

MEMS 技术问题解答

Version	Modify/Add/Del	Detail	Author	Data
V0.1	A	First version	AHan	2021/10/14

ADI 中国技术支持中心

版本: V0.1

发布日期: 2021.10.14

技术支持电话: 400-6100-006

技术支持邮箱: CHINA.SUPPORT@ANALOG.COM

Contents

.....	1
加速度计 ADXLXX.....	4
Q1.产品特性选型.....	4
Q1.1 ADXL355 带宽问题。.....	4
Q1.2 加速度计可以测量静态加速度吗?	4
Q1.3 加速度计主要用于低功耗传感器设备的跌落检测, 推荐一款合适的芯片?	4
Q1.4 ADXL362 和 ADXL345 有什么区别?	4
Q1.5 如何在 3 轴均有不规则高频振动环境/高速旋转环境下, 进行单轴 (前进轴) 的加速度检测?	4
Q1.6 准确测量在车辆运行情况下 (包括颠簸路面情况下) 重力方向上的倾角 (精度 0.25°), ADXL362 和 ADXL345 可否使用?	4
Q1.7 ADXL35 加速度传感器在不同测量范围的灵敏度, 如在±20g 量程下灵敏度。.....	5
Q1.8 对于 ADXL354, 产品手册描述“The 0 g bias output is nominally equal to V1P8ANA/2”如何理解? 对于 ADXL355, 如何从寄存器的补码数据中换算出加速度值? 是否直接做 2 进制到 10 进制的转换?	5
Q1.9 ADXL354/355 和 ADXL356/357 有什么主要区别?	5
Q1.10 ADX354/355 中的非线性度为 0.1%, 传统压电式的非线性度可以达到 0.01%。请问这一个数量级的非线性度差异对于实际应用的那些方面会产生影响?	5
Q1.11 爆破振动探测仪, 需要得到加速度及其他可以计算出爆速的数据, 推荐一款加速度计。.....	5
Q1.12 需要通过网关读取 Voyager 3 的完整信号, 要采购哪些硬件?	6
Q2.通用性问题.....	6
Q2.1 如何判断传感器输出数据是否正常?	6
Q2.2 ADXL355 的 ODR 误差有多少?	6
Q2.3 ADIS16465 spi 时序 DIN 和 DOUT 相差不是芯片手册上的 16 个时钟。.....	6
Q2.4 ADIS16480 是否需要电磁屏蔽?.....	6
Q2.5 ADXL345 两个中断能否只用 1 个?	6
Q2.6 ADXL375 读取的 XYZ 数据每次波动很大。.....	6
Q2.7 ADXL357INT 无法触发中断。.....	7
Q2.8 ADXL 357 FIFO_FULL 中断无效。.....	7
Q2.9 ADXL345 读数有时会出现 0。.....	7
Q3.传感器类问题.....	7
Q3.1 ADCMXL3021 的 autonull。.....	7
Q3.2 ADXL355 的 XYZ 的失调数据是自己设置还是传感器自己产生?	7
Q3.3 ADXL335 灵敏度与 0g offset 及安装倾斜角度的问题。.....	7
Q3.4 ADXL335 中断输出无法唤醒后端 MCU。.....	8
Q3.5 ADXL356 X Y Z 三轴输出模拟信号纹波比较大, 在 40mV-60mV 之间。.....	8
Q3.6 ADXL355 中的动作门限寄存器 ACT_THRESH, 是否可以用来限制加速度值超过门限值就不输出加速度? 还是只能用来计数超过加速度门限的动作次数?	8
Q3.7 ADXL355 使用 DRDY 中断映射到 INT1 引脚上, 数据有效时 INT1 产生高电平触发单片机外部中断的形式去读取数据, 当读取完数据并且读取了状态寄存器之后, INT1 上的电平不会恢复到低电平。.....	8

