

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/CN0172.

连接/参考器件

ADT7320	±0.25°C精度、16位数字SPI温度传感器
AD7793	3通道、低噪声、低功耗、24位、Σ-Δ型ADC，集成片内仪表放大器 和基准电压源

3通道热电偶温度测量系统，精度为0.25°C

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0172电路评估板\(EVAL-CN0172-SDPZ\)](#)

[系统演示平台\(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

[CN0172分线板\(EVAL-CN0172-SDPZ评估板附带\)](#)

设计和集成文件

[原理图](#)、[布局文件](#)、[物料清单](#)、[软件](#)

电路功能与优势

图1中的电路在功能上可提供高精度、多通道的热电偶温度测量解决方案。精确的热电偶测量要求采用精密器件组成的信号链，能够放大较小的热电偶电压、降低噪声、校正非线性度并提供精确的基准结补偿(通常称为“冷结补偿”)。本电路可解决热电偶温度测量的全部这些难题，并具有±0.25°C以上的精度。

图1中的电路显示将3个K型热电偶连接至AD7793精密24位Σ-Δ型模数转换器(ADC)，以测量热电偶电压。由于热电偶是一种差分器件而不是绝对式温度测量器件，必须知道基准结温才能获得精确的绝对温度读数。这一过程被称为基准结补偿，通常称为冷结补偿。本电路中，ADT7320精密16位数字温度传感器用于冷结基准测量，并提供所需的精度。

对于需要在热电偶提供的宽温度范围内进行高性价比的精确温度测量而言，这类应用非常受欢迎。

电路描述

图1中的电路专为使用ADT7320同时测量3个K型热电偶而设计，该器件是一款±0.25°C精度、16位数字SPI温度传感器。

热电偶电压测量

采用热电偶连接器和滤波器作为热电偶与AD7793 ADC之间的接口。每个连接器(J1、J2和J3)都直接与一组差分ADC输入相连。AD7793输入端的滤波器可在信号到达ADC的AIN(+)和AIN(-)输入端之前降低任何热电偶引脚上的拾取噪声。AD7793集成片内多路复用器、缓冲器和仪表放大器，可放大来自热电偶测量结点的小电压信号。

