

### 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/CN0312](http://www.analog.com/CN0312).

#### 连接/参考器件

AD7798	3通道、低噪声、低功耗、16位、 $\Sigma$ - $\Delta$ 型ADC，内置片内仪表放大器
AD8615/ AD8618	精密单通道/四通道轨到轨输入/输出运算放大器
ADR4525	超低噪声、高精度2.5 V基准电压源
AD8271	可编程增益精密差动放大器
ADG633	CMOS、 $\pm 5$ V/+5 V/+3 V、三路SPDT开关
ADG733	CMOS、2.5 $\Omega$ 、低电压、三路SPDT开关

## 带可编程增益跨阻放大器和同步检波器的双通道色度计

### 评估和设计支持

#### 电路评估板

[CN-0312电路评估板\(EVAL-CN0312-SDPZ\)](#)

[系统演示平台\(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

#### 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所示电路是一个双通道色度计，集成调制光源发射器和同步检波器接收器。电路以三种不同的波长测量样本与参考容器的吸收光线之比。

该电路针对许多化学分析和环境监控仪器提供有效的解决方案，这些仪器仪表用于通过吸收光谱测量浓度和表征材料。

光电二极管接收器调理路径包括可编程增益跨阻放大器，用于将二极管电流转换为电压，并允许分析光吸收情况大不相同的不同液体。16位 $\Sigma$ - $\Delta$ 型模数转换器(ADC)提供额外的动态范围，确保宽范围光电二极管输出电流具有足够的分辨率。