Q3.8 ADXL345 在低功耗模式下, 出现了 ADXL345 电流偏大的情况, 各个板子表现情况不一致。	8
Q3.9 ADXL355 芯片, 采集到的了加速度值, 需要把加速度值转变为频率, 请提供下参考程序与公式, 以及加速度和频率的关系。	9
Q3.10 ADXL362 能检测到的最小加速度值是多少?	9
Q3.11 ADXL345 用树莓派读取到的噪声远大于数据手册。	9
Q3.12 ADXL206 温箱内升温降温输出加速度存在偏置。	9
Q3.13 ADXL345 能否从输出数据中移除静态加速度?	9
Q3.14 加速度计倾角应用 PCB 注意事项和需不需要加缓震。	9
Q3.15 ADXL357 在复杂的振动环境中可以实现 0.05°的测量精度吗, 上电后需要重新校准吗? 通电一周的漂移有多少?	10
Q3.16 多个加速度(ADXL345)平行绑在一起, 之间输出差别很大, 一致性很差。	10
惯性测量单元 ADISXX	11
Q1.产品特性选型	11
Q1.1 ADIS16486 该产品在官网上显示是最新款的产品, 那么是否是 ADIS IMU 系列中性能最好的呢? 是否有其他产品可以推荐?	11
Q1.2 膝关节置换手术导航系统, 需要用到加速度计和陀螺仪, 是否可以推荐一些符合这个应用的型号。	11
Q1.3 ADIS16505 各轴间零偏重复性相差很大(10 倍)?	11
Q1.4 ADIS16495-2 是否支持 AEC Q100,是否具有汽车功能安全?	11
Q2.通用性问题	11
Q2.1 ADIS16495-1 和 ADIS16505-1, 如何直接连接 windows 10 pc 使用。	11
Q2.2 IMU 器件 ADIS6505 写控制字为何写不进去?	12
Q2.3 ADIS16334BMLZ 按照手册写入程序, 一开始结果不太正确, 后面固定寄存器的值读出来了, 但是 XGYRO_OUT 等数据输出波动大。静止状态下都有十几位或者几十位的波动 位是 0.05°/sec , 波动 0.5—1°/sec 。	12
Q2.4 ADIS16480 是否需要进行电磁屏蔽	12
Q2.5 ADIS 系列 SPI 通讯不正常?	12
Q3.传感器类问题	12
Q3.1 ADIS16490 工作温度变化带来的零偏严重漂移, 上电 1 小时还未平稳的问题, 要找到温补的方法。	12
Q3.2 IMU 的航向角是通过什么计算出角度的? 是不是上电, 航向角默认为 0 度; 外界电磁干扰是不是没有影响? 俯仰轴和滚动轴是不是也是上电默认为零度?	13
Q3.3 adis16477 出厂标定是什么意思? 能够直接输出角速率和加速度吗? 不用系统及补偿标定了?	13
Q3.4 ADIS16497 陀螺仪上电后有漂移, 加速度计工作正常?	13
Q3.5 ADIS16465-2B: 16bit @ 2Khz 外部 MCU 计算角度 还是 32bit @ 200Hz 且 IMU 输出角度值结果更准确?	13
Q3.6 ADIS16480 磁力计输出异常: 在水平转台上旋转 IMU, 输出的数据中 X 方向的值几乎不变化?	13
参考文献(参见官网)	14

加速度计 ADXLXX

Q1.产品特性选型

Q1.1 ADXL355 带宽问题。

A: ADXL354 为模拟输出, ADXL355 数字输出, 加入了数字滤波器, 带宽 1kHz。

Q1.2 加速度计可以测量静态加速度吗?

A: 具体要看加速度计的频率响应, 一般加速度计都可以做到 0Hz (直流), 即可以检测到重力加速度, 也可用于测量静态倾角。

Q1.3 加速度计主要用于低功耗传感器设备的跌落检测, 推荐一款合适的芯片?

A: ADXL372 是个合适的选择。

Q1.4 ADXL362 和 ADXL345 有什么区别?

A: 362 的突出特点是超低功耗, 可以考虑使用 ADXL362 来做活动/非活动监测, 可以直接输出一个活动/非活动指示来做相关的动作。若特别关注功耗, 请用 ADXL362。

Q1.5 如何在 3 轴均有不规则高频振动环境/高速旋转环境下, 进行单轴 (前进轴) 的加速度检测?

A: 对振动环境中的姿态测量, 建议考虑振动整流误差指标小的加速度计, 如 ADXL356/7。

Q1.6 准确测量在车辆运行情况下 (包括颠簸路面情况下) 重力方向上的倾角 (精度 0.25°), ADXL362 和 ADXL345 可否使用?

