，有可能改变现有CBM模式。

使振奋人心的新产品成为可能——

- 智能传感器
- 无线/便携
- 嵌入式解决方案



ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

谢谢观看！

- ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006
- ADI中国地区技术支持信箱：china.support@analog.com
- ADI样片申请网址：http://www.analog.com/zh/sample

ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™