

Circuits from the Lab[®]
Reference Designs

Circuits from the Lab[®] reference designs 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/CN0319.

连接/参考器件

ADuCM360	集成双通道Σ-Δ型ADC和ARM Cortex-M3的精密模拟微控制器
ADuCM361	集成单通道Σ-Δ型ADC和ARM Cortex-M3的精密模拟微控制器
ADP1720	50 mA、高压、低功耗线性稳压器
OP193	精密、低功耗单通道运算放大器
ADR3412	低功耗、高精度1.2 V基准电压源

采用ARM Cortex-M3的14位、4-20mA环路供电型热电偶温度测量系统

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0319电路评估板\(EVAL-CN0319-EB1Z\)](#)

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所示电路是一款完整的环路供电型热电偶温度测量系统，使用精密模拟微控制器的PWM功能控制4 mA至20 mA输出电流。

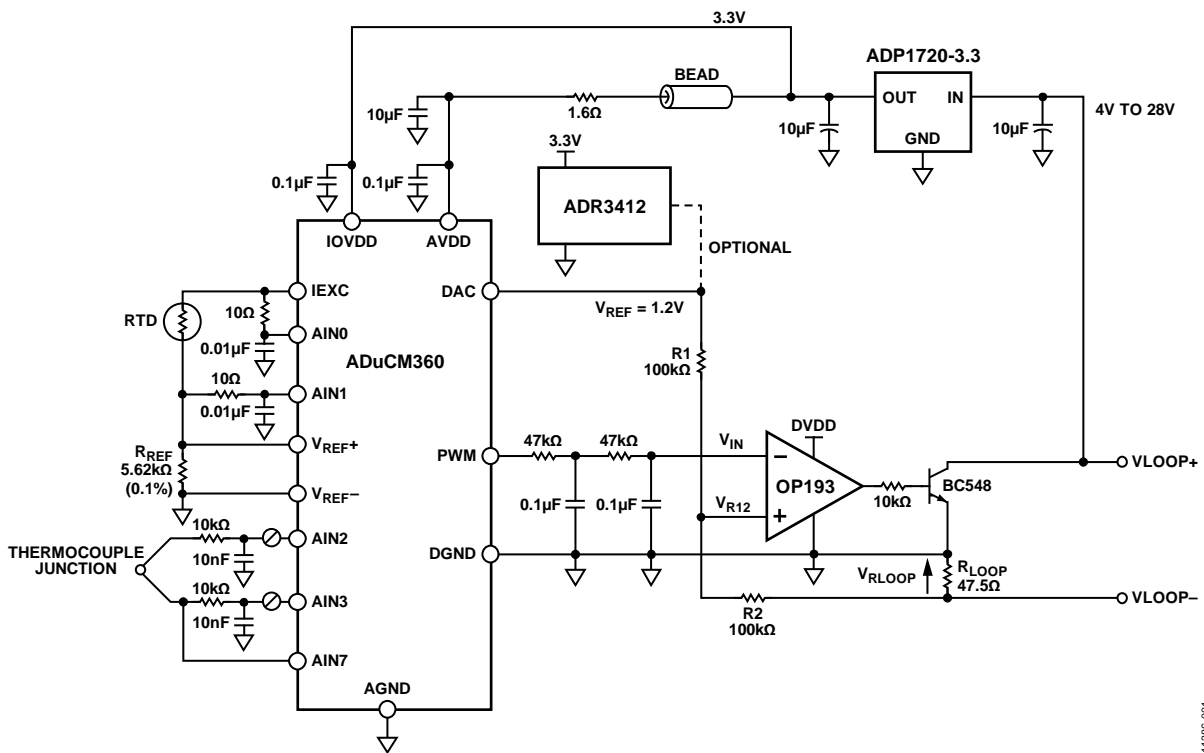


图1. ADuCM360控制4 mA至20 mA基于环路的温度监控电路
(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

11386-001

Rev. C

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)

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 ©2013–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