A: 想在真实振动环境中做到精确角度测量, 推荐 ADXL355, 且其有十年重复性指标, 不会失效。ADXL362 不合适, 作为消费级加速度计, 失效率很高。单纯的工作频率低只会造成高频混叠, 必须是采样率很高, 后续数字滤波实现低带宽输出。若对价格敏感, ADXL350 性价比也比较不错。

Q1.7 ADXL35 加速度传感器在不同测量范围的灵敏度，如在±20g 量程下灵敏度。

A: 数据的位数是一定的，所以随着量程增大，灵敏度（最小分辨率）也会增大，±20g 量程下灵敏度为 39μg/LSB，具体可参考数据手册。

Q1.8 对于 ADXL354，产品手册描述“The 0 g bias output is nominally equal to V1P8ANA/2”如何理解？对于 ADXL355，如何从寄存器的补码数据中换算出加速度值？是否直接做 2 进制到 10 进制的转换？

A: 设计中可以认为 0g 对应模拟电压 0.9V，如果量程为±2g，则模拟电压输出范围为 0.1V~1.7V。因为是补码，如果是正的加速度值可以直接换算，负的加速度值要先换算成原码。

Q1.9 ADXL354/355 和 ADXL356/357 有什么主要区别？

A: ADXL357 量程更大，相对噪声也低，在高振动环境中表现更好（对振动整流误差抑制能力强）。

Q1.10 ADX354/355 中的非线性度为 0.1%，传统压电式的非线性度可以达到 0.01%。请问这一个数量级的非线性度差异对于实际应用的那些方面会产生影响？

A: 传统压电加速度计低频响应差，体积大且昂贵不易用，MEMS 加速度计相比而言有诸多优点，现在已逐渐成为主流。针对加速度计对机车部件进行状态监测，这种应用下主要需要加速度计噪声足够低，带宽足够大，因为一些缺陷或机械冲击会产生高频振动，进而产生很大的加速度。非线性度并不是此类应用关注的重点技术指标。

Q1.11 爆破振动探测仪，需要得到加速度及其他可以计算出爆速的数据，推荐一款加速度计。

A: 爆破振动属于高加速度环境，要求加速度计量程很大。需要知道明确的加速度范围，否则可能损坏加速度计。推荐 ADXL100X 系列。

Q1.12 需要通过网关读取 Voyager 3 的完整信号，要采购哪些硬件？

A: Voyager 3 通过 smart mesh 技术（类似蓝牙，wifi 等通讯协议）将信号无线传输，所以需要有一个解析数据的主机 manager，和与传感器相连传输数据的从机，评估板包括了整套硬件。

https://wiki.analog.com/resources/eval/user-guides/industrial_wireless_cbm_evaluation_tool_3axis

Q2.通用性问题

Q2.1 如何判断传感器输出数据是否正常？

A: 判断数据是否合理的方法，1) 计算噪声谱密度，2) 统计 rms 噪声，与手册对比，注意所选带宽即可。更进一步也可以进行阿伦方差分析。

Q2.2 ADXL355 的 ODR 误差有多少？

A: MEMS 振荡器的误差大约为 1%，ODR 来自 MEMS 振荡器的分频，所以其误差为 1%左右。

Q2.3 ADIS16465 spi 时序 DIN 和 DOUT 相差不是芯片手册上的 16 个时钟。

A: 严格遵守 spi 时序，两字节间 CSpin 要拉高，同时拉高的 stall time 要大于芯片手册上的最小值。

Q2.4 ADIS16480 是否需要进行电磁屏蔽？

A: 电机的干扰会通过通信接口，电源和地进来。通信接口最好能隔离，电源要单独供电，最好是低噪声的 LDO，电源的纹波会显著影响传感器的性能。

Q2.5 ADXL345 两个中断能否只用 1 个？

A: 两个中断是为了控制多种功能，不用的中断属于数字输出，悬空即可。

Q2.6 ADXL375 读取的 XYZ 数据每次波动很大。

- 1.首先请确认加速度计静止放置，没有运动或振动冲击环境
- 2.反复读取如 deviceID 寄存器，能读取到正确的值，来确认 SPI 通讯的正常

3.使能自测功能，看看此时输出是否在芯片手册范围内，如果不是则说明加速度计已损坏。

Q2.7 ADXL357INT 无法触发中断。

- 1.建议读写寄存器时加入读写校验机制。
- 2.请确认发生活动事件时，0x04 Activity 位是否置位，来判断是否真正触发中断。
3. DRDY/INT 引脚一样的，可以把 DRDY 信号映射到 INT1/2 引脚（0x2A），看看他们会不会产生同样的方波。

