

Circuits from the Lab™
Reference Circuits

Circuits from the Lab™ reference circuits are engineered and tested for quick and easy system integration to help solve today's analog, mixed-signal, and RF design challenges. For more information and/or support, visit www.analog.com/CN0303.

连接/参考器件

ADXL001	高精度、±70 g、±250 g、±500 g 单轴加速度计
AD8606	精密、低噪声、CMOS、轨到轨输入/输出、双封装运算放大器
AD7476	2.35 V至5.25 V、低功耗、单通道、1 MSPS、12位ADC

带频率响应补偿的MEMS振动分析仪

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0303电路评估板\(EVAL-CN303-SDPZ\)](#)

[包含ADXL001评估板\(EVAL-ADXL001-70Z\)和用于连接的扁平电缆](#)

[系统演示平台\(EVAL-SDP-CS1Z\)](#)

设计和集成文件

[原理图、布局文件、物料清单](#)

电路功能与优势

图1所示电路是一款高线性度、低噪声、宽带宽振动检测解决方案。该方案适用于要求具有宽动态范围(±70 g、±250 g或±500 g)以及平坦频率响应(从直流到22 kHz)的应用。

该电路提供适合进行轴承分析、引擎监控以及振动检测的低功耗解决方案。

享有ADI专利的第五代iMEMs®工艺让ADXL001加速度计拥有从±70 g扩展至±500 g的扩展动态范围，且带宽为22 kHz。

AD8606是一款精密、低噪声、双通道运算放大器，用于创建模拟双二阶滤波器，可使加速度计的输出频率响应较为平和。

ADXL001输出电压经低功耗、单通道12位SAR ADC AD7476转换为数字字。

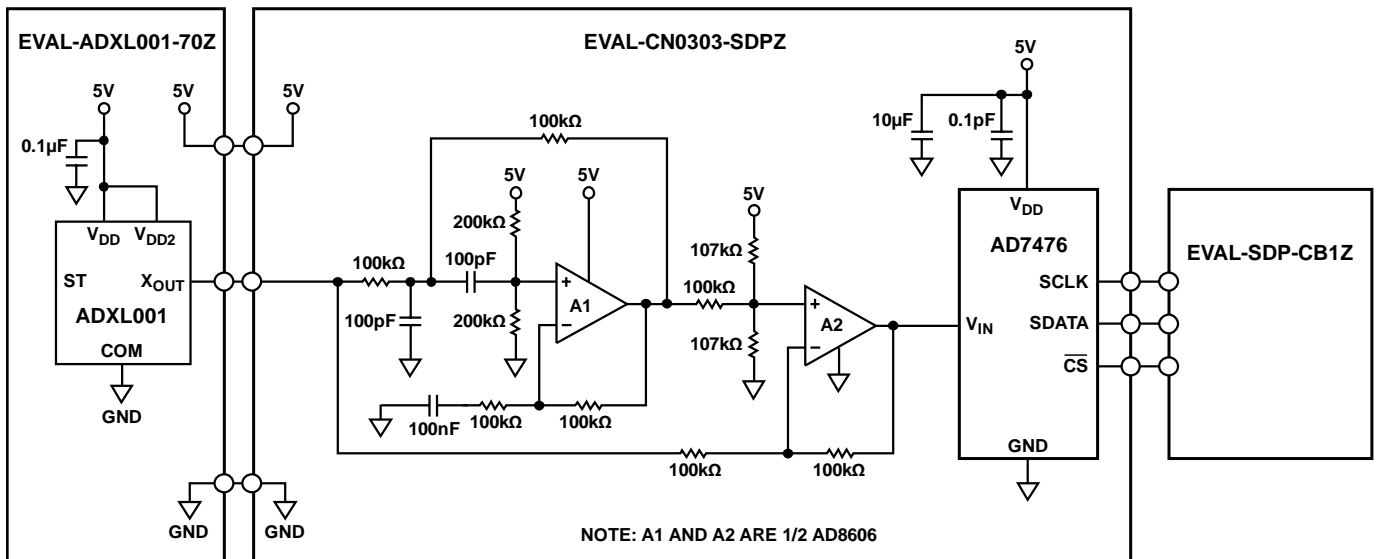


图1. 单轴振动分析系统(原理示意图)
未显示去耦和所有连接)