本电路将绝大部分电路功能都集成在精密模拟微控制器 **ADuCM360** 上，包括双通道24位 Σ - Δ 型ADC、ARM Cortex™-M3 处理器内核以及用于控制环路电压高达28 V的4 mA至20 mA环路的PWM/DAC特性，提供一种低成本温度监控解决方案。

其中，**ADuCM360** 连接到一个T型热电偶和一个100 Ω 铂电阻温度检测器(RTD)。RTD用于冷结补偿。低功耗Cortex-M3 内核将ADC读数转换为温度值。支持的T型热电偶温度范围是-200°C至+350°C，而此温度范围所对应的输出电流范围是4 mA至20 mA。

本电路与**电路笔记CN-0300**中描述的电路相似，但本电路具有以更高分辨率的PWM驱动4 mA至20 mA环路的优势。基于PWM的输出提供14位分辨率。有关温度传感器与ADC的接口，以及RTD测量的线性化技巧详细信息，请参考**电路笔记CN-0300**和**应用笔记AN-0970**。

电路描述

电路采用线性稳压器**ADP1720**供电，可将环路加电源调节至3.3 V，为**ADuCM360**、运算放大器**OP193**和可选基准电压源**ADR3412**提供电源。

温度监控器

本部分电路与**CN-0300**中描述的温度监控器电路相似，使用**ADuCM360**的下列特性：

- 24位 Σ - Δ 型ADC内置PGA，在软件中为热电偶和RTD设置32的增益。ADC1在热电偶与RTD电压采样之间连续切换。
- 可编程激励电流源驱动受控电流流过RTD。双通道电流源可在0 μ A至2 mA范围内以一定的阶跃进行配置。本例使用200 μ A设置，以便将RTD自热效应引起的误差降至最小。
- **ADuCM360**中的ADC内置了1.2 V基准电压源。内部基准电压源精度高，适合测量热电偶电压。
- **ADuCM360**中ADC的外部基准电压源。测量RTD电阻时，我们采用比率式设置，将一个外部基准电阻(R_{REF})连接在外部VREF+和VREF-引脚上。由于该电路中的基准电压源为高阻抗，因此需要使能片内基准电压输入缓冲器。片内基准电压缓冲器意味着无需外部缓冲器即可将输入泄漏影响降至最低。

- 偏置电压发生器(VBIAS)。VBIAS功能用于将热电偶共模电压设置为AVDD_REG/2 (900 mV)。同样，这样便无需外部电阻，便可以设置热电偶共模电压。
- ARM Cortex-M3内核。功能强大的32位ARM内核集成了126 KB闪存和8 KB SRAM存储器，用来运行用户代码，可配置和控制ADC，并利用ADC将热电偶和RTD输入转换为最终的温度值。它还可控制PWM输出，驱动4mA至20 mA环路。出于额外调试目的，它还可以控制UART/USB 接口上的通信。

通信

- 使用**OP193**对16位PWM输出进行外部缓冲，并控制外部NPN晶体管BC548。通过控制此晶体管的 V_{BE} 电压，可将经过47.5 Ω 负载电阻的电流设置为所需的值。这样就针对4 mA至20 mA输出提供优于 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 的精度(-200°C至+350°C，参考测试结果)。
- 使用内部DAC为**OP193**提供1.2 V基准电压。或者，也可以使用1.2 V精密基准电压源**ADR3412**，获得温度范围内更高的精度。该外部基准电压源功耗与内部DAC相近($\sim 50 \mu\text{A}$)。参见“功耗测量测试”部分。

通过**ADuCM360**片上16位PWM(脉冲宽度调制)控制4 mA至20 mA环路。通过软件可配置PWM的占空比，以便控制47.5 Ω R_{LOOP} 电阻上的电压，进而设置环路电流。请注意， R_{LOOP} 的顶端连接**ADuCM360**地。 R_{LOOP} 的底端连接环路地。由于这个原因，**ADuCM360**、**ADP1720**、**ADR3412**和**OP193**的输出电流，加上滤波PWM输出设置的电流，一同流过 R_{LOOP} 。

