

Circuits from the Lab® 参考设计是经过测试的参考设计，有助于加速设计，同时简化系统集成，帮助并解决当今模拟、混合信号和 RF 设计挑战。如需更多信息和/或技术支持，请访问 www.analog.com/cn/CN0399。

连接/参考器件

ADL5904	提供包络阈值检测功能的DC至6 GHz、45 dB TruPwr™ 检波器
AD7091R	1 MSPS、超低功耗、12位ADC，采用10引脚LFCSP和MSOP封装
ADP160	超低静态电流、150 mA CMOS线性稳压器

电池或 USB 供电的 9 kHz 至 6 GHz RMS 功率测量系统

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0399 电路评估板 \(EVAL-CN0399-SDPZ\)](#)

[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所示电路是一个RF功率测量电路，它能精确测量9 kHz至6 GHz频率范围内的RF信号源的功率，标称输入功率范围为45 dBm（-30 dBm至+15 dBm）。

此电路构成一个尺寸非常小的完整RMS RF功率计，它完全可以采用5 V USB电源供电。测量信号链由RMS响应的RF功率检波器和12位精密模数转换器（ADC）组成。这些器件由CMOS线性稳压器供电，该稳压器从5 V USB电源生成3.3 V电压。

可在多个频率执行简单的校准程序，以补偿该电路的频率响应差异。校准数据存储在查找表中，RF功率测量期间会参照该查找表。

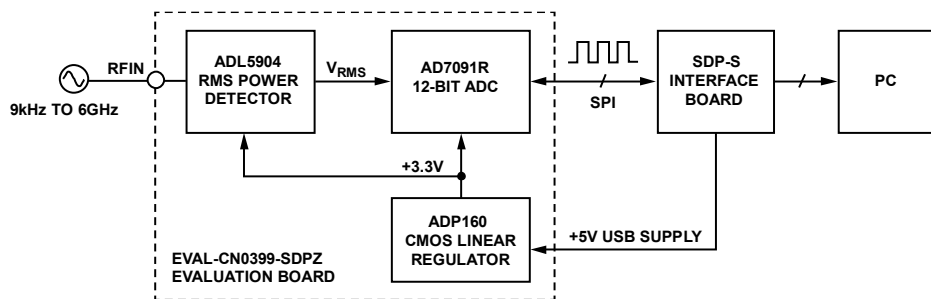


图1. 便携式RF功率计评估板测量设置（未显示全部连接和去耦）

Rev. 0

Circuits from the Lab® reference designs 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)

电路描述

将一个介于9 kHz到6 GHz的RF信号施加于电路的SMA测量头。此信号通过一个交流耦合电容驱动RMS响应RF功率检波器ADL5904的RFIN输入引脚。此电容的大小 (0.47 μF) 设置电路的最低输入频率。检波器的输出电压 (V_{RMS}) 是一个与输入信号的RMS水平成比例的直流输出电压。

检波器输出直接驱动12位ADC AD7091R的输入端。ADC周期性对输入采样，并将电压转换为数字化电压码。各码通过3线串行外设接口 (SPI) 传输到PC，由PC利用一个公式计算输入信号的RF功率。校准系数信息存储在PC中的查找表中。系数斜率和截距根据工作频率加以选择；要精确计算RF输入功率水平，必须知道工作频率。

RF功率检波器

ADL5904是一款宽带RMS响应RF功率检波器，工作频率范围为DC至6 GHz。图2所示为ADL5904的功能框图。

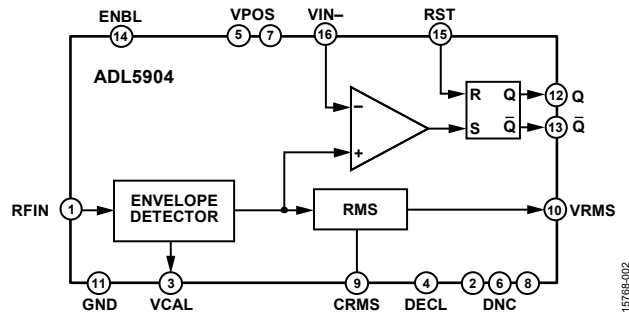


图2. ADL5904框图

检波器的动态范围为45 dB，从-30 dBm到+15 dBm，具有线性dB输出特性。低功耗特性 (3 mA) 使ADL5904适合此应用电路，电路完全采用PC的5 V USB接口供电。