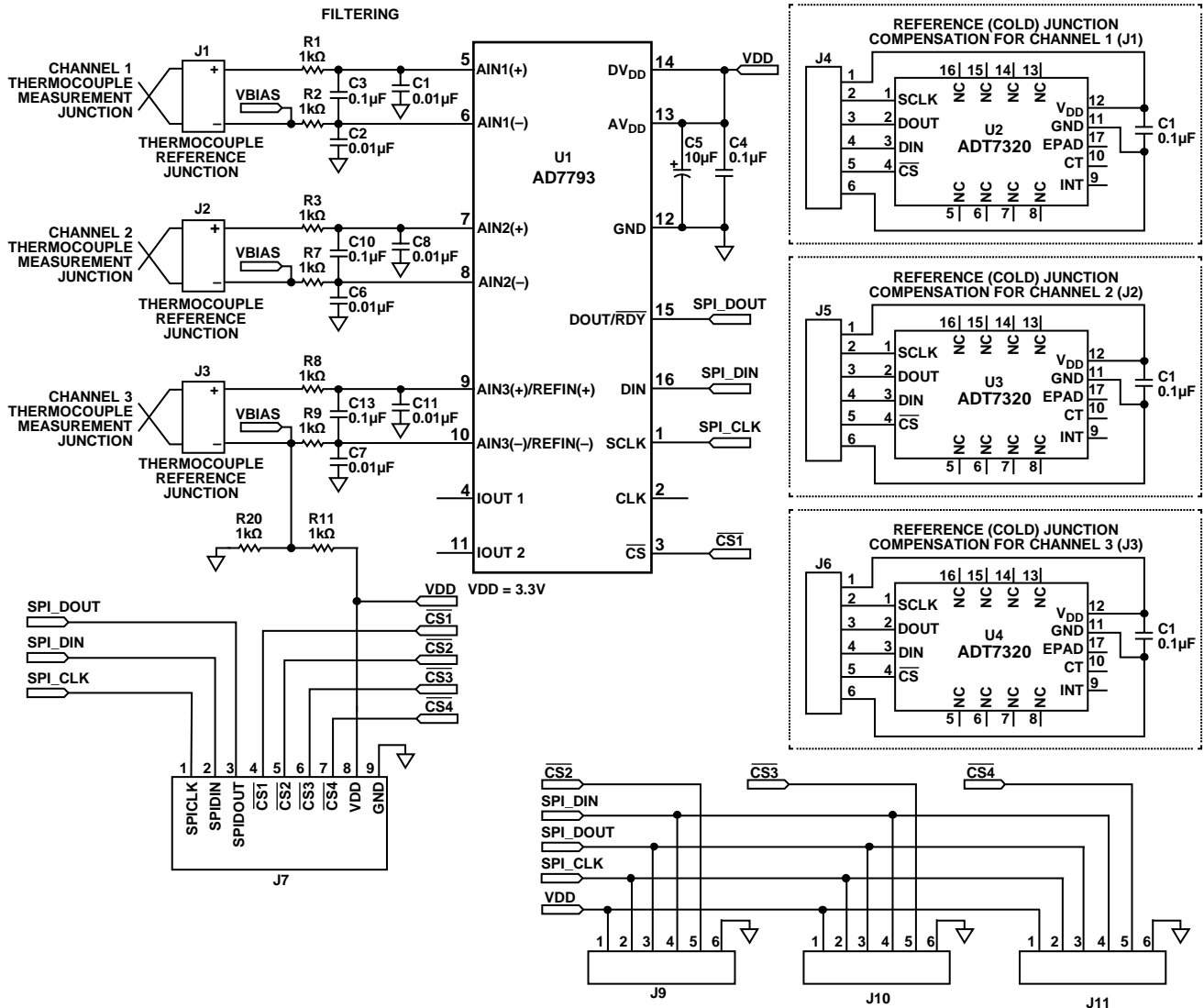
冷结测量

ADT7320精密16位数字温度传感器用于测量基准结(冷结)温度，其精度在-20°C至+105°C温度范围内可达±0.25°C。ADT7320完全经过工厂校准，用户无需自行校准。它内置一个带隙温度基准源、一个温度传感器和一个16位Σ-Δ型ADC，用来测量温度并进行数字转换，分辨率为0.0078°C。

AD7793和ADT7320均利用系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)由SPI接口控制。此外，这两个器件也可由微控制器控制。

Rev. A

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)



- NOTES:**
1. EPAD = EXPOSED PADDLE OF THE LFCSP PACKAGE (ADT7320)
 2. THE REFERENCE (COLD) JUNCTION COMPENSATION SENSOR BOARDS CONNECTIONS TO THE REST OF THE CIRCUIT:
 - A) CHANNEL 1 (J1): J4 TO J9
 - B) CHANNEL 2 (J2): J5 TO J10
 - C) CHANNEL 3 (J3): J6 TO J11

图1. 多通道热电偶测量系统(原理示意图: 未显示所有连接和去耦)

