ANALOG DEVICES
超越一切可能™

Circuits from the Lab®
Reference Designs

参考电路设计

过程控制与工业自动化选集

Visit *analog.com.cn*

过程控制与工业自动化选集参考设计

One Technology Way • P.O. Box 9106 • Norwood, MA 02062-9106, U.S.A. • Tel: 781.329.4700 • Fax: 781.461.3113 • www.analog.com.cn

Circuits from the Lab®仪器仪表参考设计

简介

过程控制与工业自动化选集的电路笔记包含了54个参考电路设计，专门应用于解决此应用的设计挑战。工程师可以将这些电路笔记用作独立解决方案，或者作为更复杂电路和子系统的基础。

这些电路设计由ADI应用专家针对功能和性能构建和验证，包括：

- 丰富的文档，以便与各种应用一起使用。
- 完整的设计和集成文件，可最大程度减少系统集成方面的问题。
- 经过工厂测试的评估硬件，可与几个开发平台实现快速原型制作。

这些设计有助于节省时间，降低设计风险并缩短产品上市时间。

有关我们参考设计的更多信息，请访问在线设计中心。

目录

CN0172：3通道热电偶温度测量系统，精度为0.25 ° C..... 5

CN0182：单电源、低功耗的可编程窗口检测器 11

CN0183：采用+12V至±5V电源的精密、16位双极性输出电压源..... 15

CN0198：用于动态电源控制型DAC的高瞬态电流5 V稳压器 20

CN0200：18位、线性、低噪声、精密双极性±10 V直流电压源 26

CN0201：完整的5 V单电源8通道多路复用数据采集系统，集成用于工业级信号的PGIA 32

CN0202：灵活、高精度、低漂移的PLC/DCS模拟输出模块SigmaDSP音频处理器的接口 37

CN0203：仅需使用两个模拟器件的灵活的PLC/DCS模拟输出模块 43

CN0204：灵活、高精度、低漂移的PLC/DCS模拟输出模块 49

CN0206：采用AD7793 24位 Sigma-Delta ADC的完整热电偶测量系统..... 55

CN0209：适合过程控制应用的完全可编程通用模拟前端 59

CN0213：适合过程控制应用的完整高速、高共模抑制比(CMRR) 精密模拟前端 64

CN0214：利用精密模拟微控制器ADuC7060/ADuC7061构建基于USB 且带冷结补偿的热电偶温度监控器 69

CN0221：采用ARM Cortex - M3的USB热电偶温度测量系统 73

CN0225：针对工业过程控制和自动化的高阻抗、高CMR、±10 V模拟前端信号调理..... 78

CN0229：用于I/O卡和PLC应用的4通道、灵活、可配置、电压和电流输出电路 83

CN0233：16位工业、隔离电压电流输出的DAC，同时提供隔离的DC-DC电源 89

CN0247：12位、1 MSPS、单电源、低功耗数据采集系统..... 94

CN0251：24位、4.7 Hz、4通道模拟数据采集系统..... 99

CN0254：16位、250 kSPS、8通道、单电源、隔离式数据采集系统..... 105

CN0255：16位、100 kSPS、单电源、低功耗数据采集系统 111

CN0257：20位、线性、低噪声、精密、单极性+10 V直流电压源 118

CN0260：采用PGA的过采样SAR ADC，可实现125 dB以上的动态范围(CN0260) 124

CN0267：具有HART接口的完整4 mA至20 mA环路供电现场仪表 130

CN0269：18位、1.33 MSPS、16通道数据采集系统 138

CN0270：完整的4 mA至20 mA HART解决方案 150

CN0271：集成冷结补偿的K型热电偶测量系统..... 157

CN0278：具有额外电压输出能力的完整4 mA至20 mA HART解决方案 162

CN0287：具有0.5°C精度的隔离式4通道热电偶/RTD温度测量系统..... 172

CN0289：集成电压或电流驱动的灵活4 mA至20 mA环路供电压力传感器变送器.....181

CN0295：灵活的4 mA至20 mA压力传感器变送器，集成电压或电流驱动.....188

CN0300：提供4 mA至20 mA输出的完整闭环精密模拟微控制器热电偶测量系统.....194

CN0303：带频率响应补偿的MEMS振动分析仪.....200

CN0310：24位、250 kSPS单电源数据采集系统.....206

CN0313：EMC COMPLIANT RS-485收发器保护电路.....211

CN0314：采用微功耗仪表放大器的可配置4-20 mA环路供电发射器/接收器.....216

CN0318：16位、线性、超稳定、低噪声、双极性、±10 V直流电压源.....224

CN0319：采用ARM Cortex-M3的14位、4-20mA环路供电型热电偶温度测量系统.....230

CN0321：具有HART的完全隔离、单通道电压、4 mA至20 mA输出.....237

CN0325：使用4引脚或6引脚端子板的PLC/DCS通用模拟输入.....245

CN0326：具有温度补偿的隔离式低功耗PH值测试系统.....256

CN0335：12位、300 kSPS、单电源、完全隔离式数据采集系统，用于±10 V输入.....263

CN0336：12位、300 kSPS、单电源、完全隔离式数据采集系统，用于4-20 mA输入.....271

CN0337：带三线式补偿的12位、300 kSPS、单电源、完全隔离式RTD温度测量系统.....278

CN0348：16位单电源缓冲电压输出数模转换，积分和微分非线性误差小于±1 LSB.....286

CN0350：针对压电传感器的12位、1 MSPS、单电源、双芯片数据采集系统.....291

CN0364：兼容HART的PLC/DCS四通道电压、电流输入.....298

CN0368：磁阻角度和线性位置测量.....304

CN0373：隔离式USB转隔离式RS-485/隔离式RS-232接口.....313

CN0376：适合PLC/DCS应用的通道间隔离温度输入（热电偶/RTD）.....319

CN0381：采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式4线RTD测量系统.....326

CN0382：采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的隔离式4 mA至20 mA/HART工业温度和压力变送器.....336

CN0383：采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式3线RTD测量系统.....349

CN0384：采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式热电偶测量系统.....360

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/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。

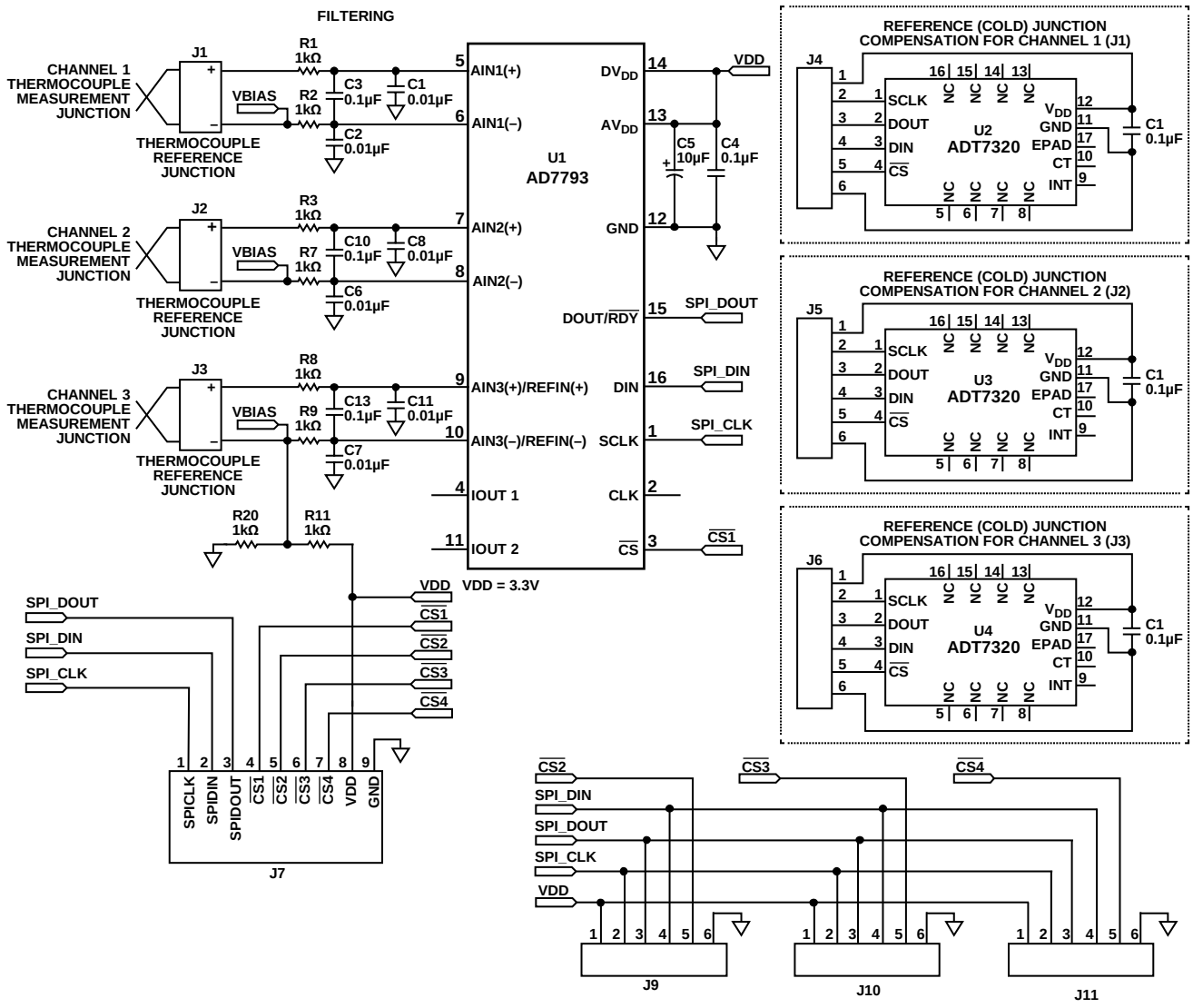
冷结测量

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)

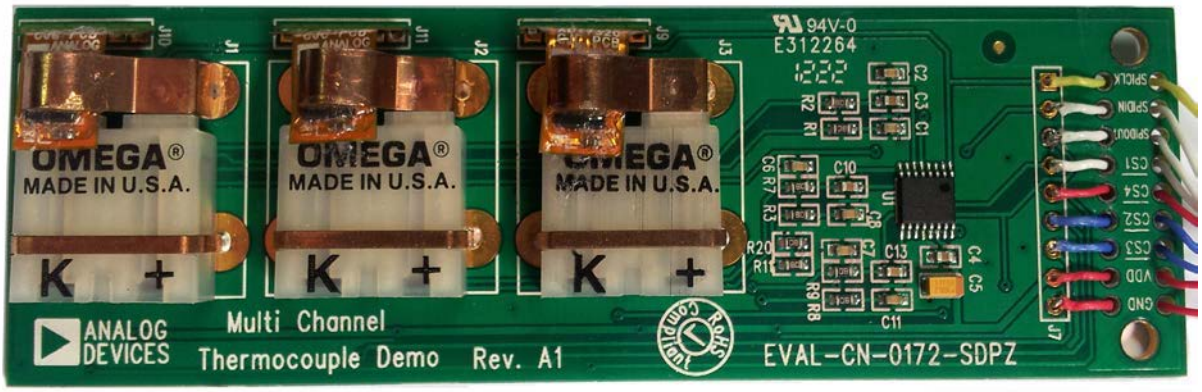
One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113 ©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.



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

09240-001

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)



09240-002

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。

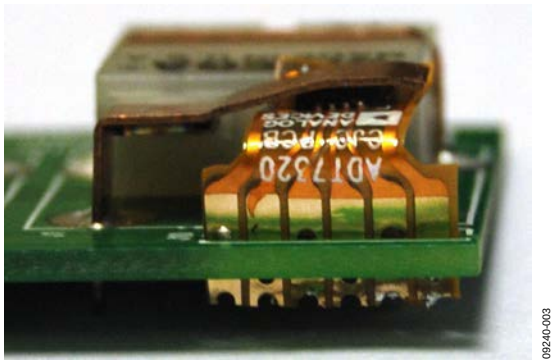


图3. 安装在柔性PCB上ADT7320的侧视图

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。

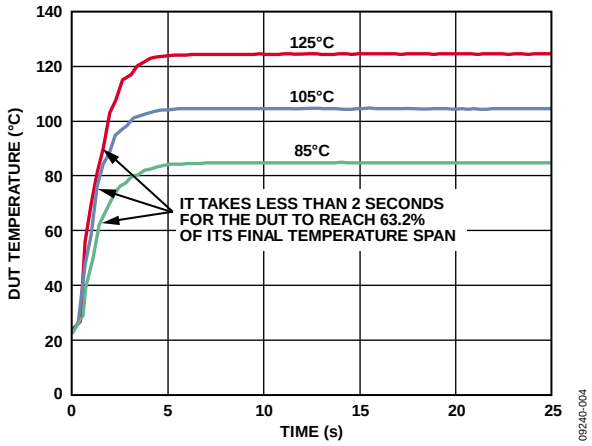


图4. ADT7320典型热响应时间

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/cn/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 µW，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 µF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 µF至50 µF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 µV/°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°C至+105°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/cn/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±0.5°C精度的ADT7310数字温度传感器替代±0.25°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/cn/CN0172-UserGuide。

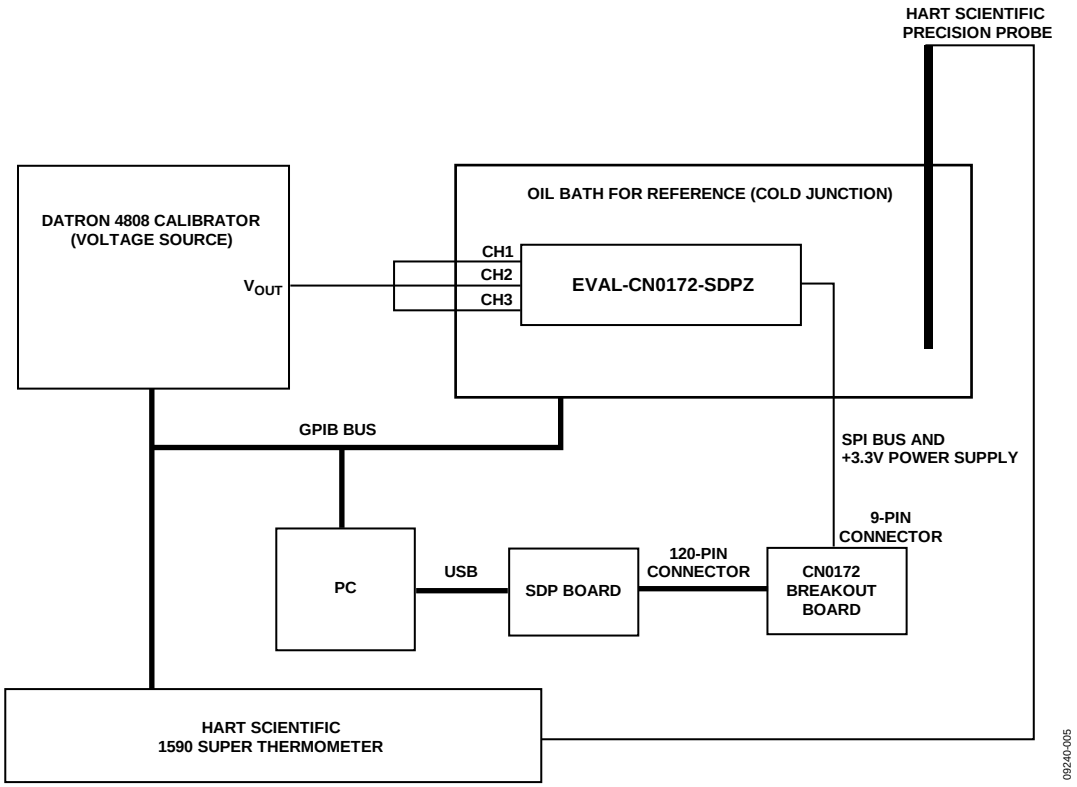


图5. 测试设置功能框图

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。

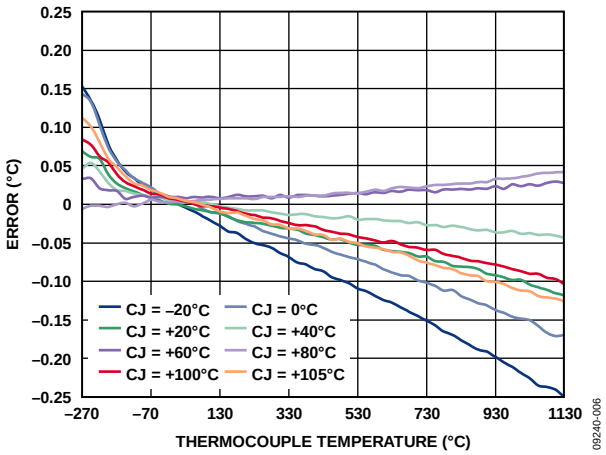


图6. 固定冷结(CJ)温度下的误差与热电偶温度的关系

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。

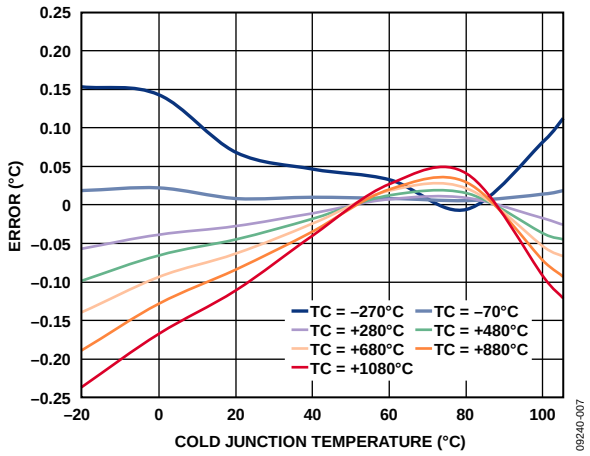


图7. 固定热电偶温度下的误差与冷结温度的关系

更多资料

CN-0172设计支持包：
http://www.analog.com/cn/CN0172-DesignSupport

Duff, Matthew和Joseph Towey。*两种简单、精确、灵活的温度检测方法*。《模拟对话》，第44卷，2010年10月。

热电偶101系列：什么是热电偶？ADI视频。

McNamara，Donal。*温度测量理论和实用技术*，应用笔记AN-892。ADI公司。

AD779x仪表转换器，常见问题解答。

ADT7320/ADT7420数字温度传感器，常见问题解答。

Kester, Walt。1999年。*传感器信号调理*。第7部分。ADI公司。

教程MT-004：*ADC输入噪声面面观—无噪声是利还是弊？*ADI公司。

教程MT-022：*ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础*。ADI公司。

教程MT-023：*ADC架构IV：Σ-Δ型ADC的高级概念和应用*。ADI公司。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0172电路评估板(EVAL-CN0172-EB1Z)

标准开发平台板(EVAL-SDP-CB1Z)

ADT7320数据手册和评估板

ADT7310数据手册和评估板

AD7793数据手册和评估板

AD7792数据手册和评估板

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.

©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09240sc-0-8/13(A)

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0182。

连接/参考器件	
AD5668	八通道、16位、SPI兼容电压输出*dense*DAC
ADCMP370	采用轨到轨输入的通用、精密、单电源比较器

单电源、低功耗的可编程窗口检测器

评估和设计支持

电路评估板

CN-0182电路评估板(EVAL-CN0182-SDZ)

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所示电路是具有可编程上限和下限的单电源、低功耗、窗口检测器。这种电路可用于在信号超出预设限值的情况下产生报警，在检测和监控应用中很受欢迎。AD5668-1八通道、低功耗、16位、缓冲电压输出DAC用于设置窗口限值。AD5668-1内置一个片内1.25 V、5 ppm/°C基准电压源，满量程输出范围为0 V至2.5 V。内部基准电压源通过软件写入使能。SPI接口用于与AD5668-1进行通信。

所使用的比较器是ADCMP370通用、低功耗比较器(5 V时为20 μW，典型值)，具有9 mV输入失调电压(最大值)和开漏输出。

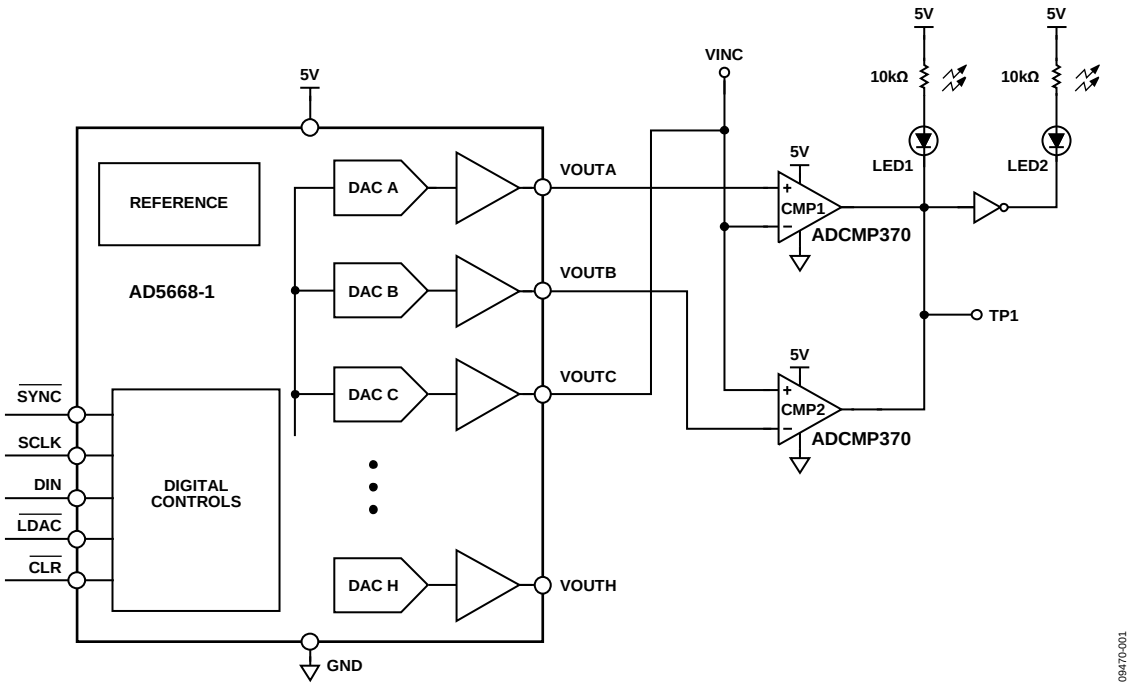


图1. 低功耗、单电源窗口检测器(原理示意图，所有连接和去耦均未显示)

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

图1所示电路是上限和下限可编程窗口检测器。上限和下限单独载入每个DAC寄存器。该电路的主要应用是测试外部信号是否落在编程限值范围内。

AD5668-1是一款八通道DAC，通道A和通道B上的输出分别设置上限和下限。

出于测试目的，DAC C提供信号输入。当信号进入由DAC A和DAC B设置的区域时，TP1上的电压变为逻辑1，LED1关闭，LED2开启。当信号超出由上限和下限设置的窗口时，LED1开启，LED2关闭。

如果将上拉电阻连接到ADCMP370的输出，如果同相输入大于反相输入，则输出为5 V；否则输出为0 V。

ADCMP370具有开漏输出，使比较器C1和比较器C2的输出通过“线与”方式连在一起。表1显示了该电路的真值表。本示例中，VOUTA为上限，VOUTB为下限，且VOUTA > VOUTB。

电路工作原理如图2所示。DAC C产生0 V至2.5 V三角波形，将VINC (TP2/TESTC)输入驱动至比较器。阈值电平由DAC A (VOUTA = 2 V)和DAC B (VOUTB = 1 V)设置。当VINC电压介于两个阈值间时，TP1上的电压变为逻辑1。

表1. 电路的真值表

VINC电平	输出CMP1	输出CMP2	输出CMP1和输出CMP2	TP1	LED1	LED2
VINC < VOUTB < VOUTA	1	0	0	0	开	关
VINC > VOUTA > VOUTB	0	1	0	0	开	关
VOUTB < VINC < VOUTA	1	1	1	1	关	开

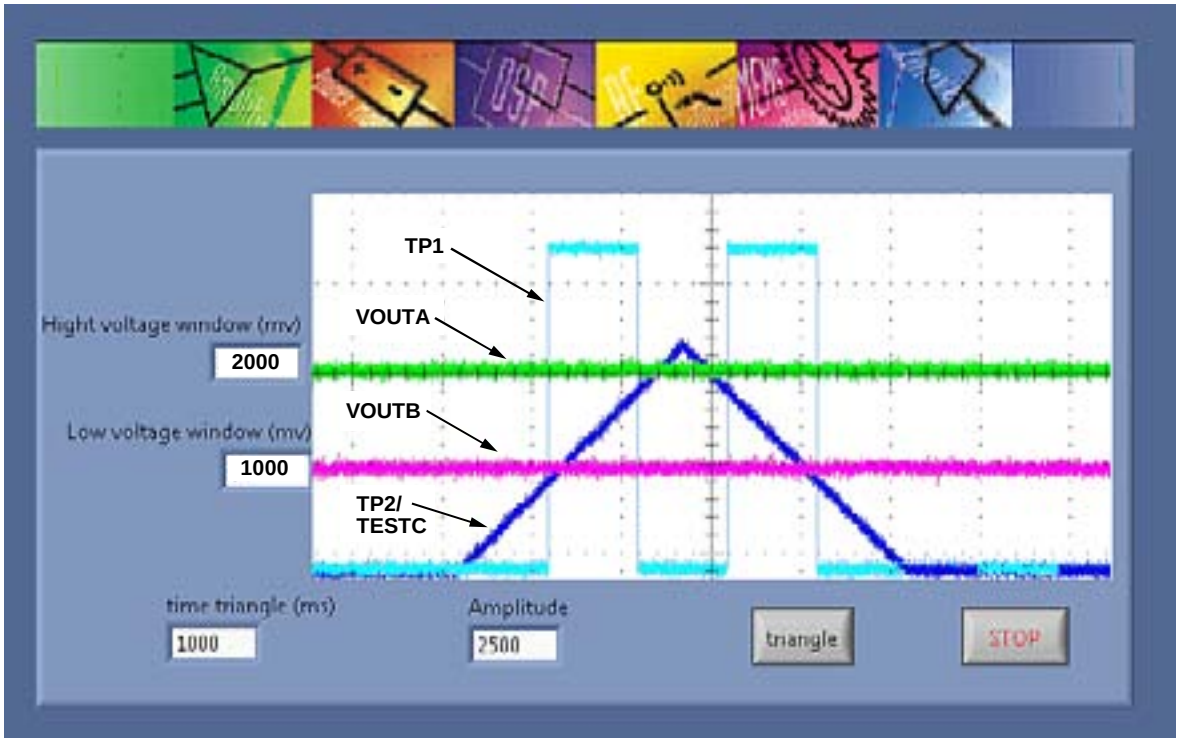


图2. VOUTA = 2 V，VOUTB = 1 V且VINC = 0 V至2.5 V斜坡时，窗口比较器的输出

常见变化

AD5668-2和AD5668-3内置一个2.5 V、5 ppm/°C基准电压源，满量程输出范围为0 V至5 V。

AD5668-1和AD5668-2内置一个上电复位电路，用于上电至0 V，直到执行一次有效的写操作为止。AD5668-3上电至中间电平。

电路评估与测试

设备要求(可以用同等设备代替)

- EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台
- CN-0182电路评估板(EVAL-CN0182-SDZ)
- CN-0182评估软件
- Tektronix TDS2024，4通道示波器
- HP-E3630A 0 V至6 V、2.55 A ± 20 V、0.5 A三路输出直流电源
- PC（Windows® 32位或64位）

开始使用

将CN-0182评估软件光盘放进PC的光盘驱动器，加载评估软件。打开“**My Computer**(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3所示为测试设置的功能框图。

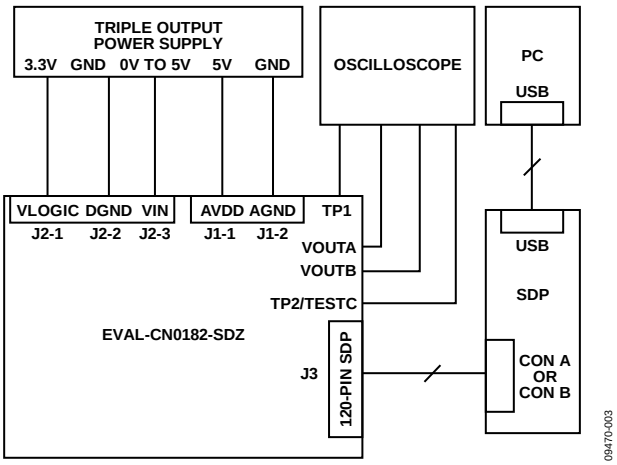


图3. 测试设置功能框图

设置

EVAL-CN0182-SDZ电路板上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z评估(SDP)板上的CON A或CON B连接器。使用螺丝，通过120引脚连接器两端的孔牢牢固定这两片板。将直流输出电源成功设置为5 V和3.3 V输出后，关闭电源。

在断电情况下，将一个5 V电源连接到J1-1引脚(AVDD)，将GND分别连接到J1-2和J2-2引脚(AGND和DGND)，将3.3 V连接到J2-1引脚(VLOGIC)。或者将链路2放在位置B，以便从USB端口通过SDP板为数字电路供电(默认设置)。本例中不需要VLOGIC。

接通电源，然后将SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。注意：接通EVAL-CN0182-SDZ的直流电源之前，请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

测试

设置测试设备后，将示波器探头连接到标记为TP1、VOUTA、VOUTB和TP2/TESTC的测试点。

附带的软件允许设置VOUTA和VOUTB值，从而定义窗口。如果保持默认设置，在主软件窗口中按一下“**triangle**(三角)”，以在VINC上创建三角信号，如图2所示。此信号的持续时间和幅度可变化。可在TP2/ TESTC测试点上观察此信号。持续时间为1秒、VOUTA和VOUTB分别建立至2000 mV和1000 mV时，两个LED随着VINC值进入和超出限值而闪烁，如“电路描述”部分所述。AD5668-1 DAC将VOUTA、VOUTB和VINC的最大值限制在2.5 V。

将链路5放在位置A允许将外部信号VINC施加于VIN引脚。可在TP2测试点上观察此信号。此外，可在TP1测试点上观察输出。

未插入链路1时，输出根据VINC相对于VOUTA的电平而变化。

表2. 跳线设置(表中粗体部分为默认设置)

跳线	描述	设置	功能
LK1	CMP1和CMP2比较器输出连接	**插入**	**CMP1和CMP2输出在TP1短路连接在一起。这是窗口比较器配置。**
		断开	两个CMP输出未短接。CMP1仅链接至LED，VINC仅与VOUTA相比较(高电平)。
LK2	数字电源	位置A	数字电路通过连接至J2-1引脚(VLOGIC)的外部电源供电。
		位置B	**数字电源由SDP电路板提供；VLOGIC引脚上不需要施加任何电压。**
LK5	VINC电压源	**位置A**	**VINC由SDP设置，可在TESTC测试点上测量。**
		位置B	VINC由外部电源(0 V至5 V)通过J2-3引脚(VIN)设置，可在TP2测试点上测量。

更多资料

CN-0182设计支持包：
http://www.analog.com/CN0182-DesignSupport

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

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0182电路评估板(EVAL-CN0182-SDZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD5668数据手册和评估板

ADCMP370数据手册和评估板

修订历史

2012年4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.

©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09470sc-0-4/12(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0183。

连接/参考器件	
AD5668	16位电压输出*dense*DAC，内置5 ppm/°C片内基准电压源和SPI接口
AD8638	16 V自稳零型轨到轨输出运算放大器
ADP2300	1.2 A、20 V、700 kHz异步降压开关稳压器
REF192	精密、微功耗、2.5 V低压差基准电压源

采用+12 V至±5 V电源的精密、16位双极性输出电压源

评估和设计支持

电路评估板

CN-0183电路评估板(EVAL-CN0183-SDZ)

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所示电路提供精密、16位、±2.5 V低漂移双极性电压输出，采用+10 V至+15 V单电源供电。AD5668 8通道*dense*DAC的单极性电压输出由AD8638自稳零型运算放大器放大并进行电平转换。AD8638的最大漂移贡献仅为0.06 ppm/°C。外部基准电压源REF192确保最大漂移为5 ppm/°C(E级)，并为AD8638电平增益和转换电路提供低阻抗伪地电压。

该电路针对采用单个+12 V供电轨的系统中经常出现的一个问题提供了高效解决方案。合适的印刷电路板(PCB)布局和接地技术可确保ADP2300开关稳压器不会降低电路的整体性能。

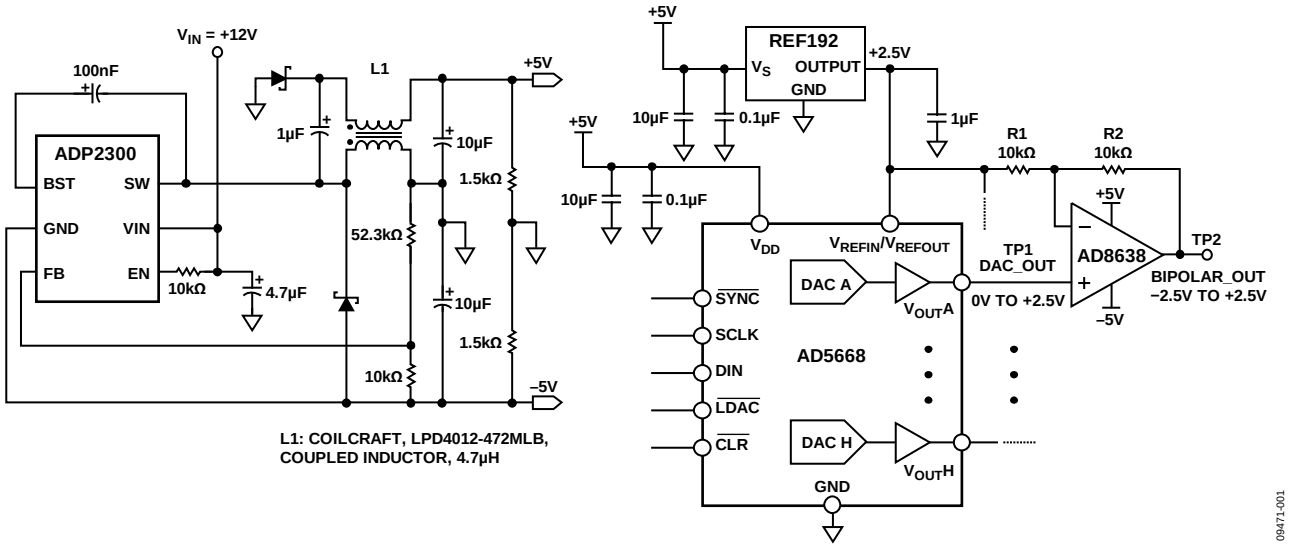


图1. 采用±5 V电源的双极性输出DAC电路

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 **www.analog.com.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

AD5668是一款通过SPI接口控制的16位、8通道、电压输出*dense*DAC。它包含一个片内基准电压源，最大漂移为10 ppm/°C。上电时，片内基准电压源关闭，因而可以用外部基准电压。内部基准电压源通过软件写入使能。图1所示的电路中采用了外部REF192，因为需要低输出阻抗来驱动AD8638运算放大器的2.5 V伪地基准电压。

AD5668的输出电压在TP1处为0 V至2.5 V，此信号驱动AD8638运算放大器的同相输入端。运算放大器的信号增益为1 + R2/R1，因此R1 = R2时等于2。通过以2.5 V基准电压驱动R1，向运算放大器输出中注入2.5 V的负偏移。因此，TP2的双极性输出电压摆幅为−2.5 V至+2.5 V。

该电路采用单电源供电，标称电压为12 V，可在10 V至15 V之间变动。经过调节的−5 V供电轨由反相降压-升压配置中连接的ADP2300开关稳压器产生。该电路可使用www.analog.com/ADIsimPower上提供的ADIsimPower程序来设计。L1耦合电感用于为采用Zeta配置的电路产生未经调节的5 V电源。该电路能够针对较小的输出电流产生高效率。

图2和图3分别显示了在TP2(双极性输出)处测量的积分非线性(INL)和差分非线性(DNL)。

图4和图5分别显示了在TP1(单极性DAC输出)处测量的INL和DNL。

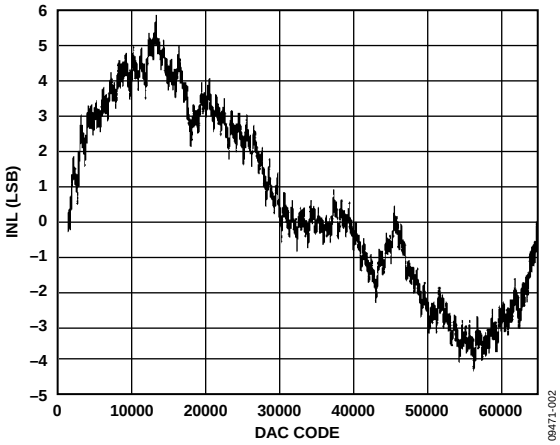


图2. 双极性输出(TP2)的INL性能

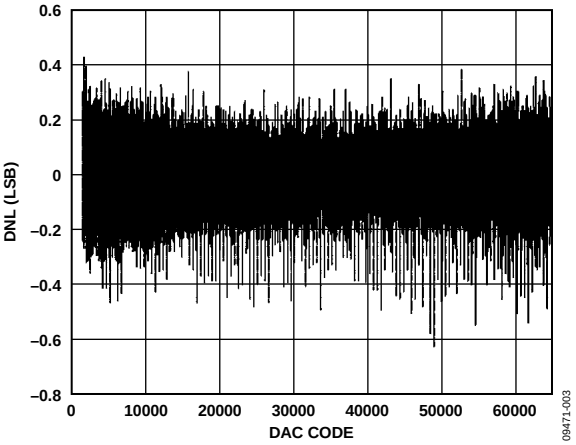


图3. 双极性输出(TP2)的DNL性能

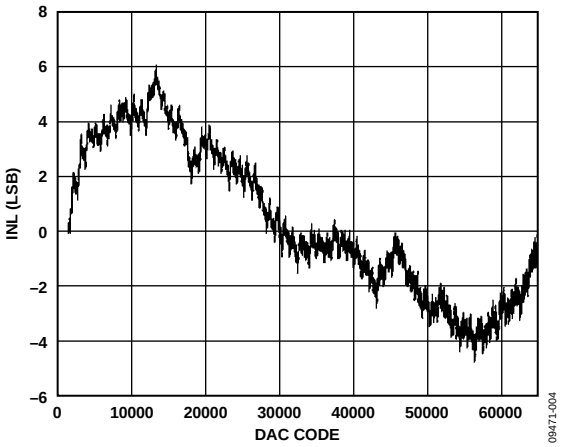


图4. 单极性DAC输出(TP1)的INL性能

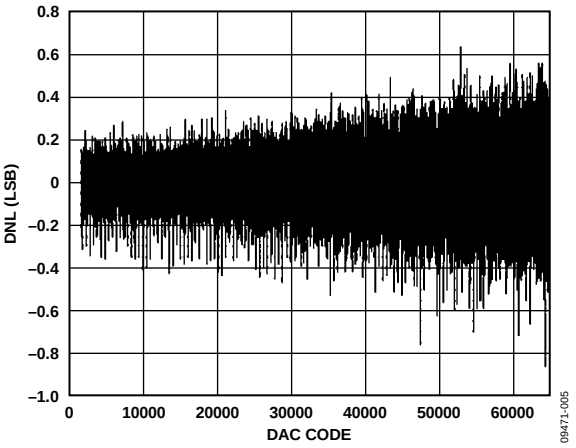


图5. 单极性DAC输出(TP1)的DNL性能

常见变化

AD5628和AD5648分别是AD5668的12位和14位版本。它们都有一个内部增益为2的片内基准电压源。AD5628-1/AD5648-1/AD5668-1内置一个1.25 V、5 ppm/°C基准电压源，满量程输出范围可达到2.5 V；AD5628-2/AD5648-2/AD5668-2和AD5668-3内置一个2.5 V、5 ppm/°C基准电压源，满量程输出范围可达到5 V。上电时，片内基准电压源关闭，因而可以使用外部基准电压源。内部基准电压源通过软件写入使能。上述器件内置一个上电复位电路，确保DAC上电后输出0 V(AD5628-1/AD5648-1/AD5668-1、AD5628-2/AD5648-2/AD5668-2)或中间电平(AD5668-3)并保持该电平，直到执行一次有效的写操作为止。

AD8639是AD8638的双通道版本，可根据需要使用。图1中的电路使用单个AD8638来最大限度地减小八个通道之间的串扰。

可使用其他2.5 V基准电压源，例如ADR4525，它拥有±0.02%的精度和最大2 ppm/°C的温度系数(B级)。

电路评估与测试

设备要求(可以用同等设备代替)

需要以下设备：

- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- CN-0183电路评估板(EVAL-CN0183-SDZ)
- CN-0183评估软件
- Tektronix TDS2024，4通道示波器
- HP E3630A 0 V至6 V/2.55 A、± 20 V/0.5 A三路输出直流电源
- PC(Windows 32位或64位)

开始使用

将CN-0183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。图6显示了评估软件主窗口。

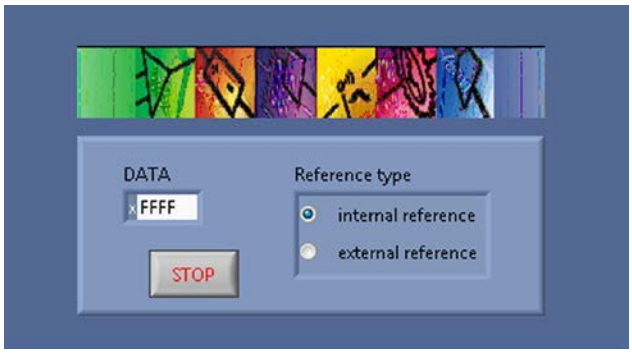


图6. 评估软件主窗口

测试设置功能框图

图7为测试设置的功能框图。此设置允许通过示波器观察DAC输出(TP1)和双极性输出(TP2)。

线性度测量要求使用可由PC通过USB端口读取的精密数字电压表(DVM)。

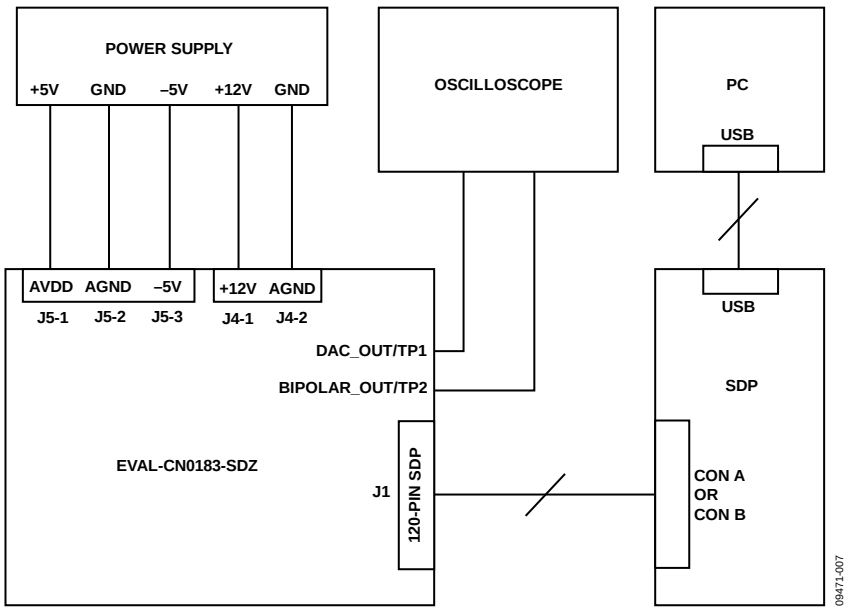


图7. 测试设置功能框图

设置

将EVAL-CN0183-SDZ上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z上的**CON A**或**CON B**连接器。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。将直流输出电源成功设置为+5 V、−5 V和+12 V输出后，关闭电源。

在断电情况下，将−5 V电源连接到J5-3上的−5 V引脚，将+5 V电源连接到J5-1上的AVDD引脚，将GND连接到J5-2和J4-2上的AGND引脚，将+12 V电源连接到J4-1上的+12 V引脚。或者，将链路2和链路3放在位置B，以便使用ADP2300为电路提供+5 V至−5 V的电压。注意，这种情况下不需要AVDD和−5 V。

接通电源，然后将SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。接通EVAL-CN0183-SDZ的直流电源之前，请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

设置测试设备后，将示波器探头连接到TP1和TP2测试点。TP3、TP4和TP5测试点分别连接到基准电压、经过调节的+5 V和经过调节的−5 V。检查这些测试点电压是否正确(使用TP6接地)。

利用CD中提供的软件，用户能够通过向DAC中加载一个代码和选择基准电压源来设置V_{OUT}A值。如果用户保留默认设置，将需要提供+5 V和−5 V电压，不需要+12 V。默认设置使用外部REF192基准电压源，从而提供2.5 V (TP1)的满量程DAC输出，双极性输出(TP2)中则为−2.5 V至+2.5 V。加载0x0000可将DAC输出和双极性输出分别设置为0 V和−2.5 V。加载0x8000可将DAC输出和双极性输出分别设置为1.25 V和0 V。加载0xFFFF可将DAC输出和双极性输出均设置为2.5 V。

表1.EVAL-CN0183-SDZ的跳线设置(默认设置以粗体字显示)

跳线	说明	设置	功能
LK1	将AD5668基准电压源引脚短接至REF192输出	**插入** 断开	**它将AD5668基准电压源引脚短接至REF192输出，允许使用外部DAC基准电压源。** 只能使用AD5668的内部基准电压源。
LK2	AVDD电源	**位置A** 位置B	**该电路采用施加于J5-1 AVDD引脚上的外部5 V电源供电。** 数字电源由ADP2300调节器输出的5V电压提供。
LK5	−5V电压源	**位置A** 位置B	**模拟电路由施加于J5-3 −5V引脚上的外部电源供电。** 数字电源由ADP2300调节器反相输出的−5V电压提供。

更多资料

CN-0183设计支持包：
http://www.analog.com/CN0183-DesignSupport

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

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

ADIsimPower设计工具

数据手册和评估板

CN-0183电路评估板(EVAL-CN0183-SDZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD5668数据手册和评估板

AD8638数据手册和评估板

ADP2300数据手册和评估板

REF192数据手册和评估板

修订历史

2013年6月—修订版0至修订版A

更改图1 1

2012年6月-版本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.

©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09471sc-0-6/13(A)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0198。

连接/参考器件	
AD5755	16位、四通道、电压输出DAC，提供动态电源控制
ADP2300	700 kHz异步降压开关稳压器

用于动态电源控制型DAC的高瞬态电流5 V稳压器

评估和设计支持

电路评估板

AD5755评估板(EVAL-AD5755SDZ)
系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
ADP2300评估板(ADP2300-EVALZ)

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中的电路可为基于数模转换器的4 mA至20 mA输出电路提供独特的节能解决方案。为了能对10 Ω和1000 Ω之间的典型阻性负载提供足够的裕量，传统的4 mA至20 mA输出驱动器级必须至少能在20 V(加上一些额外裕量)的电压下工作，以便提供足够的电压，驱动高数值的阻性负载。然而，对于低数值的阻性负载，固定的高电源电压值会导致极高的内部功耗，不仅影响DAC精度，更需采用额外的散热手段。

四通道、16位DAC AD5755集成4个独立的高效内部DC-DC转换器，能够根据4 mA至20 mA驱动器的实际输出电压检测值，以动态可调节的升压驱动4个输出级。无论负载电阻多大，升压电路都可在输出级保持数伏的裕量；对于输入10 Ω负载的24 mA输出电流而言，可降低大约4倍的最大内部功耗。

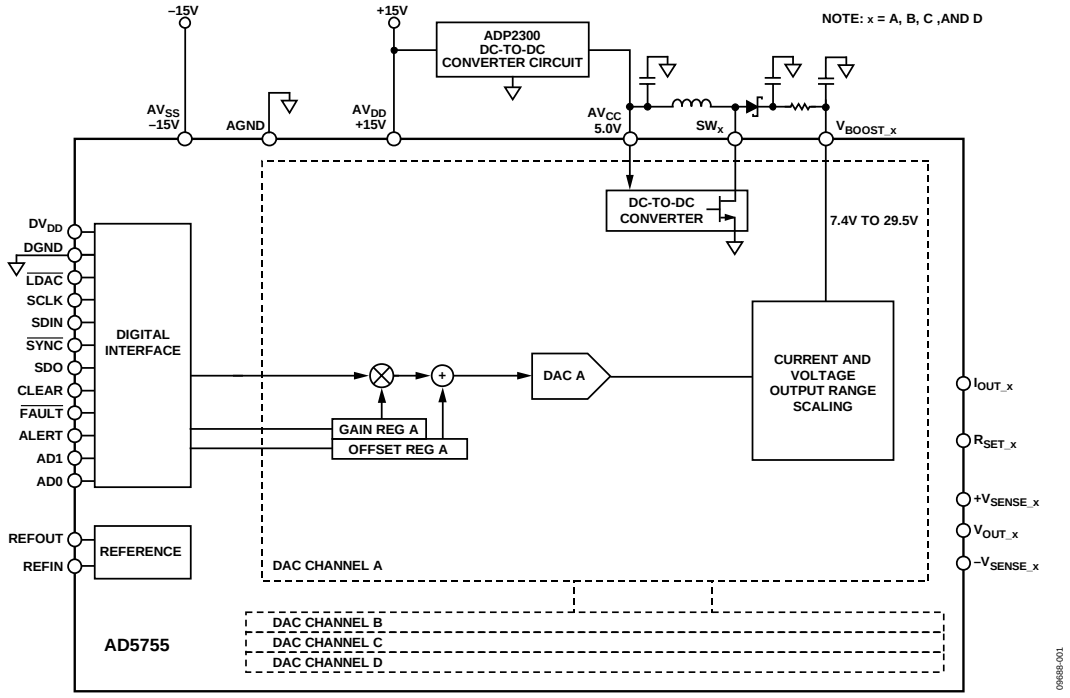


图1. 电源方案经修改后的电流和电压输出型DAC(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

内部DC-DC转换器需要一个外部5 V电源供电，当DAC以满量程压摆率输出时，转换器将消耗大量电流。基于ADP2300的高效率外部DC-DC转换器电路采用15 V电源驱动，并提供5V电压输出。ADP2300具有针对高达800 mA大电流阶跃的出色瞬态响应性能，可确保升压转换器的正常工作，而无需使用5 V独立电源。

整个电路采用±15 V电源供电，允许DAC提供范围涵盖工业信号电平的最高±10 V电压输出以及4 mA至20 mA的电流输出。本器件组合是一款低成本、高能效解决方案，最大程度减少了所需的外部器件数目，并保证各种负载条件下的16位性能。

电路描述

本电路增强AD5755器件对压摆率和动态电源的控制特性，建立了更为完整和稳定的DAC解决方案。利用ADP2300部署简易降压DC-DC转换器，本电路可提供高于普通电流值的电源电流，当压摆率控制AD5755的输出时，这种功能得以应用。

AD5755工作性能与任何将数字数据转换为模拟电流的标准DAC相似(例如，0 mA至20 mA、4 mA至24 mA或0 mA至24 mA)，或与任何将数字数据转换为电压输出的标准DAC相似(例如，0 V至5 V、0 V至10 V、±5 V或±10 V)。AD5755采用AV_{SS}扩展至−26.4 V和AV_{DD}扩展至+33.0 V的电源供电。

功耗控制

在标准电流控制模块或执行器设计中，负载电阻值典型范围为50 Ω至750 Ω，但也可低至10 Ω，或高达1 kΩ。在整个负载电阻值范围内，必须采用可提供足够裕量的电源电压，为4 mA至20 mA输出驱动器级供电。例如，当驱动24 mA至1 kΩ负载时，要求使用高于27 V的电源电压，此时假定需要具有3 V的裕量。本例中由输出驱动器产生的内部封装功耗为3 V × 24 mA = 72 mW。然而，当使用同样的27 V电源电压驱动10 Ω负载时，驱动器的内部功耗约为27 V × 24 mA = 648 mW。对于四通道DAC而言，这表示总功耗大于2.5 W。

AD5755电路对输出电压进行检测，并动态调节升压电源电压，使其满足电源电压要求的同时留有足够的裕量。对于将24 mA输出驱动至10 Ω而言，7.4 V的升压电压产生的内部功耗仅为7.4 V × 24 mA = 178 mW。这表示与不进行调节的情况相比，功耗降低了将近4倍。

通过4个工作在5 V输入电压下的独立DC-DC转换器，可单独为所有4个DAC输出产生升压电源电压。

DC-DC转换器

AD5755集成4个独立的板载DC-DC转换器，为每个独立通道提供针对V_{BOOST_X}电源电压的动态控制。图2所示为该DC-DC电路需要的分立式元件，以下各节将介绍该电路的工作原理。

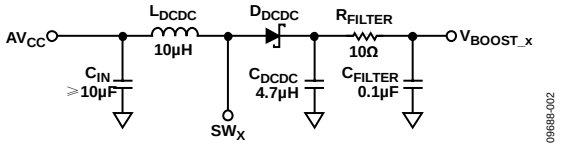


图2. DC-DC外部电路

建议在C_{DCDC}之后放置一个10 Ω、100 nF低通RC滤波器。虽然该器件会消耗少量电能，但会减少V_{BOOST_X}电源上的纹波。推荐的L_{DCDC}、C_{DCDC}和D_{DCDC}器件值见表1。

表1. 用于DC-DC转换器的分立元件

符号	器件	值	制造厂商
L_{DCDC}	XAL4040-103	10 µH	Coilcraft
C_{DCDC}	GRM32ER71H475KA88L	4.7 µF	Murata
D_{DCDC}	PMEG3010BEA	0.38 V_F	NXP

DC-DC转换器工作原理

片上DC-DC转换器采用一种恒频、峰值电流模式控制方案，以将4.5 V至5.5 V的AV_{CC}输入升压，从而驱动AD5755输出通道。这些器件设计用于工作电流断续模式(DCM)，占空比小于90%(典型值)。

断续导通模式是一种工作模式，其中电感电流在较大比例的开关周期内为零。DC-DC转换器属于异步器件，要求采用外部肖特基二极管。

DC-DC转换器输出电压

启用通道电流输出时，转换器将V_{BOOST_X}电源调节至7.4 V (±5%)或($I_{OUT} \times R_{LOAD}$ + 裕量)(取较大值)。电压裕量值约为3 V。在电压输出模式下，若输出被禁用，转换器将把V_{BOOST_X}电源调节至+15 V (±5%)。在电流输出模式下，若输出被禁用，转换器将把V_{BOOST_X}电源调节至7.4 V (±5%)。

在通道内部，V_{OUT_X}级和I_{OUT_X}级共用一个V_{BOOST_X}电源，因此I_{OUT_X}级和V_{OUT_X}级的输出可以连在一起。

DC-DC转换器建立时间

在电流输出模式下，步长大于约1 V ($I_{OUT} \times R_{LOAD}$)的建立时间将以DC-DC转换器的建立时间为主。当I_{OUT_X}引脚需要的电压与顺从电压之和低于7.4 V (±5%)时除外。负载越小，建立时间越快。当电流步长小于24mA时，建立时间也会更快。

DC-DC转换器V_{MAX}功能

最大V_{BOOST_X}电压在DC-DC控制寄存器中设置。达到该最大电压时，DC-DC转换器被禁用，V_{BOOST_X}电压则下降约0.4 V。当V_{BOOST_X}电压下降时，DC-DC转换器被重新启用，电压斜坡再次升到V_{MAX}(若仍有必要)。

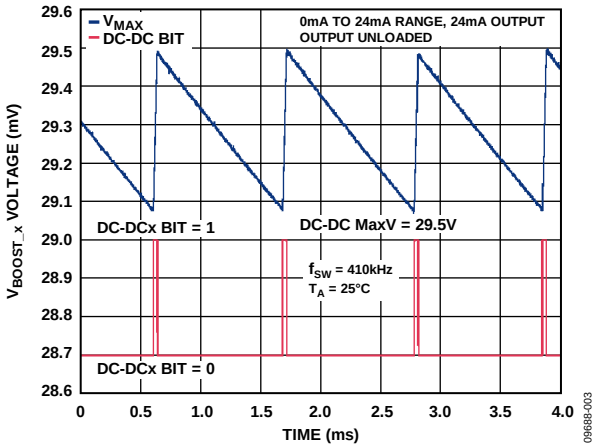


图3. V_{MAX}工作原理

从图3可以看出，当AD5755上升到V_{MAX}值时，状态寄存器中的DC-DCx位置位，但当电压下降到V_{MAX} − 0.4 V时，DC-DCx位解除置位。

AV_{CC}电源静态电流要求

DC-DC转换器设计用于提供此数值的V_{BOOST_X}电压：

$$V_{BOOST} = I_{OUT} \times R_{LOAD} + Headroom$$

这意味着，对于固定负载和输出电压，DC-DC转换器的输出电流可以通过下式计算：

$$AI_{CC} = \frac{Power\ Out}{Efficiency \times AV_{CC}} = \frac{_{OUT} \times V_{BOOST}}{\eta_{V_{BOOST}} \times AV_{CC}}$$

其中：

I_{OUT}是I_{OUT_X}的输出电流(单位：A)。

ηV_{BOOST}为V_{BOOST_X}的效率，表示为小数。

AV_{CC}电源的压摆电流要求

在压摆期间，AI_{CC}的电流要求大于静态工作模式，这是因为输出功率会增大，以便给DC-DC转换器的输出电容充电。如果无法提供足够的AI_{CC}电流，AV_{CC}电压会下降。受AV_{CC}下降影响，压摆所需的AI_{CC}电流会进一步增加。这意味着AV_{CC}端的电压会继续下降，V_{BOOST_X}电压以及输出电压可能永远无法达到目标值。由于该AV_{CC}电压为所有通道共用，所以这也可能会影响其他通道。

ADP2300 AV_{CC}电源

ADP2300和某些分立元件用于创建简单的5 V电轨，满足AD5755如前所述的电源电流要求。通过输出电压与FB引脚之间的一个电阻分压器(见图4)，可从外部设置输出电压。

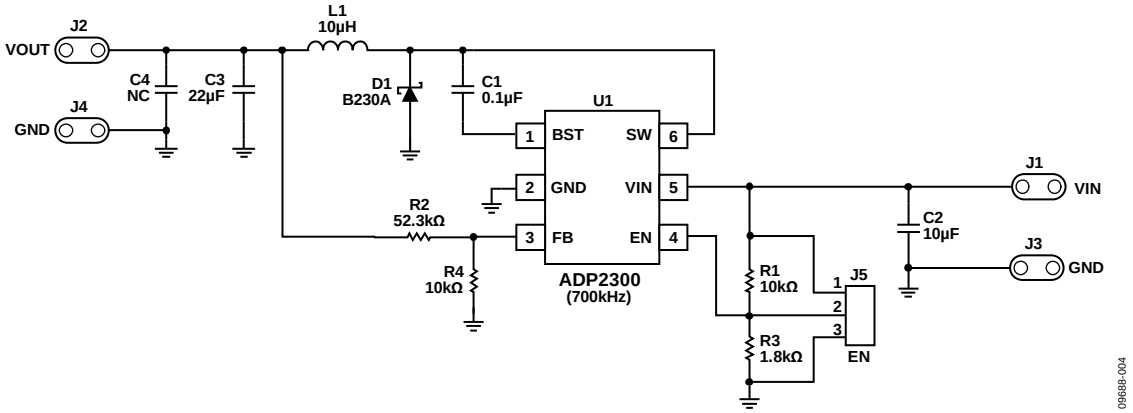


图4. ADP2300典型应用(ADP2300评估板)

测试数据与结果

所有测试数据均来自EVAL-AD5755SDZ、EVAL-SDP-CB1Z和ADP2300-EVALZ板。使用ADP2300的系统积分非线性(INL)、差分非线性(DNL)和总非调整误差(TUE)分别见图5、图6和图7。AD5755升压调节器在所有测量过程中均处于工作状态。

该系统的完整文档位于CN0198设计支持包中。

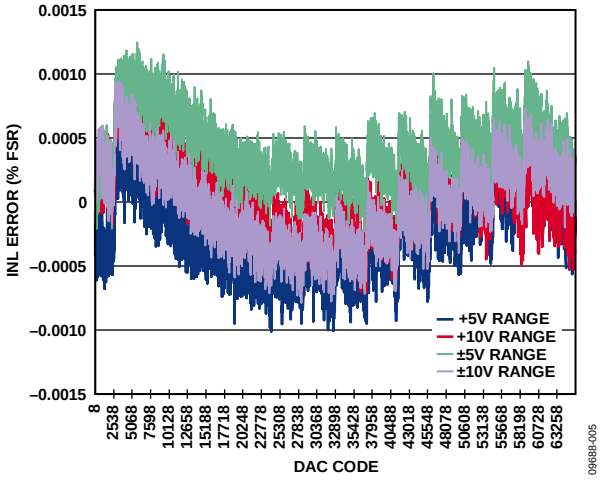


图5. 电压输出的INL

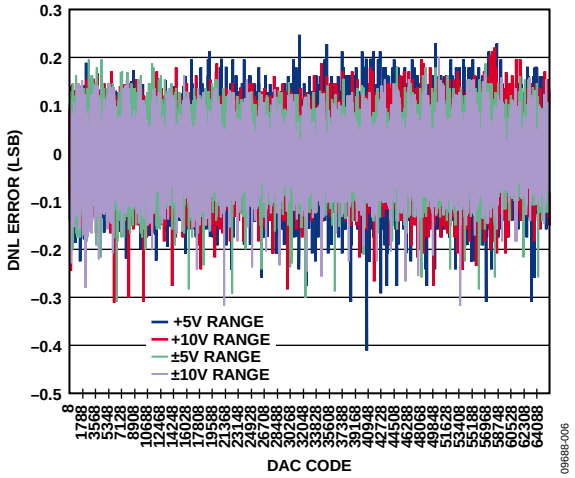


图6. 电压输出的DNL

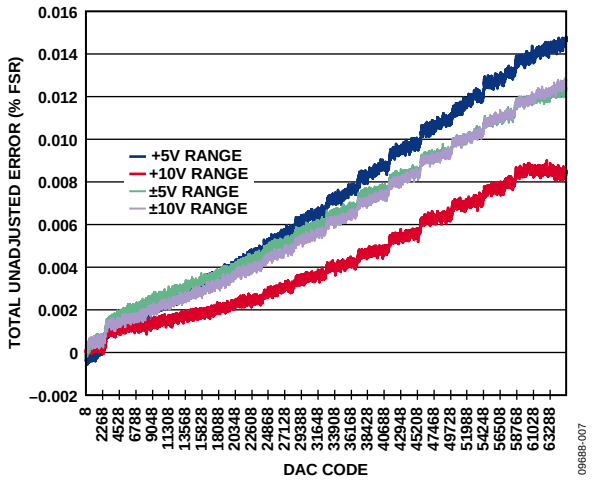


图7. 电压输出的TUE

常见变化

AD5755-1与AD5755性能相近，但前者提供HART连接。AD5755-1各通道均有一个相应的CHARTx引脚，因此HART信号可以耦合到其电流输出端。

电路评估与测试

本电路使用EVAL-AD5755SDZ电路板和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板。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。

EVAL-AD5755SDZ电路板包含待评估的电路，且SDP评估板与AD5755评估软件一起使用，可获取数据。

设备要求

需要以下设备：

- 带USB端口和Windows® XP、Windows Vista®(32位)或Windows 7(32位)PC
- EVAL-AD5755SDZ电路板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP评估板
- ADP2300-EVALZ评估板
- AD5755评估软件
- 电源：±15 V
- 数字万用表(即Agilent 34401A)
- GPIB转USB电缆(仅在捕捉DAC模拟数据并将其传送到PC时才需要)

开始使用

将AD5755评估软件光盘放入PC中，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

测试设置框图见图8，电路原理图见**EVAL-CN0198-SDPZ-SCH-RevX.pdf**文件。此文件位于CN0198设计支持包中。

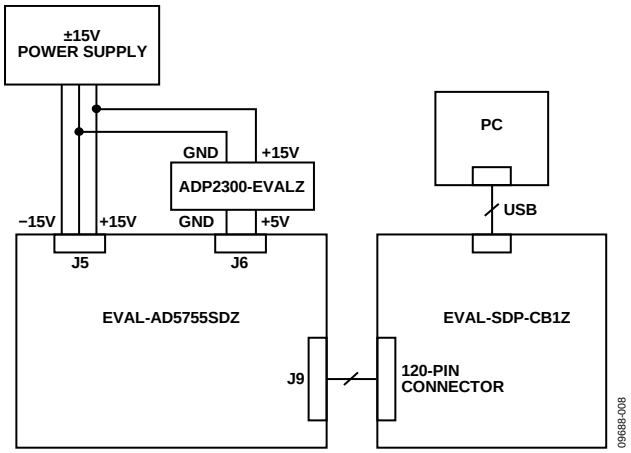


图8. 测试设置框图

设置

将EVAL-AD5755SDZ上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z上的**CON A**连接器。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。

在关断电源的情况下，执行下列操作：

- 将±15 V电源连接至EVAL-AD5755SDZ的J5端子板。
- 将15 V电源连接至ADP2300-EVALZ的输入端。
- 将输出引脚连接至EVAL-AD5755SDZ的J6连接器。
- 将±15 V电源连接至EVAL-AD5755SDZ的J5连接器。
- SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。注意：此时请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

测试

为ADP2300-EVALZ和EVAL-AD5755SDZ电源供电。

通过USB电缆将PC连接到SDP板上的微型USB连接器，并启动评估软件。

一旦USB通信建立，就可以使用SDP板来发送和接收来自EVAL-AD5755SDZ的数据。

有关EVAL-SDP-CB1Z的信息，请参阅SDP用户指南。

有关测试设置以及如何使用评估软件来捕捉数据的详细信息，请参阅CN-0198用户指南。

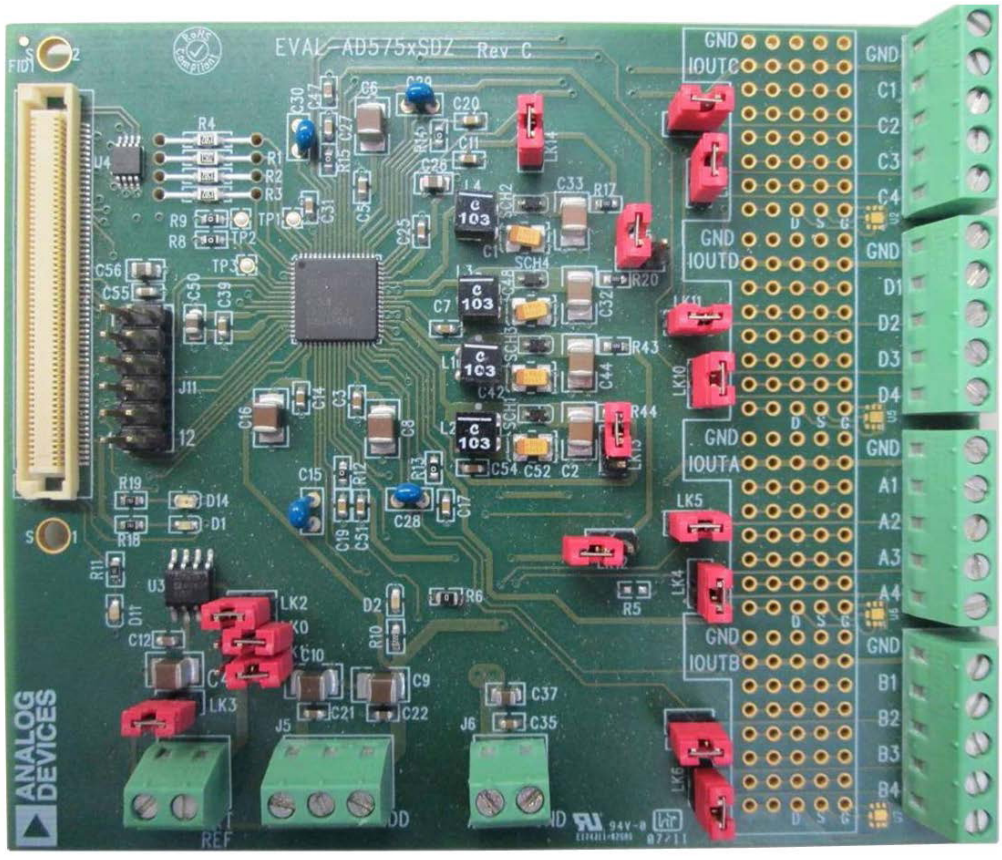


图9. EVAL-AD5755SDZ板的照片

更多资料

CN0198设计支持包：
http://www.analog.com/CN0198-DesignSupport.

UG-244（EVAL-AD5755SDZ评估板用户指南）。具有动态功率控制和HART连接的四通道、16位串行输入、4 mA至20 mA、电压输出DAC评估板。ADI公司，2011年。

UG-179（ADP2300-EVALZ评估板用户指南）。*1.2 A、20 V非同步降压稳压器评估板*。ADI公司，2010年。

ADIsimPower

教程 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。

数据手册和评估板

AD5755 数据手册

AD5755 评估板

ADP2300 数据手册

ADP2300 评估板

修订历史

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.

©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09688sc-0-12/12(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0200。

连接/参考器件	
AD5780	真18位电压输出DAC
AD8675	超精密、36 V、2.8 nV/√Hz轨到轨输出运算放大器
AD8676	超精密、36 V、2.8 nV/√Hz、双通道轨到轨输出运算放大器
ADR445	超低噪声5V LDO XFET®基准电压源

18位、线性、低噪声、精密双极性±10 V直流电压源

评估和设计支持

电路评估板

AD5780电路评估板(EVAL-AD5780SDZ)

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18位线性、低噪声、精密双极性(±10 V)电压源，所需外部元件的数量极少。AD5780是一款18位、无缓冲电压输出DAC，采用最高33 V的双极性电源供电。正基准电压输入范围为5 V至VDD − 2.5V，负基准电压输入范围为VSS + 2.5 V至0V。两路基准电压输入均在片内缓冲，无需外部缓冲。相对精度最大值为±1 LSB，保证工作单调性，微分非线性(DNL)最大值为±1 LSB。

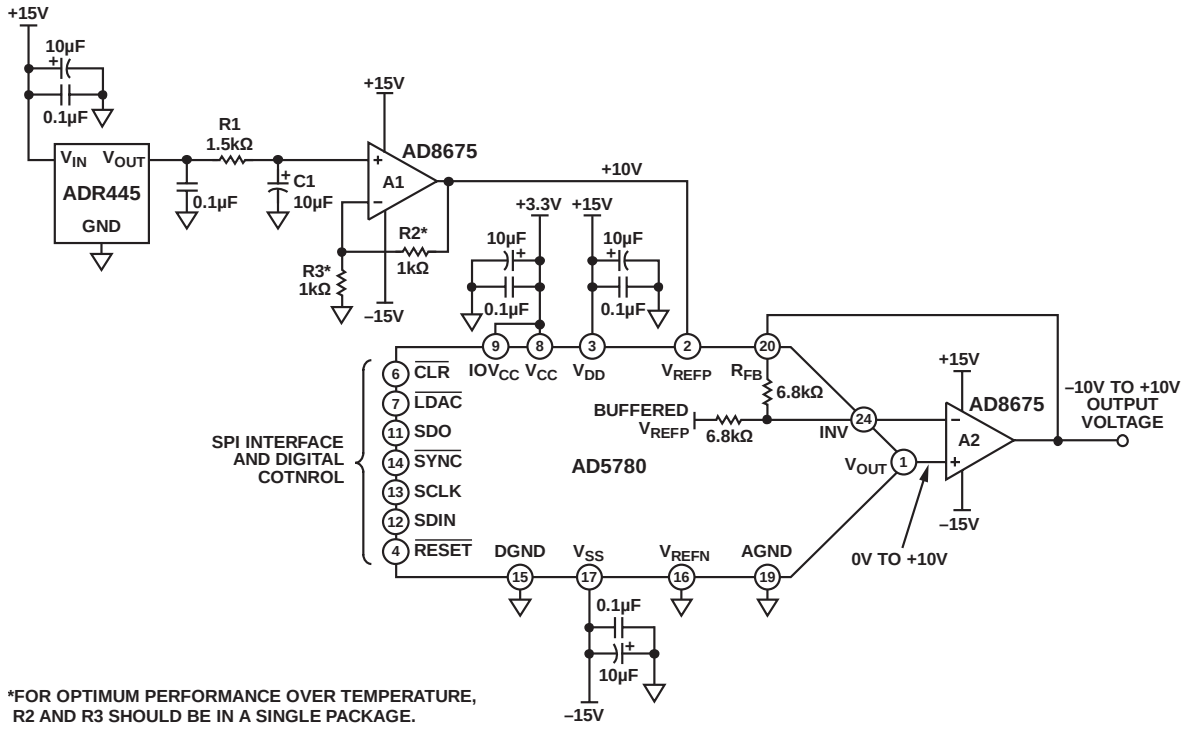


图1. 18位精密、±10V电压源（原理示意图：未显示去耦和所有连接）

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/cn**
Fax: 781.461.3113 **©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

精密运算放大器AD8675具有低失调电压（最大值75 μV）和低噪声（典型值2.8 nV/√Hz）特性，是AD5780的最佳输出缓冲器。AD5780具有两个内部匹配的前馈和反馈电阻，这些电阻连接到运算放大器AD8675，并提供10 V偏移电压。因此，采用单个10 V外部基准电压源时，输出电压摆幅可以达到±10 V。

该电路的数字输入采用串行输入，并与标准SPI、QSPI、MICROWIRE®和DSP接口标准兼容。对于高精度应用，通过结合使用AD5780、ADR445和AD8675等精密器件，这个紧凑的电路可以提供高精度和低噪声性能。

这一器件组合可以提供业界领先的18位分辨率、±1 LSB积分非线性(INL)和±0.75 LSB微分非线性(DNL)，可以确保单调性，并且具有低功耗、小尺寸PCB、高性价比等特性，采用LFCSP封装。

电路描述

图1所示数模转换器(DAC)为AD5780，这是一款SPI接口的18位高压转换器，提供±1 LSB INL、±0.75 LSB DNL和7.5 nV/√Hz噪声频谱密度。另外，AD5780还具有极低的温漂(0.005 LSB/°C)特性。

在图1中，AD5780配置为增益为2的模式，这样便可以用单基准电压源来产生对称的双极性输出电压范围。此工作模式采用外部运算放大器(A2)和片内电阻（参见AD5780数据手册）来提供2倍的增益。这些内部电阻相互之间以及与DAC梯形电阻之间均热匹配，因而可实现比率热跟踪。输出缓冲器同样采用AD8675，它具有低噪声和低漂移特性。该放大器(A1)还用于将低噪声ADR445的+5 V基准电压放大至+10 V。此增益电路中的R2和R3为精密金属薄片电阻，其容差和温度系数电阻分别为0.01%和0.6 ppm/°C。要在整个温度范围内达到最佳性能，R1和R2应处于单个封装内，如Vishay 300144或VSR144系列。R2和R3均选用1 kΩ，以便将系统噪声保持在较低水平。R1和C1构成低通滤波器，截止频率大约为10 Hz。该滤波器用于衰减基准电压源噪声。

线性度测量

利用Agilent 3458A万用表，在 EVAL-AD5780SDZ评估板上演示图1所示电路的精密性能。图2显示积分非线性与DAC代码具有函数关系，且位于±1 LSB的规格范围内。

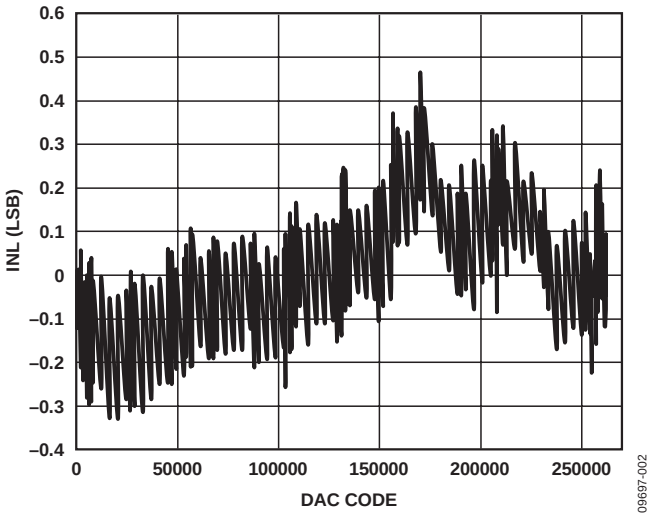


图2. 积分非线性与DAC码的关系

图3显示微分非线性与DAC代码具有函数关系，且位于–0.25 LSB至+0.75 LSB的规格范围内。

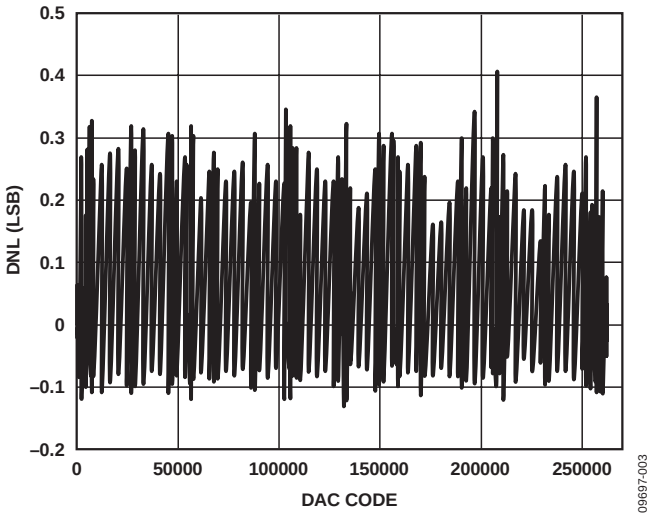


图3. 微分非线性与DAC码的关系

噪声漂移测量

要实现高精度，电路输出端的峰峰值噪声必须维持在1 LSB以下，对于18位分辨率和20 V峰峰值电压范围则为76.29 μV。

实时噪声应用中不会在0.1 Hz处有高通截止频率来衰减1/f噪声，但会在其通带中包含低至DC的频率；因此，测得的峰峰值噪声更为实际，如图4所示。本例中，电路输出端的噪声是在100秒内测得的，测量充分涵盖低至0.01 Hz的频率。截止频率上限大约为14 Hz并受限于测量设置。

图4显示三种条件下的峰峰值：1.2 μV（零电平输出）、32 μV（中间电平输出）和64 μV（满量程输出）。

零电平输出电压的噪声最低，此时噪声仅来自DAC内核。选择零电平码时，DAC会衰减各基准电压路径的噪声贡献。

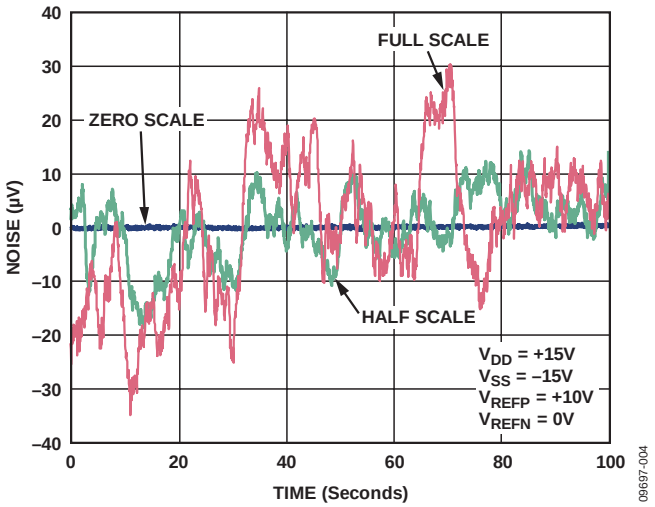


图4. 100秒内测得的DAC输出电压噪声：满量程（红色）、中间电平（绿色）和零电平（蓝色）

随着测量时间变长，较低频率将包含在内，而峰峰值将变大。频率较低时，温度漂移和热电偶效应会变成误差源。通过选择热系数较小的器件可以将上述效应降至最小。在此电路中，低频1/f噪声的主要来源是基准电压源。另外，基准电压源的温度系数值也是电路中最大的，为3 ppm/°C。为了改善中间电平和满量程DAC输出噪声，需要使用温度控制的超低噪声基准电压源。

图5显示用+5 V Krohn Hite 523型精密基准电压源取代ADR445后的信号链性能。

欲查看完整原理图和印刷电路板的布局，请参见CN-0200设计支持包：www.analog.com/CN0200-DesignSupport.

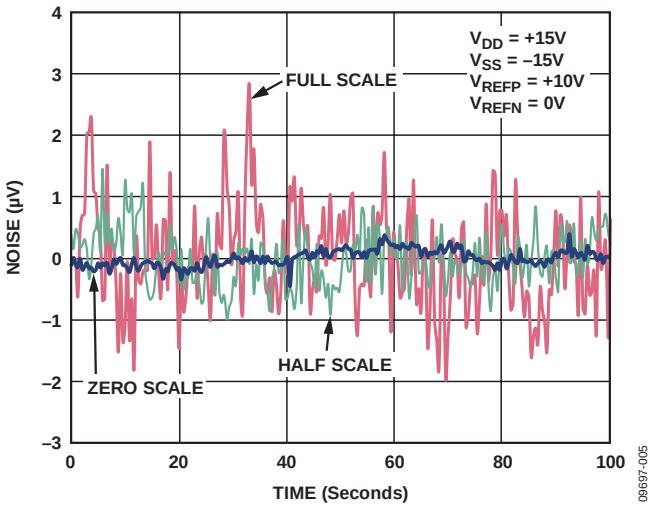


图5. 采用精密基准电压源时，100秒内测得的DAC输出电压噪声：满量程（红色）、中间电平（绿色）和零电平（蓝色）

常见变化

AD5780支持各种不同的输出范围，从0 V至+5 V、最高±10 V以及该范围内的任意值。如果需要对称输出范围，则可以使用增益为2的配置，如图1所示。通过将AD5780内部控制寄存器的RBUF位设为逻辑0，即可选中此模式。如果需要非对称范围，则可以在VREFP和VREFN上施加单独的基准电压源；而输出缓冲器应该如AD5780数据手册中所述配置为提供单位增益。这可以通过将AD5780内部控制寄存器的RBUF位设为逻辑1来实现。

AD8676是运算放大器AD8675的双通道版本，需要时可以用于该电路。

电路评估与测试

设备要求

- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- EVAL-AD5780SDZ评估板和软件
- Agilent 3458A万用表
- PC（Windows 32位或64位）
- National Instruments GPIB转USB-B接口电缆
- SMB电缆(1)

软件安装

AD5780评估套件包括一张光盘，其中含有自安装软件。该软件兼容Windows XP (SP2)和Vista（32位和64位）。如果安装文件未自动运行，您可以运行光盘中的**setup.exe**文件。

请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

1. 光盘文件安装完毕后，按照UG-256的“电源”部分所述为AD5780评估板接通电源。将SDP板（通过连接器A或连接器B）连接到AD5780评估板，然后利用附送的电缆连接到PC的USB端口。
2. 检测到评估系统后，确认出现的所有对话框。这样就完成了安装。

功能框图

测试配置的功能框图如图7所示。

电源配置

必须提供下列电源：

- AD5780的数字电源：在连接器J1的VCC与DGND之间提供3.3 V电源。或者将链路1放在位置A，以便从USB端口通过SDP板为数字电路供电（默认设置）。
- AD5780的正模拟电源：在J2的VDD与AGND输入之间提供+12 V至+16.5 V的电源。
- AD5780的负模拟电源：在J2的VSS与AGND输入之间提供−12 V至−16.5 V的电源。

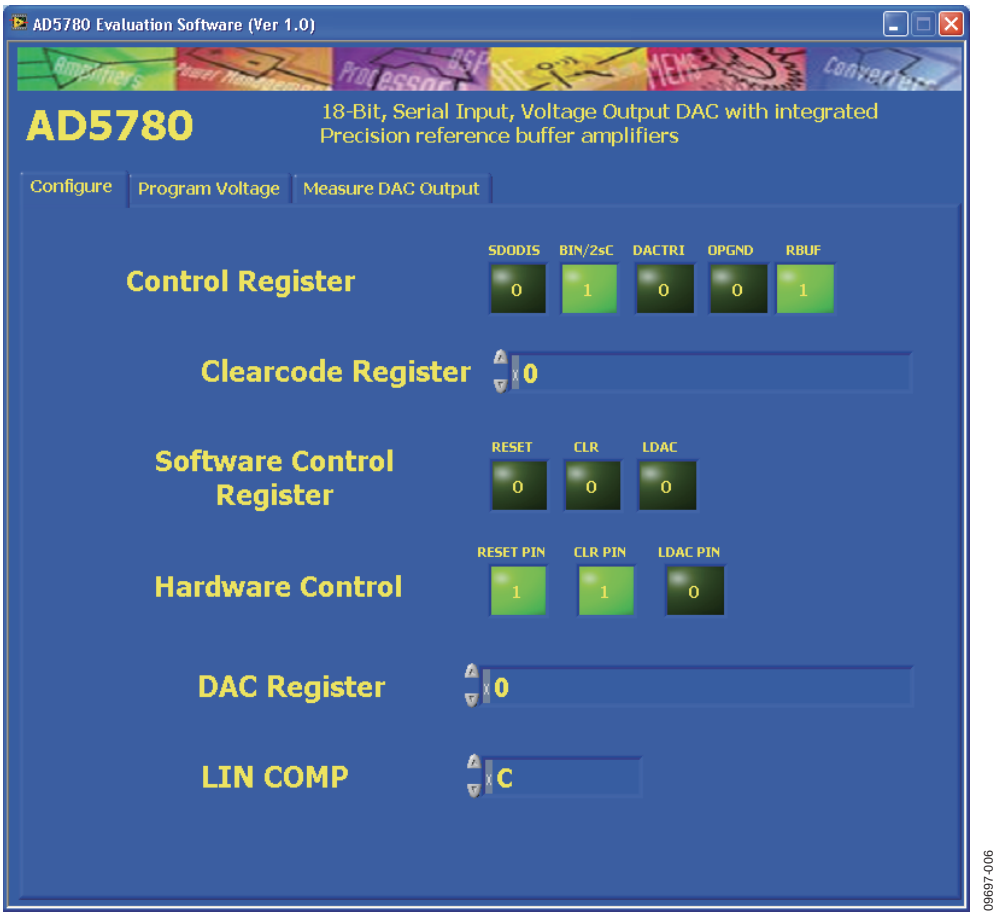


图6. 评估软件主窗口

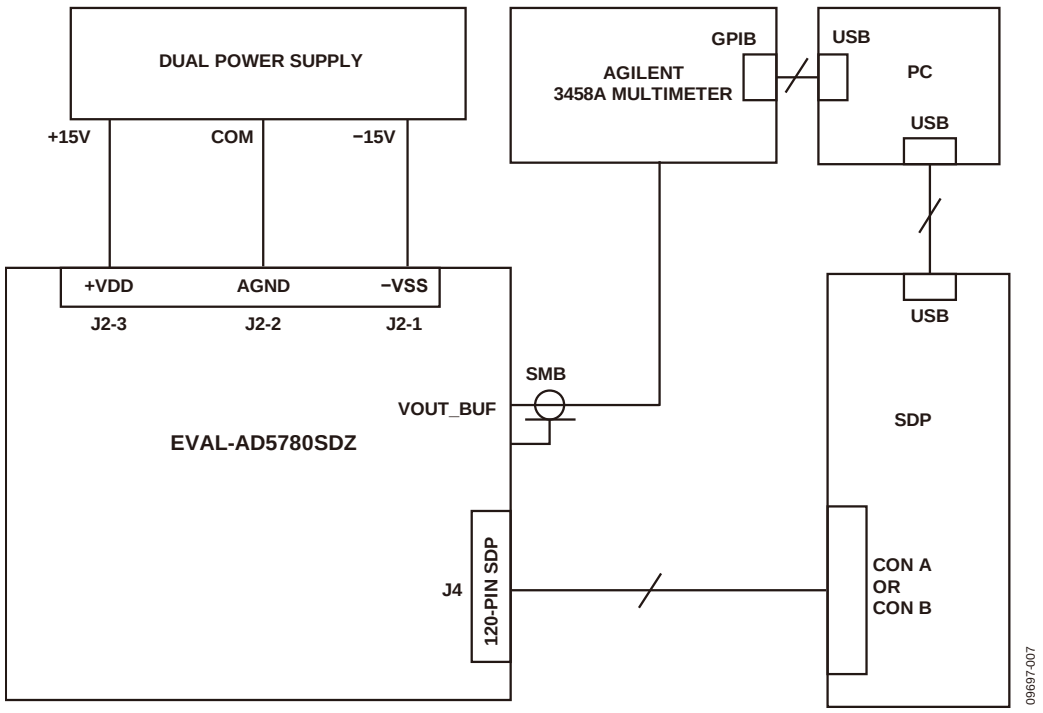


图7. 测试设置功能框图

链路配置设置

默认链路选项如表1所示。该板的默认配置为：VREFP = +10 V，VREFN = −10 V，输出范围为±10 V。

表1. 默认链路选项

链路号	选项
LK1	A
LK2	B
LK3	A
LK4	移除
LK5	移除
LK6	移除
LK7	移除
LK8	C
LK9	插入
LK11	插入

要将该板配置为图1所示电路，必须对表1中的默认链路配置进行如下改动：

1. 将LK3放在位置B
2. 插入LK4
3. 将LK8放在位置B

这些改动将输出缓冲放大器的增益配置为2，并将AD5780的VREFN引脚连接到地。

欲了解有关EVAL-AD5780SDZ测试设置的更多信息，请参阅用户指南UG-256。

测试

VOUT_BUF SMB连接器连接到Agilent 3458A万用表。线性度测量利用AD5780 GUI上的“测量DAC输出”选项卡进行。

噪声漂移测量也是在VOUT_BUF SMB连接器上进行。输出电压利用AD5780 GUI上的“设置电压”选项卡进行。峰峰值噪声漂移的测量时间为100秒。

欲详细了解参数定义以及如何利用测量数据计算INL、DNL和噪声，请参阅AD5780数据手册的“术语”部分和以下文献：*数据转换手册*第5章“测试数据转换器”，ADI公司

更多资料

CN-0200设计支持包：
www.analog.com/CN0200-DesignSupport

Egan, Maurice。“用20位DAC实现1 ppm精度精密电压源”。《模拟对话》，第44卷，2010年4月。

Kester, Walt。2005年。*数据转换手册*。ADI公司。第3章、第5章和第7章。

教程MT-015：*DAC基本架构II：二进制DAC*。ADI公司。

教程MT-016：*DAC基本架构III：分段DAC*。ADI公司。

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

教程MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

基准电压源向导设计工具。

电路笔记CN-0177：*18位、线性、低噪声、精密双极性±10 V直流电压源*。

电路笔记CN-0191：*20位、线性、低噪声、精密双极性±10 V直流电压源*。

EVAL-AD5780SDZ用户指南UG-256。

数据手册和评估板

AD5780数据手册和评估板

AD8676数据手册

ADR445数据手册

修订历史

2011 年 11 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" 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.