此检波器还提供可编程包络阈值检测功能。阈值检测利用内部比较器比较输入包络电压和预定义用户输入电压。如果包络电压超过此预定义电压，数字输出信号便置位高电平。输出信号通过R/S触发器锁存在高电平状态，直至检波器上的复位引脚 (RST) 发送高电平脉冲。此功能在图1所示电路中未使用。

模数转换器

图3所示的AD7091R是一款12位单通道逐次逼近型 (SAR) ADC。它在正常工作时的功耗极其低，仅1 mW。

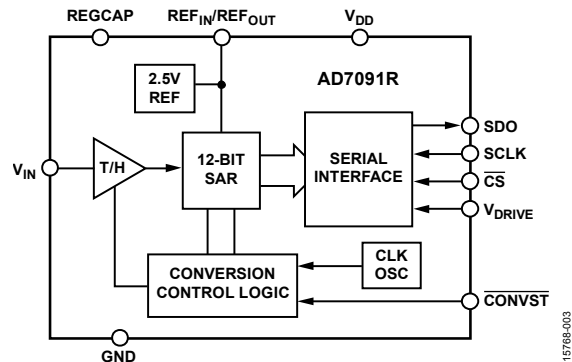


图3. AD7091R模数转换器

ADC的REF_{IN}/REF_{OUT}引脚可利用外部基准电压过驱。但在此应用中，使用内部2.5 V基准电压源不会影响精度。使用内部2.5 V基准电压源时，LSB大小为：

$$LSB = (2.5 \text{ V}) / 2^{12} = 610 \mu\text{V}$$

这意味着ADC的分辨率为610 μV。ADC输入电压V_{IN}的范围是0 V至2.5 V (V_{REF})。检波器最大输出电压约为1.8 V，故ADC输入端无必要进行电压调整，检波器输出端可以直接连到ADC输入端。