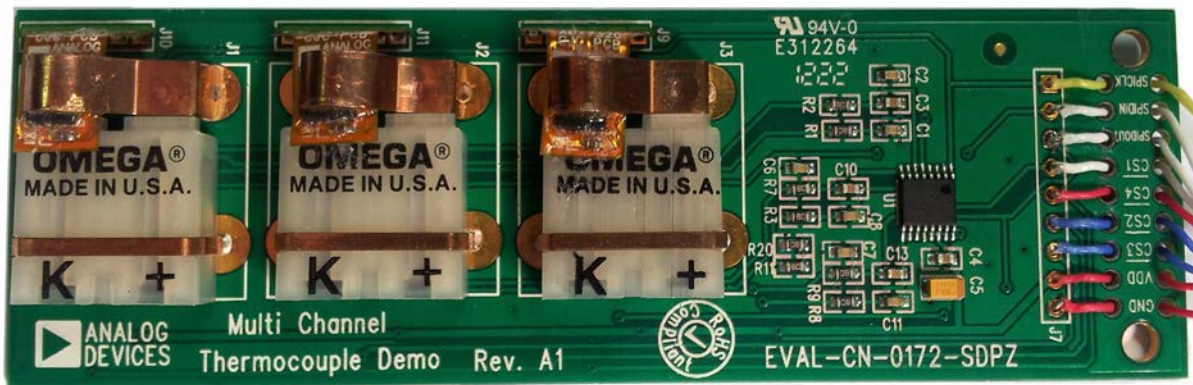


图2. EVAL-CN0172-SDPZ电路评估板

图2显示带有3个K型热电偶连接器的EVAL-CN0172-SDPZ电路评估板，AD7793 ADC和ADT7320温度传感器安装在独立柔性印刷电路板(PCB)的两块铜触点之间，用于基准温度测量。

图3是安装在独立柔性PCB上ADT7320的侧视图，该器件插在热电偶连接器的两个铜触点之间。图3中的柔性PCB更薄更灵活，比小型FR4类PCB更具优势。它允许将ADT7320巧妙地安装在热电偶连接器的铜触点之间，以尽量降低基准结和ADT7320之间的温度梯度。

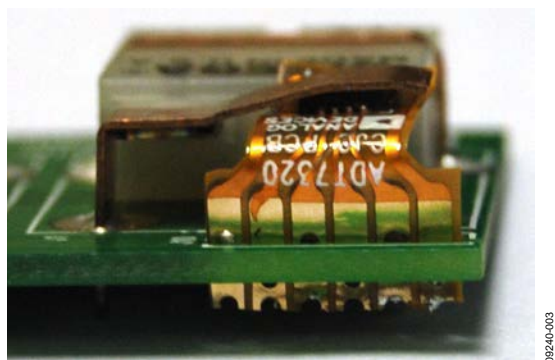


图3. 安装在柔性PCB上ADT7320的侧视图

小而薄的柔性PCB还能使ADT7320快速响应基准结的温度变化。图4显示ADT7320的典型热响应时间。

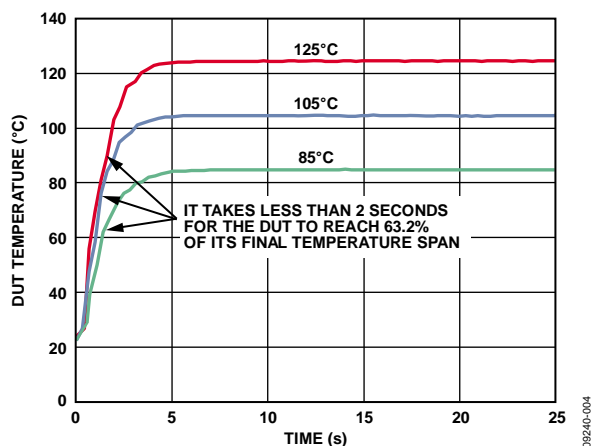


图4. ADT7320典型热响应时间

本解决方案较为灵活，允许使用其它类型的热电偶，如J型或T型。本电路笔记中，选择K型是考虑到其更受欢迎。实际选用的热电偶具有裸露尖端。测量结位于探头壁(probe wall)之外，暴露在目标介质中。

采用裸露尖端的优势在于，它能提供最佳的传热率、具有最快的响应时间，并且成本低、重量轻。不足之处是容易受到机械损坏和腐蚀的影响。因此，不适合用于恶劣环境。但在需要快速响应时间的场合下，裸露尖端是最佳选择。若在工业环境中使用裸露尖端，则可能需对信号链进行电气隔离。可使用数字隔离器达到这一目的(见www.analog.com/icoupler)。

不同于传统的热敏电阻或电阻式温度检测器(RTD)，ADT7320是一款完全即插即用型解决方案，无需在电路板装配后进行多点校准，也不会因校准系数或线性化程序而消耗处理器或内存资源。它在3.3 V电源下工作时的典型功耗仅为700 μ W，避免了会削弱传统电阻式传感器解决方案精度的自发热问题。

