

测量交流加速度：校准还是不校准？

作者：Sid Tallur
ADI公司产品应用工程师

对于倾角计等应用，加速度计的直流响应是目标信号，因为应用要求检测静态加速度计输出的微小变化。在大多数应用中，例如平台稳定、井下定向钻探、吊车稳定系统，以及在建筑行业的水平测量和勘测设备找水平应用中，倾角变化可假定为准静态，因为倾角变化涉及到时间尺度通常远小于加速度计带宽。然而，在振动监控和结构健康状况监控(SHM)之类的应用中，加速度计的交流响应也很重要，因为目标信号可能有一个频谱，其功率扩展到很宽的频率范围上。

振动是周期性的，因此通过频谱分析可以很方便地确定振动特性曲线（振动、幅度和频率之间的关系）。每台运动设备都有自己的振动特性曲线，振动频谱曲线常常代表设备的自然谐振频率。为将加速度计输出的频率成分从电压PSD [$V/\sqrt{Hz}$]变为加速度PSD [$g/\sqrt{Hz}$]，必须知道加速度计的灵敏度对频率的响应，例如灵敏度随所施加输入振动的频率如何变化。[ADXL354](#)和[ADXL355](#)属于新型低噪声、低功耗MEMS加速度计系列，支持结构健康状况监控等低振动水平监控应用。本文讨论这些加速度计的交流响应，以及在此类应用中决定是否需要校准加速度计输出时应当考虑的因素。

影响交流响应的因素

ADXL354和ADXL355加速度计均利用模拟低通抗混叠滤波器来降低带外噪声。该模拟抗混叠滤波器是一种sinc3滤波器，提供大约1.5 kHz的固定带宽（3 dB转折频率）。这会限制ADXL354和ADXL355的带宽，而且还会滤除ADXL355内置的20位 Σ - Δ 模数转换器(ADC)的混叠噪声。ADXL355还内置一个数字滤波级，其由一个低通抽取滤波器和一个可旁路高通滤波器组成。所有这些滤波级的组合定义这些器件的交流响应。这些滤波级会有效衰减ADXL354和ADXL355在3 dB转折频率以外的灵敏度。ADXL354和ADXL355所用MEMS传感器在X轴和Y轴上的谐振频率约为2.5 kHz，在Z轴上的谐振频率约为2.1 kHz，故而在传感器的谐振频率附近，灵敏度会因谐振而增强。

交流灵敏度测量

执行正弦扫描振动测试以评估传感器的频率响应。加速度计被固定安装在Unholtz-Dickie 20型振动系统上。使用一个参考加速度计(PCB 320B14)来校准振动激励信号，另外还有一个Endevco 133型信号调理器。对于ADXL354，使用Vibration Research VR9500作为振动控制器和数据采集系统。对于ADXL355，使用NI PCI 7850R作为数据采集系统。正弦振动信号的频率扫描范围是30 Hz至5 kHz。测量之后改变加速度计的安装方式，让另一灵敏度轴与振动系统的振动轴对齐。

ADXL354

器件工作在 $\pm 8 g$ 范围内，正弦振动的峰值激励为1 g，采用上一部分所述的设置。ADXL354灵敏度（归一化到直流灵敏度）的频率响应如图1所示。从图像可推知，谐振增强和模拟抗混叠滤波器引起的衰减的结合，将频率平坦带（直流的 $\pm 5\%$ 范围）限制在1.3 kHz左右。例如，X轴和Y轴的+3 dB转折频率（此时的灵敏度是直流灵敏度的两倍）约为2.1 kHz。Z轴传感器的品质因数低于X轴和Y轴传感器，故其在任何频率的交流灵敏度都不会达到直流灵敏度的两倍。Z轴传感器的最大灵敏度是在其谐振频率。

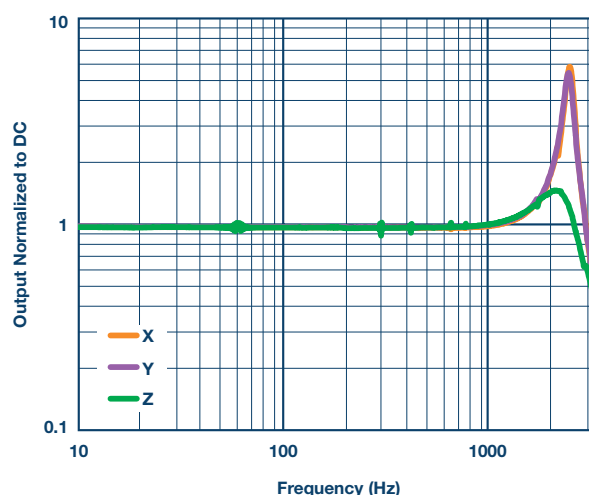


图1. ADXL354灵敏度与振动频率的关系

ADXL355

器件工作在 $\pm 8\text{ g}$ 范围内，正弦振动的峰值激励为 5 g ，采用上述设置。ADXL355灵敏度的频率响应如图2所示，ODR选择 4 kHz 。图像显示了所有频率的灵敏度，归一化到直流灵敏度。由于ADXL355中还实现了数字滤波，所以平坦带宽受用户设置的ODR限制（带宽 = $\text{ODR}/4$ ）。在这里显示的图像中，ODR选择为 4 kHz ，相应的 -3 dB 转折频率约为 1 kHz 。振动频率接近器件谐振频率时，灵敏度会因谐振而增强。