片上稳压器

ADP160是一款CMOS线性稳压器，可提供2.2 V至5.5 V的稳定输出电压，输出静态电流非常低 (42 μA)。

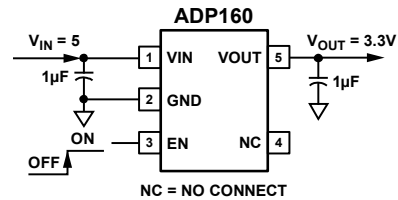


图4. ADP160-3.3线性CMOS稳压器

ADP160提供固定和可调两种配置。本设计使用3.3 V固定型号，其提供稳定输出以为功率检波器和ADC供电，只需极少外部电路，如图4所示。

功率计算

RF输入信号功率表示为相对于检波器输出的功率比，单位为分贝 (dBm)，计算公式如下：

$$P_{IN} \text{ (dBm)} = (V_{RMS}/m) + Int \tag{1}$$

其中：

V_{RMS} 为检波器输出电压，如图5所示。

m 为功率检波器的斜率。

Int 为功率检波器的x轴截距。

使用等式1，系统整体传递函数即为：

$$P_{IN} \text{ (dBm)} = (CODE_{RMS}/m') + Int' \tag{2}$$

其中：

$CODE_{RMS}$ 为来自ADC的 V_{RMS} 的数字码表示，如图5所示。

m' 为功率检波器和ADC组合的斜率。

Int' 为功率检波器和ADC组合的x轴截距。

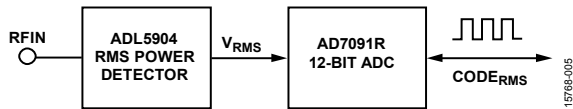


图5. 检波器和ADC输出

等式中的斜率和截距均为频率相关的参数。因此，必须在全频率范围内（即以足够的频率增量）进行校准，以确保系统具有良好的频率平坦度。

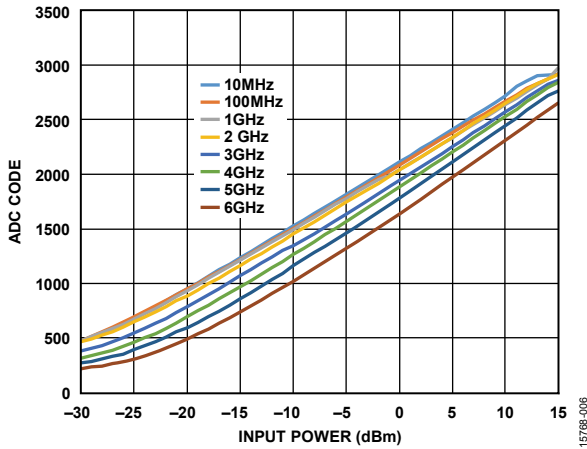


图6. 10 MHz时ADC码与输入功率的传递函数

图6显示了测得的原始ADC码与检波器输入功率的关系。图中给出了功率检波器范围内多个频率时的曲线。这些测得的ADC码对应于采样和转换的功率检波器输出电压。图6中的每条曲线表明：在检波器的工作范围（-30 dBm至+15 dBm）内，检波器的特性曲线与分贝输入功率成线性变化关系。此响应即所谓线性dB功率检波器响应。

软件接口

通过一个简单的软件图形用户界面 (GUI) 来计算和显示测得的RF功率。图7所示为GUI前面板。

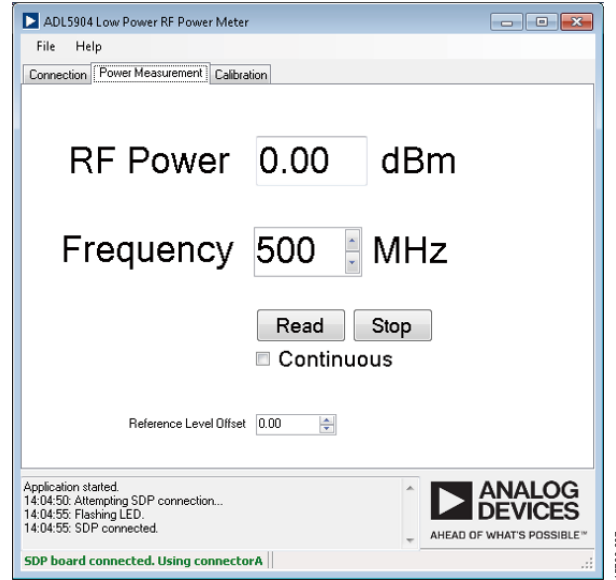


图7. 软件GUI前面板

在Power Measurement（功率测量）选项卡中，输入信号频率必须在测量之前输入，从而让软件知道应使用哪一组校准系数（斜率和截距）。软件使用最接近输入频率的频率所对应的校准系数。选中Continuous（连续）并单击Read（读取）将周期性更新实测功率。可将用户自定义的基准水平偏移应用于测量，以抵消外部线缆或耦合损耗。此偏移会增加到测量值上，然后显示为功率。

校准程序

执行功率测量之前，用户必须执行全频率校准程序。

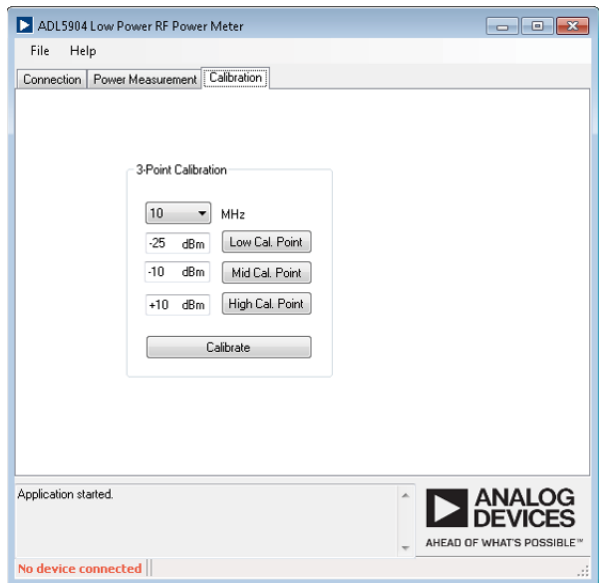


图8. 校准程序选项卡

图8所示为**Calibration**（校准）选项卡。频率通过数值选择框选择。然后在该频率下施加三种功率水平。此三点校准程序为该校准频率计算两个不同的斜率和截距值。这些值存储在查找表中，用于功率计算。图9显示了一个选定频率对应的校准数据示例。