$R1$ 和 $R2$ 的结点电压可表示为：

$$V_{R12} = (V_{RLOOP} + V_{REF}) \times R2 / (R1 + R2) - V_{RLOOP}$$

环路建立后：

$$V_{IN} = V_{R12}$$

由于 $R1 = R2$ ：

$$V_{IN} = (V_{RLOOP} + V_{REF}) / 2 - V_{RLOOP} = V_{REF} / 2 - V_{RLOOP} / 2$$

$$V_{RLOOP} = V_{REF} - 2V_{IN}$$

当 $V_{IN} = 0$ 时流过满量程电流，此时 $V_{RLOOP} = V_{REF}$ 。因此，满量程电流为 V_{REF} / R_{LOOP} ，或者 $\approx 24 \text{ mA}$ 。当 $V_{IN} = V_{REF} / 2$ 时，无电流流过。

V_{IN} 处的**OP193**放大器阻抗非常高，并且不会加载PWM滤波输出。放大器输出仅发生少许变化，约为0.7 V。

范围边界处(0 mA至4 mA以及20 mA至24 mA)的性能不重要, 因此供电轨处的运算放大器性能要求不高。

R1和R2的绝对值不重要。但是, R1和R2的匹配很重要。

ADC1用于温度测量, 因此本电路笔记直接适用于只有一个ADC的ADuCM361。EVAL-CN0319-EB1Z评估板包括标记为VR12点的电压测量选项, 测量时使用ADuCM360上的ADC0输入通道。该ADC测量可用于PWM控制软件的反馈, 调节4 mA至20 mA电流设置。

编程、调试和测试

- UART用作与PC主机的通信接口。这用于对片内闪存进行编程。它还可作为调试端口, 用于校准滤波PWM输出。

- 两个外部开关用来强制该器件进入闪存引导模式。使SD处于低电平, 同时切换RESET按钮, ADuCM360将进入引导模式, 而不是正常的用户模式。在引导模式下, 通过UART接口可以对内部闪存重新编程。