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09697sc-0-12/11(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0201。

连接/参考器件	
ADAS3022	16位、1 MSPS、8通道数据采集系统
ADP1613	650 kHz/1.3 MHz升压PWM DC-DC开关转换器
AD8031/AD8032	2.7 V、每放大器800 µA、80 MHz、单路/双路、轨到轨I/O放大器
ADR434	超低噪声XFET基准电压源，具有吸电流和源电流能力

完整的5 V单电源8通道多路复用数据采集系统，集成用于工业级信号的PGIA

评估和设计支持

电路评估板

ADAS电路评估板(EVAL-ADAS3022EDZ)

ADP1613不包括评估板

转换器评估与开发板(EVAL-CED1Z)

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所示电路是一款高度集成、16位、1 MSPS、多路复用、8通道、灵活的数字采集系统(DAS)，集成可编程增益仪表放大器(PGIA)，能够处理全范围工业级信号。

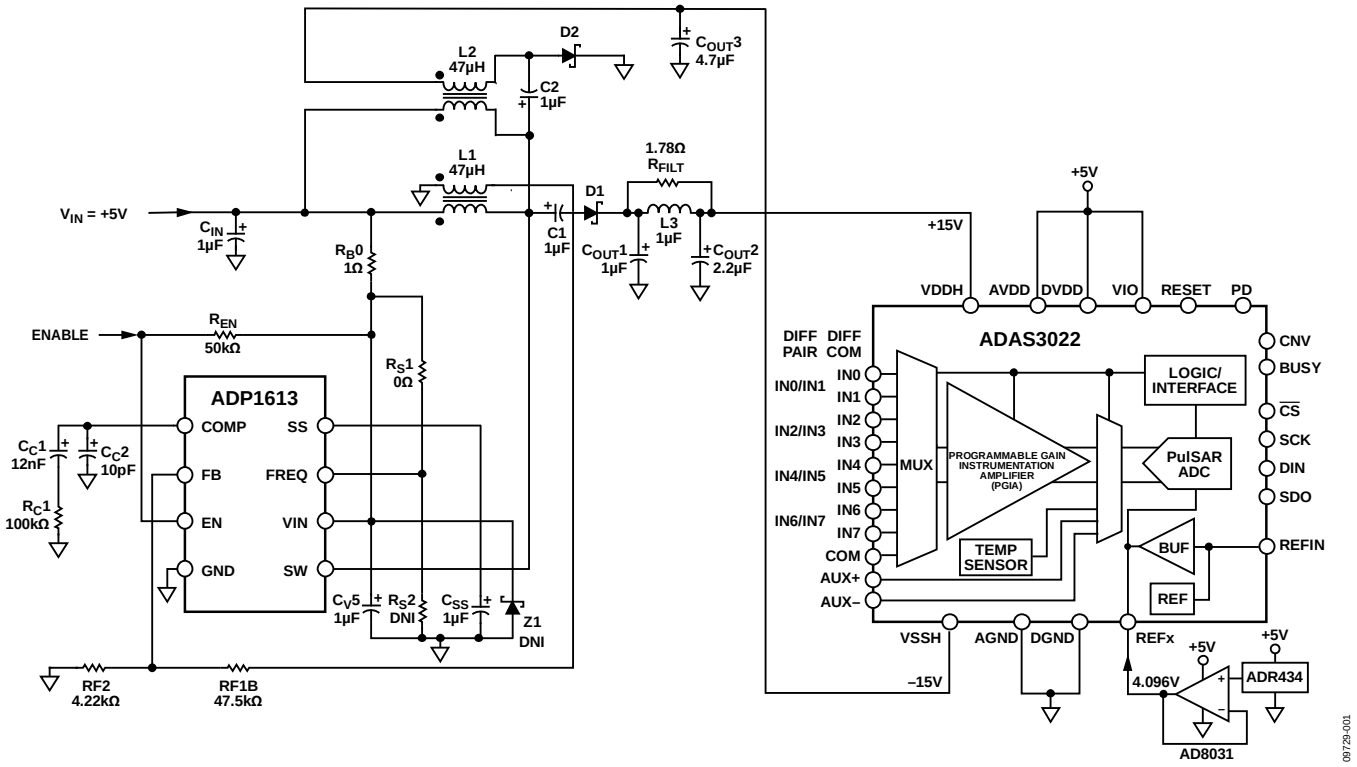


图1. 完整的5 V、单电源、8通道数据采集解决方案，集成PGIA
(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

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/cn
Fax: 781.461.3113
©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

+5 V单电源为电路供电，高效率、低纹波升压转换器产生±15 V电压，可处理最高±24.576 V的差分输入信号(±2 LSB INL最大值、±0.5 LSB DNL典型值)。对于高精度应用，这款紧凑、经济型电路可以提供高精度和低噪声性能。

基于逐次逼近寄存器(SAR)的数据采集系统集成真正的高阻抗差分输入缓冲器，因此无需额外缓冲；缓冲通常用来减少基于容性数模转换器(DAC)的SAR模数转换器(ADC)产生的反冲。此外，该电路具有高共模抑制，无需外部仪表放大器；而通常存在共模信号的应用中需要用到仪表放大器。

ADAS3022是完整的16位、1 MSPS数据采集系统，集成如下器件：一个8通道、低泄漏多路复用器；一个具有高共模抑制的可编程增益仪表放大器级；一个精密低漂移4.096 V基准电压源；一个基准电压缓冲器；以及一个高性能、无延迟、16位SAR ADC。ADAS3022在每个转换周期结束时降低功耗，因此，工作电流和功耗与吞吐率成线性比例关系，使其成为低采样速率电池供电应用的理想选择。

ADAS3022集成8路输入和1路COM输入；该COM输入可配置为8路单端通道、参考同一基准电压的8路通道、4路差分通道或单端和差分通道的不同组合。

图1所示电路中，经AD8031运算放大器缓冲后的ADR434低噪声基准电压源提供参考电压。AD8031能够以快速恢复的方式驱动动态负载，因此非常适合用作参考缓冲器。

ADP1613是一款DC-DC升压转换器，集成电源开关，在不影响ADAS3022性能的情况下为ADAS3022提供片内输入多路复用器以及可编程增益仪表放大器所需的±15 V高压电源。

本电路采用ADAS3022、ADP1613、ADR434和AD8031精密器件的组合，可同时提供高精度和低噪声性能。

电路描述

ADAS3022是首款单芯片上完整的DAS，能够以最高1 MSPS的速率进行转换，并接受最高±24.576 V的差分模拟输入信号。该器件需使用高压双极性电源：±15 V(VDDH和VSSH)、+5 V(AVDD和DVDD)、以及+1.8 V至+5 V (VIO)。

ADAS3022无需使用标准解决方案中的信号缓冲、电平转换、放大、噪声抑制以及其它模拟信号调理，简化了精密16位、1 MSPS DAS的设计难题。此外，ADAS3022以更高的数据速率、更小的尺寸、更快的产品上市时间、以及更低的价格，提供更佳的时序和噪声性能。

ADAS3022内部集成PGIA，可设置增益为0.16、0.2、0.4、0.8、1.6、3.2和6.4，并且它能够处理的全差分输入范围分别为±24.576 V、±20.48 V、±10.24 V、±5.12 V、±2.56 V、±1.28 V和±0.64 V。输入范围参考内部4.096 V基准电压源。

相对于COM引脚上的输入电压，它可测量伪差分、单极性和双极性的输入范围。

图1所示电路中，外部基准电压由4.096 V ADR434提供。ADR434具有高精度、低功耗(工作电流为800 μA)、低噪声、±0.12%最大初始误差以及出色的温度稳定性等特性。无论在具有高带宽要求的电池供电系统中，还是元件密度高且要求较低功耗的高速系统中，用于缓冲外部基准电压的AD8032低功耗运算放大器都是理想的选择。

ADAS3022数字接口由异步输入(CNV、RESET、PD和BUSY)以及兼容SPI、FPGA或DSP用于回读转换结果回读和编程配置寄存器的4线式串行接口($\overline{CS}$、SDO、SCK和DIN)组成。

ADP1613电源设计

ADP1613用作单端初级原边电感(SEPIC) Cuk转换器，是ADAS3022在外部5 V电源供电情况下，为其提供20 mA时所需±15 V高压电源以及最大值为3 mV的低输出纹波的理想选择。本应用中，ADP1613的开关频率为1.3 MHz。如图2所示，ADP1613尽可能地减少了外部元器件数目，并且具有超过86%的效率，因此它能满足ADAS3022的规格要求。在该拓扑中使用低成本ADP1613的最大优势，是它在两条供电轨之间的出色跟踪能力，同时使用现成的耦合电感可产生±15 V电压。除此之外，还能通过ADIsimPower设计工具轻松快捷地完成设计制造。

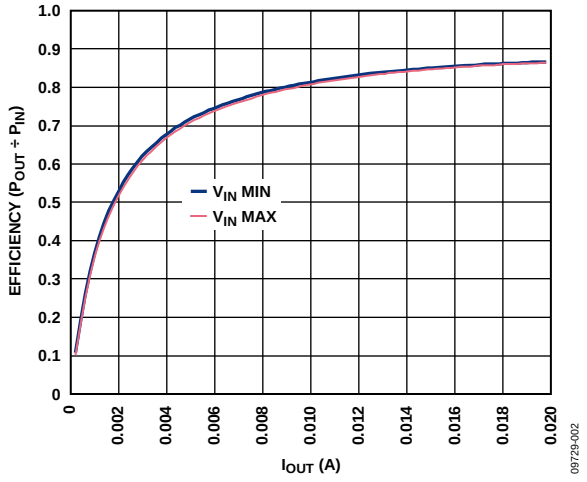


图2. ADP1613的效率(P_{OUT}/P_{IN})与输出电流(I_{OUT})的关系

图1所示电路采用ADP161x SEPIC-Cuk可下载设计工具中的下列输入进行设计，ADIsimPower提供该设计工具：

- V_{INMIN} = 4.75 V
- V_{INMAX} = 4.99 V
- V_{OUT} = 15 V
- V_{RIPPLE} = 0.02%
- 环境温度 = 55°C
- 针对最低成本优化
- 外部滤波器选项

注意，ADP1613的SW引脚上的最大电压为：$V_{IN} + V_{OUT} = 20$ V，低于其21 V的绝对最大电压规格。针对大于等于5 V的输入电压，设计工具建议使用由SW引脚驱动的串接N沟道MOSFET。由于具有1 V的安全裕量，对于最高5.25 V输入、15 V输出而言，该电路无需使用FET。因此，设计工具中所用输入电压设为4.99 V。可在CN0201-设计支持包中找到ADP1613 SEPIC-Cuk转换器的设计结果。

动态性能

图3表示存在交流输入信号的情况下，ADAS3022的典型动态性能。试验中，分别采用线性±15 V台式电源和ADP1613评估板的±15 V输出驱动ADAS3022，未观察到有交流或直流性能的差异。

常见变化

其它外部4.096 V基准电压源可与ADAS3022一同使用，如ADR444和ADR4540。若需要，可使用AD8031或AD8605运算放大器作为外部基准电压缓冲器。

应参考ADAS3022数据手册，获取有关内部或外部基准电压源和基准电压缓冲器的更多使用建议。

ADP1612/ ADP1613/ ADP1614是升压、DC-DC转换器，集成电源开关，可提供最高20 V的输出电压。当ADP1613用作SEPIC-Cuk转换器时，其电流输出能力最高为60 mA。ADP1614提供最高120 mA的电源。利用ADIsimPower设计工具可进行完全定制设计，并通过单个控制器的低成本SEPIC-Cuk拓扑快速创建稳定的双路供电轨。

电路评估与测试

该电路使用ADI的ADP1613评估板、EVAL-ADAS3022EDZ评估板以及EVAL-CED1Z转换器评估和开发板测试，连接方式见图4。7 V壁式电源连接至EVAL-CED1Z，外部5 V电源连接至ADP1613评估板。

EVAL-ADAS3022EDZ是一款用户评估板，用以简化16位ADAS3022完整DAS的独立性能和功能测试。ADP1613评估板通过ADP161x SEPIC-Cuk可下载设计工具搭建，ADIsimPower提供该工具。

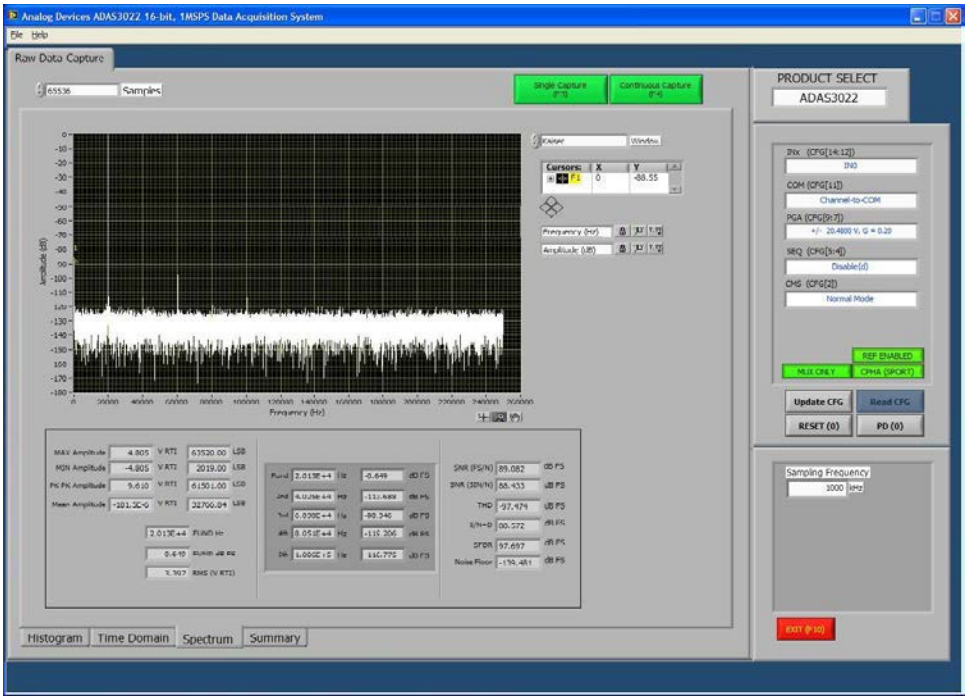


图3. 使用EVAL-CED1Z评估板和软件的ADAS3022 FFT输出

EVAL-CED1Z板是一种使用ADI精密转换器的系统评估、演示和开发平台。它提供转换器和PC之间所需的通信，编程或控制器件，通过USB线收发数据。

设备要求

需要使用以下设备：

- ADAS电路评估板和软件(EVAL-ADAS3022EDZ)
- 转换器评估和开发板(EVAL-CED1Z)
- ADIsimPower提供的ADP1613评估板
- Audio Precision SYS-2702
- PC/笔记本电脑(Windows 32位或64位)
- USB接口电缆(1)和AP电缆(1)
- 7V/2 A直流壁式电源，为EVAL-CED1Z板供电
- 5 V/100 mA直流电源，为ADP1613评估板供电。

功能框图

测试设置的功能框图如图4所示。ADP1613评估板由外部+5 V电源驱动，产生ADAS3022板所需的±15 V电压。7 V直流壁式电源为EVAL-CED1Z板供电。EVAL-CED1Z板上的稳压器提供ADAS3022板所需的5 V电源。运行交流测试时，采用Audio Precision SYS-2702产生低失真输入信号。

软件安装

ADAS3022评估套件包括一张光盘，其中含有自安装软件。该软件兼容Windows XP和Windows 7(32位和64位)。如果安装文件未自动运行，可以运行光盘中的**setup.exe**文件。

若要安装软件，执行下列步骤：

1. 请先安装评估软件，再将ADAS3022评估板和EVAL-CED1Z板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。
2. 光盘文件安装完毕后，将EVAL-CED1Z板连接到ADAS3022评估板，然后按照UG-484的“电源”部分所述为EVAL-CED1Z接通电源，然后利用附送的电缆连接到PC的USB端口。
3. 检测到评估系统后，确认出现的所有对话框。这样就完成了安装。

如前文图3中所示，该软件可采集并处理FFT数据。请参考UG-484用户指南，获取有关EVAL-ADAS3022EDZ测试设置的完整信息。

欲详细了解参数定义以及如何计算信噪比(SNR)、总谐波失真(THD)和信纳比(SINAD)，请参阅ADAS3022数据手册中的“术语”部分和以下文献：数据转换手册第5章“测试数据转换器”，ADI公司。

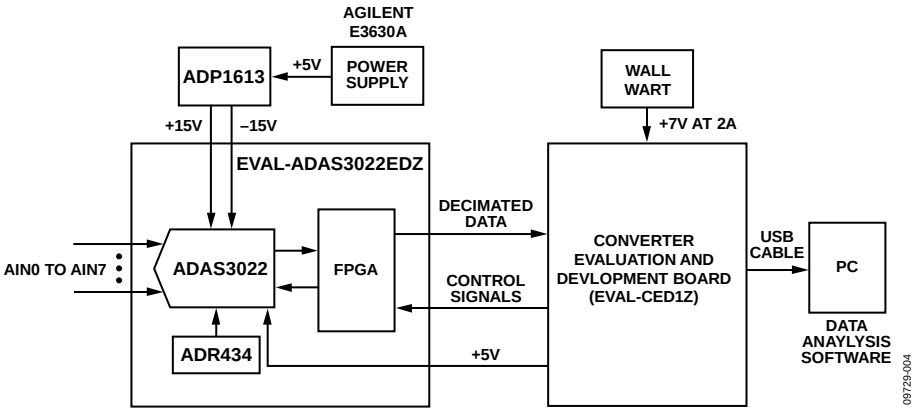


图4. 测试设置功能框图

更多资料

CN-0201设计支持包：
www.analog.com/CN0201-DesignSupport

Kester, Walt。2005年。*数据转换手册*。ADI公司。第3章、第5章和第7章。

教程MT-021：*ADC架构II：逐次逼近型ADC*。ADI公司。

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

教程MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

基准电压源向导设计工具。

电路笔记CN-0105：*16位10 MSPS AD7626 ADC的单端转差分高速驱动电路*。

电路笔记CN-0237：*超低功耗、18位差分PulSAR ADC驱动器*。

EVAL-ADAS3022EDZ用户指南UG-484。

应用笔记AN-1106：*通过单输入电压创建分离供电轨的改进拓扑*。

数据手册和评估板

ADAS3022数据手册和评估板

ADP1613数据手册

ADR434数据手册

AD8031数据手册

修订历史

2012年10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.

©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09729sc-0-10/12(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0202。

连接/参考器件	
AD5750	工业电流/电压输出驱动器，输出范围可编程
AD5662	16位nanoDAC® 数模转换器，SOT-23封装
ADR444	超低噪声4.096V LDO XFET基准电压源，具有吸电流和源电流

灵活、高精度、低漂移的PLC/DCS模拟输出模块SigmaDSP音频处理器的接口

评估和设计支持

电路评估板

CN-0202电路评估板 (EVAL-CN0202-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所示电路是一种全功能、灵活、可编程的模拟输出解决方案，它满足可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS)应用的大部分要求。AD5662低功耗（0.75 mW @ 5 V）、轨到轨输出、16位nanoDAC® 转换器和AD5750工业电流/电压输出驱动器的基准电压要求和输入输出电压完全匹配。ADR444低漂移（B级最大为3 ppm/°C）、高初始精度（B级最大为0.04%）和低噪声（1.8 μV p-p典型值，0.1 Hz至10 Hz）特性，能够同时为AD5750和AD5662提供基准电压，确保超低噪声、高精度、低温漂。这种电路具有16位分辨率、无失码、0.05%线性度和低于0.2%的总输出误差，提供所有典型电压和电流输出范围。

该电路还具有一些支持工业应用的重要特性，如片内输出故障检测和保护（短路、欠压输出、开路电流输出和过温）、用于防止分组错误(PEC)的CRC校验以及灵活的上电选项等，非常适合构建鲁棒的工业控制系统。在大批量生产中，它无需外部精密电阻或校准程序就能保持一致的性能，因而是PLC或DCS模块的理想选择。

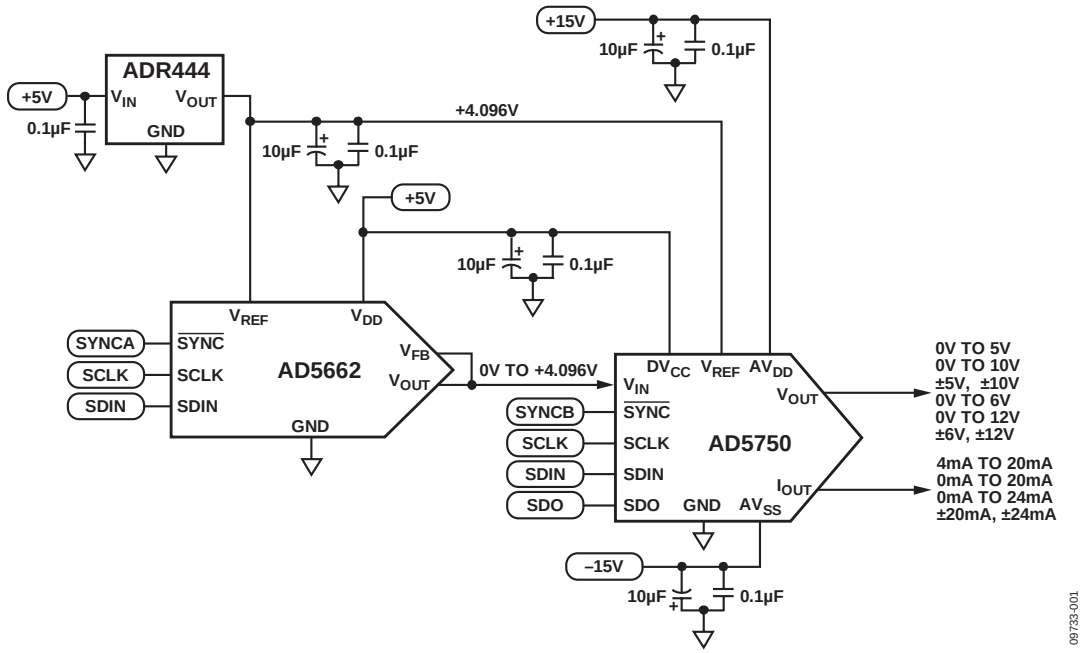


图1. 针对单通道的基本模拟输出电路（原理示意图，未显示所有连接和保护电路）

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/cn**
Fax: 781.461.3113 **©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

AD5750/AD5750-1均为单通道、低成本、精密电压/电流输出驱动器，设计用于满足工业过程控制应用的需要。电压输出范围可以针对PLC和DCS应用的标准输出范围进行编程：0 V至5 V、0 V至10 V、–5 V至+5 V和–10 V至+10 V。针对标准范围，还提供了20%的超范围设置，由此便可得到下列选项：0 V至6 V、0 V至12 V、-6 V至+6 V和-12 V至+12 V。

电流输出通过单独的引脚提供，可以编程为以下范围：4 mA至20 mA、0 mA至20 mA、–20 mA至+20 mA、0 mA至24 mA和–24 mA至+24 mA。单极性范围具有2%的超范围设置。由于AD5750/AD5750-1的电流输出既可以是源电流，也可以是吸电流，因此它能与广泛的传感器或执行器接口。如果需要，可以将电压和电流输出引脚连在一起，以便将终端系统配置为单通道输出。

AD5662是一款单通道、低成本、低功耗、轨到轨电压缓冲输出的nanoDAC®器件，它能在0.75 V至V_{DD}电源的宽基准电压范围内保证±1 LSB DNL，所以AD5750和AD5662可以由ADR444提供的4.096 V公共基准电压源来供电。整个系统将受益于ADR444的超低噪声和低温度系数。ADR44x系列基准电压源具有源电流和吸电流能力，非常适合驱动转换器的基准电压或电源输入。AD5662还内置一个上电复位电路，确保DAC输出上电至中间量程或零电平并保持该电平，直到执行一次有效的写操作为止。

用于PLC和DCS应用的器件所需的ESD保护和过压保护一般远高于形式上的推荐要求。AD5750的各引脚内置ESD保护二极管，可以防止3 kV瞬变（人体模型）损害器件。但是，工业控制环境可能会使I/O电路遭受高得多的瞬变。EVAL-CN0202-SDPZ电路板内置外部30 V/600 W瞬变电压抑制器(TVS)、50 mA/30 V自恢复保险丝(PolySwitch)和肖特基功率二极管，以提供更高电压的ESD保护、50 mA过流保护和30 V过压保护。图1的原理示意图未显示可选的外部保护电路，但可以在CN0202设计支持包的详细原理图（EVAL-CN0202-SDPZ-SCH pdf文件）中找到：www.analog.com/CN0202-DesignSupport。

本电路必须构建在具有较大面积接地层的多层电路板上。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术（请参考*指南MT-031—“实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团”*以及*指南MT-101—“去耦技术”*）。

测量

对于PLC、DCS和其它过程控制系统，积分非线性(INL)、微分非线性(DNL)和输出误差是最重要的性能指标。AD5750具有非常灵活并且可配置的输出范围，可以满足应用需要。该电路的INL、DNL和输出误差测量结果分别如图2、图3和图4所示。数据是在25°C时在0V至5V电压输出模式下获得的。所有其它范围的测试结果如表1所列。

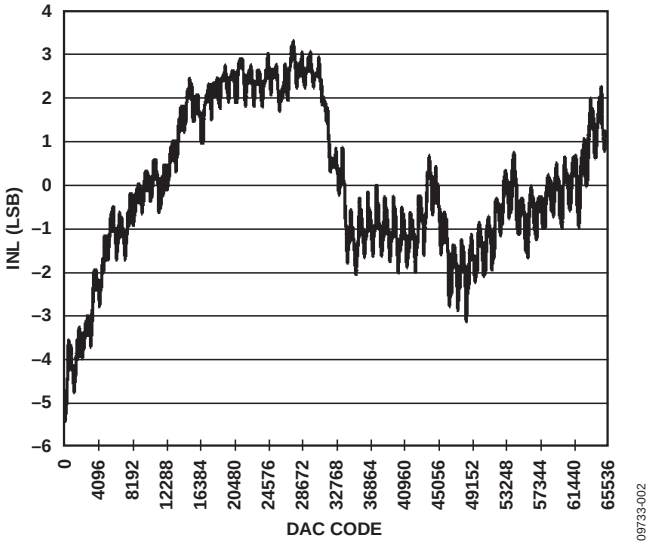


图2. 0 V至5 V输出范围的INL

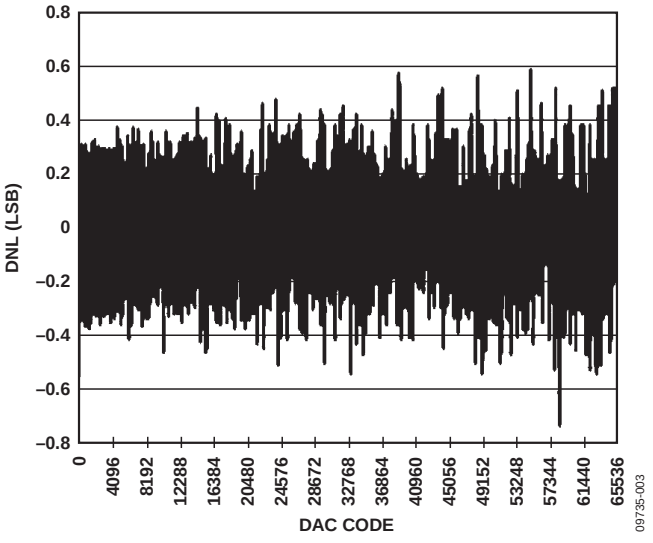


图3. 0 V至5 V输出范围的DNL

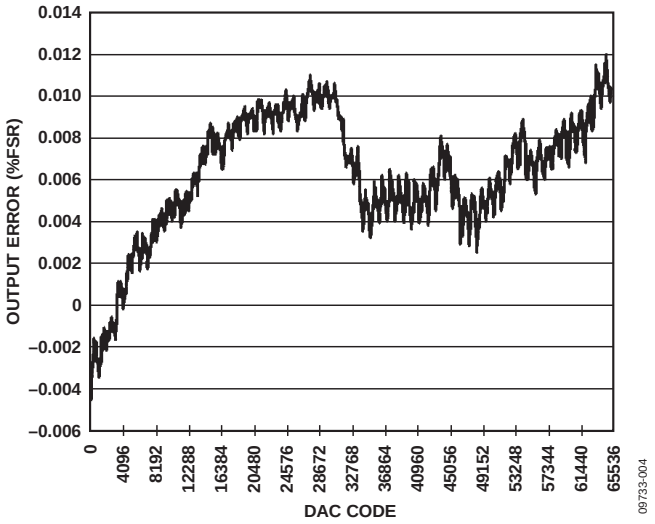


图4. 0 V至5 V输出范围的输出误差

表1所示测试结果是在25°C下使用EVAL-CN0202-SDPZ电路板和Agilent E3631A直流电源，利用Agilent 34401A数字万用表测得的。

注意，客户需要调整输出范围0 mA至20.4 mA和0 mA至24.5 mA，以便与0 mA至20 mA和0 mA至24 mA范围完全匹配。0 mA至+20.4 mA范围下的1.54% FSR输出误差包括增益误差，增益误差由客户通过校准消除。

表1. 所有输出范围的测试结果

范围	电流检测电阻	INL (LSB)	线性度 (%FSR)	输出误差 (%FSR)
0 V 至 5 V	无关	3.5	0.009	0.02
0 V 至 10 V	无关	3.3	0.007	0.03
–5 V 至 +5 V	无关	3.6	0.008	0.13
–10 V 至 +10 V	无关	3.5	0.008	0.12
0 V 至 6 V	无关	3.6	0.008	0.03
0 V 至 12 V	无关	5.3	0.008	0.09
–6 V 至 +6 V	无关	3.3	0.008	0.15
–12 V 至 +12 V	无关	3.3	0.008	0.15
–2.5 V 至 +2.5 V	无关	3.6	0.008	0.13
4 mA 至 20 mA	内部	4.1	0.008	0.10
4 mA 至 20 mA	外部	4.1	0.010	0.08
0 mA 至 20 mA	内部	3.7	0.008	0.05
0 mA 至 20 mA	外部	4.9	0.011	0.03
0 mA 至 24 mA	内部	3.7	0.009	0.04
0 mA 至 24 mA	外部	4.7	0.012	0.03
–20 mA 至 +20 mA	内部	4.1	0.006	0.14
–20 mA 至 +20 mA	外部	3.7	0.006	0.12
–24 mA 至 +24 mA	内部	3.9	0.006	0.14
–24 mA 至 +24 mA	外部	3.3	0.005	0.12
3.92 mA 至 +20.4 mA	内部	4.4	0.010	0.20
0 mA 至 +20.4 mA	内部	3.6	0.008	1.54
0 mA 至 +24.5 mA	内部	5.1	0.008	1.43

常见变化

该电路介绍一种采用驱动器和DAC产品的实施方案，可以从一系列产品中选择各种器件来实现所需性能。12位至16位分辨率是PLC和DCS应用的一般要求。对于不需要16位分辨率的应用，AD5620（12位）和AD5640（14位）适用，但需提供内置基准电压源。

AD5623R（12位）、AD5643R（14位）和AD5663R（16位）是双通道nanoDAC器件，AD5624R（12位）、AD5644R（14位）和AD5664R（16位）是四通道nanoDAC器件，均适合多通道应用。

AD5750-1驱动器与AD5750引脚兼容，采用1.25 V基准电压源时，可以接受0 V至2.5 V的输入范围。AD5751是单极性模拟输出驱动器，使用50 V AVDD电源时，可以提供40 V输出。

电路评估与测试

设备要求（可以用同等设备代替）

- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- CN-0202电路评估板(EVAL-CN0202-SDPZ)
- CN-0202评估软件
- 用于控制外部测试测量设备的软件（CD中未包括）
- Agilent 34401A 6.5数字万用表
- Agilent E3631A 0 V-6 V/5 A、±25 V/1 A三路输出直流电源
- 带USB接口的PC（Windows® 2000或Windows XP）
- National Instruments GPIB转USB-B接口和电缆

开始使用

将CN0202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5所示为测试设置的功能框图。Pdf文件“EVAL-CN0202-SDPZ-SCH”包含CN-0202评估板的详细电路原理图。此文件位于CN-0202设计支持包中：
www.analog.com/CN0202-DesignSupport。

设置

EVAL-CN0202-SDPZ电路板上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z (SDP)评估板上标有“CON A”或“CON B”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。将直流输出电源成功设置为+15 V、−15 V和+6 V输出后，关闭电源。

在断电情况下，将一个+15 V电源连接到标有“+15 V”的CN1引脚，将一个−15 V电源连接到标有“−15 V”的CN1引脚，将“GND”连接到标有“GND”的CN1引脚。以同样方式将+6 V连接到CN2。接通电源，然后将SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。注意：接通EVAL-CN0202-SDPZ的直流电源之前，请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

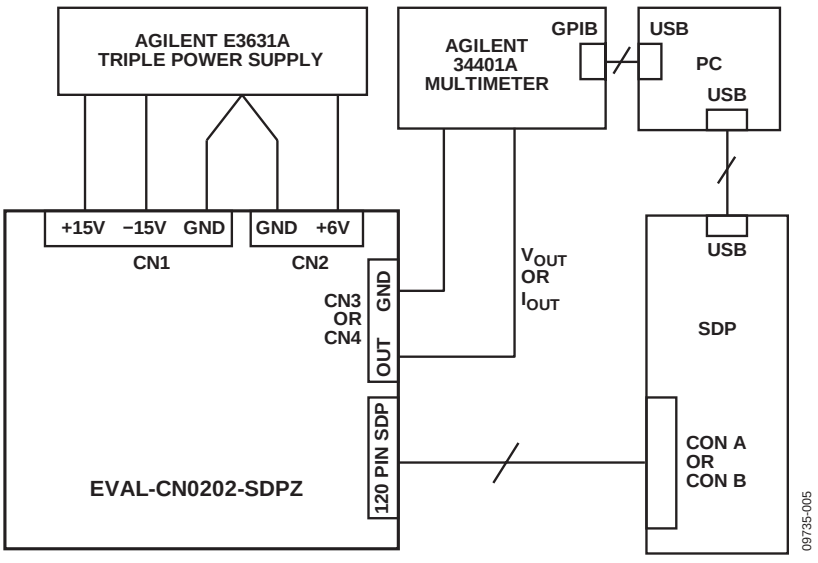


图5. 测试设置功能框图

表2. EVAL-CN0202-SDPZ跳线设置（粗体内容为默认设置）

跳线	描述	设置	功能
JP1	设置AD5750的地址	引脚1与引脚2短接	AD5750的地址：b'001
		引脚3与引脚2短接	**AD5750的地址：b'000**
JP2	设置外部补偿电容	短路	增加1 nF补偿电容
		开路	**移除1 nF补偿电容**
JP3	VSENSE+设置	**短路**	**VSENSE+与VOUT内部短接**
		开路	VSENSE+与VOUT无内部连接
JP4	VSENSE– 设置	**短路**	**VSENSE–与GND内部短接**
		开路	VSENSE–与GND无内部连接
JP5	VOUT和IOUT引脚短路	短路	VOUT和IOUT短路连在一起
		开路	**VOUT和IOUT无内部连接**
JP6	设置AD5750的CLEAR模式	短路	清零至中间电平
		开路	**清零至零电平**

测试

设置好测试设备后，将标有“VOUT”的CN3引脚或标有“IOUT”的CN4引脚连接到Agilent 34401A的输入端。根据输入信号类型（电流或电压），确保Agilent 34401A前面板上的电缆连接正确。测试INL、DNL和总误差需要相当长的时间，因为AD5660-1 16位DAC的所有电平都需要由34401A设置并测量。

利用CD中提供的软件，可以通过PC设置DAC代码。需要使用自动测试程序来逐步测试各个代码并分析数据。CD中未提供此程序，必须由客户根据测试设置所用特定万用表的要求予以实现。

在图5所示的测试配置中，利用National Instruments GPIB转USB-B接口和电缆，34401A万用表的GPIB输出与PC上的另一个USB端口接口。这样，万用表读数就能与载入PC中Excel电子表格的各代码对应。然后根据业界标准定义分析这些数据，以获得INL、DNL和总误差。

欲详细了解参数定义以及如何从测量数据计算INL、DNL和总误差，请参阅AD5662数据手册的“术语”部分和以下文献：*数据转换手册*第5章“测试数据转换器”，ADI公司。

更多资料

CN-0202设计支持包：
http://www.analog.com/CN0202-DesignSupport

Slattery, Colm、Derrick Hartmann和Li Ke。PLC评估板简化工业过程控制系统的设计。*模拟对话*，2009年4月。

电路笔记CN-0063：*使用AD5662 DAC、ADuM1401数字隔离器和外部放大器构建16位完全隔离式电压输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0064：*使用AD5662 DAC、ADuM1401数字隔离器和外部放大器构建16位完全隔离式4 mA至20 mA输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0065：*利用单芯片电压和电流输出DAC AD5422及数字隔离器ADuM1401构建16位全隔离输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0066：*基于24位Σ-Δ型ADC AD7793和数字隔离器ADuM5401的全隔离输入模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0067：*基于24位Σ-Δ型ADC AD7793、数字隔离器ADuM5401和高性能仪表放大器的全隔离输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0097：*利用AD5412提供12位电压和4mA至20mA输出简化解决方案*。ADI公司。

电路笔记CN-0209：*适合过程控制应用的完全可编程通用模拟前端*。ADI公司。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

Kester, Walt。*传感器信号调理实用设计技巧*。ADI公司，1999年。ISBN 0-916550-20-6

Kester, Walt。*数据转换手册*，第5章。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0202电路评估板(EVAL-CN0202-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD5750数据手册

AD5750评估板

AD5662数据手册

AD5662评估板

修订历史

2011 年 9 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" 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.

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09733sc-0-11/11(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0203。

连接/参考器件	
AD5750-1	工业电流/电压输出驱动器，输出范围可编程
AD5660-1	16 位 nanoDAC®数模转换器，内置 5 ppm/°C 片内基准电压源，采用 SOT-23 封装

仅需使用两个模拟器件的灵活的PLC/DCS模拟输出模块

评估和设计支持

电路评估板

CN-0203 **电路评估板**(EVAL-CN0203-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 所示电路是一种仅使用两个模拟器件的全功能、灵活、可编程的模拟输出解决方案，它满足可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS)应用的大部分要求。AD5660-1 是一款低功耗(2.8 mW @ 5 V) 、轨到轨输出、16 位nanoDAC®，AD5750-1 是一款工业用电流/电压输出驱动器，二者相结合可提供所有典型的电流和电压输出范围、16 位分辨率且无失码、0.05% 的线性度以及小于 0.1% 的输出误差。该电路还具有一些支持工业应用的重要特性，如片内输出故障检测、用于防止分组错误(PEC)的CRC校验以及灵活的上电选项等，非常适合构建鲁棒的工业控制系统。在大批量生产中，它无需外部精密电阻或校准程序就能保持一致的性能，因而是PLC或DCS模块的理想选择。

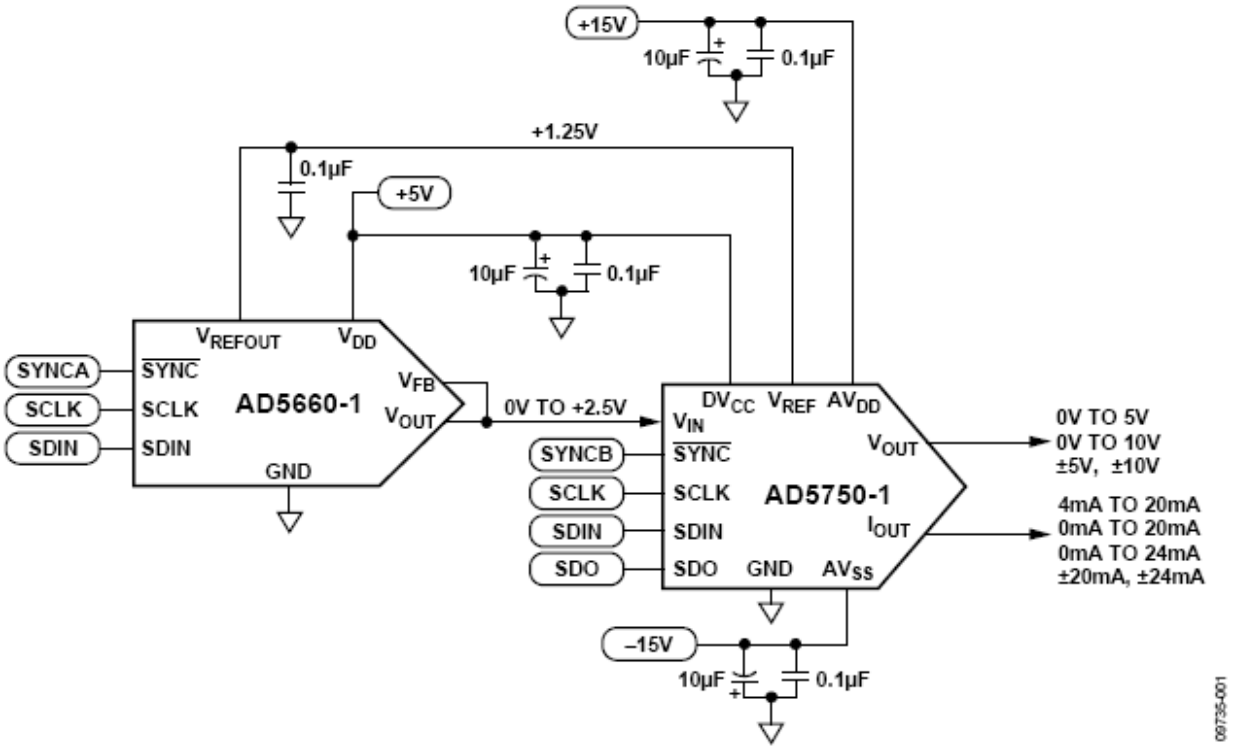


图 1. 针对单通道的基本模拟输出电路（原理示意图，未显示所有连接和保护电路）

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/cn
Fax: 781.461.3113 ©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

AD5750/AD5750-1是单通道、低成本、精密电压/电流输出驱动器，设计用于满足工业过程控制应用的需要。电压输出范围可以针对PLC和DCS应用的标准输出范围进行编程：0 V至5 V、0 V至10 V、−5 V至+5 V和−10 V至+10 V。针对标准范围，还提供了20%的超范围设置，由此便可得到下列选项：0 V至6 V、0 V至12 V、−6 V至+6 V和−12 V至+12 V。

电流输出通过单独的引脚提供，可以编程为以下范围：4 mA至20 mA、0 mA至20 mA、−20 mA至+20 mA、0 mA至24 mA和−24 mA至+24 mA。单极性范围具有2%的超范围设置。由于AD5750/AD5750-1的电流输出既可以是源电流，也可以是吸电流，因此它能与广泛的传感器或执行器接口。如果需要，可以将电压和电流输出引脚连在一起，以便将终端系统配置为单通道输出。

AD5660-1是一款单通道、低成本、低功耗、轨到轨电压缓冲输出nanoDAC，片内集成一个1.25V、5 ppm/°C基准电压源。AD5660-1内置一个上电复位电路，确保DAC输出上电至0 V并保持该电平，直到执行一次有效的写操作为止。

AD5660-1 DAC与AD5750-1 驱动器之间的接口简单，无需外部器件。AD5660-1的输出电压范围是0 V到2.5 V，与AD5750-1的输入范围匹配。此外，AD5660-1的基准输出电压为1.25 V，与AD5750-1的基准输入要求完全匹配。

用于PLC和DCS应用的器件所需的ESD保护和过压保护一般远高于形式上的推荐要求。AD5750-1的各引脚内置ESD保护二极管，可以防止3 kV瞬变损害器件（人体模型）。但是，工业控制环境可能会使I/O电路遭受高得多的瞬变。EVAL-CN0203-SDPZ电路板内置外部30 V/600 W瞬变电压抑制器(TVS)、50 mA/30 V自恢复保险丝(PolySwitch)和肖特基功率二极管，以提供更高电压的ESD保护、50 mA过流保护和30 V过压保护。图1的原理示意图未显示可选的外部保护电路，但可以在CN0203 设计支持包的详细原理图（EVAL-CN0203-SDPZ-SCH pdf文件）中找到：www.analog.com/zh/CN0203-DesignSupport。

本电路必须构建在具有较大面积接地层的多层电路板上。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术（请参考*教程MT-031——“实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团”*以及教程MT-101——*“去耦技术”*）。

测量

对于PLC、DCS和其它过程控制系统，积分非线性(INL)、微分非线性(DNL)和输出误差是最重要的性能指标。AD5750-1具有非常灵活并且可配置的输出范围，可以满足应用需要。该电路的INL、DNL和输出误差测量结果分别如图2、图3和图4所示。测量条件为25°C、电压输出模式并且使用内部电流检测电阻。AD5750-1范围设置为0 V至5 V。所有其它范围的测试结果如表1所列。

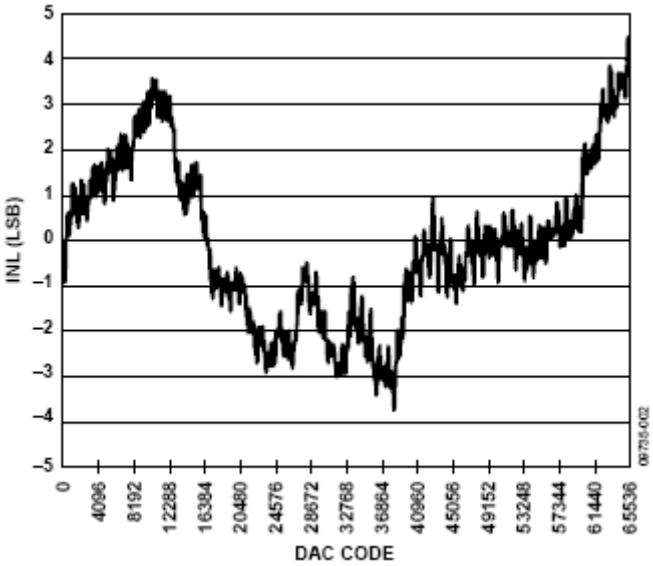


图2. 0 V至5 V输出范围的INL

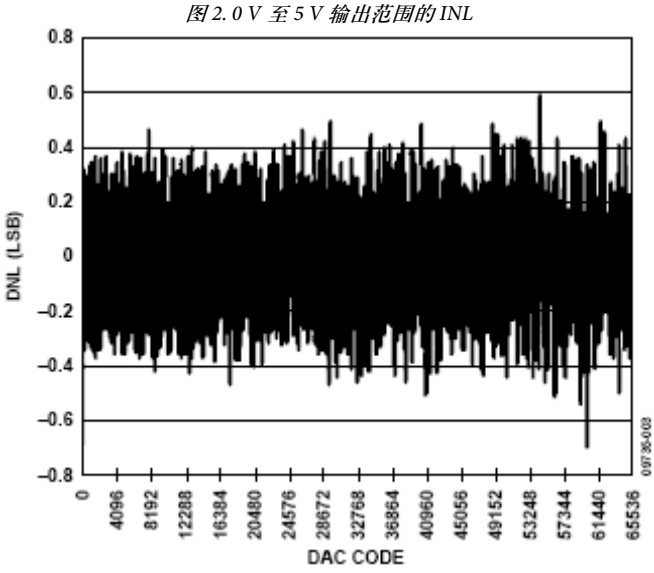


图3. 0 V至5 V输出范围的DNL

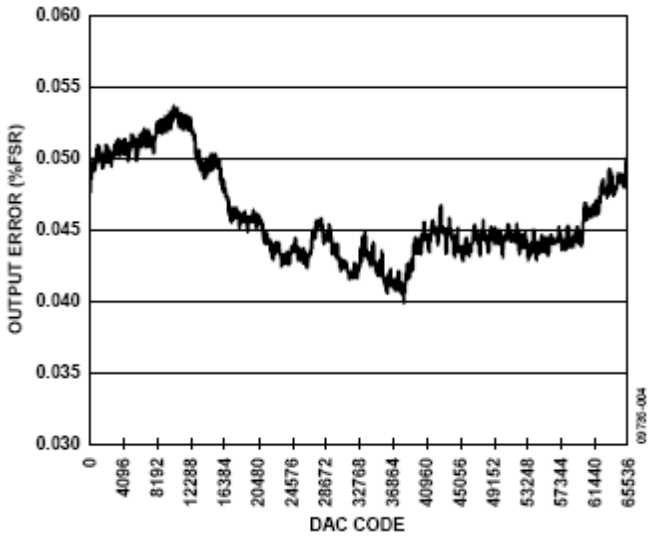


图 4. 0 V 至 5 V 输出范围的输出误差

表 1 所示测试结果是在 25°C 下使用 EVAL-CN0203-SDPZ 电路板，采用 Agilent E3631A 直流电源供电，利用 Agilent 34401A 数字万用表测得的。

注意，客户需要调整输出范围 0 mA 至 20.4 mA 和 0 mA 至 24.5 mA，以便与 0 mA 至 20 mA 和 0 mA 至 24 mA 范围完全匹配。0 mA 至+24.5 mA 范围下的 0.24% FSR 输出误差包括增益误差，增益误差由客户通过校准消除。

表 1. 所有输出范围的测试结果

范围	**电流检测电阻**	DNL (LSB)	INL (LSB)	**线性度**(%FSR)	**输出误差**(%FSR)
0 V 至5 V	无关	0.8	7.1	0.011	0.05
0 V 至10 V	无关	0.8	6.1	0.009	0.05
−5 V 至+5 V	无关	0.5	6.2	0.009	0.04
−10 V 至+10 V	无关	0.5	6.8	0.010	0.04
0 V 至6 V	无关	0.8	6.9	0.010	0.05
0 V 至12 V	无关	0.8	5.3	0.008	0.09
−6 V 至+6 V	无关	0.5	8.0	0.012	0.06
−12 V 至+12 V	无关	0.5	7.4	0.011	0.08
−2.5 V 至+2.5 V	无关	0.5	5.6	0.008	0.05
4 mA至20 mA	内部	2.4	6.3	0.010	0.07
4 mA至20 mA	外部	2.5	6.2	0.010	0.07
0 mA至20 mA	内部	1.9	5.8	0.009	0.06
0 mA至20 mA	外部	1.9	5.7	0.009	0.06
0 mA至24 mA	内部	1.6	5.4	0.008	0.07
0 mA至24 mA	外部	1.9	5.5	0.008	0.06
−20 mA至+20 mA	内部	1.2	8.8	0.013	0.05
−20 mA至+20 mA	外部	1.2	9.3	0.014	0.05
−24 mA至+24 mA	内部	1.0	9.2	0.014	0.05
−24 mA至+24 mA	外部	1.0	10.1	0.015	0.04
3.92 mA至+20.4 mA	内部	2.4	6.7	0.010	0.03
0 mA至+20.4 mA	内部	2.0	7.6	0.012	0.05
0 mA至+24.5 mA	内部	1.7	3.4	0.007	0.24

常见变化

AD5620（12 位）和AD5640（14 位）与AD5660引脚兼容，适合不需要 16 位分辨率的应用。

AD5623R（12 位）、AD5643R（14 位）和AD5663R（16 位）是双通道nanoDAC器件，AD5624R（12 位）、AD5644R（14 位）和AD5664R（16 位）是四通道nanoDAC器件，均适合多通道应用。

AD5750驱动器与AD5750-1引脚兼容，采用 4.096 V 基准电压源时，可以接受 0 V至 4.096 V 的输入范围。AD5751是单极性模拟输出驱动器，使用 50 V AVDD 电源时，可以提供 40 V输出。

电路评估与测试

设备要求（可以用同等设备代替）

- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- CN-0203 电路评估板(EVAL-CN0203-SDPZ)
- CN-0203 评估软件
- 用于控制外部测试测量设备的软件（CD 中未包括）
- Agilent 34401A 6.5 数字万用表
- Agilent E3631A 0 V-6 V/5 A 、±25 V/1 A 三路输出直流电源
- 带USB 接口的PC（Windows® 2000 或Windows XP）
- National Instruments GPIB转 USB-B 接口和电缆

开始使用

将 CN-0203 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 5 所示为测试设置的功能框图。Pdf文件“EVAL-CN0203-SDPZ-SCH”包含CN-0203 评估板的详细电路原理图。此文件位于CN-0203 设计支持包中：www.analog.com/cn/CN0203-DesignSupport。

设置

EVAL-CN0203-SDPZ 电路板上的 120 引脚连接器连接到 EVAL-SDP-CB1Z (SDP) 评估板上标有“CON A”或“CON B”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。将直流输出电源成功设置为+15 V、−15V 和+6 V 输出后，关闭电源。

在断电情况下，将一个+15 V 电源连接到标有“+15 V”的 CN1 引脚，将一个−15 V 电源连接到标有“−15 V”的 CN1 引脚，将“GND”连接到标有“GND”的 CN1 引脚。以同样方式将 +6 V 连接到 CN2。接通电源，然后将 SDP 板附带的 USB 电缆连接到 PC 上的 USB 端口。注意：接通 EVAL-CN0203-SDPZ 的直流电源之前，请勿将该 USB 电缆连接到 SDP 板上的微型 USB 连接器。

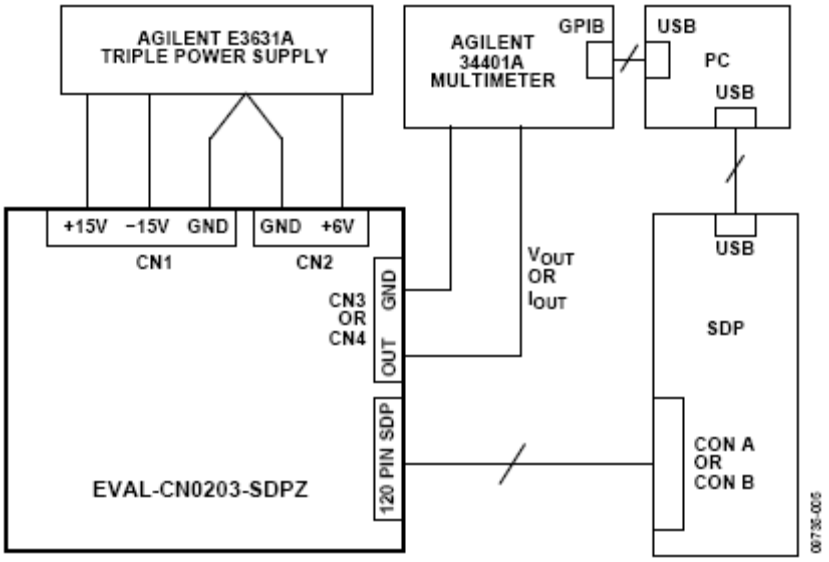


图 5. 测试设置功能框图

表 2. EVAL-CN0203-SDPZ 的跳线设置（以粗体字显示的值为默认设置）

跳线	描述	设置	功能
JP1	设置AD5750-1的地址	引脚1与引脚2短接	AD5750的地址：b'001
		引脚3与引脚2短接	AD5750的地址：b'000
JP2	设置外部补偿电容	短路	增加1 nF补偿电容
		开路	移除1 nF 补偿电容
JP3	VSENSE+ 设置	短路	VSENSE+ 与 VOUT 内部短接
		开路	VSENSE+ 与 VOUT 无内部连接
JP4	VSENSE − 设置	短路	VSENSE− 与 GND 内部短接
		开路	VSENSE− 与 GND 无内部连接
JP5	VOUT和IOUT引脚短路	短路	VOUT 和 IOUT 短路连在一起
		开路	VOUT 和 IOUT 无内部连接
JP6	设置AD5750-1的CLEAR 模式	短路	清零至中间电平
		开路	清零至零电平

测试

设置好测试设备后，将标有“VOUT”的CN3引脚或标有“IOUT”的CN4 引脚连接到Agilent 34401A 的输入端。根据输入信号类型（电流或电压），确保 Agilent 34401A 前面板上的电缆连接正确。测试INL、DNL和总误差需要相当长的时间，因为AD5660-1 16 位DAC的所有电平都需要由34401A设置并测量。

利用 CD 中提供的软件，可以通过 PC 设置 DAC 代码。需要使用自动测试程序来逐步测试各个代码并分析数据。CD 中未提供此程序，必须由客户根据测试设置所用特定万用表的要求予以实现。

在图 5 所示的测试配置中，利用 National Instruments GPIB转USB-B 接口和电缆，34401A 万用表的 GPIB 输出与 PC 上的另一个 USB 端口接口。这样，万用表读数就能与载入 PC 中 Excel 电子表格的各代码对应。然后根据业界标准定义分析这些数据，以获得 INL、DNL 和总误差。

欲详细了解参数定义以及如何从测量数据计算INL、DNL和总误差，请参阅AD5662 数据手册的“术语”部分和以下文献：*数据转换手册*第 5 章“测试数据转换器”，ADI公司。

更多资料

CN-0203设计支持包：
www.analog.com/CN0203-DesignSupport

Slattery, Colm、Derrick Hartmann和Li Ke。“PLC评估板简化工业过程控制系统的设计。”*模拟对话*, 2009年4月。

电路笔记CN-0063：*使用AD5662 DAC、ADuM1401数字隔离器和外部放大器构建16位完全隔离式电压输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0064：*使用AD5662 DAC、ADuM1401数字隔离器和外部放大器构建16位完全隔离式4 mA至20 mA输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0065：*利用单芯片电压和电流输出DAC AD5422及数字隔离器ADuM1401构建16位全隔离输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0066：*基于24位Σ-Δ型ADC AD7793和数字隔离器ADuM5401的全隔离输入模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0067：*基于24位Σ-Δ型ADC AD7793、数字隔离器ADuM5401和高性能仪表放大器的全隔离输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0097：*利用AD5412提供12位电压和4mA至20mA输出简化解决方案*。ADI公司。

电路笔记CN-0209：*适合过程控制应用的完全可编程通用模拟前端*。ADI公司。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

Kester, Walt。*传感器信号调理实用设计技巧*。ADI公司，1999年。ISBN 0-916550-20-6

Kester, Walt。*数据转换手册*，第5章。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0203电路评估板(EVAL-CN0203-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD5750-1数据手册

AD5750-1评估板

AD5660-1数据手册

AD5660-1评估板

AD5662数据手册

修订历史

2011 年 9 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" 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.

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09735sc-0-9/11(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0204。

连接/参考器件	
AD5751	高压工业电流/电压输出驱动器，输出范围可编程
AD5662	16位nanoDAC®数模转换器，采用SOT-23封装
ADR444	超低噪声、4.096V LDO XFET基准电压源，具有吸电流和源电流能力
ADuM5401	集成DC/DC转换器的四通道隔离器
ADuM1301	三通道数字隔离器

灵活、高精度、低漂移的PLC/DCS模拟输出模块

电路评估板

电路评估板

CN-0204电路评估板 (EVAL-CN0204-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所示电路是一种全功能、高压（最高44 V）、灵活、可编程的模拟输出解决方案，它满足可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS)应用的大部分要求。

AD5662是一款低功耗(0.75 mW @ 5 V)、轨到轨输出、16位nanoDAC®器件，AD5751是一款工业电流/电压输出驱动器，二者的输入和输出电压范围以及基准电压要求完全一致。

ADR444是一款低漂移（B级最大值为3 ppm/°C）、高初始精度（B级最大值为0.04%）、低噪声（典型值1.8 μV p-p，0.1 Hz至10 Hz）基准电压源，为AD5751和AD5662提供基准电压，保证电路具有超低噪声、高精度、低温漂特性。该电路提供所有典型的电流和电压输出范围、16位分辨率且无失码、0.05%的线性度以及小于0.2%的总输出误差。

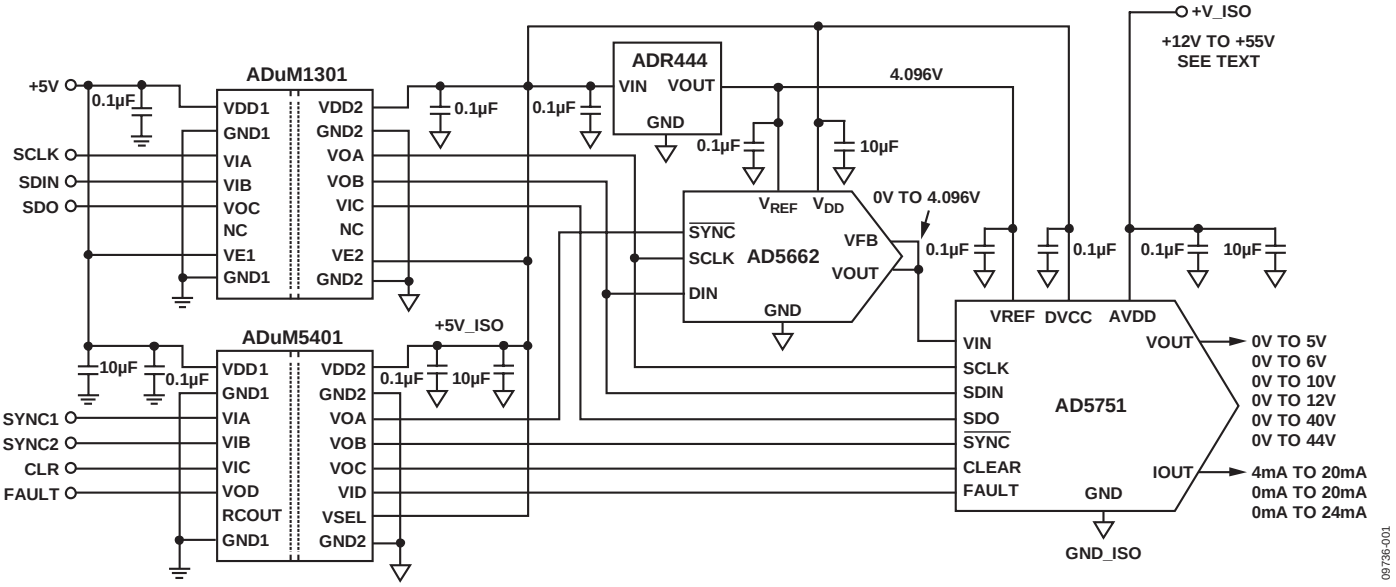


图1. 针对单通道的基本模拟输出电路（原理示意图，未显示所有连接和保护电路）

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/cn**
Fax: 781.461.3113 **©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

ADuM1301和ADuM5401在微控制器与模拟信号链之间提供所需的全部信号隔离。ADuM5401还提供5 V隔离电源。

该电路还具有一些支持工业应用的重要特性，如片内输出故障检测、用于防止分组错误(PEC)的CRC校验以及灵活的上电选项等，非常适合构建鲁棒的工业控制系统。在大批量生产中，它无需外部精密电阻或校准程序就能保持一致的性能，因而是PLC或DCS模块的理想选择。

电路描述

AD5751是一款单通道、低成本、精密电压/电流输出驱动器，设计用于满足工业过程控制应用的需要。AD5751的工作电压范围是10.8 V至55 V，电压输出可以高达44 V。电压输出范围可以编程为PLC和DCS应用的标准输出范围及20%超范围设置：0 V至5 V、0 V至10 V、0 V至6 V、0 V至12 V。此外还提供两种高压输出范围：0 V至40 V和0 V至44 V。

电流输出通过单独的引脚提供，可以编程为以下标准范围：4 mA至20 mA、0 mA至20 mA、0 mA至24 mA。此外还有2%超范围设置，提供3.92 mA至20.4 mA、0 mA至20.4 mA和0 mA至24.5 mA。如果需要，可以将电压和电流输出引脚连在一起，以便将终端系统配置为单通道输出。

AD5662是一款单通道、低成本、低功耗、轨到轨电压缓冲输出*nano*DAC器件。在0.75 V至V_{DD}电源电压的宽基准电压范围内，AD5662保证±1 LSB的DNL。在图1所示电路中，AD5751和AD5662采用ADR444提供的4.096 V公共基准源工作。整个系统都能受益于ADR444的超低噪声和低温漂特性。ADR44x系列基准源可以流出和流入电流，因此非常适合驱动基准电压或电源输入。AD5662还内置一个上电复位电路，确保DAC输出上电至中间电平或0 V并保持该电平，直到执行一次有效的写操作为止。

ADuM1301是一款三通道数字隔离器。ADuM5401是一款四通道数字隔离器，集成*iso*Power®隔离式DC/DC转换器。它们均基于*i*Coupler®技术，用来在信号链与系统微控制器之间实现隔离，隔离额定值为2.5 kV rms。ADuM5401为副边的所有电路提供5 V隔离电源。

数字电源与模拟电源应分离，通过铁氧体磁珠连接。各电源引脚通过并联的10 µF电容和0.1 nF陶瓷电容进行去耦。更多信息请参见CN0204设计支持包中的原理图。

用于PLC和DCS应用的器件所需的ESD保护和过压保护一般远高于形式上的推荐要求。AD5751的各引脚内置ESD保护二极管，可以防止瞬变损害器件。但是，工业控制环境可能会使I/O电路遭受高得多的瞬变。EVAL-CN0204-SDPZ电路板内置外部64 V/1500 W瞬变电压抑制器(TVS)、50 mA/30 V自恢复保险丝(PolySwitch)和肖特基功率二极管，以提供更高电压的ESD保护、50 mA过流保护和64 V过压保护。图1的原理示意图未显示可选的外部保护电路，但可以在CN0204设计支持包的详细原理图（EVAL-CN0204-SDPZ-SCH pdf文件）中找到：
www.analog.com/CN0204-DesignSupport

本电路必须构建在具有较大面积接地层的多层电路板上。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术（请参考*指南MT-031—“实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团”*以及*指南MT-101—“去耦技术”*）。

测量

对于PLC、DCS和其它过程控制系统，积分非线性(INL)、微分非线性(DNL)和输出误差是最重要的性能指标。AD5751具有非常灵活并且可配置的输出范围，可以满足应用需要。该电路的INL、DNL和输出误差测量结果分别如图2、图3和图4所示。测量条件为25°C、电压输出模式并且使用内部电流检测电阻。AD5751范围设置为0 V至5 V。所有其它范围的测试结果如表1所列。

表1所示测试结果是在25°C下使用EVAL-CN0204-SDPZ电路板和Agilent E3631A直流电源，利用Agilent 34401A数字万用表测得的。

注意，客户需要调整输出范围0 mA至20.4 mA和0 mA至24.5 mA，以便与0 mA至20 mA和0 mA至24 mA范围完全匹配。0 mA至20.4 mA范围下的1.70% FSR输出误差包括增益误差，增益误差可以由客户通过校准消除。

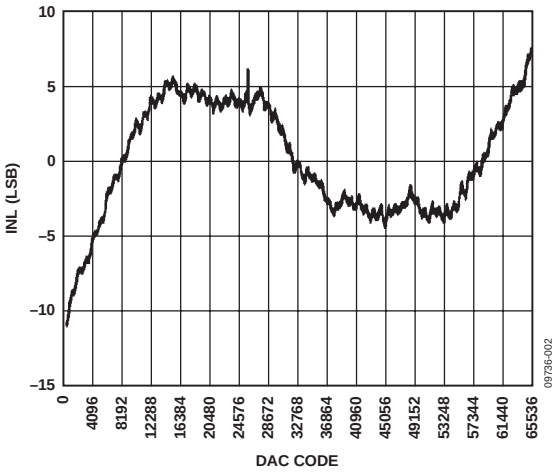


图2. 0 V至5 V输出范围的INL

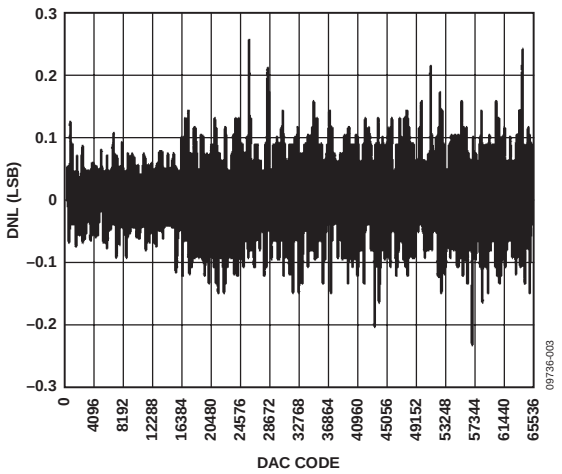


图3. 0 V至5 V输出范围的DNL

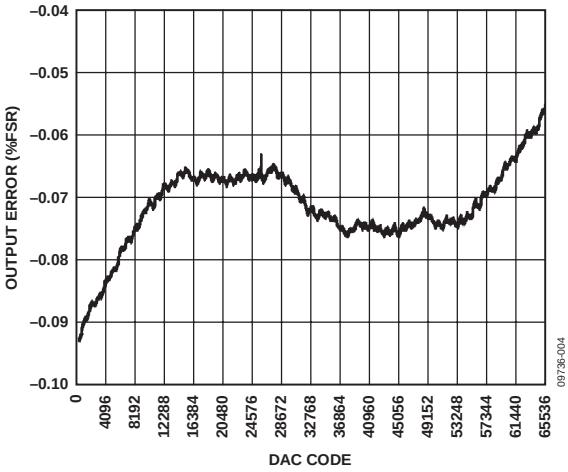


图4. 0 V至5 V输出范围的输出误差

表1. 所有输入范围的测试结果

范围	电流检测电阻	INL (LSB)	线性度 (%FSR)	输出误差 (%FSR)
0 V 至 5 V	无关	10.8	0.017	0.09
0 V 至 10 V	无关	9.9	0.015	0.08
0 V 至 6 V	无关	10.5	0.016	0.09
0 V 至 12 V	无关	9.2	0.014	0.08
0 V 至 40 V	无关	10.1	0.015	0.06
0 V 至 44 V	无关	9.5	0.015	0.20
4 mA 至 20 mA	内部	8.5	0.016	0.04
4 mA 至 20 mA	外部	8.4	0.013	0.04
0 mA 至 20 mA	内部	9.8	0.015	0.05
0 mA 至 20 mA	外部	8.9	0.014	0.05
0 mA 至 24 mA	内部	8.4	0.013	0.05
0 mA 至 24 mA	外部	12.0	0.018	0.05
3.92 mA 至 20.4 mA	内部	11.8	0.053	0.80
0 mA 至 20.4 mA	内部	9.4	0.014	1.70
0 mA 至 24.5 mA	内部	12.4	0.019	1.50

常见变化

本电路显示了一系列驱动器和DAC产品的一种实施方案，可以从该系列选择其它器件以实现所需的性能。12位到16位分辨率和0.1%精度是PLC和DCS应用的典型要求。针对不需要16位分辨率的应用，可以使用AD5620（12位）和AD5640（14位），它们还内置基准电压源。

AD5623R（12位）、AD5643R（14位）和AD5663R（16位）是双通道*nano*DAC器件，AD5624R（12位）、AD5644R（14位）和AD5664R（16位）是四通道*nano*DAC器件，均适合多通道应用。

AD5750-1和AD5750均为双极性模拟输出驱动器，可以提供±10 V和±20 mA。

电路评估与测试

设备要求（可以用同等设备代替）

- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- CN-0204电路评估板(EVAL-CN0204-SDPZ)
- CN-0204评估软件
- 用于控制外部测试测量设备的软件（CD中未包括）
- Agilent 34401A 6.5数字万用表
- Agilent E3631A 0 V-6 V/5 A、±25 V/1 A三路输出直流电源
- 带USB接口的PC（Windows® 2000或Windows XP）
- National Instruments GPIB转USB-B接口和电缆

开始使用

将CN0204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5所示为测试设置的功能框图。Pdf文件“EVAL-CN0204-SDPZ-SCH”包含CN0204评估板的详细电路原理图。此文件位于CN-0204设计支持包中：www.analog.com/CN0204-DesignSupport。

设置

EVAL-CN0204-SDPZ电路板上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z (SDP)评估板上标有“CON A”或“CON B”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。将直流输出电源设置为+25 V、−25 V和+6 V输出后，关闭电源。

Agilent E3631A电源具有±25 V/1 A和6 V/5 A输出通道。±25 V/1 A和6 V/5 A彼此隔离。因此，±25 V/1 A可以用于提供电路的+50 V电源。6 V/5 A电源的“−”引脚与±25 V/1 A电源的“COM”引脚之间不得有任何外部连接。

在断电情况下，将一个+25 V电源连接到板上标有“12~50VIN”的CN3引脚，将一个−25 V电源连接到板上标有“GND_ISO”的CN3引脚。±25 V/1 A的“COM”不连接。以同样方式将+6 V连接到CN2。接通电源，然后将SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。注意：接通EVAL-CN0204-SDPZ的直流电源之前，请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

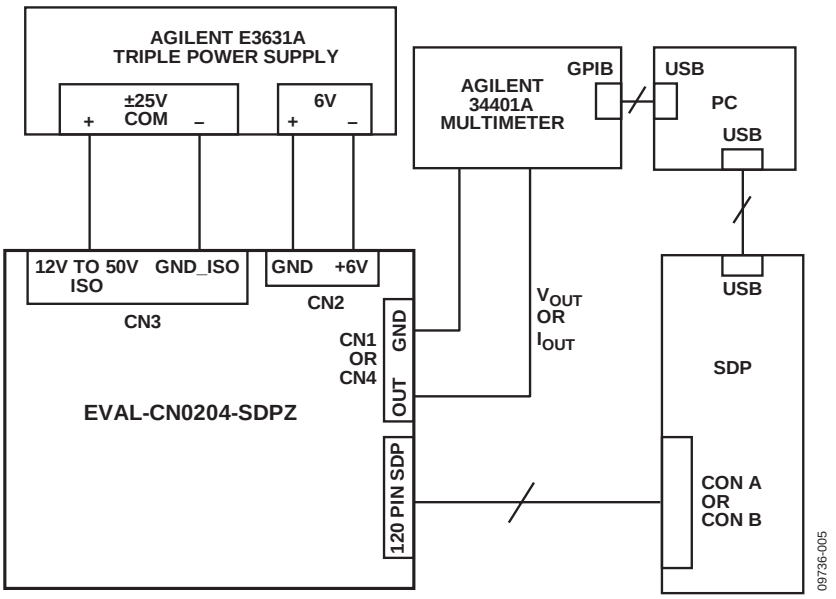


图5. 测试设置功能框图

表2. EVAL-CN0204-SDPZ跳线设置（粗体内容为默认设置）

跳线	描述	设置	功能
JP1	设置AD5751的地址	引脚1与引脚2短接	AD5751的地址：b'001
		引脚3与引脚2短接	**AD5751的地址：b'000**
JP2	设置外部补偿电容	短路	增加1 nF补偿电容
		开路	**移除1 nF补偿电容**
JP3	VSENSE+设置	**短路**	**VSENSE+与VOUT内部短接**
		开路	VSENSE+与VOUT无内部连接
JP4	设置AD5751的CLEAR模式	短路	清零至中间电平
		开路	**清零至中间电平**
JP5	VOUT和IOUT引脚短路	短路	VOUT和IOUT短路连在一起
		开路	**VOUT和IOUT无内部连接**

测试

设置好测试设备后，将标有“VOUT”的CN4引脚或标有“IOUT”的CN1引脚连接到Agilent 34401A的输入端。根据输入信号类型（电流或电压），确保Agilent 34401A前面板上的电缆连接正确。测试INL、DNL和总误差需要相当长的时间，因为AD5662 16位DAC的所有电平都需要由34401A设置并测量。

利用CD中提供的软件，可以通过PC设置DAC代码。需要使用自动测试程序来逐步测试各个代码并分析数据。CD中未提供此程序，必须由客户根据测试设置所用特定万用表的要求予以实现。

在图5所示的测试配置中，利用National Instruments GPIB转USB-B接口和电缆，34401A万用表的GPIB输出与PC上的另一个USB端口接口。这样，万用表读数就能与载入PC中Excel电子表格的各代码对应。然后根据业界标准定义分析这些数据，以获得INL、DNL和总误差。

欲详细了解参数定义以及如何从测量数据计算INL、DNL和总误差，请参阅AD5662数据手册的“术语”部分和以下文献：*数据转换手册*第5章“测试数据转换器”，ADI公司。

更多资料

CN-0204设计支持包：
http://www.analog.com/CN0204-DesignSupport

Slattery, Colm、Derrick Hartmann和Li Ke。PLC评估板简化工业过程控制系统的设计。*模拟对话*，2009年4月。

电路笔记CN-0063：*使用AD5662 DAC、ADuM1401数字隔离器和外部放大器构建16位完全隔离式电压输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0064：*使用AD5662 DAC、ADuM1401数字隔离器和外部放大器构建16位完全隔离式4 mA至20 mA输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0065：*利用单芯片电压和电流输出DAC AD5422及数字隔离器ADuM1401构建16位全隔离输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0066：*基于24位Σ-Δ型ADC AD7793和数字隔离器ADuM5401的全隔离输入模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0067：*基于24位Σ-Δ型ADC AD7793、数字隔离器ADuM5401和高性能仪表放大器的全隔离输出模块*。ADI公司。

电路笔记CN-0097：*利用AD5412提供12位电压和4mA至20mA输出简化解决方案*。ADI公司。

电路笔记CN-0209：*适合过程控制应用的完全可编程通用模拟前端*。ADI公司。

应用笔记AN-0971：*isoPower器件的辐射控制建议*。Mark Cantrell。

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

教程 MT-101：*去耦技术*。ADI 公司。

Kester, Walt。*传感器信号调理实用设计技巧*。ADI公司,1999年。ISBN 0-916550-20-6

Kester, Walt。*数据转换手册*，第5章。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0204电路评估板(EVAL-CN0204-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD5751数据手册

AD5751评估板

AD5662数据手册

AD5662评估板

修订历史

2011 年 10 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" 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.

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09736sc-0-11/11(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0206。

连接/参考器件	
AD7793	3通道、低噪声、低功耗、24位Σ-Δ型ADC，内置片内仪表放大器和基准电压源
ADuC832	精密模拟微控制器

采用AD7793 24位 Sigma-Delta ADC的完整热电偶测量系统

设计和集成文件

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所示电路是一个基于24位Σ-Δ型ADC AD7793的完整热电偶系统。AD7793是一款适合高精度测量应用的低功耗、低噪声、完整模拟前端，内置PGA、基准电压源、时钟和激励电流，从而大大简化了热电偶系统设计。系统峰峰值噪声约为0.02°C。

AD7793的最大功耗仅500 μA，因而适合低功耗应用，例如整个发送器的功耗必须低于4 mA的智能发送器等。AD7793还具有关断选项。在这种模式下，整个ADC及其辅助功能均关断，器件的最大功耗降至1 μA。

AD7793提供一种集成式热电偶解决方案，可以直接与热电偶接口。冷结补偿由一个热敏电阻和一个精密电阻提供。该电路只需要这些外部元件来执行冷结测量，以及一些简单的R-C滤波器来满足电磁兼容性(EMC)要求。

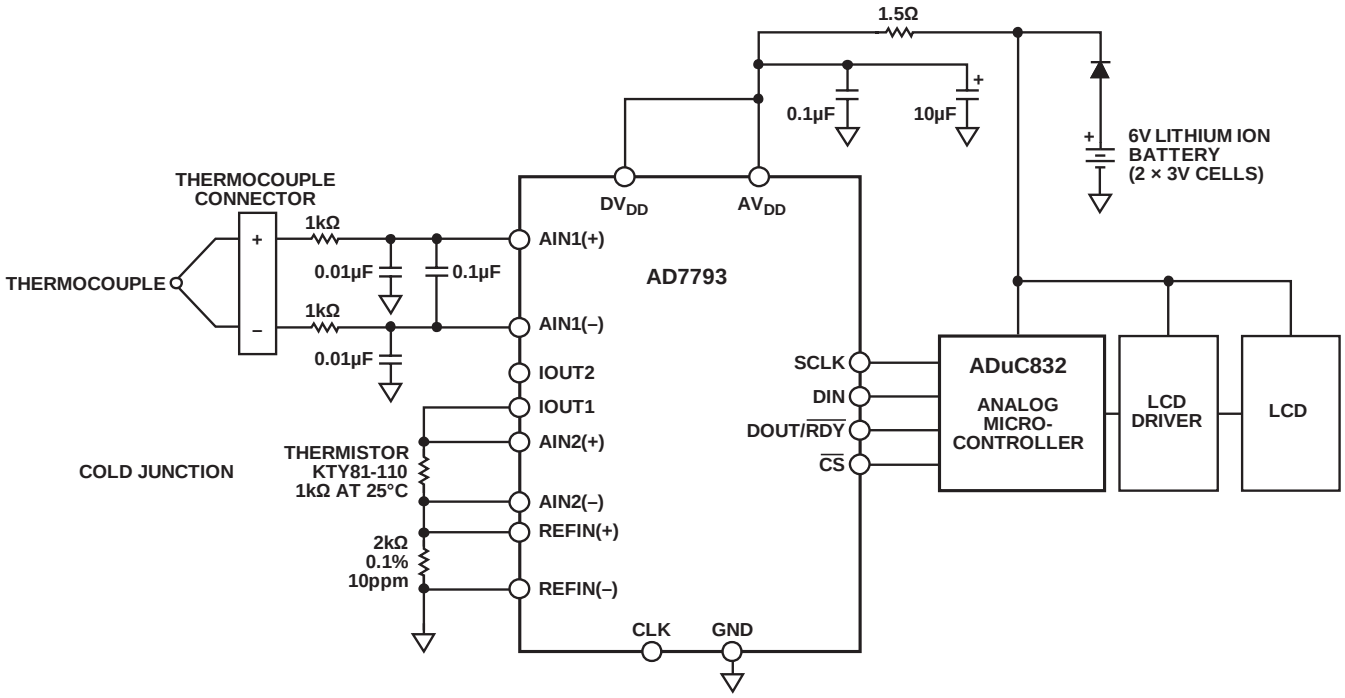


图1. 带冷结补偿的热电偶测量系统（原理示意图：未显示去耦和所有连接）

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/cn**
Fax: 781.461.3113 **©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

本电路使用T型热电偶。该热电偶由铜和康铜构成，温度测量范围为−200°C至+400°C，产生的温度相关电压典型值为40 µV/°C。

热电偶的传递函数不是线性的。在0°C至+60°C的温度范围，其响应非常接近线性。但是，在更宽的温度范围内，必须使用一个线性化程序处理。

测试电路不包括线性化功能，因此，本电路的有用测量范围是0°C到+60°C。在该温度范围内，热电偶产生0 mV至2.4 mV的电压。内部1.17 V基准电压用于热电偶转换。因此，AD7793的增益配置为128。

AD7793采用单电源供电，热电偶产生的信号必须被偏置到地以上，从而处于该ADC支持的范围。对于128倍的增益，模拟输入端的绝对电压必须在GND + 300 mV至AVDD − 1.1 V范围内。

AD7793片上集成的偏置电压发生器偏置热电偶信号，使其共模电压为AVDD/2，确保以相当大的裕量满足输入电压限值要求。

热敏电阻在+25°C时的值为1 kΩ，0°C时的典型值为815 Ω，+30°C时的典型值为1040 Ω。假设0°C至30°C的传递函数为线性，则冷结温度与热敏电阻R之间的关系为：

$$冷结温度 = 30 \times (R - 815)/(1040 - 815)$$

AD7793的1 mA激励电流用于为热敏电阻和2 kΩ精密电阻供电。基准电压利用该2 kΩ外部精密电阻产生。这种架构提供一种比率式配置，激励电流用于为热敏电阻供电，并产生基准电压。因此，激励电流值的偏差不会改变系统的精度。

对热敏电阻通道进行采样时，AD7793以1倍的增益工作。对于+30°C的最大冷结温度，热敏电阻上产生的最大电压为1 mA × 1040 Ω = 1.04 V。

热敏电阻的选择条件是：热敏电阻上产生的最大电压乘以PGA增益的结果小于或等于精密电阻上产生的电压。

对于ADC_CODE的转换值，相应的热敏电阻值R等于：

$$R = (ADC_CODE - 0x800000) \times 2000/2^{23}$$

还需要考虑AD7793 IOUT1引脚的输出顺从电压。使用1 mA激励电流时，输出顺从电压等于AVDD − 1.1 V。从上述计算可知，电路满足这一要求，因为IOUT1的最大电压等于精密电阻上的电压加上热敏电阻上的电压，等于2 V + 1.04 V = 3.04 V。

AD7793以16.7 Hz的输出数据速率工作。每读取10个热电偶转换结果，就读取1个热敏电阻转换结果。相应的温度等于：

$$温度 = 热电偶温度 + 冷结温度$$

AD7793的转换结果由模拟微控制器ADuC832处理，所得的温度显示在LCD显示器上。

该热电偶设计采用6 V（2节3 V锂电池）电池供电。一个二极管将6 V电压降至适合AD7793和模拟微控制器ADuC832的电平。ADuC832电源与AD7793电源之间有一个RC滤波器，用以降低进入AD7793的电源数字噪声。

图2显示了T型热电偶上产生的电压与温度的关系。圆圈内的区域是从0°C到+60°C，该区域内的传递函数接近线性。

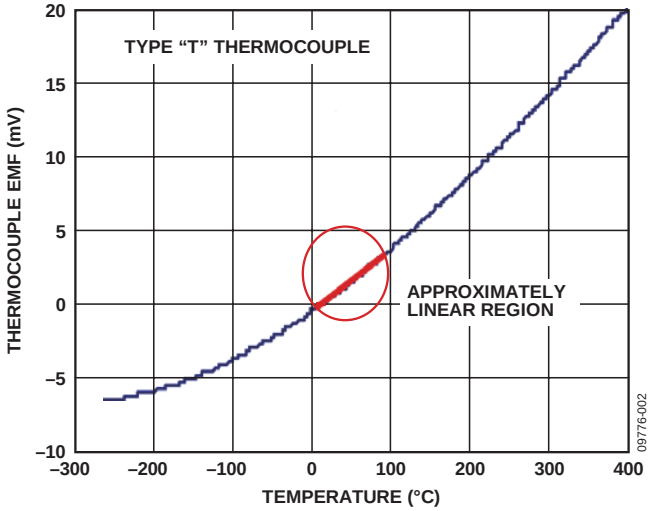


图2. 热电偶电动势与温度的关系

当系统处于室温时，热敏电阻应指示室温的值。热敏电阻指示的是相对于冷结温度的相对温度，即冷结（热敏电阻）与热电偶的温差。因此，在室温时，热电偶应指示0°C。

如果将热电偶放在一个冰桶中，热敏电阻仍旧测量环境（冷结）温度。热电偶应指示热敏电阻值的负值，使得总温度等于0。

最后，对于16.7 Hz的输出数据速率和128倍的增益，AD7793的均方根噪声等于0.088 μV。峰峰值噪声等于：

$$6.6 \times \textit{均方根噪声} = 6.6 \times 0.088\ \mu V = 0.581\ \mu V$$

如果热电偶的灵敏度恰好为40 μV/°C，则热电偶的温度测量分辨率为：

$$0.581\ \mu V \div 40\ \mu V = 0.014°C$$

图3所示为实际的测试板。系统评估如下：分别在室温时以及将热电偶放入冰桶的情况下，测量热敏电阻温度、热电偶温度和分辨率。结果如表1所示。

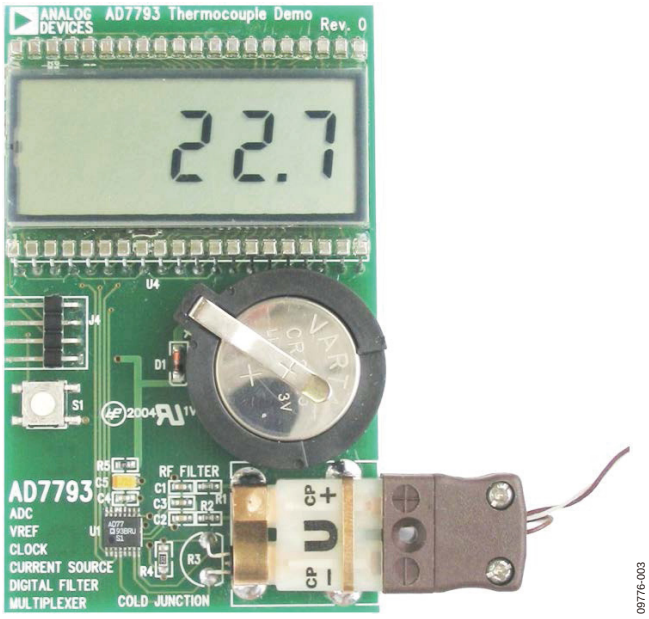


图3. 采用AD7793的热电偶系统

表1. 热电偶系统测试结果

	0°C	环境温度 (20°C)
温度读数 (°C)	−20	0
热敏电阻读数 (°C)	20.3	20.3
结果读数 (°C)	0.3	20.3
峰峰值噪声 (°C)	0.02	0.02

从表1可知，热电偶报告的温度正确，热敏电阻则有0.3°C的误差。这是未包括线性化处理时的系统精度。如果对热电偶和热敏电阻进行线性化处理，系统精度将会提高，系统将能测量更宽的温度范围。

如果每读取10次就计算一次最小与最大温度读数之差，则用温度表示的峰峰值噪声为0.02°C。因此，实际的峰峰值分辨率非常接近期望值。

常见变化

AD7793是一款低噪声、低功耗ADC。其它合适的ADC有AD7792和AD7785，这两款器件具有与AD7793相同的特性组合，但AD7792为16位ADC，AD7785为20位ADC。

电路评估与测试

测试数据利用图3所示测试板获得。该系统的完整文档位于CN-0206设计支持包中：
www.analog.com/CN0206-DesignSupport

更多资料

CN-0206设计支持包：
http://www.analog.com/CN0206-DesignSupport

Kester, Walt。1999年。*传感器信号调理*。第7部分。ADI公司。

教程MT-004：*ADC输入噪声面面观—无噪声是利还是弊?* ADI公司。

教程MT-022：*ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础*。ADI公司。

教程MT-023：*ADC架构IV：Σ-Δ型ADC的高级概念和应用*。ADI公司。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

AD7793数据手册

AD7793评估板

ADuC832数据手册

ADuC832评估系统

修订历史

2011 年 10 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" 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.