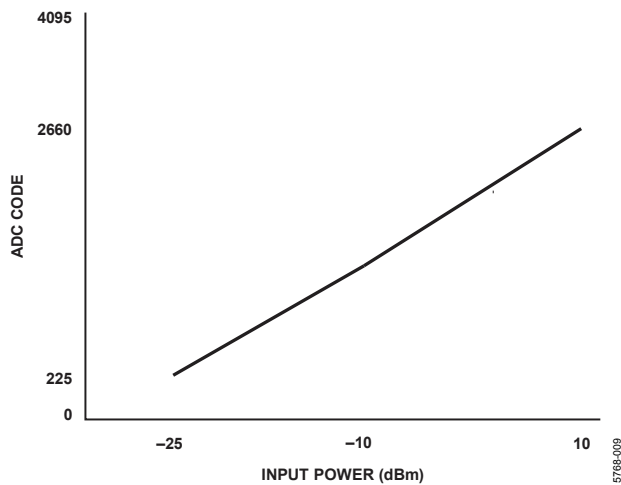


图9. 三点校准数据示例

每个校准点都有一个对应的ADC测量码，如图9所示。这些码用于计算校准功率水平之间的两个区域各自的斜率和截距值。针对各校准频率存储的校准值包含这两个功率区域的斜率和截距，如图10中的查找表概要所示。

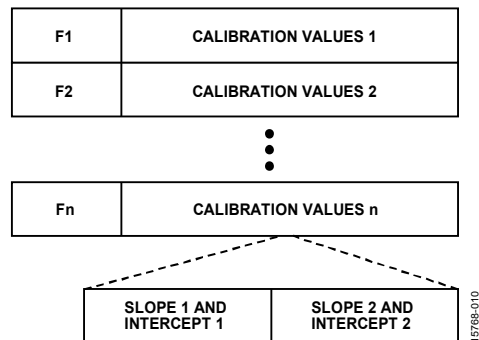


图10. 查找表概要

测量序列

图11显示了功率测量过程中执行的测量序列。

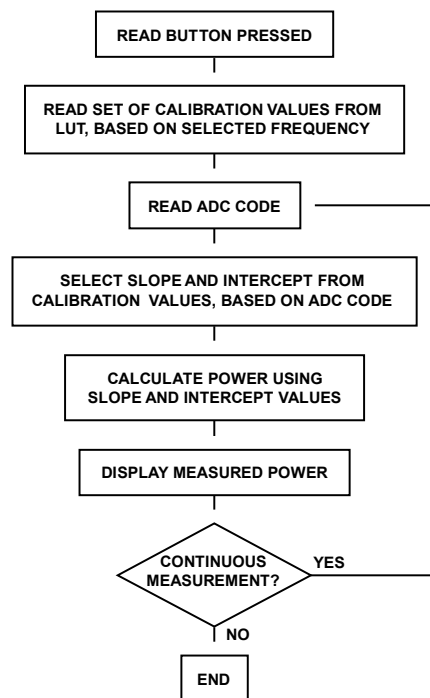


图11. 测量序列

当用户单击**Read**（读取）时，最接近选定工作频率的校准频率所对应的那组校准值便从查找表中读出。

这些校准值包含三点校准程序的两个功率区域的斜率和截距。然后通过SPI接口读取原始ADC码，此码用于功率计算。对于选定频率，根据读取的原始ADC码，从校准值中提取两个功率区域之一的斜率和截距。

利用这些斜率和截距值，根据等式1计算功率并显示在GUI中。如果选中**Continuous**（连续）复选框，则将对选定频率周期性重复测量。

测量时序

每次测量的时序如图12所示。利用SDP-S接口板上的GPIO将转换开始 (CONSTB) 输入置位低电平后, ADC即开始采样。经过大约1 ms后, 所得对应采样电压的ADC码值即通过SPI传输。计算功率之后, GUI显示屏即更新为当前功率测量结果。实测功率在GUI上显示1秒。如果连续测量, 则重复显示测量结果。