Q2.8 ADXL 357 FIFO_FULL 中断无效。

A:看一下中断状态寄存器相应位有没有置位，来判断这个中断有没有真正触发。

Q2.9 ADXL345 读数有时会出现 0。

A:出现 0 说明没有收到数据，是 SPI 通讯不通，建议检查 SPI 通讯接口。

Q3.传感器类问题

Q3.1 ADCMXL3021 的 autonull。

A: AutoNull 命令会直接统计采样的数据的均值，该值反映在 ANULL 寄存器中，所以每次 AutoNull 命令，ANULL 的内容是不同的，因为均值通常会发生变化，对旋转设备应用来说，我们关注的交流信号，像这种直流信号是不关注的，所以可以用 AutoNull 来做，若你关注直流量，那么就不要用 AutoNull。Null 值的计算在 RTS 模式下是无效的，仅仅在 MTC 和 MFFT 模式下有效。

Q3.2 ADXL355 的 XYZ 的失调数据是自己设置还是传感器自己产生？

A: 失调寄存器是用户可以设置的，缺省是 0。通常用户可以连续读取一段数据，对他们进行平均处理，可以得到 offset，这个 offset 数值正负取反后用补码表示，就是要写入的 offset 数值。

Q3.3 ADXL335 灵敏度与 0g offset 及安装倾斜角度的问题。

A: 灵敏度不会发生变化，角度发生变化，当然会对灵敏度和 offset 产生影响（都乘了一个系数）您可以参考 <https://www.analog.com/cn/analog-dialogue/articles/mems-imu-gyroscope-alignment.html> 建议首先将器件水平放置，消除角度的影响，先来获取补偿 offset 误差和灵敏度误差，再考虑补偿角度倾斜/三轴耦合的角度误差。

Q3.4 ADXL335 中断输出无法唤醒后端 MCU。

A: 可以适当调大活动阈值和样本数，找到一个合适的值来避免误触发。
有时无法唤醒，就要看是 MCU 的问题还是加速度计的问题。如果有高电平到低电平的转换，但 MCU 未被唤醒，那就是 MCU 的问题。以此类推，定位一下问题。
示波器检测的波形没问题，就证明芯片工作触发是正常的。

Q3.5 ADXL356 X Y Z 三轴输出模拟信号纹波比较大，在 40mV-60mV 之间。

A: 电源电压几十 mV 量级的纹波，太大了。推荐您使用 LDO 给传感器供电，噪声会小很多。

Q3.6 ADXL355 中的动作门限寄存器 ACT_THRESH，是否可以用来限制加速度值超过门限值就不输出加速度？还是只能用来计数超过加速度门限的动作次数？

A: 只能用来计数，不能不输出加速度。针对您描述的功能一般存在于对待机时间有较高要求的应用。ADI 相应的低功耗加速度计如 ADXL362/372, 可以检测静止或运动使器件进入休眠或低功耗模式。

Q3.7 ADXL355 使用 DRDY 中断映射到 INT1 引脚上，数据有效时 INT1 产生高电平触发单片机外部中断的形式去读取数据，当读取完数据并且读取了状态寄存器之后，INT1 上的电平不会恢复到低电平。

A: 可以连续读两次状态寄存器，看下第二次 DATA_RDY 位是否还是 1，如果还是就证明数据重新更新后又将 DATA_RDY 位置了 1，同时 INT2 继续产生中断。这个由于数据更新速率更快，还没来得及读取完旧数据，新数据就来了。有一点要注意：dataready 映射到中断引脚的话，必须要读状态寄存器清中断，而不是只读取数据就可以。所以可以先读取数据+读取状态寄存器，看下 INT1 中断电平能否恢复，能恢复的话就是正常的。

Q3.8 ADXL345 在低功耗模式下，出现了 ADXL345 电流偏大的情况，各个板子表现情况不一致。

A: 1 要保证测量的是 ADXL345 这个芯片而非整个系统的电流。一般电流偏大的原因可能是和 MCU 连接的 GPIO 口漏电。2 注胶会影响散热，最终影响芯片热稳定性和温度，也就可