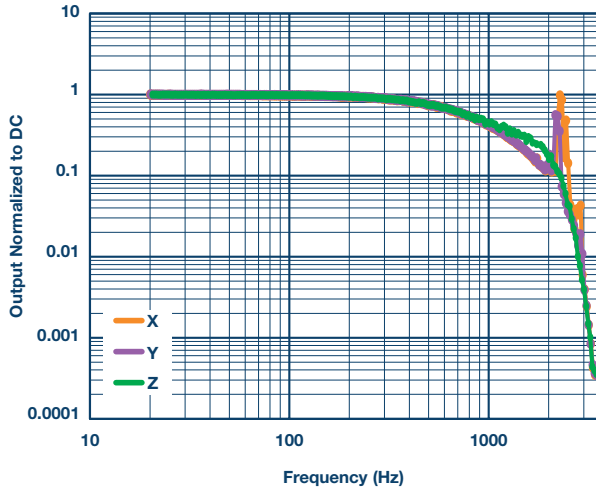


图2. ADXL355灵敏度与振动频率的关系

校准

ADXL354和ADXL355的保证直流灵敏度为标称值的 $\pm 8\%$ 。如果不校准直流灵敏度，直流时的加速度测量最大误差为 8% 。如果需要更高精度，可执行直流灵敏度校准，即把已知输入加速度施加于器件，每个轴至少测量两个值。执行这种校准的最简单方法是沿各轴将正负两个方向均定位到 1 g 重力场¹。

ADXL354的交流灵敏度差异主要取决于谐振频率和品质因数的差异。这些参数的差异通常非常小，受工艺差异控制。多个器件的频率差异通常小于 2% ，品质因数 Q 差异通常小于 10% 。图3比较了两个 Q 和谐振频率相差较大的ADXL354器件（X轴）。抗混叠滤波器和谐振的结合导致两个器件在 2 kHz 时的归一化交流灵敏度分别等于 1.63 和 1.74 ，相差大约 6% 。因此，若 Q 较高的加速度计在 2 kHz 时检测到 100 mg 的振动，则另一加速度计检测同一信号时报告的结果将是 94 mg 。在应用中，如果振动成分在特定频率的绝对精度很重要，建议利用精密振动台执行额外的交流校准。

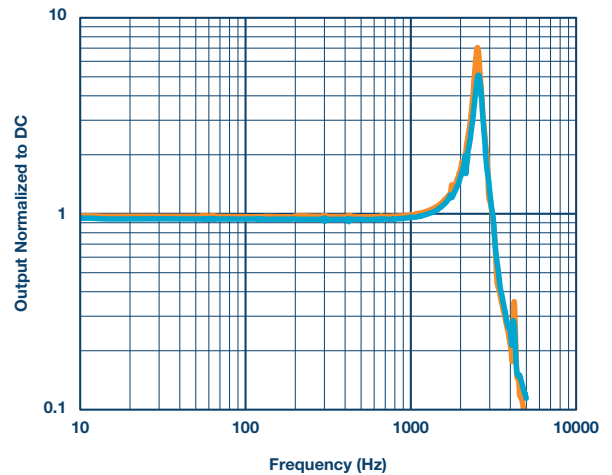


图3. ADXL354器件间灵敏度差异与振动频率的关系

总之，是否要校准加速度计取决于目标信号。对于需要监控振动谐波频率绝对幅度的振动监控和结构健康状况监控应用，需要进行额外校准。在意图追踪自然振荡、幅度和频率的相对偏移的应用中，可以结合基准测量使用ADXL354和ADXL355加速度计，无需额外校正。

参考文献

¹ Christopher J. Fisher. 应用笔记, [AN-1057](#), 利用加速度计进行倾斜检测。ADI公司。

作者简介

Siddharth Tallur博士是MEMS产品应用工程师，隶属ADI公司高性能传感器部门。他之前在传感器平台开发团队工作，从事新型惯性MEMS传感器设计和平台的开发。Tallur博士2013年毕业于康奈尔大学，获博士学位，博士论文研究焦点是利用光力学设计GHz频率、低噪声MEMS振荡器。

在线支持社区

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 ezchina.analog.com

 **EngineerZone™**
中文技术论坛

全球总部
One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部
上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路2290号展想广场5楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司
深圳市福田区中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司
北京市海淀区西小口路66号
中关村东升科技园
B-6号楼A座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司
湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路889号光谷国际广场
写字楼B座2403-2405室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9668
传真: (86 27) 8715 9631

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA137245sc-0-11/16

analog.com/cn

 **ANALOG DEVICES**
超越一切可能™