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09776sc-0-11/11(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0209。

连接/参考器件

ADP1720	高压、低压差线性稳压器	ADG442	LC²MOS 四通道单刀单掷开关
AD8275	G = 0.2、电平转换 ADC 驱动器	AD8676	双通道、轨到轨输出运算放大器
REF194	4.5 V 精密基准电压源	AD7193	24 位 Σ-Δ 型 ADC
AD8617	低噪声、轨到轨输入/输出放大器	ADuM1400	四通道数字隔离器
ADT7310	16 位数字温度传感器	ADuM1401	四通道数字隔离器
ADG1414	串行控制 8 通道单刀单掷开关		

适合过程控制应用的完全可编程通用模拟前端

评估和设计支持

电路评估板

CN-0209电路评估板(EVAL-CN0209-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 所示电路是一款适合过程控制应用的完全可编程通用模拟前端(AFE)。它支持下列输入：2/3/4 线 RTD 配置、带冷结补偿的热电偶输入、单极性和双极性输入电压、4 mA 至 20 mA 输入。

如今，许多模拟输入模块使用线链路（跳线）来配置客户输入要求，配置和重新配置输入需要时间、知识和手动干预。本电路提供一个用来配置工作模式的软件可控开关以及用来激励 RTD 的恒流源。本电路也可以重新配置，以便设置热电偶配置的共模电压。一个差分放大器用来调理 Σ-Δ ADC 的模拟输入范围。本电路以最低的成本提供业界领先的性能。

由于 AD8676 和 AD8275 提供电压增益，因此该设计特别适合小信号输入、所有类型的 RTD 或热电偶。

AD7193 是一款 24 位 Σ-Δ 型 ADC，可配置为四路差分输入或八路伪差分输入。ADuM1400 和 ADuM1401 在微控制器与 ADC 之间提供所需的全部信号隔离。本电路还含有标准外部保护功能，符合 IEC 61000 标准。

电路描述

本电路针对过程控制应用提供一款完全可编程的通用模拟前端(AFE)，支持 2/3/4 线 RTD 配置、带冷结补偿的热电偶输入、单极性和双极性输入电压、4 mA 至 20 mA 输入，如图 2 的配置图所示。

串行控制的 8 通道单刀单掷开关 ADG1414 用于配置选定的测量模式。

电压测量

本电路支持最高达±10 V 的单极性和双极性信号测量。输入信号先通过一个信号调理级，然后由 AD7193 ADC 执行转换。AD8676 放大器缓冲输入信号，然后由增益级放大。AD8275 用来对输入信号进行电平转换，并提供增益，使其符合 AD7193 的输入范围。与 REF 引脚相连的共模电压用来偏置 AD8275 的输出。此电压由 4.5 V 精密基准电压源 REF194 产生。

RTD 测量

如连接表所示，本电路支持 2/3/4 线 RTD 配置。此时，传感器是一个 1000 Ω 铂(Pt) RTD（电阻温度检测器）。最精确的配置是 4 引脚 RTD 配置。在所示的应用中，外部 200 μA 电流源提供 RTD 所需的激励电流，AD7193 在 16 倍增益下工作，使电路的动态范围达到最大。选择 RTD 测量模式时，AD8617 放大器被配置为电流源。选择热电偶测量时，它在闭环中重新配置，以便设置共模电压。AD8617 是一款双通道低噪声放大器，因此它能同时驱动电路板上的两个输入通道。配置电流源的电阻必须具有低温度系数，以免在测量电路中引入温漂误差。

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/cn**
Fax: 781.461.3113 **©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

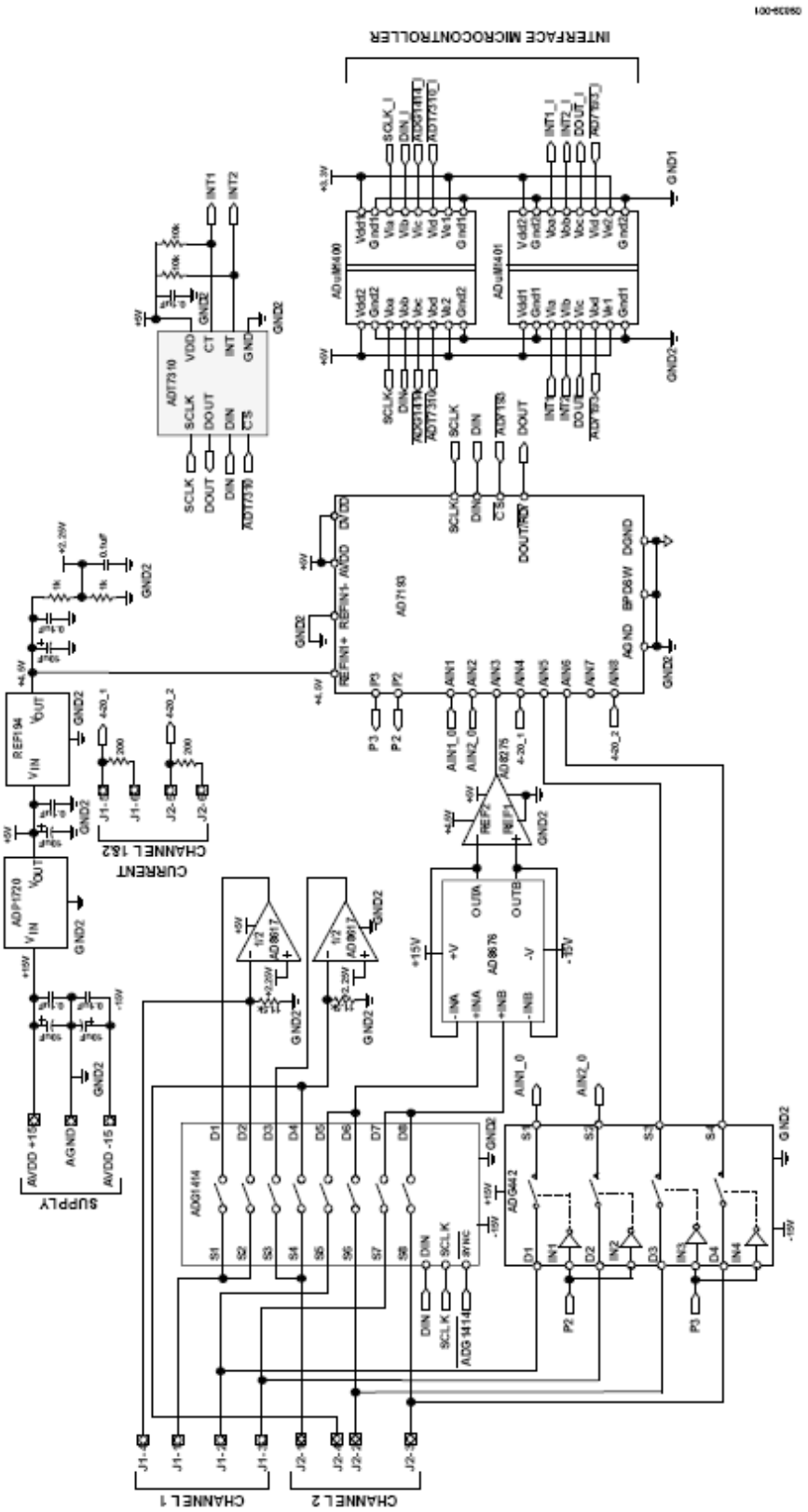


图 1.适合过程控制应用的通用可编程模拟前端（原理示意图：未显示所有连接和去耦）

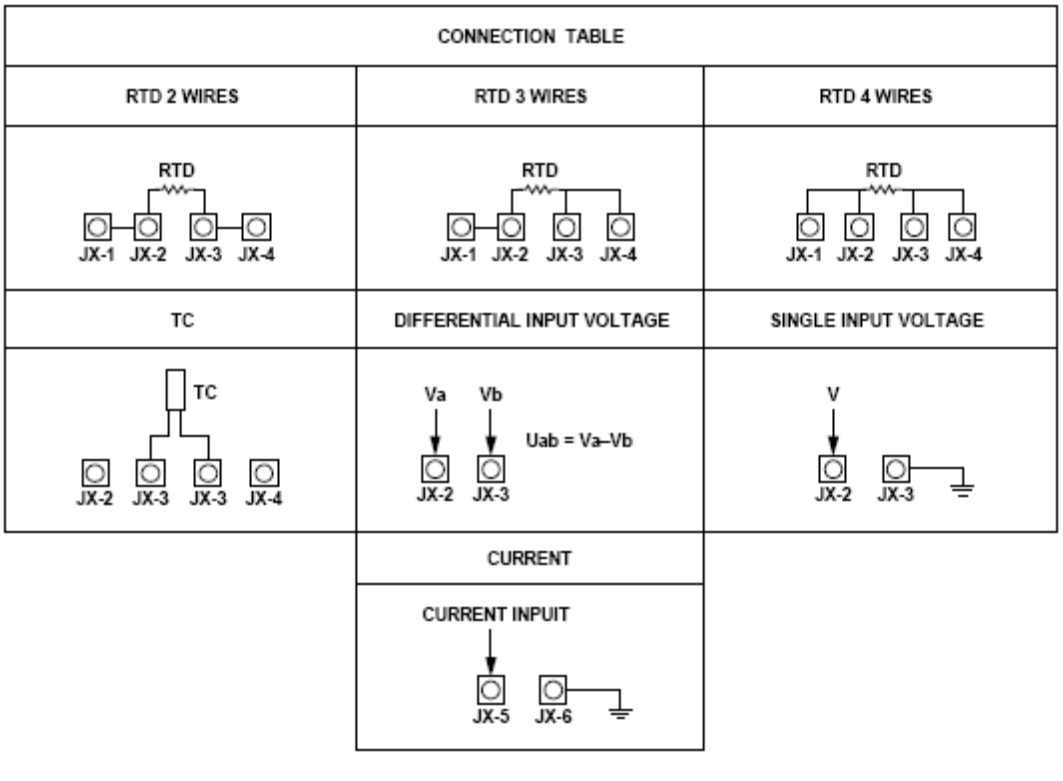


图 2.模拟输入配置表

热电偶测量

在热电偶应用中，以 ADC 外部的绝对基准电压为基础来测量热电偶所产生的电压。冷结补偿利用 16 位温度传感器 ADT7310 实现。因为热电偶的信号较小，同时为使电路的动态范围达到最大，所以 AD7193 在 128 倍的最高增益下工作。输入通道具有缓冲功能，因此需要时可将大去耦电容置于前端，以便于消除可能出现在热电偶引脚上的噪声影响。热电偶测量所用的共模电压由放大器 AD8617 提供。

4 mA 至 20 mA 电流测量

本电路还支持 4 mA 至 20 mA 电流测量。利用片上检测电阻将电流转换为电压。为在电流测量模式下使用 ADC 的全部动态范围，使用一个 200 Ω 电阻。该检测电阻必须具有低温度系数，以免在测量电路中引入温漂误差。

稳压器和基准电压源的选择

本电路选择 ADP1720 作为 5 V 稳压器。

ADP1720 是一款高压微功耗线性稳压器，特别适合工业应用。本电路选择 4.5 V REF194 作为基准电压源，E 级器件在 25°C 时的初始精度为±2 mV，最大温漂为 5 ppm/°C。它是一款低压差器件，功耗小于 45 μA，额定工作温度范围为 −40°C 至+125°C。

隔离

ADuM1400 和ADuM1401 是基于ADI公司*i*Coupler®技术的四通道数字隔离器，用来在现场端与系统微控制器之间实现隔离，隔离额定值为 2.5 kV rms。ADuM1400 使用 4 条线，全部用于发送数据（SCLK、DIN、$\overline{\text{ADG1414}}$、$\overline{\text{ADT7310}}$）。ADuM1401 也使用 4 条线，1 条线用于发送数据($\overline{\text{AD7193}}$)，3 条线用于接收数据（INT1、INT2、DOUT）。DIN、DOUT 和SCLK线连接到SPORT接口。

表 1：基于 1000 个采样点的实测性能

输入	AD7193 配置	均方根噪声（nV）	有效分辨率(位)
±10V 输入范围	增益 = 1；50 Hz 和 60 Hz 抑制；输出数据速率 = 50 Hz	7940	19.15
4 mA 至 20 mA 范围	增益 = 1；50 Hz 和 60 Hz 抑制；输出数据速率 = 2.63 Hz	931	22.24
RTD	增益 = 16；50 Hz 和 60 Hz 抑制；输出数据速率 = 2.63 Hz	243	20.29
热电偶	增益 = 128；50 Hz 和 60 Hz 抑制；输出数据速率 = 2.63 Hz	220	19.23

图 3 显示配置为双极性输入模式并且输入接地时 AD7193 输出性能的直方图。该直方图显示了等效输入噪声的影响。这种模式实现的有效分辨率为 19.2 位。

表 1 显示了其它模式下基于 1000 个 ADC 数据采样点的性能。

该设计还包括外部保护功能，如标准保护二极管和瞬变电压抑制器（TVS 器件）等，用以增强电路的鲁棒性。更多信息参见 CN0209 设计支持包中的原理图和其它资源：
http://www.analog.com/cn/CN0209-DesignSupport

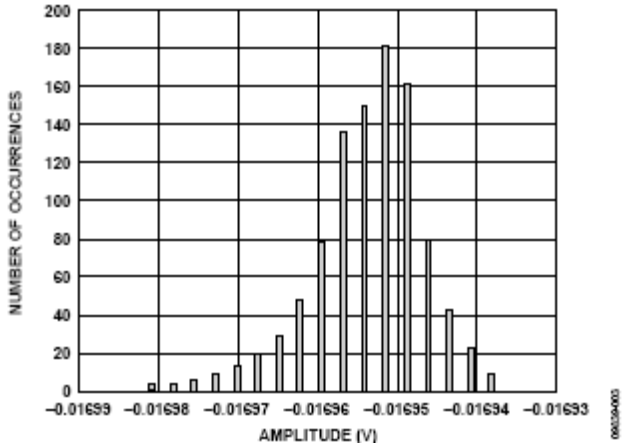


图 3. AD1793 噪声分布直方图 (1000 样本，50 Hz 数据速率，增益 = 1，输入 = 4.5 V 基准电压)

电路评估与测试

本电路使用 EVAL-CN0209-SDPZ 电路板和 EVAL-SDP-CB1Z 系统演示平台(SDP)评估板。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。EVAL-CN0209-SDPZ 板包含要评估的电路，如本笔记所述。SDP 评估板与 CN0209 评估软件一起使用，可从 EVAL-CN0209-SDPZ 电路板获取数据。

设备要求

- 带 USB 端口的 Windows® XP、Windows Vista®（32 位）或 Windows® 7（32 位）PC
- EVAL-CN0209-SDPZ 电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP 评估板
- CN0209 评估软件
- +15 V 和 −15 V 电源
- RTD 温度传感器
- 热电偶

开始使用

将 CN0209 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。

电路的功能框图参见本电路笔记的图 1，电路原理图参见“EVAL-CN0209-SDPZ-SCH-Rev0.pdf”文件。此文件位于 CN0209 设计支持包中：
http://www.analog.com/cn/CN0209-DesignSupport

设置

EVAL-CN0209-SDPZ 电路板上的 120 引脚连接器连接到 EVAL-SDP-CB1Z (SDP)评估板上标有“CON A”的连接器。通过 120 引脚连接器两端的孔牢牢固定这两片板。在断电情况下，将一个+15 V 电源连接到板上标有“+15 V”的引脚，将一个−15 V 电源连接到板上标有“−15 V”和“GND”的引脚。SDP 板附带的 USB 电缆连接到 PC 上的 USB 端口。注意：此时请勿将该 USB 电缆连接到 SDP 板上的微型 USB 连接器。

测试

为连接到 EVAL-CN0209-SDPZ 电路板的±15 V 电源通电。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-CN0209-SDPZ 板的串行数据。

电压测量

若要测量电压测量电路的噪声，请将输入 J3 和 J4 同时接地，然后点击软件中相应通道的按钮：V1（若使用通道 1）或 V2（若使用通道 2）。

若要测量电压，请按照图 2（模拟输入配置表）所示连接输入 J3 和 J4，然后如上所述，点击软件中的相应按钮。

结果以波形和直方图显示。可以使用切换按钮选择电压测量结果的刻度：μV、mV 或 V。

RTD 测量

若要通过 RTD 温度传感器测量温度，请按照图 2 所示连接

输入 J1、J2、J3 和 J4。RTD 2 线、3 线或 4 线各对应一种连接配置。然后，点击软件中的相应按钮（RTD1 表示通道 1，RTD2 表示通道 2）。

可以使用波形上方的切换按钮来选择测量结果的显示单位：华氏度、摄氏度或开氏度。

热电偶测量

若要通过热电偶测量温度，请按照图 2 所示连接输入 J1、J2、J3 和 J4。选择所用的热电偶类型（B、E、J、K、R、S、T、N），然后点击软件中的 TC 按钮（TC1 表示通道 1，TC2 表示通道 2）。

可以使用波形上方的切换按钮来选择测量结果的显示单位：华氏度、摄氏度或开氏度。

电流测量

若要测量电流，请按照图 2 所示连接输入 J5 和 J6，然后点击软件中的相应按钮（I1 表示通道 1，I2 表示通道 2）。

可以使用切换按钮选择电流测量结果的刻度：μA、mA 或 A。

有关 SDP 板的信息，请参阅 SDP 用户指南。

更多资料

教程MT-004：*ADC输入噪声面面观—无噪声是利还是弊?* ADI公司。

教程MT-022：*ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础*。ADI公司。

教程MT-023：*ADC架构IV：Σ-Δ型ADC的高级概念和应用*。ADI公司。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

传感器信号调理。ADI公司，1999年，第7部分。

数据手册和评估板

ADuM1400数据手册

ADuM1401数据手册

AD7193数据手册

AD7193评估板

AD8275数据手册

REF194数据手册

AD8676数据手册

AD8617数据手册

ADG442数据手册

ADG1414数据手册

ADT7310数据手册

修订历史

2011 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.

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09839sc-0-5/11(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0213。

连接/参考器件	
AD7685	16 位、250 kSPS PulSAR® ADC，采用 MSOP/QFN 封装
AD8226	宽电源电压范围、轨到轨输出仪表放大器
AD8275	G = 0.2、电平转换、16 位 ADC 驱动器
ADP1720	50 mA、高压微功耗线性调节器
ADR439	超低噪声 XFET®基准电压源

适合过程控制应用的完整高速、高共模抑制比（CMRR）精密模拟前端

评估和设计支持

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

工业过程控制系统中的信号电平通常为以下几类之一：单端电流（4 mA 至 20 mA）、单端差分电压（0 V 至 5V、0 V 至 10 V、±5 V、±10 V）或者来自热电偶或称重传感器等传感器的小信号输入。大共模电压摆幅也非常典型，尤其是小信号差分输入；因此，良好的共模抑制性能是模拟信号处理系统的一项重要特性。

图 1 所示的模拟前端电路经过优化，可在处理这些类型的工业级信号时提供高精度和高共模抑制比(CMRR)。

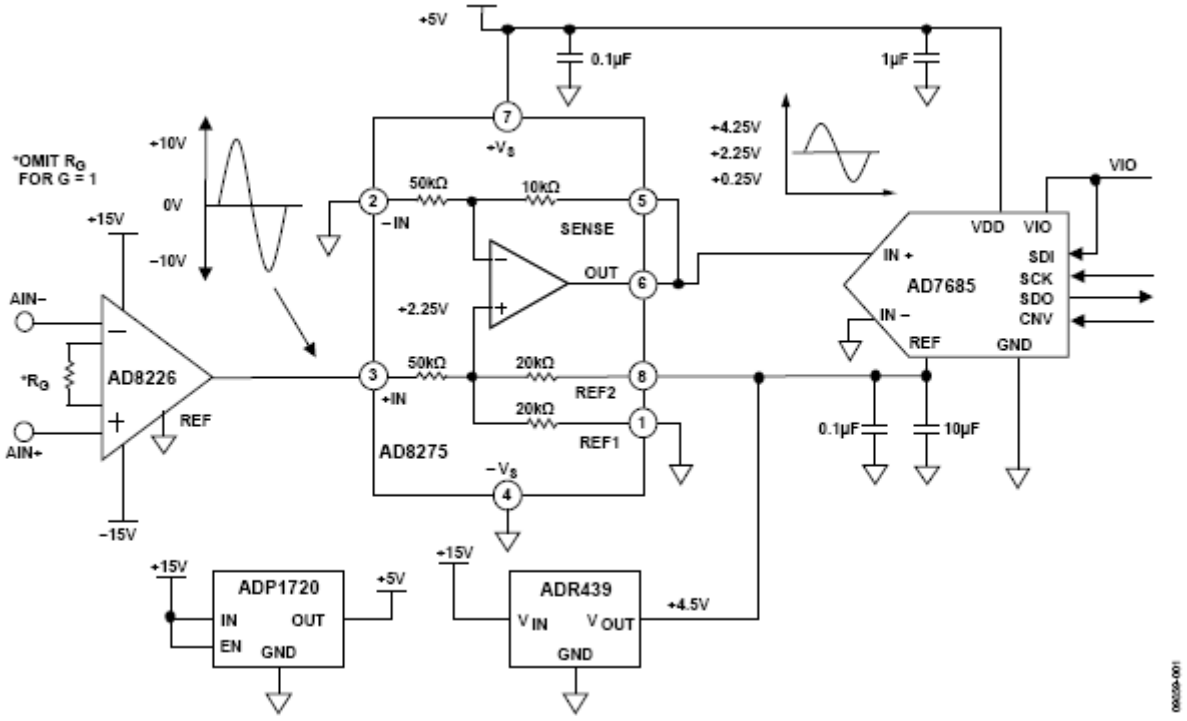


图 1. 适合过程控制应用的高性能模拟前端（原理示意图：未显示所有连接和去耦）

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/cn**
Fax: 781.461.3113 **©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

该电路会对信号进行电平转换和衰减，从而使信号可以与大多数现代单电源 SAR ADC 的输入范围要求兼容，如高性能、16 位 250 kSPS PulSAR® ADC AD7685。

对于 18 V p-p 的输入信号，该电路的共模抑制(CMR)性能约为 105 dB（100 Hz 时）和 80 dB（5 kHz 时）。

高精度、高输入阻抗和高 CMR 由仪表放大器 AD8226 提供。对于高精度应用，需要具有高输入阻抗，以便最大程度地减小系统增益误差并实现出色的 CMR。AD8226 增益可以用电阻在 1 至 1000 范围内进行编程设置。

若直接在输入端连接阻性电平转换器/衰减器级，会因电阻之间出现失配，导致 CMR 性能下降。AD8226 可以提供小信号和大信号输入所需的出色 CMR 性能。无需任何外部元件，电平转换器/衰减器/驱动器 AD8275 即可在该电路中执行衰减和电平转换功能。

由于信号带宽相对较低，Σ-Δ 型 ADC 通常用于高分辨率测量系统，而且 Σ-Δ 架构可以在低更新速率条件下提供出色的噪声性能。不过，在越来越多的设计中，尤其是多通道系统，更新速率不断提高，以便更快地更新各通道或增加通道密度。这种情况下，高性能 SAR ADC 是不错的替代之选。图 1 所示电路采用 250 kSPS 16 位 ADC AD7685、高性能仪表放大器 AD8226 和衰减器/电平转换器/放大器 AD8275 并配置为完整的系统解决方案，无需任何外部元件。

电路描述

此电路内置一个轨到轨输出仪表放大器 AD8226，并连接到 G = 0.2 差动放大器 AD8275 的正输入端，该差动放大器的输出端则连接到 16 位、250 kSPS、采用 MSOP/QFN 封装的 PulSAR ADC AD7685 的输入端。AD8226 的增益设置为 1（高电压/电流输入），且其输出以地为参考。可以使用单端或差分输入。AD8226 的输出为双极性信号，用于驱动 AD8275 输入。AD8275 用于对该双极性输入进行衰减和电平转换，从而提供 0.2 的增益。因此，在其输入端输入 20 V p-p 的差分信号时，输出端将产生 4 V p-p 的单端信号。4.5 V 精密基准电压源 ADR439 用于为 AD8275 提供内部共模偏置电压(VREF/2 = 2.25V)，以及为 AD7685 ADC 提供外部基准电压。在这些条件下，AD8275 的输出摆幅为+0.25 V 至+4.25 V，位于 AD7685 的 0 V 至+4.5 V 工作范围内。

ADP1720 用于为 AD8275 和 AD7685 提供 5 V 电源。之所以选择 ADP1720 是因为其具有高输入电压范围（高达 28 V）。在此电路中，ADP1720 只需为 AD8275 和 AD7685 提供约 4 mA 的电流，因此在最差情况下，28 V 输入时调节器的功耗约为 90 mW，这使得整个系统可以采用外部±15 V 电源供电。

系统级共模抑制性能

初始测试用于在系统级验证至 ADC 的 AD8226 共模抑制性能。采用的输入测试信号音为 10 Hz、100 Hz、500 Hz、1 kHz、2 kHz、3 kHz、4 kHz、5 kHz，而输入信号为 18 V p-p。测试结果如表 1 所示。在测试 1 中，AIN+和 AIN−信号短接并连接到交流测试信号音，然后以 FFT 测量结果。由于输入端连接在一起，因此 AD8226 应当会抑制交流信号。在测试 2 中，信号施加于 AIN+，而 AIN−接地。在这些条件下，FFT 测量信号音电平。然后，通过计算测试 1 和测试 2 中 FFT 结果之间的差值即可得到共模抑制值。表 1 列出了不同频率下获得的 CMR 值。必须注意，AD8226 在 5 kHz 时的 CMR 额定值为 80 dB，因此可在系统级实现 CMR 性能无损。

系统级交流性能

此外还要在系统级测试系统的交流精度，此时 AD7685 的工作采样速率为 250 kSPS。图 2 所示为 10 kHz、5 V p-p 输入时的 FFT 测试结果。图中所示的结果如下：

- 信噪比(SNR) = 87.13 dBFS
- 信纳比(SINAD) = 85.95 dBFS
- 无杂散动态范围(SFDR) = 81.82 dBc
- 总谐波失真(THD) = −78.02 dBc

表 1：18 V p-p 输入时电路的 CMR 性能

Frequency (kHz)	FFT Signal Level (dBFS), 18 V p-p Input		CMR (dB)
	Test 1: AIN+ = AIN–	Test 2: Input = AIN+, AIN– = GND	
0.1	–104.64	–2.86	101.78
0.5	–100.00	–3.28	96.72
1	–94.67	–2.85	91.82
2	–88.58	–2.88	85.70
3	–84.93	–2.93	82.00
4	–82.07	–3.01	79.06
5	–79.43	–3.10	76.33

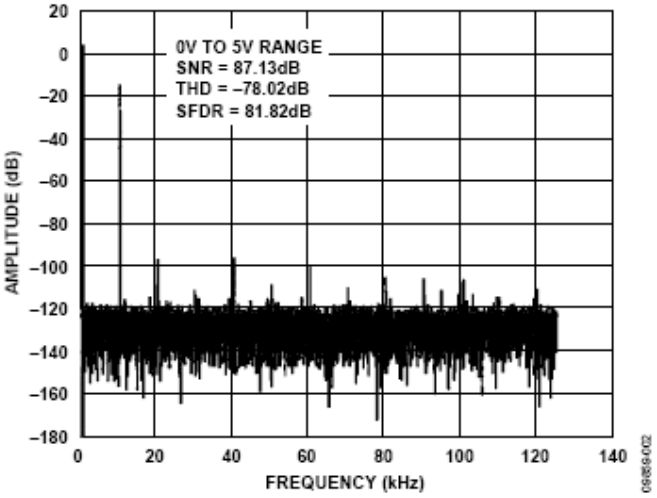


图 2. 10 kHz 输入信号、满量程以下 14 dB、250 kSPS 的 FFT 结果

该电路或任何高速电路的性能都高度依赖于适当的 PCB 布局，包括但不限于电源旁路、受控阻抗线路（如需要）、元件布局、信号布线以及电源层和接地层。（有关 PCB 布局的详情，请参见 MT-031 教程、MT-101 教程和高速印刷电路板布局实用指南一文。）

有关本电路笔记的完整设计支持包，请参阅 http://www.analog.com/CN0213-DesignSupport

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。可使用其他 ADI 公司的模数转换器来代替 AD7685，从而进一步提高速度/分辨率或性能。AD7688 提供真差分输入，以便取得更佳 CMR 性能。18 位 ADC AD7982 能够以高达 1 MSPS 的速度提供更高分辨率，并且还提供全差分。漏斗放大器 AD8475 也可接受高电压双极性输入，并提供衰减、电平转换和差分输出，因此非常适合使用差分输入 ADC 的工业应用（参见电路笔记 CN-0180）。

电路评估与测试

该电路采用系统演示平台(SDP)进行测试。SDP 平台包含必要的 ADC 驱动器以及至 PC 的 USB 连接。从 ADC 采样的数据由 SDP 板通过 USB 发送至 PC。然后利用 ADC 公司提供的标准 ADC LabVIEW 评估软件工具生成 FFT 曲线图。测试设置的功能框图如图 3 所示，而电路板照片如图 4 所示。

用于收集测试数据的设备

- 带 USB 端口的 Windows® XP、Windows Vista®（32 位）或 Windows® 7（32 位）PC
- EVAL-A-INPUT-1AZ 电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z、SDP-A 评估板
- 评估软件
- 电源电压：+5 V (200 mA)
- 电源电压：±15 V、Agilent E3630A 或等同
- 信号发生器：Agilent 33120A 或等同产品

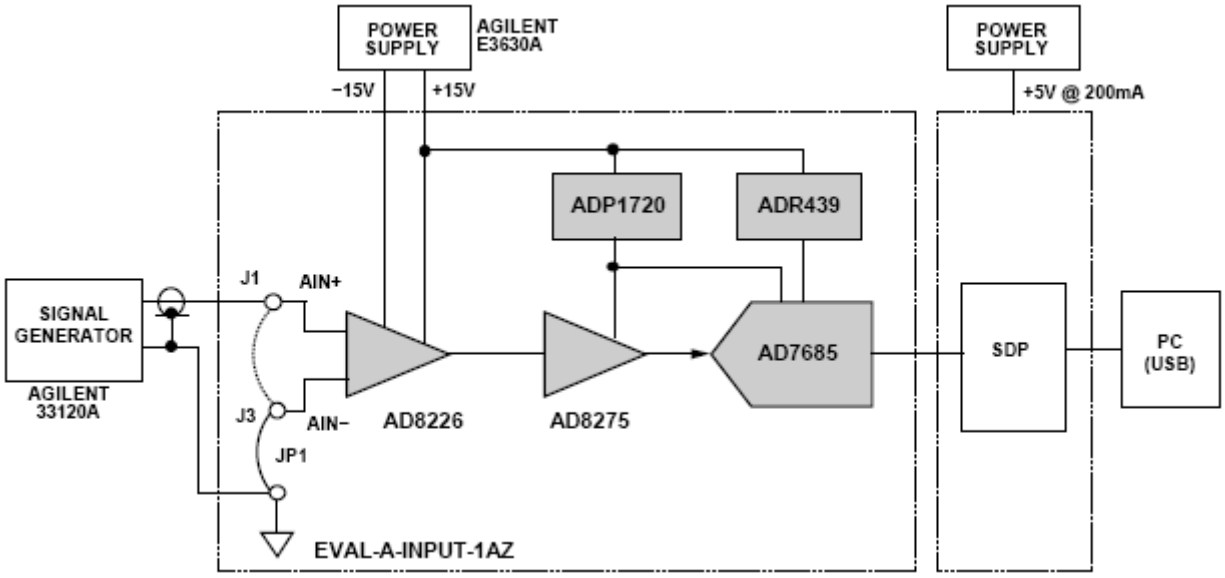


图 3. 测试设置的功能框图

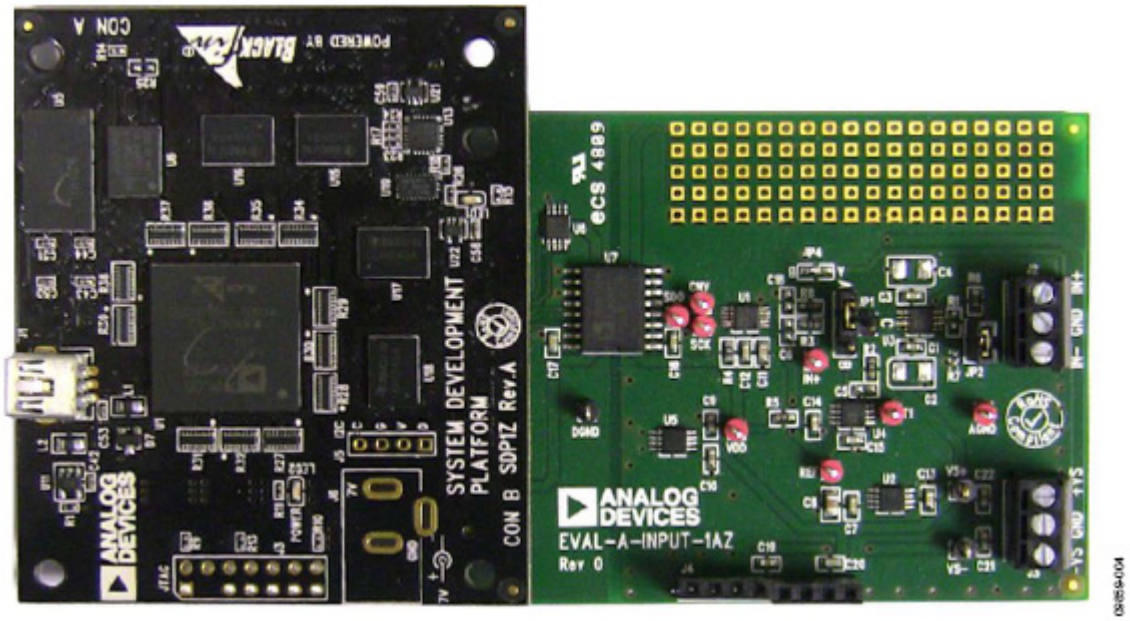


图 4. 与 SDP 板相连的 EVAL-A-INPUT-1AZ 评估板照片

设置与测试

在 PC 的 CD 驱动器中加载评估软件。

EVAL-A-INPUT-1AZ 电路板上的 120 引脚连接器连接到 EVAL-SDP-CB1Z (SDP)评估板上标有“CON B”的连接器。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。将信号源连接到 EVAL-A-INPUT-1AZ 板的 J1 输入(AIN+)端子。运行常规 FFT 测试时，JP1 跳线连接在 J3 端子(IN–)和地之间。运行 CMR 测试时，该跳线连接在 J1 (AIN+)和 J3 (AIN–)之间。

在断电情况下，将一个+5 V 电源连接到 SDP 板。使用 USB 电缆将 SDP 板连接到 PC 上的 USB 端口。

然后，将±15 V 电源连接到 EVAL-A-INPUT-1AZ 电路板。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-A-INPUT-1AZ 板的串行数据。

更多资料

CN-0213设计支持包：
http://www.analog.com/CN0213-DesignSupport

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

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD7685数据手册

AD7685评估板

AD8226数据手册

AD8275数据手册

修订历史

2011 年 7 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.

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09859sc-0-8/11(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0214。

连接/参考器件	
ADuC7060/ ADuC7061	基于ARM7的微控制器，内置双通道24位Σ-Δ型ADC
ADP3333	2.5 V低压差线性调节器
ADP1720-ADJ	50 mA、高压、微功耗线性稳压器
OP193	低功耗运算放大器

利用精密模拟微控制器ADuC7060/ADuC7061构建基于USB且带冷结补偿的热电偶温度监控器

评估和设计支持

电路评估板

ADuC7061迷你套件(EVAL-ADUC7061MKZ)

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

本电路显示如何在精密热电偶温度监控应用中使用精密模拟微控制器ADuC7060/ADuC7061。ADuC7060/ADuC7061集成双通道24位Σ-Δ型ADC、双通道可编程电流源、14位DAC、1.2 V内部基准电压源、ARM7内核、32 kB闪存、4 kB SRAM以及各种数字外设，例如UART、定时器、SPI和I^2C接口等。

在本电路中，ADuC7060/ADuC7061连接到一个热电偶和一个100 Ω Pt RTD。RTD用于冷结补偿。

在源代码中，ADC采样速率选择4 Hz。当ADC输入PGA的增益配置为32时，ADuC7060/ADuC7061的无噪声分辨率大于18位。

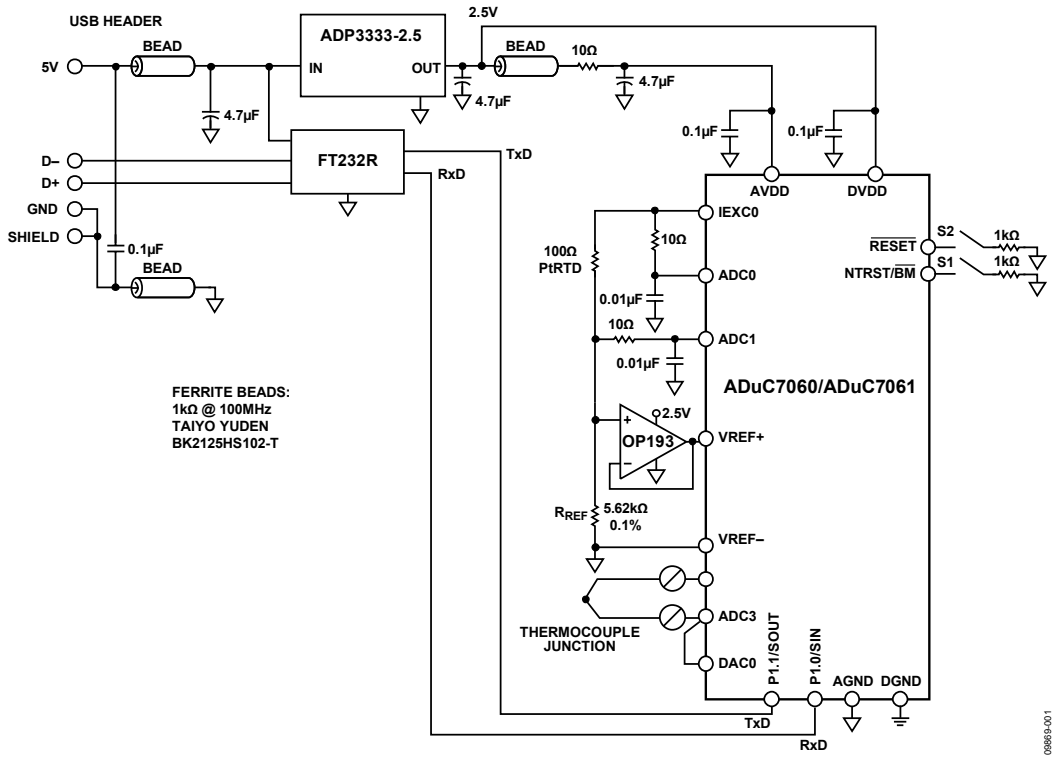


图1. ADuC7060/ADuC7061用作温度监控控制器与热电偶接口(原理示意图，未显示所有连接)

Rev. C

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2011–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

本应用中用到ADuC7060/ADuC7061的下列特性：

- 内置可编程增益放大器(PGA)的24位Σ-Δ型主ADC：PGA的增益在本应用的软件中设置为32。主ADC在热电偶信号采样与RTD电压信号采样之间连续切换。
- 可编程激励电流源，用来驱动受控电流流经RTD：双通道电流源可在0 μA至2 μA范围内以200 μA阶跃配置。本例使用200 μA设置，以便将RTD自热效应引起的误差降至最小。
- ADuC7060/ADuC7061中ADC的内置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。
- ADuC7060/ADuC7061中ADC的外部基准电压源：为了测量RTD电阻，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。
- 14位DAC：DAC用于将热电偶共模电压设置为地以上850 mV。
- ARM7TDMI®内核：功能强大的16/32位ARM7内核集成了32 kB闪存和SRAM存储器，用来运行用户代码，可配置并控制ADC，通过RTD处理ADC转换，以及控制UART/USB接口的通信。
- UART：UART用作与PC主机的通信接口。
- 两个外部开关用来强制该器件进入闪存引导模式：使S1处于低电平，同时切换S2，ADuC7060/ADuC7061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。

热电偶和RTD产生的信号均非常小，因此需要使用PGA来放大这些信号。ADuC7060/ADuC7061的辅助ADC不含PGA，因此二者均连接到主ADC，二者之间的切换通过软件完成。

本应用使用的热电偶为T型(copperconstantan)，其温度范围为−200°C至+350°C。其灵敏度约为40 μV/°C，这意味着ADC在双极性模式和32倍PGA增益设置下可以覆盖热电偶的完整温度范围。

RTD用于冷结补偿。本电路使用的RTD为100 Ω铂RTD，型号为Enercorp PCS 1.1503.1。它采用0805表贴封装，温度变化率为0.385 Ω/°C。

注意，基准电阻R_{REF}应为精密5.62 kΩ (±0.1%)电阻。

ADuC7060/ADuC7061的USB接口通过FT232R UART转USB收发器实现，它将USB信号直接转换为UART。

除图1所示的去耦外，USB电缆本身还应采用铁氧体磁珠来增强EMI/RFI保护功能。本电路所用铁氧体磁珠为Taiyo Yuden #BK2125HS102-T，它在100 MHz时的阻抗为1000 Ω。

本电路必须构建在具有较大面积接地层的多层电路板上。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术(请参考教程MT-031——“实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团”、教程MT-101——“去耦技术”和ADuC7060/ADuC7061评估板布局布线 。

图2所示为EVAL-ADUC7061MKZ PCB。

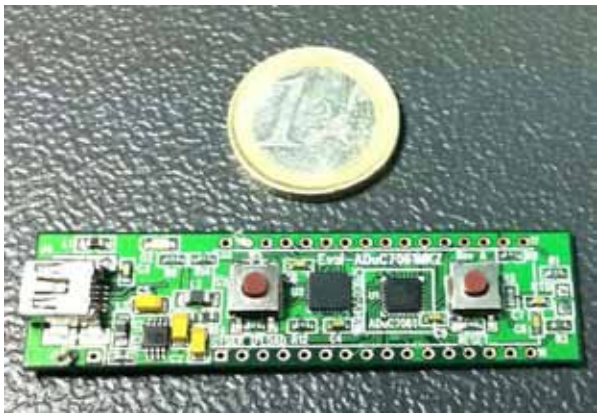


图2. 本电路所用的EVAL-ADUC7061MKZ板

代码说明

用于测试本电路的源代码可从以下网址下载(zip压缩文件)：http://www.analog.com/CN0214-SourceCode。

UART配置为波特率9600、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“超级终端”(HyperTerminal)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。

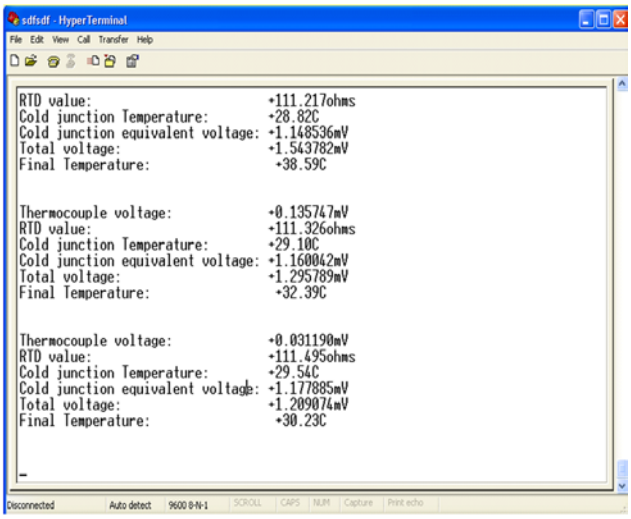


图3.“超级终端”通信端口查看程序的输出

为了获得温度读数，必须测量热电偶和RTD的温度。RTD温度通过一个查找表转换为其等效热电偶电压。将这两个电压相加，便可得到热电偶电压的绝对值。

首先，测量热电偶两条线之间的电压(V1)。测量RTD电压并通过查找表转换为温度，然后再将此温度转换为其等效热电偶电压(V2)。然后，将V1和V2相加，以得出整体热电偶电压，接着将此值转换为最终的温度测量结果。

最初，这一转换是基于一个简单的线性假设：热电偶的温度为40 µV/°C。从图4可以看出，只有针对0°C左右的小范围温度，如此转换所产生的误差才是可以接受的。

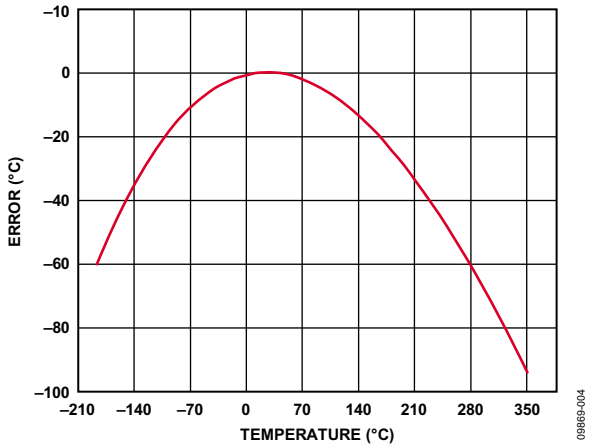


图4. 使用简单线性逼近法时的误差

计算热电偶温度的更好方法是对正温度使用6阶多项式，对负温度使用7阶多项式。这需要进行数学运算，导致计算时间和码字大小增加。适当的折衷是针对固定数量的电压计算相应的温度，然后将这些温度存储在一个数组中，其间的值利用相邻点的线性插值法计算。从图5可以看出，使用这种方法时误差显著降低。图5给出了使用理想热电偶电压时的算法误差。图6显示了使用ADuC7060上的ADC0测量整个热电偶工作范围内的52个热电偶电压时获得的误差。最差情况的总误差小于1°C。

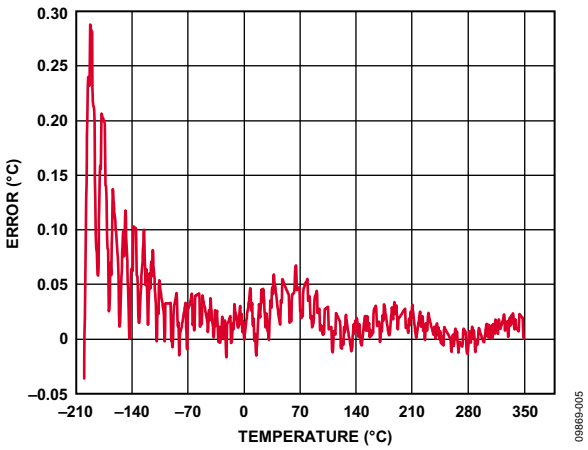


图5. 通过分段线性逼近法利用52个校准点和理想测量值计算时的误差

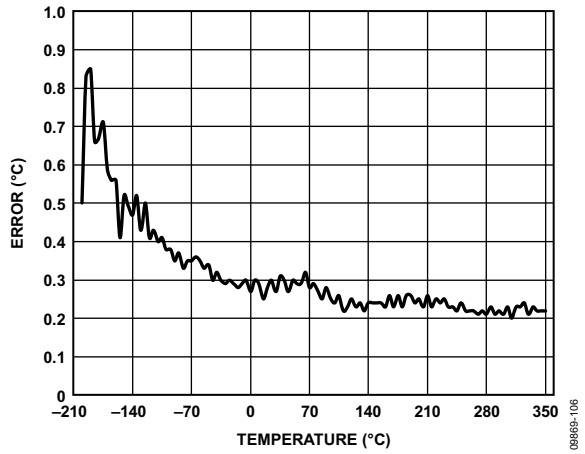


图6. 通过分段线性逼近法利用ADuC7060/ADuC7061 ADC0所测52个校准点时的误差

RTD温度是运用查找表计算出来的，并且对RTD的运用方式与对热电偶一样。注意，描述RTD温度与电阻关系的多项式与描述热电偶的多项式不同。

欲了解有关线性化和实现RTD最佳性能的详细信息，请参考应用笔记AN-0970“利用ADuC706x微控制器实现RTD接口和线性化”。

常见变化

ADP120-2.5可以代替ADP3333-2.5，前者具有更宽的工作温度范围(–40°C至+125°C)，功耗更低(典型值为20 µA，而后者为70 µA)，但最大输入电压较低(前者为5.5 V，后者为12 V)。如果微控制器上需要更多GPIO引脚，则可以选择采用48引脚LFCSP或48引脚LQFP封装的ADuC7060。请注意，ADuC7060/ADuC7061可以通过标准JTAG接口编程或调试。

使用外部基准电阻作为RTD测量的基准源时，建议以单位增益模式使用运算放大器来对VREF+引脚的输入进行缓冲。这是为了确保进入VREF+引脚的输入泄漏电流不会有损于测量精度。图8中，我们针对此目的，在单位增益下使用运算放大器OP193。在图1的主电路图中，该输入未经缓冲，但为了获得最佳效果，应将其缓冲。

对于标准UART至RS-232接口，可以用ADM3202等器件代替FT232R收发器，前者需采用3 V电源供电。对于更宽的温度范围，可以使用不同的热电偶，例如J型热电偶。为使冷结补偿误差最小，可以让一个热敏电阻与实际的冷结接触，而不是将其放在PCB上。

针对冷结温度测量，可以用一个外部数字温度传感器来代替RTD和外部基准电阻。例如，ADT7410可以通过I^2C接口连接到ADuC7060/ADuC7061。

有关冷结补偿的更多信息，请参阅ADI公司的《传感器信号调理》第7章“温度传感器”。

如果USB连接器与本电路之间需要隔离，则应增加隔离器件ADuM3160/ADuM4160。

电路评估与测试

为了测试和评估该电路，我们单独评估了热电偶测量和RTD测量。

热电偶测量测试

基本测试设置如图6所示。注意，热电偶连接到J2-8和J2-9，J2-5必须连接到J2-8。EVAL-ADUC7061MKZ板从PC的USB连接获得电源。

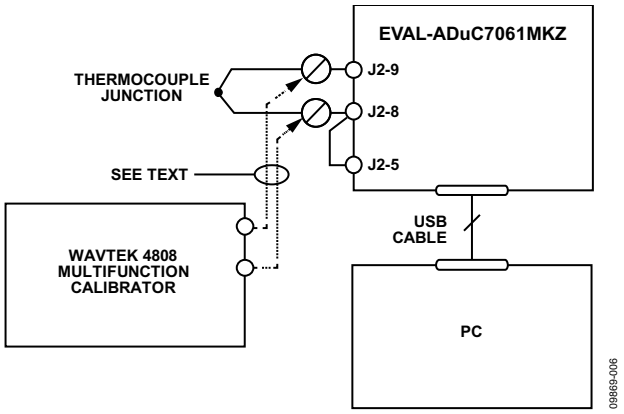


图7. 用于在整个热电偶输出电压范围内校准和测试电路的设置

使用两种方法来评估本电路的性能。首先使用连接到电路板的热电偶来测量冰桶的温度，然后测量沸水的温度。

使用Wavetek 4808多功能校准仪来充分评估误差，如图4和图6所示。这种模式下，校准仪代替热电偶作为电压源，如图7所示。为了评估T型热电偶的整个范围，利用校准仪设置T型热电偶−200°C至+350°C的正负温度范围之间11个点的等效热电偶电压。(T型热电偶请参见ITS-90表)。

为了评估查找算法的精度，将−200°C至+350°C温度范围内每隔1℃的温度所对应的551个电压读数传递到温度计算函数中。针对线性方法和分段线性逼近法计算得到误差，如图4和图5所示。

RTD测量测试

为了评估RTD电路和线性化源代码，以精确的可调电阻源代替了电路板上的RTD。所用的仪器是1433-Z十进制电阻。RTD值的范围是90 Ω至140 Ω，代表−25°C至+114°C的RTD温度范围。设置电路如图8所示。

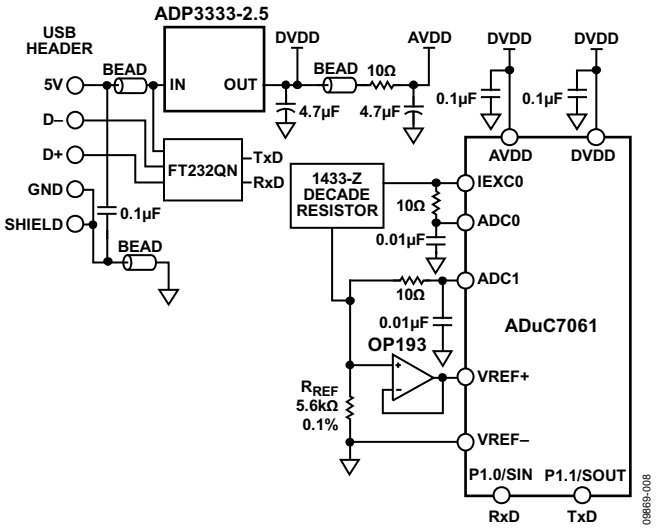


图8. 用于校准和测试-25℃至114℃范围内RTD输出电压的测试设置

图9显示了RTD测试的误差结果。

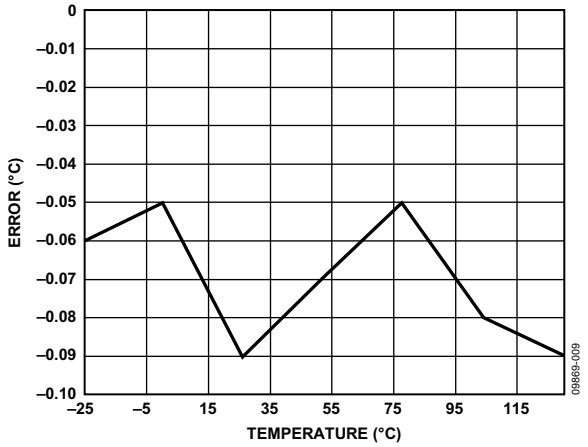


图9. 使用分段线性代码和ADC0测量结果进行RTD测量时的°C误差

更多资料

CN0214设计支持包：
http://www.analog.com/CN0214-DesignSupport

ADIsimPower设计工具。

Kester, Walt。1999年。*传感器信号调理*。ADI公司。第7章：温度传感器。

Kester, Walt。1999年。*传感器信号调理*。ADI公司。第8章：信号调理用ADC。

Looney, Mike。*使用ADuC706x微控制器实现RTD接口和线性化*。应用笔记AN-0970。ADI公司。

教程MT-022：*ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础*。ADI公司。

教程MT-023：*ADC架构IV：Σ-Δ型ADC的高级概念和应用*。ADI公司。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

ITS-90 T型热电偶表。

数据手册和评估板

ADuC7060 数据手册。

ADuC7061 数据手册。

ADuC7060评估套件

ADuC7061评估套件

ADM3202 UART至RS-232收发器数据手册

ADP3333 数据手册。

ADP1720-ADJ 数据手册。

OP193 数据手册。

修订历史

2013年1月—修订版B至修订版C

更改“转换器的连接”部分和图1 1
更改设计描述部分 3
更改热电偶测量测试部分，RTD测量测试部分和图8 4
更改“评估板原理图”部分 5

2011年11月—修订版A至修订版B

更改连接装置和参考文献 1
更改引脚描述 1
更改“概述” 2
更改常见变化部分 4
更改测试电路 4

2011年6月—修订版0至修订版A

更改引脚描述 2
更改测试电路 4

2011年4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.

©2011–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09869sc-0-1/13(C)

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0221。

连接/参考器件	
ADuCM360/ ADuCM361	Cortex-M3的微控制器，内置双通道24位Σ-Δ型ADC
ADP1720-3.3	低压差线性调节器

采用ARM Cortex - M3的USB热电偶温度测量系统

评估和设计支持

电路评估板

CN-0221电路评估板(EVAL-ADuCM360TCZ)

设计和集成文件

ADuCM360原理图、布局文件、物料清单、源代码

电路功能与优势

本电路显示如何在精密热电偶温度监控应用中使用精密模拟微控制器ADuCM360/ADuCM361。ADuCM360/ADuCM361集成双通道24位Σ-Δ型模数转换器(ADC)、双通道可编程电流源、12位数模转换器(DAC)、1.2 V内部基准电压源、ARM Cortex-M3内核、128 kB闪存、8 kB SRAM以及各种数字外设，例如UART、定时器、SPI和I²C接口等。在本电路中，ADuCM360/ADuCM361连接到一个热电偶和一个100 Ω铂电阻温度检测器(RTD)。RTD用于执行冷结补偿。

在源代码中，ADC采样速率选择4 Hz。当ADC输入可编程增益放大器(PGA)的增益配置为32时，ADuCM360/ADuCM361的无噪声代码分辨率大于18位。

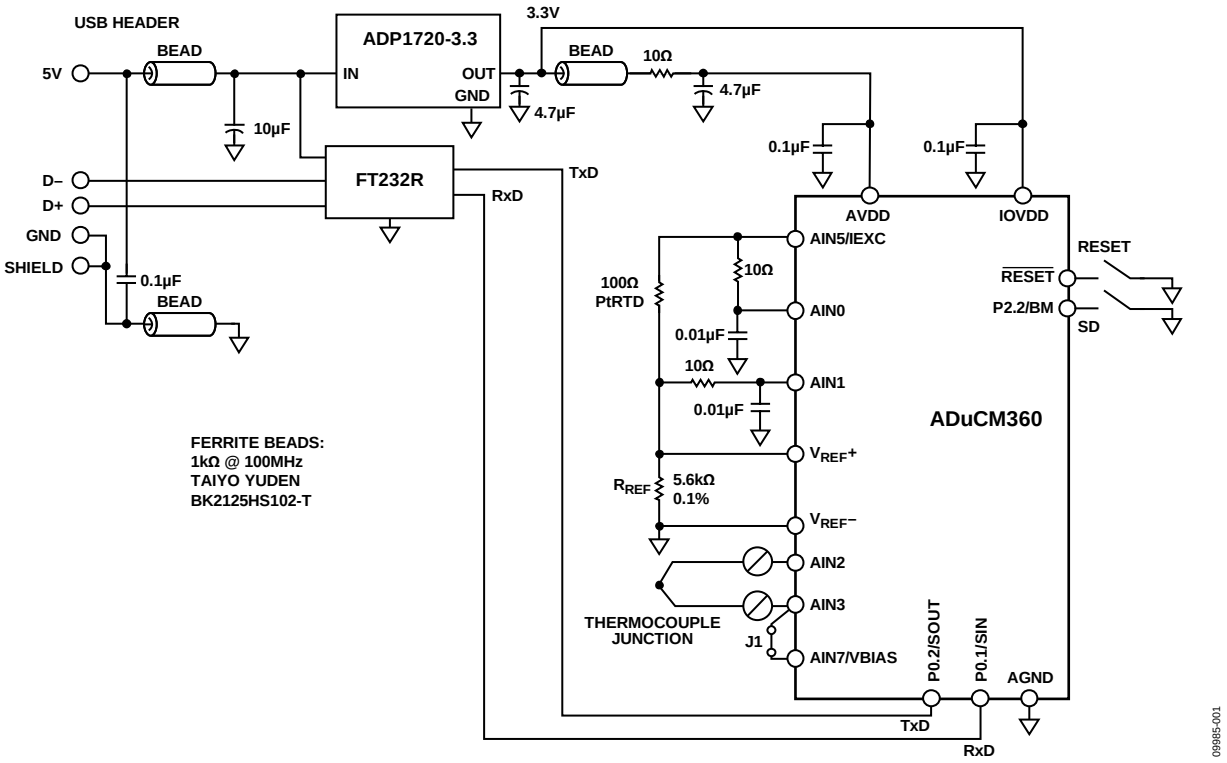


图1. ADuCM360/ADuCM361用作温度监控控制器与热电偶接口(原理示意图，未显示所有连接)

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

本应用中用到ADuCM360/ADuCM361的下列特性：

- 在软件中，为热电偶和RTD配置了32倍PGA增益的24位Σ-Δ型ADC。ADC1在热电偶信号采样与RTD电压信号采样之间连续切换。
- 可编程激励电流源，用来驱动受控电流流经RTD。双通道电流源可在0 μA至2 mA范围内配置。本例使用200 μA设置，以便将RTD自热效应引起的误差降至最小。
- ADuCM360/ADuCM361中的ADC内置1.2 V基准电压源。它的内部基准电压源精度高，适合测量热电偶电压。
- ADuCM360/ADuCM361中的ADC内置外部电压基准电压源。它可测量RTD电阻；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。
- 偏置电压发生器(VBIAS)。VBIAS用于将热电偶共模电压设置为AVDD/2。
- ARM Cortex-M3内核。功能强大的32位ARM内核集成了128 kB闪存和8 kB SRAM存储器，用来运行用户代码，可配置并控制ADC，通过RTD处理ADC转换，以及控制UART/USB接口的通信。
- UART用作与PC主机的通信接口。
- 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/ADuCM361便进入引导模式，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。

热电偶和RTD产生的信号均非常小，因此需要使用PGA来放大这些信号。

本应用使用的热电偶为T(铜-康铜)型，其温度范围为−200°C至+350°C。灵敏度约为40 μV/°C，这意味着ADC在双极性模式和32倍PGA增益设置下可以覆盖热电偶的整个温度范围。

RTD用于执行冷结补偿。本电路使用铂100 Ω RTD，型号为Enercorp PCS 1.1503.1。它采用0805表贴封装。温度变化率为0.385 Ω/°C。

注意，基准电阻RREF应为精密5.6 kΩ (±0.1%)电阻。

ADuCM360/ADuCM361的USB接口通过FT232R UART转USB收发器实现，它将USB信号直接转换为UART。

除图1所示的去耦外，USB电缆本身还须采用铁氧体磁珠来增强EMI/RFI保护功能。本电路所用铁氧体磁珠为Taiyo Yuden #BK2125HS102-T，它在100 MHz时的阻抗为1000 Ω。

本电路必须构建在具有较大面积接地层的多层印刷电路板(PCB)上。为实现最佳性能，应采用适当的布局、接地和去耦技术(请参考教程MT-031——实现数据转换器的接地并解开"AGND"和"DGND"的谜团、教程MT-101——去耦技术、以及ADuCM360TCZ评估板布局)。

评估该电路所用的PCB如图2所示。

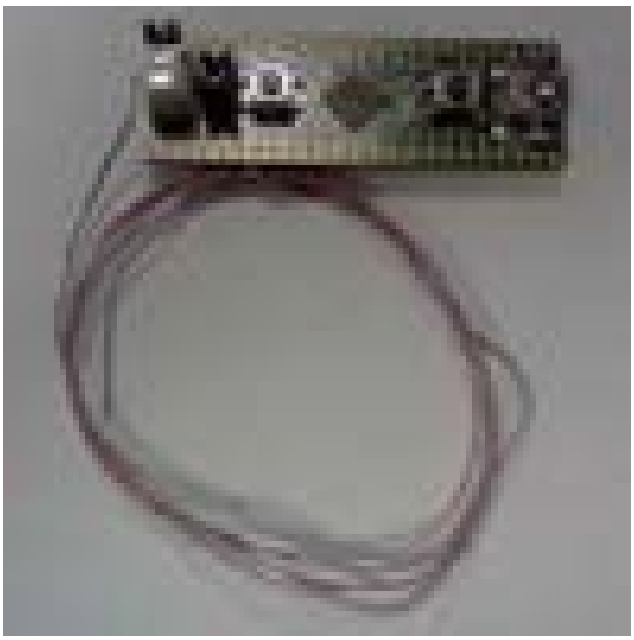


图2. 本电路所用的EVAL-ADuCM360TCZ板

代码说明

用来测试电路的源代码链接在CN0221设计支持包中：
http://www.analog.com/CN0221-DesignSupport

UART配置为波特率9600、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“超级终端”(HyperTerminal)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。



图3.“超级终端”通信端口查看程序的输出

测量热电偶和RTD的温度，以获得温度读数。通过查找表，将RTD温度转换为它的等效热电偶电压(可查看ISE公司的ITS-90 T型热电偶表)。这两个电压相加以得出热电偶的绝对温度值。

首先，V1是热电偶两条线之间测得的电压。通过查找表，测量RTD电压并转换为温度值；然后，该温度值再转换为它的等效热电偶电压(V2)。随后，V1和V2相加得出总热电偶电压值，此数值经转换后作为最终的温度测量值。

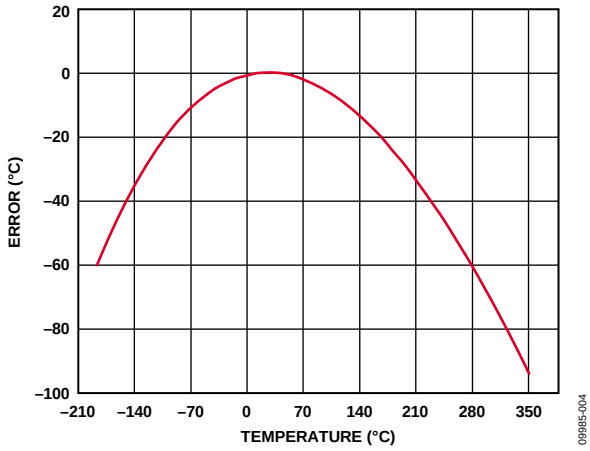


图4. 使用简单线性逼近法时的误差

最初，这一转换是基于一个简单的线性假设：热电偶的温度为40 µV/°C。从图4可以看出，只有针对0°C左右的小范围温度，如此转换所产生的误差才是可以接受的。计算热电偶温度的更好方法是对正温度使用6阶多项式，对负温度使用7阶多项式。这需要进行数学运算，导致计算时间和码字大小增加。适当的折衷是针对固定数量的电压计算相应的温度，然后将这些温度存储在一个数组中，其间的值利用相邻点的线性插值法计算。从图5可以看出，使用这种方法时误差显著降低。图5表示使用理想热电偶电压的算法误差。

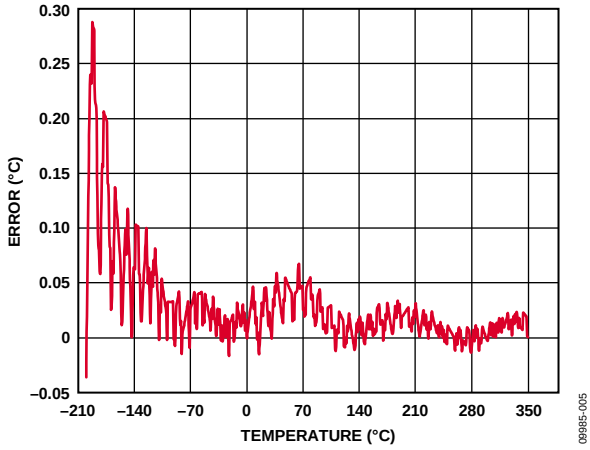


图5. 使用分段线性逼近法时的误差
(采用52个校准点和理想测量值)

图6表示在ADuCM360上采用ADC1测量全热电偶工作范围内的52个热电偶电压，所产生的误差。整体最大的误差为<1°C。

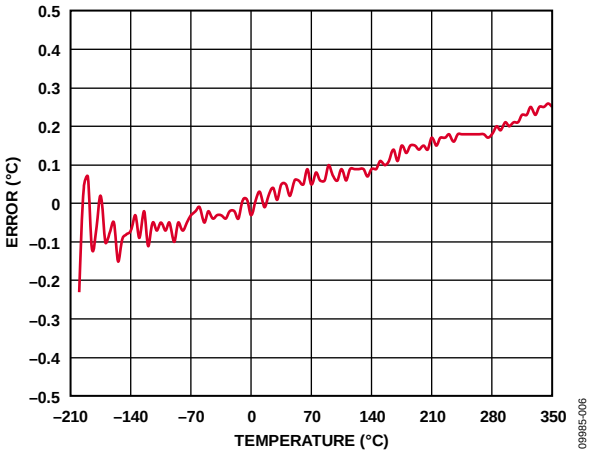


图6. 使用分段线性逼近法时的误差
(采用ADuCM360/ADuCM361测量的52个校准点)

像热电偶一样，RTD温度可使用查找表的方法计算与实现。注意，描述RTD温度与电阻关系的多项式与描述热电偶的多项式不同。

欲了解有关线性化和实现RTD最佳性能的详细信息，请参考应用笔记AN-0970：利用ADuC706x微控制器实现RTD接口和线性化。

常见变化

请注意，ADuCM360/ADuCM361可以通过标准串行接口编程或调试。

对于标准UART至RS-232接口，可以用ADM3202等器件代替FT232R收发器，前者需采用3 V电源供电。对于更宽的温度范围，可以使用其它热电偶，例如J型热电偶。为使冷结补偿误差最小，可以让一个热敏电阻与实际的冷结接触，而不是把它放在PCB上。

针对冷结温度测量，可以用一个外部数字温度传感器来代替RTD和外部基准电阻。例如，ADT7410可以通过I^2C接口连接到ADuCM360/ADuCM361。

有关冷结补偿的更多信息，请参阅ADI公司的《信号调理》第7章“温度传感器”。

如果USB连接器与本电路之间需要隔离，则应增加隔离器件ADuM3160/ADuM4160。

电路评估与测试

为测试与评估电路，将热电偶测量和RTD测量单独进行评估。

热电偶测量测试

基本测试设置如图7。热电偶与J5相连，必须安装J1跳线以便对AIN7/VBIAS引脚进行热电偶共模电压设置。电路板从PC的USB连接获得电源。

使用两种方法来评估本电路的性能。首先使用连接到电路板的热电偶来测量冰桶的温度,然后测量沸水的温度。

使用Wavetek 4808多功能校准仪来充分评估误差，如图4和图6所示。这种模式下，校准仪代替热电偶作为电压源，如图7所示。为了评估T型热电偶的整个范围，利用校准仪设置T型热电偶–200°C至+350°C的正负温度范围之间52个点的等效热电偶电压。(可查看ISE公司的ITS-90 T型热电偶表)。

为评估查找算法的精度，将551电压读数(等效温度范围：–200°C至+350°C，间隔+1°C)送往温度计算函数。图4和图5表示以线性法和分段线性逼近法计算的误差。

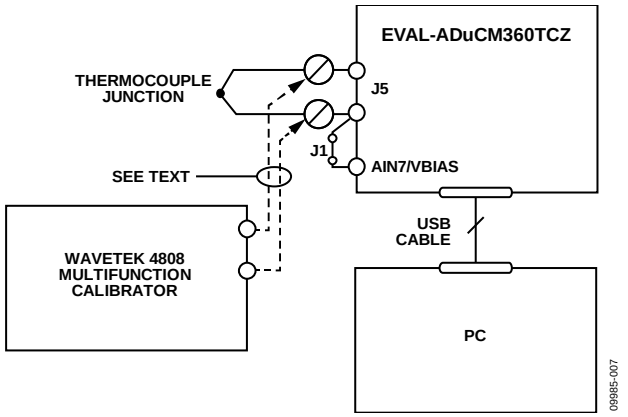


图7. 用于在热电偶完整输出电压范围内校准和测试电路的设置

RTD测量测试

为评估RTD电路和线性化源代码，以精确可调节的源电阻替代板上的RTD。采用仪器为1433-Z Decade Resistor。RTD值在90 Ω至140 Ω之间，表示的RTD温度范围为−25°C至+114°C。

图8表示测试设置电路，图9表示RTD测试的误差结果。

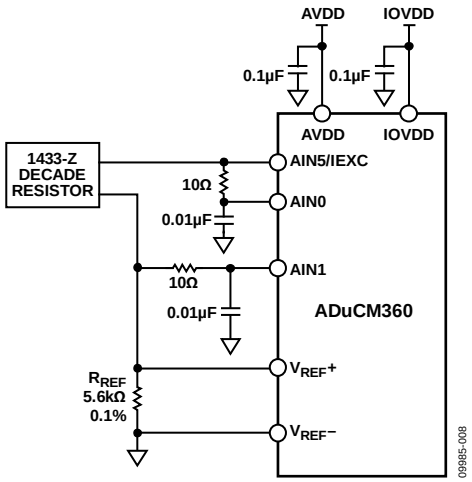


图8. 用于测量RTD误差的测试设置

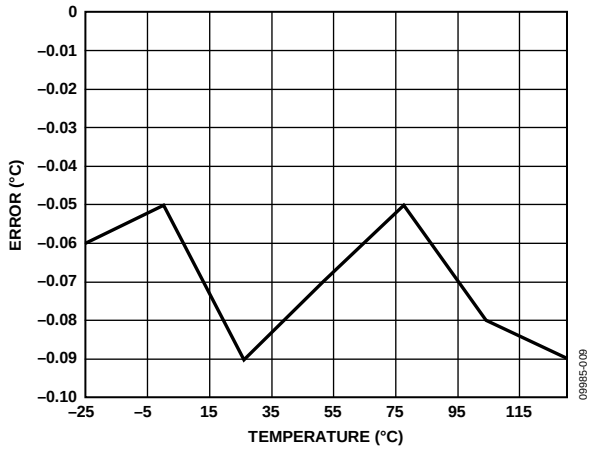


图9. RTD测量误差，以°C表示
（采用分段线性代码和ADC0测量）

更多资料

CN0221设计支持包：
http://www.analog.com/CN0221-DesignSupport

ADIsimPower设计工具。

Kester, Walt。1999年。*传感器信号调理*。ADI公司。第7章：温度传感器。

Kester, Walt。1999年。*传感器信号调理*。ADI公司。第8章：信号调理用ADC。

Looney, Mike。*使用ADuC706x微控制器实现RTD接口和线性化*。应用笔记AN-0970。ADI公司。

教程MT-022：*ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础*。ADI公司。

教程MT-023：*ADC架构IV：Σ-Δ型ADC的高级概念和应用*。ADI公司。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

ITS-90 T型热电偶表。

数据手册和评估板

ADuCM360/ADuCM361数据手册

ADuCM360/ADuCM361评估套件

ADM3202 UART至RS232收发器数据手册

ADP120数据手册

ADP1720数据手册

修订历史

2014年4月—修订版B至修订版C

更改电路功能与优势部分 1
更改电路描述部分 2
更改常见变化部分 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

2012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.

©2012–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN09985sc-0-4/14(C)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0225。

连接/参考器件	
AD8295	集成信号处理放大器的精密仪表放大器
AD8275	G = 0.2、电平转换、16位ADC驱动器
AD7687	16位、250 kSPS PulSAR差分ADC
ADR431	超低噪声XFET®基准电压源，具有吸电流和源电流能力

针对工业过程控制和自动化的高阻抗、高CMR、±10 V模拟前端信号调理

评估和设计支持

电路评估板

CN-0225电路评估板 (EVAL-CN0225-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所示电路是一个完整的模拟前端，它利用一个16位差分输入PulSAR® ADC对±10 V工业级信号进行数字转换。该电路仅利用两个模拟器件，来提供一路具有高共模抑制(CMR)性能的高阻抗仪表放大器输入、电平转换、衰减和差分转换功能。由于具有高集成度，该电路可节省印刷电路板空间，为常见的工业应用提供高性价比解决方案。

在过程控制和工业自动化系统中，典型的信号电平最高可达±10 V。而来自热电偶和称重传感器等传感器的信号输入则较小，因此常常会遇到大共模电压摆幅，这就需要灵活的模拟输入，它能以高共模抑制性能处理大小差分信号，同时具有高阻抗输入。

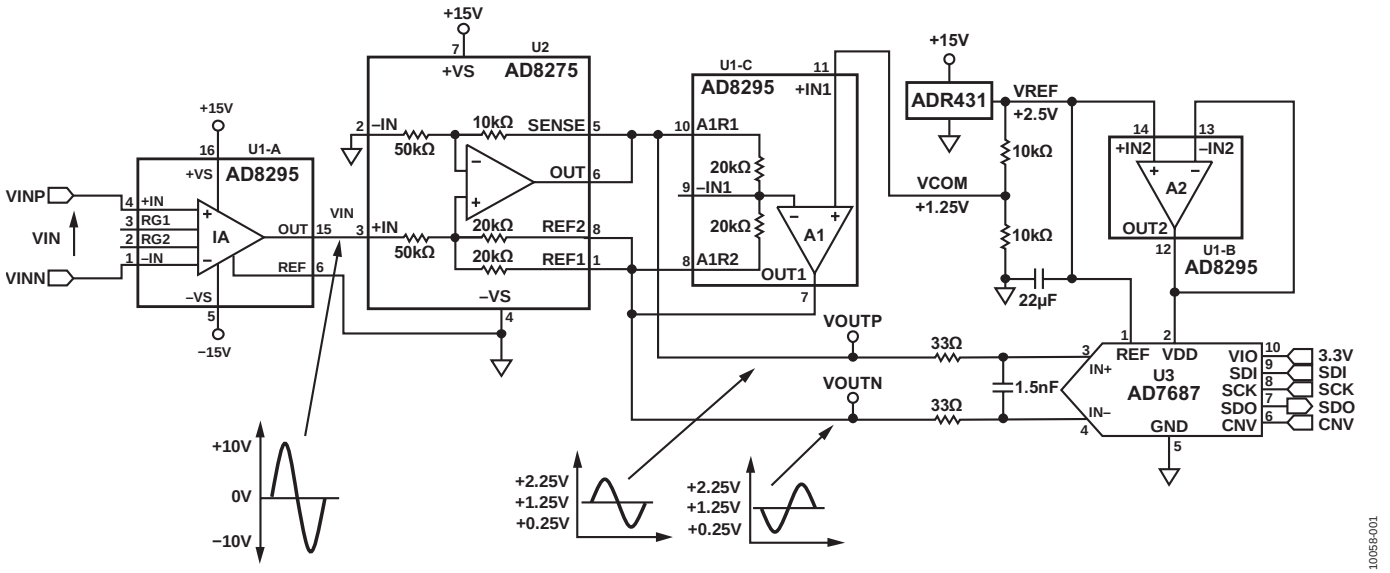


图1. 适合工业过程控制应用的高性能模拟前端（原理示意图：所有连接和去耦均未显示）

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 **www.analog.com/cn**
Fax: 781.461.3113 **©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

用现代低压ADC处理工业级信号时，必须进行衰减和电平转换。此外，全差分输入ADC具有以下优势：良好的共模抑制性能，更少的二阶失真产物，以及简化的直流调整算法。因此，工业信号需要经过进一步调理才能与差分输入ADC正确接口。

图1所示电路是一个完整且具有高集成度的模拟前端工业级信号调理器，仅使用两个有源器件来驱动差分输入16位PulSAR ADC AD7687：精密仪表放大器（片内集成两个辅助运算放大器）AD8295和电平转换器/ADC驱动器AD8275。低噪声2.5V XFET®基准电压源ADR431为ADC提供基准电压。

AD8295是一款精密仪表放大器，片内集成两个非专用信号处理放大器和两个精密匹配的20 kΩ电阻，采用4 mm × 4 mm封装。

AD8275是一款G = 0.2差动放大器，可以用来衰减±10 V工业信号，衰减后的信号可以与单电源低压ADC轻松接口。AD8275在该电路中执行衰减和电平转换功能，可以保持良好的CMR，无需任何外部元件。

AD7687是一款16位逐次逼近型ADC，采用2.3 V至5.5 V的单电源供电。它采用差分输入，具有良好的CMR，并且能够简化SAR ADC的使用。

电路描述

该电路由用作模拟前端电路的AD8295和AD8275、ADC AD7687以及基准电压源ADR431组成，只需少量外部元件进行去耦等。

仪表放大器（集成于AD8295）

AD8295中集成的仪表放大器 (IA) 的工作条件设置为1倍的增益。如果应用需要更高的增益，可以增加一个适当的外部增益电阻。AD8295的电源为±15 V，完全支持±10 V工业输入信号电平。仪表放大器的基准电压引脚接地，因此AD8295的输出以地为基准。

差动放大器/衰减器 (AD8275)

AD8295仪表放大器输出单端信号，最大幅度为±10 V。必须将该信号衰减并转换到适当的电平，以便驱动AD7687 ADC。如果在AD8295的输出端直接使用一个简单的阻性电平衰减器级，将无法提供差分输出来驱动ADC。AD8275 (G = 0.2) 电平转换器是一个差动放大器，内置精密激光调整匹配薄膜电阻，可确保低增益误差、低增益漂移（最大1 ppm/°C）和高共模抑制 (80 dB) 特性。AD8275具有+3.3 V至+15 V的宽电源电压范围，采用+5 V单电源供电时，输入电压范围宽达−12.3 V至+12 V。

驱动差分输入ADC

图1所示电路使用一个平衡差动放大器，它由AD8275 (U2)和AD8295中的一个非专用运放 (U1-C) 组成。此运放 (U1-C) 用于反转AD8275的正输出（从而提供互补的负输出），并且驱动AD8275的REF1和REF2引脚。差分输出的输出共模电压 (VCOM = 1.25 V) 由连接到2.5 V基准电压源的10 kΩ外部电阻分压器产生，并且应用于U1-C的同相输入。描述电路操作的方程式如下：

$$VOUTP + VOUTN = 2 \times VCOM$$

$$VOUTP = VOUTN + 0.2 \times VIN$$

$$VOUTP = VCOM + 0.1 \times VIN$$

$$VOUTN = VCOM - 0.1 \times VIN$$

根据以上方程式，对于±10 V输入电压，ADC的各输入电压（VOPTP和VOUTN）摆幅为0.25 V至2.25 V，彼此180°反相，共模电压为1.25 V。因此，差分信号使用ADC可用差分输入范围5 V中的4 V。

ADR431是2.5 V XFET系列基准电压源，具有低噪声、高精度和低温度漂移性能。ADR431驱动电阻分压器和AD7687 ADC的基准电压输入。ADR431输出由AD8295中的另一个非专用运放 (U1-B) 缓冲，并且驱动AD7687的电源 (VDD)。由两个33 Ω电阻和一个1.5 nF电容组成的一个单极点RC滤波器充当AD7687的3 MHz截止抗混叠和降噪滤波器。

布局布线考虑

该电路或任何高速/高分辨率电路的性能都高度依赖于适当的PCB布局，包括但不限于电源旁路、信号路由以及适当的电源层和接地层。有关PCB布局的详情，请参见指南MT-031、MT-101和*“高速印刷电路板布局实用指南”*一文。

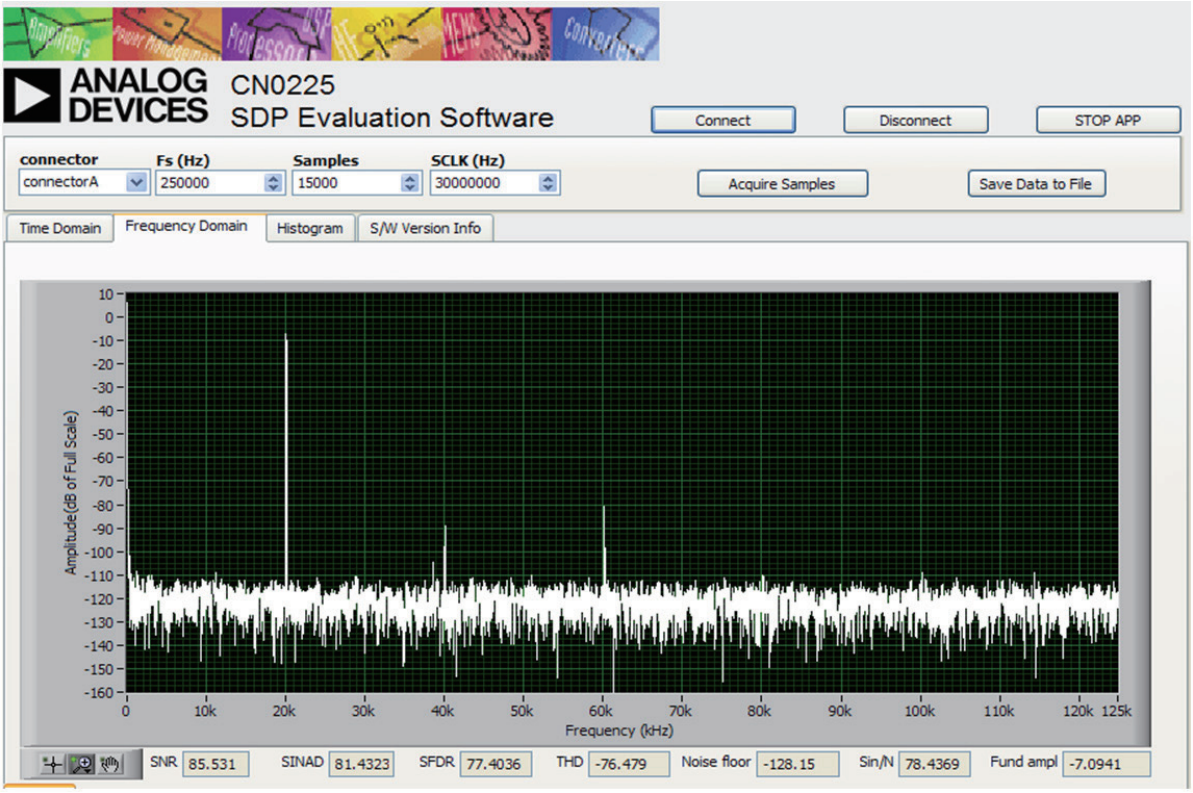


图2. Kaiser窗口（参数 = 20）、20 kHz输入、250 kSPS采样速率下的FFT

系统性能

交流性能在系统级进行测试，AD7687的采样速率为250 kSPS。图2所示为5 V p-p 20 kHz输入时的FFT测试结果。图3所示为10 V DC输入时的ADC输出直方图。

评估软件产生的结果如下：

- SNR = 85.531 dBFS（不含谐波）
- 信纳比 (SINAD) = 81.432 dBFS
- SFDR = 77.403 dBFS.
- THD = –76.479 dBFS

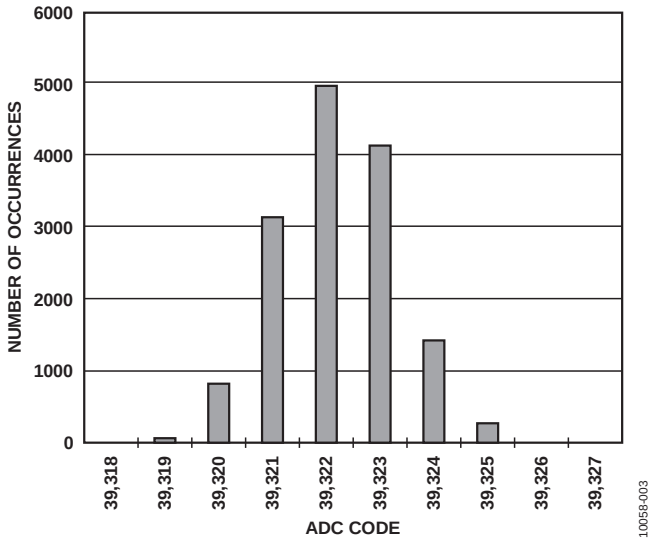


图3. 10 V DC输入时的直方图，15,000个样本

常见变化

PulSAR系列的其它引脚兼容差分输入16位ADC提供不同的采样速率：AD7684 (100 kSPS)、AD7688 (500 kSPS)和AD7693 (500 kSPS)。

如果需要18位分辨率，下列器件也是PulSAR系列的引脚兼容产品：AD7691 (250 kSPS)、AD7690 (400 kSPS) 和 AD7982 (1 MSPS)。

ADC的基准电压源可以换用2.048 V ADR430，它支持使用ADC更大比例的输入范围，不过AD7687将需要额外的AVDD电源。

电路评估与测试

本电路使用EVAL-CN0225-SDPZ电路板和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台（SDP）评估板。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。EVAL-CN0225-SDPZ板包含要评估的电路，如本笔记所述。SDP评估板与CN0225评估软件一起使用，可从EVAL-CN0225-SDPZ电路板获取数据。

设备要求

- 带USB端口的Windows XP、Windows Vista（32位）或Windows 7（32位）PC
- EVAL-CN0225-SDPZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP评估板
- 直流电源：+15 V、–15 V和+6 V
- 低失真单端或差分信号源，如Agilent 81150A或Audio Precision System Two 2322等

开始使用

将CN0225评估软件光盘放进PC的光盘驱动器，加载评估软件。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4所示为测试设置的功能框图。PDF文件“EVAL-CN0225-SDPZ-SCH”包含CN0225评估板的详细原理图。此文件位于CN0225设计支持包中：www.analog.com/CN0225-DesignSupport。

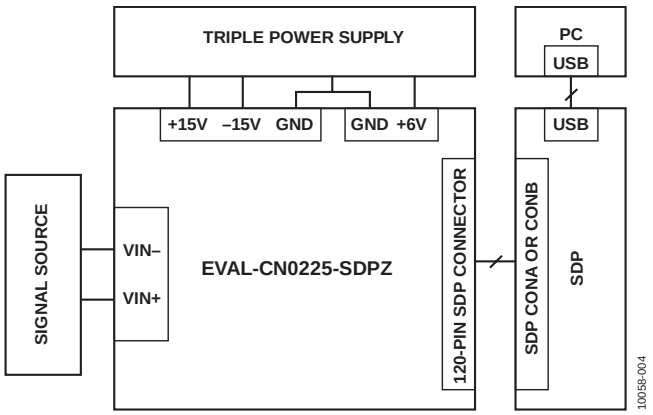


图4. 测试设置功能框图

设置

EVAL-CN0225-SDPZ电路板上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z (SDP) 评估板上标有“CONA”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。将直流输出电源成功设置为+15 V、-15 V和+6 V输出后，关闭电源。

在断电情况下，将一个+15 V电源连接到标有“+15 VA”的J3引脚，将一个–15 V电源连接到标有“–15 VA”的J3引脚，将“GND”连接到标有“AGND”的J3引脚。以同样方式将+6 V连接到J2。接通电源，然后将SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。注意：接通EVAL-CN0225-SDPZ的直流电源之前，请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

测试

设置好电源并将它连接到EVAL-CN0225-SDPZ电路板后，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。如果设备管理器中列出了Analog Devices System Development Platform驱动器，软件将能与SDP板通信。

一旦USB通信建立，就可以使用SDP板来发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0225-SDPZ板的串行数据。

本电路笔记中的数据利用Agilent 81150A差分信号源产生。

有关SDP板的信息，请访问：www.analog.com/zh/SDP。

更多资料

CN0225设计支持包：
www.analog.com/CN0225-DesignSupport

SDP用户指南

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

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0225电路评估板(EVAL-CN0225-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD8295数据手册

AD8275数据手册

AD7687数据手册

AD7687评估板

修订历史

2011 年 11 月—修订版 0 至修订版 A

更改“电路评估与测试”

2011 年 10 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" 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.