代码说明

用来测试电路的源代码链接在CN-0319设计支持包中: <http://www.analog.com/CN0319-DesignSupport>

用于测试本电路的源代码可从ADuCM360和ADuCM361产品页面下载(zip压缩文件)。源代码使用示例代码随附的函数库。

图2显示了利用Keil μ Vision4工具查看时项目中所用的源文件列表。

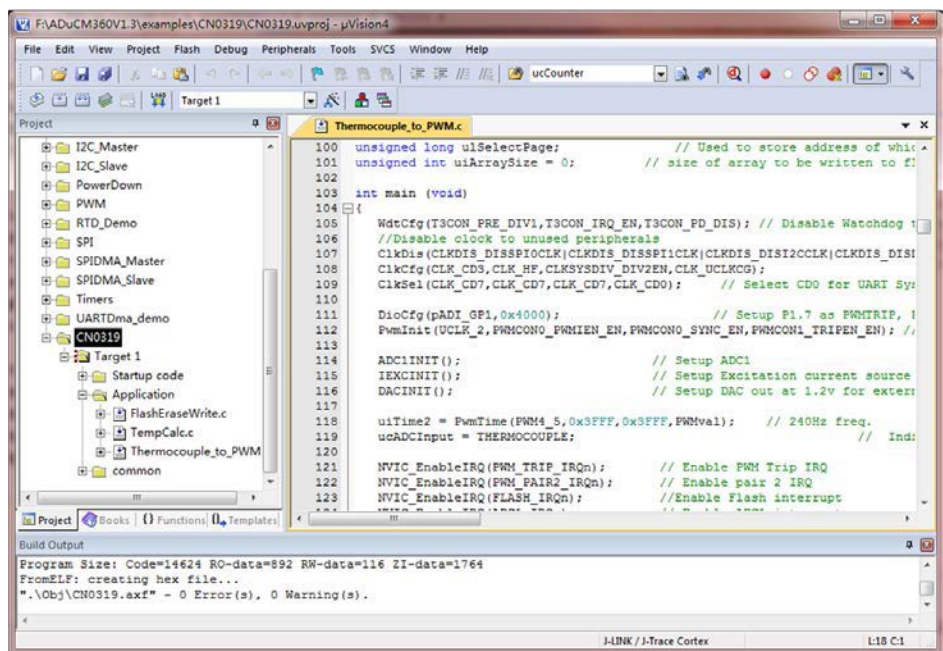


图2. Keil μ Vision4中查看的源文件

温度监控器

ADC1用于热电偶和RTD上的温度测量。本节代码拷贝自电路笔记CN-0300。详情请参见该电路笔记。

通信部分

需调节PWM滤波输出，以便确保最小温度时的4 mA输出以及最大温度时的20 mA输出。提供校准程序，使用#define CalibratePWM参数可轻松包含或删除该程序。

若需校准PWM，接口板(USB-SWD/UART)必须连接至J1和PC上的USB端口。可使用“超级终端”等COM端口查看程序来查看校准菜单并逐步执行校准程序。

校准PWM时，应将VLOOP+和VLOOP-输出端连接至精确的电流表。PWM校准程序的第一部分调整DAC以设置20 mA输出，第二部分则调整PWM以设置4 mA输出。用于设置4 mA和20 mA输出的PWM代码会存储到闪存中。

UART配置为波特率19200、8数据位、无极性、无流量控制。如果本电路直接与PC相连，则可以使用HyperTerminal或CoolTerm等通信端口查看程序来查看该程序发送给UART的结果，如图3所示。