能影响功耗。器件上电一段时间后电流恢复正常，也是热稳定性方面的原因，器件上电一段时间后才会达到热稳定，这个情况下的功耗才是有意义的。3 目前并不认为是芯片自身功耗的变化，所以说对芯片寿命/性能应该不会有影响。可以把新的芯片焊到出现问题的板子上，看看还会不会有功耗问题。控制变量法定位下问题。

Q3.9 ADXL355 芯片，采集到的了加速度值，需要把加速度值转变为频率，请提供下参考程序与公式，以及加速度和频率的关系。

A: 对于同等的位移或冲击形变，频率越高，产生的加速度也就越大。您可以理解为物体跌落在地毯上和跌落在地板上，地板的加速度更大。所以对于工业中很多这种需要检测刚性冲击的场合，要求加速度计的量程和带宽都要很大。单个的加速度值不包含频率信息，混频振动的话，可以对加速度计输出进行傅里叶分析，得出来的就是不同频率对应下的加速度值。

Q3.10 ADXL362 能检测到的最小加速度值是多少？

A: 如果噪声很小，此时 ADXL362 的分辨率为 1mg/LSB，其能检测到的最小加速度为 1mg；但如果噪声大，则最小值为噪声的门限。具体可以通过噪声谱密度和带宽算出噪声的 rms 值，再乘以 6.6 系数得到噪声的峰峰值，则这个值是可以分辨的最小加速度值。

Q3.11 ADXL345 用树莓派读取到的噪声远大于数据手册。

A: 树莓派的电源噪声较多，通常会带来较多误差。建议采用外部稳压电源供电，将电源地和树莓派地共地即可。

Q3.12 ADXL206 温箱内升温降温输出加速度存在偏置。

A: 加速度计存在这种温度的迟滞，一般 5~10mg 都在可允许的范围内，这个值可以参考数据手册中的零偏重复性。

Q3.13 ADXL345 能否从输出数据中移除静态加速度？

A: 可以参考 0x27 寄存器，设置 AC 或 DC 耦合，AC 耦合既可以在各种运动阈值检测中移除静态重力加速度。

Q3.14 加速度计倾角应用 PCB 注意事项和需不需要加缓震。

A: PCB 安装焊接时一定要保证连接强度和刚性连接，避免形变和谐振。加缓震装置可以提高精度，相当于低通。但缓震会引入形变，对于测倾角应用要保证连接都是刚性的。

Q3.15 ADXL357 在复杂的振动环境中可以实现 0.05° 的测量精度吗，上电后需要重新校准吗？通电一周的漂移有多少？

A: 可以依次计算下静态噪声，随机游走，10 年可重复性带来的误差，这些是没法补偿的。初始偏差，与温度有关的误差，跨轴灵敏性等是可以补偿掉的。高振动环境要定量计算振动值对振动整流误差的影响。如果有在 flash 保存校准数据，重新上电无需再校准。

Q3.16 多个加速度(ADXL345)平行绑在一起，之间输出差别很大，一致性很差。

A: 绑的不行，没法保证刚性连接。相对位移形变越小加速度越大。我们加速度计正常使用，对焊接和 PCB 安装都有很多要求（多点紧密连接），绑着肯定不行。

惯性测量单元 ADISXX

Q1.产品特性选型

Q1.1 ADIS16486 该产品在官网上显示是最新款的产品，那么是否是 ADIS IMU 系列中性能最好的呢？是否有其他产品可以推荐？

A: IMU 有两种发展方向，一种是如 ADIS1648X 系列兼顾了小体积和高性能，适用于对体积敏感的应用；另一种追求高性能，性能最好的高精度战术级 IMU 为 ADIS1649X 系列。

Q1.2 膝关节置换手术导航系统，需要用到加速度计和陀螺仪，是否可以推荐一些符合这个应用的型号。

A:推荐 ADIS164505,这款 IMU 的性价比比较高。

Q1.3 ADIS16505 各轴间零偏重复性相差很大（10 倍）？

A: 这是由于芯片内部加工原理和体积决定的。通常 X 和 Y 轴的宽带噪声更低，Z 轴的长时间重复性和振动抑制能力更好。如对各轴要求较高，可以用两个 IMU 垂直放置。