Rev. 0

Circuits from the Lab™ circuits from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

加速度计输出特性

ADXL001经测试的额定电源电压为3.3 V和5 V。虽然该器件可采用3 V至6 V范围内的任意电源电压工作，但采用5 V电源可获得最优整体性能。

输出电压灵敏度与电源电压成比例。采用3.3 V电源时，标称输出灵敏度为16 mV/g。采用5 V电源时，灵敏度为24.2 mV/g。

0 g输出电平亦为比例电平，标称值为 $V_{DD}/2$ 。

只要1 MHz内部时钟频率上不存在噪声，ADXL001就只需要一个0.1 μF 去耦电容。如果需要，可以包含较大的大容量电容(1 μF 至10 μF)或氧化铁磁珠。

加速度计物理操作

ADXL001采用绝缘硅片(SOI) MEMS技术制造，具有机械耦合但电气隔离的差分检测单元。图2显示其中一个差分传感器单元模块的简化图。每个传感器模块均集成数个差分电容单元。每一单元都以器件层上的固定板以及传感器框架上的活动板组成。传感器框架移位将改变差分电容。片内电路测量电容变化，并将其转换为输出电压。

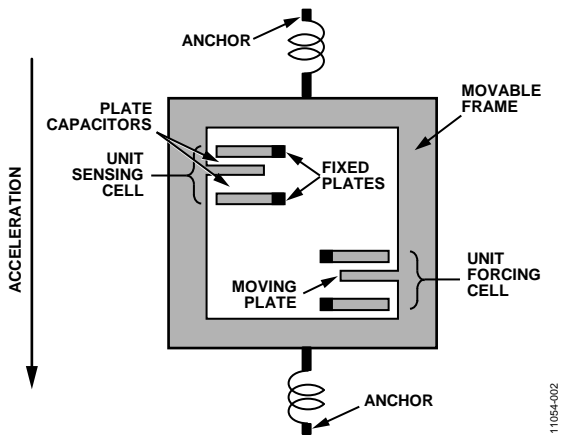


图2. 传感器加速时的简化试图

SOI器件层的传感器经过微加工处理。沟道隔离用于对差分检测元件进行电气隔离但机械耦合处理。单晶硅弹簧悬挂于晶圆处理结构之上，提供加速度的力量阻力。

ADXL001是一款x轴加速度和振动检测器件，向引脚8标记处振动时，产生趋正输出电压，如图3所示。

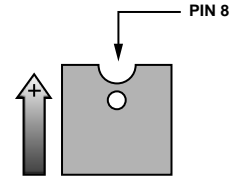


图3. ADXL001 X_{OUT} 电压随正X轴方向的加速度增加而增加

与ADC接口

如需数字化加速度信息，加速度计输出电压范围必须位于ADC输入电压范围内。AD7476输入电压范围为0 V至 V_{DD} (5 V)。ADXL001输出电压范围为0.2 V至 $V_S - 0.2$ V (4.8 V)。任何加速度计测得的加速度将根据该信息进行数字化，无需额外的放大器或缓冲器。

由于AD7476的 V_{DD} 电源用作ADC基准电压源，因此无需使用外部基准电压源。此外，整个电路与电源成比例，因为同一个 V_{DD} 还用来驱动ADXL001。

频率响应

加速度计的频率响应是系统中最重要特性，显示在图4中。当信号频率超过2 kHz至3 kHz左右时，加速度计中的增益会增加。波束为谐振频率时(22 kHz)，器件的输出电压大致存在7 dB($\times 2.24$)峰化。该峰化对加速度计的输出电压具有极大的影响。