使用调制光源和同步检波器而非恒流(直流)源可消除环境光线和低频噪声产生的测量误差，并提供更高的精度。

#### 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)

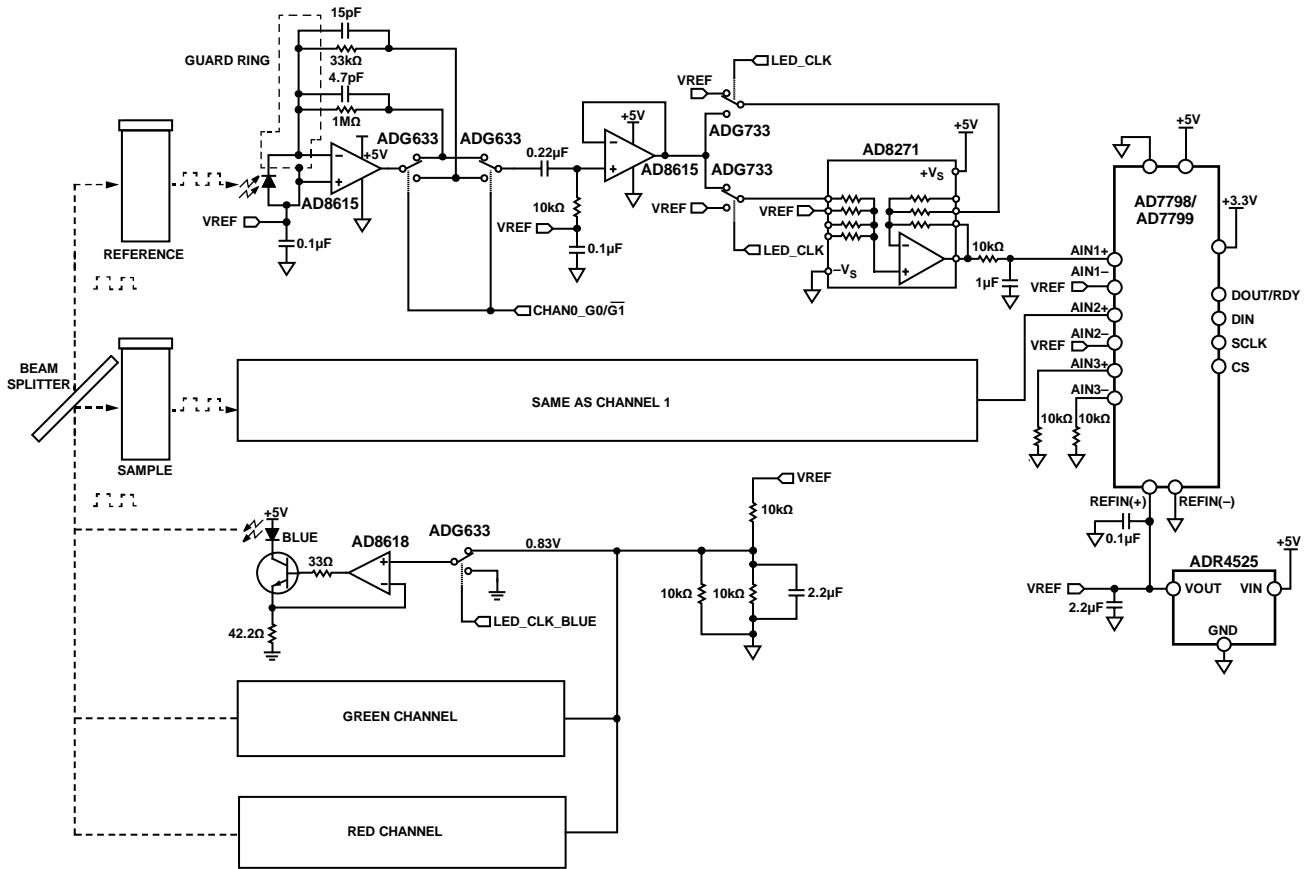


图1. 带可编程增益跨阻放大器和锁定放大器的双通道色度计  
(原理示意图: 未显示所有连接和去耦)

电路描述

AD8618四通道运算放大器形成三个简单的电流源, 以恒定电流驱动LED。EVAL-SDP-CB1Z产生5 kHz时钟, 通过单刀双掷(SPDT)开关ADG633调制一个LED, 以便打开或关闭其电流源的基准电压。将另外两个LED的电流源设为0V可在不用时将其关闭。

波束分离器将一半光线通过样本容器发送, 另一半通过参考容器发送。取决于每个容器中介质的类型和浓度, 容器可吸收不同量的光。每个容器另一侧的光电二极管产生少量电流, 数量与接收到的光量成比例。

每条通道的第一级包含AD8615运算放大器, 该运算放大器配置为跨阻放大器, 可将光电二极管输出电流转换为电压。AD8615作为光电二极管放大器, 是一个不错的选择, 因为它具有极低的输入偏置电流(1 pA)、输入失调电压(100 μV)和噪声(8 nV/√Hz)。虽然信号随后经交流耦合, 在本级中尽量减少直流误差依然很重要, 这样可避免损失动态范围。运算放大器输入偏置电流乘以输出端的反馈电阻值, 作为失调电压。带增益输出端上的运算放大器输入失调电压取

决于反馈电阻和光电二极管分流电阻。此外, 流经光电二极管的任何运算放大器输入电压失调都会导致光电二极管暗电流的增加。

图2显示带单反馈电阻的典型跨导放大器及其理想传递函数。

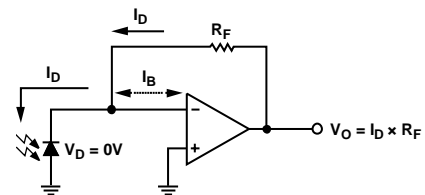


图2. 跨导放大器传递函数

由于某些被测溶液可能具有非常强的吸收特性, 因此有时需要使用大反馈电阻以测量光电二极管产生的极小电流, 同时要能够测量与高度稀释溶液相对应的大电流。为了解决这一难题, 图1中的光电二极管放大器含有两个不同的可选增益。其中一个增益设为33 kΩ, 另一个设为1 MΩ。当单SPDT开关连接运算放大器的输出端以便开关反馈电阻时, ADG633的导通电阻可能导致跨阻增益误差