精密温度测量指南

下列指南可确保ADT7320精确地测量基准结温度。

电源：如果ADT7320从开关电源供电，可能产生50 kHz以上的噪声，从而影响温度精度规格。为了防止此缺陷，应在电源和 V_{DD} 之间使用RC滤波器。所用元件值应仔细考虑，确保电源噪声峰值小于1 mV。

去耦：ADT7320必须在尽可能靠近 V_{DD} 的地方安装去耦电容，以确保温度测量的精度。推荐使用诸如0.1 μ F高频陶瓷类型的去耦电容。此外，还应使用一个低频去耦电容与高频陶瓷电容并联，如10 μ F至50 μ F钽电容。

最大热传导：塑料封装和背面的裸露焊盘(GND)是基准结至ADT7320的主要热传导路径。由于铜触点与ADC输入相连，本应用中无法连接背面的焊盘，因为这样做会影响ADC输入的偏置。

精密电压测量指南

下列指南可确保AD7793精确地测量热电偶测量结的电压。

去耦：AD7793必须在尽可能靠近 AV_{DD} 和 DV_{DD} 的地方安装去耦电容，以确保电压测量的精度。应将0.1 μF 陶瓷电容与10 μF 钽电容并联，将 AV_{DD} 去耦到GND。此外，应将0.1 μF 陶瓷电容与10 μF 钽电容并联，将 DV_{DD} 去耦到GND。更多有关接地、布局和去耦技巧的讨论，请参考指南MT-031和指南MT-101。

滤波：AD7793的差分输入用于消除热电偶线路上的大部分共模噪声。例如，将组成差分低通滤波器的R1、R2和C3放置在AD7793的前端，可消除热电偶引脚上可能存在的拾取噪声。C1和C2电容提供额外的共模滤波。由于输入ADC的AIN(+)和AIN(-)均为模拟差分输入，因此，模拟调制器中的多数电压均为共模电压。AD7793的出色共模抑制(100 dB最小值)进一步消除了这些输入信号中的共模噪声。

本方案解决的其他难题

下文总结了本解决方案是如何解决前文提到的其它热电偶相关难题。

热电偶电压放大：热电偶输出电压随温度的变化幅度只有每度几 μV 。本例中所用的常见K型热电偶变化幅度为41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。这种微弱的信号在ADC转换前需要较高的增益级。AD7793内部可编程增益放大器(PGA)能够提供的最大增益为128。本解决方案中的增益为16，允许AD7793通过内部基准电压源运行其内置的满量程校准功能。

热电偶的非线性校正：AD7793在宽温度范围(-40 $^\circ\text{C}$ 至+105 $^\circ\text{C}$)内具有出色的线性度，不需要用户校正或校准。

为了确定实际热电偶温度，必须使用美国国家标准技术研究院(NIST)所提供的公式将参考温度测量值转换成等效热电电压。此电压与AD7793测量的热电偶电压相加，然后再次使用NIST公式将两者之和再转换回热电偶温度。另一种方法涉及查找表的使用。然而，若要获得同样的精度，查找表的大小可能有较大不同，这就需要主机控制器为其分配额外的存储资源。所有处理均通过EVAL-SDP-CB1Z以软件方式完成。

欲查看完整原理图和EVAL-CN0172-SDPZ的布局，请参见CN-0172设计支持包：www.analog.com/CN0172-DesignSupport。

常见变化

对于精度要求较低的应用，可用AD7792(16位 Σ - Δ 型ADC)替代AD7793(24位 Σ - Δ 型ADC)。对于基准温度测量，可用 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 精度的ADT7310数字温度传感器替代 $\pm 0.25^\circ\text{C}$ 精度的ADT7320。AD7792和ADT7310均集成SPI接口。