Q1.4 ADIS16495-2 是否支持 AEC Q100,是否具有汽车功能安全？

A: 支持 AEC Q100 的只有 ADIS16501,495 性能参数就是按车规级设计的，后续也会即将发布同样指标的车规级认证版本，使用没问题。

Q2.通用性问题

Q2.1 ADIS16495-1 和 ADIS16505-1，如何直接连接 windows 10 pc 使用。

A: 有相应的开发板（分线板+评估套件）和相应 Windows 版软件，在对应芯片下面都可以找到。

Q2.2 IMU 器件 ADIS6505 写控制字为何写不进去？

A: 一开始推荐反复读取芯片 ID，看是否得到正确的值，来判断真实 SPI 时序有无偏差（多次读写才能看出来细微偏差）。

Q2.3 ADIS16334BMLZ 按照手册写入程序，一开始结果不太正确，后面固定寄存器的值读出来了，但是 XGYRO_OUT 等数据输出波动大。静止状态下都有十几位或者几十位的波动 位是 0.05°/sec ，波动 0.5—1°/sec 。

A:这个数值是正常的，您也可以利用噪声谱密度和带宽自己算一下。另外可以采集 1 小时以上数据进行阿伦方差分析，随机游走和零偏不稳定性也与芯片手册一致的话芯片就没有问题。

Q2.4 ADIS16480 是否需要电磁屏蔽

A: 电机的干扰会通过通信接口，电源和地进来。通信接口最好能隔离，电源要单独供电，最好是低噪声的 LDO，电源的纹波会显著影响传感器的性能。

Q2.5 ADIS 系列 SPI 通讯不正常？

A:请根据如下链接检查自己的配置，最重要的就是一开始要反复读取固定寄存器（product_ID）确保正常通讯。

<https://ez.analog.com/mems/f/q-a/81822/adis16407-spi-communication>

Q3.传感器类问题

Q3.1 ADIS16490 工作温度变化带来的零偏严重漂移，上电 1 小时还未平稳的问题,要找到温补的方法。

A: ADIS16490 数据手册中有陀螺仪和加速度计随温度变化的参数，且内置了温度传感器。您可以通过上述参数，获取温度传感器数据对传感器输出进行补偿。

Q3.2 IMU 的航向角是通过什么计算出角度的？是不是上电，航向角默认为 0 度；外界电磁干扰是不是没有影响？俯仰轴和滚动轴是不是也是上电默认为零度？

A: 航向角通过对角速度的积分获取，三个角度原理也是一样的。理论上电磁干扰对产品没有影响，但在供电，地平面 PCB 设计及数据通讯接口还要注意电磁屏蔽的设计，消除器件间的相互干扰。

Q3.3 adis16477 出厂标定是什么意思？能够直接输出角速率和加速度吗？不用系统及补偿标定了？

A: 出厂时，所有的加速度标定系数和陀螺仪标定系数都会写到 ADIS16477 的 Flash 里面，用户读取的加速度和陀螺仪是校正后的数据。

Q3.4 ADIS16497 陀螺仪上电后有漂移，加速度计工作正常？

A: 这个陀螺仪确实存在这种上电后的漂移，漂移呈一阶对数衰减，初始漂移约为 $0.1-0.15^{\circ}/s$ ，时间常数在 5-20 分钟。

Q3.5 ADIS16465-2B: 16bit @ 2Khz 外部 MCU 计算角度 还是 32bit @ 200Hz 且 IMU 输出角度值结果更准确？

A: 建议采用外部时钟源，内部时钟精度 1%左右。在这个基础上两者不会有差别。

Q3.6 ADIS16480 磁力计输出异常：在水平转台上旋转 IMU，输出的数据中 X 方向的值几乎不变化？

A: 磁力计对环境是很敏感的，目前 X 轴都不对，没法分析这些数据。目前怀疑的点就是环境干扰，所以要去电磁环境少的地方测试一下，或者改变一下朝向，看 X 轴有没有输出。先确定一下问题发生的原因（不是 X 轴坏掉了，是 X 轴受到了干扰）。

参考文献 (参见官网)