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10058sc-0-11/11(A)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0229。

连接/参考器件	
AD5750-2	输出范围可编程的工业电流/电压输出驱动器
AD5686R	四通道、16位nanoDAC+，内置2.5 V、2 ppm/°C片内基准电压源
ADuM5400	集成DC/DC转换器的四通道隔离器
ADuM1301	三通道数字隔离器

用于I/O卡和PLC应用的4通道、灵活、可配置、电压和电流输出电路

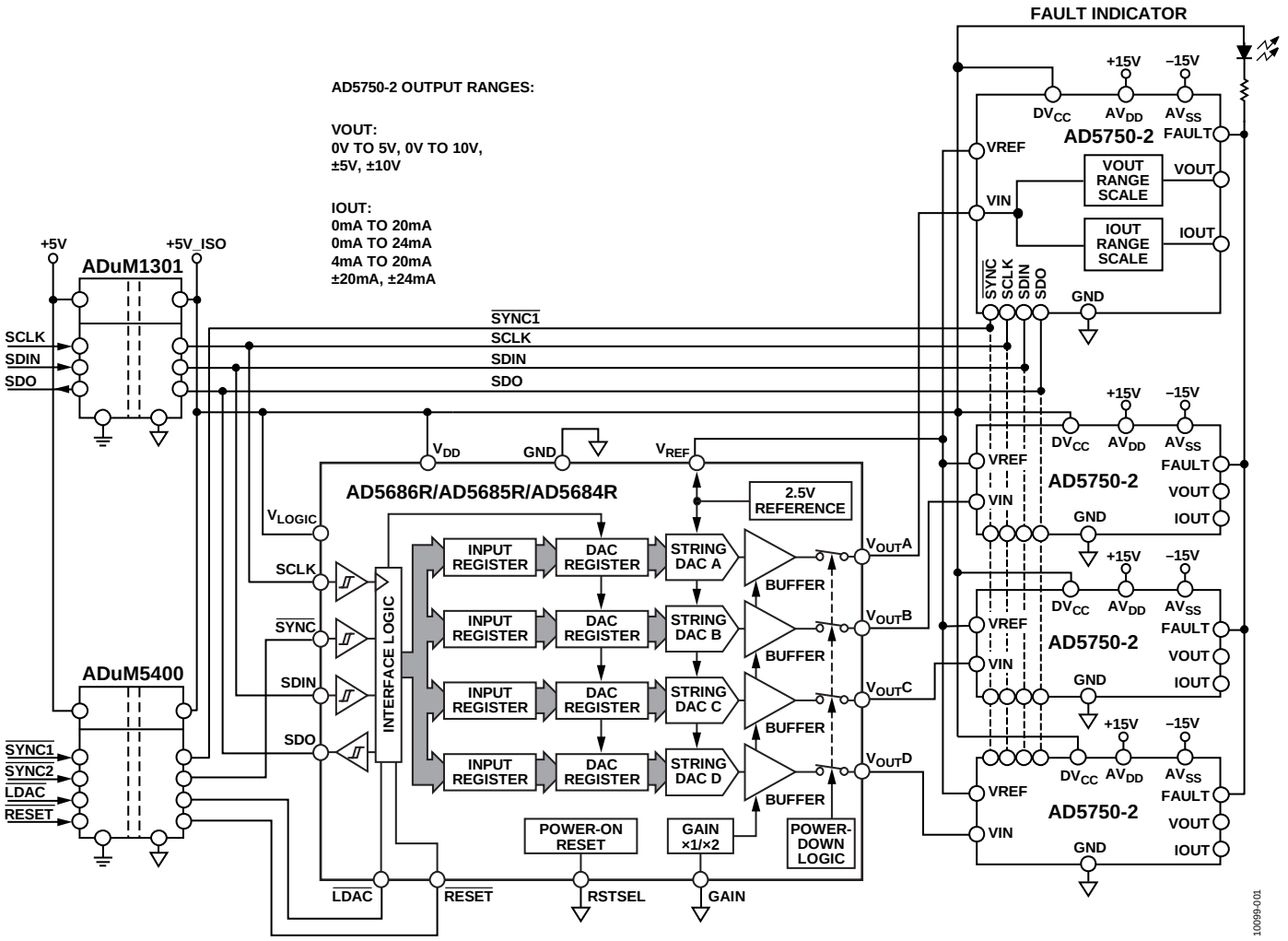


图1. 模拟输出电路的原理示意图(未显示所有连接和保护电路)

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

评估和设计支持

电路评估板

CN-0229电路评估板(EVAL-CN0229-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所示电路是一种仅使用两个模拟器件的多通道、灵活的模拟输出解决方案，它满足多通道I/O卡、可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS)应用的大部分要求。具有轨到轨缓冲输出的四通道、16位nanoDAC+AD5686R配合四个工业电流/电压输出驱动器AD5750-2使用，可提供所有典型的电流和电压输出范围、16位分辨率且无失码、0.05%的线性度以及小于0.1%的输出误差。

AD5686R具有高驱动能力(最高±5 mA)、超低漂移(2 ppm/°C，典型值)、2.5 V基准电压源，能够同时为AD5686R和AD5750-2提供基准电压，确保电路的低噪声、高精度、低温漂。

ADuM1301和ADuM5400对电源和模拟信号链与主机控制器之间的所有必要信号提供2500 V rms隔离。

对于需要4个以上通道的多通道I/O卡应用，多个AD5686R可以菊花链形式连接，且不需要额外的外部数字I/O电路。这样成本便降至最低，特别是对于高通道数隔离应用。

该电路还具有一些支持工业应用的重要特性，如片内输出故障检测、通过CRC执行分组差错检验(PEC)、灵活的上电选项和ESD保护(AD5686R为4 kV，人体模型，AD5750-2为3 kV，人体模型)，非常适合构建鲁棒的工业控制系统。在大批量生产中，它无需外部精密电阻或校准程序就能保持一致的性能，因而是PLC或DCS模块的理想选择。

电路描述

AD5750/AD5750-1/AD5750-2是单通道、低成本、精密电压/电流输出驱动器，设计用于满足工业过程控制应用的需要。输出电压范围可以针对PLC和DCS应用的标准输出范围进行编程：0 V至5 V、0 V至10 V、−5 V至+5 V和−10 V至+10 V。针对标准范围，还提供了20%的超范围设置，由此便可得到下列选项：0 V至+6 V、0 V至+12 V、-6 V至+6 V和-12 V至+12 V。

电流输出通过单独的引脚提供，可以编程为以下范围：+4 mA至+20 mA、0 mA至+20 mA、−20 mA至+20 mA、0 mA至+24 mA和−24 mA至+24 mA。单极性范围具有2%的超范围设置。

由于AD5750/AD5750-1/AD5750-2的电流输出既可以是源电流，也可以是吸电流，因此它能与广泛的传感器或执行器接口。如果需要，可以将电压和电流输出引脚连接在一起，以便将系统配置为单通道输出。

一般而言，电流输出电路需要至少一个精密电阻，用于电流检测。电路的电流精度和温度漂移特性部分取决于电阻和基准电压。AD5750/AD5750-1/AD5750-2内置高精度、低漂移电阻，如果需要还可以使用外部电阻。要提高输出电流在全温度范围内的稳定性，方法之一是在AD5750/AD5750-1/AD5750-2的REXT1和REXT2引脚连接一个外部低漂移电阻来替代内部电阻。外部电阻通过输入移位寄存器进行选择。如果不使用外部电阻选项，REXT1和REXT2引脚应保持悬空。

AD5686R是一款四通道、16位、轨到轨电压缓冲输出nanoDAC+，片内集成一个典型值为2 ppm/°C、最大值为5 ppm/°C的2.5 V基准电压源。片内基准电压源可驱动所有四个AD5750-2的基准输入，具有0.05 Ω的低输出阻抗，源电流和吸电流最高可达5 mA。AD5686R内置一个上电复位电路，确保DAC输出上电至0 V并保持该电平，直到执行一次有效的写操作为止。

AD5686R DAC与AD5750-2驱动器之间的接口简单，无需外部基准电压源或精密电阻。AD5686R的输出电压范围是0 V到2.5 V，与AD5750-2的输入范围匹配。此外，AD5686R的基准输出电压为2.5 V，与AD5750-2的基准输入要求完全匹配。

ADuM1301是一款三通道数字隔离器。ADuM5400是一款四通道数字隔离器，集成隔离式DC/DC转换器。它们均基于*i*Coupler®技术，用来在信号链与系统微控制器之间实现隔离，隔离额定值为2.5 kV rms。ADuM5400为副边的5 V电路提供5 V隔离电源。

用于PLC和DCS应用的器件所需的ESD保护和过压保护一般远高于形式上的推荐要求。AD5686R和AD5750-2的各引脚内置ESD保护二极管，可以防止4 kV(AD5686R)和3 kV(AD5750-2)瞬变(人体模型)损害器件。但是，工业控制环境可能会使I/O电路遭受高得多的瞬变。

使用外部54 V、600 W瞬变电压抑制器(TVS)作为增强ESD保护的第一级。在AD5750-2的VSENSE+和VSENSE−引脚上与1 kΩ、0.5 W电阻串联地放置肖特基功率二极管，在VOUT和IOUT引脚上放置50 mA、30 V自恢复保险丝。这些保护电路置于EVAL-CN0229-SDPZ电路板中，以提供50 V过压保护和50 mA过流保护。图1的原理示意图未显示可选的外部保护电路，但可以在CN0229设计支持包的详细原理图(**EVAL-CN0229-SDPZ-PADSSchematic** pdf文件)中找到：http://www.analog.com/CN0229-DesignSupport。

本电路必须构建在具有较大面积接地层的多层电路板(PCB)上。为实现最佳系统性能和低EMI，请采用适当的布局、接地和去耦技术(请参考指南MT-031——实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团以及指南MT-101——去耦技术)。

测量

对于PLC、DCS和其它过程控制系统，积分非线性(INL)、微分非线性(DNL)和输出误差是最重要的性能指标。AD5750-2具有非常灵活并且可配置的输出范围，可以满足应用需要。该电路的INL、DNL和输出误差测量结果分别如图2、图3和图4所示。数据是在25°C时在电压输出模式下获得的。AD5750-2范围设置为0 V至5 V。所有其它范围的测试结果如表1所列。

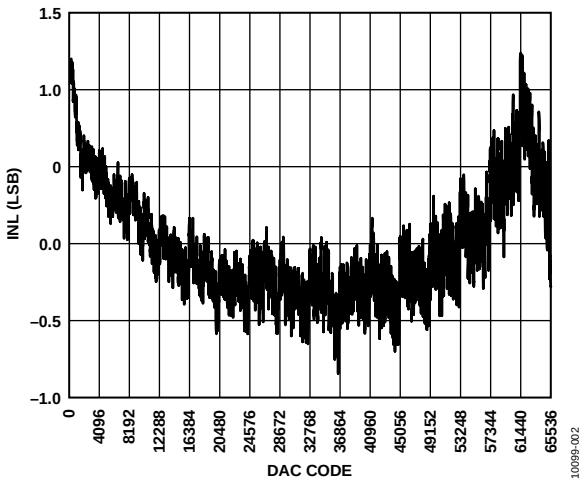


图2. 0 V至5 V输出范围的INL

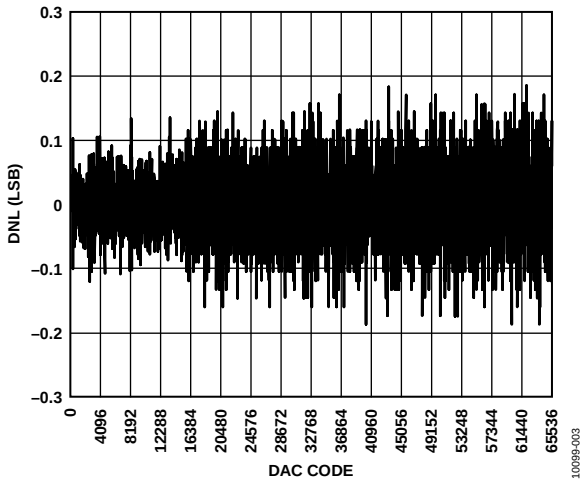


图3. 0 V至5 V输出范围的DNL

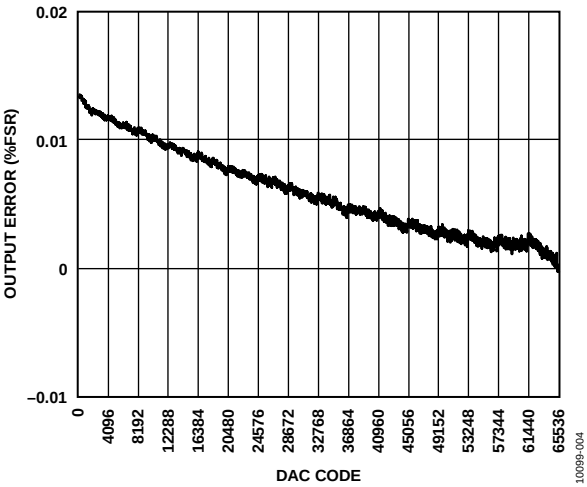


图4. 0 V至5 V输出范围的输出误差

表1. 所有输出范围的测试结果

范围	电流检测电阻	INL (LSB)	线性度(%FSR)	输出误差(%FSR)
0 V至+5 V	无关	1.3	0.002	0.01
0 V至+10 V	无关	1.1	0.002	0.02
−5 V至+5 V	无关	1.4	0.002	0.02
−10 V至+10 V	无关	1.2	0.002	0.02
0 V至+6 V	无关	1.9	0.003	0.02
0 V至+12 V	无关	1.4	0.002	0.05
−6 V至+6 V	无关	1.3	0.002	0.03
−12 V至+12 V	无关	1.7	0.003	0.05
−2.5 V至+2.5 V	无关	1.3	0.002	0.03
+4 mA至+20 mA	内部	5.3	0.008	0.07
0 mA至+20 mA	内部	4.2	0.006	0.06
0 mA至+24 mA	内部	2.9	0.004	0.05
−20 mA至+20 mA	内部	5.4	0.008	0.02
−24 mA至+24 mA	内部	3.9	0.006	0.02
+4 mA至+20mA	外部	2.0	0.003	0.04
0 mA至+20mA	外部	1.7	0.003	0.04
0 mA至+24mA	外部	1.6	0.002	0.04
−20 mA至+20 mA	外部	3.7	0.006	0.03
−24 mA至+24 mA	外部	4.4	0.007	0.03
+3.92 mA至+20.4 mA	内部	1.7	0.014	0.11
0 mA至+20.4 mA	内部	2.9	0.006	1.86
0 mA至+24.5 mA	内部	2.5	0.005	0.30

表1所示测试结果是在25°C下使用EVAL-CN0229-SDPZ电路板的第一通道和Agilent E3631A直流电源，利用Agilent 34401A数字万用表测得的。

注意，客户需要调整输出范围3.92 mA至20.4 mA、0 mA至20.4 mA和0 mA至24.5 mA，以便与4 mA至20 mA、0 mA至20 mA和0 mA至24 mA范围完全匹配。0 mA至20.4 mA范围下的1.86% FSR输出误差包括增益误差，增益误差由客户通过校准轻松消除。

死区以GND为参考，低至约10 mV。所有线性度测试结果使用一个递减的数据范围256到65,535计算。对于3.92 mA至20.4 mA、0 mA至20.4 mA和0 mA至24.5 mA，低死区大于其他标准范围，测量数据范围为1000到65,535。

常见变化

AD5685R(14位)和AD5684R(12位)与AD5686R引脚兼容，适合不需要16位分辨率的应用。

对于需要通道间隔离的应用，单通道DAC(例如16位的AD5660、14位的AD5640和12位的AD5620)是较好的选择。

对于单通道应用，详情参见CN-0202、CN-0203和CN-0204电路笔记。

AD5623R(12位)、AD5643R(14位)和AD5663R(16位)是双通道nanoDAC，AD5624R(12位)、AD5644R(14位)和AD5664R(16位)是四通道nanoDAC器件，均适合多通道应用。AD5628/AD5648/AD5668是八通道12/14/16位SPI电压输出denseDAC，片内集成5 ppm/°C基准电压源。

AD5750和AD5750-1驱动器与AD5750-2引脚兼容。AD5750在4.096 V基准电压下可接受0 V至4.096 V的输入。AD5750-1在1.25 V基准电压下可接受0 V至2.5 V的输入。AD5751是单极性模拟输出驱动器，使用50 V AVDD电源时，可以提供40 V输出。

电路评估与测试

设备要求(可以用同等设备代替)

- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- CN-0229电路评估板(EVAL-CN0229-SDPZ)
- CN-0229评估软件
- Agilent 34401A 6.5数字万用表
- Agilent E3631A 0 V至~6 V/5 A ±25 V/1 A三路输出直流电源
- 带USB接口的PC(Windows® 2000或Windows XP)
- National Instruments GPIB转USB-B接口和电缆

开始使用

将CN-0229评估软件光盘放入PC的光盘驱动器，加载评估软件。打开"**My Computer**(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5所示为测试设置的功能框图。**EVAL-CN0229-PADSSchematic** pdf文件包含CN-0229评估板的详细电路原理图。此文件位于CN-0229设计支持包中：**http://www.analog.com/CN0229-DesignSupport**。

设置

EVAL-CN0229-SDPZ电路板上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z (SDP)评估板上的CON A或CON B连接器。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。将直流输出电源成功设置为+15 V、−15 V和+6 V输出后，关闭电源。

在断电情况下，将一个+15 V电源连接到CN1的+15 V引脚，将一个−15 V电源连接到CN1的−15 V引脚，将GND连接到CN1的GND引脚。以同样方式将+6 V连接到CN2。接通电源，然后将SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。注意：接通EVAL-CN0229-SDPZ的直流电源之前，请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

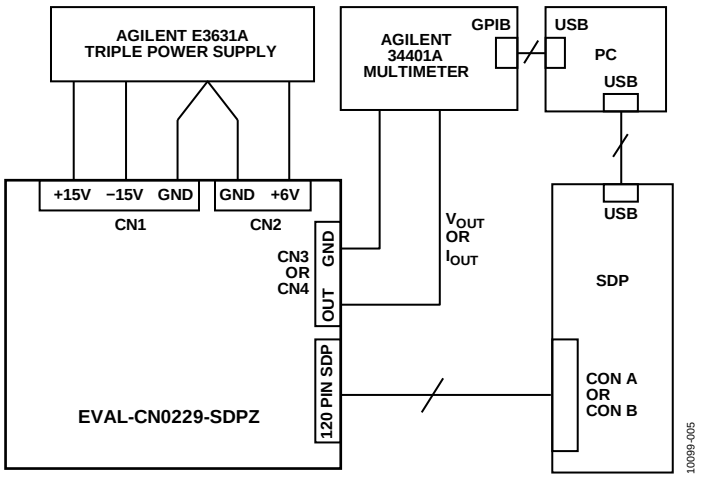


图5. 测试设置功能框图

表2. EVAL-CN0229-SDPZ的跳线设置(以粗体字显示的值为默认设置)

跳线[1]	描述	设置	功能
JP1_[CH]	VSENSE+设置	**短路**	**通道[CH]的VSENSE+与VOUT内部短接[CH]。**
		开路	通道[CH]的VSENSE+与VOUT无内部连接。
JP2_[CH]	VSENSE−设置	**短路**	**通道[CH]的VSENSE−与GND内部短接。**
		开路	通道[CH]的VSENSE−与VOUT无内部连接。
JP3_[CH]	VOUT和IOUT引脚短路	短路	通道[CH]的VOUT和IOUT短接在一起。
		开路	**通道[CH]的VOUT和IOUT无内部连接。**
JP4_[CH]	设置外部补偿电容	短路	为通道[CH]增加1 nF补偿电容。
		开路	**移除通道[CH]的1 nF补偿电容。**

[1]注意：[CH] = 1、2、3或4。

测试

设置好测试设备后，将CN3的VOUT引脚或CN4的IOUT引脚连接到Agilent 34401A的输入端。根据输入信号类型(电流或电压)，确保Agilent 34401A前面板上的电缆连接正确。测试INL、DNL和输出误差需要相当长的时间，因为AD5686R 16位DAC的所有电平都需要由Agilent 34401A设置并测量。

利用CD中提供的软件，可以通过PC设置DAC代码。需要使用自动测试程序来逐步测试各个代码并分析数据。CD中未提供此程序，必须由客户根据测试设置所用特定万用表的要求予以实现。

在图5所示的测试配置中，利用National Instruments GPIB转USB-B接口和电缆，Agilent 34401A万用表的GPIB输出与PC上的另一个USB端口接口。这样，万用表读数就能与载入PC中Excel电子表格的各代码对应。然后根据业界标准定义分析这些数据，以获得INL、DNL和输出误差。

欲详细了解参数定义以及如何从测量数据计算INL、DNL和输出误差，请参阅AD5686R数据手册的“术语”部分和以下文献：数据转换手册第 5 章“ 测试数据转换器”，ADI公司。

更多资料

CN-0229设计支持包：
http://www.analog.com/CN0229-DesignSupport

Slattery, Colm、Derrick Hartmann和Li Ke。PLC评估板简化工业过程控制系统的设计。*模拟对话*，2009年4月。

电路笔记CN-0202：*灵活的高精度、低漂移、PLC/DCS模拟输出模块。*

电路笔记CN-0203：*仅使用两个模拟器件的灵活PLC/DCS模拟输出模块。*

电路笔记CN-0204：*灵活的高电压、高精度、低漂移PLC/DCS模拟输出模块。*

电路笔记CN-0063：*使用AD5662 DAC、ADuM1401数字隔离器和外部放大器构建16位完全隔离式电压输出模块。*ADI公司。

电路笔记CN-0064：*使用AD5662 DAC、ADuM1401数字隔离器和外部放大器构建16位完全隔离式4 mA至20 mA输出模块。*ADI公司。

电路笔记CN-0065：*利用单芯片电压和电流输出DAC AD5422及数字隔离器ADuM1401构建16位全隔离输出模块。*ADI公司。

电路笔记CN-0066：*基于24位Σ-Δ型ADC AD7793和数字隔离器ADuM5401的全隔离输入模块。*ADI公司。

电路笔记CN-0067：*基于24位Σ-Δ型ADC AD7793、数字隔离器ADuM5401和高性能仪表放大器的全隔离输出模块。*ADI公司。

电路笔记CN-0097：*利用AD5412提供12位电压和4mA至20mA输出简化解决方案。*ADI公司。

电路笔记CN-0209：*适合过程控制应用的完全可编程通用模拟前端。*ADI公司。

AN-0971：isoPower器件的辐射控制建议。作者：Mark Cantrell

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

教程MT-101：*去耦技术。*ADI公司。

Walt Kester，*传感器信号调理实用设计技巧。*ADI公司，1999年。ISBN 0-916550-20-6

Walt Kester，*数据转换手册*，第5章。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0229电路评估板(EVAL-CN0229-SDPZ)
系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
AD5750-2数据手册和评估板
AD5686R数据手册和评估板
ADuM5400数据手册和评估板
ADuM1301数据手册和评估板

修订历史

2012年4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.

©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10099sc-0-4/12(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0233。

连接/参考器件	
ADuM3471	集成变压驱动器和PWM控制器的四通道隔离器
AD5422	16位电流源和电压输出DAC
ADR445	5.0 V精密基准电压源

16位工业、隔离电压电流输出的DAC，同时提供隔离的DC-DC电源

评估和设计支持

电路评估板

CN0233电路评估板(EVAL-CN0233-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所示电路提供16位全隔离±10 V和4 mA至20 mA输出，适合可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS)。

该电路采用数字隔离、PWM控制型电源调节电路和相关的反馈隔离。外部变压器能使电能跨越隔离栅传输，同时整个电路采用初级端的+5 V单电源工作。该解决方案优于隔离式电源模块——电源模块通常体积庞大，而且输出调节可能不佳。

数字隔离器比光隔离器性能更佳，尤其是需要多通道隔离的场合。集成式设计将电路与本地系统控制器相隔离，以防形成接地环路，同时确保不受恶劣的工业环境经常会遇到的外部事件影响。

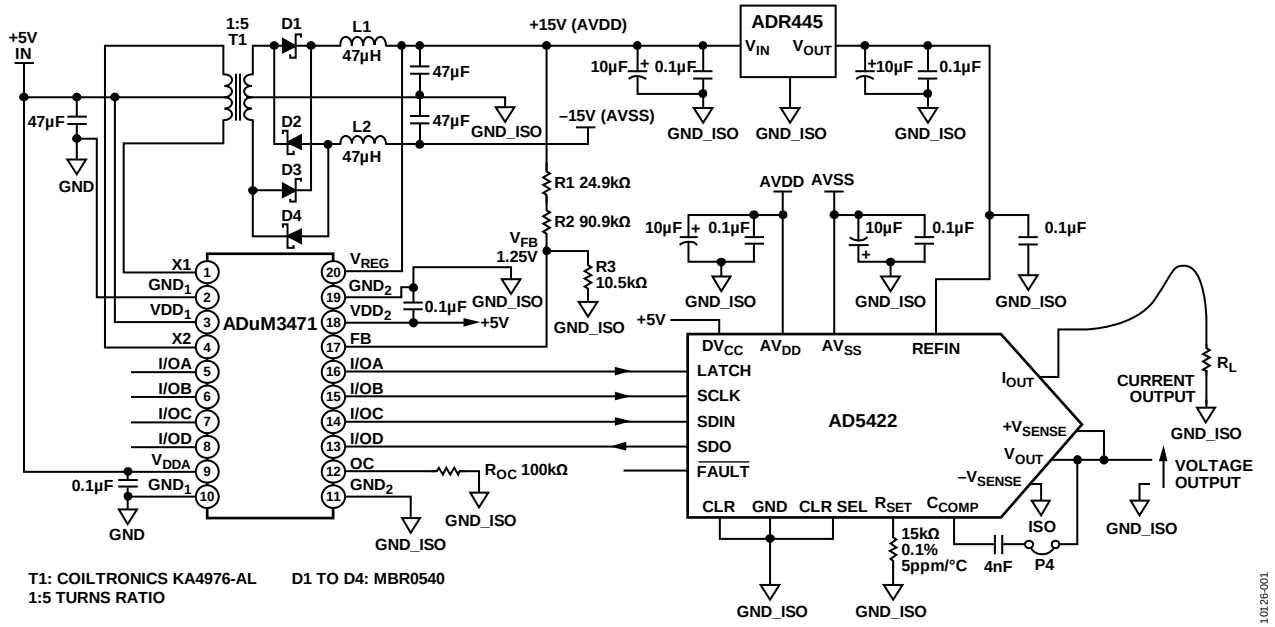


图1. 带隔离电源的16位隔离式电流和电压输出DAC

Rev. A

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.cn
Fax: 781.461.3113 ©2011–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

AD5422是一款完全集成、完全可编程的16位电压和电流输出DAC，可编程范围如下：4 mA至20 mA、0 mA至20 mA、0 V至5 V、0 V至10 V、±5 V、±10 V。电压输出裕量典型值为1 V，电流输出需要大约2.5 V的裕量。这意味着，采用15 V电源时，20 mA电流输出可以驱动大约600 Ω的负载。

ADuM347x为四通道数字隔离器，集成PWM控制器和低阻抗变压器驱动器(X1和X2)。隔离式DC/DC转换器仅需要以下额外器件：变压器和简单的二极管全波整流器。采用5.0 V或3.3 V输入电源时，器件最多可提供2 W的隔离侧调节功率，这样就不需要单独的隔离式DC/DC转换器。

*i*Coupler芯片级变压器技术用于隔离逻辑信号；集成的变压器驱动器带隔离副边控制功能，可以提高隔离式DC/DC转换器的效率。内部振荡器频率可以在200 kHz至1 MHz范围内调整，由R_{OC}的值决定。当R_{OC} = 100 kΩ时，开关频率为500 kHz。

ADuM3471调节点来自15 V正电源。调节反馈来自分压器网络(R1、R2、R3)。电阻根据以下要求选择：当输出电压为15 V时，反馈电压为1.25 V。反馈电压与ADuM3471内部反馈设定点电压1.25 V相比较。调节通过改变驱动外部变压器的PWM信号的占空比来实现。

负电源的调节不太严格，对于轻负载，负电源可以高达−23 V，这仍然在AD5422的−26.4 V最大工作电压以内。对于1 kΩ以上的标称负载，负电源较大的未调节电压导致的额外功耗不是问题。在对电源变化敏感或极低功耗的应用中，应当考虑其它电源设计。

该电路利用5 V、高精度、低漂移(B级最大值为3 ppm/°C)外部基准电压源ADR445进行测试。在工业温度范围内(−40°C至+85°C)，该电路的总系统误差小于0.1%。

AD5422内部集成一个高精度基准电压源，其最大温漂为10 ppm/°C。若用该基准电压源代替外部基准电压源，则在整个工业温度范围内，只会产生0.065%的额外误差。

测试数据与结果

AD5422差分非线性(DNL)经过测试，可确保系统精度不会因为开关电源而有所损失。图2显示了±10V范围内的DNL。此结果表明DNL误差小于0.5 LSB。

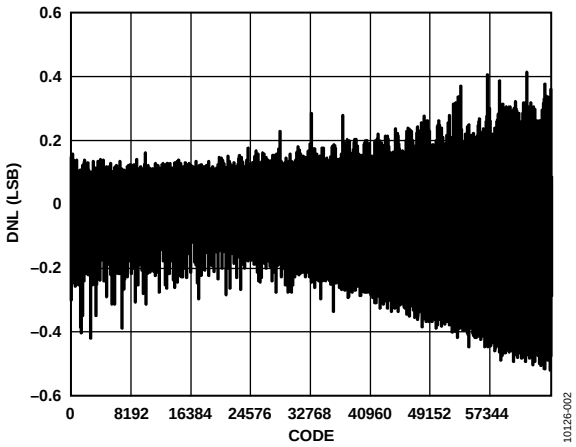


图2. 电路的DNL测量结果(±10 V输出范围)

此外还测试并测量了一定时间内的平均输出噪声，如图3所示。总漂移大约为75 μV，对应仅0.25 LSB的噪声。

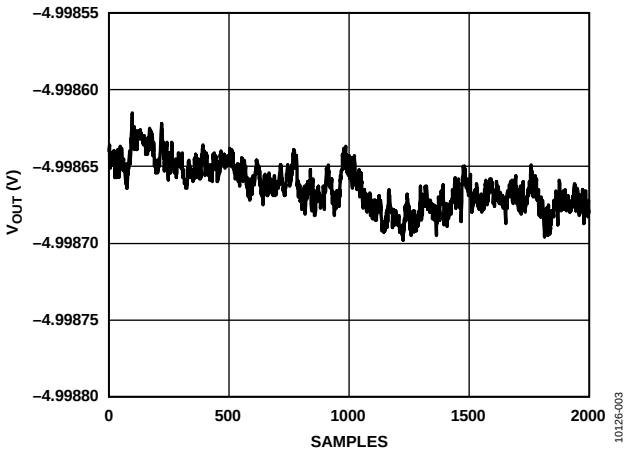


图3. ±10 V输出范围下，DAC输出设为−5 V时测得的平均DAC输出噪声，垂直刻度： 50 μV/div (1 LSB = 305 μV)，2000个样本

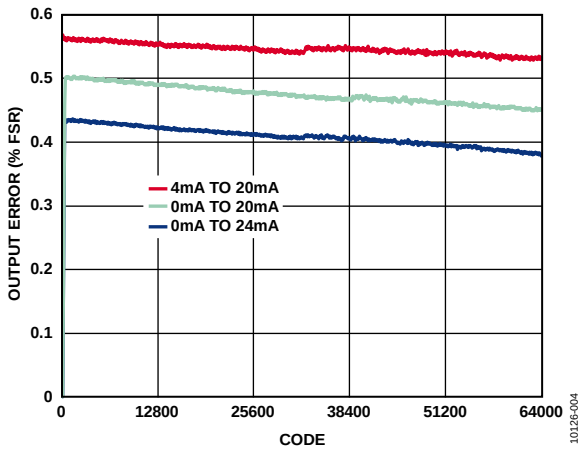


图4. 电流输出范围内的测量误差(% FSR)

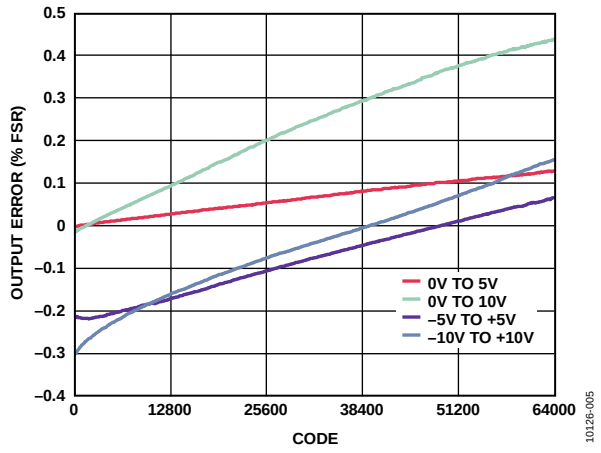


图5. 电压输出范围内的测量误差(% FSR)

电路的实际误差数据见图4和图5。输出电流和电压的总误差(% FSR)通过将理想输出与测量输出之差除以FSR，然后将结果乘以100即可算出。如图4和图5所示，在电流和电压输出模式下均获得了低于0.5% FSR的误差。

如果V_{OUT}引脚必须驱动高达1 µF的大电容负载，那么通过跳线连接电路板上的P4引脚，就可在AD5422的V_{OUT}引脚和C_{COMP}引脚之间连接一个3.9 nF电容。然而，增加此电容会降低输出放大器的带宽，从而增加建立时间。

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。如果应用只需要4 mA至20 mA电流输出，则可以使用单电源方案。这种情况下，正AVCC电源可以高达26.4 V，因此输出顺从电压为26.4 V – 2.5 V = 23.9 V。输出电流为20 mA时，可以驱动高达1 kΩ的负载电阻。

如果应用不需要16位分辨率，可以使用12位产品AD5412。

ADuM347x(ADuM3470、ADuM3471、ADuM3472、ADuM3473、ADuM3474)隔离器提供四个独立的隔离通道，支持多种输入/输出通道配置。这些器件还提供1 Mbps(A级)或25 Mbps(C级)的最大数据速率。

电路评估与测试

该电路使用EVAL-CN0233-SDPZ电路板连接EVAL-SDP-CB1Z板进行测试，如图6所示。

用于收集测试数据的设备

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista®(32位)或Windows 7(32位)PC
- EVAL-CN0233-SDPZ
- EVAL-SDP-CB1Z
- 电源：+6 V壁式电源适配器、Agilent E3630A或同等设备
- Agilent 3458A、8.5位数字万用表或同等设备
- National Instruments GPIB转USB-B接口与电缆(仅在捕捉DAC模拟数据并将其传送到PC时才需要)

设置与测试

该电路同时连接EVAL-CN0233-SDPZ评估板和EVAL-SDP-CB1Z评估板进行测试和验证，如图6所示。

通过CN-0233评估软件使用图6中的设置捕捉EVAL-CN0233-SDPZ电路板的数据。有关使用该软件的详情，请参考CN-0233软件用户指南。

DNL、噪声数据和实际FSR误差可如下方式获取：使用EVAL-SDP-CB1Z板连接PC，将DAC数据输入EVAL-CN0233-SDPZ评估板，然后通过3485万用表读取电压或电流输出结果。GPIB/USB接口用来将数据传输到PC，以供分析使用。CN0233评估软件用来产生DAC所需的数据。

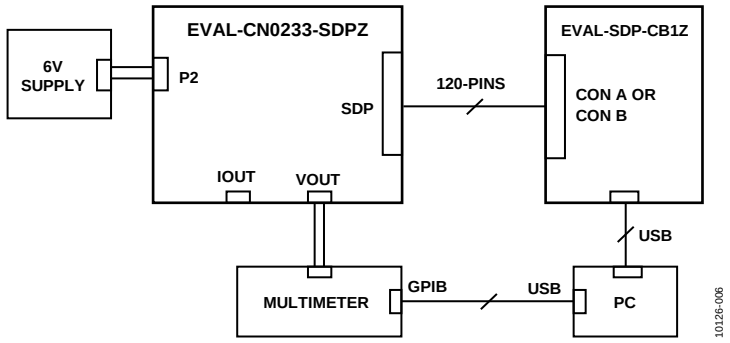


图6. 显示评估板连接的测试设置功能框图

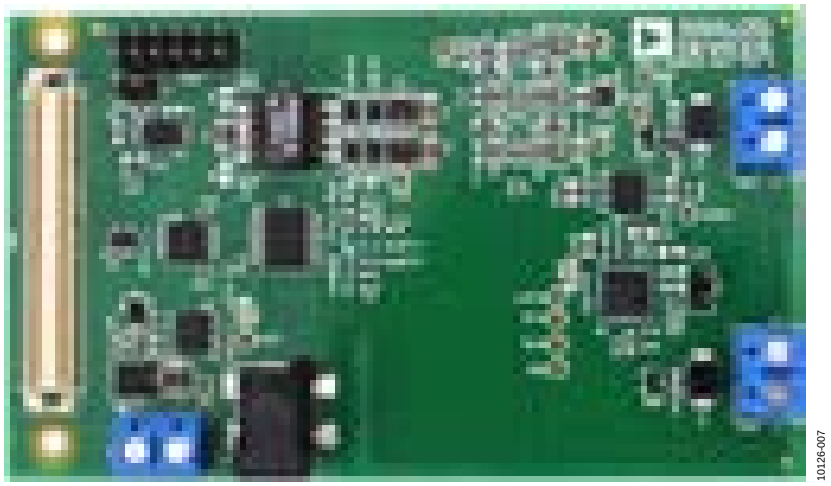


图7. EVAL-CN0233-SDPZ PC板照片

更多资料

CN-0233设计支持包：
http://www.analog.com/CN0233-DesignSupport

电路笔记CN-0065：*利用单芯片电压和电流输出DAC AD5422及数字隔离器ADuM1401构建16位全隔离输出模块*。ADI公司。

Cantrell, Mark。应用笔记AN-0971：isoPower器件的辐射控制建议。ADI公司。

Chen, Baoxing。2006年。*采用isoPower™技术的iCoupler®产品：利用微变压器跨越隔离栅实现信号和电源传输*。ADI公司。

教程MT-014：*DAC基本架构I：DAC串和温度计（完全解码）DAC*。ADI公司。

教程MT-015：*DAC基本架构II：二进制DAC*。ADI公司。

教程MT-016：*DAC基本架构III：分段DAC*。ADI公司。

Slattery, Colm、Derrick Hartmann和Li Ke。PLC评估板简化工业过程控制系统的设计。*模拟对话*，2009年4月。

Wayne, Scott。*i*Coupler®*数字隔离器保护工业、仪器仪表和计算机应用中的RS-232、RS-485和CAN总线。模拟对话*，2005年10月。

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

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

EVAL-CN0233-SDPZ

EVAL-SDP-CB1Z

AD5422数据手册

AD5422评估板(EVAL-AD5422EBZ)

ADuM3471数据手册

ADuM3471评估板(EVAL-ADuM3471EBZ)

ADuM3471评估板用户指南UG-197

ADR445数据手册

修订历史

2014年3月—修订版0至修订版A

更改电路功能与优势部分和图1 1
更改电路描述部分和图2；增加测试数据与结果部分和图4，重新排序；更换图3 2
增加图5；更改电路评估与测试部分、用于收集测试数据的设备部分和设置与测试部分 3
更改图6；增加图7 4

2011年10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.

©2011–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10126sc-0-3/14(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0247。

连接/参考器件	
AD7091R	超低功率、12位、1 MSPS ADC
AD8031	2.7 V、800 µA、80 MHz轨到轨输入/输出 单路放大器

12位、1 MSPS、单电源、低功耗数据采集系统

评估和设计支持

电路评估板

AD7091R评估板(EVAL-AD7091RSDZ)

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中的电路是超低功耗数据采集系统，采用12位、1 MSPS SAR ADC AD7091R和运算放大器驱动器AD8031，电路的总功耗低于5 mW，采用3 V单电源供电。

所选器件的低功耗和小封装尺寸使得这种组合成为业界领先的便携式电池供电系统解决方案，在这种系统中功耗、成本和尺寸极为关键。

当V_{DD}引脚为3 V时，AD7091R的电源电流典型值仅为350 µA，远低于目前市场上的任何ADC竞争产品。这意味着典型功耗约为1 mW。

AD8031仅需800 µA的电源电流，电源电压为3 V时的典型功耗为2.4 mW，在10 kHz模拟输入信号下以1 MSPS的速率进行采样时，系统总功耗低于5 mW。

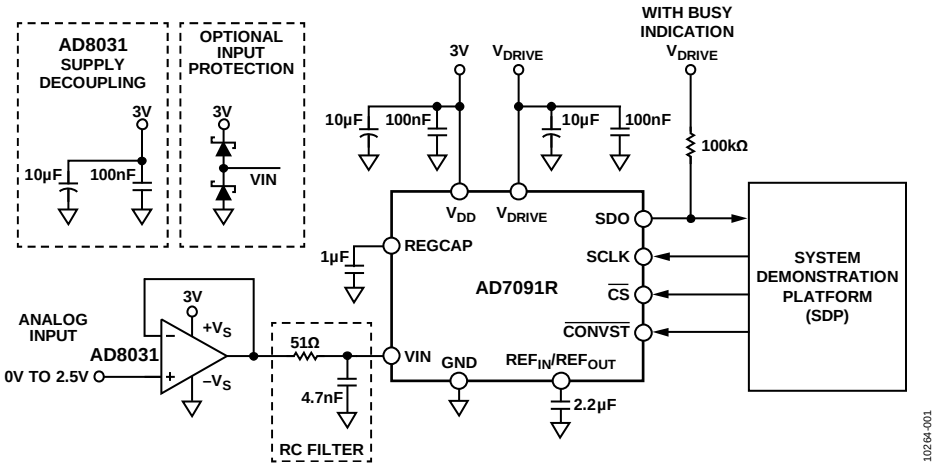


图1. 集成驱动器的12位、1 MSPS低功耗ADC(原理示意图：未显示所有连接)

Rev. B

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.cn
Fax: 781.461.3113 ©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

针对模拟信号，大多数SAR ADC需要合适的输入缓冲器以获得最佳性能。当内部采样保持开关从保持切换到采样时，缓冲器可将信号源与ADC输入产生的瞬变相互隔离。驱动ADC的缓冲器必须从该瞬变中恢复，并在ADC采集时间之内建立至所需精度。 这在信号源具有高阻抗，并且低失真和高信噪比极为关键的应用中尤为重要。 因此，选择合适的缓冲器运算放大器便成为该设计中极为重要的一个环节。

AD7091R是一款12位、快速、超低功耗、单电源供电ADC，集成2.5 V内部基准电压源。该器件可采用2.7 V至5.25 V电源供电。AD7091R的吞吐速率可达1 MSPS。当输入信号为10 kHz、采样速率为1 MSPS时，该器件的总功耗约为2.3 mW。

在无需1 MSPS采样频率的应用中，这一数字将下降，因为AD7091R的功耗与吞吐速率成正比，如表1所示。

可通过降低转换器的吞吐速率而进一步降低功耗。表1显示当电源为3 V且器件工作在普通模式下，AD7091R的典型功耗与吞吐速率的关系。

表1表示在省电模式下可减少的功耗。当AD7091R工作在较低的吞吐速率时，省电模式对于大幅度降低电源需求极为有效。

AD7091R采用小型3 mm×2 mm、10引脚LFCSP或3 mm×5 mm、10引脚MSOP封装。两款封装与同类竞争解决方案相比，大幅度节省了空间。

AD8031是一款低功耗轨到轨输入/输出运算放大器，是驱动AD7091R合适的放大器。AD8031采用2.7 V至12 V电源供电，支持通过一个供电轨驱动两个IC。AD8031带宽为80 MHz，压摆率为30 V/μs，达到0.1%精度的建立时间为125 ns。

当采用单电源工作时，AD8031的输出可达负供电轨的20 mV以内。 若要达到0 V输入的线性度，则AD8031需要一个额外的负电源(参考指南MT-035)。

图1显示了简化电路图。使用100 nF和10 μF陶瓷电容可对IC电源引脚实现良好的接地去耦。将这些电容放置于尽可能靠近两个IC的电源引脚的位置。

切记，该ADC的模拟输入信号不能超过供电轨300 mV以上。如果信号超过此电平，内部ESD保护二极管将呈正偏，并开始向基板内传导电流。在不会导致不可恢复的器件损坏的条件下，二极管的最大导通电流为10 mA。可通过在VIN和AD7091R的电源供电轨之间连接一对肖特基二极管达到保护的作用，如指南MT-036中所描述。

AD7091R集成了一个内部2.5 V基准电压。针对REF_{IN}/REF_{OUT}引脚的良好去耦可达到指定的性能。REF_{IN}/REF_{OUT}电容的典型值为2.2 μF。注意高于内部基准源电压的外部基准电压源同样可以驱动该ADC。

若使用了外部基准电压，则该电压范围必须为2.7 V至V_{DD}，并且必须连接REF_{IN}/REF_{OUT}引脚。调节器旁路(REGCAP)去耦电容的典型值为1 μF。

施加于V_{DRIVE}输入的电压控制串行接口的逻辑电平电压。将该引脚连接至逻辑系列的电源电压，该电源电压与AD7091R数字输出相连。可将V_{DRIVE}设为1.8 V至V_{DD}范围内的值。V_{DRIVE}去耦电容的典型值为100 nF，与10 μF并联。

若需忙碌指示功能，可在V_{DRIVE}和SDO引脚之间连接一个100 kΩ的上拉电阻。

用于缓冲AD7091R模拟输入的AD8031被配置成一个单位增益缓冲器。在运算放大器的输出级后面连接一个单极点RC滤波器，以降低带外噪声。RC滤波器的截止频率设为660 kHz。然而，根据系统吞吐速率的要求，该参数可能有所不同。对于AD7091R未工作在最大吞吐速率下的系统，可降低滤波器的截止频率。取决于模拟信号的输入幅度和失调，可将AD8031运算放大器配置成提供增益、衰减和电平转换，以匹配ADC模拟输入范围的输入信号摆幅。

表1. AD7091R在3 V、普通模式下的典型功耗与吞吐速率的关系

模式	I_{DD}	I_{DRIVE}	I_{AMP} (μA)	总电流(μA)	总功耗(mW)
省电	550 nA	36 nA	766	767	2.3
静态(上电、输入接地、无时钟)	21 μA	81 nA	766	787	2.4
工作(上电、10 kHz输入、1 MSPS采样)	368 μA	406 μA	766	1540	4.6
工作(上电、输入接地、1 MSPS采样)	344 μA	35 μA	766	1145	3.4
工作(上电、输入接地、1 kSPS采样)	57.8 μA	18.9 μA	766	843	2.5

注意，采样时转换开始脉冲宽度 = 20 ns，V_{DD} = V_{DRIVE} = 3 V。

图2和图3表示电路的积分非线性(INL)和微分非线性(DNL)曲线。 注意INL和DNL低于±1 LSB。

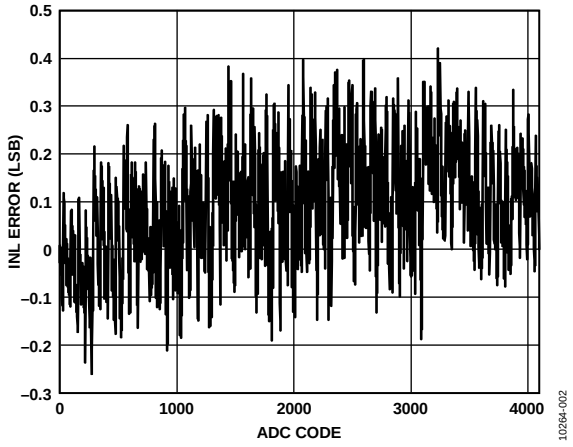


图2. 采样速率为1 MSPS时的INL

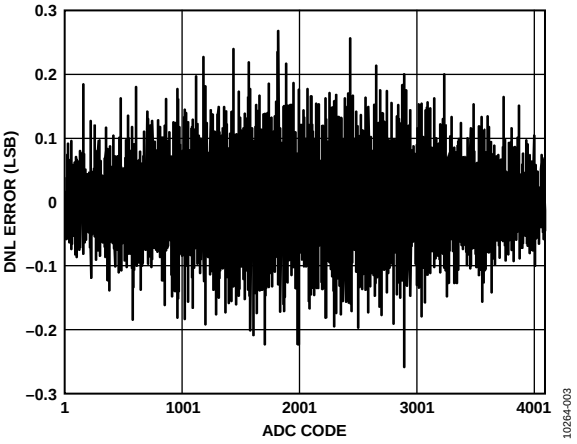


图3. 采样速率为1 MSPS时的DNL

图4表示针对8192个样本计算的FFT数据；采样速率为1 MSPS，模拟输入频率为10 kHz。 SNR为70.44 dBFS。

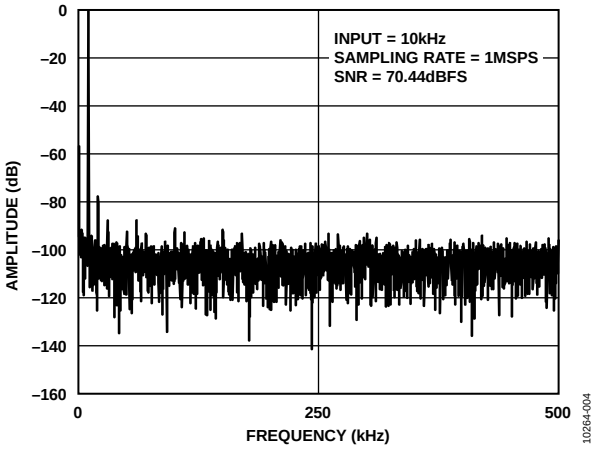


图4. 系统的FFT，输入=10 kHz，采样频率=1 MSPS

该电路必须构建在具有较大面积接地层的多层印刷电路板(PCB)上。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术(请参考指南MT-031、指南MT-101以及CN-0247设计支持包中展示的AD7091R评估板布局)。

根据应用和传感器的具体要求，可以更改AD7091R和AD8031周围的器件值。例如，可配置缓冲器以提供增益和失调，并且RC滤波器的截止频率可根据采样频率和输入频率而变化。

有关完整的文档包，包括原理图、电路板布局以及物料清单(BOM)，请参考http://www.analog.com/CN0247-DesignSupport

电路评估与测试

为了评估和测试AD7091R与本电路笔记所述电路，我们开发了评估板EVAL-AD7091RSDZ。有关详细的原理图和用户指南，请参考EVAL-AD7091RSDZ文档。图5显示测试设置的功能框图。

设备要求

为测试该电路，需要如下设备：

- EVAL-AD7091RSDZ评估板(包括软件和9 V直流壁式电源适配器)
- EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台电路板
- 一个低失真信号发生器，如Agilent 81150A或Audio Precision System Two 2322
- 带USB 2.0端口的PC，运行Windows® XP、Windows Vista或Windows 7(32位或64位)
- 电源：9 V直流壁式电源适配器(包括在评估板中，外部3 V / 50 mA直流电源)

设置

连接任何硬件之前，确保EVAL-AD7091RSDZ评估板上的连接位置如下：

- LK1： 位置A(选择AD8031作为输入缓冲器)
- LK2： 位置A(输入J5连接至输入缓冲器)
- LK5： 位置A(使能外部V_{DRIVE}源)
- LK6： 位置B(使能外部V_{DD}源)

之后，根据评估板文档中所述连接硬件并安装软件。

测试

请参考评估板文档，查看如何运行本电路笔记中所述各种测试的完整描述。

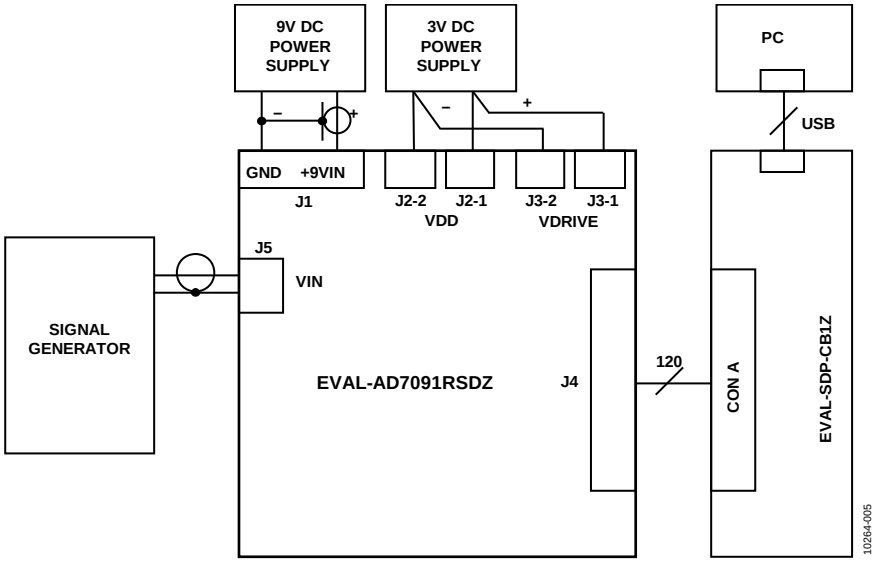


图5. 测试设置功能框图

更多资料

CN-0247设计支持包：
http://www.analog.com/CN0247-DesignSupport

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

教程MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-036：*运算放大器输出反相和输入过压保护*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

AD7091R数据手册和评估板

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD8031数据手册

修订历史

2013年12月—修订版A至修订版B

更改标题 1

2012年10月—修订版0至修订版A

删除“常见变化”部分 3

2012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.

©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10264sc-0-12/13(B)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0251。

连接/参考器件	
ADG1409	4 Ω R_{ON}、4/8通道、±15 V/+12 V/±5 V iCMOS多路复用器
AD8226	低成本、宽电源电压范围、轨到轨输出仪表放大器
AD8475	精密、可选增益、全差分漏斗放大器
AD7192	4.8 kHz、超低噪声、24位Σ-Δ型ADC，内置PGA
ADP1720-5	50 mA、高压、微功耗线性5 V稳压器
ADR444	超低噪声LDO XFET基准电压源

24位、4.7 Hz、4通道模拟数据采集系统

评估和设计支持

电路评估板

CN-0251电路评估板(EVAL-CN0251-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所示电路是一种灵活的信号调理电路，用于处理宽动态范围(从几mV p-p到20 V p-p)的信号。该电路利用高分辨率模数转换器(ADC)的内部可编程增益放大器(PGA)来提供必要的调理和电平转换并实现动态范围。

在过程控制和工业自动化应用中，±10 V满量程信号非常常见；然而，有些情况下，信号可能小到只有几mV。用现代低压ADC处理±10 V信号时，必须进行衰减和电平转换。但是，对小信号而言，需要放大才能利用ADC的动态范围。因此，在输入信号的变化范围较大时，需要使用带可编程增益功能的电路。

此外，小信号可能具有较大的共模电压摆幅；因此需要较高的共模抑制(CMR)性能。在某些源阻抗较大的应用中，模拟前端输入电路也需要具有高阻抗。

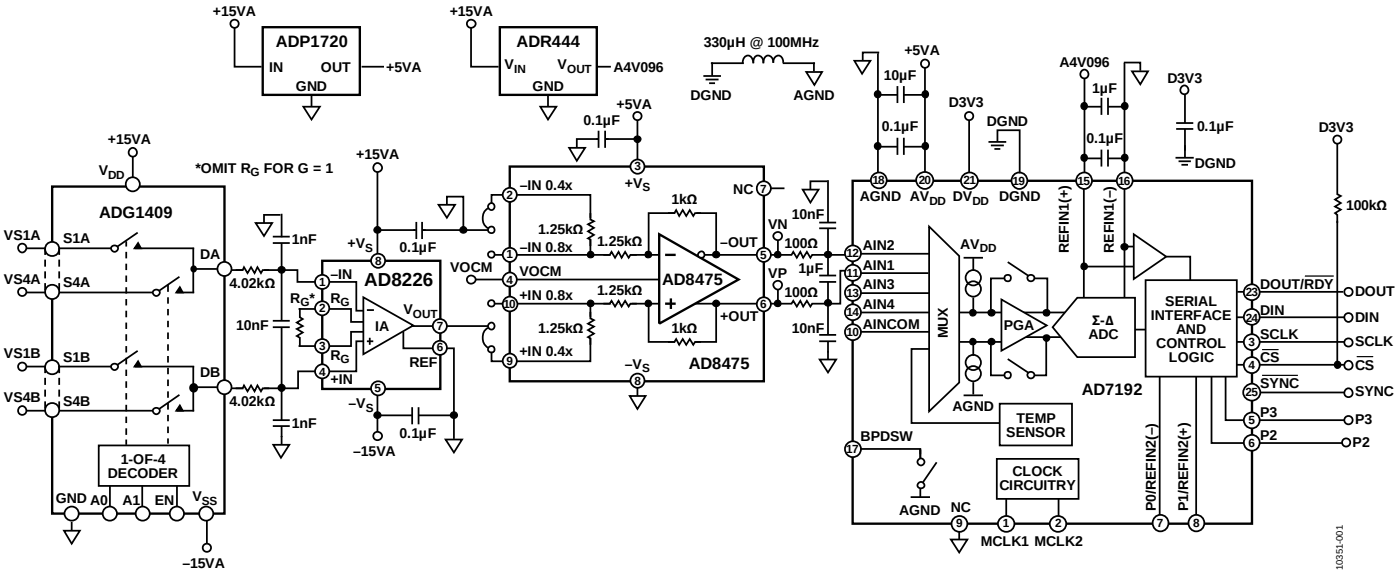


图1. 适合宽工业范围信号调理的灵活模拟前端电路

Rev. B

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.cn
Fax: 781.461.3113 ©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

图1所示电路解决了所有这些难题，并提供了可编程增益、高CMR和高输入阻抗。输入信号经过4通道ADG1409多路复用器进入AD8226低成本、宽输入范围仪表放大器。AD8226提供高达80 dB的高共模抑制(CMR)和非常高的输入阻抗(差模800 MΩ和共模400 MΩ)。宽输入范围和轨到轨输出使得AD8226可以充分利用供电轨。

AD8475是一款全差分衰减放大器，集成精密增益电阻，可提供精密衰减(G = 0.4或G = 0.8)、共模电平转换及单端差分转换功能。AD8475是一种易于使用、完全集成的精密增益模块，采用单电源供电时，最高可处理±10 V的信号电平。因此，AD8475适用于衰减来自AD8226且最高20 V p-p的信号，同时维持高CMR性能并提供差分输出来驱动差分输入ADC。

AD7192是一款内置PGA的24位Σ-Δ型ADC。片内低噪声增益级(G = 1、8、16、32、64或128)意味着可直接向该ADC输入小信号。

结合上述器件，对幅度会变化的信号而言，该电路可以提供非常好的性能且易于配置。该电路适合工业自动化、过程控制、仪器仪表和医疗设备应用。

电路描述

该电路包含一个ADG1409多路复用器、一个AD8226仪表放大器、一个AD8475差动放大器、一个AD7192 Σ-Δ型ADC(带ADR444基准电压源)以及ADP1720稳压器。只需少量外部元件来提供保护、滤波和去耦，使得该电路具有高集成度，而且所需的电路板(印刷电路板[PCB])区域较小。

稳压器和基准电压源的选择

该电路选择ADP1720-5作为5 V稳压器。它是一款高压、微功耗、低压差线性稳压器，适合工业应用。

该电路选择4.096 V ADR444作为基准电压源。它是一款超低噪声、高精度、低压差器件，特别适合高分辨率、Σ-Δ型ADC和精密数据采集系统。

输入开关和保护

ADG1409多路复用器拥有2位二进制地址线，可用于选择四种可能的输入通道之一。该设计还包括外部保护功能，如标准二极管和瞬态电压抑制器，用以增强电路的鲁棒性。这些在图1中并未显示，但是在CN0251设计支持包的详细原理图及其它文档中有所展示。

ADG1409多路复用器配置为接受四路差分输入信号：(VS1A – VS1B)、(VS2A – VS2B)、(VS3A – VS3B)和(VS4A – VS4B)。多路复用器的输出(DA和DB)施加于AD8226仪表放大器的输入端。

AD8226输入仪表放大器

外部R_G电阻设置AD8226的增益。对于该电路，省略了R_G，且仪表放大器级的增益为1。因此，AD8226的输出为VSxA – VSxB，其中x为输入通道编号。

AD8226的差分输入由两个4.02 kΩ电阻和一个10 nF电容进行滤波，这些电阻和电容构成一个截止频率为2.0 kHz的单极点RC滤波器。两个1 nF电容增加了截止频率为40 kHz的共模滤波。

AD7192 ADC PGA增益配置

AD7192配置为接受差分模拟输入，以匹配来自AD8475的差分输出信号。AD7192的满量程输入范围为$\pm V_{REF}$/增益，其中$\pm V_{REF}$ = REFINx(+) – REFINx(-)。

AD7192中的缓冲器使能时，输入通道会驱动缓冲放大器的高阻抗输入级，此模式下的绝对输入电压范围将限制在AGND + 250 mV至AV_{DD} – 250 mV。增益级使能后，缓冲器输出将施加于PGA的输入端，模拟输入范围必须限制在$\pm(AV_{DD} – 1.25\ V)$/增益以内，因为PGA需要额外的裕量。因此，采用4.096 V基准电压源和5 V电源时，为了最充分地利用ADC的动态范围，可按表1所示对信号进行衰减或放大。

表1. AD8475和AD7192内置PGA的各种输入范围增益配置

输入范围(VSxA – VSxB)	AD8475增益	AD7192增益	PGA输出范围，双极性模式(V)
±10 V	0.4	1	±4
±5 V	0.8	1	±4
±1 V	0.4	8	±3.2
±500 mV	0.8	8	±3.2
±250 mV	0.8	16	±3.2
± 125 mV	0.8	32	±3.2
±62.5 mV	0.8	64	±3.2
±31.25 mV	0.8	128	±3.2

差分衰减放大器

为了驱动低压ADC，±10 V或±5 V信号需要进行衰减和电平转换。若将差动放大器配置与精密电阻配合使用，势必会因电阻之间出现失配而导致CMR性能下降。AD8475电平转换器/衰减器集成精密激光调整匹配电阻，可确保低增益误差、低增益漂移(最大3 ppm/°C)和高CMR特性。

AD8475提供两个引脚可选的增益选项，即0.4和0.8。VOCM引脚用于调整精密电平转换的输出共模电压，以便匹配ADC的输入范围，并使动态范围最大化。此引脚可保持悬空，并利用一个精密分压器进行内部偏置，该分压器由电源与地之间的两个200 MΩ电阻组成，从而在该引脚上提供中间电源电压。

由两个100 Ω电阻和一个1 μF电容组成的一个单极点差分RC滤波器充当AD7192的抗混叠和降噪滤波器，其截止频率为800 Hz。两个10 nF电容提供截止频率为160 kHz的共模滤波。

滤波器、输出数据速率和建立时间

AD7192 Σ-Δ型ADC由调制器和数字滤波器组成。输出数据速率(f_{ADC})和建立时间(t_{SETTLE})与滤波器配置及斩波配置有关。表2显示了不同配置情况下的输出数据速率和建立时间计算情况。

表2. 不同配置的输出数据速率和建立时间

斩波滤波器选项	SINC3	SINC4
禁用	$f_{ADC} = f_{CLK}/(1024 \times FS[9:0])$ $t_{SETTLE} = 3/f_{ADC}$	$f_{ADC} = f_{CLK}/(1024 \times FS[9:0])$ $t_{SETTLE} = 4/f_{ADC}$
使能	$f_{ADC} = f_{CLK}/(3 \times 1024 \times FS[9:0])$ $t_{SETTLE} = 2/f_{ADC}$	$f_{ADC} = f_{CLK}/(4 \times 1024 \times FS[9:0])$ $t_{SETTLE} = 2/f_{ADC}$

布局考虑

该电路或其它任何高速/高分辨率电路的性能都高度依赖于适当的PCB布局，包括但不限于电源旁路、信号路由以及适当的电源层和接地层。有关PCB布局的详情，请参见指南MT-031和MT-101以及“高速印刷电路板布局实用指南”一文。

系统性能

24位AD7192 Σ-Δ型ADC可在该电路中提供非常好的性能。有关Σ-Δ型ADC的更多详情，请参见指南MT-022和MT-023。

在配置设为斩波禁用、输出数据速率为4.7 Hz、增益为1且采用一个SINC4滤波器的情况下，噪声性能如图2所示，500个样本的噪声分布直方图则如图3所示。该电路中测得的峰峰值噪声约为3.9 μV(见图2)，均方根噪声为860 nV。这相当于峰峰值(无噪声码)分辨率为20位，均方根分辨率为23位。表3显示了斩波禁用且采用一个SINC4滤波器时一些数据速率和增益设置条件下的AD7192均方根噪声。

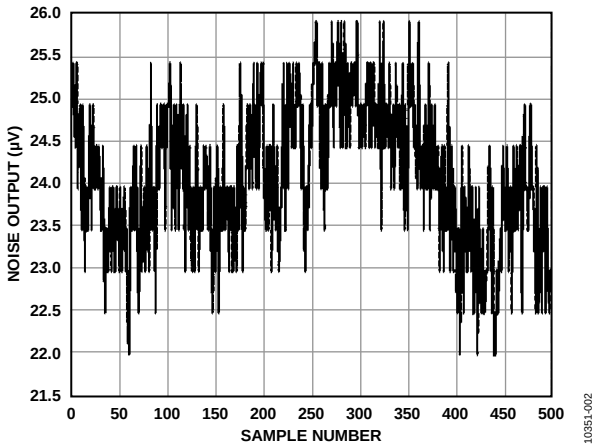


图2. 噪声输出(V_{REF} = 4.096 V，AV_{DD} = 5 V，输出数据速率 = 4.7 Hz)

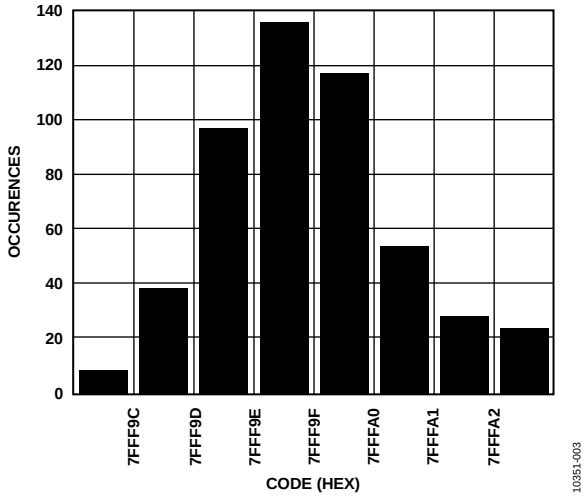


图3. 噪声直方图(V_{REF} = 4.096 V，AV_{DD} =5 V，输出数据速率 = 4.7Hz，增益 = 1，斩波禁用，SINC4滤波器)

表3. 斩波禁用且采用一个SINC4滤波器时不同输出数据速率和增益设置条件下的AD7192系统均方根分辨率(减去2.7位以获取峰峰值或无噪声码分辨率)

滤波器字(十进制)	输出数据速率(Hz)	建立时间(ms)	增益1	增益8	增益16	增益32	增益64	增益128
1023	4.7	852.5	23.0	21.8	20.4	19.7	18.8	17.4
640	7.5	533	22.5	21.5	20.0	19.5	18.5	17.2
96	50	80	22.3	20.9	19.8	19.3	18.2	17.0
16	300	13.3	21.8	20.2	19.3	18.6	17.6	16.8
5	960	4.17	20.9	19.8	18.9	18.0	17.2	16.2
1	4800	0.83	19.2	19.0	18.4	17.6	16.6	15.8

常见变化

可使用其它集成PGA的24位或较低分辨率的Σ-Δ型ADC，例如AD7190、AD7193、AD7797和AD7799。如果无需对输入信号进行衰减，则可使用功耗低于AD8475的AD8476。

在无需衰减和高输入阻抗的应用中，可将AD7192直接连接到传感器，以避免模拟前端调理电路引入的噪声。例如，满量程输出电压较小的称重传感器无需衰减，因此可以直接连接到AD7192差分输入端(参见CN-0102、CN-0107、CN-0108、CN-0118、CN-0119和CN-0155)

电路评估与测试

该电路测试设置使用EVAL-CN0251-SDPZ电路评估板和系统演示平台(SDP)评估板(EVAL-SDP-CB1Z)。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。EVAL-CN0251-SDPZ板包含要评估的电路，如本电路笔记所述；SDP评估板与CN-0251评估软件一起使用，可从EVAL-CN0251-SDPZ中获取数据。SDP也用于控制AD7792 ADC中的多路复用器输入和各种功能。

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-CN0251-SDPZ电路评估板
- EVAL- SDP-CB1Z SDP评估板
- 直流电源：+15 V、−15 V和+6 V。
- CN-0251评估软件

开始使用

将CN-0251评估软件光盘放进PC的光盘驱动器，加载评估软件。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4为测试设置功能框图。**EVAL-CN0251-SDPZ-SCH.pdf**文件包含EVAL-CN0251-SDPZ的详细原理图。此文件位于CN-0251设计支持包中：www.analog.com/CN0251-DesignSupport。

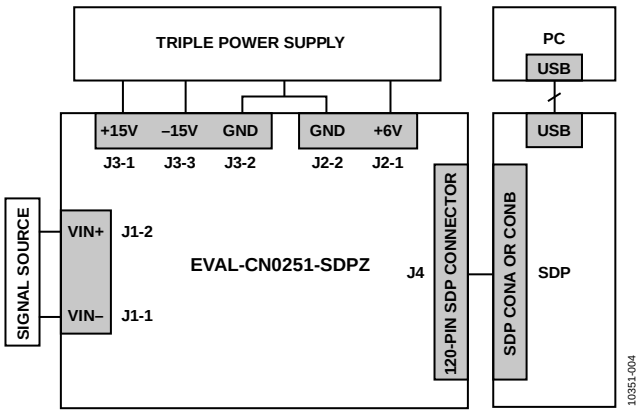


图4. 测试设置功能框图

设置

将EVAL-CN0251-SDPZ上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z (SDP)上的**CONA**连接器。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。将直流输出电源成功设置为+15 V、−15 V和+6 V输出后，关闭电源。

在断电情况下，将+15 V电源连接到J3的+15 VA引脚，将−15 V电源连接到J3的−15 VA引脚，将GND连接到J3的AGND引脚。此外，在断电情况下，将6 V电源连接到J2。接通电源，然后将SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。接通EVAL-CN0251-SDPZ的直流电源之前，请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

测试

设置好电源并将它连接到EVAL-CN0251-SDPZ后，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。如果**设备管理器**中列出了Analog Devices System Development Platform驱动器，软件将能与SDP板通信。

一旦USB通信建立，就可以使用SDP来发送、接收和捕捉来自EVAL-CN0251-SDPZ的串行数据。然后，连接信号源以便进行测量。

有关SDP的信息，请访问www.analog.com/SDP。

更多资料

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

教程MT-073：*高速可变增益放大器(VGA)*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

教程MT-022：ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础。ADI公司。

教程MT-023：*ADC架构IV：Σ-Δ型ADC的高级概念和应用*。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0251电路评估板(EVAL-CN0251-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD8226数据手册

AD8475数据手册

AD7192数据手册

ADG1409数据手册

ADR444数据手册

ADP1720数据手册

修订历史

2013年12月—修订版A至修订版B

更改标题 1

2013年4月—修订版0至修订版A

更改电路评估与测试部分 5

2012年6月-版本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.