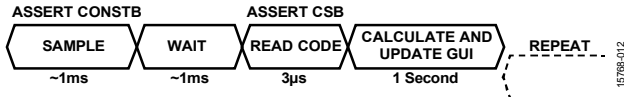


图12. 测量时序

关于EVAL-CN0399-SDPZ板的完整文档, 包括原理图、布局布线文件和物料清单, 可从www.analog.com/CN0399-DesignSupport下载。

测试结果

在不同频率执行校准程序之后, 在检波器的完整功率范围内手动收集测量数据, 以验证检波器电路的功率测量是否精确。

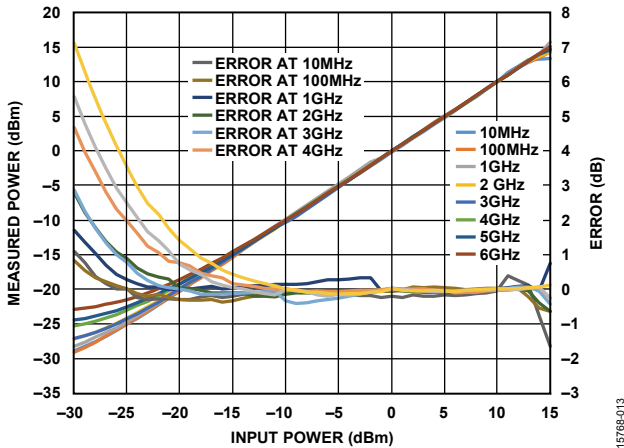


图13. 输入功率与实测功率数据的关系

如图13中的结果所示, 从10 MHz到6 GHz, 该电路能够精确跟踪输入功率。在此频率范围内, 相对于实际输入功率的最大偏差为0.57 dB (5 GHz) 时。

常见变化

当输入功率水平较低 (低于-20 dBm) 时, ADL5904传递函数的非线性度提高, 说明可将校准点置于此区域。注意, 不要求以均匀间隔设置校准功率水平, 这样做也没有好处。

如果PC端口不能提供USB电源, 可以通过VPOS和GND测试点向电路提供外部3.3 V电源。如果使用外部电源, 应移除R15以隔离片上稳压器输出。

可不使用内部2.5 V基准源, 而在ADC的V_{REF}引脚上提供外部基准源, 以提高基准电压或提供更稳定的基准源。

读取ADC的另一种办法是使用串行端口 (SPORT) 接口协议。SPORT要求使用较大的SDP-B接口板 (EVAL-SDP-CB1Z)。还必须编写定制软件以配合SPORT接口使用。此选项对需要更快吞吐速率的应用有用, 因为使用SDP-B接口板可提供最高1 MSPS的吞吐速率。

电路评估与测试

设备要求

若要进行本电路笔记中所描述的评估，需要如下设备：

- EVAL-CN0399-SDPZ 评估板
- SDP-S 板 (EVAL-SDP-CS1Z)
- 信号发生器 (输出频率在 DC 至 6 GHz 范围内)
- CN-0399 评估软件，可从 <ftp://ftp.analog.com/pub/cftl/CN0399/> 下载
- 运行 Windows® 7 的 PC，通过 USB 电缆连接到 SDP-S 板 (USB 电缆随 EVAL-SDP-CS1Z 提供)

设置与测试

为设置并测试 EVAL-CN0399-SDPZ 板，应将 SDP-S 板连接到 EVAL-CN0399-SDPZ 板，并通过 USB 电缆将 PC 连接到 SDP-S 板。