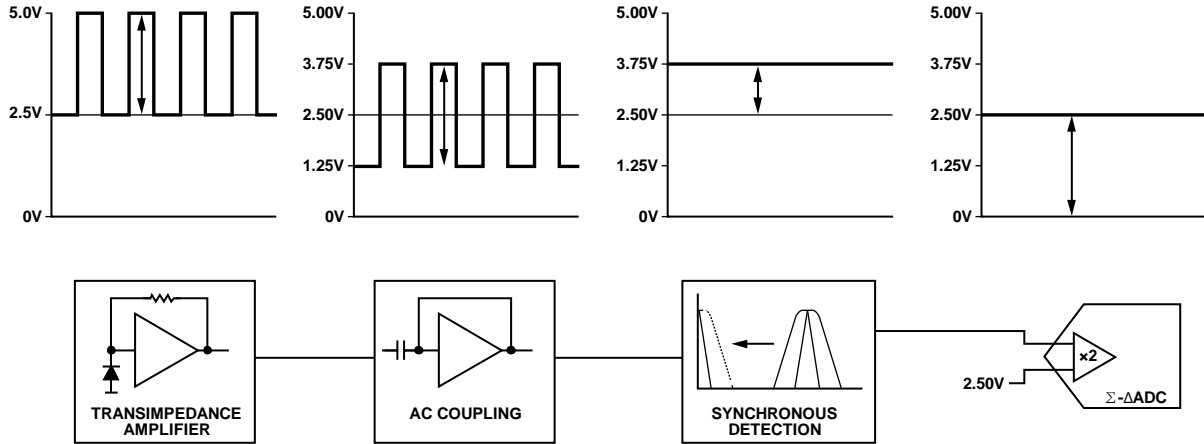


图4. 每步的系统框图和时域波形

图4为系统框图，并标出了每级的电压范围。同步整流电路处理后的结果为可变直流电压，变动范围为2.5 V(没有光线到达光电二极管)至3.75 V(满量程光输入)。该输出电压对应1.25 V的满量程输出摆幅。

该电路过滤频率不与LED时钟同步的信号(或奇次谐波，因为时钟波形为方波)。在频域中，AD8271输出端的低通滤波器看上去像一个LED时钟频率附近的带通滤波器。该滤波器的带宽越低，同步整流器就越能抑制带外噪声。出于噪声抑制和建立时间的权衡考虑，该滤波器的截止频率设为16 Hz。必须说明，该滤波器带宽约等于LED时钟。例如，若LED调制为5 kHz，则同步检波器的3 dB通带范围为4.984 kHz至5.016 kHz。

系统最终级为低噪声、16位、 $\Sigma$ - $\Delta$ 型ADC AD7798。该ADC集成内置的可编程增益放大器(PGA)，具有差分输入。将2.5 V基准电压源与AIN引脚相连，并将PGA增益设为2以便允许它把同步整流器的2.5 V至3.75 V输出映射为满量程16位输出。此外，AD7798的输出滤波器还提供50 Hz和60 Hz下的最低65 dB抑制，进一步衰减同步检波器的所有噪声。

为了验证前端电路不会对系统产生过大的噪声，数据在LED禁用时采集。同步检波器依然在LED时钟频率下，但不会检测到任何与该时钟同步的光信号。因此，它可移除了AD8271和ADC产生的误差之外的所有直流和交流信号。图5显示该配置下的噪声，它针对单个通道的数值低于1 LSB(ADC输入在两个代码之间置中)，针对另一个通道为1 LSB峰峰值(ADC输入在两个相邻代码之间位于过渡区域)。此外，需注意测量电压为负，数值为几个mV，这是符合AD8271典型失调误差分布的预期性能。