电路评估与测试

本系统使用EVAL-CN0172-SDPZ和EVAL-SDP-CB1Z。EVAL-CN0172-SDPZ板自带CN0172分线板。

设备要求

需要以下设备：

- 一个油槽
- EVAL-CN0172-SDPZ电路评估板
- CN0172分线板(EVALCN0172-SDPZ评估板自带)
- EVAL-SDP-CB1Z电路评估板
- CN0172评估板软件
- 一台Datron 4808校准仪
- 一台Hart Scientific 1590超级温度计
- 一个Hart Scientific精密探头
- GPIB电缆(3)
- 一台PC，安装Windows XP或更高版本，运行LabVIEW并带有一块GPIB卡和一个USB 2.0端口

设置与测试

图5中的测试设置用于评估多通道热电偶解决方案的性能。使用Datron校准仪提供精密电压源，用于3个热电偶输入。使用超级温度计测量油槽的温度，并通过GPIB总线对其进行控制。

CN0172的LabVIEW软件通过USB端口、EVAL-SDP-CB1Z评估板、分线板和SPI总线控制EVAL-CN0172-SDPZ评估板。EVAL-SDP-CB1Z评估板的电源来自USB总线，EVAL-SDP-CB1Z的3.3 V输出为EVAL-CN0172-SDPZ评估板供电。

如果不需要油槽测量，则可利用CD光盘上的软件，通过PC的USB接口使用EVAL-CN0172-SDPZ评估板测量3个热电偶的温度。

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CN0172用户指南：www.analog.com/CN0172-UserGuide。

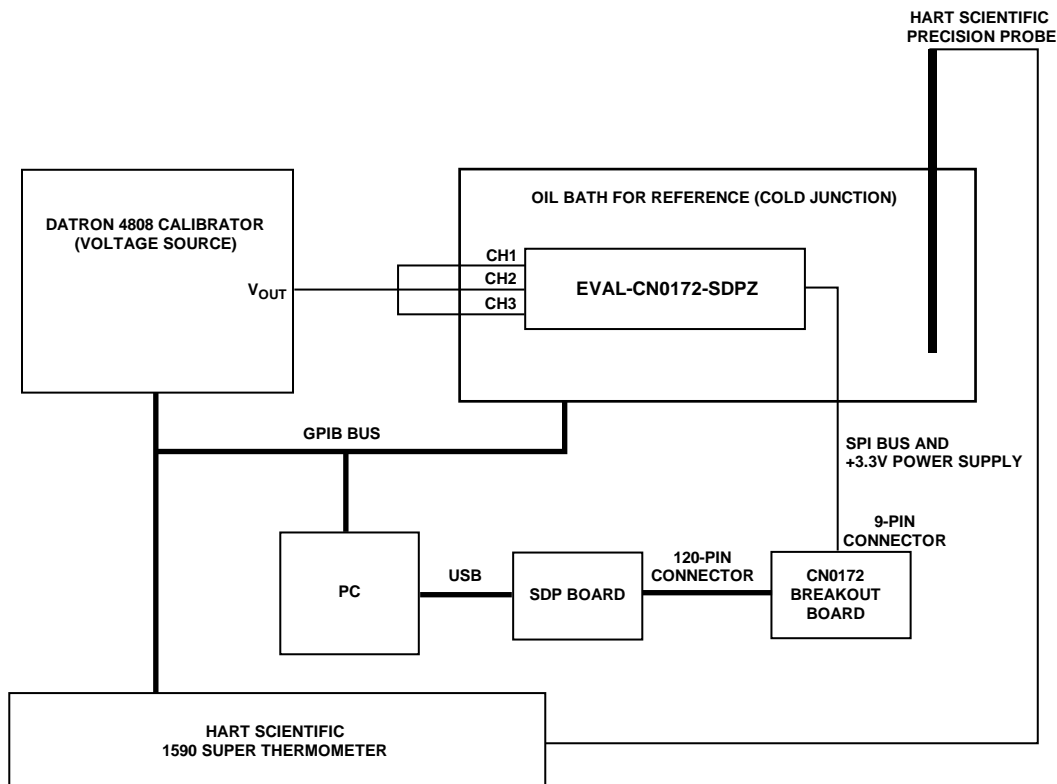


图5. 测试设置功能框图

测试结果

图6显示采用不同的冷结(CJ)温度固定值，在各种热电偶温度下该解决方案的误差曲线。宽温度范围内的整体解决方案误差不超过±0.25°C。请注意，若对AD7793 ADC执行系统校准，则可进一步改善解决方案精度。