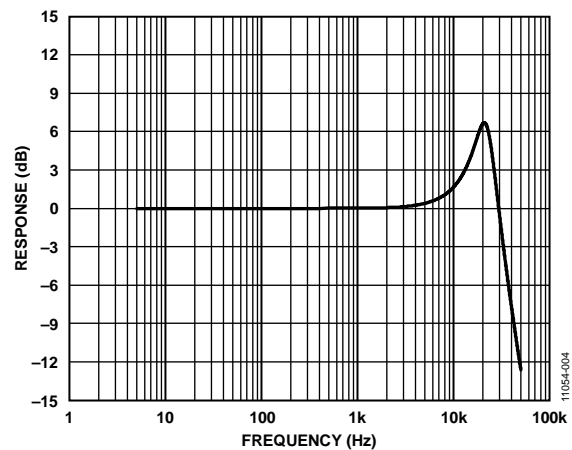


图4. ADXL001频率响应

10 kHz时，考虑使用20 g加速度。假定0 g输出电压为2.5 V，且灵敏度为24.2 mV/g，则预计输出电压为：

$$2.5 \text{ V} + (0.0242 \times 20) = 2.984 \text{ V}$$

但是，该电压会伴随约2 dB的峰化而增加，使实际输出电压为：

$$2 \text{ dB} = 20 \log_{10} (V_{OUT} / 2.984 \text{ V})$$

$$V_{OUT} = 3.757 \text{ V}$$

预计输出电压和实际输出电压之差会产生巨大误差：

$$\text{误差} = 3.757 \text{ V} - 2.984 \text{ V} = 0.773 \text{ V}$$

校正此误差以保证精度很重要，并且专门设计了模拟双二阶滤波器对该误差进行校正。实现该滤波器的详情在下文“滤波器设计”部分予以讨论。

加速度计范围缩小

必须注意，随着加速度计的频率响应出现峰化，器件的可用加速度范围随之缩小。20 kHz时，考虑使用70 g加速度。

预计输出电压为：

$$2.5 \text{ V} + (24.2\text{mV/g} \times 70 \text{ g}) = 4.194 \text{ V}$$

具有~7dB峰化效应：

$$7 \text{ dB} = 20 \log_{10} (V_{\text{OUT}} / 4.194\text{V})$$

$$V_{\text{OUT}} = 9.389 \text{ V}$$

由于ADXL001供电轨为5 V，输出将限制为大约+0.2 V和+4.8 V。因此，可测量的最大g值将取决于振动频率。

必须允许±0.5 V的额外裕量，因为0 g失调电压会有所变化。振动频率低于2 kHz左右时，0 g失调振动将最大可用输出电压范围限制为±1.8 V，即相当于大约±70 g。

随着振动频率从大约2 kHz增加至22 kHz，输出达到饱和之前允许的最大g值以7 dB (×2.24)步进逐步下降至±31 g。只要最大g值低于±31 g，在22 kHz范围内滤波器便具有平坦的频率响应，而无饱和或信息丢失。

滤波器设计

为了补偿加速度计频率响应的增益峰化，使用了一个模拟双四通道陷波滤波器。品质因数(Q=2.5)以及波束的谐振频率(22 kHz)均可在ADXL001数据手册的规格表中找到。

通过创建22 kHz时峰值约为-7 dB的陷波滤波器，加速度计的频率响应可变得较为平坦，使得更高频率下的振动测量更为简单。图5显示滤波器、加速度计和整个信号链的频率响应。使用正弦波作为EVAL-CN0303-SDPZ板的输入，仿真加速度计输出，并获取数据。

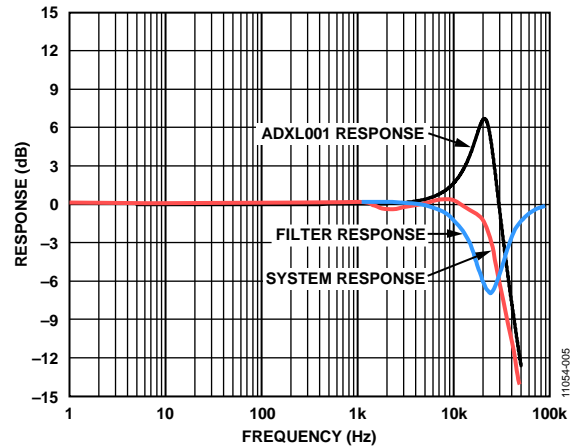


图5. ADXL001频率响应、滤波器频率响应和系统频率响应

陷波滤波器的设计参考《无源和有源网络分析与频率合成》中的示例电路，并对其进行了修改。该书作者为Aram Budak，出版于1991年10月(ISBN-13: 该补偿器的传递函数为前文得出的传递函数之反函数。Multisim™电路设计套件用于仿真并验证陷波滤波器的传递函数。滤波器参数指定为Q=2.5，中心频率=22 kHz，陷波深度=7 dB。