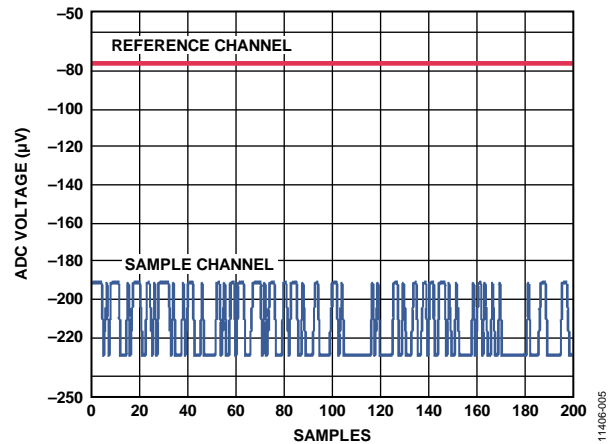


图5. LED源禁用时的ADC电压

## 常见变化

改变光电二极管放大器上反馈电阻的数值即可改变放大器增益。这是一种自定义电路的简单方法，可用于不同光照水平的特定应用。然而，补偿电容也必须改变，以保持带宽，保证放大器的稳定性。

对于极低水平光照测量系统而言，同步检波器的低通滤波器其截止频率可设为低得多的频率值，以便具有最佳性能，但代价是测量周期较长。

由于LED的光输出随温度变化而改变，系统以样本和参考通道的比例进行测量。光电二极管的增益容差最大值为 $\pm 11\%$ ；因此，由于LED输出随时间和温度的变化而改变，比例的变动在一定程度上存在漂移。加入光学反馈环路控制幅度后，LED可大幅降低光随温度变化而改变的程度，甚至使单通道精确测量成为可能。图7表示典型200个样本采集期间的参考通道与样本通道读数之比。

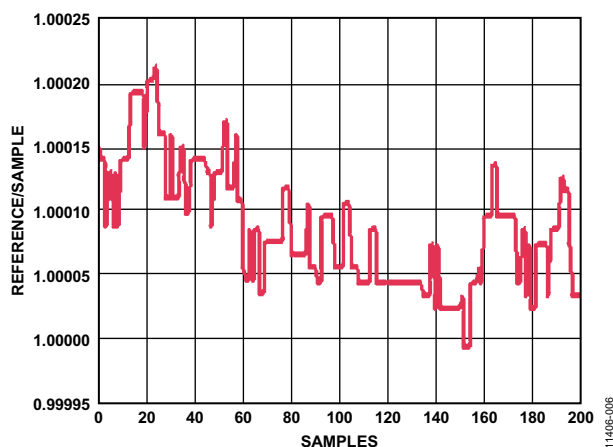


图6. 校准后的比例读数(开启红色LED, 样本和参考容器中有蒸馏水)

## 电路评估与测试

本电路使用EVAL-CN0312-SDPZ评估板和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板。

CN-0312评估软件与EVAL-SDP-CB1Z通信，以从EVAL-CN0312-SDPZ捕捉数据。

## 设备要求

需要以下设备：

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista(32位)或Windows 7(32位)PC
- EVAL-CN0312-SDPZ评估板
- EVAL-SDP-CB1Z评估板(SDP)
- 6 V至12 V直流、500 mA电源
- CN-0312评估软件
- 蒸馏水和测试液体样本

## 开始使用

将CN-0312评估软件放进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。EVAL-CN0312-SDPZ-SCH pdf文件提供了完整电路原理图。此文件位于CN0312设计支持包中。