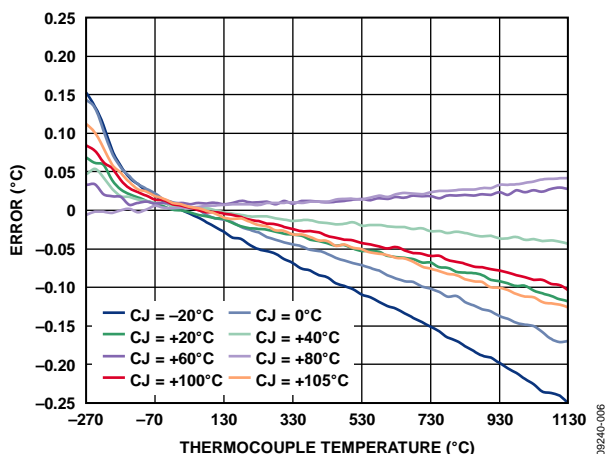


图6. 固定冷结(CJ)温度下的误差与热电偶温度的关系

图7显示采用不同的热电偶温度固定值，在各种CJ温度下该解决方案的误差曲线。宽温度范围内的整体解决方案误差不超过±0.25°C。

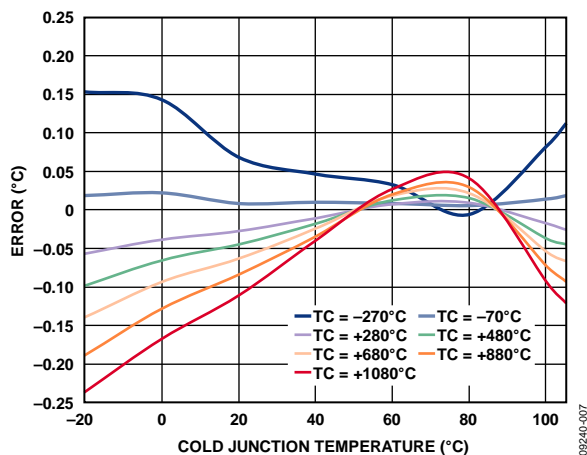


图7. 固定热电偶温度下的误差与冷结温度的关系

了解详情

CN-0172 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0172-DesignSupport>

Duff, Matthew, and Joe Towey, *Two Ways to Measure Temperature Feature Simplicity, Accuracy and Flexibility*, Analog Dialogue, Vol 44, October 2010.

Thermocouple 101: What is a Thermocouple? ADI Video.

McNamara, Donal, *Temperature Measurement Theory and Practical Techniques*, AN-892 Application Note, Analog Devices.

AD779x Instrumentation Converters, Frequently Asked Questions.

ADT7320/ADT7420 Digital Temperature Sensors, Frequently Asked Questions.

Kester, Walt. 1999. *Sensor Signal Conditioning*. Section 7. Analog Devices.

MT-004 Tutorial, *The Good, the Bad, and the Ugly Aspects of ADC Input Noise—Is No Noise Good Noise?* Analog Devices.

MT-022 Tutorial, *ADC Architectures III: Σ - Δ ADC Basics*, Analog Devices.

MT-023 Tutorial, *ADC Architectures IV: Σ - Δ ADC Advanced Concepts and Applications*, 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.

数据手册和评估板

CN-0172 Circuit Evaluation Board (EVAL-CN0172-EB1Z)

Standard Development Platform Board (EVAL-SDP-CB1Z)

ADT7320 Data Sheet and Evaluation Board

ADT7310 Data Sheet and Evaluation Board

AD7793 Data Sheet and Evaluation Board

AD7792 Data Sheet and Evaluation Board

修订历史

2013年8月—修订版0至修订版A

更改标题..... 1

2012年12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.