要输入校准程序所需的字符，请在查看终端中键入所需字符，然后ADuCM360 UART端口就会收到该字符。

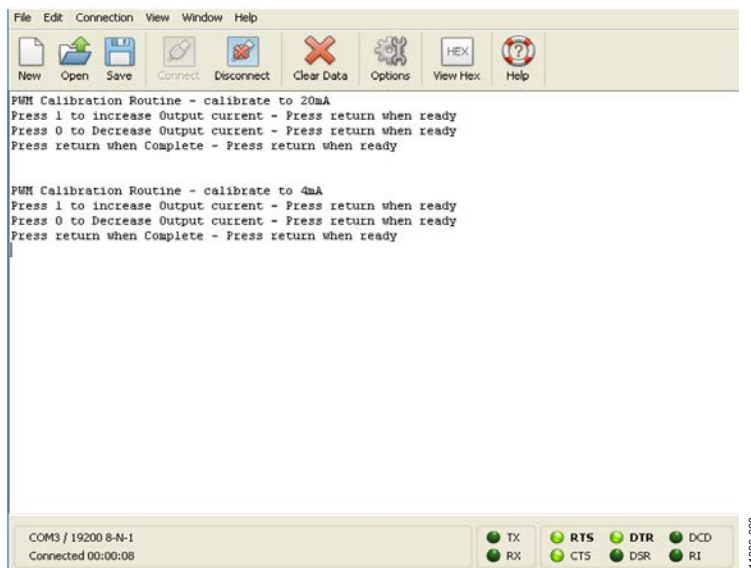


图3. 校准PWM时的“超级终端”输出

校准后，演示代码关断UART时钟，进一步节省功耗。

校准系数保存在闪存内，因此不必每次在电路板上电时运行校准程序，除非VLOOP电平发生改变。

代码流程图见图4。

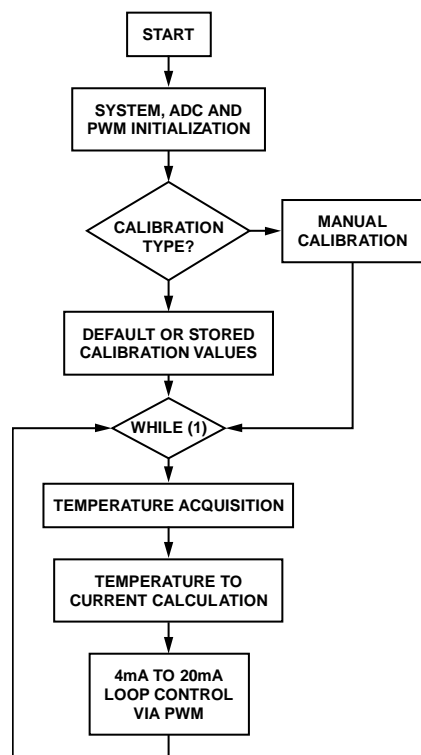


图4. 代码流程图

常见变化

该电路包括HART通信尺寸以及外部基准电压源尺寸。

电路评估与测试

本文档不含温度检测部分，因为这部分内容已在CN-0300中涉及。本文档重点关注温度-电流输出的性能。

PWM差分非线性(DNL)

首先测量滤波PWM输出的DNL。图5中的DNL曲线显示，在关键的4 mA至20 mA范围内具有优于0.3 LSB的典型性能。在PWM输出端利用二阶滤波器执行这些测试。使用两个47 kΩ电阻和两个100 nF电容，如图1所示。

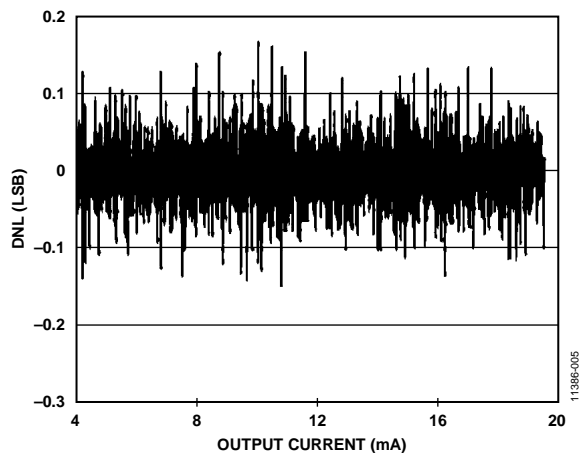


图5. 电路的典型DNL性能

温度-电流输出

图6中的设置用来测试电路的通信部分。

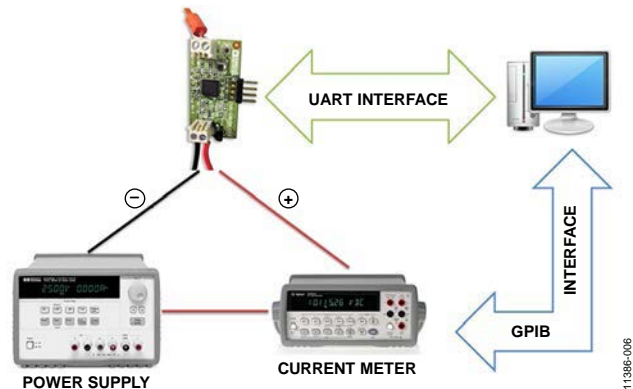


图6. 测量设置

PC通过UART将温度值发送到ADuCM360，然后ADuCM360根据该值调节PWM输出。环路电流经测量并记录。

1°C的温度提升相当于：

$$(20 \text{ mA} - 4 \text{ mA})/550 = 0.029029 \text{ mA.}$$

表1. 温度和预期电流

温度(°C)	预期电流(mA)
-200°C	4 mA
-199°C	4 mA + 0.029029 mA
...	
+349°C	20 mA至0.029029 mA
+350°C	20 mA