测试结果

执行两个基本测试，验证系统性能。首先，使用信号发生器驱动恒定幅度的可变频率正弦波，输入滤波器。假定模拟滤波器的频率响应如图5所示，测量输入和输出电压，绘出 $20 \log_{10}(V_{\text{OUT}}/V_{\text{IN}})$ 图形。

其次，验证整个信号链的频率响应，确保设计的性能。为了更加精确地验证系统频率响应，使用信号发生器仿真ADXL001的输出。

出于测试目的，仿真5 g加速度信号，并在50 kHz频率范围内将其驱动至滤波器。若ADXL001在敏感轴上承受±5 g正弦加速度，则将会输出相应的交流电压：

$$\pm 5 \text{ g} \times 0.0242\text{V/g} = \pm 0.121 \text{ V}$$

该电压于0 g输出条件下置中，即2.5 V。

信号发生器将该电压驱动至滤波器。使用示波器测量滤波器的峰值输出电压。该电压将转换为g值(g除以灵敏度)，并与初始输入加速度进行比较。绘出 $20 \log_{10}(V_{\text{OUT}}/V_{\text{IN}})$ 图形，即系统的频率响应图。

CN-0303

针对加速度计频率响应中的峰化，调节信号发生器的输出电压非常重要。对于10 kHz频率，信号发生器的输出电压必须增加约1.8 dB，以便精确表示加速度计在5 g加速度情况下的输出电压。

图5显示移除加速度计频率响应中较大峰值后的结果。-3 dB带宽约为23 kHz。由于加速度计频率响应的峰值与滤波器响应中陷波的微小对准误差，在造成滚降前，可在通带中及时发现少量纹波。

采用Wavetek的81系列脉冲/函数发生器产生2 kHz正弦波，并直接与滤波器输入相连。图6为CN0303评估软件显示AD7476 ADC数据转换并对数据绘图屏幕截图。采样速率为1 MSPS。

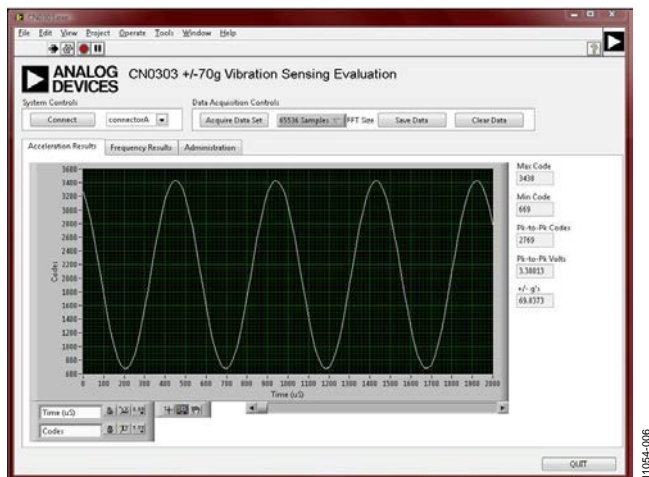


图6. CN0303评估软件以1 MSPS采样速率数字化2 kHz正弦波的屏幕截图

PCB布局考虑

在任何注重精度的电路中，必须仔细考虑电路板上的电源和接地回路布局。PCB应尽可能隔离数字部分和模拟部分。本系统的PCB采用4层板堆叠而成，具有较大面积的接地层和电源层多边形。有关布局和接地的详细论述，请参见MT-031指南；有关去耦技术的信息，请参见MT-101指南。

EVAL-ADXL001-70Z板通过柔性扁平电缆连接EVAL-CN0303-SDPZ电路板。这样可让用户将EVAL-CN0303-SDPZ与可能导致电路板损坏的任何振动相隔离(由机械应力造成)，同时允许用户将ADXL001直接放置在振动源。