©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10351sc-0-12/13(B)



www.analog.com/cn

Circuits from the Lab Reference Circuits

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/CN0254。

连接/参考器件	
AD7689	16位、8通道、250 kSPS PulSAR ADC
AD8608	精密CMOS轨到轨I/O四路运算放大器
AD8605	精密CMOS轨到轨I/O运算放大器
ADuM3471	PWM控制器和变压器驱动器
ADP3336	500 mA anyCAP®可调低压差稳压器

16位、250 kSPS、8通道、单电源、隔离式数据采集系统

评估和设计支持

电路评估板

CN-0254电路评估板(EVAL-CN0254-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

设计和集成文件

原理图、布局文件和材料清单

电路功能与优势

图1所示电路是高性价比、高度集成的16位、250 kSPS、8通道数据采集系统，可对±10 V工业级信号进行数字化转换。该电路还可在测量电路与主机控制器之间提供2500 V rms隔离，整个电路采用隔离式PWM控制5 V单电源供电。

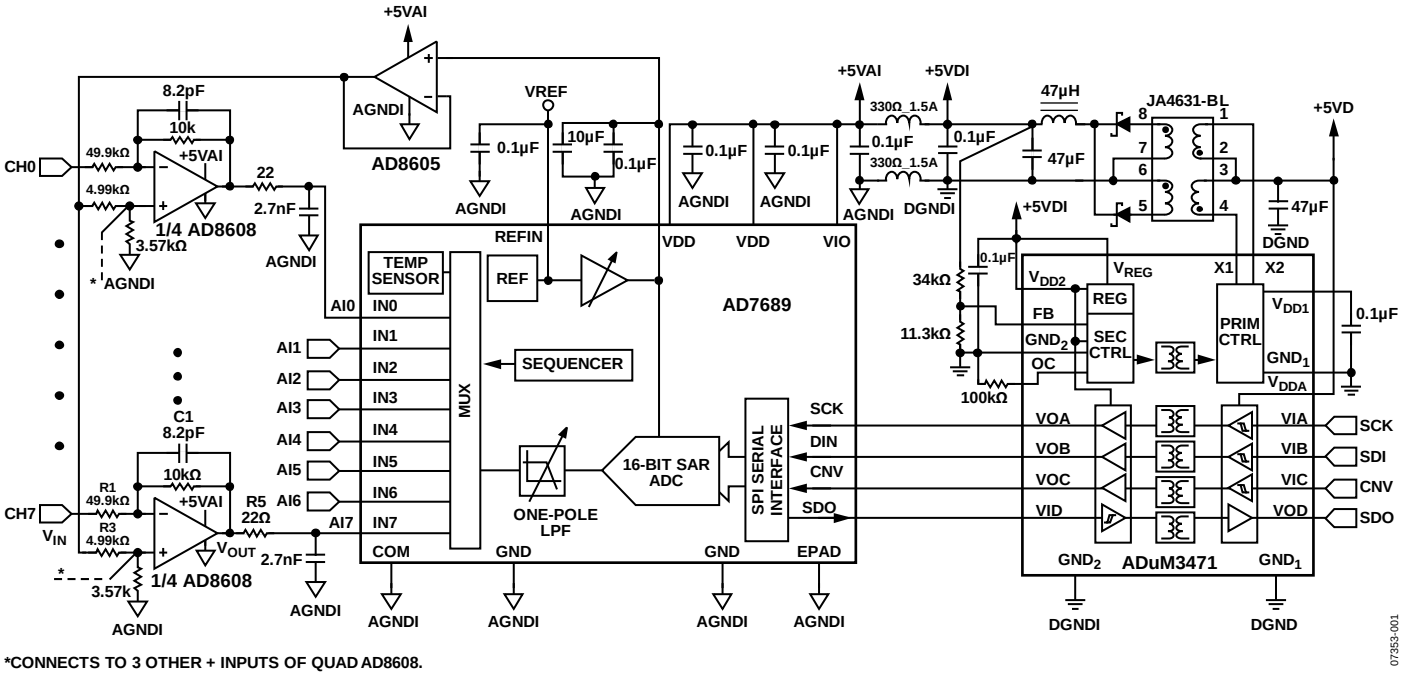


图1. 16位、250 KSPS、8通道数据采集系统(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

Rev. B

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

此电路配合 16位、8通道、250 kSPS PulSAR ADC AD7689和两个低成本精密四通道运算放大器AD8608使用，在数据采集系统内提供所有信号调理和数字化功能。另外仅需要AD8605运算放大器，用于缓冲AD7689的基准电压。

AD8605和AD8608分别是低成本单通道和四通道轨到轨输入和输出CMOS放大器。AD8608可对±10 V输入信号进行反转、电平转换和衰减，以便匹配ADC的输入范围，当使用+4.096 V基准电压源和+5 V单电源时，输入范围为0 V至+4.096 V。

AD8605用作外部基准电压缓冲器，为电平转换提供足够的驱动能力。AD8605和AD8608具有极低的失调电压、低输入电压和电流噪声以及宽信号带宽，因此适合各种应用。AD8608的低电流和电压噪声可确保电阻噪声是高输入阻抗输出噪声的主要因素。本电路中的输入阻抗(等于R1)为50 kΩ。

16位、8通道、250 kSPS PulSAR ADC AD7689内置多通道低功耗数据采集系统所需的所有元件。它包括一个16位SAR ADC、一个8通道低串扰多路复用器、一个低漂移基准电压源和缓冲器、一个温度传感器、一个可选单极点滤波器和一个通道序列器。序列器可用于连续扫描通道，且不需要微控制器或FPGA来控制通道开关。AD7689采用20引脚、4 mm × 4 mm LFCSP小尺寸封装，因此成本和印刷电路板(PCB)面积降至最低。工作温度范围为−40°C至+85°C。5 V电源、250 kSPS时的功耗为12.5 mW(典型值)。

ADuM3471为四通道数字隔离器，集成PWM控制器和变压器驱动器用以驱动隔离式DC/DC转换器。ADuM3471为电路提供5 V、2 W隔离电源，并在SPI接口隔离数字信号。

模拟前端设计

在过程控制和工业自动化系统中，典型的信号电平最高可达±10 V。图1电路使用具有衰减和电平转换功能的反相放大器，将±10 V信号转换为适合ADC范围的信号。

电路公式如下：

$$V_{OUT} = -\frac{R2}{R1} \times V_{IN} + \left(\frac{R1+R2}{R1}\right) \times \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) \times V_{REF} \quad (1)$$

前端信号增益(−R2/R1)设置为−0.2，使得到达ADC的信号范围为4 V峰峰值。这与0 V至4.096 V的输入范围(等于基准电压V_{REF})相适合。

$$\frac{R1}{R2} = 5 \quad (2)$$

对于O V输入信号，运算放大器的输出应位于中间电平或0.5 V_{REF}。

$$\left(\frac{R1+R2}{R1}\right) \times \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) = 0.5 \quad (3)$$

把公式1代入公式2，得到

$$\frac{R3}{R4} = 1.4 \quad (4)$$

运算放大器输入端的共模电压通过下式计算：

$$V_{CM} = V_{REF} \times \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) \quad (5)$$

$R3/R4 = 1.4$且$V_{REF} = 4.096$ V时，运算放大器的共模电压为1.7 V。

每个AD8608内有四个放大器，四个同相输入短接在一起并连接到电阻分压器R3/R4。第二个分压器用于第二个AD8608。要消除运算放大器输入偏置电流，

$$R1||R2 = 4\ (R3||R4) \quad (6)$$

电路输入阻抗为R1，理想情况下应较高。不过，电阻热噪声与电阻平方根成正比，因此系统噪声性能随该电阻值增加而下降。要决定最佳值，需要对噪声进行简单分析。

根据奈奎斯特准则，最大信号频率成分应小于最大采样速率的一半。AD7689 250 kSPS采样速率产生125 kHz的奈奎斯特频率。为了将此带宽内的信号衰减降至最低，前端的−3 dB截止频率被设计为奈奎斯特频率的大约12倍或1.5 MHz。

此电路的噪声模型如图2所示。本电路中有三种噪声源：电阻噪声、放大器电压噪声和放大器电流噪声。每个噪声源的均方根值如表1所示。有关运算放大器噪声的详情，请参见应用笔记AN-358和教程MT-047、MT-048和MT-049。

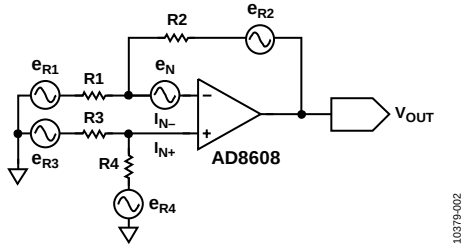


图2. AD8608反相配置的噪声模型

在目标带宽内，ADC之前的总均方根噪声应小于0.5 LSB，以便ADC可对输入信号进行正确数字转换。

电阻噪声可通过下式计算：

$$e_R = 4 \times \sqrt{\frac{R}{1000}}\, nV/\sqrt{Hz} \text{ at } 25°C \quad (7)$$

其中R单位为Ω。

使用图1所示电阻值和1.5 MHz带宽时的噪声性能总结在表1中。

这些不相关噪声电压以“方和根”形式相加；因此1.5 MHz带宽内的总运算放大器输出均方根噪声约为21.3 μV。对于4.096 V基准电压，16位LSB为62.5 μV。21.3 μV的均方根噪声小于0.5 LSB，所以图1所示电阻值适合本应用。

请注意，总输出噪声的最大来源是电阻R2，在本电路中为10 kΩ。减小R2值需要R1成比例下降，从而降低输入阻抗。

AD8608的输入电流噪声很小，除非使用极大电阻值，否则不会成为重要因素。AD8605和AD8608的低输入电流噪声和输入偏置电流使其成为高阻抗传感器(例如光电二极管)的理想放大器。

与R2并联地添加C1电容，以形成单极点、有源低通滤波器。带宽使用公式7计算。假定使用1.5 MHz、−3 dB带宽，C1约为10 pF。本电路中，考虑到PCB板的寄生效应，选择8.2 pF值。

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R2 \times C2} \quad (8)$$

表1. 图1所示电路值的噪声总结

噪声源	均方根噪声密度	RTO因数(公式)	RTO因数	输出噪声密度 (nV/√Hz)	输出均方根噪声，1.5 MHz带宽(μV)
e_{R1}	28 nV/√Hz	$\frac{R2}{R1}$	0.2	5.6	6.9
e_{R2}	12.6 nV/√Hz	1	1	12.6	15.4
e_{R3}	9 nV/√Hz	$\left(1+\frac{R2}{R1}\right)\times\left(\frac{R4}{R3+R4}\right)$	0.5	4.5	5.5
e_{R4}	8 nV/√Hz	$\left(1+\frac{R2}{R1}\right)\times\left(\frac{R3}{R3+R4}\right)$	0.7	5.6	6.9
e_n	6.5 nV/√Hz	$1+\frac{R2}{R1}$	1.2	7.8	9.6
i_n+	0.01 pA/√Hz	$\left(1+\frac{R2}{R1}\right)\times\left(\frac{R3\times R4}{R3+R4}\right)$	2.5 kΩ	0.025	0.03
i_n-	0.01 pA/√Hz	R2	10 kΩ	0.1	0.12

模数转换器(ADC)

AD7689是一款现代SAR ADC，使用内部开关电容DAC。由于采用SAR架构，转换过程中无流水线延迟，从而大大简化多路复用操作。图3显示等效模拟输入电路。小瞬态电流以采样频率注入模拟输入，由R5和C2组成的外部滤波器网络减小了它对运算放大器输出的影响。此外，滤波器带宽为2.7 MHz，可减少ADC输入端的噪声。

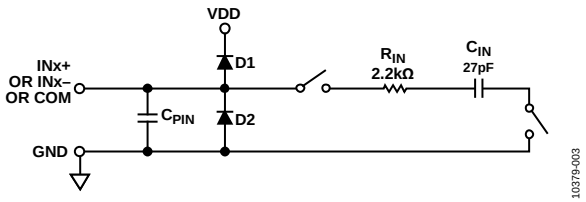


图3. AD7689的等效模拟输入电路

在4.096 V或2.5 V可选基准电压下，此电路的输入范围可在±10 V和±6 V之间切换，而不会降低系统分辨率。

内部温度传感器可用于监控AD7689的结温，实现精密应用中的系统校准和温度补偿。

隔离电源和数字I/O的单芯片解决方案

ADuM3471是同时用于电源和数字I/O隔离的单芯片解决方案。隔离电压为2500 V rms(UL 1577器件认可)。ADuM3471提供4通道隔离式I/O端口，并集成用于隔离式DC/DC转换器的PWM控制器和变压器驱动器。配合一些外部元件使用时，ADuM3471可通过任何调节电压(3 V至24 V)提供2 W隔离电源。必要的外部元件是一个用于电能传输的变压器、两个用于全波整流的肖特基二极管、一个用于纹波抑制的LC滤波器和两个用于设置输出电压的反馈电阻。详情参见ADuM3471数据手册和图1。

布局考量

该电路或任何高速/高分辨率电路的性能都高度依赖于适当的PCB布局，包括但不限于电源旁路、信号路由以及适当的电源层和接地层。有关PCB布局的详细信息，请参见教程MT-031、教程MT-101和高速印刷电路板布局实用指南(《模拟对话》39-09，2005年9月)一文。

有关CN-0254的完整设计支持包，包括原理图、电路板布局和BOM，请参阅http://www.analog.com/CN0254-DesignSupport。

系统性能

图4显示评估板端子板上的CH0至CH7短接到GND时，ADC代码出现10,000次(1 kSPS时需要1秒)的曲线图。请注意，95%的代码处于4 LSB，峰峰值分布约为7 LSB。这对应于约7 ÷ 6.6 = 1.1 LSB的均方根值。

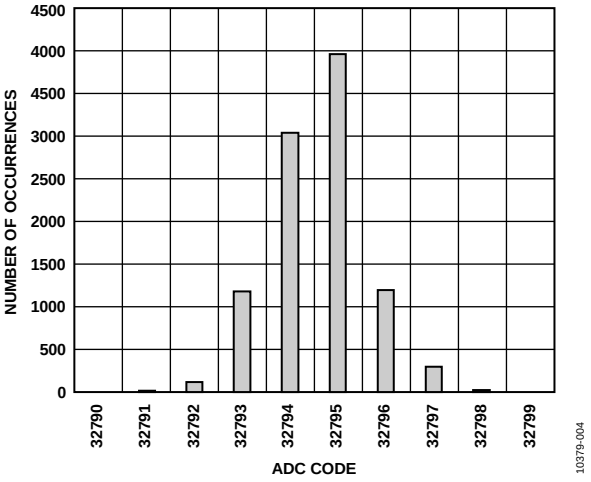


图4. 0 V DC输入时的直方图，10,000个样本

交流性能如图5所示。采样速率250 kSPS由系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z SDP)控制，包括信号窗口和FFT的数字信号处理通过CN-0254评估软件在PC上计算。输入正弦波形为20 kHz音频，由低失真B&K正弦发生器Type 1051提供。

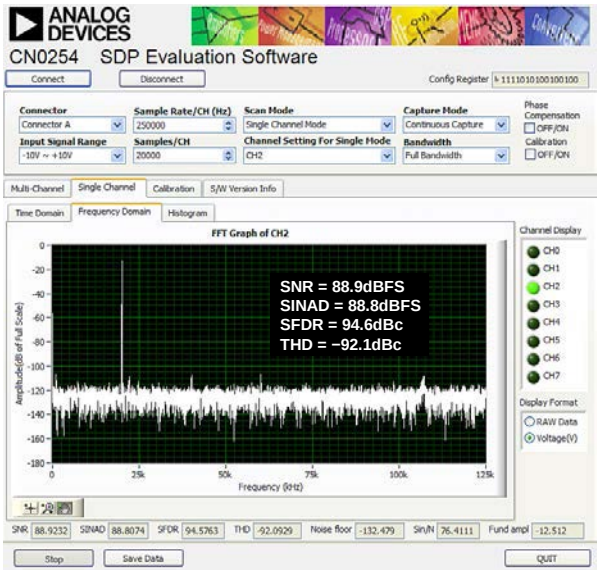


图5. KAISER窗口(参数 = 20)、20 KHZ输入、250 KSPS采样速率下的FFT

常见变化

对于需要更高采样速率的应用，AD7699采样速率高达500 kSPS，是AD7689的理想引脚替代产品。

AD8615、AD8616和AD8618分别为单通道/双通道/四通道精密、CMOS、轨到轨输入/输出运算放大器，带宽最高可达20 MHz。可用于带宽需求比AD8605/AD8608系列更高的应用。

ADR3412 (1.200 V)、ADR3420 (2.048 V)、ADR3425 (2.500 V)、ADR3430 (3.000 V)、ADR3433 (3.300 V)、ADR3440 (4.096 V)和ADR3450 (5.000 V)均为低成本、低功耗、高精度CMOS基准电压源，具有±0.1%的初始精度、低工作电流和低输出噪声特性，采用SOT-23小型封装。如果需要，这些器件可代替AD7689内部基准电压源。

ADuM3470、ADuM3471、ADuM3472、ADuM3473和ADuM3474非常适合需要电源和数字I/O隔离的应用。ADuM120x和ADuM140x系列用于隔离式I/O扩展。针对高数据速率，ADuM344x系列最高支持150 Mbps。

电路评估与测试

设备要求(可以用同等设备代替)

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista(32位)或Windows 7(32位)PC
- EVAL-CN0254-SDPZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台评估板
- 电源：6 V(直流)，500 mA
- CN0254评估软件
- B&K正弦发生器Type 1051

开始使用

将CN-0254评估软件光盘放进PC的光盘驱动器，加载评估软件。打开"**My Computer(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6所示为测试设置的功能框图。**EVAL-CN0254-SDPZ-PADSSchematic** pdf文件包含CN-0254评估板的详细电路原理图。CN-0254设计支持包，包括原理图、PCB布局、BOM和Gerber文件，可从http://www.analog.com/CN0254-DesignSupport下载。

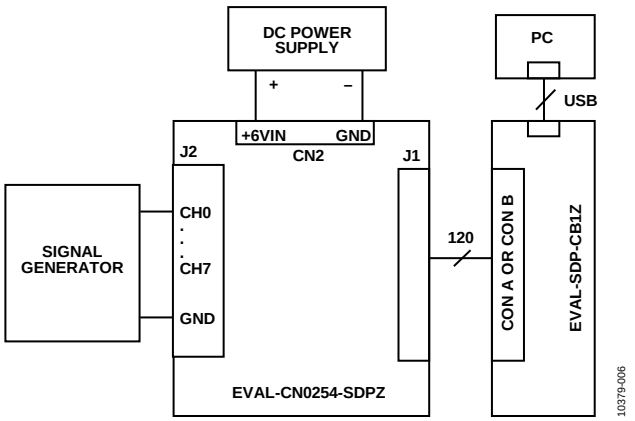


图6. 评估测试设置

设置与测试

将CN-0254评估电路板上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z评估(SDP)板上的**CON A**或**CON B**连接器。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。将直流输出电源成功设置为6 V输出后，关闭电源。将6 V连接到CN2。接通电源，然后使用USB转miniUSB电缆将SDP连接到PC。

设置电源并将其连接到EVAL-CN0254-SDPZ电路板后，启动评估软件。单击"**Connect(连接)**"，以便让软件与SDP板通信。SDP板可用于发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0254-SDPZ板的串行数据。本电路笔记中的数据使用B&K正弦发生器Type 1051生成。有关SDP板的信息，请访问：www.analog.com/SDP。

更多资料

CN0254设计支持包：
http://www.analog.com/CN0254-DesignSupport

Lewis Smith和D.H.Sheingold。噪声和运算放大器电路。应用笔记AN-358。ADI公司。

Martin Murnane、Chris Augusta。*了解PulSAR ADC支持电路*。应用笔记AN-931。ADI公司。

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

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

教程MT-047：*运算放大器噪声*。ADI公司。

教程MT-048：*运算放大器噪声关系：1/f噪声、RMS噪声和等效噪声带宽*。ADI公司。

教程MT-049：*单极点系统的运算放大器总输出噪声计算*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

电路笔记CN0225：*面向工业过程控制和自动化应用的高阻抗、高共模抑制、±10 V模拟前端信号调理器*。ADI公司。

电路笔记CN0261：*优化18位、250 kSPS、PulSAR测量电路的交流性能*。ADI公司。

用户指南UG-197：*集成变压器的iCoupler四通道隔离器ADuM347x评估板*。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0254电路评估板(EVAL-CN0254-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD7689数据手册和评估板

AD8608数据手册和评估板

AD8605数据手册和评估板

ADuM3471数据手册和评估板

修订历史

2013年12月—修订版A至修订版B

更改标题 1

2012年5月—修订版0至修订版A

更改图1 1

2012年4月-版本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.

©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10379sc-0-12/13(B)

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0255。

连接/参考器件	
AD7988-1	16位、100 kSPS PulSAR ADC
ADA4841-1	低功耗、低噪声放大器
AD8032	双通道、轨到轨缓冲放大器
AD8031	单通道、轨到轨I/O运算放大器
ADR4525	2.5 V低噪声基准电压源

16位、100 kSPS、单电源、低功耗数据采集系统

评估和设计支持

评估板

CN-0255电路评估板(EVAL-CN0255-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

设计和集成文件

原理图、布局文件和材料清单

电路功能与优势

大多数系统中，需要在性能与低功耗之间进行权衡。本电路设计的重点是考察部分权衡因素，同时在16位、100 kSPS数据采集系统中实现低功耗(8 mW，典型值)和高性能。

本电路使用AD7988-1低功耗(350 µA) PulSAR®模数转换器(ADC)，该器件直接从ADA4841-1高性能、低电压、低功耗运算放大器驱动。选择该放大器是因为它具有极佳的动态性能，可采用单电源电压供电且提供轨到轨输出。此外，输入共模电压范围包括负供电轨。

AD7988-1 ADC需要2.4 V至5.1 V间的外部基准电压。本应用中，选择的基准电压是ADR4525精密2.5 V基准电压源。

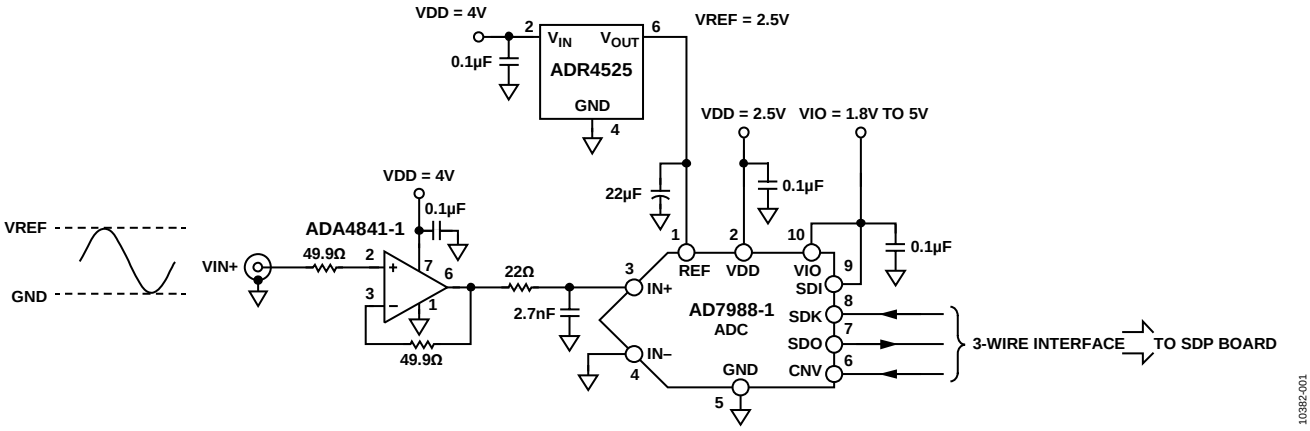


图1. 基本单端、低电压、低功耗、16位、100 KSPS ADC解决方案

Rev. A

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.cn
Fax: 781.461.3113 ©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

本电路的核心是AD7988-1 16位、100 kSPS逐次逼近型ADC，采用VDD单电源供电。它内置一个低功耗、高速、16位采样ADC和一个多功能串行端口接口(SPI)。在CNV上升沿，该器件对IN+与IN-之间的模拟输入电压差进行采样，范围从0 V至REF。基准电压(REF)由外部提供，并且可以独立于电源电压(VDD)。

在为本电路笔记执行的实验中，AD7988-1评估板与系统演示平台(SDP，EVAL-SDP-CB1Z)接口，ADC SPI兼容串行接口则连接到DSP SPORT接口。ADC SPI接口能够将几个ADC以菊花链形式连结到单三线式总线上。采用独立VIO电源引脚时，它与1.8 V、2.5 V、3 V或5 V逻辑兼容。

AD7988-1采用10引脚MSOP或10引脚QFN (LFCSP)封装。为方便起见，该电路板采用MSOP封装。

ADC输入从ADA4841-1单位增益稳定、低噪声和低失真、轨到轨输出放大器进行缓冲和驱动，该器件通常在1.1 mA的静态电流下工作。此放大器提供2.1 nV/√Hz的低宽带电压噪声和1.4 pA/√Hz的电流噪声，100 kHz时具有极佳的−105 dBc无杂散动态范围(SFDR)。为了在更低频率下保持低噪声环境，10 Hz时放大器具有7 nV/√Hz和13 pA/√Hz的低1/f噪声。

使ADA4841-1非常适合单电源应用的主要特性是，它在该应用中可以采用单供电轨供电，同时将可负供电轨接地。放大器输出摆幅可以达到地电平的50 mV范围内，这是本应用可接受的值。请注意，输入共模电压范围从负供电轨扩展至正供电轨的1 V范围内。为容纳目标信号范围(0 V至2.5 V)，必须提供1 V裕量；因此本电路中使用4 V供电轨。ADA4841-1采用6引脚SOT-23或8引脚SOIC封装。

本应用中使用的2.5 V基准电压源是ADR4525，属于ADR45xx基准电压源系列，可以提供高精度、低功耗、低噪声，且具有±0.01%初始精度、极佳的温度稳定性和低输出噪声。ADR4525的低热致输出电压迟滞和低长期输出电压漂移提高了系统性能。700 µA的最大工作电流和500 mV的低压差(最大值)使该器件最适合便携式设备。

用于本电路中的三个产品的额定工作温度范围均为−40°C至+125°C全工业温度范围。

性能预期

由于功耗在本应用中是关键，有必要分析每个元件的贡献，以确保在众多可用产品中选择适当的器件。第一步是查看三个选定器件的不同电源电流。

表1中显示了为每个贡献元件计算和测得的典型电源电流。ADC数字接口的VIO电源可以忽略不计，因此不包括在内。测得电流与计算值的比较非常有利；无源元件可能引起小差异，使电源电流略不同于典型数据手册规格。

表1. 计算和测得的电源电流贡献

		计算			测量通道		
加载	**描述**	**电源电流**	**电源电压**	**功耗**	**电源电流**	**电源电压**	**功耗**
ADC	AD7988-1	150 µA	2.5 V	375 µW	148 µA	2.5 V	370 µW
驱动器	ADA4841-1	1.1 mA	4 V	4.4 mW	1.95 mA	4 V	7.8 mW
基准电压源	ADR4525	700 µA	4 V	2.8 mW			
基准负载	ADC基准电流	60 µA	4 V	240 µW			
总计				**7.81 mW**			**8.17 mW**

使用低值基准电压时，AD7988-1 ADC的交流性能会有所下降。图2中显示了这一性能下降，其中信噪比、信纳比(SINAD)和有效位数(ENOB)均显示为基准电压的函数。请注意，对于2.5 V基准电压，预计SNR性能约为86 dB至87 dB。

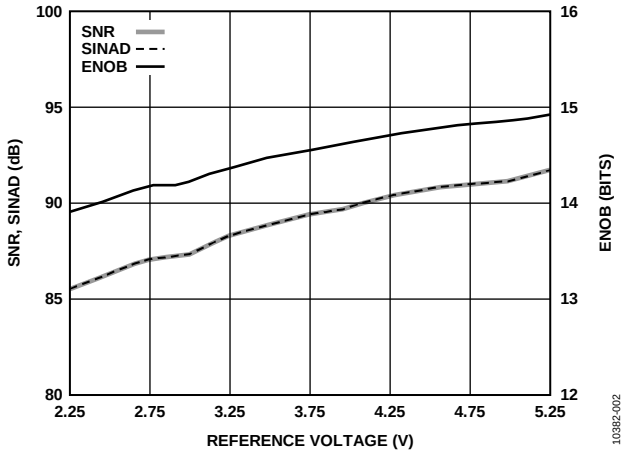


图2. AD7988-1 ADC SNR、SINAD和ENOB与基准电压的关系

电路测量结果如图3所示。86.17 dB的SNR性能与2.5 V基准电压的预计效果相当，如上文图2所示。

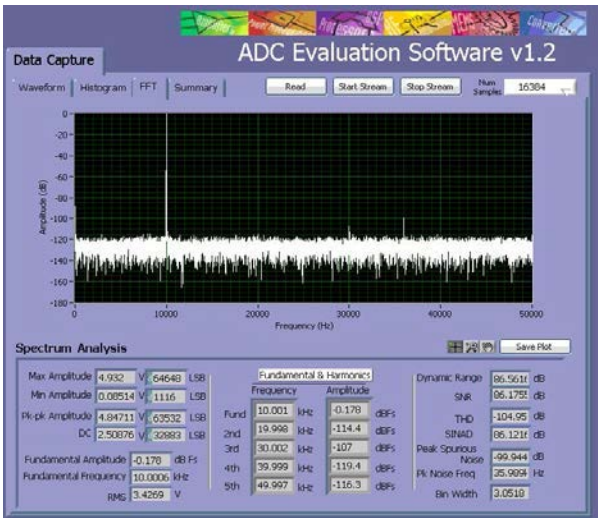


图3. 在10 KHZ输入音下测得的100 KSPS采样速率的交流性能，SNR = 86.17 DB

常见变化

PulSAR®系列的其它引脚兼容16位ADC提供更高的采样速率：AD7988-5 (500 kSPS)、AD7980 (1 MSPS)和AD7983 (1.33 MSPS)。请注意，采样速率越高，功耗越高。或者，如果需要更高的分辨率，合适的引脚兼容器件有AD7691 (18位，250 kSPS)、AD7690(18位，400 kSPS), AD7982(18位，1 MSPS差分输入)、AD7984(18位，1.33 MSPS)。

对于更高的输入电压范围，请为基准电压源和ADC驱动器选择更高的基准电压和更高的电压供电轨。

图4中显示了AD7988-5(16位，500 kSPS)ADC在相似条件下的动态性能；不过采样速率为500 kSPS。SNR等于86.37dB。

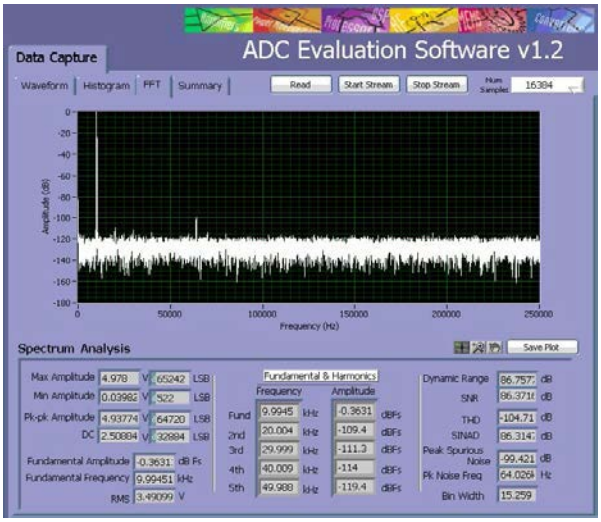


图4.使用500 KSPS AD7988-5 ADC在10 KHZ输入音下测得的500 KSPS采样速率的交流性能，SNR = 86.37 DB

添加输入共模电压偏置放大器

在交流耦合应用中，输入信号必须偏置，以便使其位于ADC输入范围(2.5 V基准电压为0 V至2.5 V)的中心。图5所示电路解决了此共模信号要求。

许多放大器在此应用中可用于缓冲目的。AD8031是一款单电源电压反馈型放大器，具有高速性能，小信号带宽为80 MHz，压摆率为30 V/μs，建立时间为125 ns。该放大器为带容性负载的单位增益稳定型放大器，采用3.3 V单电源时功耗低于2.5 mW。AD8031采用5引脚SOT-23、8引脚SOIC、8引脚PDIP和8引脚MSOP封装。在此电路中，AD8031用于缓冲到达分压器的2.5 V基准电压，该分压器为ADA4841-1的输入提供所需的1.25 V共模电压。表2中显示了缓冲器使用的额外功率。

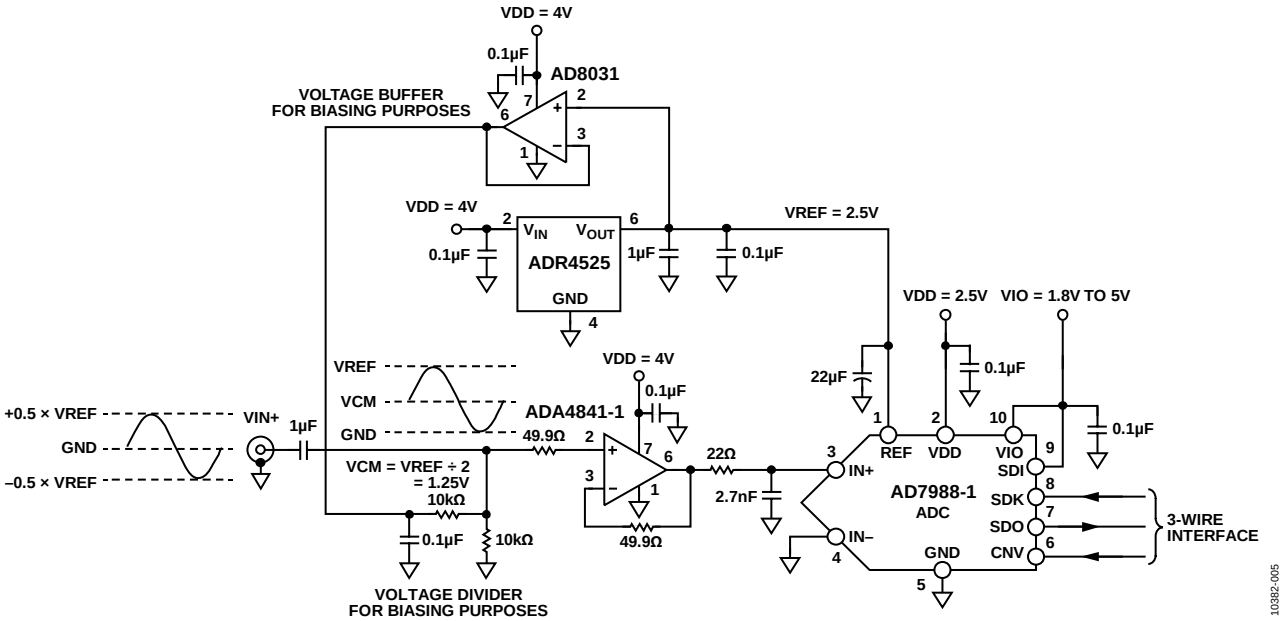


图5. 增强型电路，包括共模缓冲器，用于在交流耦合应用中确定输入电压范围的中心

表2. 计算的电源电流贡献，包括VCM缓冲器(AD8031)

加载	描述	电源电流	电源电压	功耗
ADC	AD7988-1	150 µA	2.5 V	375 µW
驱动器	ADA4841-1	1.1 mA	4 V	4.4 mW
基准电压源	ADR4525	600 µA	4 V	2.4 mW
VCM缓冲器	AD8031	750 µA	4 V	3 mW
总计				**10.17 mW**

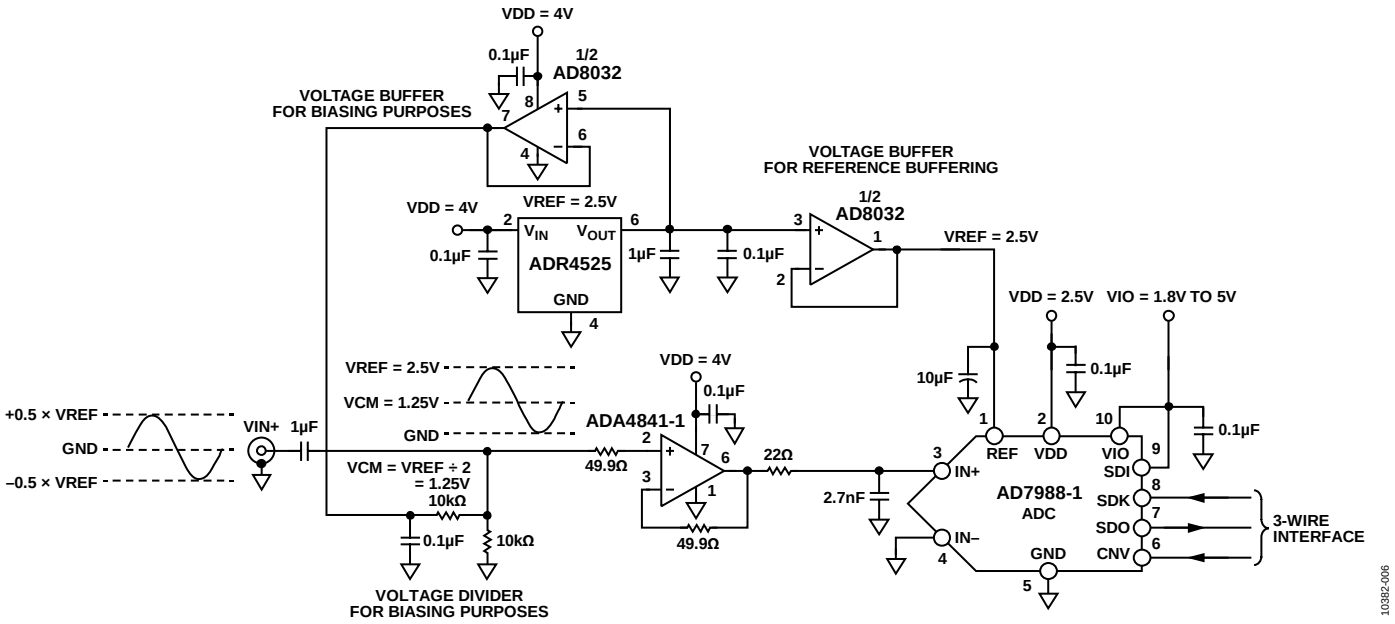


图6. 增强型电路，包括共模和基准电压缓冲器

添加基准电压缓冲器

在不同电路共享基准电压源的应用中，可能需要缓冲基准电压以确保最佳性能。本实例中，使用AD8032(AD8031的双通道版本)非常有效，如图6所示。如果缓冲ADC基准输入，去耦值可降低至尽可能靠近该器件的10 µF陶瓷芯片电容。

图7和图8分别显示了AD7988-1和AD7988-5的性能，同时使用AD8032放大器建立VCM电平并缓冲基准电压，如图6所示。此电路实施于EVAL-CN0255-SDPZ评估板上。

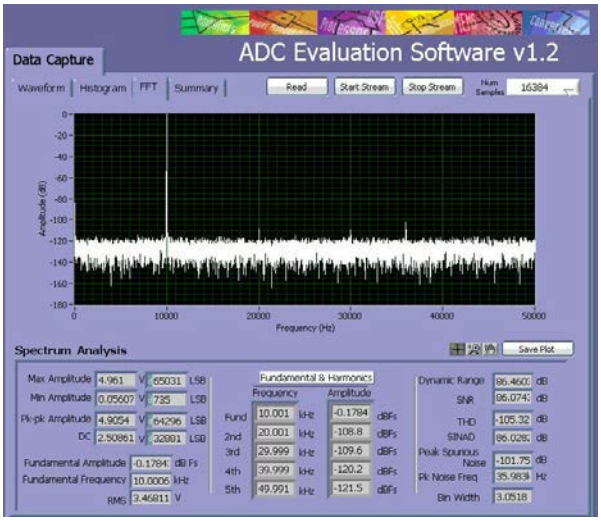


图7. AD7988-1在10 KHZ输入音下测得的交流性能，采样速率100 KSPS

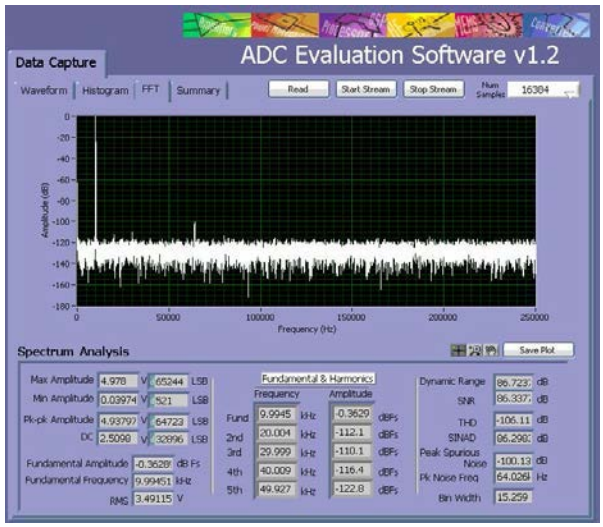


图8. 针对类似配置，使用500 KSPS AD7988-5在10 KHZ输入音下测得的交流性能

电路评估与测试

设备要求(可以用同等设备代替)

- EVAL-CN0255-SDPZ
- 系统演示板(EVAL-SDP-CB1Z)
- 函数发生器/信号源，例如这些测试中使用的Audio Precision SYS-2522。
- 电源，2.5 V及4 V
- 带USB端口的PC、USB电缆，安装10引脚PulSAR软件

设置与测试

交流性能测量设置的功能框图如图9所示。将2.5 V和4 V电源连接至评估板电源引脚。

为了测量频率响应，按照图9所示连接设备。将Audio Precision SYS-2522信号发生器设置为10 kHz频率和2.5 V p-p正弦波，并具有1.25 V直流漂移。使用评估板软件记录数据。

软件分析是评估板软件的一部分，使用户可以采集并分析直流和交流性能。

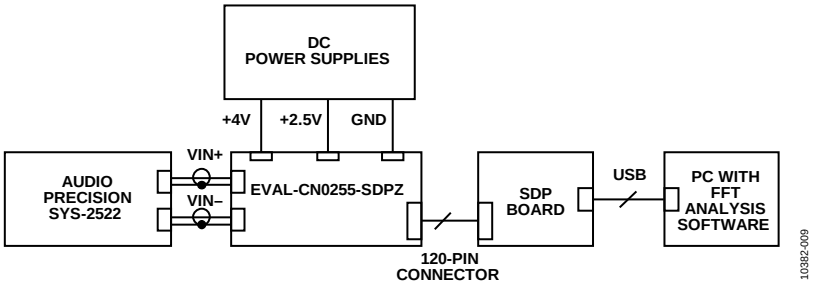


图9. 用于测量交流性能的电路测试设置

更多资料

CN0255设计支持包：
http://www.analog.com/CN0255-DesignSupport

系统演示平台(SDP)网站

教程MT-021：*逐次逼近型ADC*。ADI公司。

基准电压源选型和评估向导。ADI公司

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0255电路评估板(EVAL-CN0235-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD7988-1数据手册

AD7988-5数据手册

ADR4525数据手册

AD8031数据手册

AD8032数据手册

ADA4841-1数据手册

修订历史

2013年12月—修订版0至修订版A

更改标题 1

2012年4月-版本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.

©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10382sc-0-12/13(A)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0257。

连接/参考器件	
AD5790	真20位电压输出DAC
AD8675	超精密、36 V、2.8 nV/√Hz轨到轨输出运算放大器
AD8676	超精密、36 V、2.8 nV/√Hz、双通道轨到轨输出运算放大器

20位、线性、低噪声、精密、单极性+10 V直流电压源

评估和设计支持

电路评估板

AD5790电路评估板 (EVAL-AD5790SDZ)

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20位线性、低噪声、精密单极性(+10 V)电压源，所需外部元件的数量极少。AD5790是一款20位、无缓冲电压输出DAC，采用最高33 V的双极性电源供电。正基准电压输入范围为5 V至VDD – 2.5V，负基准电压输入范围为VSS + 2.5 V至0V。两路基准电压输入均在片内缓冲，无需外部缓冲。相对精度最大值为±2 LSB，保证工作单调性，微分非线性(DNL)最大值为–1 LSB至+2 LSB。

精密运算放大器AD8675具有低失调电压（最大值75 μV）和低噪声（典型值2.8 nV/√Hz）特性，是AD5790的最佳输出缓冲器。AD5790具有两个内部匹配的6.8 kΩ前馈和反馈电阻，它们既可以连接到运算放大器AD8675以提供10 V偏移电压，从而实现±10 V输出摆幅，也可以并行连接以提供偏置电流消除功能。本例演示的单极性+10 V输出，电阻用于偏置电流消除功能。内部电阻连接通过设置AD5790控制寄存器中的相关位来控制（参见AD5790数据手册）。

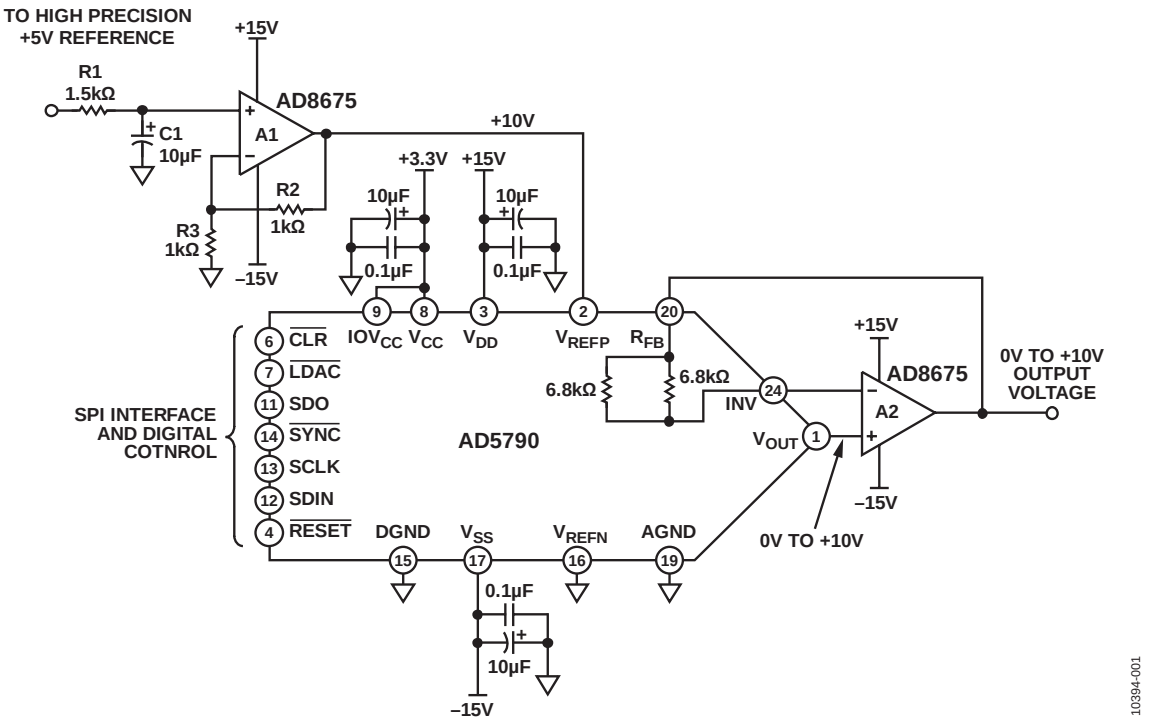


图1. 20位精密、0 V至+10 V电压源（原理示意图：未显示去耦和所有连接）

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/cn**
Fax: 781.461.3113 **©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

该电路的数字输入采用串行输入，并与标准SPI、QSPI、MICROWIRE®和DSP接口标准兼容。对于高精度应用，通过结合使用AD5790和AD8675等精密器件，这个紧凑的电路可以提供高精度和低噪声性能。

电路描述

图1所示数模转换器(DAC)为AD5790，这是一款SPI接口的20位高压转换器，提供±2 LSB INL、−1至+2 LSB DNL和8 nV/√Hz噪声频谱密度。另外，AD5790还具有极高的长期线性误差稳定性(0.1 LSB)。

图1显示AD5790的单极性缓冲配置，输出缓冲器采用AD8675，它具有低噪声和低漂移特性。该放大器(A1)还用于放大低噪声精密基准电压源（本例使用Krohn Hite 523型精密基准电压源）提供的+5 V基准电压。此增益电路中的电阻R2和R3为精密金属薄片电阻，其容差和温度系数分别为0.01%和0.6 ppm/°C。要在整个温度范围内达到最佳性能，R2和R3应处于单个封装内，如Vishay 300144或VSR144系列。R2和R3均选用1 kΩ，以便将系统噪声保持在较低水平。R1和C1构成低通滤波器，截止频率大约为10 Hz。该滤波器用于衰减基准电压源噪声。

线性度测量

利用Agilent 3458A万用表，在EVAL-AD5790SDZ评估板上演示图1所示电路的精密性能。图2显示积分非线性与DAC代码具有函数关系，且位于±2 LSB的规格范围内（0°C至105°C）。

图3显示微分非线性与DAC代码具有函数关系，且位于−1 LSB至+2 LSB的规格范围内。

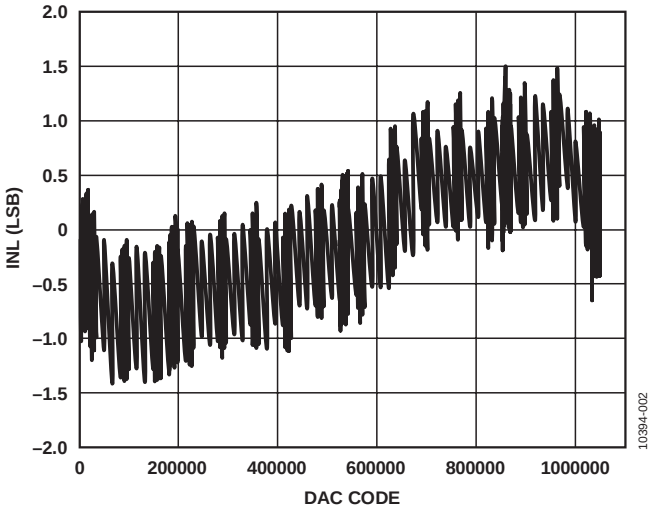


图2. 积分非线性与DAC码的关系

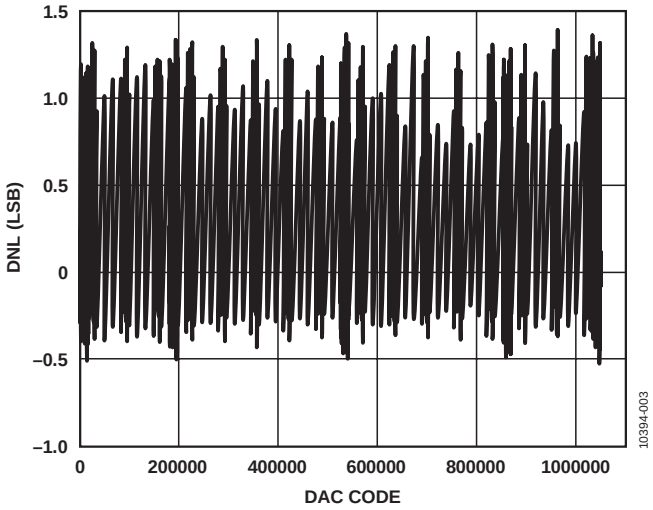


图3. 微分非线性与DAC码的关系

噪声漂移测量

要实现高精度，电路输出端的峰峰值噪声必须维持在1 LSB以下，对于20位分辨率和+10 V单极性电压范围则为9.5 μV。

实时噪声应用中不会在0.1 Hz处有高通截止频率来衰减1/f噪声，但会在其通带中包含低至DC的频率；因此，测得的峰峰值噪声如图4所示。本例中，电路输出端的噪声是在100秒内测得的，测量充分涵盖低至0.01 Hz的频率。

此测量需要使用温度控制的超低噪声基准电压源，以免温漂成为影响噪声性能的主要因素。

零电平输出电压的噪声最低，此时噪声仅来自DAC内核。选择零电平码时，DAC会衰减各基准电压路径的噪声贡献。

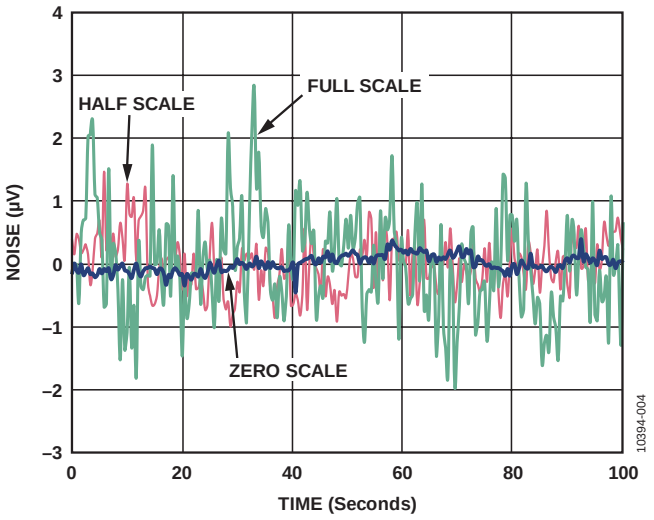


图4. 采用精密基准电压源时，100秒内测得的DAC输出电压噪声：满量程（绿色）、中间电平（红色）和零电平（蓝色）

随着测量时间变长，较低频率将包含在内，而峰峰值将变大。频率较低时，温度漂移和热电偶效应会变成误差源。通过选择热系数较小的器件可以将上述效应降至最小。

欲查看完整原理图和印刷电路板的布局，请参见CN-0257设计支持包：www.analog.com/CN0257-DesignSupport。

常见变化

AD5790支持各种不同的输出范围，从0 V至+5 V、最高±10 V以及该范围内的任意值。如果需要双极性配置，则VREFN引脚必须用反相精密高基准电压供电。此外，同样需要精密放大器技术和精密温度稳定型电阻。

AD8676是运算放大器AD8675的双通道版本，需要时可以用于该电路。

电路评估与测试

设备要求

- 系统演示平台 (EVAL-SDP-CB1Z)
- EVAL-AD5790SDZ评估板和软件
- Krohn-Hite 523型精密基准电压源
- Agilent 3458A万用表
- PC（Windows 32位或64位操作系统）
- National Instruments GPIB转USB-B接口电缆
- SMB电缆(2)

软件安装

AD5790评估套件包括一张光盘，其中含有自安装软件。该软件兼容Windows XP (SP2)和Vista（32位和64位）。如果安装文件未自动运行，您可以运行光盘中的**setup.exe**文件。

请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

1. 光盘文件安装完毕后，按照“电源”部分所述为AD5790评估板接通电源。将SDP板（通过连接器A或连接器B）连接到AD5790评估板，然后利用附送的电缆连接到PC的USB端口。
2. 检测到评估系统后，确认出现的所有对话框。这样就完成了安装。

功能框图

测试配置的功能框图如图6所示。

电源

必须提供下列外部电源：

- AD5790的数字电源：在连接器J1的VCC与DGND之间提供3.3 V电源。或者将链路1放在位置A，以便从USB端口通过SDP板为数字电路供电（默认设置）。
- AD5790的正模拟电源：在J2的VDD与AGND输入之间提供+12 V至+16.5 V的电源。
- AD5790的负模拟电源：在J2的VSS与AGND输入之间提供–12 V至–16.5 V的电源。
- +5 V精密基准电压源，连接到标有VREF的SMB连接器。

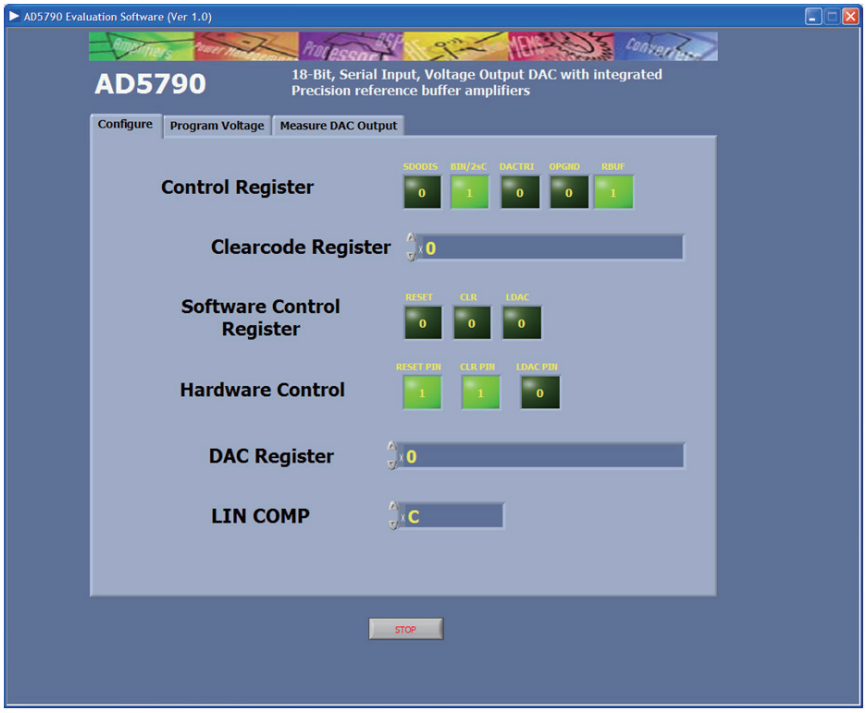


图5. 评估软件主窗口

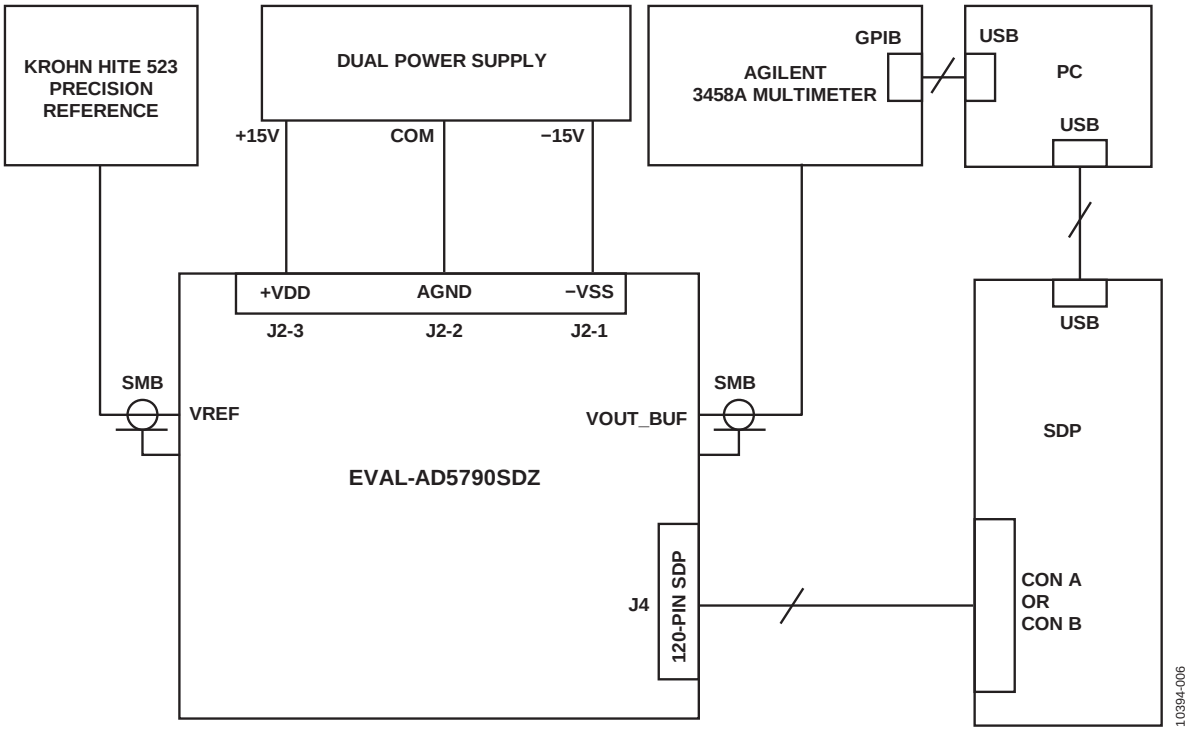


图6. 测试设置功能框图

默认链路选项设置

默认链路选项如表1所示。该板的默认配置为：VREFP = +10 V，VREFN = −10 V，输出范围为±10 V。

表1. 默认链路选项

链路号	选项
LK1	A
LK2	B
LK3	A
LK4	移除
LK5	移除
LK6	移除
LK7	移除
LK8	C
LK9	插入
LK11	插入

要将该板配置为图1所示电路，必须对表1中的默认链路配置进行如下改动：

1. 将LK3放在位置A
2. 移除LK4
3. 将LK8放在位置B
4. 移除LK9

这些改动将输出缓冲放大器的增益配置为1，并将AD5790的VREFN引脚连接到地。此外，评估板上标有VREF的SMB连接器现在配置为可接受+5 V精密基准电压。

欲了解有关EVAL-AD5790SDZ测试设置的更多信息，请参阅用户指南UG-342。

测试

VOUT_BUF SMB连接器连接到Agilent 3458A万用表。线性度测量利用AD5790 GUI上的“测量DAC输出”选项卡进行。

噪声漂移测量也是在VOUT_BUF SMB连接器上进行。输出电压利用AD5790 GUI上的“设置电压”选项卡进行。峰峰值噪声漂移的测量时间为100秒。

欲详细了解参数定义以及如何利用测量数据计算INL、DNL和噪声，请参阅AD5790数据手册的“术语”部分和以下文献：*数据转换手册*第5章“测试数据转换器”，ADI公司。

更多资料

CN0257设计支持包：
www.analog.com/CN0257-DesignSupport

Egan，Maurice。“用20位DAC实现1 ppm精度精密电压源”。《模拟对话》，第44卷，2010年4月。

Kester，Walt。2005年。*数据转换手册*。ADI公司。第3章、第5章和第7章。

教程MT-015：*DAC基本架构II：二进制DAC*。ADI公司。

教程MT-016：*DAC基本架构III：分段DAC*。ADI公司。

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

教程MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

基准电压源向导设计工具。

电路笔记CN-0177：*18位、线性、低噪声、精密双极性±10 V直流电压源*。

电路笔记CN-0191：*20位、线性、低噪声、精密双极性±10V直流电压源*。

电路笔记CN-0200：*18位、线性、低噪声、精密双极性±10 V直流电压源*。

用户指南UG-342：*集成精密基准电压源缓冲器放大器的20位串行输入、电压输出DAC评估板*。

数据手册和评估板

AD5790数据手册和评估板

AD8675数据手册

AD8676数据手册

修订历史

2011 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" 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.

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10394sc-0-12/11(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0260。

连接/参考器件	
AD7985	16位、2.5 MSPS、15.5 mW PulSAR® ADC，采用LFCSP封装
AD8253	10 MHz，20 V/µs，G = 1、10、100、1000 *i*CMOS®可编程增益仪表放大器
AD8021	16位系统的低噪声、高速放大器
ADA4004-2	1.8 nV/√Hz、36 V精密双通道放大器
ADR439	超低噪声、4.5 V XFET®基准电压源，具有吸电流和源电流能力

采用PGA的过采样SAR ADC，可实现125 dB以上的动态范围(CN0260)

评估和设计支持

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所示电路是一个灵活的信号调理模块，具有低噪声、相对较高的增益以及在不影响性能的前提下根据输入电平变化动态改变增益的能力，同时仍维持宽动态范围。现有Σ-Δ技术可以提供许多应用所需的动态范围，但代价是低更新速率。本电路提供了一种替代方法，将16位、2.5 MSPS PulSAR®逐次逼近型ADC AD7985与自动调节量程*i*CMOS®可编程增益仪表放大器(PGA) AD8253前端结合使用。由于增益根据模拟输入值自动变化，该器件使用过采样和数字处理将系统动态范围增加至125 dB以上。

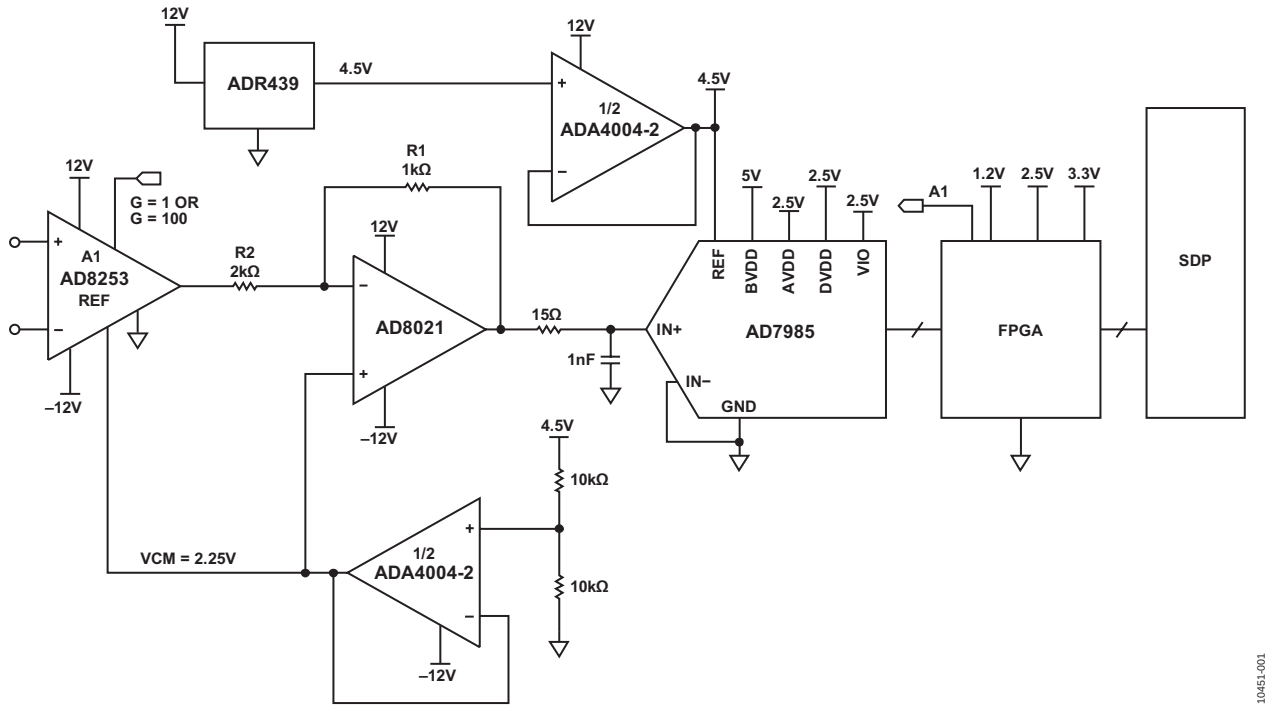


图1. 采用自动调节量程PGA和过采样SAR ADC的宽动态范围信号调理电路（注意：未显示所有连接和去耦）

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/cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

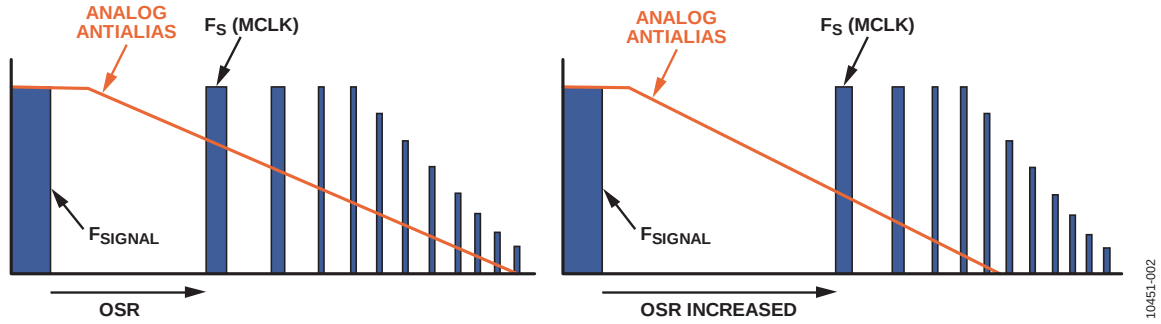


图2. 增加过采样率(OSR)可降低噪声

电路描述

许多应用需要宽动态范围。电子秤系统通常使用最大满量程输出为1 mV至2 mV的称重传感器桥式传感器。此类系统可能需要1,000,000：1水平的分辨率，以2 mV满量程输入为例子，此时需要高性能、低噪声、高增益放大器和Σ-Δ调制器。同样，医疗应用中的化学和血液分析通常使用光二极管传感器，这些器件会产生极小的电流并且需要精确测量。某些应用，例如振动监控系统，同时包含交流和直流信息，因此精确监控大小两种信号的能力至关重要。Σ-Δ型ADC在许多情况下虽然胜任，但如果需要交流和直流测量以及快速增益开关，则会受限制。

过采样是以比奈奎斯特频率高得多的速率来对输入信号进行采样的过程。一般说来，采样频率每提高一倍，原始信号带宽内的噪声性能大约可改进3 dB。过采样ADC之后是数字后处理，用以消除信号带宽外部的噪声，如图2所示。

要实现最大动态范围，可添加前端PGA级以增加极小信号输入下的有效信噪比(SNR)。试考虑>126 dB的系统动态范围要求。首先计算实现此动态范围所需的最低均方根噪声。例如，3 V输入范围(6 V p-p)具有2.12 V的满量程均方根值(6/2√2)。最大容许系统噪声如下计算

126 dB = 20 log（2.12 V/均方根噪声）

因此均方根噪声 ≈ 1 μV rms。

现在考虑系统更新速率，它决定系统容许的过采样率和最大噪声量（以输入(RTI)为基准）。例如，16位、2.5 MSPS PulSAR ADC AD7985以600 kSPS（功耗为11 mW）和72倍过采样率工作时，系统在均值和抽取后的有效吞吐速率为600 kSPS ÷ 72 = 8.33 kSPS。因此输入信号限于约4 kHz的带宽。

总均方根噪声是噪声密度(ND)乘以√f，最大容许输入频谱噪声密度(ND)可如下计算

1 μV rms = ND × √4 kHz

即ND = 15.8 nV/√Hz。

根据RTI系统输入噪声的该品质因数，可以选择适当的仪表放大器，以提供充足的模拟前端增益（通过相关过采样与ADC SNR相加），实现所需的126 dB。对于AD7985，典型SNR数值为89 dB，通过72倍过采样还可获得~18 dB的改善（72约为2^6，每翻一倍增加3 dB）。实现126 dB DR仍需要另外20 dB的改善，可以来自模拟PGA级提供的增益。仪表放大器必须提供≥20的增益（只要不超过15.8 nV/√Hz的噪声密度规格）。

图1显示了实现上述前端PGA增益和ADC过采样的系统级解决方案。输入级使用AD8253——极低噪声(10 nV/√Hz)的数字控制仪表放大器。增益选项如下：G = 1, 10, 100, 1000.

AD8021是能够驱动AD7985的2.1 nV/√Hz低噪声、高速放大器。该器件还会对AD8253输出进行电平转换和衰减。AD8253和AD8021均采用2.25 V的外部共模偏置电压工作，两者结合以在ADC的输入端维持相同共模电压。基准电压为4.5 V时，ADC的输入范围为0 V至4.5 V。

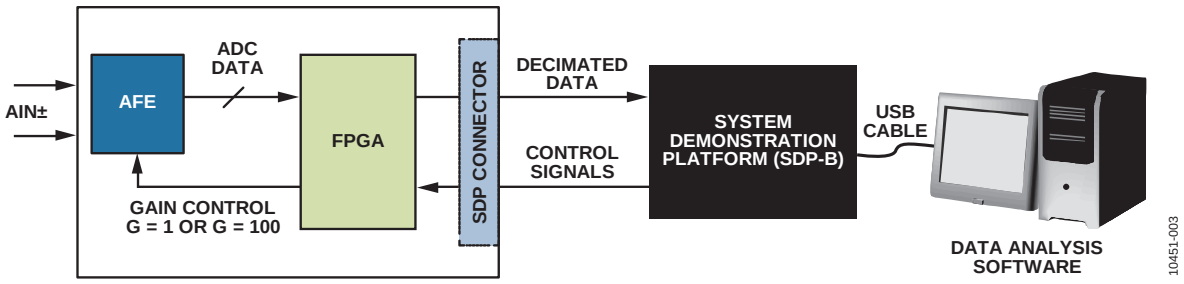


图3. 用于测量系统性能的测试设置

AD8021的输出使用高速ADC来测量。PGA增益可根据输入信号的幅度动态设置。对于小信号输入，增益设置为100。对于更大输入，增益降低至1。

使用QFN封装的16位、2.5 MSPS PulSAR ADC AD7985（功耗为11 mW）实施数字后处理，由于该器件具有快速采样速率，还可用于在低输入带宽应用中实施高阶过采样。鉴于以输入(RTI)为基准时完整系统噪声预算为15.8 nV/√Hz（最大值），可以计算每个模块的主要噪声源，以确保不超过15.8 nV/√Hz的硬限值。AD8021的折合到输入端噪声规格<3 nV/√Hz，当折合到增益为100的AD8253级时可忽略。使用外部4.5 V基准电压时，在<45 μV rms的噪声分辨率下，AD7985的额定SNR为89 dB。

如果考虑300 kHz的奈奎斯特带宽，ADC在此带宽内将提供~83 nV/μHz的噪声。折合到AD7985的输入端时，它的<1 nV/√Hz噪声在系统内可忽略，此时使用方和根计算对RTI噪声源求和。

使用AD8253的另一优点是它具有数字增益控制功能，可以根据输入变化动态地改变系统增益。这一点通过巧用系统的数字信号处理能力便可实现。在本应用中，数字处理的主要功能是利用AD7985 16位转换结果产生较高分辨率的输出。实现方法是对数据进行均值和抽取计算，并根据输入幅度自动切换模拟输入增益。过采样过程的输出数据速率低于ADC采样速率，但动态范围大幅增加。

为完成本应用数字端的原型制作，使用现场可编程门阵列(FPGA)作为数字内核。为了快速调试系统，使用系统演示平台(SDP)连接器标准将模拟电路和FPGA整合到单片电路板上，以便轻松实现PC的USB连接，如图3所示。SDP是可重用硬件和软件的组合，可以在大多数常用元件接口上轻松实现硬件的控制和数据采集。

本模块根据当前增益设置、两个原始ADC样本和一些硬编码阈值输出新增益设置。系统内使用四个阈值。这些阈值的选择对最大化系统的模拟输入范围很重要，可确保在尽可能大的信号范围内使用G = 100模式，同时防止ADC输入过驱。请注意，该增益模块处理的是每个原始ADC结果，而不是未归一化的数据。在此前提下，系统可使用的一些阈值示例如下（假设使用中间电平为零的双极性系统）：

T1（正阈值下限）：+162

（中间电平以上的162个代码）

T2（负阈值下限）：–162

（中间电平以下的162个代码）

T3（正阈值上限）：+32507

（正满量程以下的260个代码）

T4（负阈值上限）：-32508

（负满量程以上的260个代码）

在G = 1模式下，使用内部限值T1和T2。如果实际ADC结果介于T1和T2之间，增益便切换至G = 100模式。这样可确保ADC的模拟输入电压尽快最大化。接着，在G = 100模式下，使用外部限值T3和T4。如果预测ADC结果高于T3或低于T4，增益便切换至G = 1模式，以防止ADC输入超量程，如图4所示。

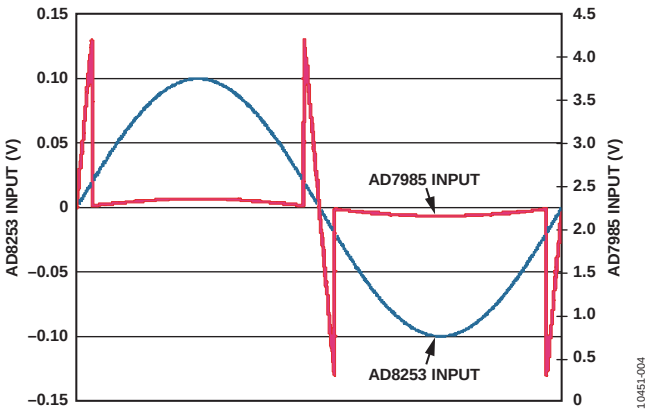


图4. 当预测模数转换器输入将超出阈值限值时，从放大器输入到转换器输入的增益减少100（蓝线：放大器输入；红线：转换器输入。）

在G = 100模式下，如果算法预测下一ADC样本将刚好超出外部阈值（使用最基本的线性预测），假定ADC结果为+32510，则增益切换至G = 1，下一ADC结果是+325而不是+32510。

总体系统性能

一旦增益和抽取算法经过全面优化，即可测试整个系统。图5显示系统对–0.5 dBFS的大信号1 kHz输入音的响应。考虑100的PGA增益时，实现的动态范围为127 dB。同样，测试图6中的小信号输入时，如果输入音为70 Hz（–46.5 dBFS时），最高可实现129 dB的动态范围。由于该测量中增益范围未发生有效切换，预期在较小输入音下可获得性能提升。

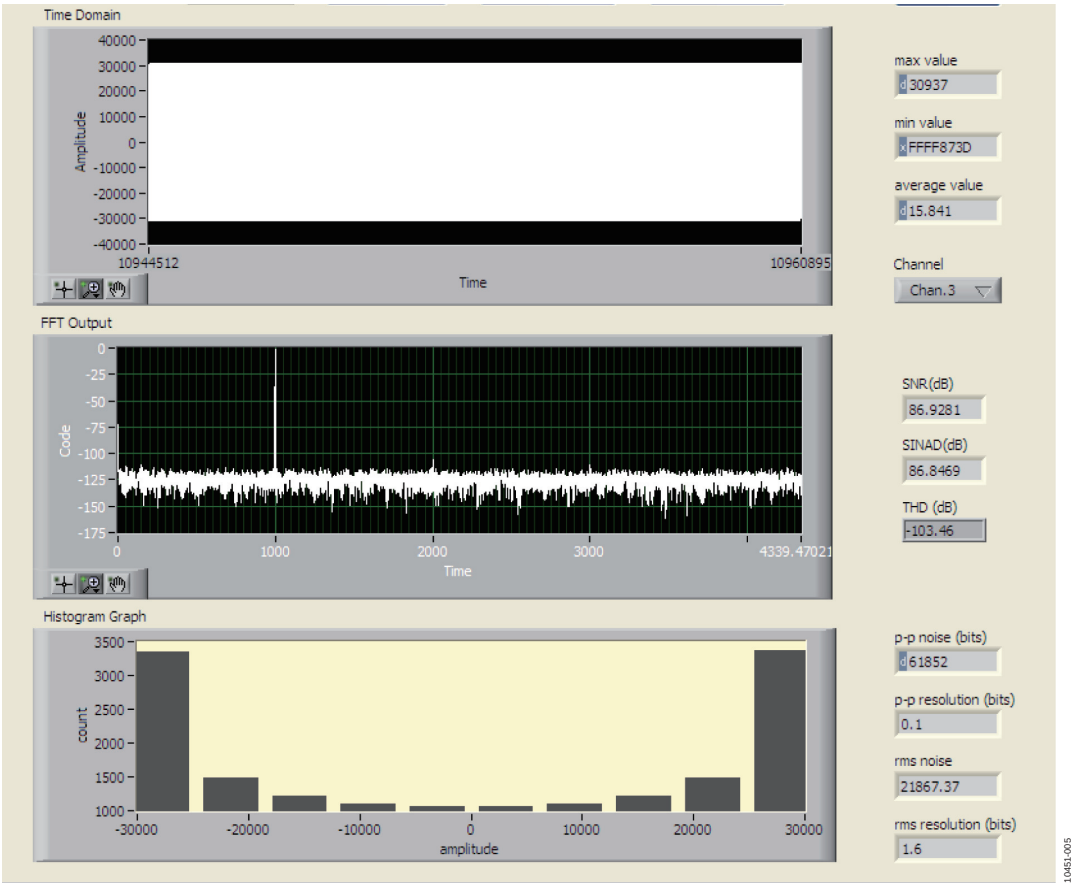


图5. 大量程1 kHz信号的响应显示127 dB的动态范围

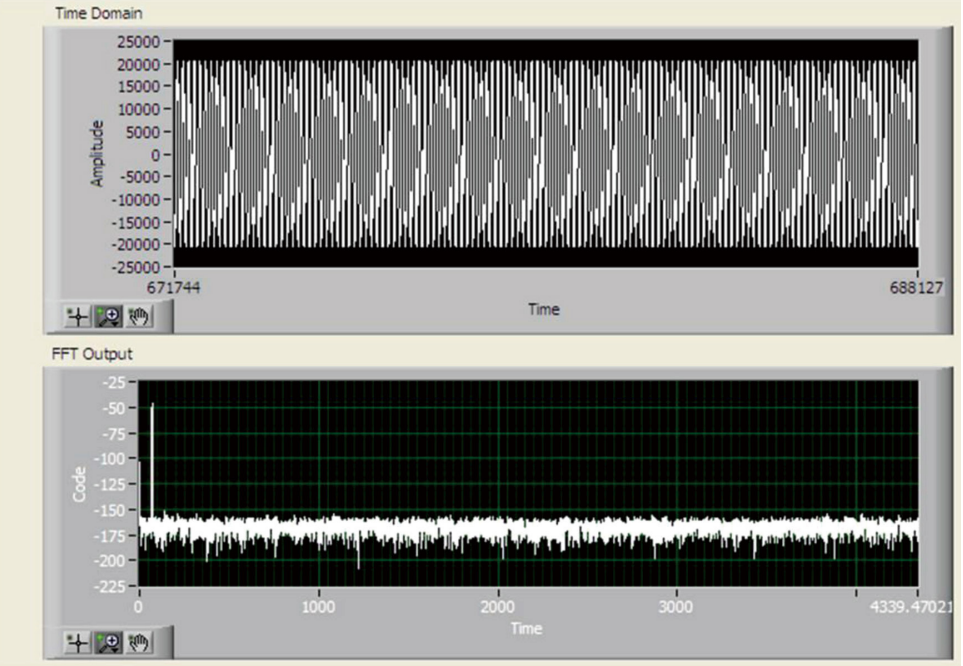


图6. 70 Hz小量程输入信号的响应

系统性能取决于动态切换增益以同时处理小信号输入和大信号输入的能力。虽然Σ-Δ技术提供了极佳的动态范围，基于SAR的解决方案也是一种根据输入信号动态改变前端增益的方式，而且不会影响系统性能。这样便可实时测量小信号和大信号交流、直流输入，而不必等候系统建立时间，或者因延迟的增益变化产生大的毛刺。

常见变化

本应用可考虑的其他16位PulSAR ADC有AD7983（16位，1.33 MSPS）和AD7980（16位，1 MSPS）。也可选择使用18位PulSAR ADC，包括AD7986（18位，2 MSPS）、AD7984（18位，1.33 MSPS）和AD7982（18位，1 MSPS）。

电路评估与测试

图3显示了用于评估该电路的基本测试设置。有关PCB的完整原理图和布局，请参阅CN-0260设计支持包：http://www.analog.com/cn0260-designsupport。

输入端切记使用低噪声、低失真信号源，例如Agilent 33120A、Audio Precision System Two 2322，或等效器件。

更多资料

CN0260设计支持包：
www.analog.com/CN0260-DesignSupport

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

教程MT-001：*揭开一个公式(SNR = 6.02N + 1.76dB)的神秘面纱，以及为什么我们要予以关注*。ADI公司。

教程MT-004：*ADC输入噪声面面观—无噪声是利还是弊?* ADI公司。

教程MT-021：*ADC架构II：逐次逼近型ADC*。ADI公司。

教程MT-022：*ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础*。ADI公司。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

Colm Slattery和Mick McCarthy，“过采样ADC与PGA结合，提供127 dB动态范围”。*模拟对话*，第45卷，2011年12月。

数据手册和评估板

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD7985数据手册

AD8253数据手册

AD8021数据手册

ADA4004-2数据手册

ADR439数据手册

修订历史

2012年1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" 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.

©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10451sc-0-03/12(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0267。

连接/参考器件	
ADuCM360	低功耗、精密模拟微控制器
AD5421	16位、环路供电、4 mA至20 mA DAC
AD5700	低功耗HART调制解调器

具有HART接口的完整4 mA至20 mA环路供电现场仪表

评估和设计支持

电路评估板

CN0267电路评估板(DEMO-AD5700D2Z)

设计和文件汇总

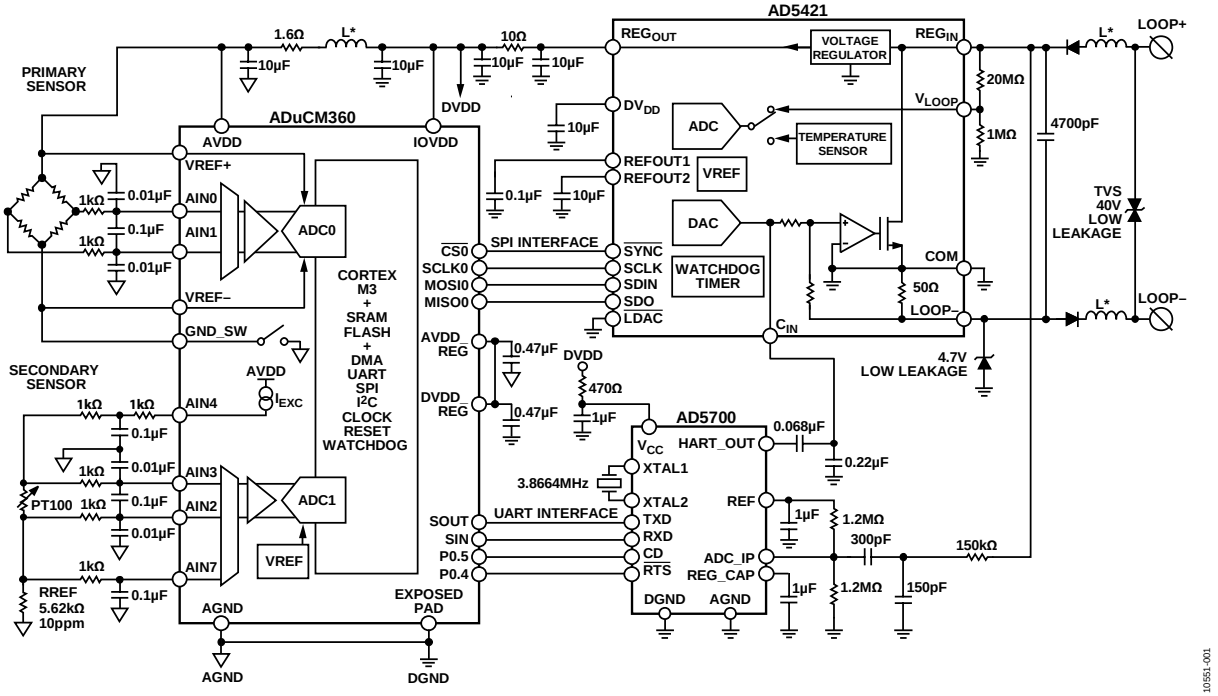
原理图、布局文件、物料清单、代码示例

电路功能与优势

图1所示电路是一款完整的智能工业环路供电现场仪器，提供4 mA至20 mA模拟输出和可寻址远程传感器高速通道(HART®)接口。HART是一种数字双向通信，可在4 mA至20 mA模拟电流信号之上调制一个1 mA峰峰值频移键控(FSK)信号。它可实现众多功能，例如远程校准、故障查询和过程变量传输；这些功能在诸如温度和压力控制等应用中是必须的。

该电路已通过兼容性测试和验证，并通过了HART通信基金会(HCF)的注册。这一成功注册可让电路设计人员极其放心地使用电路中的一个或全部元件。

该电路使用了超低功耗精密模拟微控制器ADuCM360、4 mA至20 mA 16位环路供电数模转换器(DAC) AD5421，以及业界功耗最低、尺寸最小的HART兼容型IC调制解调器AD5700。



NOTES
1. L* = FERRITE BEAD, 0.3Ω @ DC, 1kΩ @ 100MHz.
2. THE ADuCM360 EXPOSED PAD IS CONNECTED TO DGND.