1. 陀螺仪机械性能：最重要的参数 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/gyro-mechanical-performance.html>
环境温度，抗振（加速度敏感性），机械滥用，误差估算
2. MEMS IMU/陀螺仪对准基础 <https://www.analog.com/cn/analog-dialogue/articles/mems-imu-gyroscope-alignment.html>
3. 校准 iMEMS® 陀螺仪 https://www.analog.com/media/cn/technical-documentation/application-notes/AN-1049_cn.pdf
4. iMEMS® 加速度计和陀螺仪的相位与频率响应 https://www.analog.com/media/cn/technical-documentation/application-notes/AN-688_cn.pdf
5. 采用 MEMS 陀螺仪的低噪声反馈控制设计 <https://www.analog.com/cn/analog-dialogue/articles/low-noise-feedback-control.html>
RND,ARW，积分时间和最终角度精度的关系。
6. 选择最佳的振动传感器来进行风轮机状态监控 <https://www.analog.com/cn/analog-dialogue/articles/choosing-the-best-vibration-sensor-for-wind-turbine-condition-monitoring.html>
CbM 的典型应用举例分析
7. 为应用选择最合适的 MEMS 加速度计 <https://www.analog.com/cn/analog-dialogue/articles/choosing-the-most-suitable-accelerometer-for-your-application-part-2.html>
<https://www.analog.com/cn/analog-dialogue/articles/choosing-the-most-suitable-mems-accelerometer-for-your-application-part-1.html>
倾斜检测 ADXL345VSADXL355 误差源估算值；可穿戴设备；状态检测；物联网；资产状态检测
8. 为工业 4.0 启用可靠的基于状态的有线监控 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/enabling-robust-wired-condition-based-monitoring-for-industry-4-0-part-1.html>
<https://www.analog.com/cn/technical-articles/enabling-robust-wired-condition-based-monitoring-for-industry-4-0-part-2.html>
有线通讯 ADcmXL3021
ADXL1002 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/how-to-build-a-mems-based-solution.html>
9. MEMS 加速度计性能已臻成熟 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/mems-accelerometer-performance-comes-of-age.html>
MEMS 加计与传统石英加计对比
10. 如何用加速度计提高倾角测量精度 <https://www.analog.com/cn/analog-dialogue/articles/how-to-improve-the-accuracy-of-inclination-measurement-using-an-accelerometer.html>
灵敏度，误差校准前后贡献
11. MEMS 振动监控：从加速度到速度 <https://www.analog.com/cn/analog-dialogue/articles/mems-vibration-monitoring-acceleration-to-velocity.html>
以 ADXL357 为例，分析各项参数及其与输出的关系
12. MEMS 加速度计的振动校正 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/vibration-rectification-in-mems-accelerometers.html>

振动整流误差

13. 选择最合适的预测性维护传感器 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/choosing-the-most-suitable-predictive-maintenance-sensor.html>
CbM 机器健康和使用的传感器概述
14. 物联网智能传感器的噪声与功耗 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/the-power-of-low-noise-in-iot-smart-sensors.html>
最低功耗解决方案是由噪声最低的核心传感器实现，而不是由功耗最低的传感器实现
15. 未来维修服务对传感器的需求：用于实施状态监控的智能传感器 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/A60151-demands-on-sensors-for-future-servicing-smart-sensors-for-condition-monitoring.html> 时域频域分析
16. MEMS 陀螺仪中主要噪声源的预测和管理 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/critical-noise-sources-mems-gyroscopes.html>
固有噪声+线性振动+对准误差
17. MEMS 和 FOG 的精确导航之争 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/the-battle-between-mems-and-fogs-for-precision-guidance.html>
ADIS1648X
18. 基于 IMU 和地磁传感器的捷联惯性导航系统 <https://www.analog.com/cn/analog-dialogue/articles/strapdown-inertial-navigation-system-based-on-an-imu-and-a-geomagnetic-sensor.html>
19. 面向急救人员的传感器融合式精密定位和跟踪方法 <https://www.analog.com/cn/technical-articles/sensor-fusion-approach-to-precison-location-tracking.html> ADIS16488A
20. IMU 快速入门指南 ADIS164X 机械设计技巧
21. ADXL345 快速入门指南
22. 倾角测量：使用加速度计进行倾斜测量 使用双轴加速度计进行倾斜测量 通过应力和应变管理，实现出色的高精度倾斜/角度检测性能