ADXL001的电源采用0.1 μF电容去耦，以便有效抑制噪声，减少纹波。电容应尽可能靠近该器件放置。

电源走线应尽可能宽，以提供低阻抗路径，并减小电源线路上的毛刺效应。时钟和其它快速开关的数字信号应通过数字地将其与电路板上的其它器件屏蔽开。

有关本电路笔记的完整设计支持包，请参阅www.analog.com/CN0303-DesignSupport。

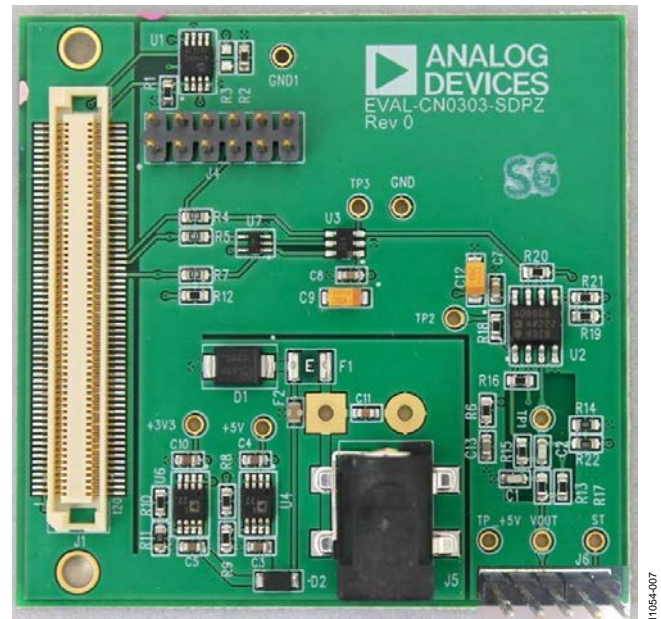


图7. EVAL-CN0303-SDPZ照片

常见变化

如需获得更为复杂的振动检测解决方案，可使用双轴(ADXL2xx系列)或三轴(ADXL3xx系列)加速度计代替ADXL001。通过在第二或第三个空间维度测量加速度，用户可编写自定义软件，实现更为精确复杂的振动检测系统。

电路评估与测试

本电路使用EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板和EVAL-CN0303-SDPZ电路板。这两片板具有120引脚的对接连接器，可以快速完成设置并评估电路性能。

本电路还使用了EVAL-ADXL001-70Z评估板(随EVAL-CN0303-SDPZ板提供)。该PCB的输出连接器(P1)必须通过提供的扁平电缆连接EVAL-CN0303-SDPZ PCB的输入连接器(J6)。

EVAL-CN0303-SDPZ板包含待评估电路，如本笔记所述。EVAL-SDP-CB1Z评估板与CN0303评估软件一同使用，捕获EVAL-CN0303-SDPZ电路板的数据。EVAL-ADXL001-70Z板集成ADXL001 IC。

设备要求

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista®(32位)或Windows® 7(32位)PC
- EVAL-CN0303-SDPZ评估板
- EVAL-ADXL001-70Z评估板和扁平电缆(随EVAL-CN0303-SDPZ板提供)

- EVAL-SDP-CB1Z评估板
- CN0303评估软件
- 电源: +6.0 V或+6.0 V壁式电源适配器
- 函数发生器(Wavetek 81或同等设备), 需要时用以产生ADXL001输出仿真信号

开始使用

将CN0303评估软件光盘放进PC的光盘驱动器, 加载评估软件。打开我的电脑, 找到包含评估软件光盘的驱动器, 打开Readme文件。按照Readme文件中的说明安装和使用评估软件。

功能框图

图8显示测试设置的功能框图。信号发生器用于仿真ADXL001输出。EVAL-ADXL001-70Z板的5引脚连接头(P1)可通过扁平电缆连接EVAL-CN0303-SDPZ板的5引脚连接头(J6), 测量实际振动。