图1. 具有HART接口的4 mA至20 mA环路供电现场仪器(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 **www.analog.com.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

模拟前端接口

ADuCM360模拟前端集成双通道、高性能、24位Σ-Δ型模数转换器(ADC)。同时还集成了可编程增益仪表放大器、精密带隙基准电压源、可编程电流源、灵活的多路复用器以及其它许多特性。该器件允许直接与多个模拟传感器对接，如压力传感器电桥、电阻式温度传感器、热电偶以及工业用途的其它各类传感器。

图1表示连接主要桥式传感器与辅助电阻式温度传感器的示例电路。而ADuCM360具有灵活的前端，允许进行除此之外的其它各种配置，满足各种类型的精密模拟传感器应用要求。

主传感器输入

ADuCM360的片内ADC0测量现场仪器的主传感器，在图1中表示为桥式传感器。该传感器通过一个RC滤波器网络连接至模拟输入引脚AIN0和AIN1，以便增强系统抵抗电磁干扰的能力。共模滤波器带宽约为16 kHz，差模带宽为800 Hz。

ADuCM360的VREF+和VREF−基准电压输入检测电桥的激励电压并启动电路的比率工作模式，使测量独立于传感器电源电压的确切值。若应用需要，则片内接地开关可动态断开电桥的激励电压，降低功耗。

辅助传感器输入

本电路使用100 Ω铂(Pt)电阻温度检测器(RTD)作为辅助传感器。RTD能够检测主传感器的温度，因此，如果必要，可对主传感器进行温度补偿。

ADuCM360可编程电流源通过AIN4引脚为RTD提供电源。ADuCM360上的ADC1利用配置为差分输入的AIN3和AIN2引脚，测量RTD的电压。利用精密电阻(RREF)，对流过RTD的确切电流值进行检测，并使用ADC1的AIN7引脚测得。ADC1使用片内带隙基准电压源。

数字数据处理、算法和通信

所有现场仪器的数字功能均由ADuCM360 32位ARM Cortex™ M3 RISC处理器提供，该处理器集成128 k字节非易失性flash/EE存储器、8 k字节SRAM，以及一个支持有线(2× SPI、UART、I^2C)通信外设的11通道直接存储器访问(DMA)控制器。

演示软件可进行初始化和配置、处理来自模拟输入的数据、控制模拟输出，并进行HART通信。

模拟输出

AD5421集成16位低功耗精密DAC，该DAC带4 mA至20 mA环路供电输出驱动器，可提供现场仪器模拟输出所需的全部功能。

AD5421通过SPI接口与ADuCM360控制器对接。

AD5421还集成了一系列与4 mA至20 mA环路相关的诊断功能。辅助ADC可通过连接至V_{LOOP}引脚上的20 MΩ/1 MΩ电阻分压器测量仪器环路端的电压。该ADC还可通过集成式传感器测量芯片温度。ADuCM360控制器可配置并读取AD5421的全部诊断数据，但AD5421也可采用自主工作方式。

例如，若控制器和AD5421之间的通信发生故障，AD5421将在一段时间后自动设置其模拟输出为3.2 mA报警电流。此报警电流将现场仪器工作故障这一情况汇报给主机。

输出电流值的任何改变都受到软件的控制，以防对HART通信产生干扰。(参见“模拟变化率”部分)。

HART通信

AD5700集成完整的HART FSK调制解调器。该调制解调器通过标准UART接口，伴随请求发送(RTS)和载波检测(CD)信号实现与ADuCM360控制器的连接。

HART输出通过0.068 μF/0.22 μF容性分压器调整至所需幅度，并耦合至AD5421的CIN引脚，然后与DAC输出一同驱动和调制输出电流。

HART输入通过一个简单的无源RC滤波器，从LOOP+端耦合至AD5700的ADC_IP引脚。RC滤波器作为第一级，用作HART解调器的带通滤波器，同时增强系统抵抗电磁干扰的能力——这对于稳定工作在恶劣工业环境中的应用而言非常重要。

AD5700低功耗振荡器采用与XTAL1和XTAL2引脚直接相连的3.8664 MHz外部晶振，产生HART调制解调器的时钟。

输出保护

瞬变电压抑制器(TVS)保护4 mA至20 mA HART接口免受过压影响。其额定电压不应超过AD5421在REG_{IN}引脚上的60 V绝对最大电压。请注意，TVS泄漏电流可能会影响电流输出精度；因此，选用此器件时，需关注一定环路电压和温度范围下的泄漏电流。

可使用外部耗尽型FET与AD5421搭配工作，提高环路电压最大值。

本电路具有保护功能，通过与环路输出相串联的一对二极管保护电路免受极性反转的影响。

铁氧体磁珠与环路串联，该串联部分与4700 pF电容一同提升系统的EMC性能。由于HART网络的规格限制，请勿在环路端点处使用更高数值的电容。

4.7 V低泄露齐纳二极管保护AD5421的片内50 Ω环路检测电阻免受AD5421的COM引脚和LOOP−引脚间意料之外的外部电压影响(例如，对ADuCM360编程或调试电路时)。

电源和电源管理

包括传感器驱动电流在内的完整现场仪器电路必须工作在4 mA至20 mA环路提供的限量电源下。这对所有环路供电现场仪器设计而言，都是一个普遍的难题。图1中的电路提供了低功耗以及高性能解决方案的一个实例。应用中用到的全部三个集成电路均针对低功耗而设计，并且电路依靠各自的集成特性提供灵活的电源管理结构和性能最优的环路供电解决方案。

AD5421采用4 mA至20 mA环路电压供电，为电路的其余部分提供经过调节的低电压。AD5421的REG_{OUT}电压在1.8 V至12 V范围内引脚可编程，具体电压值取决于电路要求。图1中的电路采用3.3 V电源电压选项，作为所用输入传感器的一个实例。然而，由于ADuCM360和AD5700具有更宽的电源电压范围，因此可采用不同的电源电压，以满足应用要求。

REG_{OUT} RC滤波器(10 µF/10 Ω/10 µF)有助于防止传感器模拟前端受到来自环路的任何干扰的影响。它还能防止电路产生的任何干扰(尤其是控制器和数字电路产生的干扰)回流耦合至环路，这对于可靠的HART通信而言非常重要。

AD5700 HART调制解调器通过一个额外的RC滤波器供电(470 Ω/1 µF)。该滤波器在环路供电应用中的作用非常重要，因为它可防止AD5700的电流噪声与4 mA至20 mA环路输出进行耦合；若非如此，将影响HART通信。在静默测试期间，特地通过HART带内噪声解决4 mA至20 mA环路噪声性能问题。AD5700调制解调器使用外部晶振，以及通过XTAL1和XTAL2接地的8.2 pF电容，在使用最低功耗中电容是选加的。

ADuCM360具有极为灵活的内部电源管理功能，提供所有内部模块的许多供电和时钟选项，并且当软件调用时，允许针对特定的仪器应用，在要求的功能、性能和功耗之间取得最佳平衡。请参考ADuCM360产品页面和AN-1111应用指南。

模拟前端AVDD通过另一个滤波器(10 µF/铁氧体磁珠/1.6 Ω/10 µF)供电，以便最大程度针对低压传感器信号减少电源噪声，获得更佳性能。

ADuCM360的GND_SW接地开关引脚控制主传感器的激励和电源。仪器上电时，开关默认为关闭。这一默认设定允许在开启传感器之前对系统进行全面配置，包括适当的电源模式，从而最大程度降低4 mA至20 mA环路输出上可能存在的任何上电尖峰。

类似地，辅助传感器采用ADuCM360的可编程电流源供电，因此可通过软件完全控制其电源输入。

ADuCM360软件

可在CN-0267设计支持包中找到演示本电路功能和性能的基本代码示例。

代码示例包括基本HART从机命令响应，用于演示硬件的功能和特性。代码示例不包括HART通信的协议层。

常见变化

ADuCM360具有一个高性能且非常灵活的模拟前端，提供12个模拟输入引脚以及供基准电压源和接地开关使用的额外引脚。它允许与多个各类模拟传感器直接接口，比如任意的阻性桥式传感器、电阻式温度传感器或热电偶。由于可用于几乎所有的传感器现场仪器，这款现场仪器解决方案并不局限于温度补偿型压力测量。

在模拟前端只需一个Σ-Δ型ADC的应用中，可使用ADuCM361替换ADuCM360。除了没有第二个ADC，ADuCM361提供ADuCM360的所有特性。

ADuCM361片内DAC和外部晶体管可用于控制4 mA至20 mA环路，详情请参见CN-0300。

AD5421可通过保护电路直接与环路相连。也可在AD5421和环路电源之间连接一个耗尽型N沟道MOSFET，如图2所示。由于在本配置中使用额外MOSFET，因此可将AD5421上的电压降保持在12 V左右，降低AD5421封装的功耗，并增加4 mA至20 mA模拟输出精度。它还可将环路允许的最大电压提升至MOSFET的额定电平值。额外的MOSFET对HART通信无影响。

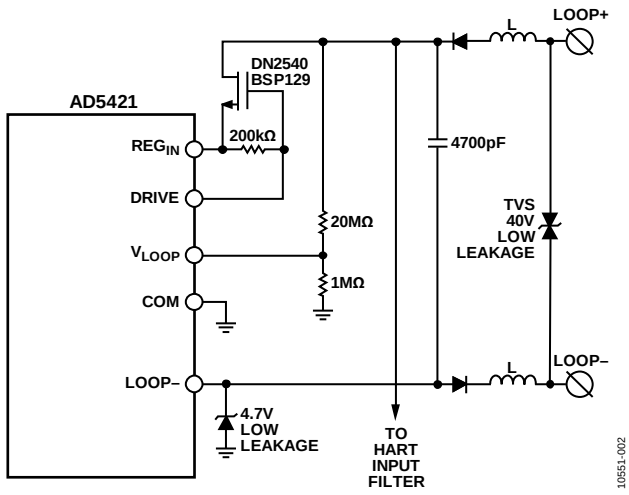


图2. MOSEFT连接至AD5421环路电源

本电路中，AD5700与3.8664 MHz晶振共同使用，形成具有最低功耗的配置。作为替代方案，AD5700-1可配合0.5 %精度的集成式内部振荡器使用。与晶体振荡器相比，内部振荡器最多会增加225 μA调制解调器电源电流，但因为无需使用外部晶体，因此该方案同时节省了成本，降低了所需的电路板面积。

对于非环路供电的应用，则AD5410、AD5420、AD5422或AD5755是针对4 mA至20 mA DAC不错的选择。

电路评估与测试

电路硬件

图1中的电路基于图3中的DEMO-AD5700D2Z印刷电路板构建。



图3. DEMO-AD5700D2Z印刷电路板(未显示压力传感器)

DEMO-AD5700D2Z电路板具有一些额外的特性，方便进行系统评估。连接器具有0.1英寸的引脚间距，允许使用可选的主级和次级传感器连接。HART兼容性测试可能需要用到HART RTS和DC信号的测试点。

DEMO-AD5700D2Z边沿上的连接器使ADuCM360信号线和UART下载/调试信号可被访问，让软件开发、代码下载和在线调试与仿真更为便捷。连接器带有小型的连接头扩展器(随DEMO-AD5700D2Z板一同提供)，兼容ADI的所有基于Cortex-M3的开发工具，例如EVAL-ADuCM360QSPZ评估套件(该评估套件不随DEMO-AD5700D2Z板提供)。

图1的简化框图中未显示这些特性；然而，可在CN-0267设计支持包中的完整电路图上看到它们。设计支持包还包括完整的现场仪器C语言代码示例，可用来对全部硬件模块和电路特性进行完整的验证与评估，并对HARt接口的功能性提供一定程度的验证。有关HART接口规格和资源的详细信息，请联系HART通信基金会。

HART兼容性

DEMO-AD5700D2Z已通过HART FSK物理层规范(HCF_SPEC-054，修订版8.1)的兼容性验证，该验证采用HART物理层测试规范(HCF_TEST-2，修订版2.2)中的方法和设备。本电路板已提交HART通信基金会，并成功注册。

可在HART通信基金会(HFC)网站上找到该注册电路，产品目录为：DEMO-AD5700D2Z。

涉及的两项测试为：静默期间的输出噪声和模拟变化率。

静默期间的输出噪声测试

当HART设备没有进行传输(静默)时，噪声不应耦合至网络上。噪声过高可能会干扰设备本身或网络上的其它设备对HART信号的接收。

对于在环路中的500 Ω负载上测得的电压噪声，其包含的宽带噪声和HART扩展频带中的相关噪声总和不能超过2.2 mV rms。此外，HART扩展频带外的噪声不应超过138 mV rms。

500 Ω负载上的噪声采用真均方根测量仪测得。此噪声作为带外噪声直接进行测量，作为带内噪声通过HCF_TOOL-31滤波器测量。也可使用示波器来检查噪声波形。

在最差情况下进行噪声测量，即4 mA输出电流。图4显示捕获的噪声波形，结果总结在表1中。

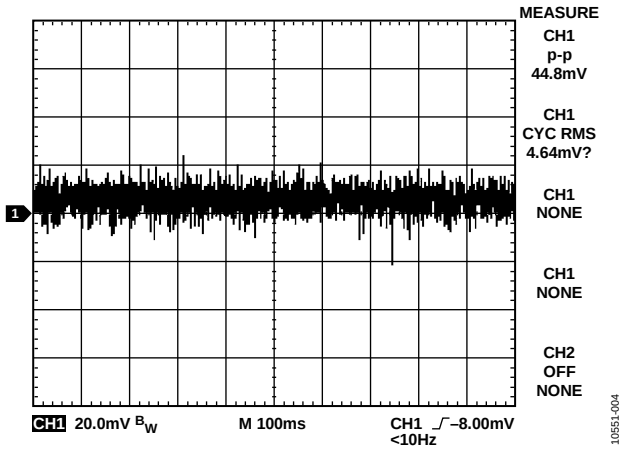


图4. 静默波形下的输出噪声

表1. 静默时的输出噪声

输出噪声	测得值 (mV)	测得值 (mV)
扩展频率范围以外	4.13	<138
扩展频率范围以内	1.03	<2.2

模拟变化率测试

此规范可确保当设备调节模拟输出电流时，模拟电流的最大变化率不会干扰HART通信。电流的阶跃变化会扰乱HART信号传输。

最差情况下的模拟输出电流变化一定不能产生高于15 mV峰值电压的干扰，此数值在HART扩展频带下，通过对500 Ω负载进行测量得到。

AD5421 DAC和输出驱动器相对较快。因此，为了满足所需的系统规格，可将AD5421的硬件压摆率限值与ADuCM360软件中的数字滤波器相结合，控制输出电流的变化。

通过与AD5421的C_{IN}引脚相连的电容，设置硬件压摆率限值。当模拟输出电流值需要改变较大的步进时，ADuCM360软件将发送到AD5421 DAC的输出电流变化分割成数个较小的步进。

使用一个示波器执行该测试，并通过HCF_TOOL-31滤波器耦合至500 Ω负载。

结果如图5所示。波形CH1显示4 mA和20 mA之间的周期性步进，直接在500 Ω负载上测得。波形CH2是HCF_TOOL-31滤波器输出端捕获的信号，将其放大10倍，并处于150 mV峰值限制之内。

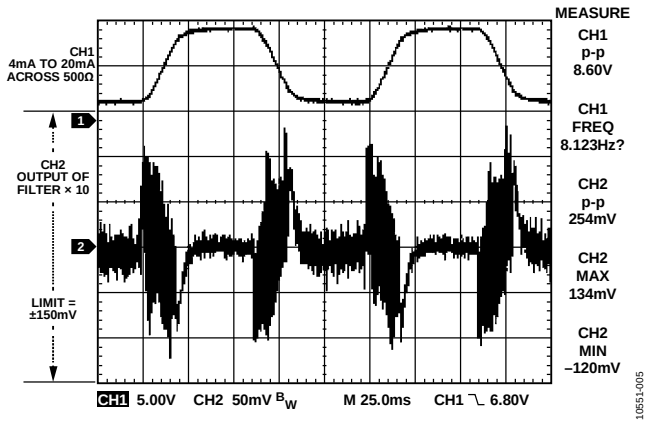


图5. 模拟变化率波形

电路功耗

使用两种方法来评估电路功耗性能。

在第一种方法中，测量来自AD5421集成式电压调节器的输出电流。

考虑到最小模拟输出电流为4 mA，并且HART输出直流调制峰值为0.5 mA，则电路在正常工作模式下消耗的最大电流必须低于3.5 mA。AD5421自身工作需消耗0.3 mA的最大电流，因此留给AD5421 REG_{OUT}输出的最大电流约为3.2 mA。

为了便于进行在线测量，DEMO-AD5700D2Z在10 Ω电阻两侧的REG_{OUT}输出滤波器中均有测试点(T5，T6)，如图6所示。此设置允许对电阻上的压降进行测量，并对电流进行计算，而无需打断电源电流或干扰电路。

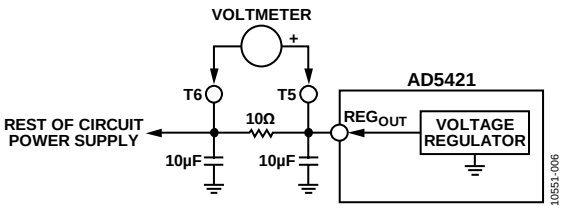


图6. 使用测试点测量AD5421 REG_{OUT}电流

结果显示在表2中，测量条件如下：

- REG_{OUT} = 3.3 V
- ADuCM360 M3内核时钟 = 2 MHz
- 两个ADC每秒均转换50个样本
- ADC0的两个缓冲器均开启，增益 = 8
- ADC1的两个缓冲器均开启，增益 = 16
- RTD激励电流 = 200 µA
- SPI与AD5421通信的串行时钟 = 100 kHz
- HART通信

电路及所有相关模拟和数字模块(包括输入传感器)的功耗在环路电流最小值为4 mA时，许可的预算之内。

表2. AD5421的电源电流(REG_{OUT} = 3.3V)

输入传感器	T5至T6电压最大值(mV)	REG_{OUT}电流最大值(mA)
无	24.4	2.44
24PCDFA6D(3.3 V时为5 kΩ、0.66 mA)	31.0	3.10

在评估电路功耗的第二种方法中，电路经验证正常工作，执行HART通信任务时的模拟输出电流设置为4 mA最小值。结果显示电路提供4 mA电流，且HART输出信号不失真。

主传感器输入性能

ADuCM360片内集成大部分模拟前端，因此模拟输入的性能主要由ADuCM360的规格决定。

噪声电平是受模拟前端与板上其余电路部分交互干扰的主要因素。因此，测试主要针对噪声以及相关的系统分辨率性能。

该演示配置为从主模拟输入通过HART通信发送数据，数值以压力表示，单位为kPa。捕获100个样本，完成基本数据分析以便量化性能。两项测试包括：

- 第一项测试将标准压力传感器(Honeywell 24PCDFA6D)直接焊接至电路板上。
- 第二项测试采用由一组固定和可变电阻生成的主输入信号执行，如图7所示。

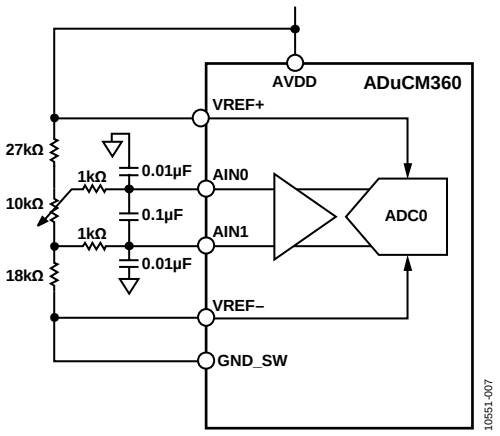


图7. 由一组电阻生成的主输入信号

性能总结见表3，图8和图9显示信号曲线图。

表3. 主传感器输入噪声和分辨率

参数	压力传感器	阻性网络
满量程	207 kPa	246 kPa
均方根噪声	1.3 Pa	0.68 Pa
峰峰值噪声	6.8 Pa	3.6 Pa
有效分辨率(rms)	17.2 bit	18.5 bit
无噪声分辨率(p-p)	14.9 bit	16.1 bit

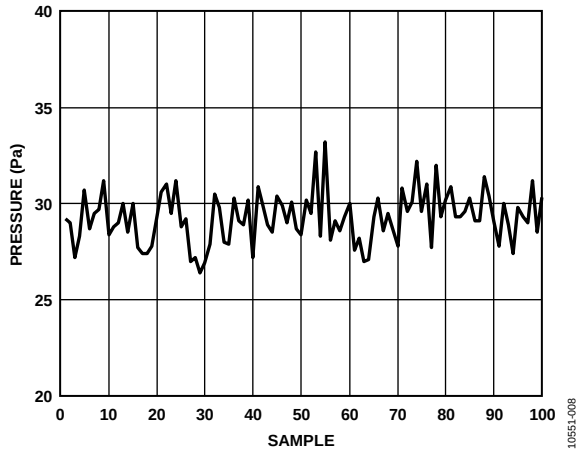


图8. 压力传感器输入信号曲线图

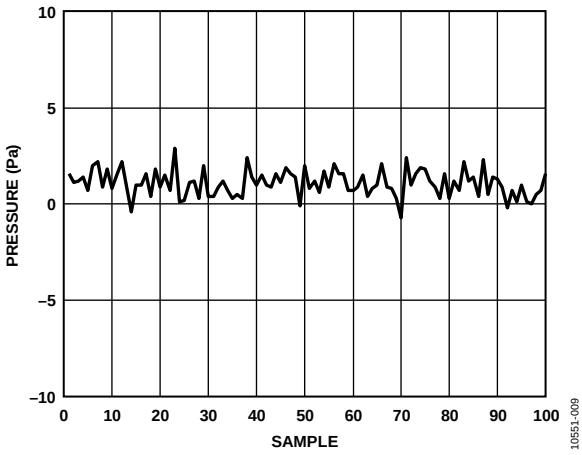


图9. 阻性网络作为主输入信号的曲线图

辅助传感器输入性能

辅助传感器输入性能与主传感器类似，辅助传感器输入的性能主要由ADuCM360的模拟前端决定(噪声性能除外)。

模拟输入配置为通过HART通信路径向主机发送温度数据(以°C表示)。对100个样本执行两项测试，以便进行性能的量化分析。

第一项测试采用板载100 Ω铂电阻传感器进行，第二项测试则采用标准(固定)100 Ω ± 1%电阻代替板载传感器进行。

性能总结见表4，图10和图11显示信号曲线图。

表4. 辅助传感器输入噪声性能

参数	压力传感器	阻性网络
均方根噪声	0.037°C	0.033°C
峰峰值噪声	0.19°C	0.16°C

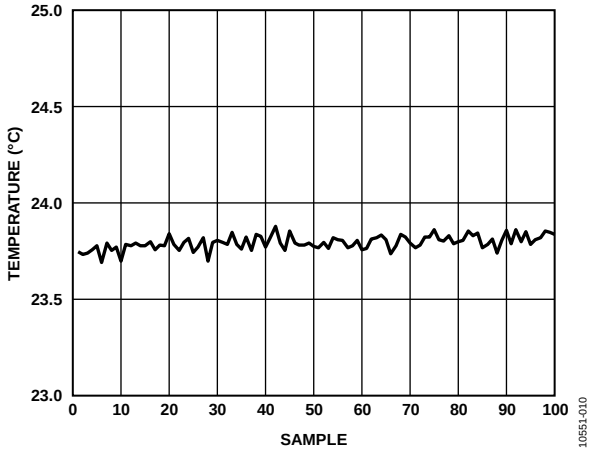


图10. RTD(100 Ω铂电阻)传感器输入信号曲线图

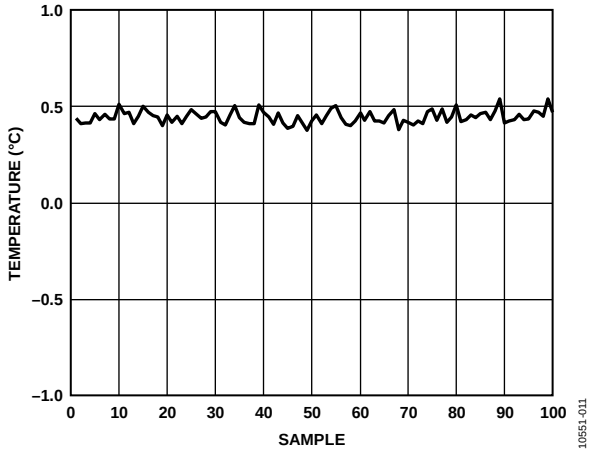


图11. 固定100 Ω ± 1%电阻用作辅助输入的信号曲线图

更多资料

CN-0267设计支持包：
http://www.analog.com/CN0267-DesignSupport

CN-0270：*完整的4 mA至20 mA HART解决方案*

CN-0278：具有额外电压输出能力的完整4 mA至20 mA HART解决方案

CN-0300：*具有4 mA至20 mA输出的完整闭环精密模拟微控制器热电偶测量系统*

AN-1111：*使用ADuCM360/ADuCM361时的降低功耗选项*

HART®通信基金会

数据手册和评估板

ADuCM360数据手册和评估板

AD5421数据手册和评估板

AD5700数据手册和评估板

修订历史

2013年2月—修订版0至修订版A

更改“电路硬件”部分和图3标题 4

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.

©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10551sc-0-2/13(A)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0269 。

连接/参考器件	
AD7984	18位、1.33 MSPS PulSAR 10.5 mW ADC，采用MSOP/QFN封装
AD8475	精密、可选增益、全差分漏斗放大器
AD8065	高性能、145 MHz FastFET运算放大器
ADG5208	高压防闩锁型8通道多路复用器
ADG5236	高压防闩锁型双通道SPDT开关
ADR444	超低噪声、4.096 V、LDO XFET基准电压源，具有吸电流和源电流能力

18位、1.33 MSPS、16通道数据采集系统

评估和设计支持

电路评估板

CN-0269电路评估板(EVAL-CN0269-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显示的是高性能工业信号电平多通道数据采集电路，已针对快速通道间切换进行了优化。该电路能以最高18位分辨率处理16通道单端输入或8通道差分输入。

单通道采样速率高达1.33 MSPS，分辨率为18位。所有输入通道的通道间切换速率为250 kHz，具有16位性能。

信号处理电路与简单的4位增/减二进制计数器结合，提供无需FPGA、CPLD或高速处理器即可实现通道间切换的简单、高性价比方案。可编程设置计数器，使其递增或递减计数，实现顺序采样多个通道；也可加载固定的二进制字，用于单通道采样。

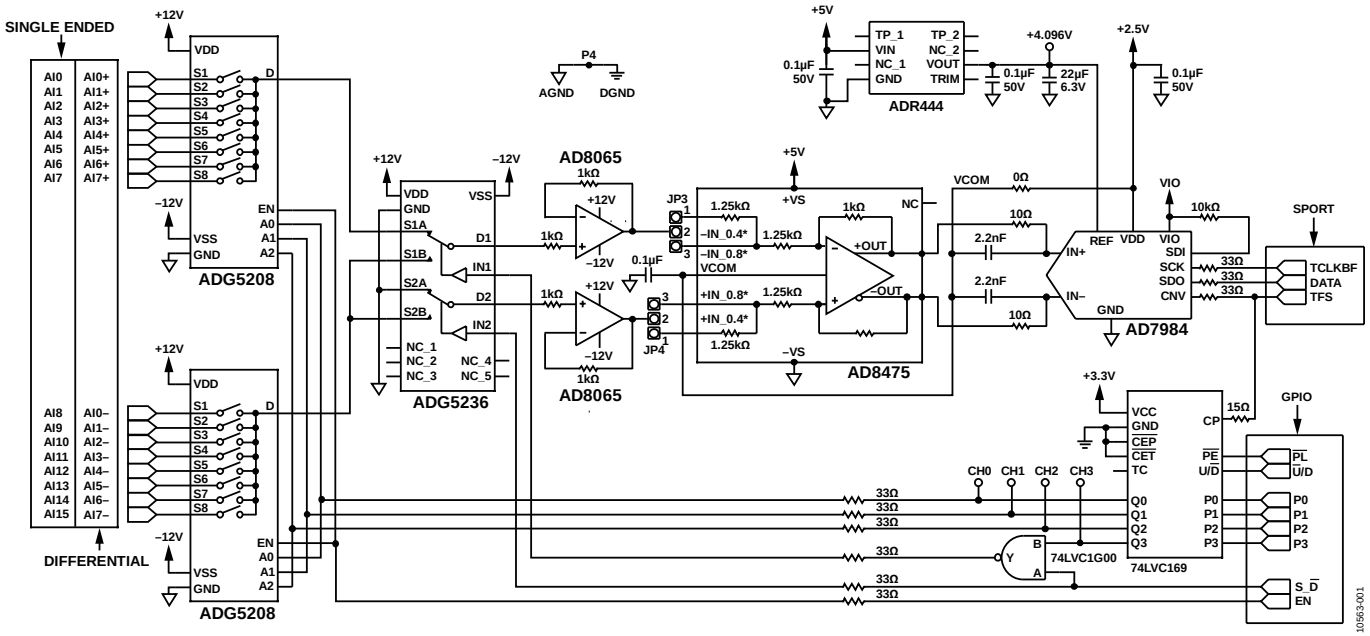


图1. 多通道数据采集电路(原理示意图：未显示所有元件、连接和去耦)

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

本电路是多通道数据采集卡的理想解决方案，可用于多种工业应用，包括过程控制和电力线监控。

电路描述

图1中的电路是一款经典的多通道异步数据采集信号链，由多路复用器、放大器和ADC组成。

该架构允许使用单个ADC对多通道进行快速采样，具有低成本和出色的通道间匹配性能。

通道间切换速度受限于信号链上多路复用器之后的多个元件建立时间，因为多路复用器会对下游放大器和ADC产生满量程步进电压输出。该电路的元件经过精心挑选，最大程度降低建立时间，提升通道间切换速度。

器件选择

ADG5208多路复用器根据3位二进制地址线所确定的地址，将8路输入之一切换至公共输出。ADG5236内置两个独立可选的单刀双掷(SPDT)开关。两个ADG5208开关与一个ADG5236结合，允许16路单端通道或8路真差分通道通过4位数字控制信号连接信号链的其余部分。

4位数字信号由4位二进制增/减计数器产生，计数器的触发信号与18位、1.33 MSPS AD7984 ADC的转换(CNV)输入是同一个信号。

AD8065 JFET输入运算放大器带宽为145 MHz，配置为单位增益缓冲器，可提供出色的建立时间性能和极高的输入阻抗。AD8065还提供极低的阻抗输出，驱动AD8475漏斗放大器的衰减级。

全差分信号链具有以下优势：良好的共模抑制性能和更少的二阶失真产物。为了利用现代低压差分输入ADC处理±10 V工业电平信号，有必要使用衰减和电平转换级。

AD8475是一款全差分衰减(漏斗)放大器，集成精密增益电阻，提供0.4倍或0.8倍的精密衰减、共模电平转换和单端至差分转换，以及输入过压保护等功能。快速建立时间(0.001%建立时间为50 ns)以及低噪声性能(10 nV/√Hz)使得AD8475非常适合用来驱动采样速率最高为4 MSPS的18位差分输入ADC。

本电路选取了AD7984——一款18位PulSAR® ADC，对单通道进行采样时，该器件能以1.33 MSPS的速率提供18位分辨率。但是，顺序切换通道时，信号链上各种元件的建立时间限制了整体精度。例如，以250 kHz速率进行通道间切换时，具有16位性能。

时序分析

若图1中的电路工作在连续切换模式下，则所有16通道单端或8通道差分信号流将通过ADG5208和ADG5236组成的两级多路复用器合并为时分多路复用信号。多路复用后的信号可驱动缓冲器电路(AD8065)以及衰减和电平转换电路(AD8475)。AD8475的输出信号通过一个RC滤波器(2.2 nF、10 Ω)驱动差分输入ADC。

在通道间切换时，多路复用输入信号通常含有较大的电压阶跃。最差情况下，一个通道处于负满量程，而下一个通道则处于正满量程。因此，阶跃最大可以等于满量程输入信号，本例中是20 V。对于模拟信号链而言，在短时间内从如此大的阶跃信号电平建立至高精度存在很大的挑战。必须仔细检查电路的时序，确定不同采样速率下的建立时间以及信号链上的电路所要求的建立时间。

图2显示系统的基本时序图，我们的分析以此为基础。

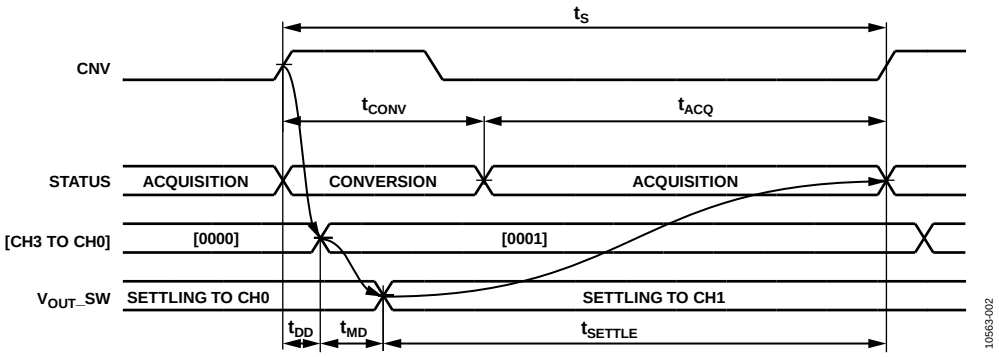


图2. 多通道数据采集电路时序

数字延迟

在图1所示的电路中，ADC和多路复用器均由数字控制器的CNV信号上升沿触发。此时，SAR ADC完成样本采集，转换周期开始。

理想情况下，信号链有一个建立到下一个通道的完整采样周期，但数字电路存在延迟，会降低可用建立时间。图2中，t_{DD}是信号通过NAND栅极的延迟加上计数器CLK至OUT的延迟。此数字延迟可在每个元件的数据手册中找到，总数值约为8 ns。

图2中显示为t_{MD}的时间是信号通过两个多路复用器级的延迟，测量起点为数字输入的50%处，终点为模拟输出信号开始建立的地方。

由于ADG5208和ADG5236在此电路中同步切换，图2中标记为t_{MD}的时间等于较慢的器件(即ADG5208)产生的延迟。

多路复用器的转换时间延迟在数据手册中很容易找到。然而，数据手册上的转换延迟等于50%数字输入到90%数字输出之间的延迟时间，如图3所示。

t_{MD}通过下式计算：

$$t_{MD} = t_{TRANSITION} - t_{SETTLE\ (90\%)} \quad (1)$$

采样速率为f_S时，留给模拟信号链的最大建立时间可估算如下：

$$t_{SETTLE(fs)} = 1/f_S - t_{DD} - t_{MD} \quad (2)$$

估算多路复用器的建立时间时，一种很好的一阶近似方法是将处于导通状态的多路复用器看作具有时间常数$R_{ON} \times C_D$的简单RC电路。

开关至误差百分比内的建立时间可计算如下。更多详情，请参见AN-1024应用笔记：如何计算多路复用器的建立时间和采样速率。

用于测量300 Ω||35 pF负载条件下转换延迟的测试电路如图3所示。在此测试配置下，建立时间可从等式3估算得到。

$$t_{SETTLE} = -\ln\left(\frac{\%\,error}{100}\right)\left(\frac{R_{ON}R_L}{R_{ON}+R_L}\right)(C_D + C_L) \quad (3)$$

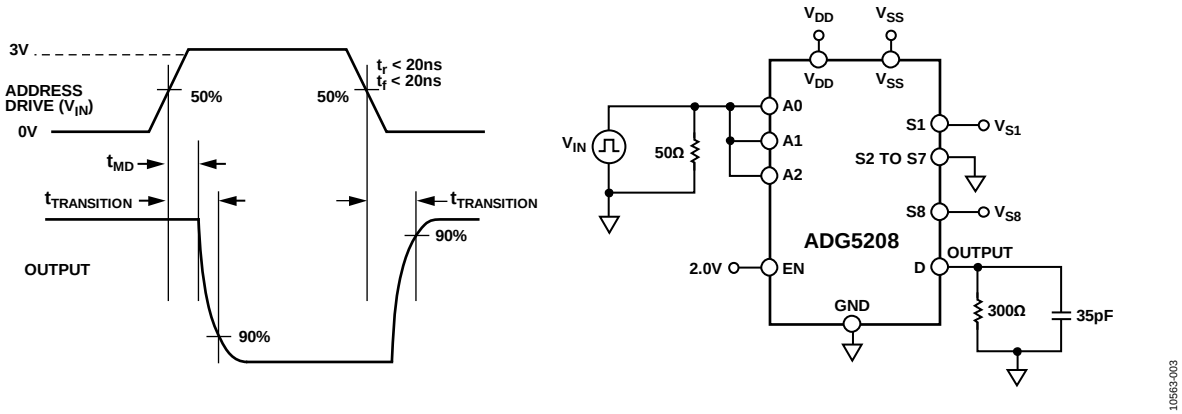


图3. ADG5208转换延迟测试电路

对于ADG5208，R_{ON}为160 Ω，C_D为52 pF。ADG5208的转换延迟为160 ns。因此，ADG5208的90%建立时间为：

$$t_{SETTLE\ (90\%)} = -\ln\left(\frac{10}{100}\right)(160 \,||\, 300\ \Omega)(52\ \text{pF} + 35\ \text{pF}) = 21\ \text{ns}$$

根据公式1，

$t_{MD} = t_{TRANSITION} - t_{SETTLE(90\%)} = 160\ \text{ns} - 21\ \text{ns} = 139\ \text{ns}$

由此可知，在此ADG5208和ADG5236的电路配置下，数字电路产生的总额外延时为：

$t_{DD} + t_{MD} = 8\ \text{ns} + 139\ \text{ns} = 147\ \text{ns}$

实际上，这一由于数字控制电路产生的147 ns数字延迟以及多路复用器产生的一部分转换延迟可通过使转换信号的上升沿相对于多路复用器更新信号具有一定延迟而加以补偿，延迟量等于$t_{DD} + t_{MD}$。 然而，t_{DD}和t_{MD}均为温度和电源电压的函数，并且各器件的这种函数关系有所不同。必须为这种差异以及参数漂移留有足够的时间裕量。例如，在这种147 ns的数字延迟配置下，将多路复用器相对ADC转换信号提前100 ns至120 ns(该提前量以t_{AHEAD}表示)会导致可用建立时间的同量增长。

优化后的时序如图4所示，但为了简便起见而并未用于实际电路中。

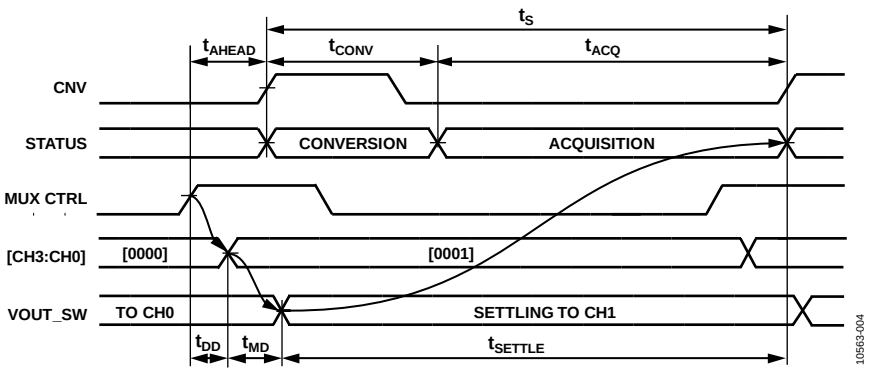


图4. 多通道数据采集电路的最佳时序

建立时间分析

若图1中的电路工作在连续切换模式下，则所有16通道单端或8通道差分信号流将通过由ADG5208和ADG5236组成的两级多路复用器合并为时分多路复用信号。然后，信号通过高阻抗、低电容输入的AD8065缓冲。

AD8065缓冲器的低阻抗输出驱动AD8475级，可衰减、进行电平转换并执行单端至差分转换。RC(10 Ω、2.2 nF)滤波器放置在AD7984 ADC的输入端，以便限制带外噪声并衰减来自ADC开关电容输入端的反冲噪声。滤波器的−3 dB带宽为7.2 MHz。(参见精密SAR模数转换器的前端放大器和RC滤波器设计，模拟对话，46-12，2012年12月)。

为了计算建立时间，电路可分为4个部分，如图5所示。

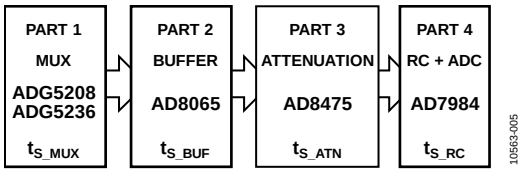


图5. 用于建立时间分析的子级框图

因此，总建立时间大致等于每一级建立时间的和方根(rss)。

$$t_{S_ALL} = \sqrt{t_{S_MUX}^{2} + t_{S_BUF}^{2} + t_{S_ATN}^{2} + t_{S_RC}^{2}}$$

采样速率为f_S时，为了使建立时间在额定误差范围内，必须满足下列关系。

$$t_{S_ALL} + t_{DD} + t_{MD} < 1/f_S$$

$$\text{Or, } f_S < 1/(t_{S_ALL} + t_{DD} + t_{MD})$$

多路复用器级建立时间

CMOS开关的等效电路可以近似看作理想开关与电阻(R_{ON})串联连接，以及与两个电容(C_S、C_D)并联连接。随后，多路复用器级和相关的滤波器可以如图6所示建模。

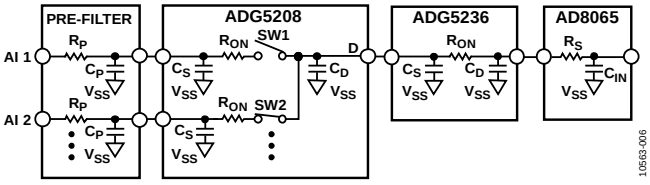


图6. 输入前置滤波器、多路复用器和AD8065输入端的一阶模型

注意，ADG5236模型未显示串联开关，因为它只在单端变为差分模式输入时才切换。

图1中未显示多路复用器前面的前置滤波器。该前置滤波器用于噪声抑制。此外，与保护二极管和TVS组合的R_P电阻针对恶劣环境提供额外的瞬变和过压保护。保护元件参见CN-0269设计支持包中的完整电路原理图。

R_S是一个与AD8065的同相输入串联的1 kΩ电阻，而C_{IN}是AD8065的输入电容。AD8065的输入阻抗等于1 GΩ||2.2 pF，1 GΩ电阻可忽略不计。

图6中的电路使用NI Multisim™进行仿真，如图7所示；其中，元件值如下：

前置放大器：R_P = 300 Ω；C_P = 120 pF；
ADG5208：R_{ON} =160 Ω；C_S = 5.5 pF；C_D = 52 pF；
ADG5236：R_{ON} =160 Ω；C_S = 2.5 pF；C_D = 12 pF；
AD8065：R_S =1 kΩ；C_{IN} = 2.2 pF。

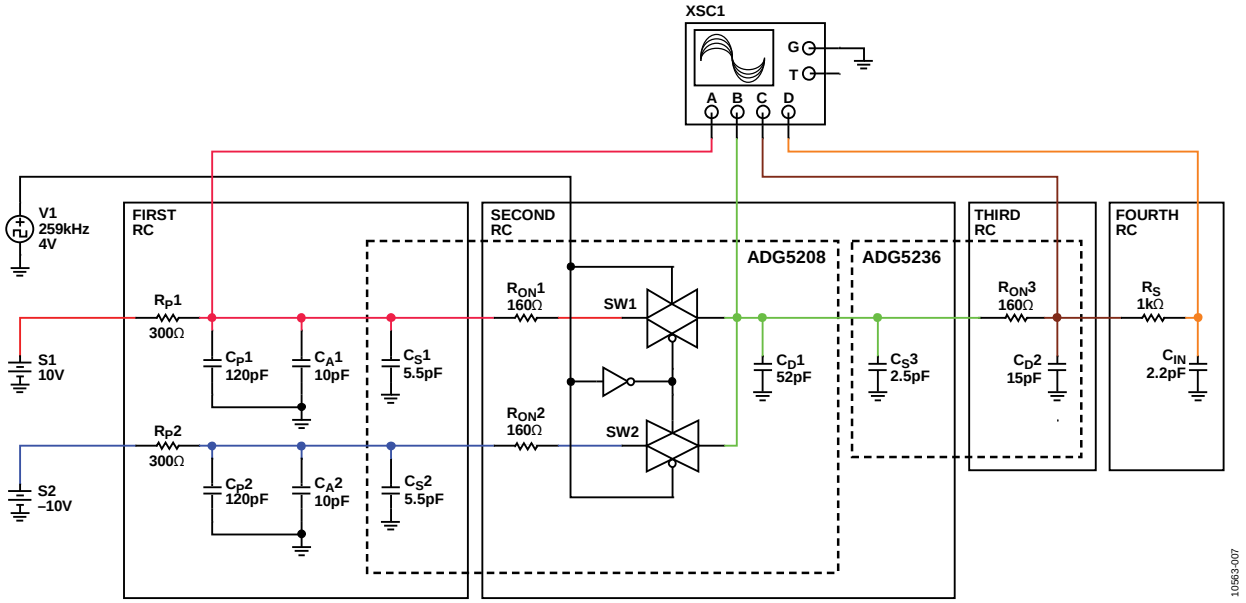


图7. 用于前置滤波器、多路复用器和AD8065输入的NI Multisim仿真电路

仿真结果如图8所示。从结果中可以看出，图7中的电路建立时间为：

t_{S_MUX} = 10.1300 – 8.0011 = 2.129 µs

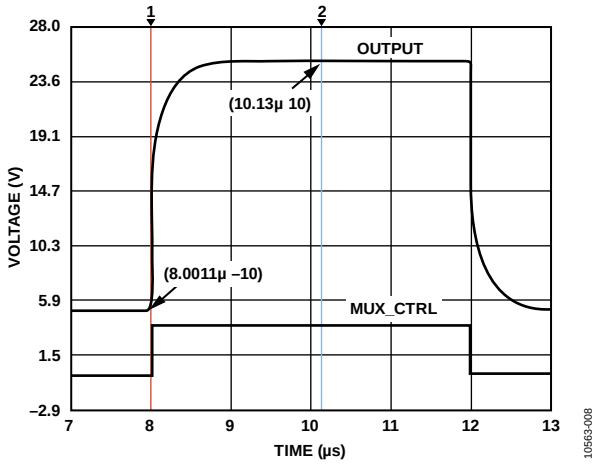


图8. 前置滤波器、多路复用器和AD8065输入的建立时间仿真

由于多路复用器的建立时间为2.1 µs，这将使每通道的最大吞吐速率限制为476 kSPS (1/2.1 µs)，哪怕多路复用器是信号链上的唯一一个元件。由于信号链上每一级的建立时间贡献以和方根(rss)方式相叠加，因此建立时间短于大约2.1 µs ÷ 3 = 700 ns的级对总建立时间的影响最小。

AD8065缓冲器和AD8475衰减级的建立时间

放大器的建立时间是指输出响应输入的阶跃变化，然后进入并保持在规定误差带所需的时间，参照输入脉冲50%点测得，如下图9所示。

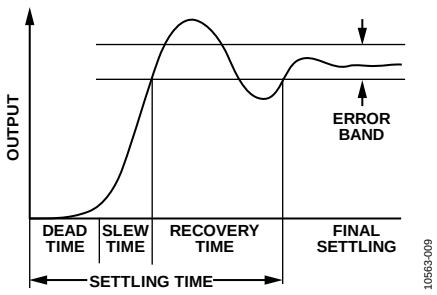


图9. 运算放大器的建立时间

误差带通常定义为阶跃的特定百分比，如0.1%、0.01%、0.001%等。如图9所示，死区时间、压摆时间和恢复时间共同组成总建立时间。

对于快速建立运算放大器(如AD8065)，死区时间仅是总建立时间的一小部分，通常可忽略。

运算放大器的建立时间是非线性的；相比建立到0.1%所需的时间，建立到0.01%所需的时间可能长达30倍之久。运算放大器的热效应可能会导致运算放大器建立到0.01%所需的时间长达几百微秒，虽然建立到0.1%仅需不足100 ns。由于小幅振铃和/或长期热效应，某些具有0.1%建立时间额定值的运算放大器可能永远无法建立至0.01%或0.001%。

建立时间同样与运算放大器闭环增益和反馈网络以及补偿成函数关系。建立时间取决于输出电压阶跃幅度。较大的输出阶跃相比较小的阶跃通常具有更长的建立时间。

测量10 V或20 V输出阶跃的0.01%或0.001%建立时间是一项极为困难的任务，因为存在示波器过驱和灵敏度效应，另外产生建立至要求精度的输入脉冲也极为困难。

AD8065运算放大器的0.1%建立时间额定值为250 ns，阶跃为10 V输出，压摆率为180 V/µs。输出摆动至10 V的压摆时间约为55 ns，而20 V输出阶跃的压摆时间约为110 ns。如需估算20 V阶跃的0.1%建立时间，可将额外的压摆时间与10 V阶跃的相应额定值相加，得到的结果大致为：250 ns + 55 ns = 305 ns。根据经验数据，对于20 V输出阶跃，假设0.01%建立时间大约为600 ns。

AD8475差分衰减放大器0.0001%建立时间额定值为50 ns，压摆率为50 V/µs，输出阶跃为2 V。在该电路中，输出等于8 V，因此假设建立时间与输出电压阶跃成正比，则8 V建立时间约为200 ns。

噪声滤波器和AD7984 ADC的建立时间

AD7984 ADC属于PulSAR®系列，基于电荷再分配数模转换器容性DAC构建。输出代码由两个阶段确认。第一个阶段是采集阶段。内部容性DAC切换至ADC输入引脚，以便采集信号。驱动ADC输入的外部支持电路必须要能在采集阶段结束时建立至要求的电压。然后，ADC进入转换阶段，断开容性DAC的输入。然后，使用SAR转换算法在此阶段中执行转换。

由外部RC滤波器组成的等效模拟输入电路如图10所示。R_{EXT}和C_{EXT}是ADC前端的外部滤波器，在本电路中分别为10 Ω和2.2 nF。引脚电容(C_{PIN})为数pF，可以忽略，因为C_{EXT}数值很大。R_{IN}通常等于400 Ω，CIN通常等于30 pF。

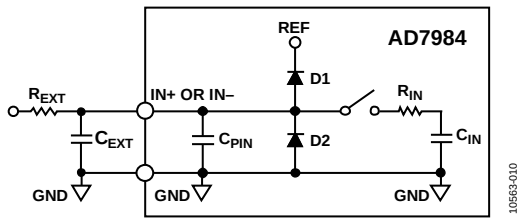


图10. AD7984输入等效电路

在转换阶段，开关打开，R_{EXT}和C_{EXT}时间常数确定输入建立时间。

开关关闭且ADC进入采集阶段后，内部R_{IN}和C_{IN}并联连接，并与外部网络相连；此时，电荷瞬变可能会注入输入端。

在本电路中，由于AD8475的增益为0.4倍，且单端输入阶跃为20 V，输入AD7984的电压阶跃为4 V单端和8 V差分。

第一次施加阶跃电压后，AD8475处于转换模式，开关打开。R_{EXT}和C_{EXT}时间常数为22 ns，而12.48的时间常数为275 ns（建立至18位所需的时间见表1），当采样速率为1 MSPS时，该值低于500 ns的允许转换时间。

AD7984在500 ns间隔结束时进入采集模式，此时开关关闭。在该时刻，RC滤波器电压可以是正满量程，C_{IN}上的电压可以是负满量程；反之亦然。此时，C_{IN}上的电压建立时间与R_{EXT}、C_{EXT}、R_{IN}和C_{IN}成函数关系。

该电路的建立时间可通过Multisim仿真，如图11所示。SIN是Multisim的一个组件，称为PULSE_VOLTAGE，提供4 V阶跃输入，具有50%占空比。图11中的另一个PULSE_VOLTAGE为SW_ADC。该PULSE_VOLTAGE与理想开关A1共同控制SAR ADC的转换和采集周期。脉冲宽度为500 ns，等于AD7984的转换时间。5 µs等于输入开关信号的半周期。SIN和SW_ADC由同一个时钟相位控制。SIN切换后，在第一个500 ns期间打开A1开关。然后，关闭A1，允许容性DAC从外部RC滤波器采集输入信号。

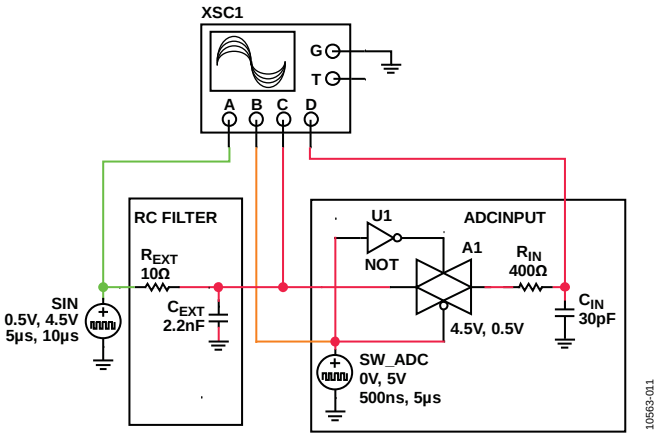


图11. AD7984前端的Multisim建立时间模型

仿真结果如图12所示。蓝色标签显示C_{IN}上的电压以18位精度建立至4 V的时间为输入阶跃信号之后的469 ns。因此，AD7984前端的总建立时间t_{SRC}为469 ns。

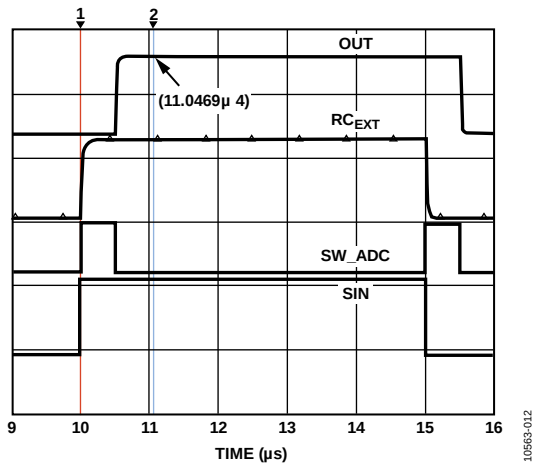


图12. AD7984前端仿真模型的建立时间波形

表1非常有用，它显示了针对简单RC网络，建立至给定精度所需的时间常数。

表1. 针对简单RC网络建立至给定精度所需的时间常数

分辨率，位数	LSB(%FS)	时间常数数量 = −ln (% 误差/100)
6	1.563	4.16
8	0.391	5.55
10	0.0977	6.93
12	0.0244	8.32
14	0.0061	9.70
16	0.00153	11.09
18	0.00038	12.48
20	0.000095	13.86
22	0.000024	15.25

图1中整个电路的总建立时间可估算如下：

$$t_{S_ALL} = \sqrt{t_{S_MUX}^{2} + t_{S_BUF}^{2} + t_{S_ATN}^{2} + t_{S_RC}^{2}}$$

$$= \sqrt{2129^{2} + 600^{2} + 200^{2} + 469^{2}} = 2270\ \text{ns}$$

因此，对于建立至18位，此电路的最大开关速率为：

$$f_S < 1/(2270\ \text{ns} + 147\ \text{ns}) = 414\ \text{kHz}$$

噪声分析

AD8065缓冲器级的噪声

本电路中信号链的噪声源为电阻热噪声以及来自AD8065和AD8475的电压和电流噪声。两个开关的导通电阻很小，可忽略。

AD8065电路的简化噪声分析模型见图13。

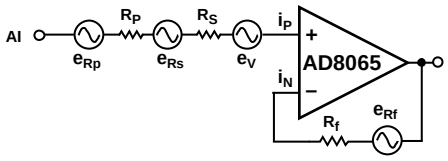


图13. AD8065噪声模型

图13所示噪声源必须乘以噪声增益(单位增益缓冲器为1)，从而转换为输出。

$$e_{AD8065_RTO} = \sqrt{e_{RP}^2 + e_{RS}^2 + e_{Rf}^2 + e_V^2 + (R_P + R_S)^2 i_p^2 + R_f^2 i_p^2}$$

电阻器的噪声可以从用下方程计算：

$$e_R = 4 \times \sqrt{\frac{R}{1000}}\ \text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}\ \text{at 25°C}$$

其中R是Ω。

e_{RP} = 2.2 nV/√Hz

e_{RS} = e_{Rf} = 4 nV/√Hz

e_V = 7 nV/√Hz

i_p = i_N = 1 pA/√Hz

$e_{VAD8065}$ = 10 nV/√Hz

AD8475衰减级的噪声

e_{AD8065_RTO}项表示来自电路输入端并输入AD8475级的噪声。此噪声乘以AD8475级的信号增益(0.4)，便可反映在AD8475的输出端，如图14所示。

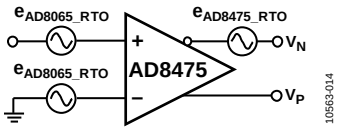


图14. AD8475噪声模型

AD8475输出电压噪声同样为10 nV/√Hz，包括放大器电压和电流噪声，以及内部电阻噪声。

ADC前端的整个信号链噪声密度为：

$$e_{TOTAL_GAIN} = \sqrt{2 \times \left(GAIN_{AD8475} \times e_{AD8475_RTO}\right)^2 + e_{AD8475_RTO}^2}$$

对于±10 V输入范围，$GAIN_{AD8475}$ = 0.4。

$e_{TOTAL_0.4}$ = 11.5 nV/√Hz

为±5伏的输入范围，则$GAIN_{AD8475}$ = 0.8。

$e_{TOTAL_0.8}$ = 15.1 nV/√Hz

AD8475的总输出噪声施加于带宽为7.23 MHz的RC滤波器(10 Ω、2.2 nF)。AD8065带宽为145 MHz，AD8475带宽为150 MHz。AD7984 ADC的输入带宽为10 MHz，因此AD7984的输入端噪声通过RC噪声滤波器限制为7.23 MHz。

AD8475以0.8增益设置工作时(噪声条件为最差情况)，到ADC的输入均方根噪声可计算如下：

$$V_{TOTAL_RMS} = (15.1\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}} \times \sqrt{1.57 \times 7.23\ \text{MHz}} = 51\ \mu\text{V}$$

V_{TOTAL_PP} = 6.6 × 51 µV = 337 µV

对于基准电压为4.096 V的18位AD7984，差分输入范围为8.196 V，LSB值等于31 µV。因此，337 µV峰峰值噪声相当于11 LSB峰峰值。

多路复用器开关瞬变效应

多路复用器具有源极和漏极电容。多路复用器的漏极电容保持来自上一个输入通道的电压。多路复用器切换至下一通道时，可能会在R_{ON}电阻两端产生瞬变或反冲毛刺。该瞬变会影响下一次转换。因此，由于存在瞬变，前置滤波器驱动器需要具有极低的输出阻抗和快速建立时间。

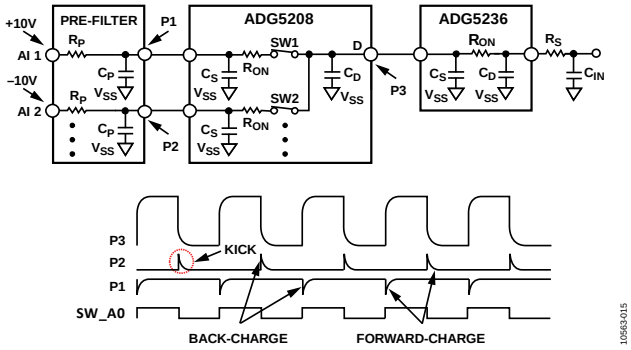


图15. 多路复用器开关瞬变

驱动器要求能在开关打开之前将输入充电至所需精度(正向充电)。开关打开后，进行反向充电，通常该过程很短，并且不会产生什么问题。

EVAL-CN0269-SDPZ评估板在每个输入通道上为输入缓冲器预留了空间，并在通道1至通道4上安装有AD8065器件。加入缓冲器会略微增加噪声密度和建立时间。为了使电路易于驱动，可在多路复用器前端放置一个缓冲器(前置缓冲器) 然而，在实际应用中，由于在不使用缓冲器的情况下进行正向和反向充电，来自输入电缆或端子连接器的寄生电感和电容将极大地增加建立时间，并产生振铃。额外的输入缓冲器会隔离寄生效应，为多路复用器提供极低的阻抗。使用与不使用输入缓冲器的电路性能差异可参见本电路笔记的测试部分。

使用输入缓冲器的另一个原因是，可在它前面放置一个额外的滤波器，用来抗混叠和抑制噪声。

测试结果直方图

图16显示10,000个样本的测试结果直方图。测试时，将16路单端通道短接在一起，并与PCB的GND相连。注意，峰峰值噪声约为12 LSB，包括输入缓冲器。

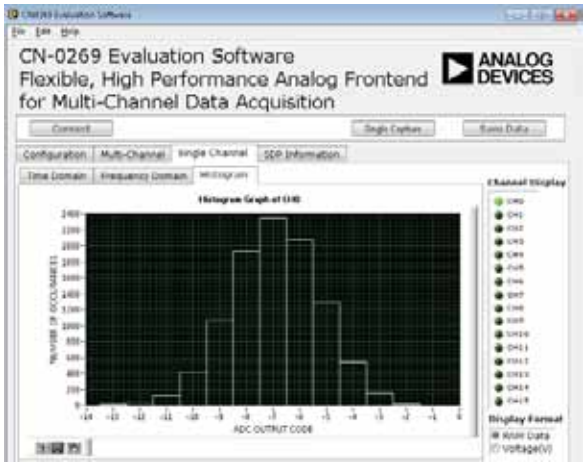


图16. 0 V输入下的直流直方图(采样速率：1 MSPS，样本数：10,000)

交流测试结果

在系统级执行交流性能测试，AD7984采样速率为300 kSPS，由1051 B&K型正弦发生器提供2.5 V峰峰值、10.675 kHz的输入正弦波信号。电路在通道4上连续采样，不包括输入缓冲器的效应。FFT显示SNR = 91.33 dBFS。

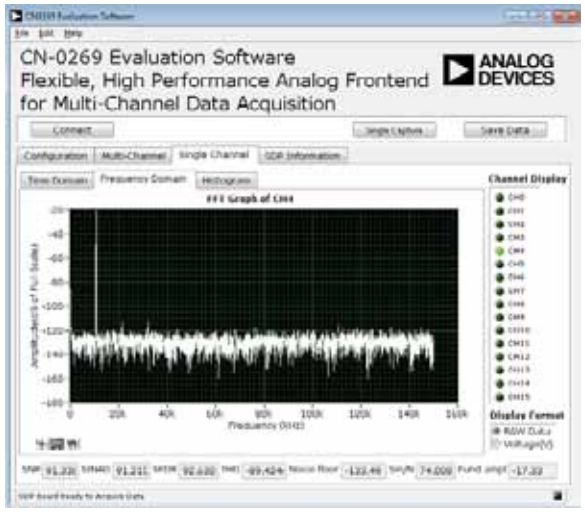


图17. Kaiser窗口(参数 = 20)、2.5 V p-p、10.675 kHz输入、300 kSPS采样速率下通道4的FFT(无输入缓冲器)

开关速度和建立时间测试结果

下图显示建立时间性能。实验室测试设置如图18所示。

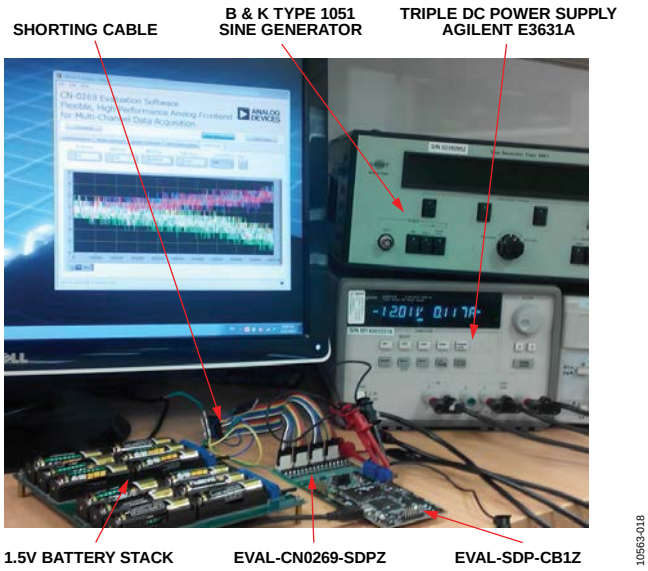


图18. 开关速度和建立时间的实验室测试设置

CN-0269评估板配置为16通道单端输入模式，8个奇数通道短接在一起，8个偶数通道短接在一起。

一组电池用于产生不同的直流输入电压，实现低噪声和低阻抗性能。

奇数和偶数通道连接至不同的电压。LabVIEWTM软件控制EVAL-SDP-CB1Z通道间参数，并在输入通道间连续切换。开关速率范围为100 Hz至1 MHz，以1 kHz为增量。每种开关速率下获取10个样本，并对结果求均值。开关速率最低的平均值用作参照点。对10个样本和参照值求差值，即可计算每种开关速率下的误差。测试结果如图19和图23所示。

图中，2 LSB误差对应于17位建立时间，而4 LSB误差对应于16位建立时间。

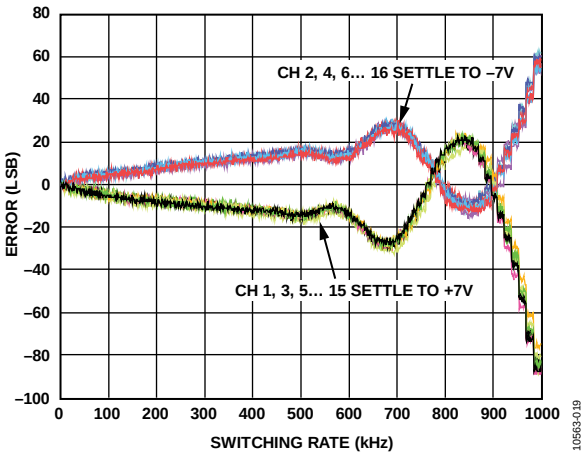


图19. 16通道单端、14 V阶跃下的误差与开关速率的关系（无前置缓冲器）

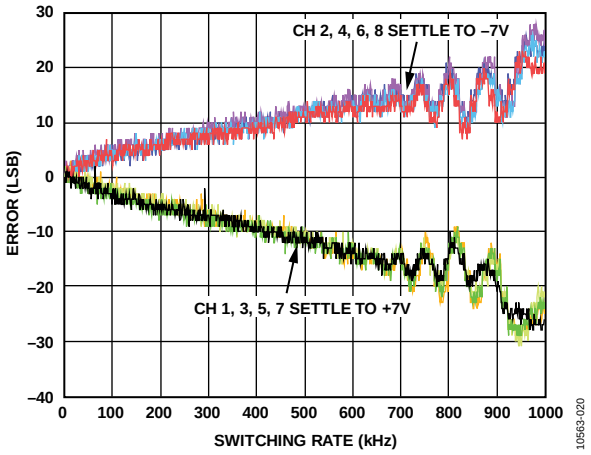


图20. 8通道差分模式、14 V阶跃下的误差与开关速率的关系（无输入缓冲器）

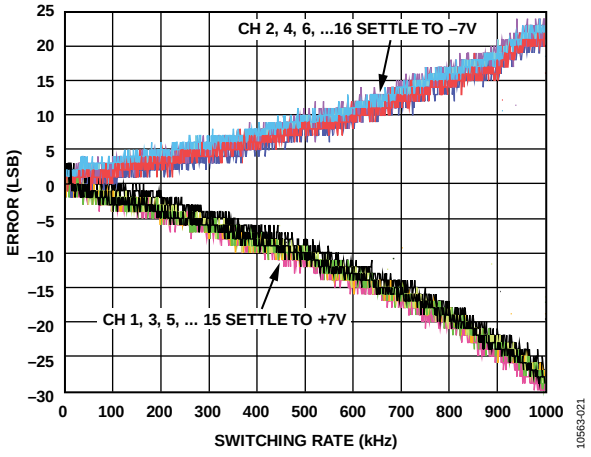


图21. 16通道单端模式、14 V阶跃下的误差与开关速率的关系（无输入缓冲器）

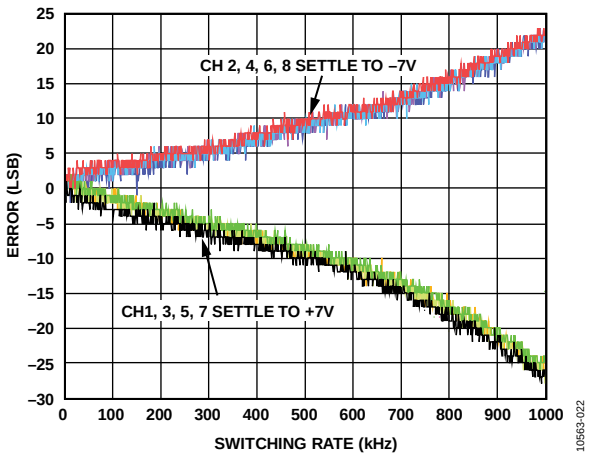


图22. 8通道差分模式、14 V阶跃下的误差与开关速率的关系（有前置缓冲器）

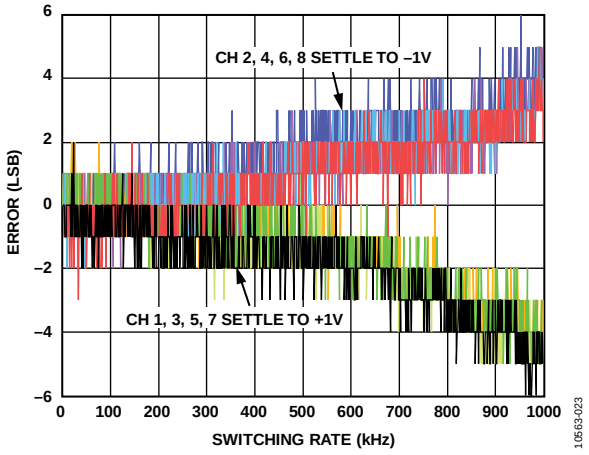


图23. 8通道差分模式、2 V阶跃下的误差与开关速率的关系（有输入缓冲器）

如上图所示，可以看出，在低于1 MHz的开关速率下，带有输入缓冲器的电路比不带前置缓冲器的电路具有更佳的建立时间性能。

图21、图22和图23显示连接输入缓冲器后，电路以高于250 kHz的通道间开关速率建立至16位的情况。

常见变化

18位AD7984采用10引脚MSOP或10引脚QFN (LFCSP)封装。有很多其他的PulSAR ADC产品也采用这种封装，分辨率为14/16/18位，并提供各种采样速率。

缓冲放大器的另一种选择是AD8021。如果需要可编程增益，则AD8250、AD8251和AD8253的0.001%建立时间为685 ns。如果要求具有更低的电容，则可以使用ADG12xx系列多路复用器。

电路评估与测试

本电路使用EVAL-CN0269-SDPZ电路板和EVAL-SDP-CB1Z SDP-B系统演示平台控制器板。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。EVAL-CN0269-SDPZ板包含要评估的电路，如本笔记所述。SDP-B控制器板与CN-0269评估软件一起使用，可从EVAL-CN0269-SDPZ电路板获取数据。

设备要求

需要以下设备：

- 带USB端口的Windows® XP(32位)、Windows Vista®或Windows 7 PC
- EVAL-CN0269-SDPZ电路板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP-B控制器板
- CN-0269 SDP评估软件
- 6 V直流(500 mA)、±12 V(300 mA)电源
- 低失真信号发生器，提供±10 V输出，频率为直流至1 MHz

开始使用

将CN-0269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，找到包含评估软件的驱动器。

功能框图

电路框图见图1，完整的电路原理图见**EVAL-CN0269-SDPZ-SCH-RevX.pdf**文件。此文件位于CN-0269设计支持包中：图24显示测试设置的功能框图。

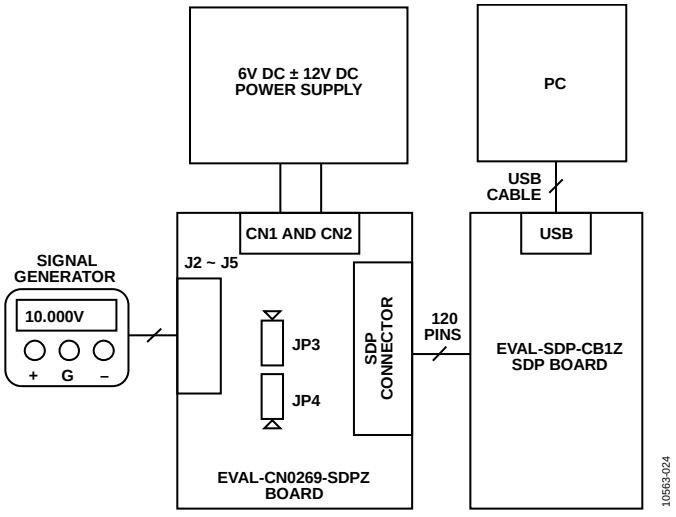


图24. 测试设置框图

设置

将EVAL-CN0269-SDPZ电路板上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z控制器板(SDP-B)上的**CON A**连接器。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。在断电情况下，将一个6 V和±12 V直流电源连接到板上标有+6 V、±12 V和GND的引脚CN1、CN2。如果有6 V壁式电源适配器，可将其连接到板上的管式连接器，代替6 V电源。SDP-B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-B板上的微型USB连接器。同时接通6 V和±12 V电源，然后将USB电缆连接到微型USB连接器。

测试

开启6 V和±12 V电源后，启动评估软件程序。一旦建立USB通信，就可以使用SDP-B板来发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0269-SDPZ板的串行数据，并在时域和频域下进行数据分析，以便评估整个电路的性能。

图25显示EVAL-CN0269-SDPZ评估板连接后的照片。有关SDP-B板的信息，请参阅SDP-B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CN-0269软件用户指南：



图25. EVAL-CN0269-SDPZ评估板

针对原型开发的连接

EVAL-CN0269-SDPZ评估板设计为通过SPORT端口，与基于Black-Fin DSP的EVAL-SDP-CB1Z SDP-B板共同评估；但是，任何微处理器都可通过14引脚PMOD连接器连接AD7984的串行端口。为使另一个控制器能与EVAL-CN0269-SDPZ评估板一同使用，第三方必须开发相应的软件。

目前已有一些转接板能实现与Altera或Xilinx现场可编程门阵列(FPGAs)的接口。利用Nios驱动器，Altera的BeMicro SDK板能配合BeMicro SDK/SDP转接板一同使用。任何集成FMC连接器的Xilinx评估板均可与FMC-SDP转接板一同使用。

更多资料

CN-0269设计支持包：
http://www. analog. com/CN0269-DesignSupport

用户指南UG-277：*SDP-B用户指南*。ADI公司。

Alan，Walsh。*精密SAR模数转换器的前端放大器和RC滤波器设计*。《模拟对话》46-12，2012年12月。

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

Kester，Walt。*数据转换手册*。第8章第8.2节。*多通道数据采集系统*，Elsevier。

Manning，Michael。*恶劣工作环境中的开关和多路复用器设计考虑*。应用工程师问答-40：《模拟对话》，第45卷，2011年5月。

应用笔记AN-359：*运算放大器建立时间*。ADI公司。

应用笔记AN-931：*了解PulSAR ADC支持电路*。ADI公司。

应用笔记AN-1024：*如何计算多路复用器的建立时间和采样速率*。ADI公司。

教程MT-004：*ADC输入噪声面面观—无噪声是利还是弊?* ADI公司。

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

MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-046：*运算放大器建立时间*。ADI公司。

教程MT-048：*运算放大器噪声关系：1/f噪声、均方根(RMS)噪声与等效噪声带宽*。ADI公司。

教程MT-074：*精密ADC用差分驱动器*。ADI公司。

教程MT-088：模拟开关和多路复用器。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0269电路评估板(EVAL-CN0269-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD8065数据手册

AD8475数据手册

ADG5208数据手册

ADG5236数据手册

AD7984数据手册

ADR444数据手册

修订历史

2013年11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.
CN10563sc-0-11/13(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0270。

连接/参考器件	
AD5700, AD5700-1	低功耗HART®调制解调器
AD5420	16位4 mA至20 mA DAC

完整的4 mA至20 mA HART解决方案

评估和设计支持

电路评估板

CN-0270评估板(EVAL-CN0270-EB1Z)包括USB-SWD/UART-EMUZ

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所示电路使用AD5700(业界功耗最低、尺寸最小的HART[1]兼容型IC调制解调器)以及AD5420(一款16位电流输出DAC)，形成完整的HART兼容型4 mA至20 mA解决方案，这在环路供电变送器的应用中非常常见。

为了进一步节省空间，AD5700-1提供了精度为0.5%的内部振荡器。

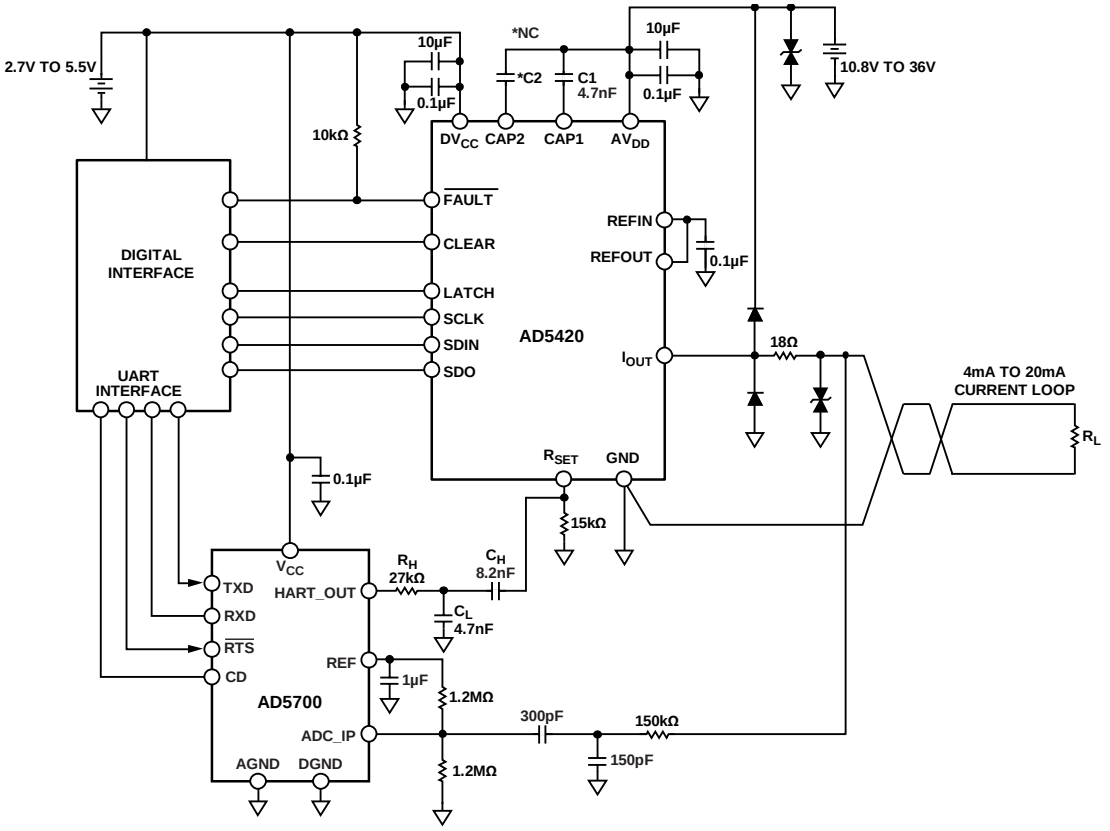


图1. AD5420 HART电路简化原理图

[1] HART®是HART通信基金会的注册商标。

Rev. B

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

该电路符合由HART通信基金会定义的HART物理层规范，例如模拟变化率和静默期间噪声规格。

多年来，过程控制仪器仪表中一直使用4 mA至20 mA通信。此通信方式稳定可靠，对长距离通信中的环境干扰具有高抗扰度。不过，其限制是每次只能进行一个过程变量的单向通信。

可寻址远程传感器高速通道(HART)标准的开发实现了高性能的双向数字通信，同时支持传统仪器仪表设备所使用的4 mA至20 mA模拟信号。它衍生出各种特性，例如远程校准、故障查询和额外过程变量的传输。简言之，HART是一种数字双向通信系统，其在4 mA至20 mA模拟电流信号之上调制一个1 mA p-p频移键控(FSK)信号。

电路描述

图1显示AD5420如何与AD5700 HART调制解调器和UART接口配合使用，以构建一个支持HART的4 mA至20 mA电流输出。这种电路在线路供电型现场变送器中非常流行，在此类电路中，多种输入信号(RTD、TC和欧姆)被转换成可调模拟4 mA至20 mA输出信号。从AD5700输出的HART_OUT信号经过衰减后，交流耦合至 AD5420的R_{SET}引脚。如果未使用R_{SET}外部电阻，连接AD5420和AD5700的替代方法请参见应用笔记AN-1065，其中，AD5700 HART调制解调器输出通过CAP2引脚耦合到AD5420。本电路笔记中所述的方法是需要使用外部R_{SET}电阻，其电源抑制性能要高于应用笔记的替代解决方法。无论使用哪一种解决方案，AD5700 HART调制解调器输出均可在不影响电流直流成分的前提下调制4 mA至20 mA模拟电流(如图2所示)。二极管保护电路(D1至D4)将在“瞬态电压保护”部分详细论述。

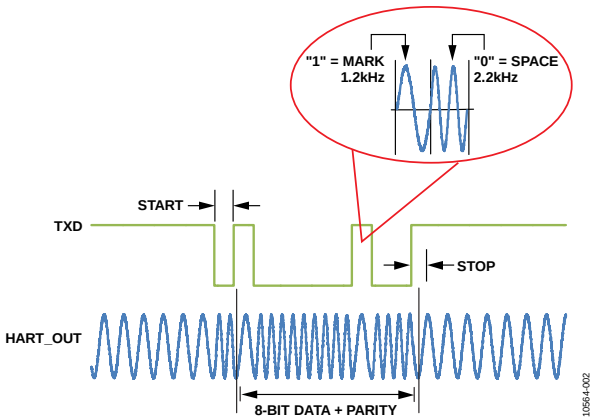


图2. AD5700/AD5700-1样片调制器波形

确定外部元件值

C1和C2可配合器件的数字压摆率控制功能使用，以控制AD5420对应I_{OUT}信号的压摆率。确定电容的绝对值时，要确保调制解调器的FSK输出无失真通过。因此，调制解调器输出信号的带宽必须通过1200 Hz和2200 Hz频率。图3显示了实现此要求的电路。在此情况下C2保持开路。

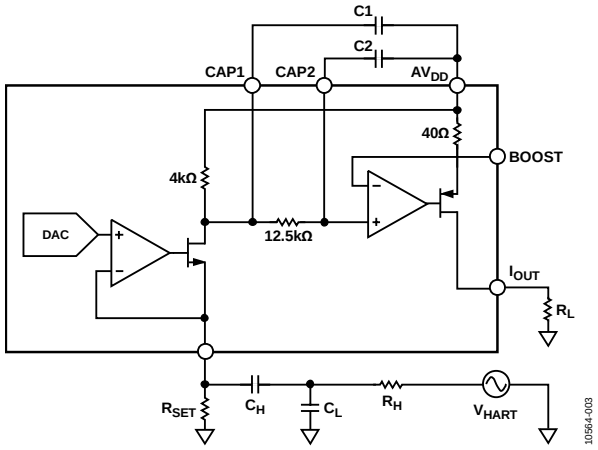


图3. AD5420/AD5410和AD5700 HART调制解调器连接

低通和高通滤波器电路通过R_H、C_L、C_H和C1的相互作用并配合AD5420的一些内部电路来形成。在计算这些元件的值时，低通和高通频率截止点目标分别为>10 kHz和<500 Hz。图4显示了仿真频率响应的曲线图，表1显示了增加各元件而剩余元件值保持恒定对频率响应的影响。

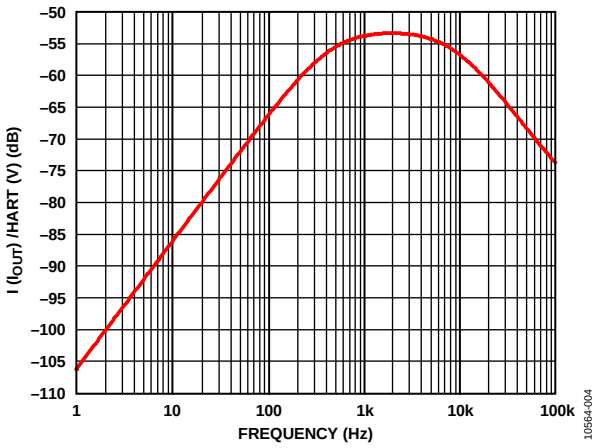


图4. 仿真频率响应

表1. 个别元件值增加对频率响应的影响

元件	C1	C_H	C_L	R_H
f_L (Hz)	↓	↓	↓	↓
f_H (kHz)	↓	无变化	无变化	无变化
G (dB)	↓	↑	↓	↓

调制解调器的输出是一个FSK信号，包括1200 Hz和2200 Hz移频。这个信号需要转换为一个1 mA峰峰值电流信号。为此，R_{SET}引脚上的信号幅度必须衰减。这是因为AD5420有内部电流增益配置设计。假定调制解调器的输出幅度为500 mV峰峰值，则其输出必须经过500/150 = 3.33倍衰减。此衰减通过R_H和C_L来实现。

本电路笔记中的测量使用以下元件值完成：

- C1 = 4.7 nF
- R_H = 27 kΩ
- C_L = 4.7 nF
- C_H = 8.2 nF

图5表明在500 Ω负载电阻上分别测得了1200 Hz和2200 Hz移频。通道1显示耦合至AD5420输出的调制HART信号(设为输出4 mA)，而通道2显示AD5700 TXD信号。

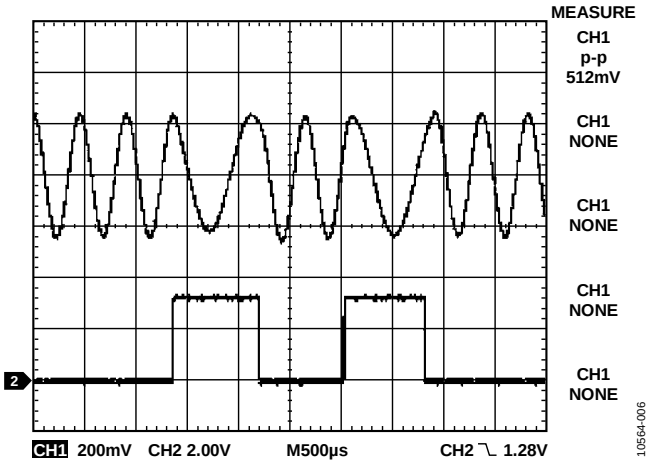


图5. 在500 Ω负载上测得的FSK波形

HART兼容性

图1中的电路要与HART兼容，必须符合HART物理层规范。HART规范文档中包含了众多物理层规范。其中最重要的两个是静默期间输出噪声和模拟变化率。

静默期间输出噪声

当HART设备没有进行传输(静默)时，不应在HART扩展频带中将噪声耦合到网络上。噪声过高可能会干扰设备本身或网络上其它设备对HART信号的接收。

对于在500 Ω负载上测得的电压噪声，其包含的扩展频带中的宽带噪声和相关噪声总和不能超过2.2 mV rms。此噪声通过在500 Ω负载上连接HCF_TOOL-31滤波器(可从HART通信基金会获得)并将滤波器输出连接到真均方根测量仪(参见图6)来测量。也可使用示波器来检查输出波形峰峰值电压。

AD5420输出电流设为4 mA、12 mA和20 mA。测得噪声没有明显差异。使用和不使用HCF_TOOL-31带通滤波器时，测得的均方根值分别为115 µV rms和252 µV rms。这两个值均在要求的2.2 mV rms(使用HART滤波器)和138 mV rms(不使用HART滤波器的宽带噪声)规范内。

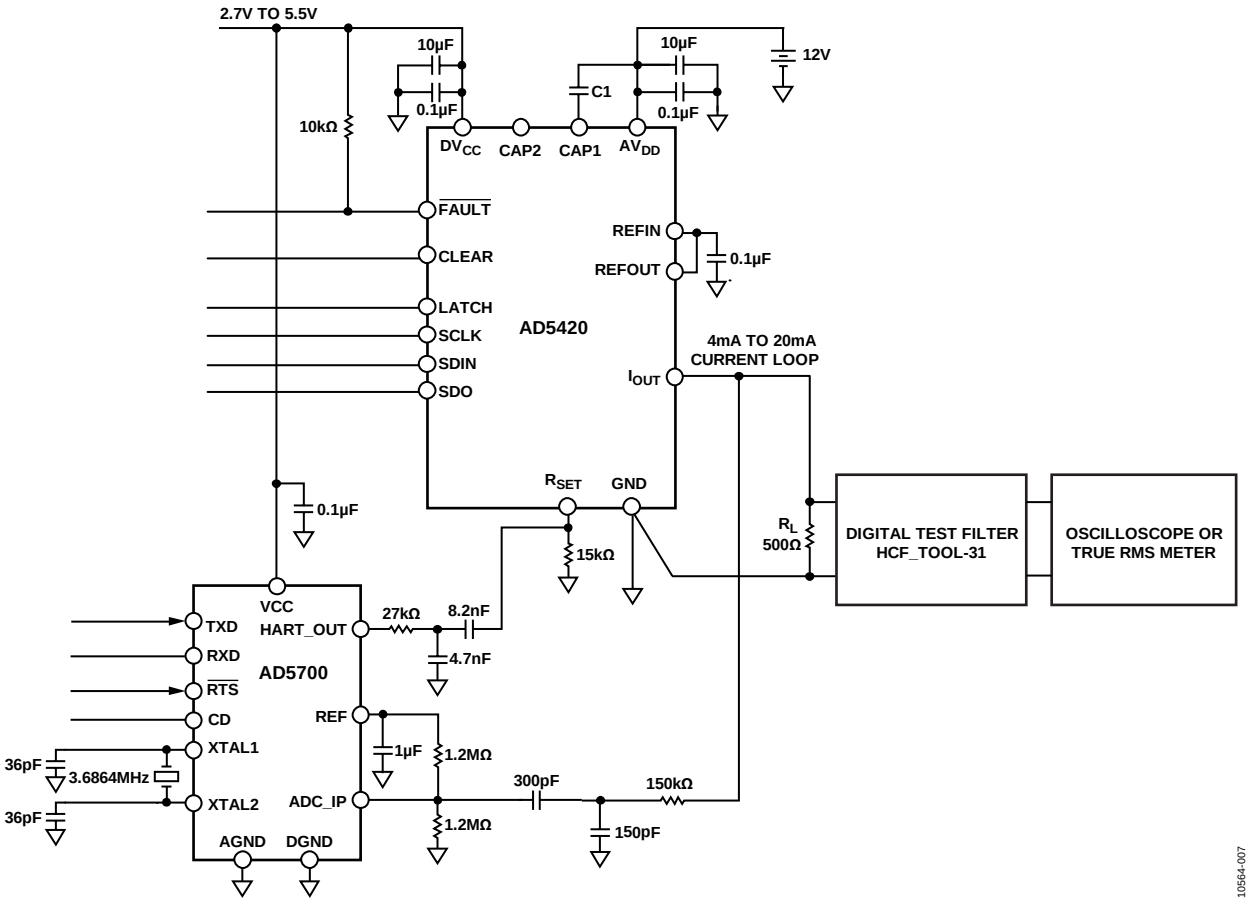


图6. HART规范测试电路

图7和图8分别显示4 mA和12 mA输出电流的示波器曲线图。注意，滤波器的通带增益为10。通道1和通道2分别显示滤波器的输入和输出。

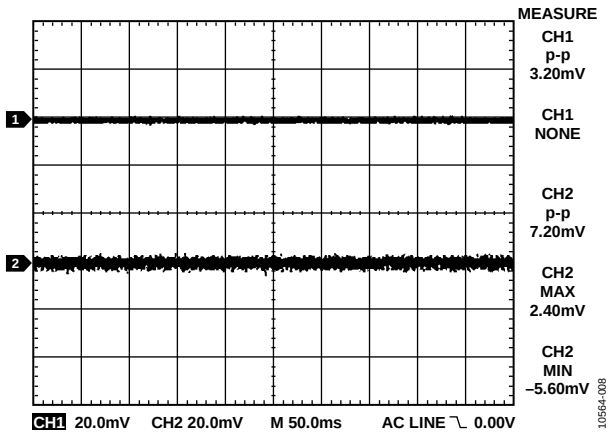


图7. 输出电流为4 mA时HART滤波器输入(通道1)和输出(通道2)端的噪声

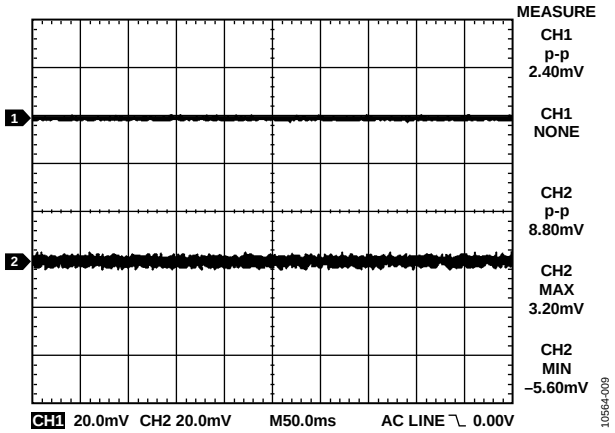


图8. 输出电流为12 mA时HART滤波器输入(通道1)和输出(通道2)端的噪声

模拟变化率

此规范可确保当设备调节电流时，模拟电流的最大变化率不会干扰HART通信。电流的阶跃变化会扰乱HART信号。仍然使用如图6所示的相同测试电路。为进行这个测试，AD5420编程为输出一个4 mA至20 mA切换的周期波形，并且该波形在两个值上都没有延迟，以获得最大变化率。为了符合HART规范，滤波器输出端波形的峰值电压不能大于150 mV。符合这一要求可确保模拟信号的最大带宽处于规定的直流至25 Hz频带中。

AD5420输出从4 mA变为20 mA的正常时间约为10 µs。这个速度显然太快，而且会对HART网络造成重大破坏。为了降低变化率，AD5420提供了两种特性：一是在CAP1和CAP2引脚处连接电容，二是提供数字压摆率控制功能(详情请参考AD5420数据手册)。

要使带宽降低到25 Hz以下，需要在CAP1和CAP2引脚处连接非常大的电容值。最佳解决方案是结合使用外部电容和AD5420的数字压摆率控制功能。两个电容C1和C2的作用是降低模拟信号的变化率；不过还不足以满足规范。使能压摆率控制功能可以为变化率的设置提供灵活性。

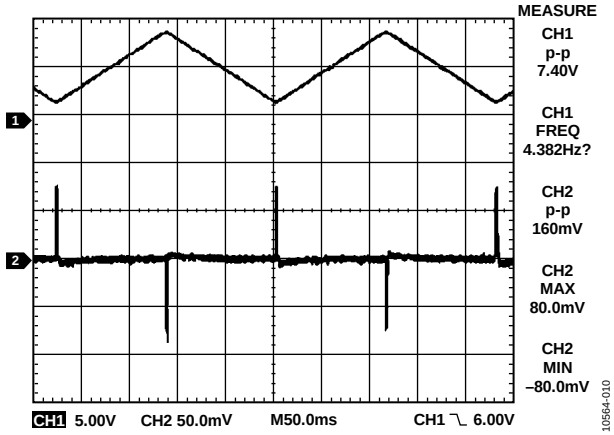


图9. AD5420输出(通道1)和HART滤波器输出(通道2)，SR CLOCK = 3，SR STEP = 2，C1 = 4.7 nF，C2 = NC

图9显示AD5420的输出和HART滤波器的输出。滤波器输出端的峰值电压为80 mV，处于规定范围以内。压摆率设置为SR CLOCK = 3和SR STEP = 2，从4 mA至20 mA的转换时间设为约120 ms，C1 = 4.7 nF，C2未连接。如果这个变化率太低，可以缩短压摆时间。但这会使滤波器输出端的峰值电压增加。从CAP1连接至AV_{DD}的电容可用于抵消此增加。

图10显示了压摆率控制设置改为SR CLOCK = 5和SR STEP = 2，同时C1电容值保持4.7 nF不变的结果。这样，转换时间就会在240 ms左右。滤波器输出端的峰值幅度可通过增加C1值、配置更慢的压摆率或通过两者的组合来进一步降低。

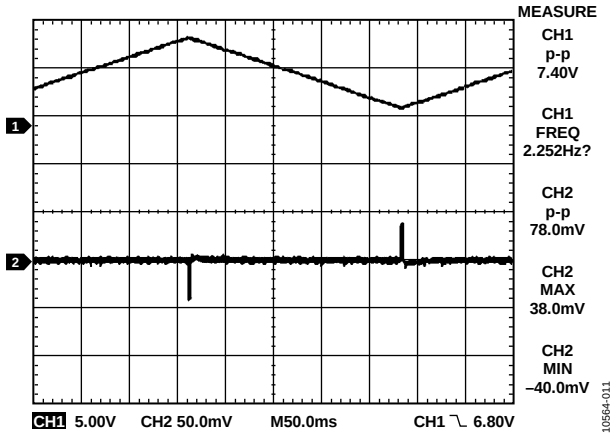


图10. AD5420输出(通道1)和HART滤波器输出(通道2)，SR CLOCK = 5，SR STEP = 2，C1 = 4.7 nF，C2 = NC

瞬态电压保护

AD5420内置ESD保护二极管，在一般工作条件下可防止器件受损。但是，工业控制环境会使I/O电路遭受高得多的瞬变。为了防止过高瞬态电压影响AD5420，可能需要外部功率二极管和浪涌电流限制电阻，如图1所示。对电阻值的约束条件(图1中显示为18 Ω)是，在正常工作期间，I_{OUT}的输出电平必须保持在其电压限值(AV_{DD} – 2.5 V)以内，并且这两个保护二极管和电阻必须具有适当的额定功率。在18 Ω下，对于4 mA至20 mA输出，引脚上的顺从电压限值会降低$V = I_{MAX} \times R = 0.36$ V。通过瞬态电压抑制器(TVS)或瞬态吸收器可实现进一步的保护。这些元件包括单向和双向抑制器，可提供各种各样的隔离和击穿电压额定值。TVS应尽量采用最低击穿电压定标，同时在电流输出的功能范围内不导通。建议保护所有远程连接节点。

在许多过程控制应用中，需要在控制器与受控单元之间提供一个隔离栅，以保护和隔离控制电路遭受可能发生的任何危险的共模电压。ADI公司的*i*Coupler系列产品可隔离高于2.5 kV的电压。有关*i*Coupler产品的详情，请访问：www.analog.com/icouplers。为了减少所需隔离器的数量，CLEAR等非关键信号可以连到GND；$\overline{\text{FAULT}}$和SDO可以不连接，从而只需要隔离三个信号。不过请注意，$\overline{\text{FAULT}}$或SDO引脚是访问AD5420的故障检测功能所必需的。

常见变化

图1所示电路的一个常见变化是使用AD5422(LFCSP版本)，它类似于AD5420，但具有电压输出通道和电流输出通道，因而是PLC/DCS类应用的常见选择。电路笔记CN-0065提供有关IEC 61000兼容解决方案的额外信息，该解决方案适合使用AD5422和ADuM1401数字隔离器的全隔离式输出模块。

电路笔记CN-0233包含有关提供电源和数据隔离的信息，所使用的是ADuM3471 PWM控制器和具有四通道隔离器的变压器驱动器。电路笔记CN-0278和电路笔记CN-0321都含有采用AD5422和AD5700的HART解决方案。这些器件拥有电压和电流输出能力。

如果需要多个通道，可使用AD5755-1四通道电压和电流输出DAC。该产品具有创新型片内动态电源控制功能，在电流模式下，可以最大限度地降低封装功耗。各通道均有一个相应的C_{HART}引脚，因此HART信号可以耦合到AD5755-1的电流输出端。

如果需要环路供电的4 mA至20 mA HART解决方案，可以组合AD5421和AD5700 HART调制解调器。该电路详见电路笔记CN-0267，并以评估板方式供货。

电路评估与测试

使用EVAL-CN0270-EB1Z电路板对电路进行测试。ADI J-Link OB仿真器(USB-SWD/UART-EMUZ)用于把评估板连接到运行评估软件的PC上。测试设置如图11所示。

设备要求

需要以下设备：

- CN-0270评估板(EVAL-CN0270-EB1Z)
- CN-0270评估板软件(ftp://ftp.analog.com/pub/cftl/CN0270/)
- EVAL-CN0270-EB1Z包含的J-Link OB仿真器(USB-SWD/UART-EMUZ)。
- 运行Windows® XP或以上操作系统的PC，带USB端口
- 电源电压：10.8 V至36 V
- 数字测试滤波器(HCF_TOOL-31，可从HART通信基金会获得)
- 负载电阻：500 Ω
- 示波器，Tektronix DS1012B或等效器件

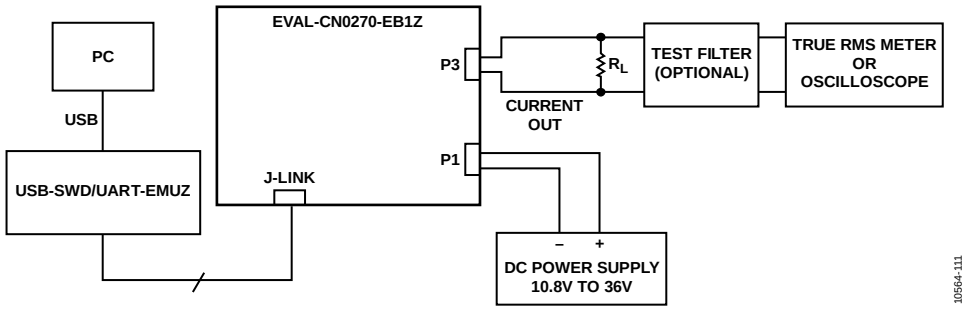


图11. 测试设置框图

对于静默测试期间的输出噪声，如上所述，AD5700调制解调器不发射数据(静默)。AD5420设置为输出所需的电流并通过HCF(HART通信基金会)带通滤波器。接着使用Tektronix TDS1012B示波器测量输出噪声。

模拟变化率规范可确保当AD5420调节电流时，模拟电流的最大变化率不会干扰HART通信。电流的阶跃变化会扰乱HART信号。

为进行这个测试，AD5420编程为输出一个4 mA至20 mA切换的周期波形，并且该波形在两个值上都没有延迟，以获得最大变化率。所用的压摆率设置为SR CLOCK = 3和SR STEP = 2，C1设置为4.7 nF，C2保持开路。同时完成另一个测量，将SR CLOCK设置改变为5而不是3，并保持所有其他设置和元件值不变，从而进一步降低压摆率。

有关软件操作的详情，请参阅CN-0270软件用户指南。

更多资料

CN0270设计支持包：
http://www.analog.com/CN0270-DesignSupport

Maurice Egan。应用笔记AN-1065：*配置用于HART通信合规性的AD5420*。ADI公司。

HART通信基金会

数据手册和评估板

AD5420 数据手册和评估板

AD5700 数据手册和评估板

AD5700-1 数据手册和评估板

修订历史

2014年7月 — 修订版A至修订版B

更改图1 1
更改图6 4
更改常见变化部分、电路评估部分、测试部分和图11 6

2012年5月—修订版0至修订版A

更改电路功能和优势部分 1
更改电路描述部分 2
更改常见变化部分 6

2012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.