1. 开启信号发生器，确保 RF 输出信号关闭。
2. 直接将信号发生器的 RF 输出端连接到 RF 功率计板的输入端。
3. 打开评估软件 ADL5904 Low Power RF Power Meter.exe，单击 **Connect** (连接)。
4. 单击软件窗口中的 **Calibration** (校准) 选项卡，将信号发生器频率设置为 1 GHz，将功率水平设置为 -20 dBm，然后启动校准程序。
5. 开启信号发生器的 RF 输出，然后单击软件窗口中的 **Low Cal. Point** (低校准点)。随即出现一个对话框，指示已存储该功率水平的校准码。
6. 对 1 GHz 时的各校准点重复步骤 4 和步骤 5，每次调整信号发生器的功率水平。
7. 单击 **Calibrate** (校准) 以计算 1 GHz 对应的斜率和截距值。此操作会将这些值存储在软件文件夹中的一个查找表中。
8. 在信号发生器上将功率水平调整到 -10 dBm 输出。
9. 在软件窗口中单击 **Power Measurement** (功率测量) 选项卡。
10. 选中 **Continuous** (连续) 复选框，然后单击 **Read** (读取)。
11. **RF Power** (RF 功率) 显示框读数为 -10 dBm (1 GHz) 时。
12. 以 1 dB 步长将功率水平从 -10 dBm 提高到 +15 dBm。在软件窗口中，功率水平读数最高为 +15 dBm。
13. 要停止测量，请单击 **Stop** (停止)。

测试设置的功能框图

图14所示为测试设置的功能框图。

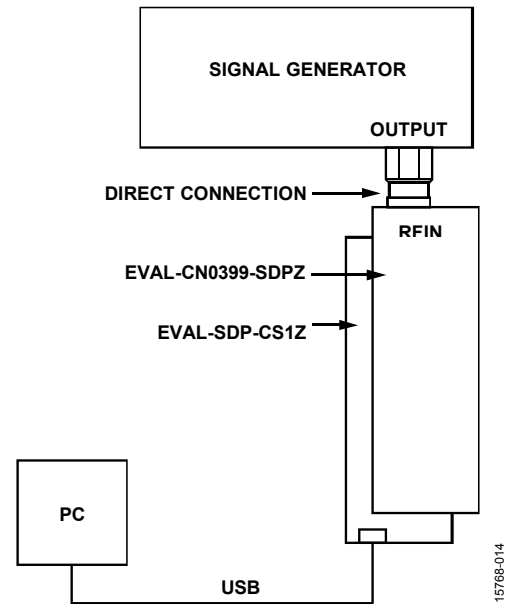


图14. 测试设置的功能框图

图15所示为 EVAL-CN0399-SDPZ 板顶部的照片。图16中的底视图显示 EVAL-SDP-CS1Z 板连接到 EVAL-CN0399-SDPZ 板。

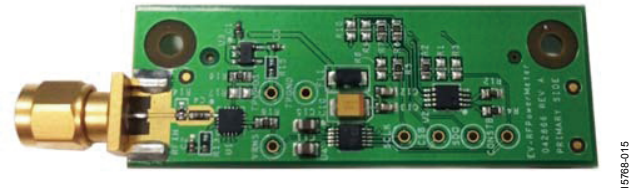


图15. 显示 EVAL-CN0399-SDPZ 板的顶视图



图16. 显示 SDP-S 板连接到 EVAL-CN0399-SDPZ 板的底视图

更多资料

CN-0399设计支持包:

www.analog.com/CN0399-DesignSupport

Ardizzoni, John。 *高速印刷电路板布局实用指南, 模拟对话* 39-09, 2005年9月。

EVAL-AD7091RSDZ评估板用户指南 (UG-409)。ADI公司。

ADIsimRF设计工具。

电路笔记CN-0178, *通过软件校准的50 MHz至9 GHz RF功率测量系统*, ADI公司。

电路笔记CN-0366, *-30 dBm至+15 dBm范围的40 GHz微波功率计*。ADI公司。

指南MT-031, *实现数据转换器的接地并解开“AGND”和“DGND”的谜团*。ADI公司。

指南MT-101, *去耦技术*, ADI公司。

EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台用户指南 (UG-277)。

数据手册和评估板

[ADL5904数据手册和评估板](#)

[AD7091R数据手册和评估板](#)

[ADP160数据手册和评估板](#)

修订历史

2017年4月—修订版0: 初始版

(Continued from first page) Circuits from the Lab reference designs 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 reference designs 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 reference designs. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab reference designs 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 reference designs at any time without notice but is under no obligation to do so.