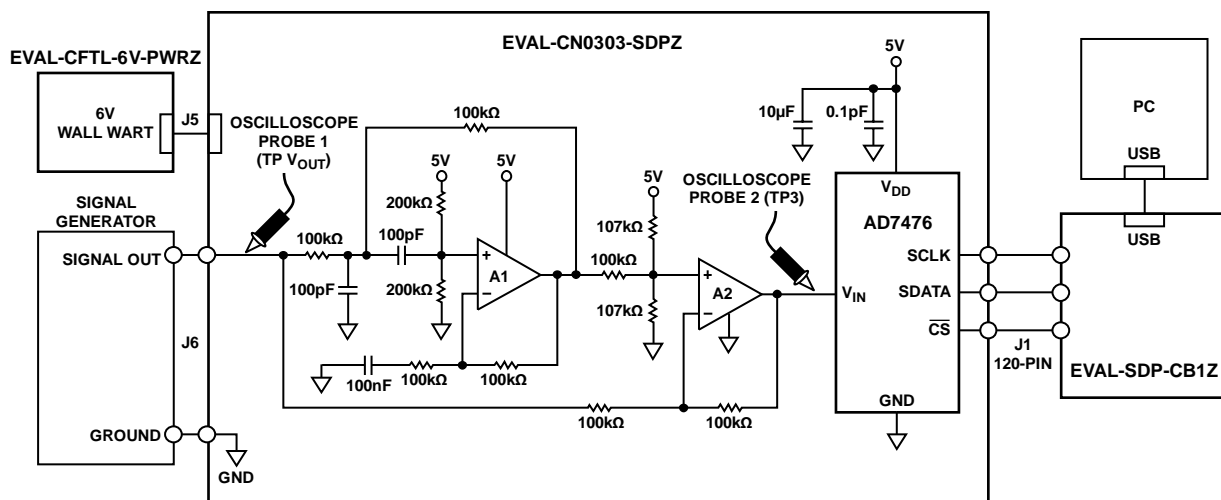


图8. 测试设置功能框图

11054-008

CN-0303

设置

将EVAL-CN0303-SDPZ电路板上的120引脚连接器(J1)连接到EVAL-SDP-CB1Z (SDP)评估板上的连接器。应使用尼龙五金配件，通过120引脚连接器两端的孔牢牢固定这两片板。

将EVAL-ADXL001-70Z评估板上的5引脚接头(P1)通过扁平电缆连接至EVAL-CN0303-SDPZ电路板上的5引脚接头(J6)。

将+6.0 V电源连接至EVAL-CN0303-SDPZ板上的J5连接器。SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。此时请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

测试

启动评估软件，并通过USB电缆将PC连接到SDP板上的微型USB连接器。

一旦USB通信建立，就可以使用SDP板来发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0303-SDPZ板的串行数据。

有关SDP板的信息，请参阅SDP用户指南。

有关测试设置、校准以及如何使用评估软件来捕捉数据的详细信息，请参阅软件的Readme文件：
www.analog.com/CN0303-UserGuide。

了解详情

CN-0303 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0303-DesignSupport>

MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND"*, Analog Devices.

MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques*, Analog Devices.

AN-688 Application Note, *Phase and Frequency Response of iMEMS Accelerometers and Gyros*, Analog Devices

Linear Circuit Design Handbook, Hank Zumbahlen, Analog Devices

Aram Budak, *Passive and Active Network Analysis and Synthesis*, October 1991, ISBN-13: 978-0881336252.

数据手册和评估板

CN0303 Circuit Evaluation Board (EVAL-CN0303-SDPZ)

System Demonstration Platform (EVAL-SDP-CS1Z)

ADXL001 Data Sheet

ADXL001 Evaluation Board (EVAL-ADXL001-70Z)

AD8606 Data Sheet

AD7476 Data Sheet

AD7476 Evaluation Board

修订历史

2013年7月—修订版0：初始版

(Continued from first page) Circuits from the Lab circuits are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the Circuits from the Lab circuits in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the Circuits from the Lab circuits. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab circuits are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any Circuits from the Lab circuits at any time without notice but is under no obligation to do so.

©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11054sc-0-7/13(0)