©2012–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10564sc-0-7/14(B)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0271。

连接/参考器件	
AD8495	完整的K型0°C至50°C范围热电偶放大器，集成冷结补偿功能
AD8476	低功耗、单位增益全差分放大器和ADC驱动器
AD7790	16位、单通道、超低功耗Σ-Δ型ADC
ADR441	超低噪声、2.5V LDO XFET基准电压源，具有吸电流和源电流能力

集成冷结补偿的K型热电偶测量系统

评估和设计支持

电路评估板

CN-0271电路评估板(EVAL-CN0271-SDPZ)

系统演示平台，SDP-B (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所示电路是一款完整的热电偶信号调理电路，带有冷结补偿功能并后接一个16位Σ-Δ型模数转换器(ADC)。AD8495热电偶放大器为测量K型热电偶温度提供了一种简单的低成本解决方案，且包含冷结补偿功能。

AD8495中的固定增益仪表放大器可放大热电偶的小电压，以提供5 mV/°C输出。该放大器具有高共模抑制性能，能够抑制热电偶的长引线可能会拾取的共模噪声。如需额外保护，该放大器的高阻抗输入端允许轻松添加额外的滤波措施。

AD8476差分放大器提供正确的信号电平和共模电压，以驱动AD7790 16位Σ-Δ型ADC。

该电路为热电偶信号调理和高分辨率模数转换提供了一种紧凑的低成本解决方案。

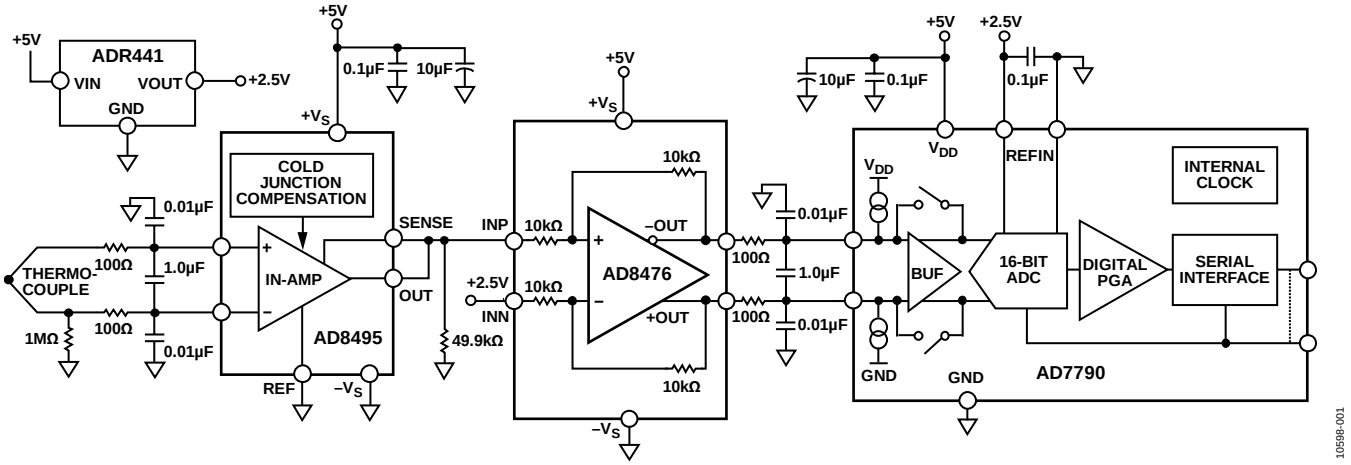


图1. 集成冷结补偿的K型热电偶测量系统(原理示意图：未显示所有连接)

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 **www.analog.com.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

热电偶是一种广泛用于温度测量的简单元件。它由两种异质金属的连接结组成。这些金属在一端相连，形成测量结，也称为热结。热电偶的另一端连接到与测量电子装置相连的金属线。这种连接形成了第二个结——基准结，也称为冷结。为了得出测量结的温度(T_{MJ})，用户必须知道热电偶所产生的差分电压。用户还必须知道基准结温(T_{RJ})所产生的误差电压。补偿基准结温误差电压称为冷结补偿。为使输出电压精确地代表热结测量结果，电子装置必须补偿基准(冷)结温的任何变化。

该电路使用AD8495热电偶放大器，并采用单个5 V电源供电。AD8495的输出电压针对5 mV/°C校准。采用5 V单电源时，输出在大约75 mV和4.75 V之间保持线性，对应于15°C至950°C的温度范围。AD8495的输出驱动AD8476单位增益差分放大器的同相输入端，该放大器则将单端输入转换为差分输出，用于驱动AD7790 16位Σ-Δ型ADC。

AD8495输入端之前的低通差分和共模滤波器可消除RF信号，如果任由其到达AD8495，它可能会被整流，表现为温度波动。两个100 Ω电阻和一个1 μF电容构成一个截止频率为800 Hz的差分滤波器。两个0.01 nF电容构成一个截止频率为160 kHz的共模滤波器。AD8476差分放大器的输出端在信号施加于AD7790 ADC之前使用了一个类似的滤波器。

AD8495输入可保护器件不受最高超出对侧供电轨25 V的输入电压偏移的影响。例如，在该电路中，正供电轨为5 V而负供电轨接地时，器件可以安全地承受-20 V至+25 V的输入电压。基准引脚和检测引脚处的电压不得超出供电轨0.3 V以上。此特性对存在电源时序控制问题的应用特别重要，这类问题可导致信号源在施加放大器电源之前活动。

该系统的理论分辨率可根据AD8495的带宽、电压噪声密度和增益来计算得出。峰峰值(无噪声码)分辨率(单位为位)为：

$$Noise\ Free\ Bits = \frac{\log\left[\frac{V_{OUT_{MAX}}}{6.6 \times Voltage\ Noise\ Density \times Gain \times \sqrt{1.57 \times Bandwidth}}\right]}{\log(2)}$$

$$= \frac{\log\left[\frac{4.9\ \text{V}}{6.6 \times (32\ \text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}) \times 122.4 \times \sqrt{1.57 \times 800\ \text{Hz}}}\right]}{\log(2)} = 12.4\ \text{bits}$$

AD8476是一款功耗极低的全差分精密放大器，集成了用于单位增益的薄膜激光调整型10 kΩ增益电阻。它是此类应用的理想之选，因为它能够防止在AD8495上施加相对较高的阻抗负载。

AD7790是一款适合低频测量应用的低功耗、完整模拟前端，内置一个低噪声16位Σ-Δ型ADC，其中有一个可配置为缓冲或无缓冲模式的差分输入端。

测试结果

衡量该电路性能的一个重要指标是线性误差量。在-25°C至+400°C范围内，AD8495的输出精度在2°C以内。在此范围以内或以外工作时，要实现更高的精度，必须在软件中实施一种线性校正算法。CN-0271评估软件使用NIST热电电压查找表来确保15°C至950°C范围内输出误差在1°C以内。

图2将AD8495与CN-0271系统的性能进行了比较，并显示了对ADC输出进行线性化校正后的结果。有关如何在软件中实施此算法的详情，请参见AN-1087应用笔记“使用AD8494/AD8495/AD8496/AD8497时的热电偶线性化”。

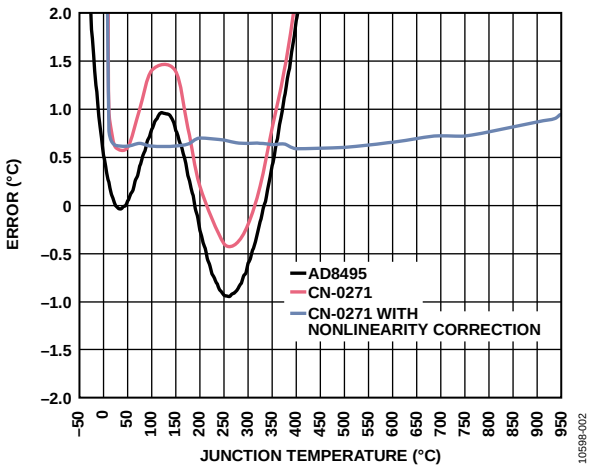


图2. AD8495输出误差、CN-0271电路总误差以及热电偶非线性校正后的CN-0271电路总误差

系统的噪声性能对电路的精度也很重要。图3显示了1,000个测量样本的直方图。该数据是利用连接到EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP-B)评估板的CN-0271评估板获得的。有关设置详情，请参见“电路评估与测试”部分。

测得的峰峰值噪声约为6 LSB (1 LSB = 4.9 V ÷ 65536 = 74.8 μV)，对应于0.449 mV p-p和13.4位的无噪声分辨率。

$$Noise\ Free\ Bits = \frac{\log\left(\frac{V_{IN_MAX}}{Noise_{Vp-p}}\right)}{\log(2)} = \frac{\log\left(\frac{4.9\ V}{0.449\times10^{-3}\ Vp-p}\right)}{\log(2)} = 13.4\ bits$$

这表明转换器并未降低无噪声分辨率，因为从固定热电偶输入电压所测分辨率而得到的无噪声位数与根据AD8495的理论输出噪声而预测的无噪声位数大致相同。

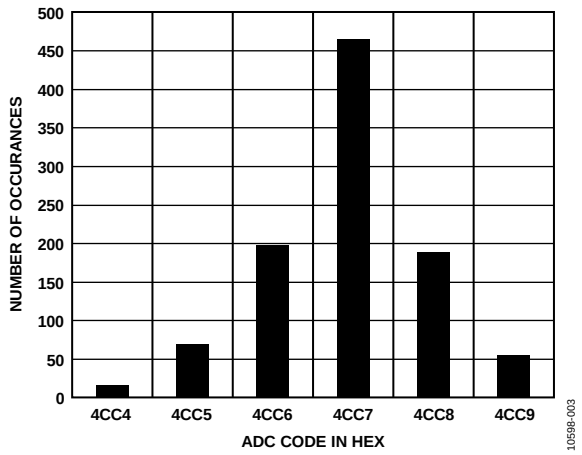


图3. 120 Hz条件下1,000个样本的码字直方图

有关本电路笔记的完整设计支持包，请访问www.analog.com/CN0271-DesignSupport

常见变化

为了测量负温度，需对基准引脚施加一个电压，以偏置0°C时的输出电压。AD8495的输出电压为：

$$V_{OUT} = (T_{MJ} \times 5\ mV/°C) + V_{REF}$$

通过将电路修改为采用双电源供电，可以测量完整的K型热电偶范围−200°C至+1250°C。AD8495采用单电源供电时，测量低于环境温度的温度时会得到非线性结果，因为输出开始发生饱和，接近于供电轨。要在较低温度条件下保持精度不变，请使用双电源，或者通过对基准引脚施加合适的偏移电压对输出进行电平转换。

AD8494针对J型热电偶进行了校准。AD8494和AD8495针对0°C和50°C之间的基准结进行了优化。

AD8496(J型)和AD8497(K型)针对25°C和100°C之间的基准结进行了优化。

经验证，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。

电路评估与测试

本电路使用EVAL-CN0271-SDPZ电路板和系统演示平台(SDP-B)控制器板(EVAL-SDP-CB1Z)。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。EVAL-CN0271-SDPZ包含要评估的电路，如本电路笔记所述；SDP-B控制器板与CN-0271评估软件一起使用，可从EVAL-CN0271-SDPZ电路板中获取数据。

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-CN0271-SDPZ电路评估板
- SDP-B控制器板(EVAL-SDP-CB1Z)或SDP-S控制器板(EVAL-SDP-CS1Z)
- CN-0271 SDP评估软件
- 6 V电源(EVAL-CFTL-6V-PWRZ)或同等直流电源

开始使用

将CN-0271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**，找到包含评估软件的驱动器。

功能框图

电路框图参见本电路笔记的图1，电路原理图参见**EVAL-CN0271-SDPZ-SCH-RevA.pdf**文件。此文件位于CN-0271设计支持包中。

设置

将EVAL-CN0271-SDPZ电路板上的120引脚连接器连接到SDP-B控制器板(EVAL-SDP-CB1Z)上的**CON A**连接器。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。

在断电情况下，将EVAL-CFTL-6V-PWRZ插头连接到板上标有J5的管式连接器。如果没有，则将+6V和GND引脚连接到板上提供的两个J4引脚螺丝。此外，将SDP-B板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。

然后，将一个K型热电偶连接器连接到板上的J1，另一端连接到测试设备。

测试

启动评估软件，并通过USB电缆将PC连接到SDP-B板上的微型USB连接器。一旦USB通信建立，就可以使用SDP-B板来发送、接收和捕捉来自EVAL-CN0271-SDPZ板的串行数据。

图4显示了CN-0271 SDP-B评估软件界面的屏幕截图，图5则显示了EVAL-CN0271-SDPZ评估板和SDP-B板的照片。有关SDP-B板的信息，请参阅UG-277用户指南。

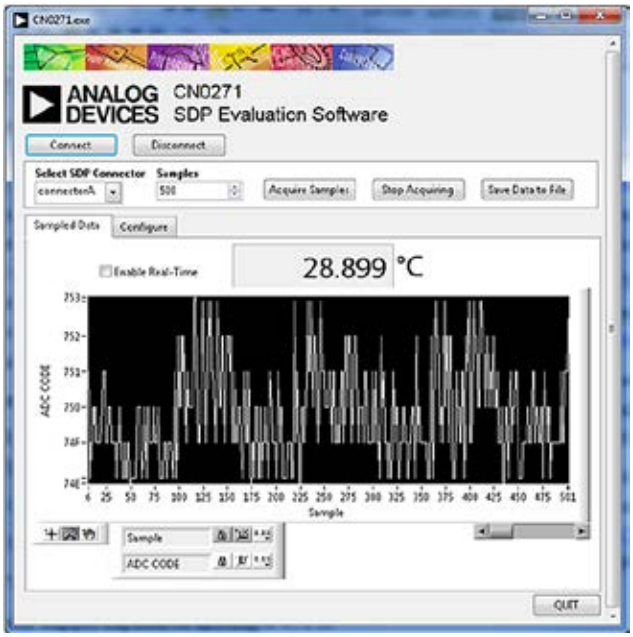


图4. CN-0271 SDP-B评估软件界面

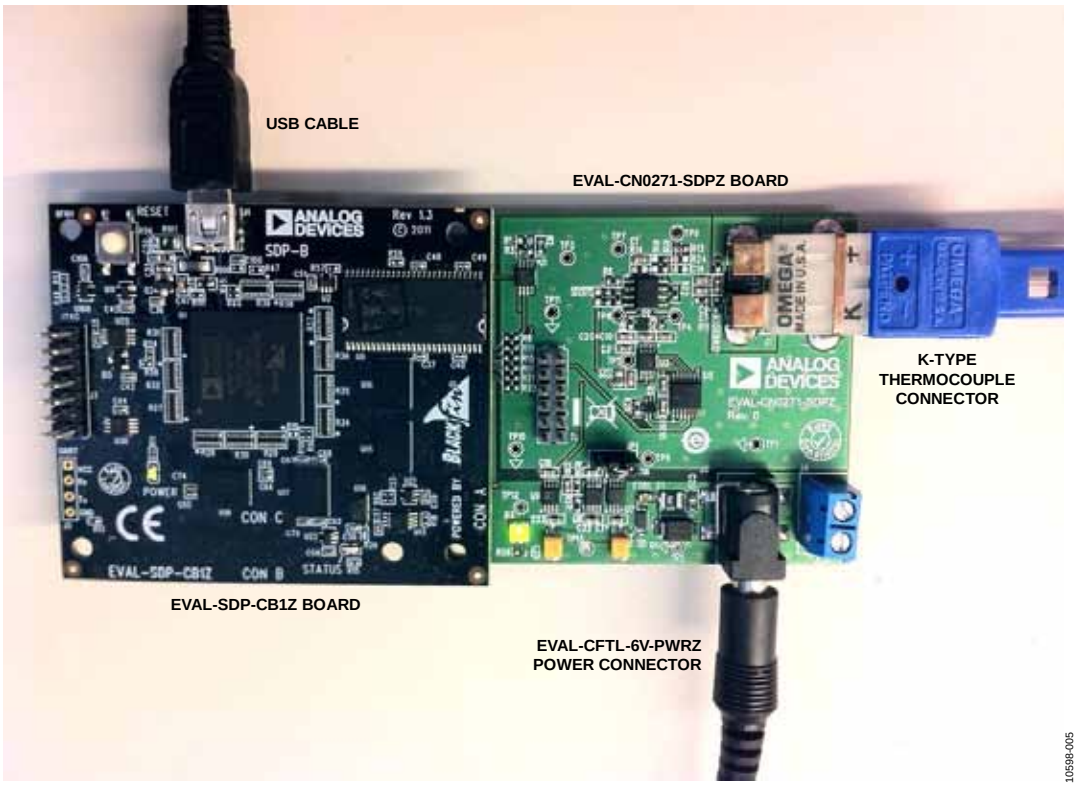


图5. 连接到SDP-B板的EVAL-CN0271-SDPZ评估板

更多资料

CN0271设计支持包：
www.analog.com/CN0271-DesignSupport

SDP-B用户指南

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

Duff, Matthew和Joseph Towey。*两种简单、精确、灵活的热电偶温度测量方法*。《模拟对话》44-10，2010年10月。

Malik, Reem。应用笔记AN-1087：使用*AD8495/AD8496/AD8497*时的热电偶线性化。ADI公司。

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

MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-036：*运算放大器输出反相和输入过压保护*。ADI公司。

教程MT-068：*差动和电流检测放大器*。ADI公司。

教程 MT-101：*去耦技术*。ADI 公司。

数据手册和评估板

CN-0271电路评估板(EVAL-CN0271-SDPZ)

系统演示平台，SDP-B (EVAL-SDP-CB1Z)

AD8495数据手册

AD8476数据手册

AD7790数据手册

ADR44x数据手册

ADP3336数据手册

修订历史

2012年6月—修订版0至修订版A

更改图1 1

2012年6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.

©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10598sc-0-6/12(A)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0278。

连接/参考器件	
AD5700, AD5700-1	低功耗HART调制解调器
AD5422	16位电流和电压输出DAC

具有额外电压输出能力的完整4 mA至20 mA HART解决方案

评估和设计支持

电路评估板

AD5422电路评估板(EVAL-AD5422EBZ，LFCSP版本)

AD5700-1/AD5700评估板(EVAL-AD5700-1EBZ)

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所示电路使用业界功耗最低且尺寸的HART®[1]兼容型IC调制解调器AD5700和16位电流输出和电压输出DAC AD5422，构成完整的HART兼容型4 mA至20 mA解决方案。该电路中采用OP184，使得I_{OUT}和V_{OUT}引脚能够短接在一起，从而减少可编程逻辑控制(PLC)模块应用中所需的螺丝连接数量。为了进一步节省空间，AD5700-1提供了精度为0.5%的内部振荡器。

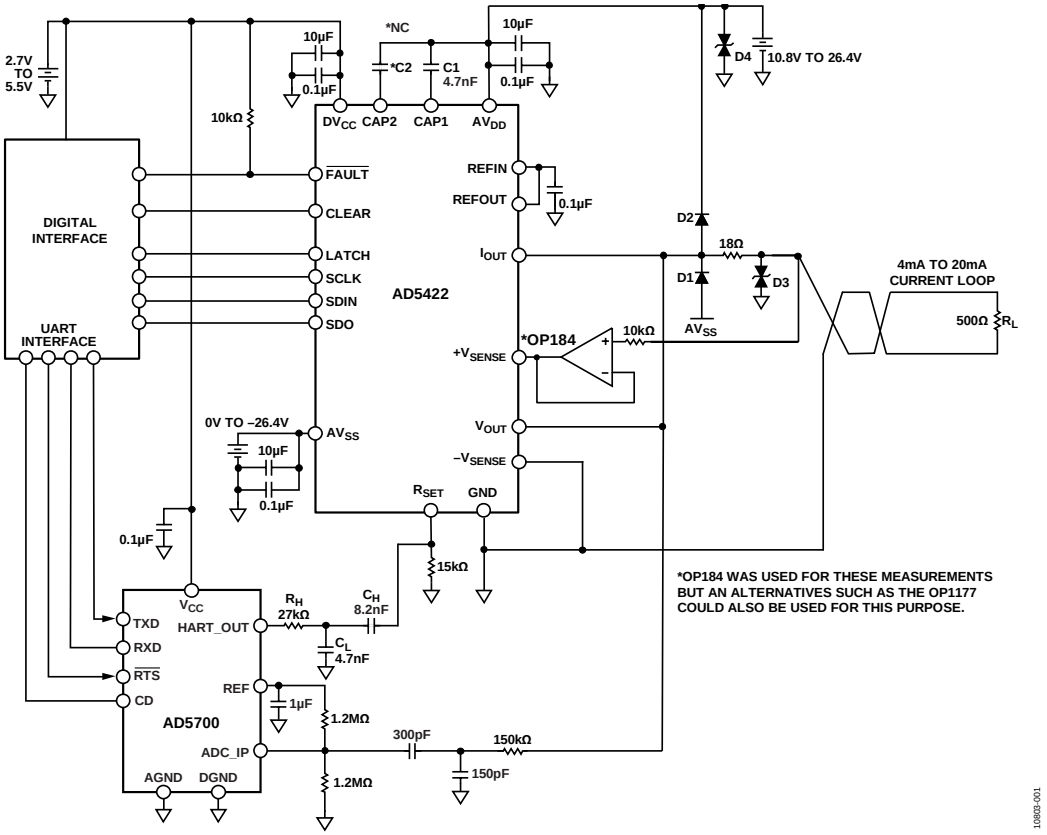


图1. AD5422 HART使能电路原理示意图

[1] HART is a registered trademark of the HART Communication Foundation.

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 **www.analog.com.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

应用笔记AN-1065描述了为符合HART通信标准而对AD5420 I_{OUT} DAC进行配置的方式。AN-1065概述了AD5700 HART调制解调器输出如何进行衰减并通过CAP2引脚交流耦合至AD5420。AD5422也是如此。然而，如果应用中涉及特别恶劣的环境，则可采用一种电源抑制特性更加的替代电路配置。这种替代电路要求使用外部R_{SET}电阻，并涉及到将HART信号耦合至AD5420或AD5422的R_{SET}引脚。CN-0270描述了AD5420的这种解决方案，通常是在线路供电的发射器应用中。目前的电路笔记与AD5422相关；与AD5420不同，该器件提供电压和电流输出引脚，因此特别适合PLC/分布式控制系统(DCS)应用。AD5422提供40引脚LFCS和24引脚TSSOP封装，这点与电路特性的相关性将在“电路描述”部分加以介绍。

该电路符合由HART通信基金会定义的HART物理层规范，例如静默期间输出噪声和模拟变化率规格。

多年来，过程控制仪器仪表中一直使用4 mA至20 mA通信。此通信方式稳定可靠，对长距离通信中的环境干扰具有高抗扰度。不过，其限制是每次只能进行一个过程变量的单向通信。

可寻址远程传感器高速通道(HART)标准的开发实现了高性能的双向数字通信，同时支持传统仪器仪表设备所使用的4 mA至20 mA模拟信号。它衍生出各种特性，例如远程校准、故障查询和额外过程变量的传输。简言之，HART是一种数字双向通信，可在4 mA至20 mA模拟电流信号之上调制一个1 mA峰峰值频移键控(FSK)信号。

电路描述

图1显示AD5422如何与AD5700 HART调制解调器和UART接口配合使用，以使PLC和DCS系统常用的4 mA至20 mA电流输出支持HART。如果应用无需短接I_{OUT}和V_{OUT}引脚，则不一定需要连接至$+V_{SENSE引}$脚的缓冲器。来自AD5700的HART_OUT信号经衰减后，交流耦合至AD5422的RSET引脚。如果未使用外部R_{SET}电阻，通过CAP2引脚连接AD5422和AD5700的替代方法请参见应用笔记AN-1065，如前文所述。此方法只适用于AD5422的40引脚LFCSP封装选项，因为引脚数量较少的24引脚TSSOP封装没有CAP2引脚。

虽然本电流电路笔记中描述的方法需要使用外部R_{SET}电阻，但其电源抑制性能却高于替代应用笔记解决方案。无论使用哪一种解决方案，AD5700 HART调制解调器输出均可在不影响电流直流电平的前提下调制4 mA至20 mA模拟电流(如图2所示)。二极管保护电路(D1至D4)将在“瞬态电压保护”部分详细论述。

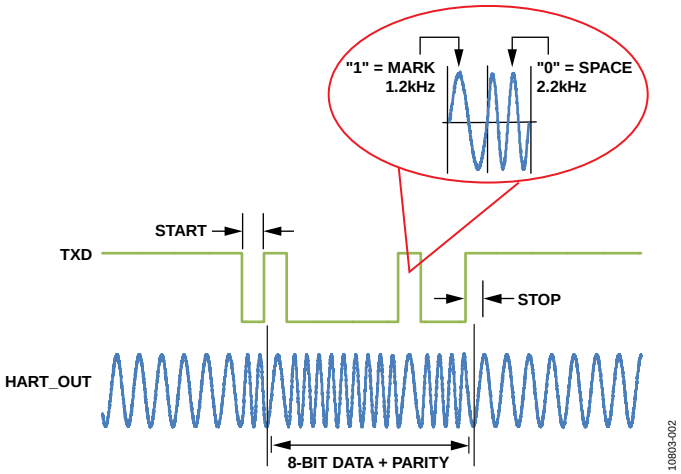


图2. AD5700/AD5700-1样片调制器波形

确定外部元件值

C1和C2电容可配合器件的数字压摆率控制功能使用，以控制AD5422的I_{OUT}信号压摆率。确定电容的绝对值时，要确保调制解调器的FSK输出无失真通过。因此，调制解调器输出信号的带宽必须通过1200 Hz和2200 Hz频率。图3显示了实现此要求的电路。在此情况下，C2(如图1所示)保持开路。

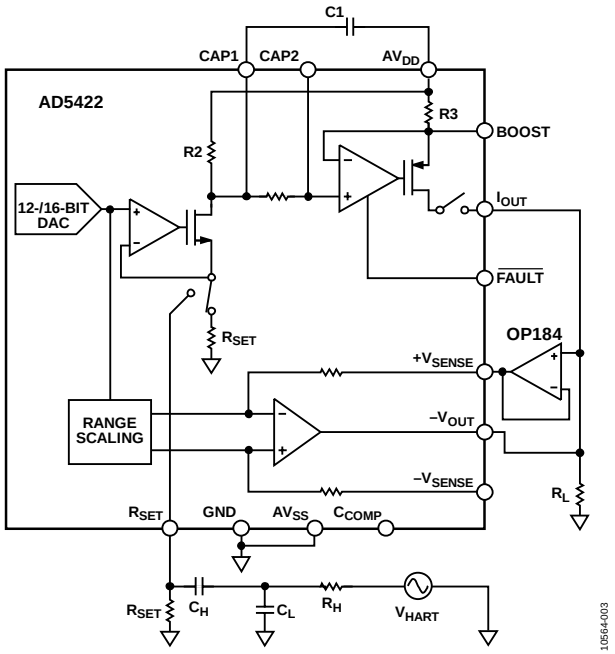


图3. AD5422和AD5700 HART调制解调器连接

低通和高通滤波器电路通过R_H、C_L、C_H和C1的相互作用并配合AD5422的一些内部电路来形成。在计算这些元件的值时，低通和高通频率截止点目标分别为>10 kHz和<500 Hz。图4显示了仿真频率响应的曲线图，表1显示了增加各元件而剩余元件值保持恒定对频率响应的影响。

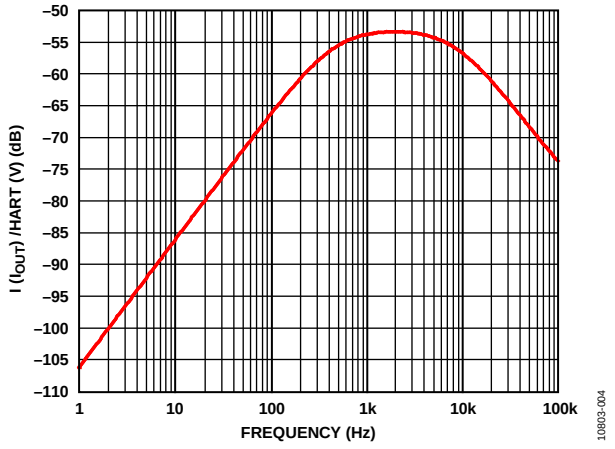


图4. 仿真频率响应

表1. 个别元件值增加对频率响应的影响

元件	C1	C_H	C_L	R_H
f_L (Hz)	↓	↓	↓	↓
f_H (kHz)	↓	无变化	无变化	无变化
G (dB)	↓	↑	↓	↓

调制解调器的输出是一个FSK信号，包括1200 Hz和2200 Hz移频。这个信号必须转换为1 mA峰峰值电流信号。为此，R_{SET}引脚上的信号幅度必须衰减。这是因为AD5422采用内部电流增益配置设计。假定调制解调器的输出幅度为500 mV p-p，则其输出必须经过500/150 = 3.33倍衰减。此衰减通过R_H和C_L来实现。

本电路笔记中的测量使用以下元件值完成：

- C1 = 4.7 nF
- R_H = 27 kΩ
- C_L = 4.7 nF
- C_H = 8.2 nF

图5表明在500 Ω负载电阻上分别测得了1200 Hz和2200 Hz移频。通道1显示耦合至AD5422输出中的调制HART信号(设置为输出4 mA)，通道2则显示AD5700 TXD信号。

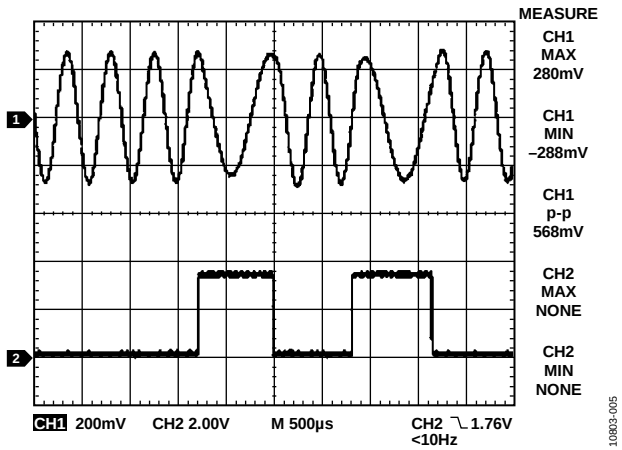


图5. 在500 Ω负载上测得的FSK波形

HART兼容性

图1中的电路要与HART兼容，必须符合HART物理层规范。HART规范文档中包含了众多物理层规范。其中最重要的两个是静默期间输出噪声和模拟变化率。

静默期间输出噪声

当HART设备没有进行传输(静默)时，不应在HART扩展频带中将噪声耦合到网络上。噪声过高可能会干扰设备本身或网络上其它设备对HART信号的接收。

对于在500 Ω负载上测得的电压噪声，其包含的扩展频带中的宽带噪声和相关噪声总和不能超过2.2 mV rms。此噪声通过在500 Ω负载上连接HCF_TOOL-31滤波器(可从HART通信基金会获得)并将滤波器输出连接到真均方根测量仪(参见图6)来测量。也可使用示波器来检查输出波形峰峰值电压。

AD5422输出电流设置为4 mA、12 mA和20 mA。对于所有这三个输出电流值，有带通滤波器时的结果十分相似，不过电流输出值增加时，宽带宽噪声也略有增加。在输出电流为4 mA的情况下，使用和不使用HCF_TOOL-31带通滤波器时，测得的均方根值分别为143 µV rms和1.4 µV rms。这两个值均在要求的2.2 mV rms(使用HART滤波器)和138 mV rms(不使用HART滤波器的宽带噪声)规范内。在输出电流为12 mA的情况下，使用和不使用HCF_TOOL-31带通滤波器时，测得的均方根值分别为158 µV rms和2.1 µV rms，这两个值同样都在HART协议规范要求的范围内。

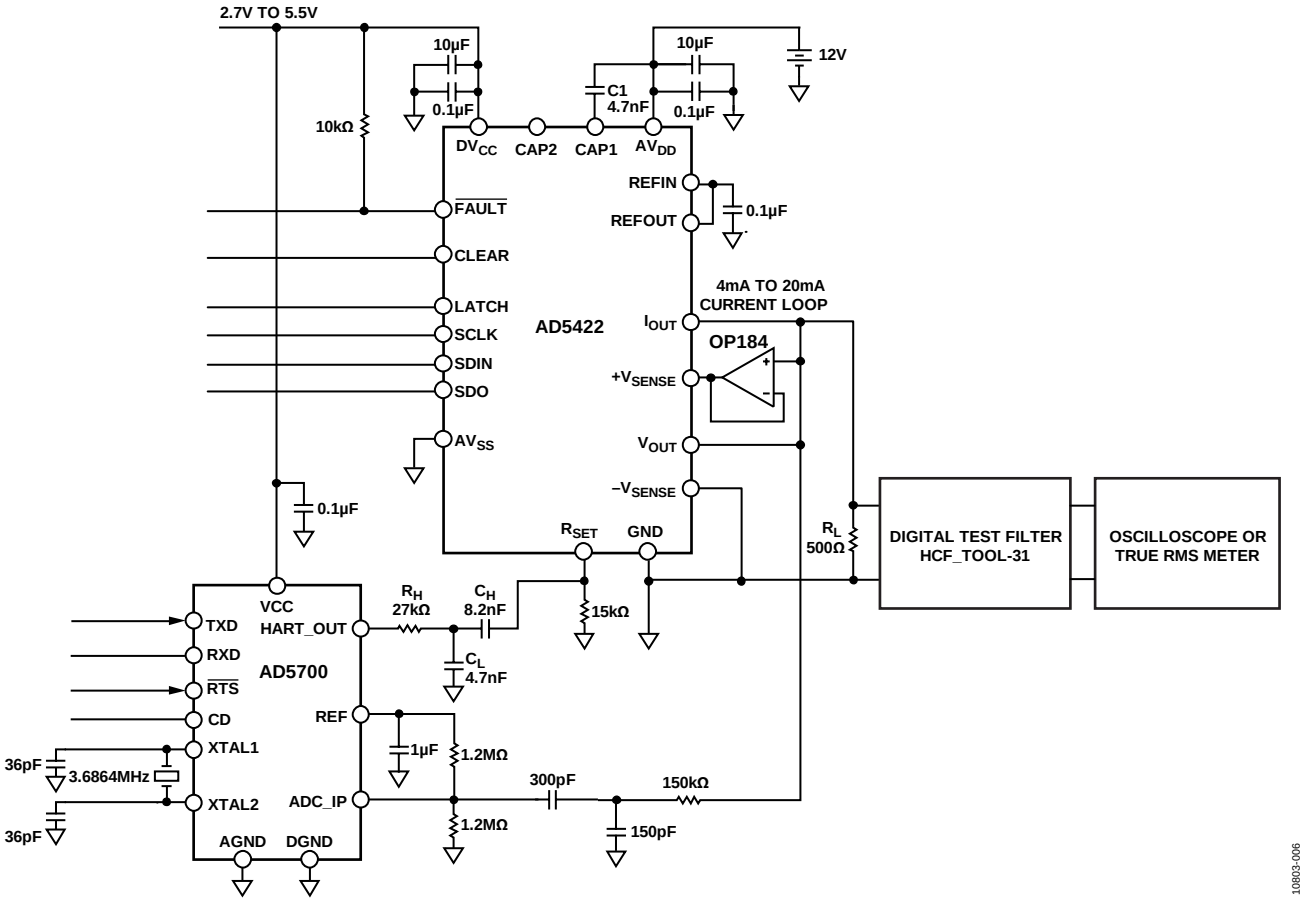


图6. HART规范测试电路

图7和图8分别显示4 mA和12 mA输出电流的示波器曲线图。注意，滤波器的通带增益为10。每个曲线图上的通道1和通道2分别显示滤波器的输入和输出。

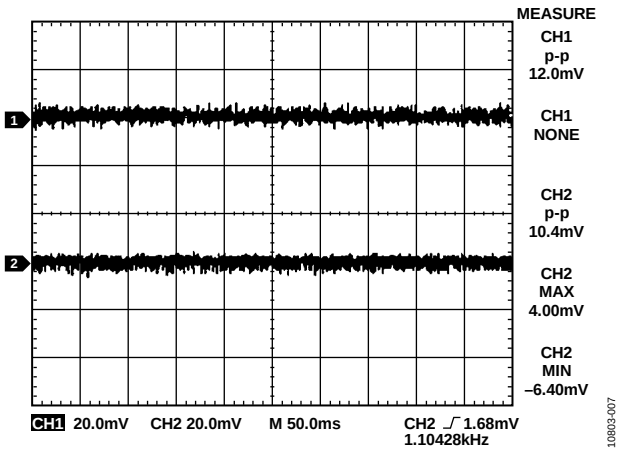


图7. 输出电流为4 mA时HART滤波器输入(通道1)和输出(通道2)端的噪声

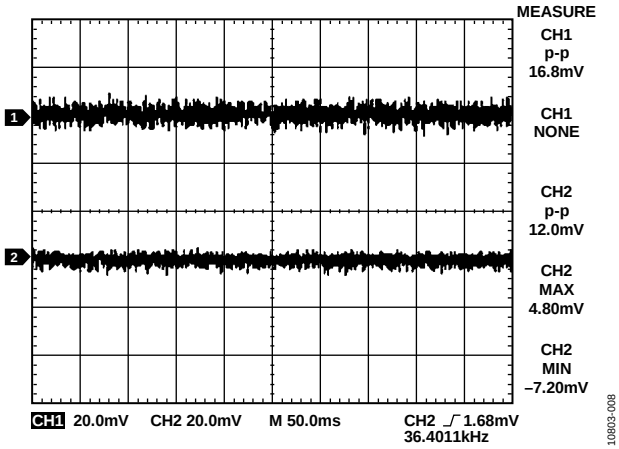


图8. 输出电流为12 mA时HART滤波器输入(通道1)和输出(通道2)端的噪声

模拟变化率

此规范可确保当设备调节电流时，模拟电流的最大变化率不会干扰HART通信。电流的阶跃变化会扰乱HART信号。仍然使用如图6所示的相同测试电路。为进行这个测试，AD5422被编程为输出一个4 mA至20 mA切换的周期波形，该波形在两个值上都没有延迟，以获得最大变化率。为了符合HART规范，滤波器输出端波形的峰值电压不能大于150 mV。符合这一要求可确保模拟信号的最大带宽处于规定的直流至25 Hz频带中。

AD5422输出从4 mA变为20 mA的正常时间约为10 µs。这个速度显然太快，而且会对HART网络造成重大破坏。为了降低变化率，AD5422提供了两种特性：一是在CAP1和CAP2引脚处连接电容，二是提供内部线性数字压摆率控制功能(详情请参考AD5422数据手册)。对于较快的压摆率，可在与AD5422通信的控制器/FPGA上实施一个非线性数字斜坡发生器。

要使带宽降低到25 Hz以下，需要在CAP1和CAP2引脚处连接非常大的电容值。最佳解决方案是结合使用外部电容和AD5422的数字压摆率控制功能。两个电容C1和C2的作用是降低模拟信号的变化率；不过还不足以满足规范。使能压摆率控制功能可以为变化率的设置提供灵活性。

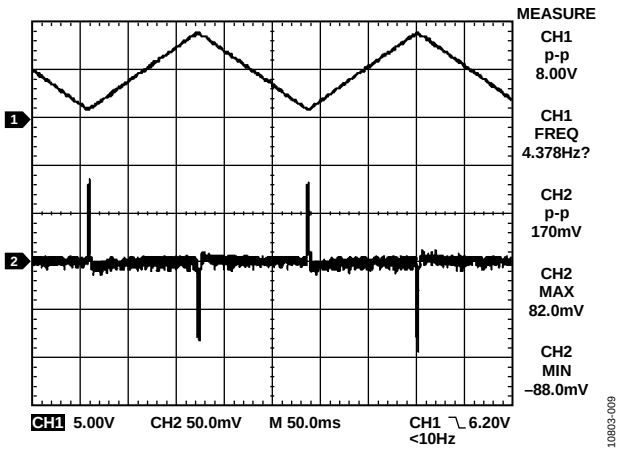


图9. AD5422输出(通道1)和HART滤波器输出(通道2)，SR时钟= 3，SR阶跃= 2，C1 = 4.7 nF，C2 = NC

图9显示了AD5422的输出和HART滤波器的输出。滤波器输出端的峰值电压为82 mV，处于规定范围以内。压摆率设置为SR时钟= 3和SR阶跃= 2，从4 mA至20 mA的转换时间设为约120 ms，C1 = 4.7 nF，C2未连接。如果这个变化率太低，可以缩短压摆时间。采用C1 = 4.7 nF且C2未连接的电路配置时，可以发现压摆时间设为80 ms(SR时钟= 1，SR阶跃= 2)时，所得到的模拟变化率符合HART规范。然而，如果将压摆时间进一步缩短至60 ms(SR时钟= 0，SR阶跃= 2)，则会导致结果超出150 mV规格范围。从CAP1连接至AV_{DD}的电容可用于抵消滤波器输出端因压摆时间过快而导致的峰值电压增加。然而，选择此值时必须小心，因为它会影响“确定外部元件值”部分讨论的低通滤波器截止频率。

图10显示了压摆率控制设置改为SR时钟= 5、SR阶跃= 2且C1电容值保持4.7 nF不变的结果。这样，转换时间就会在240 ms左右。滤波器输出端的峰值幅度可通过增加C1值、配置更慢的压摆率或通过两者的组合来进一步降低。

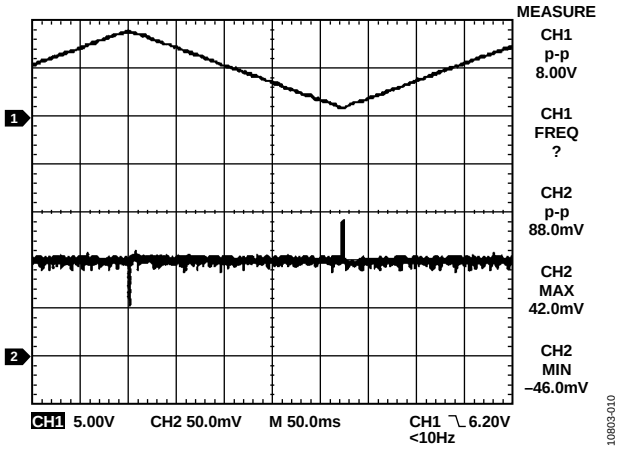


图10. AD5422输出(通道1)和HART滤波器输出(通道2)，SR时钟= 5，SR阶跃= 2，C1 = 4.7 nF，C2 = NC

瞬态电压保护

AD5422内置ESD保护二极管，可防止正常操作造成的损害。但是，工业控制环境会使I/O电路遭受高得多的瞬变。为了防止过高瞬态电压影响AD5422，可能需要外部功率二极管和浪涌电流限制电阻，如图1所示。对电阻值的约束条件(图1中显示为18 Ω)是，在正常工作期间，I_{OUT}的输出电平必须保持在其顺从电压限值(AV_{DD} – 2.5 V)以内，并且这两个保护二极管和电阻必须具有适当的额定功率。在18 Ω的条件下，对于4 mA至20 mA输出，引脚处的顺从限值降低V = I_{MAX} × R = 0.36 V。OP184缓冲器的正输入端还连接了一个10 kΩ电阻，用以限制瞬态期间的电流来保护放大器。通过瞬态电压抑制器(TVS)或瞬态吸收器可实现进一步的保护。这些元件包括单向和双向抑制器，可提供各种各样的隔离和击穿电压额定值。TVS应尽量采用最低击穿电压定标，同时在电流输出的功能范围内不导通。建议保护所有远程连接节点。

在许多过程控制应用中，需要在控制器与受控单元之间提供一个隔离栅，以保护和隔离控制电路，防止危险的共模电压破坏电路。

ADI公司的*i*Coupler系列产品可隔离高于2.5 kV的电压。有关*i*Coupler产品的详情，请访问www.analog.com/icouplers。为了减少所需隔离器的数量，CLEAR等非关键信号可以连到GND；$\overline{\text{FAULT}}$和SDO可以不连接，从而只需要隔离三个信号。不过请注意，$\overline{\text{FAULT}}$或SDO引脚是访问AD5422的故障检测功能所必需的。

常见变化

图1所示电路的一个常见变化是使用AD5420，它类似于AD5422，但只有一个电流输出。因此，其输出端没有OP184缓冲器配置。这种AD5420和AD5700 HART调制解调器电路详见CN-0270。电路笔记CN-0065提供有关IEC 61000兼容解决方案的额外信息，该解决方案适合使用AD5422和ADuM1401数字隔离器的全隔离式输出模块。电路笔记CN-0233包含有关提供电源和数据隔离的信息，所使用的是ADuM3471 PWM控制器和具有四通道隔离器的变压器驱动器。

如果需要多个通道，可使用AD5755-1四通道电压和电流输出DAC。该产品具有创新型片内动态电源控制功能，在电流模式下，可以最大限度地降低封装功耗。各通道均有一个相应的CHARTx引脚，因此HART信号可以耦合至AD5755-1的电流输出端。

如果需要环路供电的4 mA至20 mA HART解决方案，可以组合使用AD5421和AD5700 HART调制解调器。此类支持HART的智能发射机参考演示电路由ADI公司开发，采用了AD5421、ADuCM360和AD5700调制解调器。该电路已通过兼容性测试和验证，并注册为HART通信基金会认证的HART解决方案。

电路评估与测试

要构建此电路，需要使用AD5422评估板(EVAL-AD5422EBZ，LFCSP版本)和AD5700-1评估板(EVAL-AD5700-1EBZ)，参见图11。除了这两个评估板之外，该电路还需要三个外部电容(C1、C_H和C_L)、一个电阻(R_H)、一个负载电阻(R_L)、一个缓冲放大器以及一个UART接口。

设备要求

需要以下设备：

- AD5422评估板(EVAL-AD5422EBZ，LFCSP版本)
- AD5700评估板(EVAL-AD5700-1EBZ)
- 运行Windows® XP的PC，带USB端口
- 主机控制器和UART接口(标准微控制器，例如ADuC7060)
- 10.8 V至60 V的电源
- 数字测试滤波器(HCF_TOOL-31，可从HART通信基金会获得)
- 500 Ω负载电阻
- OP184放大器(位于单独的试验板上且带有连接线)
- 外部电容C1 (4.7 nF)、C_H (8.2 nF)和C_L (4.7 nF)；电阻R_H (27 kΩ)
- Tektronix DS1012B示波器或等同产品

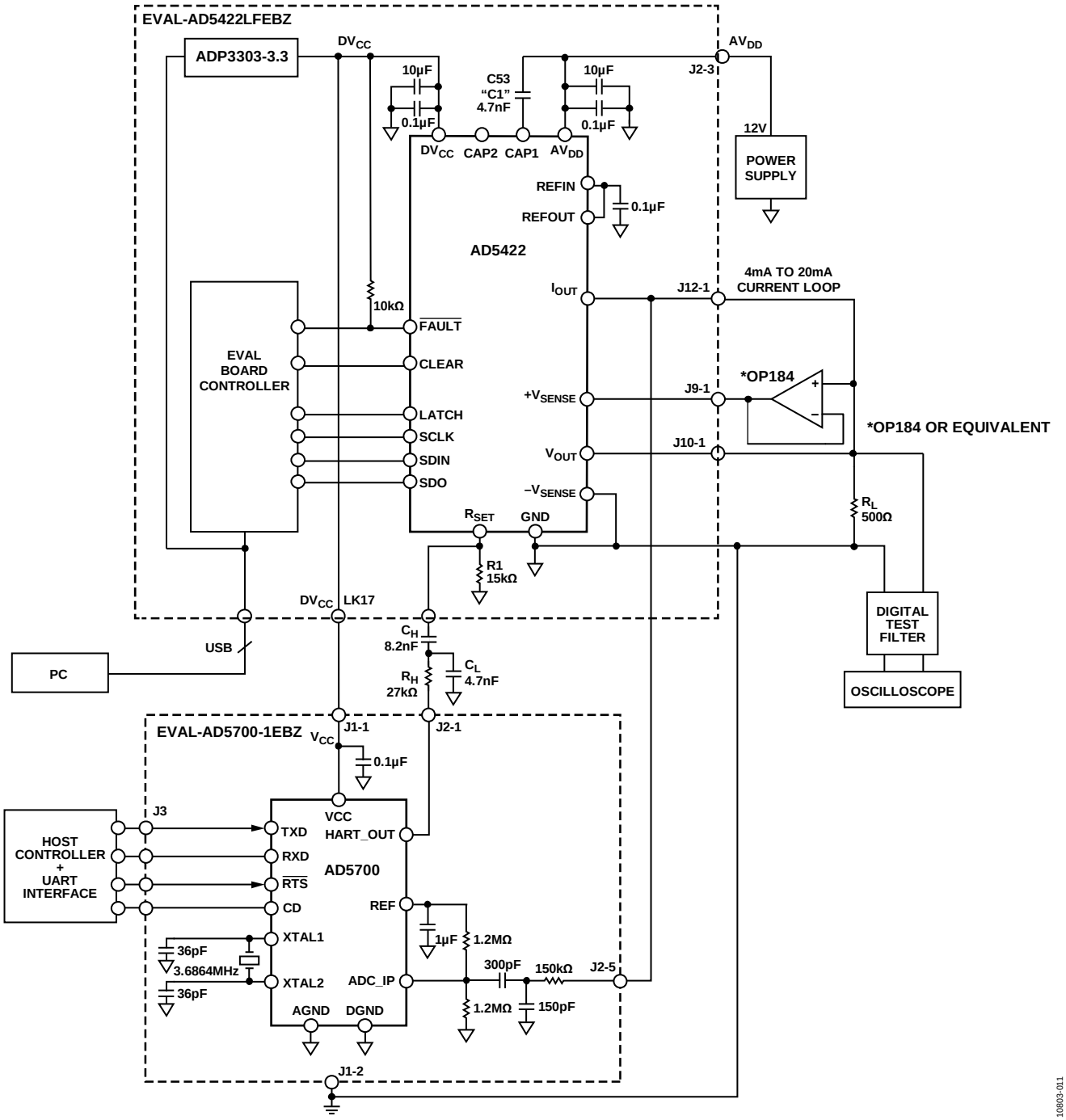


图11. 测试设置框图

静默期间噪声测量 — AD5422 LFCSP

如前文所述，对于静默测试期间的输出噪声，AD5700调制解调器并未在发射数据(静默)。AD5422设置为输出所需的电流并通过HART通信基金会带通滤波器。接着使用Tektronix TDS1012B示波器测量输出噪声；结果显示输出噪声在HART通信基金会协议规范要求的范围内。

模拟变化率测量 — AD5422 LFCSP

模拟变化率规范可确保当AD5422调节电流时，模拟电流的最大变化率不会干扰HART通信。电流的阶跃变化会扰乱HART信号。为进行这个测试，AD5422被编程为输出一个4 mA至20 mA切换的周期波形，该波形在两个值上都没有延迟，以获得最大变化率。所用的压摆率设置为SR时钟= 3和SR阶跃= 2，C1设置为4.7 nF，C2保持开路。

此外，再将SR时钟设置改变为5而不是3，并保持其它所有设置和元件值不变，从而进一步降低压摆率，由此另外进行测量；至于相关影响，可比较图9和图10来得出。

静默期间噪声测量 — AD5422 TSSOP

另外还执行了额外测量，以模拟AD5422 TSSOP封装选项在这种配置下的表现；不过，没有连接在CAP1引脚的电容(C1)(因为此器件的TSSOP版本没有CAP1引脚)。

虽然与有C1的LFCSP器件相比，没有C1时测得的静默期间输出噪声值更大，但还是在HART通信基金会协议规范要求的范围内。图12和图13中的通道2显示了有HCF_TOOL-31滤波器时的宽带噪声，I_{OUT}为4 mA时结果为530 µV rms，I_{OUT}为12 mA时结果为690 µV rms。可将这些曲线图与图7及图8进行比较，以体现有无C1的影响如何。

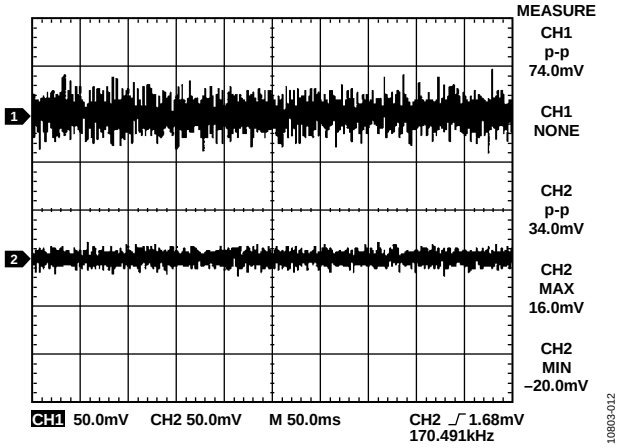


图12. 无C1且输出电流为4 mA时HART滤波器输入(通道1)和输出(通道2)端的噪声

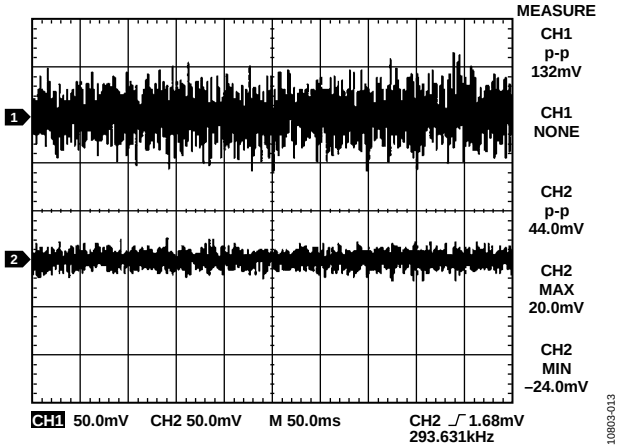


图13. 无C1且输出电流为12 mA时HART滤波器输入(通道1)和输出(通道2)端的噪声

模拟变化率测量 — AD5422 TSSOP

从模拟变化率测试的角度来看，无论有无C1，最大峰值结果都相似。主要区别在于，没有C1时，峰峰值本底噪声要大得多。图14和图15分别是压摆率为120 ms(SR时钟= 3和SR阶跃= 2)和240 ms(SR时钟= 5和SR阶跃= 2)时的模拟变化率曲线图。

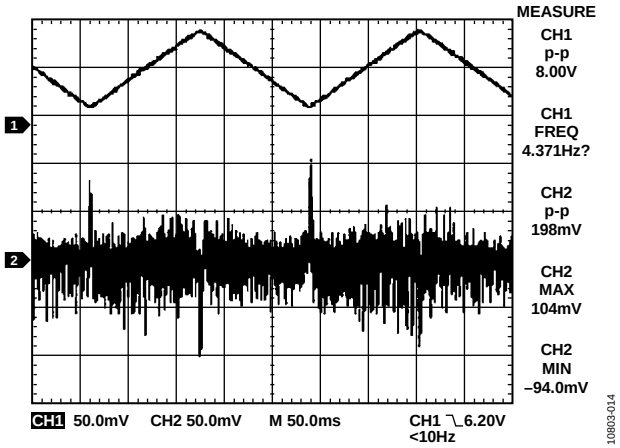


图14. AD5422输出(通道1)和HART滤波器输出(通道2)，SR时钟= 3，SR阶跃= 2，C1 = NC，C2 = NC

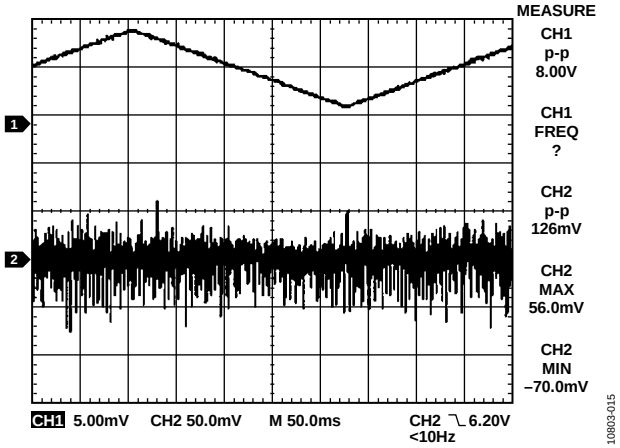


图15. AD5422输出(通道1)和HART滤波器输出(通道2)，SR时钟= 5，SR阶跃= 2，C1 = NC，C2 = NC

同样，可将这些曲线图与图9及图10进行比较，以体现有无C1的影响如何。虽然这种电路配置中所用的HART耦合技术要求采用外部R_{SET}电阻，但请注意，即使该电路的HART部分未实施，添加缓冲器也会在使用内部R_{SET}电阻时造成I_{OUT}精度略微降低。因此，在使用这种缓冲器配置将电压和电流输出引脚连接在一起时，建议使用外部R_{SET}电阻。

更多资料

CN0278设计支持包：
http://www.analog.com/CN0278-DesignSupport

CN-0270：*完整的4 mA至20 mA HART解决方案*

Maurice Egan。应用笔记AN-1065：*配置用于HART通信合规性的AD5420*。ADI公司。

HART®通信基金会

数据手册和评估板

AD5422数据手册和评估板（提供TSSOP和LFCSP封装）

AD5700数据手册和评估板

AD5700-1数据手册和评估板

修订历史

2014年5月—修订版0至修订版A

更改图6 4
更改图11 11

2012年6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.

©2012–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10803sc-0-5/14(A)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0287。

连接/参考器件	
AD7193	4通道、4.8 kHz、超低噪声、24位Σ-Δ型ADC，集成PGA
ADT7310	±0.5°C精度、16位数字SPI温度传感器
AD8603	精密微功耗、低噪声、CMOS、轨到轨输入/输出运算放大器
ADR3440	4.096 V、微功耗、高精度基准电压源
ADG738	CMOS、低压、3线式串行控制矩阵开关
ADG702	CMO低功耗2 Ù单刀单掷开关
AD5201	33位数字电位计
ADuM1280	3 kV RMS双通道数字隔离器
ADuM5401	集成DC/DC转换器的四通道、2.5 kV隔离器

具有0.5°C精度的隔离式4通道热电偶/RTD温度测量系统

评估和设计支持

电路评估板

CN-0287电路评估板(EVAL-CN0287-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所示电路是一款完整的隔离式4通道温度测量电路，针对性能、输入灵活性、稳定性以及低成本而优化。它支持所有类型的热电偶(带冷结补偿)，以及电阻高达4 kΩ的任意类型RTD(电阻温度检测器，双线式、三线式或四线式连接配置)。

RTD激励电流可针对最佳噪声和线性度性能编程。

RTD测量精度达到0.1°C(典型值)，K类热电偶测量精度达0.05°C(典型值)，这是因为将16位数字温度传感器ADT7310用于冷结补偿。该电路采用4通道、24位、Σ-Δ型ADC AD7193，该器件片内集成PGA，具有高精度和低噪声特性。

由低泄露瞬变电压抑制器(TVS)和肖特基二极管提供输入瞬变和过压保护。SPI兼容型数字输入和输出均隔离(2500 V rms)，且电路采用全隔离式电源供电。

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2013–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

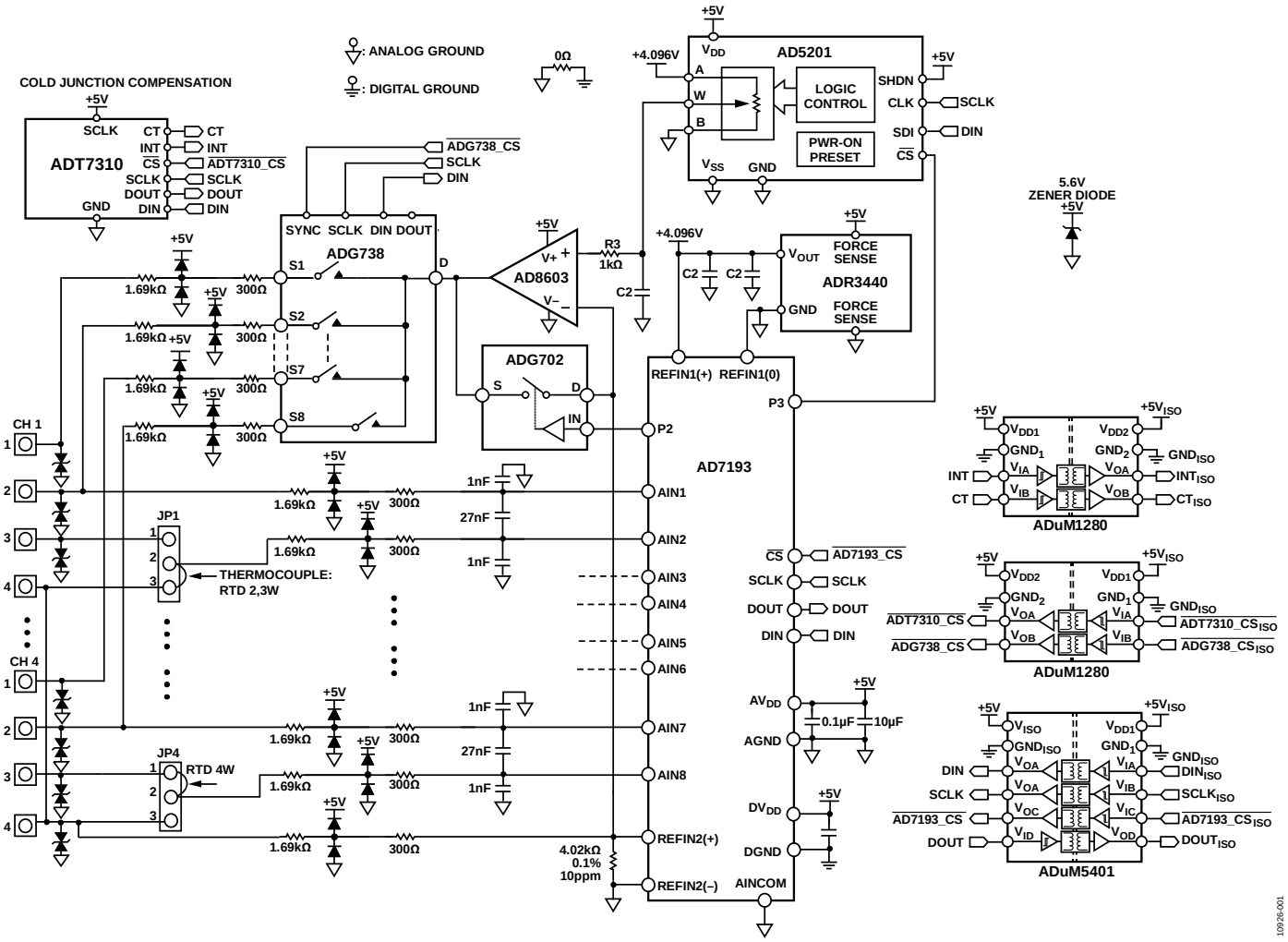


图1. 4通道热电偶和RTD电路(原理示意图： 未显示所有连接和去耦)

电路描述

温度测量简介

热电偶和RTD(电阻温度检测器)是最常用的传感器，用于工业应用中的温度测量。热电偶可测量极高的温度，最高可达+2300°C左右，并且响应时间快(瞬间完成测量)。RTD比热电偶具有更高的精度和稳定性，且连接远端RTD的长导线(数百米)电阻可采用三线式或四线式连接加以补偿。

热电偶由一端相连的两根不同金属线组成。将相连的一端放置在需要进行温度测量的地方，称为测量结点。另一端连接精密电压测量单元，该连接称为参考结点，或者称为冷结。测量结点和冷结之间的温差产生电压(称为塞贝克效应电压)，数值与两个结点之间的温度差有关，该温差产生的信号通常为数微伏至数十毫伏不等，具体取决于温度差值。

例如，K类热电偶可测量–200°C至+1350°C，输出范围约–10 mV至+60 mV。对于信号链而言，重要的是尽可能保持较高的阻抗和较低的漏电流，以便测得的电压具有最高的精度。若要将该电压转换为绝对温度，则必须精确知道冷结温度。一般而言，1°C至2°C便已足够，虽然由于冷结温度测量误差会直接增加绝对温度误差，但较高的冷结温度测量精度是有好处的。

RTD由纯净材料(如铂、镍或铜)制成，随温度变化而改变的电阻值可预测。最常见的RTD材料是铂(Pt100和Pt1000)。

精确测定电阻的一种方法是测量恒定电流源产生的RTD电压。将测量值折合为参考电阻两端的电压(由同一个电流驱动)，即可消除电流源中的误差(如比例测量)。最大程度降低电流路径上的漏电流对于获得高精度而言很重要，因为为了防止自发热，激励电流通常仅数百微安。

对于工业现场应用而言，高性能以及针对高压瞬变事件和直流过压条件提供保护都是重要的设计考虑因素。

本电路工作原理

图1所示电路设计用于工业现场环境中的精密温度测量应用，针对灵活性、性能、稳定性和成本进行了优化。本电路采用低噪声、24位Σ-Δ型ADC AD7193，确保整个电路具有高分辨率和线性度。

33位数字电位计AD5201、运算放大器AD8603和单通道开关ADG702构成简单可编程电流源和偏置电压缓冲器，用于RTD和热电偶测量。ADG738可将电流源路由至活动RTD通道，允许针对三线式RTD配置进行导线电阻补偿。

数字SPI温度传感器ADT7310在−40°C至+105°C温度范围内具有±0.8°C最大精度(采用+5 V电源)，用于热电偶测量中的冷结补偿。ADR3440是一款低噪声、高精度、4.096 V基准电压源，连接AD7193的REFIN1(+)/REFIN1(−)，用于热电偶测量。

模数转换器

AD7193是一款适合高精密测量应用的低噪声完整模拟前端。它集成一个低噪声、24位Σ-Δ型模数转换器(ADC)。该ADC具有高分辨率、低非线性度和低噪声性能，以及极高的50 Hz/60 Hz抑制能力。数据输出速率可在4.7 Hz(24位有效分辨率，Gain = 1)到4.8 kHz(18.6位有效分辨率，Gain = 1)范围内变化。片上低噪声PGA可将来自热电偶或RTD的差分小信号以增益1至128放大，从而允许实现直接接口。增益级缓冲器具有高输入阻抗，并将输入漏电流限制为±3 nA(最大值)。AD7193的增益必须根据温度范围和传感器类型进行适当配置。片内多路复用器允许四个差分输入通道共享同一个ADC内核，节省空间与成本。

用于RTD的可编程电流源以及用于热电偶的偏置电压生成电路

RTD测量要求使用低噪声电流源，以便驱动RTD和参考电阻。而另一方面，热电偶需要使用共模偏置电压，可将较小的热电偶电压转换至AD7193的输入范围内。图2所示电路同时满足这两个要求，并采用了低噪声CMOS轨到轨输入/输出运算放大器AD8603，该器件的最大输入偏置电流仅1 pA且最大失调电压为50 μV；同时，还配合使用了单通道CMOS低压2 Ω单刀单掷(SPST)开关ADG702，以及8通道矩阵开关ADG738。

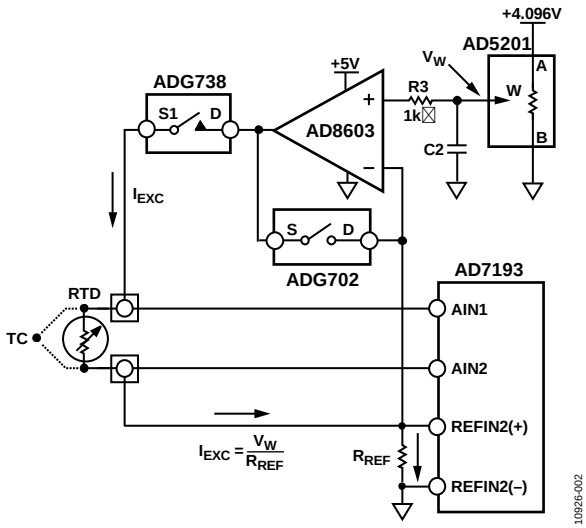


图2. 外部可编程电流源和偏置电压发生器

开启ADG738并关断ADG702，则AD8603可用作热电偶应用中的低噪声、低输出阻抗单位增益缓冲器。将来自AD5201数字电位计的电压进行缓冲，然后用于热电偶共模电压，通常为电源电压的一半，即2.5 V。33位数字电位计AD5201采用低漂移(5 ppm/°C) 4.096 V基准电压源ADR3440驱动，以获得所需精度。

开启ADG738并关断ADG702，则AD8603产生RTD激励电流，即$I_{EXC} = V_W/R_{REF}$。

温度测量是一种高精度、低速度的应用，因此有足够的建立时间可在全部4个通道间切换单个电流源，提供出色的通道间匹配性能、低成本以及较小的PCB尺寸面积。

ADG738是一款8:1多路复用器，可在通道间切换电流源。为了支持双线式、三线式和四线式RTD配置，这四个通道中的每一个都需要两个开关。

在很多应用中，RTD都有可能放置在远离测量电路的地方。长引线电阻可能会产生较大的误差，尤其用于低电阻RTD时。为了最大程度减少引线电阻效应，支持三线式RTD配置，如图3所示。

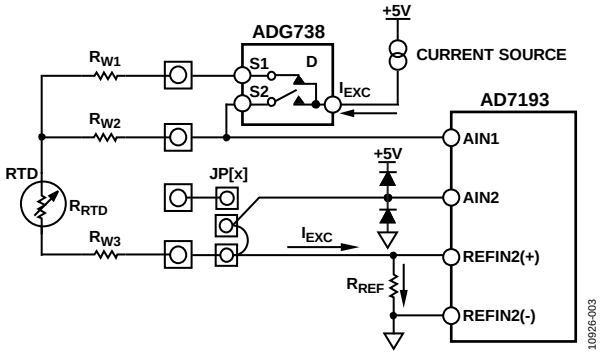


图3. 三线式RTD传感器的连接器和跳线配置

关断ADG738的S1，同时打开S2，则AD7193输入端的电压为V_1。打开S1，同时关断S2，则AD7193输入端电压为V_2。RTD传感器两端的电压为V_{RTD}，而电流源的激励电流为I_{EXC}。V_1和V_2包括引线电阻产生的误差，如下所示：

$$V_1 = (R_{RTD} + R_{W3}) \times I_{EXC} \quad (1)$$

$$V_2 = (R_{W2} + R_{RTD} + R_{W3}) \times I_{EXC} \quad (2)$$

$$V_{RTD} = R_{RTD} \times I_{EXC} \quad (3)$$

假定$R_{W1} = R_{W2} = R_{W3}$，然后结合等式1、等式2和等式3，可得：

$$V_{RTD} = 2V_1 - V_2 \quad (4)$$

$$R_{RTD} = V_{RTD}/I_{EXC} = (2V_1 - V_2)/I_{EXC} \quad (5)$$

等式5表示三线式配置需要分别进行两次测量(V_1和V_2)才能计算R_{RTD}，因此输出数据速率有所下降。在很多应用中，这并不是个问题。

四线式RTD连接要求具有两个额外的检测线路，但对导线电阻不敏感，且仅需进行一次测量。

图4总结了双线式、三线式和四线式RTD和热电偶应用的连接器配置和跳线位置。

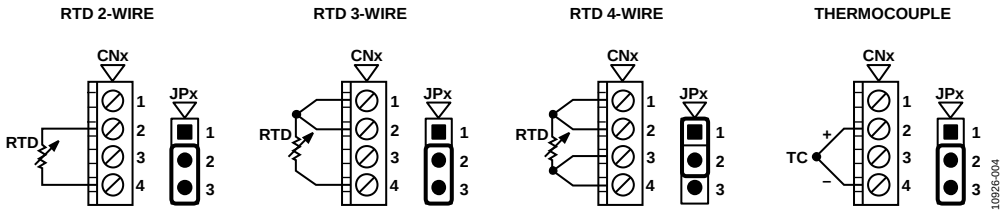


图4. EVAL-CN0287-SDPZ板的连接器配置和跳线位置

保护电路

在制造过程中和现场使用时，都有可能产生瞬变和过压条件。为了获得较高的保护水平，有必要使用外部保护电路，补充IC的内部集成保护电路。外部保护功能会增加额外的电容、电阻和漏电流。这些效应应当仔细考虑，以获得高精度水平。额外保护电路如图5所示。

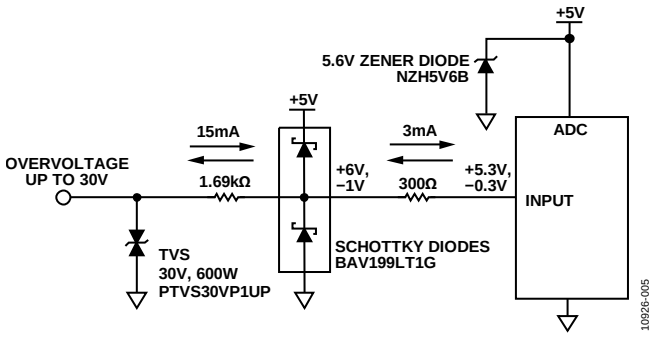


图5. 瞬变和过压保护电路

漏电流会对RTD测量造成巨大影响，应仔细考虑。当较长的热电偶引线具有极高电阻时，漏电流也会对热电偶测量产生一些误差。

本电路中，PTVS30VP1UP瞬变电压抑制器(TVS)可快速箝位任何瞬变电压至30 V(25°C时典型漏电流仅1 nA)。选择30 V TVS，以便支持30 V直流过压。使用1.69 kΩ电阻，后接低泄露BAV199LT1G肖特基二极管，用于在瞬变和直流过压事件发生时将电压箝位至5 V供电轨。在30 V直流过压条件下，1.69 kΩ电阻将流过外部二极管的电流限制为15 mA。为了确保供电轨能够吸取该电流，可使用齐纳二极管将供电轨进行箝位处理，以保证它不超过连接电源的任意IC的绝对最大额定值。选择5.6 V齐纳二极管(NZH5V6B)实现这一目的。300 Ω电阻可进一步限制有可能进入AD7193或ADG738的电流。

隔离

ADuM5401和ADuM1280使用ADI *i*Coupler®技术，在测量端和电路控制器端之间提供2500 V rms隔离电压。ADuM5401还提供隔离电源，用于电路的测量端。ADuM5401采用了*iso*Power技术，该项技术使用高频开关元件，通过变压器传输电力。设计印刷电路板(PCB)布局时应特别小心，必须符合相关辐射标准。有关电路板布局建议，请参考应用笔记AN-0971。

热电偶配置测试结果

电路的性能高度依赖于传感器和AD7193的配置。K类热电偶输出变化范围为−10 mV至+60 mV，对应温度范围为−200°C至+1350°C。AD7193 PGA配置为G = 32。PGA电压摆幅范围为−320 mV至+1.92 V，即2.24 V p-p。斩波使能时，50 Hz/60Hz噪声抑制使能，滤波器字FS[9:0] = 96，1024个样本的噪声分布直方图如图6所示。

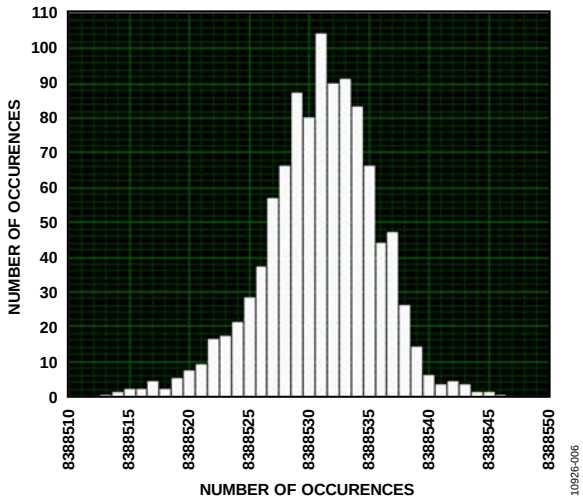


图6. CN-0287噪声分布直方图(VDD = 5 V，VREF = 4.096 V，差分输入，双极性，输入缓冲器使能，输出数据速率 = 50 Hz，增益 = 32，斩波使能，60 Hz抑制使能，Sinc⁴)

AD7193分辨率为24位，即2^{24} = 16,777,216个代码。AD7193的全动态范围为$2 \times V_{REF} = 2 \times 4.096\ V = 8.192\ V$。位于PGA之后的热电偶输出电压仅为2.24 V p-p，并且不会完全占据AD7193的所有动态范围。因此，系统范围以2.24 V/8.192V系数降低。

噪声分布约为40个代码峰峰值。2.24 Vp-p测量范围内的无噪声代码分辨率为：

$$\text{无噪声分辨率} = \log_2\left(\frac{16,777,216}{400} \times \frac{2.24\ V}{8.192\ V}\right) \quad (6)$$

$$= 16.8\ \text{bits}$$

K类热电偶的满量程温度范围为−200°C至+1350°C，即1550°C p-p。因此16.8位无噪声代码分辨率相当于0.013°C无噪声温度分辨率。

热电偶测量线性度

图7显示K类热电偶系统的近似线性度。该曲线中，“冷结”温度为0°C。

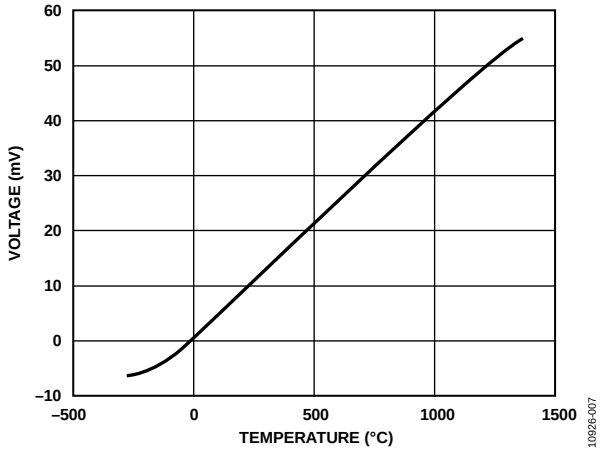


图7. K类热电偶温度与0°C冷结输出电压的关系

Fluke 5700A校准仪提供分辨率为10 nV的高精度直流电压源，用于校准以及测试。图8中的电压误差位于0.2 μV理想范围内，相当于大约0.004°C。该结果是系统在25°C时校准后的短期精度，此时没有温度漂移效应。本电路的主要误差来源于冷结补偿测量。在本电路中，ADT7310用于冷结补偿，典型误差为–0.05°C，采用5 V电源时，在–40°C至+105°C温度范围内的最差情况误差为±0.8°C。若使用3 V电源，则器件在该温度范围内具有±0.4°C的最大误差。

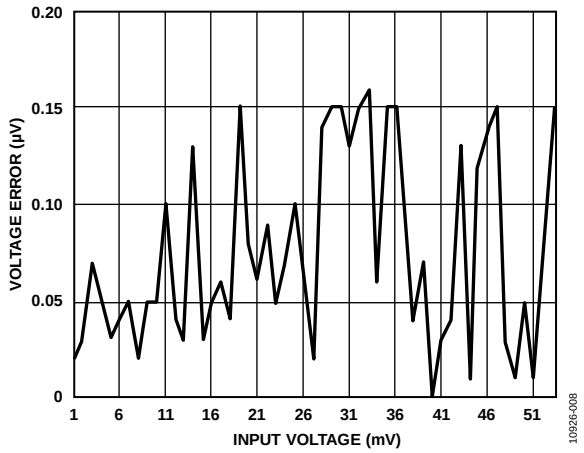


图8. CN-0287配置为K类热电偶的误差(VDD = 5 V，VREF = 4.096 V，差分输入，双极性，输入缓冲器使能，输出数据速率 = 50 Hz，增益 = 32，斩波使能，60 Hz抑制使能，Sinc⁴)

RTD配置测试结果

对于Pt100 RTD，默认ADC的增益设置为G = 8，而对于Pt1000 RTD，默认增益设置为G = 1。ADC的基准电压等于4.02 kΩ参考电阻两端的电压。Pt100 RTD的温度系数大约为0.385 Ω/°C，且+850°C时电阻可高达400 Ω。若默认激励电流为400 μA，则最大RTD电压大约为160 mV。ADC基准电压为4.02 kΩ × 400 μA = 1.608 V。对于G = 8，最大RTD电压为160 mV × 8 = 1.28 V，该值大致为可用范围的80%。

对于Pt1000 RTD，+850°C时的最大电阻约为4000 Ω。默认激励电流为380 μA，从而最大RTD电压为1.52 V。ADC的基准电压为4.02 kΩ × 380 μA = 1.53 V。采用默认增益设置G = 1，则RTD最大电压便可利用几乎所有的可用范围。

RTD电阻R以ADC代码(Code)、分辨率(N)、参考电阻(R_{REF})和增益(G)表示的通用表达式如下所示：

$$R = \frac{Code}{2^N}\left(\frac{R_{REF}}{G}\right) \quad (7)$$

来自TVS、二极管、箝位二极管和ADC的漏电流是RTD测量电路误差的最大来源，虽然本设计中采用了纳安器件。

每个输入的总泄露电流为9 nA(3 nA来自AD7193，缓冲器开启；5 nA来自箝位二极管；1 nA来自TVS二极管)。因此，全部4个通道将产生36 nA最大漏电流。图2中的反馈环路通过参考电阻，保持恒定电流。这意味着漏电流影响RTD激励电流，从而产生误差。默认激励电流为400 μA (Pt100)和380 μA (Pt1000)。对于Pt100 RTD，漏电流引起的最差情况系统近似误差为：

$$\text{读数误差} = \left(\frac{36\ \text{nA}}{400\ \mu\text{A}}\right) \times 100 \approx 0.01\% \quad (8)$$

对于可测量范围为–200°C至+850°C的Pt100，这相当于系统精度大约为：

$$\text{精度}(C^\circ) = \frac{400\ \Omega}{0.385\ \Omega/C^\circ} \times 0.0001 \approx 0.1C^\circ \quad (9)$$

误差量取决于输入端的配置。完成输入配置后，可进行室温校准，进一步减少误差。

以实验方式显示漏电流效应。每通道均首先配置为四线式RTD。100 Ω固定电阻连接RTD位置上的通道1。0 Ω电阻连接另外3个通道的输入。

增益设为G = 1，激励电流为380 μA(Pt1000配置)。

收集数据，然后依次移除连接通道4、通道3和通道2的跳线，收集每种条件下的数据。结果如图9所示。

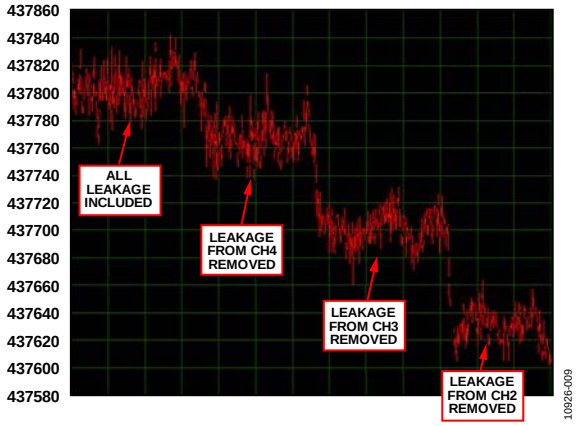


图9. 4通道Pt100 RTD通道1漏电流产生的误差(G = 1)

ADC代码从大约437,800变化到437,600，相应的测量值从104.9015 Ω变化到104.8627或0.0388 Ω。这表示测量误差大约为0.1°C；然而，通过在室温下采用固定输入配置进行校准，即可消除误差。

常见变化

AD779x属于低噪声、低功耗、16/24位Σ-Δ型ADC系列，更适合信号通道或低功耗应用。ADT7311是一款±0.5°C精度、16位数字SPI温度传感器，符合汽车应用规范。使用数字温度传感器(如ADT7320，精度为±0.25°C)，可以改进冷结补偿电路的精度。

集成DC-DC转换器的数字隔离器ADuM6401提供最高5 kV的RMS隔离。

电路评估与测试

本电路使用EVAL-CN0287-SDPZ电路板和SDP-B (EVAL-SDP-CB1Z)系统演示平台控制器板。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。EVAL-CN0287-SDPZ板包含要评估的电路，如本笔记所述。SDP-B控制器板与CN0287评估软件一起使用，可从EVAL-CN0287-SDPZ电路板获取数据。

设备要求

需要以下设备：

- 带USB端口的Windows® XP(32位)、Windows Vista®或Windows® 7 PC
- EVAL-CN0287-SDPZ电路板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP-B控制器板
- CN-0287 SDP评估软件
- EVAL-CFTL-6V-PWRZ直流电源或同等6 V/1 A台式电源
- RTD或热电偶传感器或传感器仿真器(评估软件支持下列RTD：Pt100、Pt1000；热电偶：K类、J类、T类、S类)

开始使用

将CN0287评估软件光盘放进PC的光盘驱动器，安装评估软件。打开我的电脑，找到包含评估软件的驱动器。

功能框图

电路框图见图1，完整的电路原理图见EVAL-CN0287-SDPZ-PADSSchematic.pdf文件。此文件位于CN0287设计支持包中：www.analog.com/CN0287-DesignSupport。图10显示测试设置的功能框图。

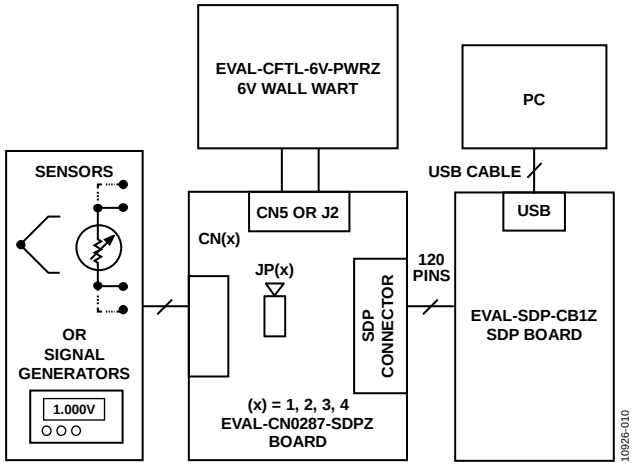


图10. 测试设置功能框图

设置

将EVAL-CN0287-SDPZ电路板上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z控制器板(SDP-B)上的CON A连接器。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。在断电情况下，将一个6 V电源连接到电路板上的+6 V和GND引脚。如果有6 V壁式电源适配器，可将其连接到板上的管式连接器J2，代替6 V电源。SDP-B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-B板上的微型USB连接器。

接通6 V电源，为评估板和SDP板上电，然后将Mini-USB电缆连接到SDP板上的Mini-USB端口。

测试

启动评估软件。一旦USB通信建立，就可以使用SDP-B板来发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0287-SDPZ板的数据。

图11显示EVAL-CN0287-SDPZ评估板连接SDP板的照片。有关SDP-B板的信息，请参阅SDP-B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CN-0287软件用户指南：

针对原型开发的连接

EVAL-CN0287-SDPZ评估板设计用于EVAL-SDP-CB1Z SDP-B板，但任何微处理器都可通过PMOD连接器J6实现与SPI接口的对接。有关PMOD连接器的引脚定义可参见CN0287设计支持包中CN0287评估板的原理图。为使另一个控制器能与EVAL-CN0287-SDPZ评估板一同使用，第三方必须开发相应的软件。



图11. 连接到EVAL-SDP-CB1Z SDP-B板的EVAL-CN0287-SDPZ评估板

更多资料

CN-0287设计支持包：
www.analog.com/CN0287-DesignSupport

SDP-B用户指南

应用笔记AN-880：*ADC温度测量要求*。ADI公司。

应用笔记AN-892：*温度测量理论和实用技术*。ADI公司。

应用笔记AN-0970：*使用ADuC706x微控制器实现RTD接口和线性化*。ADI公司。

CN-0172：*高精度多通道热电偶测量解决方案*。ADI公司。

CN-0206：*集成冷端补偿的完整T型热电偶测量系统*。ADI公司。

CN-0209：*适合过程控制应用的完全可编程通用模拟前端*。ADI公司。

CN-0221：*基于USB的温度监控器，使用ADuCM360精密模拟微控制器和外部热电偶*。ADI公司。

CN-0271：*集成冷端补偿的K型热电偶测量系统*。ADI公司。

Kester，Walt。1999年。*传感器信号调理*。ADI公司。第7章：温度传感器。

Matthew Duff和Joseph Towey。*两种简单、精确、灵活的热电偶温度测量方法*。《模拟对话》44-10。ADI公司。

Mary McCarthy。应用笔记AN-615：*峰峰值分辨率与有效分辨率*。

教程MT-049：*单极点系统的运算放大器总输出噪声计算*。ADI公司。

教程MT-004：*ADC输入噪声面面观—无噪声是利还是弊?* ADI公司。

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

MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0287电路评估板(EVAL-CN0287-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD7193数据手册

AD8603数据手册

ADG738数据手册

ADG702数据手册

ADT7310数据手册

ADuM5401数据手册

ADuM1280数据手册

AD5201数据手册

ADR3440数据手册

修订历史

2014年2月—修订版B至修订版C

更改“常见变化”部分 7

2013年9月—修订版A至修订版B

更改图1 1

2013年8月—修订版0至修订版A

更改标题 1

2013年8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.
CN10926sc-0-2/14(C)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0289。

连接/参考器件	
AD8226	宽电源电压范围、轨到轨输出仪表放大器
ADR02	超紧凑、5.0 V精密基准电压源
ADA4091-2	精密微功耗、OVP、RRIO双通道运算放大器

集成电压或电流驱动的灵活4 mA至20 mA环路供电压力传感器变送器

评估和设计支持

电路评估板

CN0289评估板(EVAL-CN0289-EB1Z)

设计和集成文件

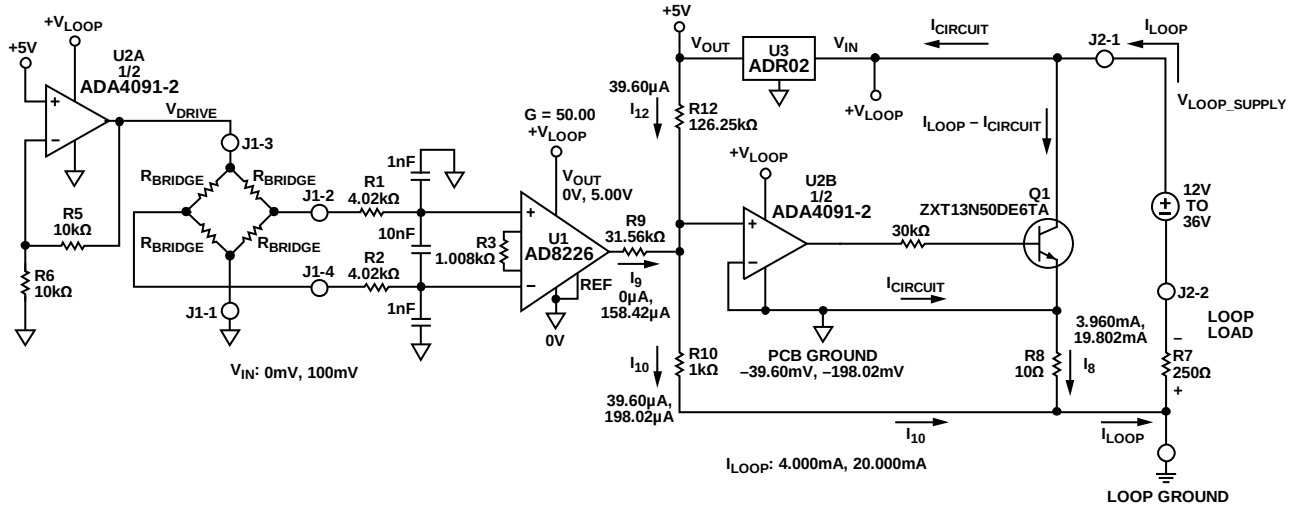
原理图、布局文件、物料清单

电路功能与优势

图1所示电路是一款鲁棒且灵活的环路供电电流变送器，可将压力传感器的差分电压输出转换为4 mA至20 mA电流输出。

该设计针对各种桥式电压或电流驱动型压力传感器而优化，仅使用了4个有源器件，总不可调整误差低于1%。环路电源电压范围为12 V至36 V。

该电路的输入具有ESD保护功能，并且可提供高于供电轨的电压保护，是工业应用的理想选择。



NOTES
1. R8, R10 ARE STANDARD 0.1% VALUES. R5, R6 ARE STANDARD 1% VALUES. R3, R9, R12 ARE CALCULATED VALUES (SEE TEXT).
2. VOLTAGES MEASURED WITH RESPECT TO PCB GROUND.