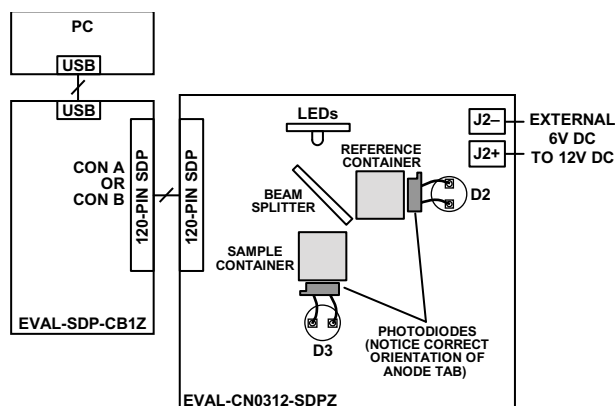


图7. 测试系统功能框图

## 设置

将光电二极管引脚弯折90°，然后插入D2与D3中。有关每个光电二极管阳极端子的正确朝向请参见图8。

一旦完成安装，确保光电二极管位置距离印刷电路板(PCB)约15 mm。

将EVAL-CN0312-SDPZ上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z上的CON A连接器。将外部6 V至12 V直流电源连接到EVAL-CN0312-SDPZ的J2上，并将随EVAL-SDP-CB1Z提供的USB电缆从EVAL-SDP-CB1Z连接到PC上的USB端口。EVAL-SDP-CB1Z从PC的USB端口取电。



## 测试

开启外部电源，启动评估软件程序。如果设备管理器中列出了Analog Devices, Inc., System Development Platform驱动器，软件将能与EVAL-SDP-CB1Z通信。一旦USB通信建立，EVAL-SDP-CB1Z就可用来发送、接收、采集来自EVAL-CN0312-SDPZ的并行数据。

CN-0312评估软件Readme文件包含有关如何使用评估软件采集数据的详细信息。SDP用户指南(UG-277)包含有关EVAL-SDP-CB1Z的信息。

系统需进行一次初始校准，以便补偿波束分离器与光电二极管之间的对齐误差，以及补偿光电二极管的所有响应失配。若要校准系统，以蒸馏水填充两个容器，然后插入PCB的方孔中。为全部两个通道选择33 kΩ增益，并在校准下拉菜单中选择启动校准序列。软件每次开启三个LED中的一个，然后测量到达参考和样本光电二极管的接收光。针对每种LED颜色，软件都将乘法器计算在内，因此有：

$$\frac{V_{REFERENCE\_CHANNEL}}{V_{SAMPLE\_CHANNEL}} K = 1$$

其中， $K$ 表示经计算得出的校准常量。完成校准后，软件在后续测量中均使用该校准常量。

在光谱技术上，吸光度定义为到达被测介质的光与通过介质传递的光的对数之比。根据比尔-朗伯特定律，通过介质传递的光量随通道长度和浓度的增加而以指数规律递减。通过将吸光度定义为对数，可使得它与介质的浓度直接成比例(假设通道长度不变)

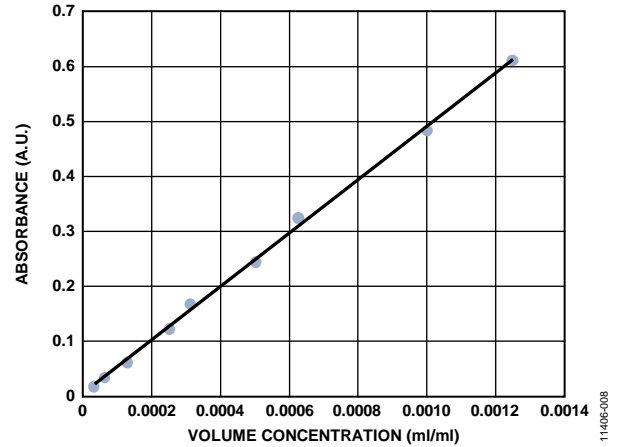


图8. 470 nm光下黄色5号染料的吸光度直线

无需使用有害化学物质即可验证该理论的简单方法，是测量食用色素的染料浓度。图9显示采用EVAL-CN0312-SDPZ进行测量时，黄色5号染料不同浓度的实验结果。黄色溶液可强烈吸收蓝光；因此，测量采用蓝光(470 nm) LED作为光源。X轴表示体积浓度(每毫升水中染料的毫升数，因此X轴没有单位)，Y轴表示吸光度。根据比尔-朗伯特定律的预测，吸光度随浓度呈线性变化。

除了浓度测量，该电路板还可根据不同波长下的光吸收情况表征并鉴别介质。从自动数据采集下拉菜单中选择分析样本，测量每种颜色，并在前面板上显示结果。可行的方法是建立已知物质的数据库，然后将未知样本与数据库中的物质相匹配。例如，一般可采用pH测量溶液，它会根据pH值改变颜色。通过建立已知pH值的数据库，系统便可鉴定样本的颜色，并与正确的pH值匹配。