CN-0300(DAC控制)和CN-0319(PWM控制)中的环路电流测量误差见图7。

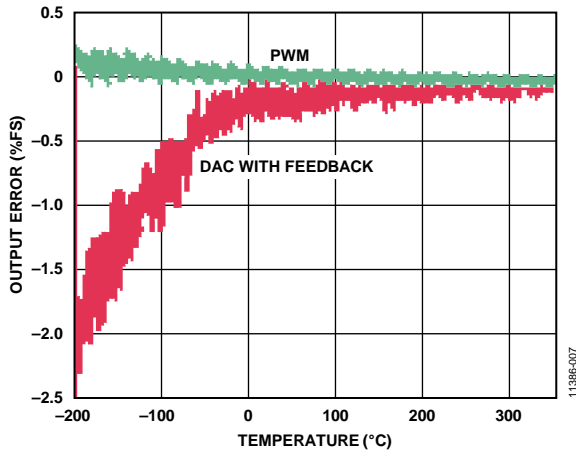


图7. DAC控制(CN-0300)和PWM控制(CN-0319)两种情形下电流环路误差与温度读数的关系

这些结果显示校准后，无反馈PWM控制环路的精度优于有反馈的DAC控制环路。

若需更高精度，可增加反馈环路。这将需要使用ADuCM360并使能第二个ADC来监控环路。它将增加功耗(ADC0导通)，并降低环路的响应速度。

电流环路的更新速率取决于CPU和ADC配置。在示例代码中，CPU速度设为1 MHz，ADC频率为5 Hz。ADC对结果求平均值前，先转换RTD和热电偶上的一部分样本。样本数由参数SAMPLEN0定义。在示例代码中，其默认值设为8。这将使电流环路的更新速率为740 ms。

如需更快的环路响应时间，可减少SAMPLEN0。

功耗测量测试

正常工作时，整个电路的功耗通常为2 mA。保持在复位状态时，整个电路的功耗不到550 μ A。

为方便低功耗操作，可编程内部CLKSYSDIV寄存器以降低ADuCM360/ADuCM361内核工作速度，使低功耗系统时钟等于8 MHz。另外，编程CLKCON0寄存器可允许将16 MHz内核频率分频至二进制的2至128倍。本示例代码中，使用8作为时钟分频值，内核速度为1 MHz。

主ADC以增益32使能。还使能PWM和DAC，用于环路通信。

禁用所有未使用的外设，最大程度减少功耗。

表2列出整个电路中的各项IDD功耗。

表2. 温度监控电路元件的 I_{DD} 典型值

元件	25°C时的IDD值
ADuCM360/ADuCM361 ADC1导通，增益 = 32，FADC = 5 Hz CPU速度 = 1 MHz PWM导通。240 Hz 外部基准电压由DAC产生。 该数据的激励电流值。 典型值为200 μ A。 禁用所有其他外设。	1.80 mA
ADP1720，3.3 V输出线性稳压器 OP193，低功耗运算放大器 其余电路 总电流(激励电流较低)	~100 μ A 15 μ A 50 μ A 2.0 mA

有关ADuCM360功耗数据的更多详情，请参考应用笔记AN-1111。

了解详情

CN-0319 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0319-DesignSupport>

Kester, Walt. 1999. *Sensor Signal Conditioning*. Analog Devices. Chapter 7, "Temperature Sensors."

Kester, Walt. 1999. *Sensor Signal Conditioning*. Analog Devices. Chapter 8, "ADCs for Signal Conditioning."

Looney, Mike, *Options for Minimizing Power Consumption When Using the ADuCM360/ADuCM361*, AN-1111 Application Note, Analog Devices.

Looney, Mike. *RTD Interfacing and Linearization Using an ADuC706x Microcontroller*. AN-0970 Application Note. Analog Devices.

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

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

User Guide UG-457, ADuCM360 Development Systems Getting Started

数据手册和评估板[ADuCM360 Datasheet](#)[ADuCM361 Datasheet](#)[ADP1720 Datasheet](#)[OP193 Datasheet](#)[ADR3412 Datasheet](#)**修订历史****2014年3月—修订版B至修订版C**

更改通信部分 4

2013年12月—修订版A至修订版B

更改代码描述部分 3

2013年8月—修订版0至修订版A

更改标题 1

2013年5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.

©2013–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11386sc-0-3/14(C)