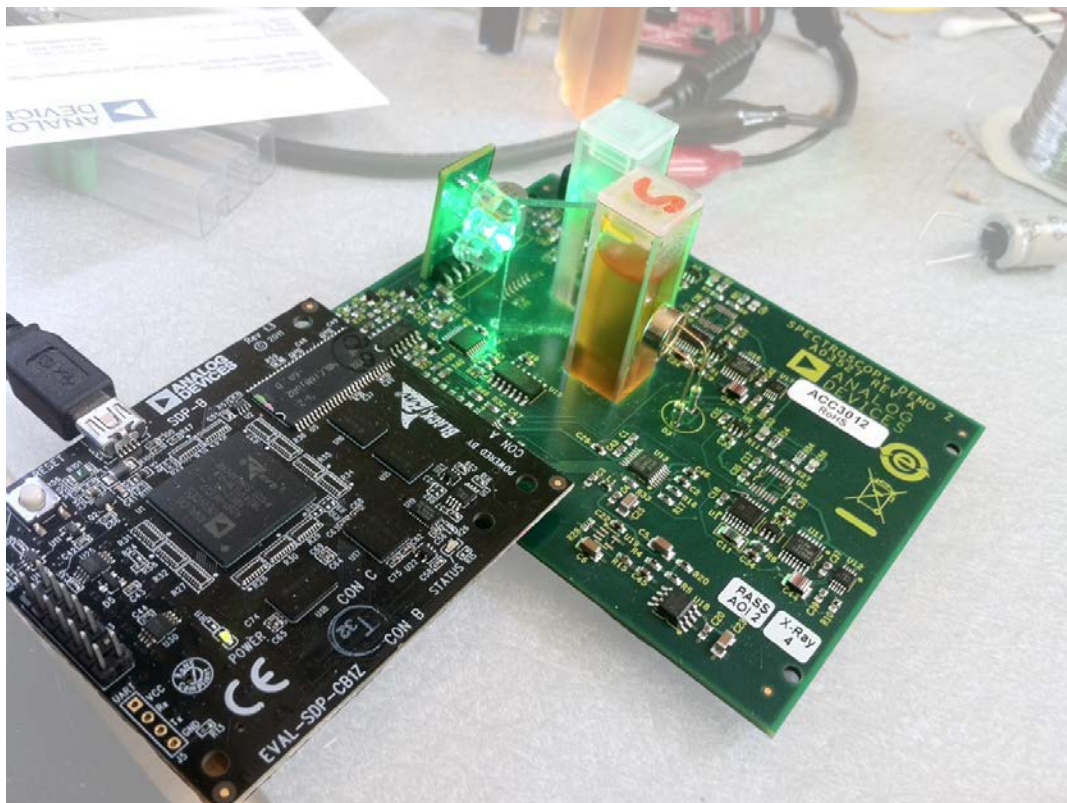


图9. EVAL-CN0312-SDPZ和EVAL-SDP-CB1Z照片

11406-009

## 了解详情

CN-0312 Design Support Package:  
<http://www.analog.com/CN0312-DesignSupport>

Kester, Walt, Wurcer, Scott, Kitchin, Chuck. *High Impedance Sensors, Practical Design Techniques for Sensor Signal Conditioning*, Section 5, 1999.

Skoog, Douglas A., F. James Holler, and Stanley R. Crouch. "An Introduction to Spectrometric Methods." *Instrumental Analysis*. USA: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2006.

## 数据手册和评估板

[AD7798 Data Sheet](#)

[AD8615 Data Sheet](#)

[AD8271 Data Sheet](#)

[ADG633 Data Sheet](#)

[ADG733 Data Sheet](#)

[ADR4525 Data Sheet](#)

## 修订历史

2013年3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.  
 CN11406sc-0-3/13(0)