10947-001

图1. 鲁棒的环路供电压力传感器信号调理电路，具有4 mA至20 mA输出(显示为传感器电压驱动模式)，原理示意图：未显示所有连接和去耦

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.cn
Fax: 781.461.3113
©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

该设计提供完整的4 mA至20 mA变送器压力传感器检测解决方案，整个电路由环路供电。有三个重要的电路级：传感器激励驱动、传感器输出放大器和电压-电流转换器。

电路所需总电流为1.82 mA(最大值)，如表1所示。因此，可在不超过4 mA最大可用环路电流的情况下使用电桥驱动电流高达2 mA的压力传感器。

表1. 25°C时最大电路电流

元件	电流(mA)
ADR02	0.80
ADA4091-2	0.50
AD8226	0.43
R5、R6(10 V时)	0.05
R12(5 V时)	0.04
总计	1.82

传感器激励驱动

需使用电压驱动或电流驱动，具体取决于所选压力传感器。该电路使用一半的ADA4091-2 (U2A)，并通过开关S1选择不同配置，支持两种选项之一。开关S1提供其中一种驱动选择。

激励：电压驱动配置

图2显示S1的电压驱动配置，S1位于PCB上标有VOLTAGE DRIVE处(完整电路布局和原理图参见CN0289设计支持包：http://www.analog.com/CN0289-DesignSupport)。

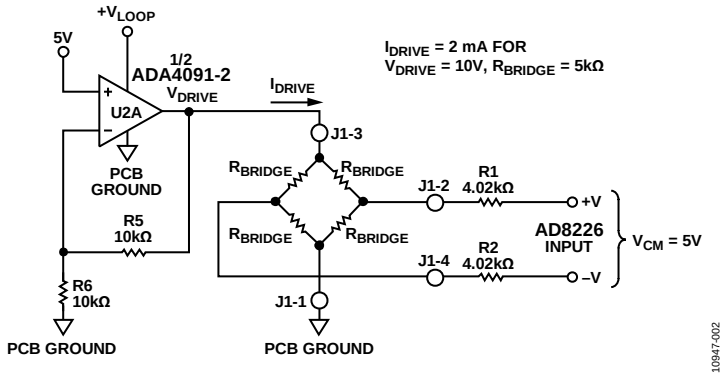


图2. 传感器电压驱动配置(R_{BRIDGE} = 5 kΩ、V_{DRIVE} = 10 V)

电压驱动电路通常配置为10 V电桥驱动电压。在该模式下，允许的最小电桥电阻为：

$$R_{BRIDGE} \geq \frac{2V_{REF}}{2\text{ mA}} = \frac{10\text{ V}}{2\text{ mA}} = 5\text{ k}\Omega$$

对于低于5 kΩ的电桥电阻而言，可通过移除R6并使用缓冲器配置，将驱动电压降低至5 V。

通过下式选择合适的R6，便可获得驱动电压的其他值：

$$V_{DRIVE} = 5\text{ V}\left(1 + \frac{R5}{R6}\right)$$

$$R6 = \frac{5\text{ V} \times R5}{V_{DRIVE} - 5\text{ V}}$$

其中：

$$\frac{V_{DRIVE}}{R_{BRIDGE}} \geq 2\text{ mA}$$

请注意，环路电压V_{LOOP}应至少比电桥驱动电压高0.2 V，以便让U2A具有足够的裕量。

$$V_{LOOP} \geq V_{DRIVE} + 0.2\text{ V}$$

激励：电流驱动配置

通过将S1移动至PCB上标有CURRENT DRIVE的位置，便可将电路切换至图3所示的电流驱动配置。

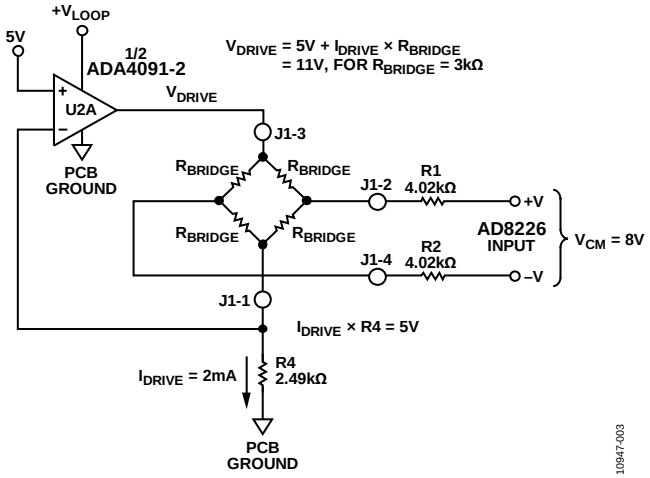


图3. 传感器电流驱动配置(R_{BRIDGE} = 3 kΩ)

在电流驱动模式中，必须保留最大允许的2 mA电桥驱动电流。电路配置为R4 = 2.49 kΩ且I_{DRIVE} = 2 mA。使用下式选择R4值，可获得较低的I_{DRIVE}值：

$$R4 = \frac{5\text{ V}}{I_{DRIVE}}$$

通过下式可计算驱动电压V_{DRIVE}：

$$V_{DRIVE} = 5\text{ V} + I_{DRIVE} \times R_{BRIDGE}$$

U2A电源需要0.2 V裕量，因此：

$$V_{LOOP} \geq V_{DRIVE} + 0.2\text{ V}$$

在图3中，R_{BRIDGE} = 3 kΩ、I_{DRIVE} = 2 mA、V_{DRIVE} = 11 V、V_{LOOP} ≥ 11.2 V。

该电路选择运算放大器ADA4091-2，因为它具有低功耗(每个放大器250 µA)、低失调电压(250 µV)以及轨到轨输入输出特性。

电桥输出仪表放大器以及增益和失调电阻选择

电桥输出采用带宽为39.6 kHz的共模滤波器(4.02 kΩ、1 nF)以及带宽为2 kHz的差模滤波器(8.04 kΩ、10 nF)滤波。

AD8226是理想的仪表放大器选择，因为它具有低增益误差(0.1%，B级)、低失调(G = 50时58 µV，B级；G = 50时112 µV，A级)、出色的增益非线性度(75 ppm = 0.0075%)以及轨到轨输出特性。

AD8226仪表放大器以系数50 V至5 V放大100 mV FS信号，增益设置电阻R3 = 1.008 kΩ。增益G和R3的关系如下：

$$R3 = \frac{49.4\text{ k}\Omega}{G - 1}$$

其中，G = 50， R3 = 1008 Ω。

输出零值环路电流I_{LO} = 4 mA：

$$I_{LO} = I_8 + I_{10}$$

由于R10与R8之比为100:1：

$$I_8 = 100 \times I_{10}$$

合并最后两式可得：

$$I_{LO} = 101 \times I_{10}$$

I_{LO} = 4 mA时，AD8226输出为0 V；失调电阻R12可计算如下：

$$R12 = \frac{V_{REF}}{I_{10}} = \frac{101 \times V_{REF}}{I_{LO}} = \frac{101 \times 5\text{ V}}{4\text{ mA}} = 126.25\ k\Omega$$

若V_{OUT} = 5.00 V，则输出环路电流I_{LH} = 20 mA，因此：

$$I_{LH} = I_8 + I_{10} = 100 \times I_{10} + I_{10} = 101 \times I_{10}$$

$$I_{10} = \frac{I_{LH}}{101} = \frac{20\text{ mA}}{101} = 198.02\ \mu\text{A}$$

流经R12的电流为：

$$I_{12} = \frac{V_{REF}}{R12} = \frac{5\text{ V}}{126.25\text{ k}\Omega} = 39.60\ \mu\text{A}$$

流经R9的电流为：

$$I_9 = I_{10} - I_{12} = 198.02\ \mu\text{A} - 39.60\ \mu\text{A} = 158.42\ \mu\text{A}$$

R9值可通过下式计算：

$$R9 = \frac{V_{OUT}}{I_9} = \frac{5\text{ V}}{158.42\ \mu\text{A}} = 31.56\text{ k}\Omega$$

实际使用时，R3、R12和R9的计算值将不作为标准值提供，因此电路所用的实际值将产生固定误差。这些误差可通过下式计算。

电阻R3、R9和R12产生的增益、失调和总误差测量值，以%FSR表示(其中，FSR = 16 mA)：

Gain Error (%FSR) =

$$\left[\left(\frac{1008\ \Omega - R3}{1008\ \Omega}\right) + \left(\frac{31.56\text{ k}\Omega - R9}{31.56\text{ k}\Omega}\right)\right] \times 100\%$$

Offset Error (%FSR) =

$$0.25\left(\frac{126.25\text{ k}\Omega - R12}{126.25\text{ k}\Omega}\right) \times 100\%$$

零电平输出(4 mA)时的总误差不受增益误差影响。

而满量程输出(20 mA)时的总误差可计算如下：

满量程误差 = 增益误差 + 失调误差

实际电路中，必须选择最接近EIA标准的0.1%电阻，因此可得前文所述的固定增益和失调误差。可使用两个0.1%电阻组合，以便更接近计算值。例如，下列0.1%电阻的串联组合非常接近计算值：

- R3 = 1 kΩ + 8.06 Ω = 1008.06 Ω(计算值 = 1008 Ω)
- R9 = 30.9 kΩ + 655 Ω = 31.555k Ω(计算值 = 31.56 kΩ)
- R12 = 124 kΩ + 2.26 kΩ = 126.26 Ω(计算值 = 126.25 Ω)

这些组合的误差计算如下：

- 失调误差 = −0.008% FSR
- 增益误差 = +0.010% FSR
- 满量程误差 = +0.002% FSR

然而在某些情况下，电阻供应商甚至连标准0.1%电阻值都无法提供，因此需进行替换。

例如，EVAL-CN0289-EB1Z评估板提供的电阻值如下：

- R3 = 1000 Ω(计算值 = 1008 Ω)
- R9 = 31.6 kΩ(计算值 = 31.56 kΩ)
- R12 = 124 kΩ(计算值 = 126.25 kΩ)

根据评估板提供的数值，电阻值引起的误差可计算如下：

- 失调误差 = +0.45% FSR
- 增益误差 = +0.66% FSR
- 满量程误差 = +1.11% FSR

基准电压

使用ADR02 5 V基准电压设置电桥的驱动电压或电流，以及设置4 mA零电平失调。其初始精度为0.1%(A级)、0.06%(B级)，并且具有10 μV p-p电压噪声。此外，它将采用高达36 V的电源电压工作，且仅消耗1 mA(最大值)，是环路供电应用的理想选择。

电压电流转换

通过强制数值大小为信号分量(I_9)和失调分量(I_{12})之和的电流流过R10，即可产生4 mA至20 mA输出电流。电流($I_{10} = I_9 + I_{12}$)在R10两端产生电压，该电压通过U2B和Q1施加于感测电阻R10。流经R8的电流是流经R10电流的100倍。因此，环路电流ILOOP可由下式算得：

$$I_{LOOP} = I_8 + I_{10} = 100 \times I_{10} + I_{10} = 101 \times I_{10}$$

选择的R8 (10 Ω)和R10 (1 kΩ)数值要能够轻松得到0.1%容差。

为了让电路正常工作，电路电流$I_{CIRCUIT}$必须始终低于4 mA的最小环路电流。此外，任何情况下均不得将PCB地与环路地相连，并且PCB地和传感器必须对环路地自由浮空。

受U2B输出控制的双极性NPN晶体管产生环路电流，并且增益应当至少为300，以便最大程度减少线性误差。其击穿电压应至少为50 V。

输出晶体管Q1是一个50 V NPN功率晶体管，25°C时功耗为1.1 W。在20 mA输出电流输入至0 Ω环路负载电阻且V_{CC}电源为36 V时，电路具有最差情况下的功耗。这些条件下的Q1功耗为0.68 W。

驱动电路板的电源电压V_{LOOP}取决于环路电源V_{LOOP_SUPPLY}、环路负载R7和环路电流I_{LOOP}。这些数值的关系如下：

$$V_{LOOP} = V_{LOOP_SUPPLY} - R7 \times I_{LOOP}$$

若要使电路正常工作，电源电压V_{LOOP}必须大于7 V，以便为ADR02基准电压源提供充分的裕量。

因此，

$$V_{LOOP_SUPPLY} > 7\ V + R7 \times I_{LOOP}$$

对于20 mA最大环路电流以及R7 = 250 Ω：

$$V_{LOOP_SUPPLY} > 7\ V + 250\ \Omega \times 20\ mA = 12\ V$$

最小环路电源电压同样取决于电桥的驱动电路配置。在V_{DRIVE} = 10 V的电压驱动模式下，电源电压V_{LOOP}必须大于10.2 V，这样U2A才能保持足够的裕量(见图2)。

在电流驱动模式下，电源电压V_{LOOP}必须大于11.2 V，这样U2A才能保持足够的裕量(见图3)。

环路电源电压限值为36 V(最大值)。

有源元件的误差分析

表2和表3分别表示系统中因有源元件造成的AD8226和ADR02的A、B级最大误差及rss误差。请注意，运算放大器ADA4091-2仅在一种等级水平下可用。

表2. 有源器件造成的误差(A级)

误差元件	误差	误差值	误差(%FSR)
AD8226-A	失调	112μV	0.11%
ADR02-A	失调	0.10%	0.02%
ADA4091-2	失调	250μV	0.16%
AD8226-A	增益	0.15%	0.15%
RSS失调			0.20%
RSS增益			0.15%
RSS FS误差			0.35%
最大失调			0.29%
最大增益			0.15%
最大FS误差			0.44%

表3. 有源器件造成的误差(B级)

误差元件	误差	误差值	误差(%FSR)
AD8226-B	失调	58μV	0.06%
ADR02-B	失调	0.06%	0.01%
ADA4091-2	失调	250μV	0.16%
AD8226-B	增益	0.10%	0.10%
RSS增益			0.10%
RSS失调			0.17%
RSS FS误差			0.27%
最大失调			0.23%
最大增益			0.10%
最大FS误差			0.33%

总电路精度

对电阻容差导致的总误差的合理近似推算是假设每个关键电阻对总误差贡献都相等。5个关键电阻是R3、R8、R9、R10和R12。0.1%电阻导致的最差情况下的容差可造成0.5%总电阻误差最大值。若假定rss误差，则总rss误差为$0.1\sqrt{5} = 0.224\%$。

由于有源器件(A级)造成的误差，需要在之前的最差情况误差之上增加0.5%的最差情况电阻容差误差：

- 失调误差 = 0.29% +0.5% = 0.79%
- 增益误差 = 0.15% + 0.5% = 0.65%
- 满量程误差 = 0.44% + 0.5% = 0.94%

这些误差假定选用理想电阻，因此误差仅来源于其容差。

虽然电路允许具有1%或更低的总误差，若要求更佳的精度，则电路需具备失调和增益调节能力。针对4 mA输出和零电平输入，可通过调整R12来校准失调，然后针对满量程100 mV输入，通过改变R9调节满量程。这两项调节是相互独立的；假定首先进行失调校准。

电路的实际误差数据见图4。总输出误差(%FSR)通过将理想输出电流与测量输出电流的差除以FSR (16 mA)，然后将计算结果乘以100即可算出。

请注意，0 mV与1 mV输入之间的误差由AD8226输出级饱和电压导致，且电路在负载条件下的误差范围为20 mV至100 mV。所有轨到轨输出级均受限于其通过饱和电压(双极性输出)或导通电阻(CMOS输出)达到供电轨的能力。

若输出饱和电压引起的误差导致某些问题的产生，则来自电桥的输入信号可通过在+5 V基准电压与电桥输出的其中一侧之间连接一个适当的电阻而进行偏置。

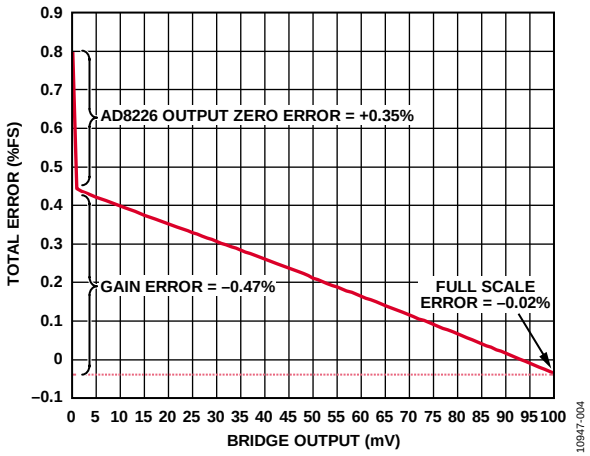


图4. 输出电流(%FSR)的总误差与电桥输出的关系
(3 kΩ电桥，24 V环路电源)

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。可在这些配置中使用其他基准电压、精密运算放大器和仪表放大器以建立4 mA至20 mA模拟电流输出，用于本电路的其他应用中。

ADA4091-4是四通道版本器件，可用于代替双通道ADA4091-2，提供额外的精密运算放大器。

针对多输入通道应用，还可使用双通道、低成本、宽电源范围仪表放大器AD8426。

针对低电源电压应用，可使用高精度、低功耗、低噪声基准电压源ADR4550代替ADR02。

电路评估与测试

设备要求

- EVAL-CN0289-EB1Z评估板
- Agilent E36311A双直流电源(或等效设备)
- Agilent 3458A万用表(或等效设备)

电流输出测量

评估板的电流输出采用图5中的设置进行测量。测试条件为：

- 环路电源：24 V
- 环路负载：250 Ω
- R_{BRIDGE} = 3 kΩ
- V_{DRIVE} = 5 V
- V_{CM} = 2.5 V

桥式电阻同时连接仪表放大器的两个输入端，仿真传感器输出。

测试设置的配置与测试

使用图5中的测试设置对电路进行测试。

使用Agilent E36311A双电源产生2.5 V共模电压和0 mV至100 mV差分输入电压。

Agilent 3458A用于测量评估板的实际环路电流输出。

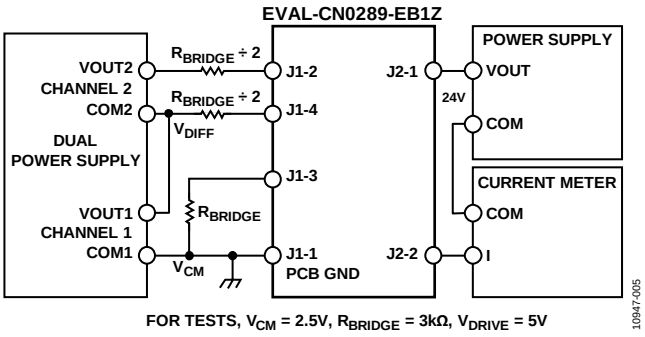


图5. 测试设置功能框图

更多资料

CN-0289设计支持包：
http://www.analog.com/CN0289-DesignSupport。

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

教程MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-065：*仪表放大器噪声*。ADI公司。

教程MT-066：*仪表放大器桥电路误差预算分析*。ADI公司。

教程MT-087：*基准电压源*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

基准电压源向导设计工具。

数据手册和评估板

CN-0289电路评估板(EVAL-CN0289-EB1Z)

AD8226数据手册

ADA4091-2数据手册

ADR02数据手册

修订历史

2013年5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.
CN10947sc-0-5/13(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0295。

连接/参考器件	
AD8226	宽电源电压范围、轨到轨输出仪表放大器
ADR02	超紧凑、5.0 V精密基准电压源
ADA4091-4	精密微功耗OVP、RRIO运算放大器

灵活的4 mA至20 mA压力传感器变送器，集成电压或电流驱动

评估和设计支持

电路评估板

CN0295评估板(EVAL-CN0295-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所示电路是一款灵活的电流发送器，可将压力传感器的差分电压输出转换为4 mA至20 mA电流输出。

该电路针对各种桥式电压或电流驱动型压力传感器而优化，仅使用了5个有源器件，总不可调整误差低于1%。电源范围为7 V至36 V，具体取决于元件和传感器驱动器配置。

该电路的输入具有ESD保护功能，并且可提供高于供电轨的电压保护，是工业应用的理想选择。

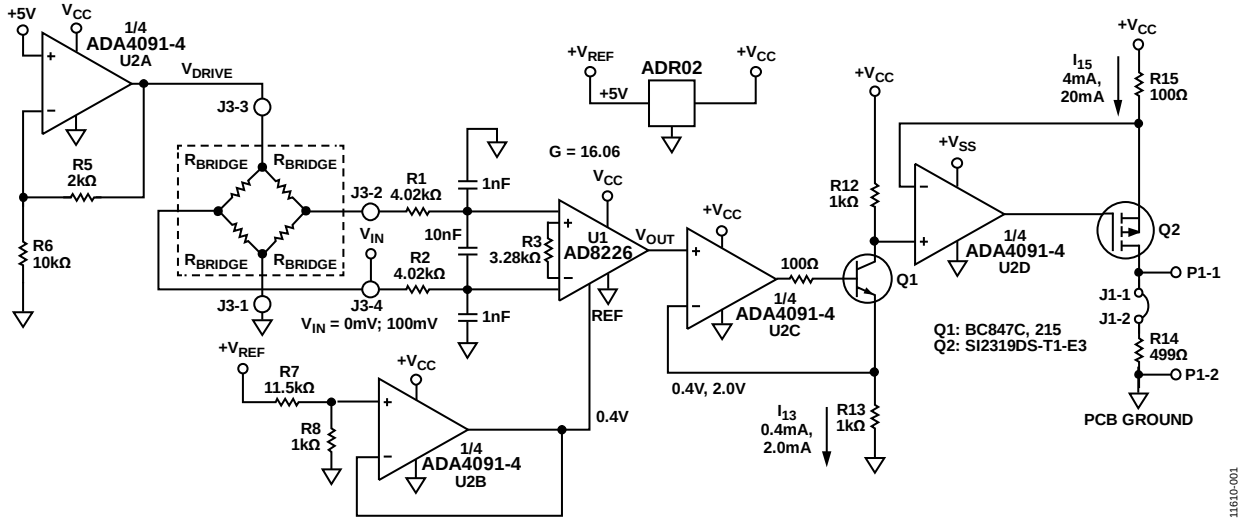


图1. 压力传感器信号调理电路，具有4 mA至20 mA输出(显示为传感器电压驱动模式)，原理示意图：未显示所有连接和去耦)

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.cn
Fax: 781.461.3113
©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

该设计提供完整的4 mA至20 mA发送器压力传感器测量解决方案。有三个重要的电路级：传感器激励驱动、传感器输出放大器和电压-电流转换器。

电路所需总电流(不计电桥驱动电流和输出电流)为5.23 mA(最大值)，如表1所示。

表1. 25°C时最大电路电流

元件	电流(mA)
ADR02	0.80
ADA4091-4	1.00
AD8226	0.43
R5、R6(6 V时)	0.60
R7、R8(5 V时)	0.40
R13(2 V时)	2.00
总计	5.23

激励：电压驱动配置

需使用电压驱动或电流驱动，具体取决于所选压力传感器。该电路使用四分之一的ADA4091-4 (U2A)，并通过开关S1选择不同配置，支持两种选项之一。图2显示电压驱动配置，S1位置最靠近识别标志(参见CN0295设计支持包中的完整电路布局和原理图：http://www.analog.com/CN0295-DesignSupport)。电压驱动通常采用该级的增益(1 + R5/R6)配置为6 V电桥驱动电压。其他驱动电压可通过适当改变电阻比获得：

$$V_{DRIVE} = 5\ \text{V}\left(1+\frac{R5}{R6}\right)$$

请注意，电源电压V_{CC}应至少比电桥驱动电压高0.2 V，以便让U2A具有足够的裕量。ADA4091-4：

$$V_{CC} \geq V_{DRIVE} + 0.2\ \text{V}$$

For the values shown in Figure 2, R5 = 2 kΩ, R6 = 10 kΩ, I_{DRIVE} = 2 mA, V_{DRIVE} = 6 V, and V_{CC} ≥ 6.2 V.

该电路选择运算放大器ADA4091-4，因为它具有低功耗(每个放大器250 µA)、低失调电压(250 µV)以及轨到轨输入输出特性。

因为ADR02的精度(A级：0.1%，B级：0.06%)和低静态电流(0.8 mA)特性，选用ADR02作为5 V基准电压源。

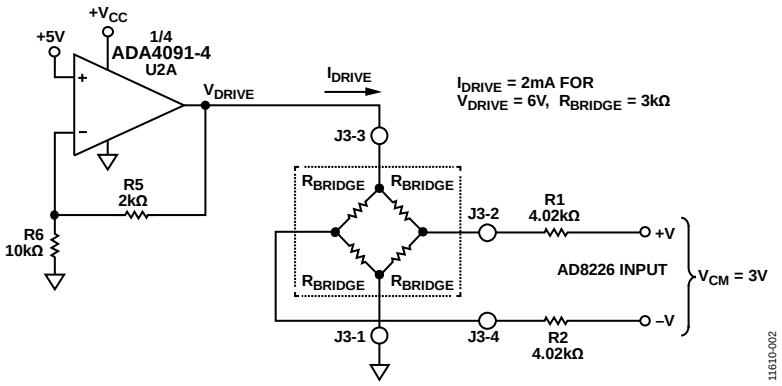


图2. 传感器电压驱动配置(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

激励：电流驱动配置

通过将S1移动至离开识别标志最远的位置，便可将电路切换至图3所示的电流驱动配置。

在电流驱动模式中，电路配置为R4 = 2.5 kΩ且I_{DRIVE} = 2 mA。使用下式选择R4值，可获得较低或较高的I_{DRIVE}值。

$$R4 = \frac{5\text{ V}}{I_{DRIVE}}$$

通过下式可计算驱动电压V_{DRIVE}：

$$V_{DRIVE} = 5\text{ V} + I_{DRIVE} \times R_{BRIDGE}$$

V_{CC}电源需要0.2 V裕量，因此：

$$V_{CC} \geq V_{DRIVE} + 0.2\text{ V}$$

在图3中，R_{BRIDGE} = 3 kΩ、I_{DRIVE} = 2 mA、V_{DRIVE} = 11 V、V_{CC} ≥ 11.2 V。

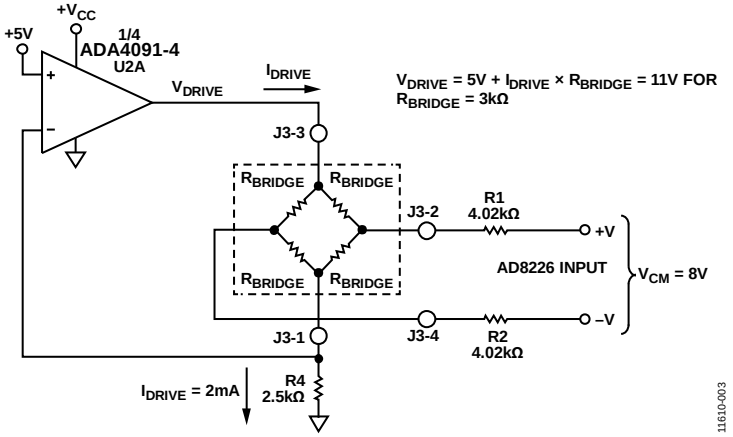


图3. 传感器电流驱动配置(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

电桥输出仪表放大器和失调电路

电桥输出采用带宽为39.6 kHz的共模滤波器(4.02 kΩ、1 nF)以及带宽为1.98 kHz的差模滤波器(8.04 kΩ、10 nF)滤波。

AD8226是理想的仪表放大器选择，因为它具有低增益误差(0.1%，B级)、低失调(G = 16时58 μV，B级；G = 16时112 μV，A级)、出色的增益非线性度(75 ppm = 0.0075%)以及轨到轨输入和输出特性。

AD8226仪表放大器使用R3 = 3.28 kΩ的增益设置电阻，放大100 mV FS信号16倍到1.6V。增益G和R3的关系如下：

$$R3 = \frac{49.4\ \text{k}\Omega}{G - 1}$$

其中，G = 16、R3 = 3.2933 kΩ。为R3选择最接近的标准0.05%值(3.28 kΩ)，得到增益G = 16.06，总增益误差为+0.4%。

对于0 V电桥输出而言，输出环路电流应当为4 mA。只需将+0.4 V失调施加于AD8226仪表放大器的REF输入即可获得该数值，如图1所示。+0.4 V来自ADR02 5 V基准电压源，使用分压器电阻R7/R8并利用U2B缓冲电压即可。

使用ADR02 5 V基准电压设置电桥的驱动电压或电流，以及设置4 mA零电平失调。其初始精度为0.06%(B级)，并且具有10 μV p-p电压噪声。此外，它可以采用高达36 V的电源电压工作，且功耗不足1 mA，是低功耗应用的理想选择。

电压电流转换

AD8226的0 V至100 mV输入可在VOUT产生0.4 V至2.0 V的输出摆幅。U2C缓冲器将此电压施加于R13的两端，产生相应的0.4 mA至2.0 mA电流I13。晶体管Q1随后将I13电流镜像到R12，所得电压施加于R15，由此实现4 mA至20 mA的最终环路电流。晶体管Q1应具有至少300的高增益，才能最大程度减少基极电流引起的线性误差。

输出晶体管Q2是一个40 V P沟道MOSFET功率晶体管，25°C时功耗为0.75 W。在20 mA输出电流输入至0 Ω环路负载电阻且V_{CC}电源为36 V时，电路具有最差情况下的功耗。这些条件下的Q2功耗为0.68 W。然而，通过选择合适的V_{CC}，使其至少高出最大环路负载电压3 V，就能大幅减少Q2功耗。这样便可确保检测电阻R15两端的电压降具有足够的裕量。

电压电源要求

若要使电路正常工作，电源电压V_{CC}必须大于7 V，以便为ADR02基准电压源提供充分的裕量。

最小V_{CC}电源电压同样取决于电桥的驱动电路配置。在V_{DRIVE} = 6 V的电压驱动模式下，电源电压V_{CC}必须大于6.2 V，这样U2A才能保持足够的裕量(见图2)。

在电流驱动模式下，电源电压V_{CC}必须大于11.2 V，这样U2A才能保持足够的裕量(见图3)。

V_{CC}电源电压限值为36 V(最大值)。

有源元件的误差分析

表2和表3分别表示系统中因有源元件造成的AD8226和ADR02的A、B级最大误差及rss误差。请注意，运算放大器ADA4091-2仅在一种等级水平下可用。

表2. 有源器件造成的误差(A级)

误差元件	误差	误差值	误差(%FSR)
AD8226-A	失调	112 μV	0.11%
ADR02-A	失调	0.10%	0.02%
ADA4091-4 (U2B)	失调	250 μV	0.02%
ADA4091-4 (U2C)	失调	250 μV	0.02%
ADA4091-4 (U2D)	失调	250 μV	0.02%
AD8226-A	增益	0.15%	0.15%
RSS失调			0.12%
RSS增益			0.15%
RSS FS误差			0.27%
最大失调			0.19%
最大增益			0.15%
最大FS误差			0.34%

表3. 有源器件造成的误差(B级)

误差元件	误差	误差值	误差(%FSR)
AD8226-B	失调	58 μV	0.06%
ADR02-B	失调	0.06%	0.01%
ADA4091-4 (U2B)	失调	250 μV	0.02%
ADA4091-4 (U2C)	失调	250 μV	0.02%
ADA4091-4 (U2D)	失调	250μV	0.02%
AD8226-B	增益	0.10%	0.10%
RSS失调			0.07%
RSS增益			0.10%
RSS FS误差			0.17%
最大失调			0.13%
最大增益			0.10%
最大FS误差			0.23%

总电路精度

对电阻容差导致的总误差的合理近似推算是假设每个关键电阻对总误差贡献都相等。6个关键电阻是R3、R7、R8、R12、R13和R15。0.1%电阻导致的最差情况下的容差可造成0.6%总电阻误差最大值。若假定rss误差，则总rss误差为0.1√6 = 0.245%.。

将0.6%最差情况下的电阻容差误差加入到前文中由于有源元件(A级)造成的最差情况误差中，可得：

- 失调误差 = 0.19% + 0.6% = 0.79%
- 增益误差 = 0.15% + 0.6% = 0.75%
- 满量程误差 = 0.34% + 0.6% = 0.94%

这些误差假定选用电阻计算值，因此误差仅来源于其容差。

虽然电路允许具有1%或更低的总误差，若要求更佳的精度，则电路需具备失调和增益调节能力。针对4 mA输出和零电平输入，可通过调整R7或R8来校准失调，然后针对满量程100 mV输入，通过改变R3调节满量程。这两项调节是相互独立的；假定首先进行失调校准。

电路的实际误差数据见图4，其中V_{CC} = 25 V。输出电流总误差(%FSR)通过将理想输出电流与测量输出电流的差除以FSR (16 mA)，然后将计算结果乘以100即可算出。

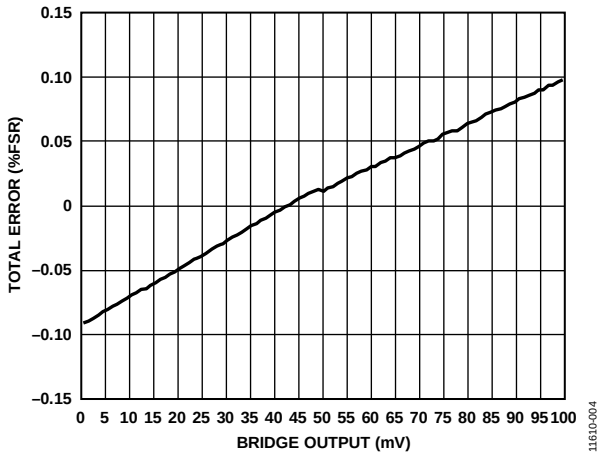


图4. 输出电流(%FSR)的总误差与电桥电压的关系(V_{CC} = 25 V)

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。可在该配置中使用ADI公司的其他基准电压源、精密运算放大器和仪表放大器以建立4 mA至20 mA模拟电流输出，用于本电路的其他应用中。

针对多输入通道应用，还可使用双通道、低成本、宽电源范围仪表放大器AD8426。

针对低电源电压应用，可使用高精度、低功耗、低噪声基准电压源ADR4550代替ADR02。

电路评估与测试

设备要求

- EVAL-CN0295-EB1Z评估板
- Agilent 36311A精密直流电源
- Yokogawa 2000精密直流电源
- Agilent 3458A精密万用表

评估板电流输出的线性误差采用图5中的设置进行测量。

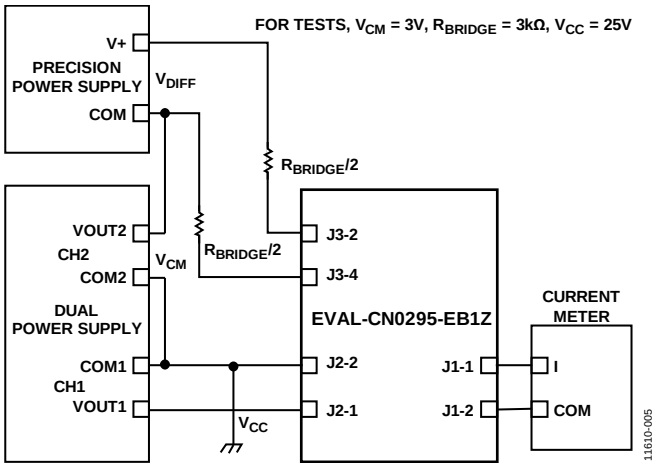


图5. 测试设置框图

测试

使用Agilent E3631A和Yokogawa精密电压电源为评估板供电，并仿真传感器输出。Agilent E3631A的CH2设为25 V，用作评估板电源；另一通道CH1设为2.5 V，用以产生共模电压。该通道与Yokogawa 2000串联连接，如图5所示。Yokogawa在仪表放大器输入端产生0至100 mV差分输入电压，可仿真传感器输出。

Agilent 3458A用于测量评估板的实际电流输出，与J1串联连接。

更多资料

CN-0295设计支持包：
http://www.analog.com/CN0295-DesignSupport

教程MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-051：*电流反馈型运算放大器噪声考虑*

教程MT-065：*仪表放大器噪声*

教程MT-066：*仪表放大器桥电路误差预算分析*

教程MT-087：基准电压源

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

基准电压源向导设计工具。

数据手册和评估板

AD8226数据手册

ADA4091-4数据手册

ADR02数据手册

修订历史

2013年5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.
CN11610sc-0-5/13(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0300。

连接/参考器件	
ADuCM360	基于Cortex-M3的微控制器，内置双通道24位Σ-Δ型ADC
ADP1720-3.3	低压差线性稳压器

提供4 mA至20 mA输出的完整闭环精密模拟微控制器热电偶测量系统

评估和设计支持

电路评估板

CN-0300评估板(EVAL-CN0300-EB1Z)包含USB-SWD/UART和SEGGER J-Link Lite电路板

设计和集成文件

原理图、布局文件、物料清单、ADuCM360源代码

电路功能与优势

本电路在精密热电偶温度监控应用中使用ADuCM360精密模拟微控制器，并相应地控制4 mA至20 mA的输出电流。ADuCM360集成双通道24位Σ-Δ型模数转换器(ADC)、双通道可编程电流源、12位数模转换器(DAC)、1.2 V内置基准电压源以及ARM Cortex-M3内核、126 KB闪存、8 KB SRAM和各种数字外设，例如UART、定时器、SPI和I²C接口。

在该电路中，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读数转换为实际温度值。支持的T型温度范围是−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。

该电路为热电偶测量提供了完整的解决方案，所需外部元件极少，并且可针对高达28 V的环路电压采用环路供电。

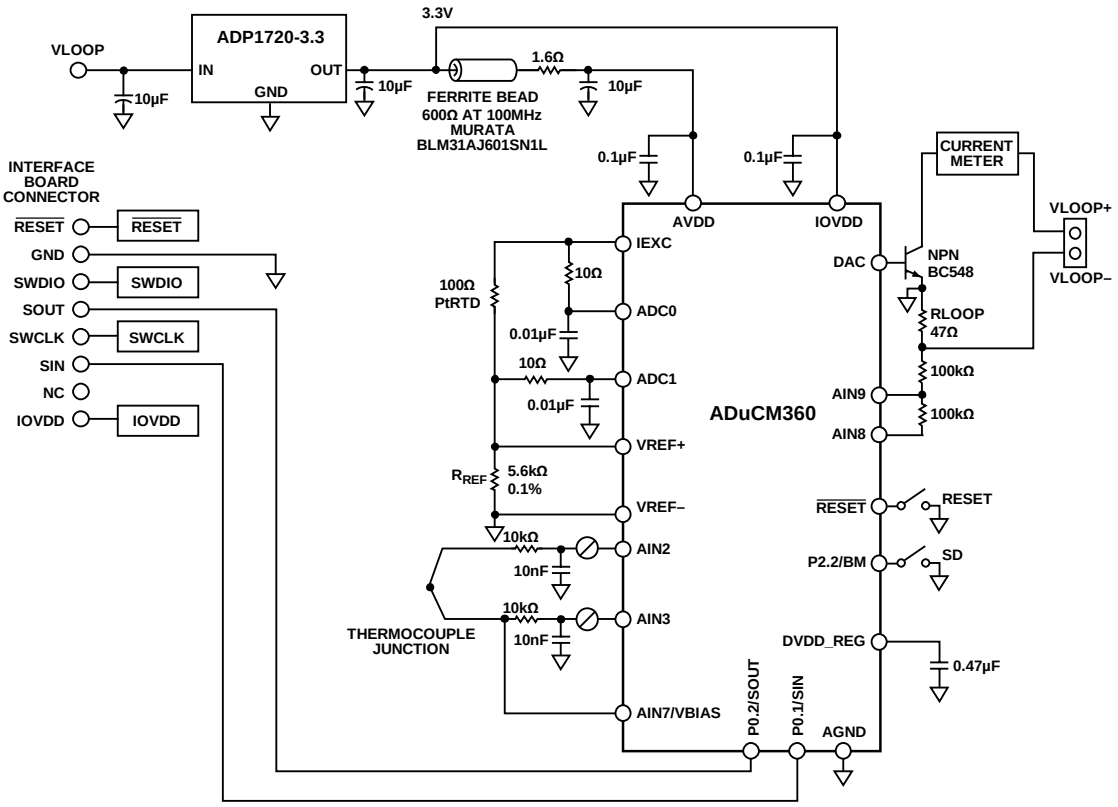


图1. 具有热电偶接口、用作温度监控器控制器的ADuCM360(原理示意图，未显示所有连接)

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

本应用中用到ADuCM360的下列特性：

- 12位DAC输出及其灵活的片内输出缓冲器用于控制外部NPN晶体管BC548。通过控制此晶体管的V_{BE}电压，可将经过47 Ω负载电阻的电流设置为所需的值。
- DAC为12位单调式，但其输出精度通常在3 LSB左右。此外，双极性晶体管引入了线性误差。为提高DAC输出的精度并消除失调和增益端点误差，ADC0会测量反馈电压，从而反映负载电阻(R_{LOAD})两端的电压。根据此ADC0读数，DAC输出将通过源代码纠正。这样就针对4 mA至20 mA的输出提供了±0.5°C的精度。
- 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 μA至2 mA范围内以一定的阶跃进行配置。本例使用200 μA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/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。它还可以利用来自AIN9电压电平的闭环反馈控制并持续监控DAC输出。出于额外调试目的，它还可以控制UART/USB接口上的通信。
- 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DAC和ADC。
- 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。
- J1连接器是一个8引脚双列直插式连接器，与CN0300支持硬件随附的USB-SWD/UART板相连。配合J-Link-Lite板可对此应用电路板进行编程和调试。参见图3。

热电偶和RTD产生的信号均非常小，因此需要使用可编程增益放大器(PGA)来放大这些信号。

本应用使用的热电偶为T型(铜-康铜)，其温度范围为−200°C至+350°C，灵敏度约为40 μV/°C，这意味着ADC在双极性模式和32倍PGA增益设置下可以覆盖热电偶的整个温度范围。

RTD用于冷结补偿。本电路使用的RTD为100 Ω铂RTD，型号为Enercorp PCS 1.1503.1。它采用0805表贴封装，温度变化率为0.385 Ω/°C。

注意，基准电阻R_{REF}必须为精密5.6 kΩ (±0.1%)电阻。

本电路必须构建在具有较大面积接地层的多层电路板(PCB)上。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术(请参考指南MT-031——“实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团”、指南MT-101——“去耦技术”以及ADuCM360TCZ评估板布局)。

评估本电路所用的PCB如图2所示。

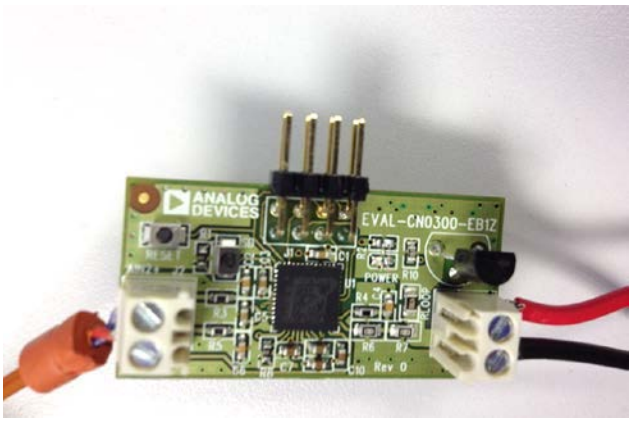


图2. 本电路所用的EVAL-CN0300-EB1Z板

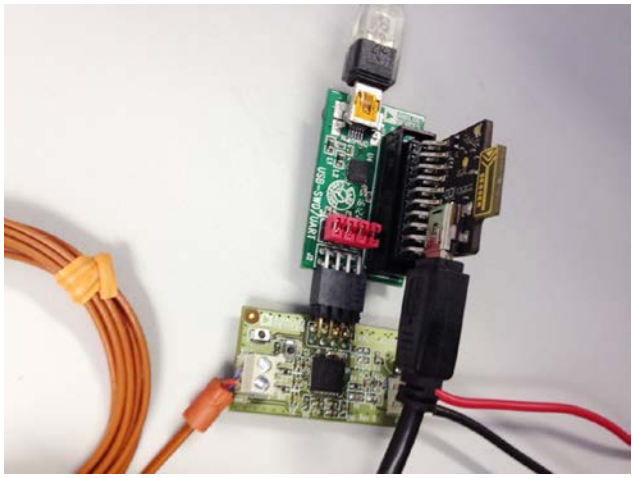


图3. 连接至USB-SWD/UART板和SEGGER J-Link-Lite板的EVAL-CN0300-EB1Z板

图3显示了USB-SWD/UART板。此板用作PC USB端口的接口板。该USB端口可用于通过基于UART的下载器对器件进行编程。它也可用于连接PC上的COM端口(虚拟串行端口)。这是运行校准程序所需要的条件。

J-Link-Lite插入USB-SWD/UART板的20引脚连接器中。J-Link-Lite提供代码调试和编程支持。它通过另一个USB连接器连接至PC。

代码说明

用于测试本电路的源代码可从ADuCM360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4显示了利用Keil µVision4工具查看时项目中所用的源文件列表。



图4. µVision4中查看的源文件

代码的校准部分

可调整编译器#define值(calibrateADC1和calibrateDAC)，以使能或禁用ADC和DAC的校准程序。

要校准ADC或DAC，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ADC时，源代码会提示用户将零电平和满量程电压连接至AIN2和AIN3。注意，AIN2是正输入端。完成校准程序后，ADC1INTGN和ADC1OF寄存器的新校准值就会存储到内部闪存中。

校准DAC时，应通过精确的电流表连接VLOOP+输出端。DAC校准程序的第一部分校准DAC以设置4 mA输出，第二部分则校准DAC以设置20 mA输出。用于设置4 mA和20 mA输出的DAC代码会存储到闪存中。针对最终的4 mA和20 mA设置在AIN9处测得的电压也会记录下来并存储到闪存中。由于在AIN9处的电压与流经RLOOP的电流线性相关，因此这些值会用于计算DAC的调整因子。这种闭环方案意味着，可以使用片内24位Σ-Δ型ADC进行微调而消除DAC和基于晶体管的电路上的所有线性误差。

UART配置为波特率9600、8数据位、无极性、无流量控制。如果本电路直接与PC相连，则可使用“超级终端”等通信端口查看程序来查看该程序发送给UART的结果，如图5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。

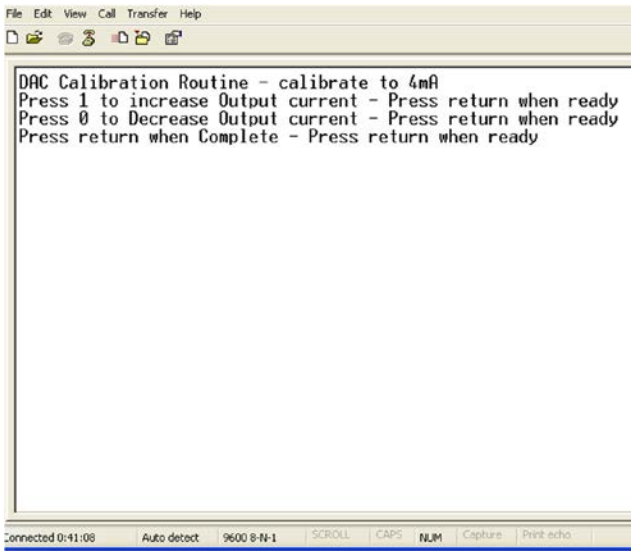


图5. 校准DAC时的“超级终端”输出

代码的温度测量部分

要获得温度读数，应测量热电偶和RTD的温度。RTD温度通过一个查找表转换为其等效热电偶电压(T型热电偶请参见ISE, Inc.的ITS-90表)。将这两个电压相加，便可得到热电偶电压的绝对值。

首先，测量热电偶两条线之间的电压(V1)。测量RTD电压并通过查找表转换为温度，然后再将此温度转换为其等效热电偶电压(V2)。然后，将V1和V2相加，以得出整体热电偶电压，接着将此值转换为最终的温度测量结果。

对热电偶而言，固定数量的电压所对应的温度会存储在一个数组中。其间的温度值利用相邻点的线性插值法计算。

图6显示了使用ADuCM360上的ADC1测量整个热电偶工作范围内的52个热电偶电压时获得的误差。最差情况的总误差小于1°C。

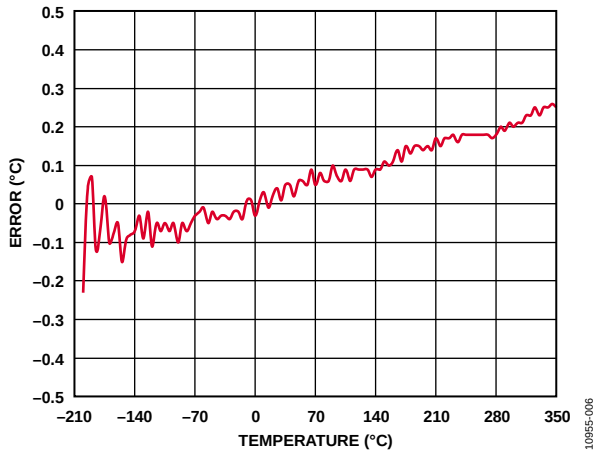


图6. 通过分段线性逼近法利用ADuCM360/ADuCM361所测52个校准点时的误差

RTD温度是运用查找表计算出来的，并且对RTD的运用方式与对热电偶一样。注意，描述RTD温度与电阻关系的多项式与描述热电偶的多项式不同。

有关线性化和实现RTD最佳性能的详细信息，请参考应用笔记AN-0970“利用ADuC706x微控制器实现RTD接口和线性化”。

代码的温度至电流输出部分

测得最终温度后，将DAC输出电压设置为适当的值，以便在RLOOP上产生所需的电流。输入温度范围应该是–200°C至+350°C。代码针对–200°C和+350°C设置的输出电流分别是4 mA和20 mA。代码实施的是闭环方案，如图7所示，其中AIN9上的反馈电压通过ADC0测量，然后此值用于补偿DAC输出设置。**FineTuneDAC(void)**函数执行此项校正。

为获得最佳结果，应在开始该电路的性能测试前校准DAC。

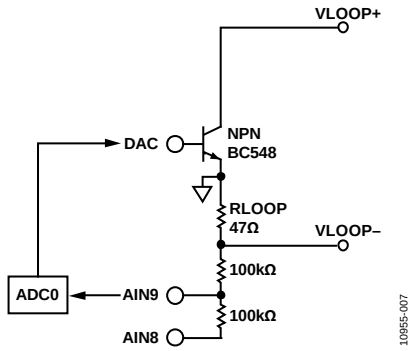


图7. 闭环控制4 mA至20 mA的DAC输出

出于调试目的，以下字符串会在正常工作期间发送至UART(见图8)。

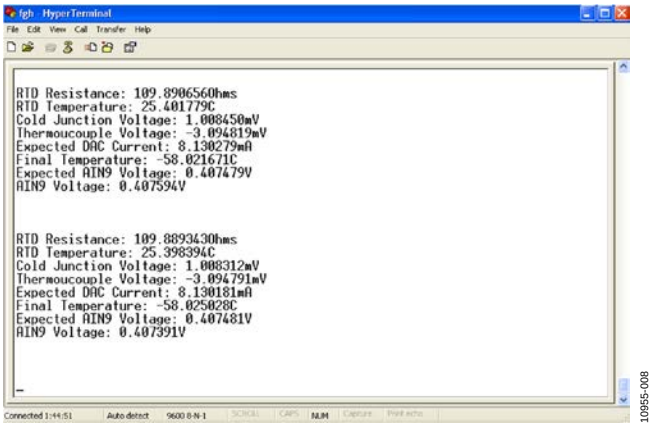


图8. 用于调试的UART字符串

常见变化

对于标准UART至RS-232接口，可以用ADM3202等器件代替FT232R收发器，前者需采用3 V电源供电。对于更宽的温度范围，可以使用不同的热电偶，例如J型热电偶。为使冷结补偿误差最小，可以让一个热敏电阻与实际的冷结接触，而不是将其放在PCB上。

针对冷结温度测量，可以用一个外部数字温度传感器来代替RTD和外部基准电阻。例如，ADT7410可以通过I^2C接口连接到ADuCM360。

有关冷结补偿的更多详情，请参考ADI公司的《传感器信号调理》第7章“温度传感器”。

如果USB连接器与本电路之间需要隔离，则必须增加ADuM3160/ADuM4160隔离器件。

电路评估与测试

电流输出测量

DAC和外部电压电流转换器电路性能测试全都一起完成。

一个电流表与VLOOP+连接串联，如图1所示。所用的电流表为HP 34401A。执行初始校准和使用VDAC输出的闭环控制时的电路性能导致DAC输出电路报告的温度值为0.5°C。借助24位ADC，DAC和外部晶体管电路的非线性误差可以调零。因为温度是一个变化较慢的输入参数，所以此闭环方案非常适合这种应用。图9显示了未采用闭环控制(ADC0没有用于补偿DAC输出)时的理想DAC输出(蓝色)和实际DAC输出。未采用闭环控制时的误差可能会大于10°C。

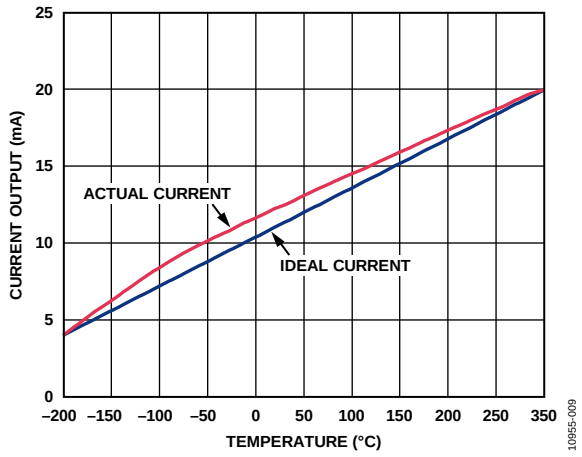


图9. 温度(°C)与输出电流(mA)的关系
(蓝色 = 理想值，开环操作：未补偿DAC输出)

图10显示了按推荐方式采用闭环控制时的相同信息。误差非常微小，与理想值相差不到0.5°C。

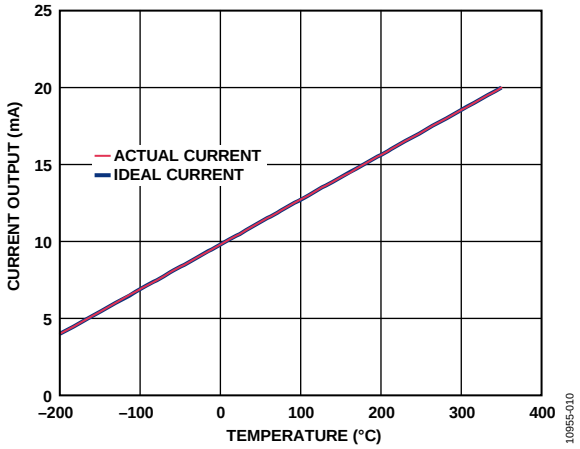


图10. 温度(°C)与输出电流(mA)的关系
(蓝色 = 理想值，闭环操作：通过ADC0测量补偿DAC输出)

热电偶测量测试

基本测试设置如图11所示。热电偶连接至J2。

使用两种方法来评估本电路的性能。首先使用连接到电路板的热电偶来测量冰桶的温度，然后测量沸水的温度。

使用Wavetek 4808多功能校准仪来充分评估误差，如图11所示。这种模式下，校准仪代替热电偶作为电压源。为了评估T型热电偶的整个范围，利用校准仪设置T型热电偶–200°C至+350°C的正负温度范围之间52个点的等效热电偶电压(T型热电偶请参见ISE, Inc.的ITS-90表)。图6显示了测试结果。

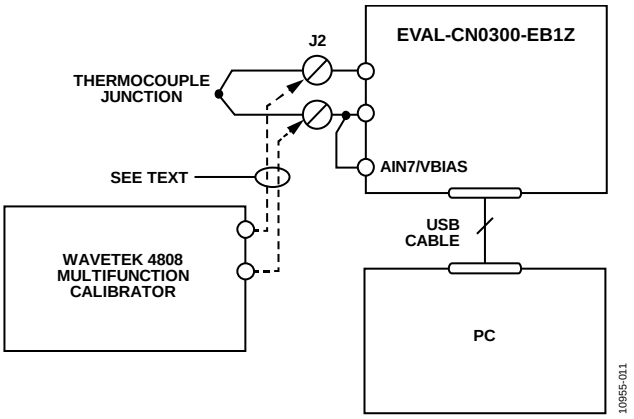


图11. 用于在整个热电偶输出电压范围内校准和测试电路的设置

RTD测量测试

为了评估RTD电路和线性化源代码，以精确的可调电阻源代替了电路板上的RTD。所用的仪器是1433-Z十进制电阻。RTD值的范围是90 Ω至140 Ω，代表−25°C至+114°C的RTD温度范围。

图12显示了RTD测量的测试设置电路，图13则显示了RTD测试的误差结果。

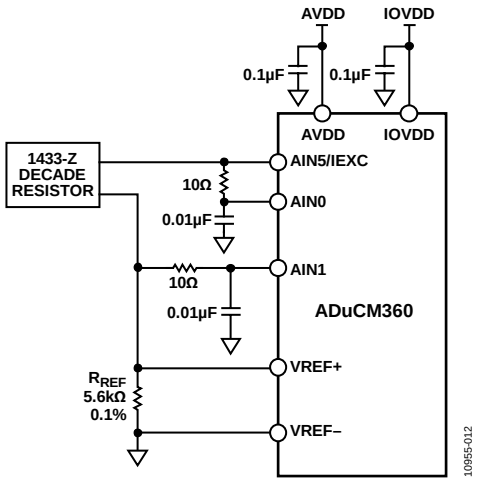


图12. RTD误差测量的测试设置

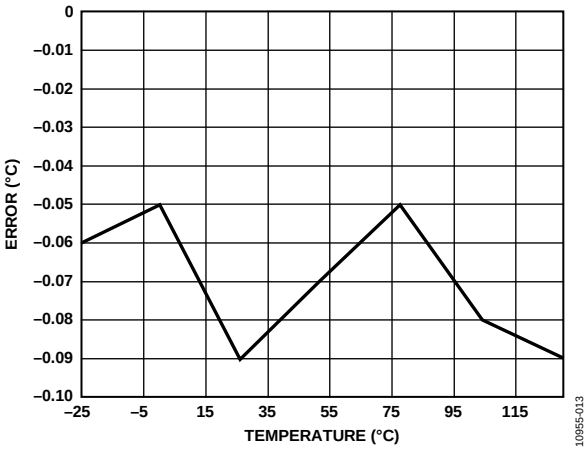


图13. 使用分段线性代码和ADC0测量结果进行RTD测量时的°C误差

电流测量测试

正常工作时，整个电路的功耗通常为2.25 mA。保持在复位状态时，整个电路的功耗不到600 µA。

有关ADuCM360功耗数据的更多详情，请参考应用笔记AN-1111。

更多资料

CN0300设计支持包：
http://www.analog.com/CN0300-DesignSupport

ADIsimPower设计工具。

Kester，Walt。1999年。*传感器信号调理*。ADI公司。第7章：温度传感器。

Kester，Walt。1999年。*传感器信号调理*。ADI公司。第8章：信号调理用ADC。

Looney，Mike。*使用ADuC706x微控制器实现RTD接口和线性化*。应用笔记AN-0970。ADI公司。

教程MT-022：*ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础*。ADI公司。

教程MT-023：*ADC架构IV：Σ-Δ型ADC的高级概念和应用*。ADI公司。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

ITS-90 T型热电偶表。

数据手册和评估板

ADuCM360/ADuCM361数据手册

ADuCM360/ADuCM361评估套件

ADM3202 UART至RS232收发器数据手册

ADP120数据手册

ADP1720数据手册

修订历史

2012年10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.

©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN10955sc-0-10/12(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/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*i*MEMs®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。

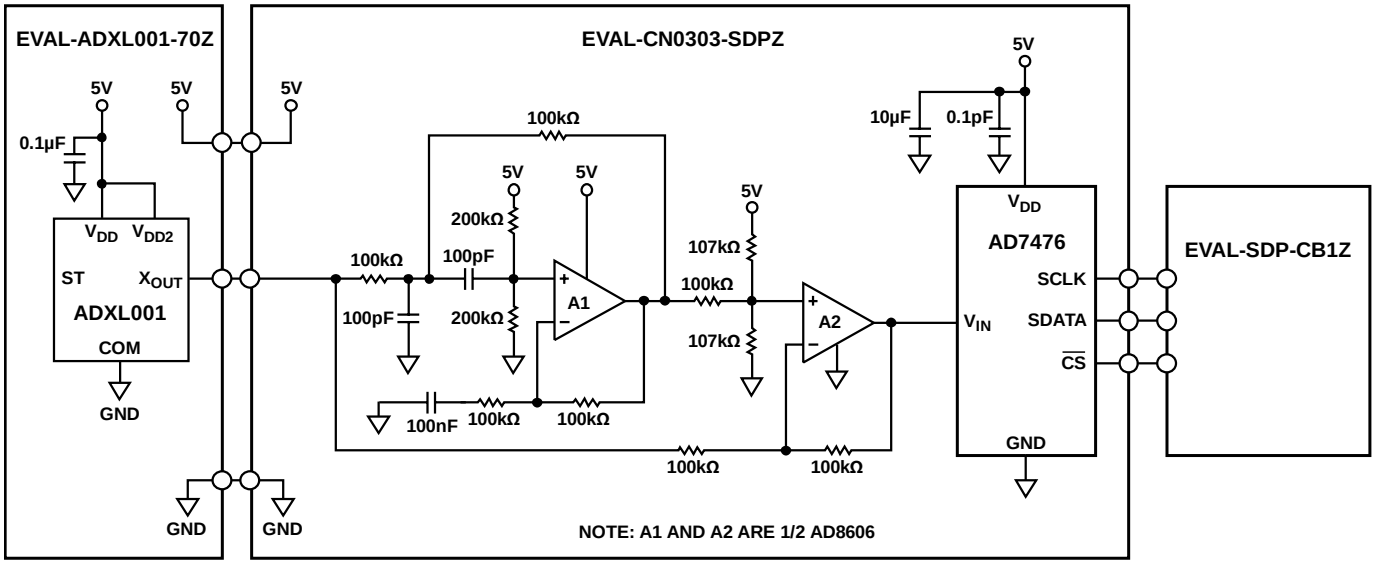


图1. 单轴振动分析系统(原理示意图：未显示去耦和所有连接)

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.cn**
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。

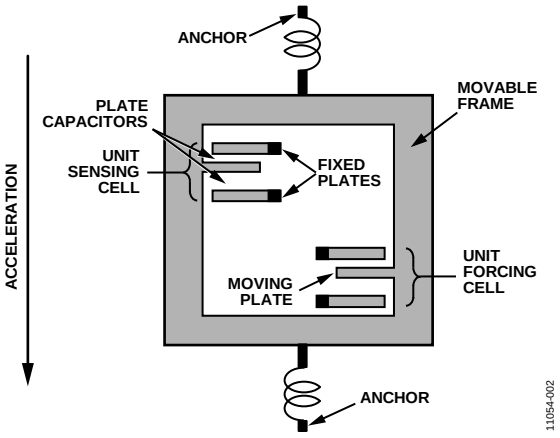


图2. 传感器加速时的简化试图

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。

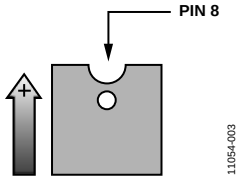


图3. ADXL001 X_{OUT}电压随正X轴方向的加速度增加而增加

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的特性，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 (×2.24)峰化。该峰化对加速度计的输出电压具有极大的影响。

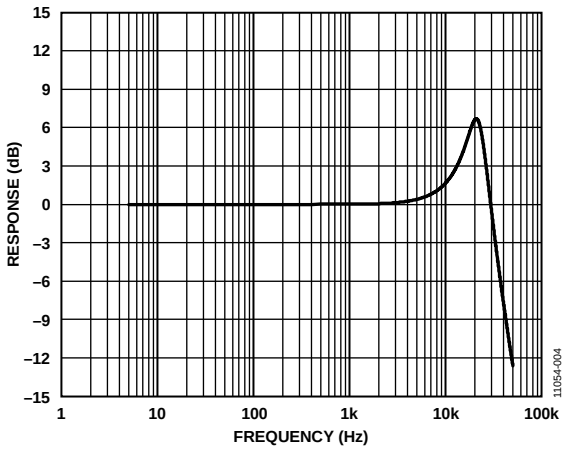


图4. ADXL001频率响应

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：

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

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：

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

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

预计输出电压和实际输出电压之差会产生巨大误差：

误差 = 3.757 V – 2.984 V = 0.773 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 V + (24.2mV/g × 70 g) = 4.194 V

具有~7dB峰化效应：

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

V_{OUT} = 9.389 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。

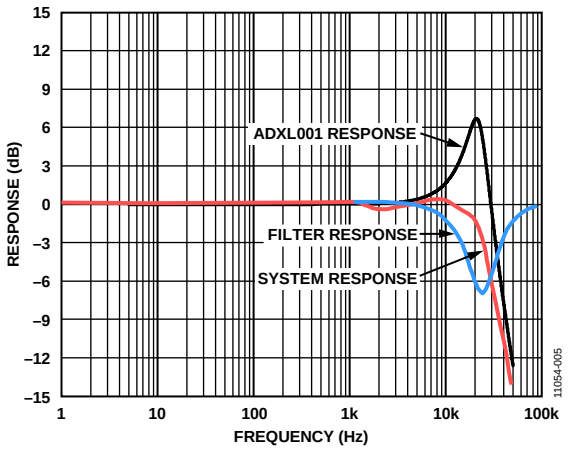


图5. ADXL001频率响应、滤波器频率响应和系统频率响应

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 log10(V_{OUT}/V_{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：

±5 g × 0.0242V/g = ±0.121 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_{OUT}/V_{IN})图形，即系统的频率响应图。

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，可在通带中即时发现少量纹波。

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的屏幕截图。采样速率为1 MSPS。

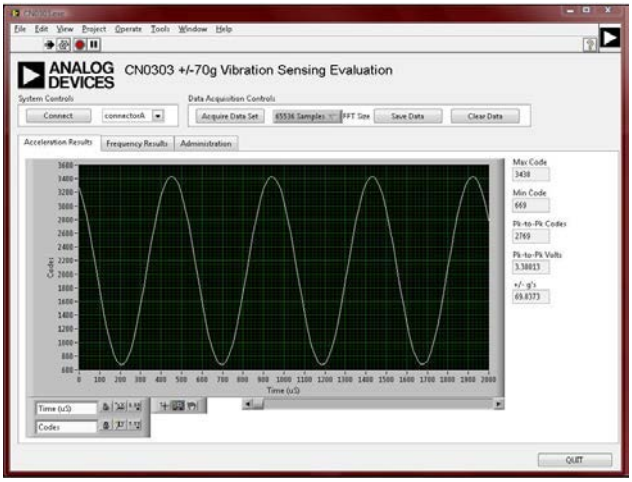


图6. CN0303评估软件以1 MSPS采样速率数字化2 kHz正弦波的屏幕截图

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。

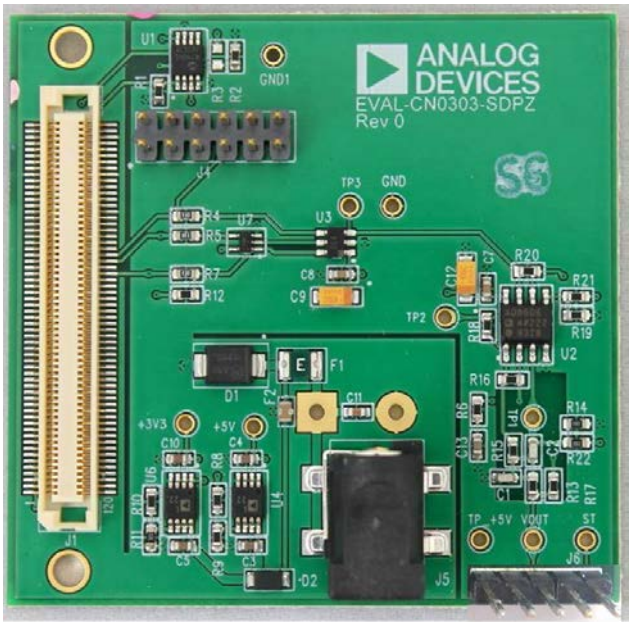


图7. EVAL-CN0303-SDPZ照片

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。

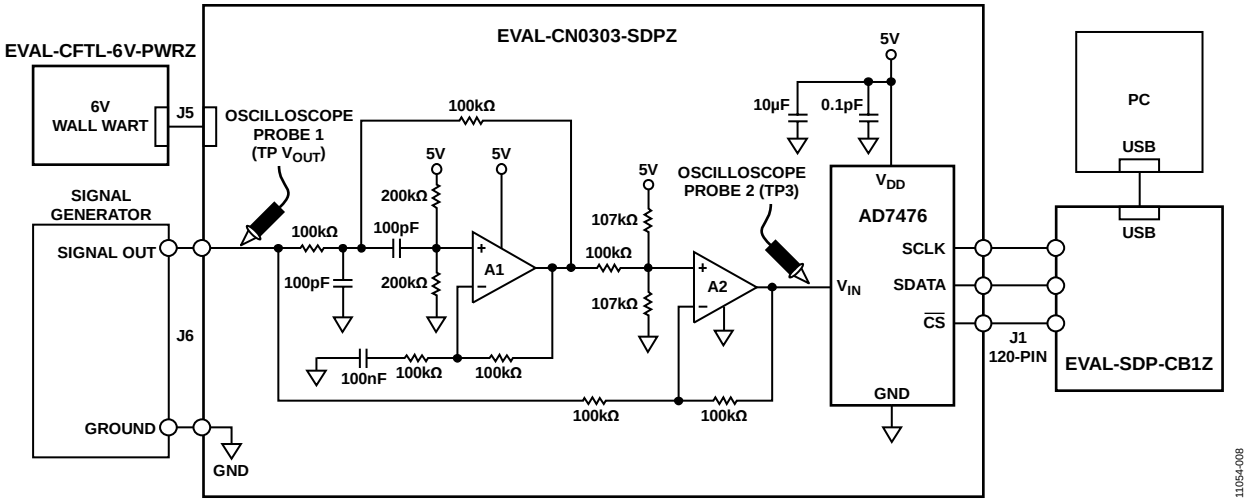


图8. 测试设置功能框图

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引脚连接头(P1)通过扁平电缆连接至EVAL-CN0303-SDPZ电路板上的5引脚连接头(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。

更多资料

CN-0303设计支持包：
http://www.analog.com/CN0303-DesignSupport

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

教程MT-101：去耦技术。ADI公司。

应用笔记AN-688：*iMEMS加速度计和陀螺仪的相位和频率响应*。ADI公司

线路电路设计手册。Hank Zumbahlen。ADI公司

Aram Budak。ISBN-13：有源和无源网络分析和合成。1991年10月。978-0881336252。

数据手册和评估板

CN-0303电路评估板(EVAL-CN0303-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CS1Z)

ADXL001数据手册

ADXL001评估板(EVAL-ADXL001-70Z)

AD8606数据手册

AD7476数据手册

AD7476评估板

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)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0310。

连接/参考器件	
AD7176-2	24位、250 kSPS Σ-Δ型ADC，建立时间20 µs
AD8475	精密、可选增益、全差分漏斗放大器
ADR445	5 V超低噪声LDO XFET®基准电压源

24位、250 kSPS单电源数据采集系统

评估和设计支持

电路评估板

AD7176-2电路评估板(EVAL-AD7176-2SDZ)

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

对工业电平信号进行采样时，必须提供快速高分辨率转换信息。通常，当采样速率达到500 kSPS时，模数转换器(ADC)具有的最高分辨率为14位至18位。图1所示电路是一款单电源系统，针对工业电平信号采样进行优化，集成一个24位、250 kSPS Σ-Δ型ADC。两个差分通道或四个伪差分通道中的每一个都能够以17.2位无噪声代码分辨率、最高50 kSPS的速率对其进行扫描。

本电路利用创新型差分放大器和内置激光调整电阻执行衰减和电平转换，通过具有低电源电压的精密ADC可以解决获取±5 V、±10 V和0 V至10 V的标准工业电平信号并进行数字化处理的问题。本电路的应用包括过程控制(PLC/DCS模块)、医疗以及科学多通道仪器和色谱仪。

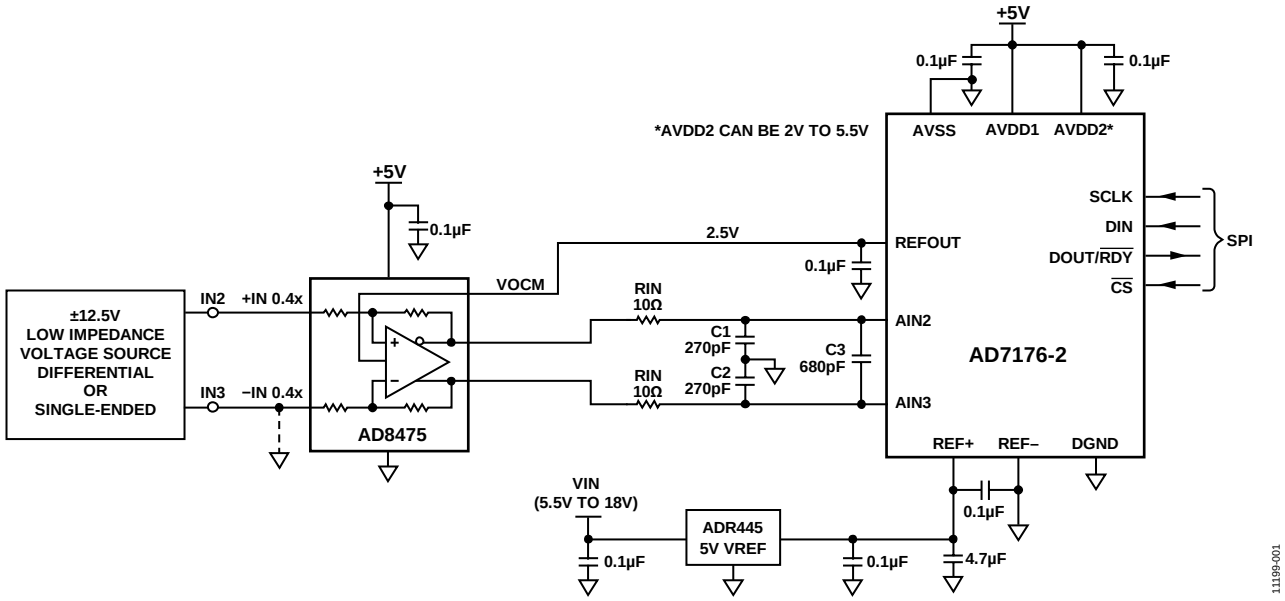


图1. 工业信号用高精度、24位ADC驱动器)原理示意图：未显示所有连接和去耦)

Rev. A

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.cn
Fax: 781.461.3113 ©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

工业电平信号施加于AD8475精密差分漏斗放大器上，该器件可将输入信号衰减0.8倍或0.4倍。它集成经过调整并匹配的精密电阻，用来控制衰减。当AD8475使用5 V单电源并且增益设置为0.4时，此电阻支持最高±12.5 V的单端或差分输入。器件提供最高±15 V的输入过压保护。

当输入信号(增益为0.4)处于±10 V单端或差分输入范围内时，AD8475和AD7176-2器件组合能够保持线性度，如图4中的测量INL限值所示；图中，测量端点分别为−10 V和+10 V。此时，AD8475的输出摆幅介于0.5 V和4.5 V之间。

通过对VOCM引脚施加所需的共模电压，便可设置共模输出。图1所示电路中，通过将AD7176-2 ADC的2.5 V REFOUT电压施加于AD8475的VOCM引脚，完成共模电压的设置。

AD8475提供衰减和电平转换，以便驱动AD7176-2的采样电容输入；功耗仅为3.2 mA。

AD8475放大器的输出连接到RC滤波器网络，可提供差分和共模噪声滤波以及AD7176-2输入采样电容所需的动态充电。该网络还可隔离放大器输出，使其不受动态开关电容输入的反冲影响。共模带宽(RIN、C1)为59 MHz。差模带宽(2 × RIN、0.5C1 + C3)为9.8 MHz

还可设置AD8475，使其接受单端信号。将−IN 0.4×输入接地，并对+IN 0.4×输入施加单端信号。

AD7176-2 24位、Σ-Δ ADC对AD8475的输出进行采样，并转换为数字输出。转换速率和数字滤波器特性可针对5 SPS至250 kSPS的输出数据速率进行调节。

AD7176-2可配置为两个全差分输入或四个伪差分输入。ADC支持最高50 kSPS的通道扫描速率。AD7176-2的无噪声位性能为17.2位(250 kSPS)；20.8位(1 kSPS)；以及21.7位(50 SPS)。

图2表示输入接地时的总系统有效均方根噪声。数据速率为250 kSPS时，有效均方根噪声约为30 μV rms。请注意，满量程时，本电路的线性度在±10 V输入下达到最佳状态，计算时满量程输入设为20 V p-p。

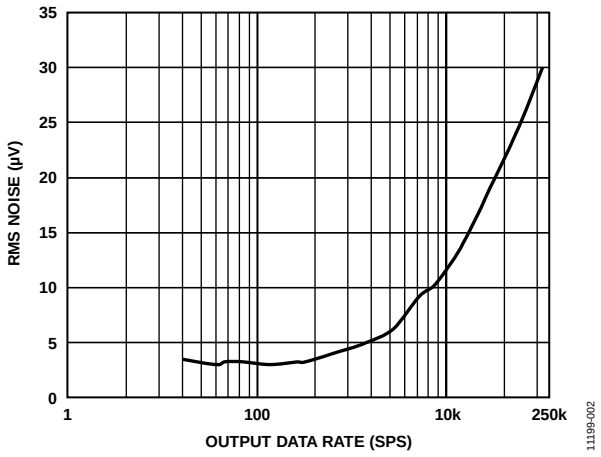


图2. 均方根输出噪声与输出数据速率的关系

有效分辨率以位数表示，折合到20 V满量程输入范围的计算公式为：

有效分辨率 = $\log_2$(FSR/均方根噪声)

有效分辨率 = $\log_2$(20 V/30 μV) = 19.3位

图3显示，均方根位数的有效分辨率与输出数据数率成函数关系，输入短接时测量。

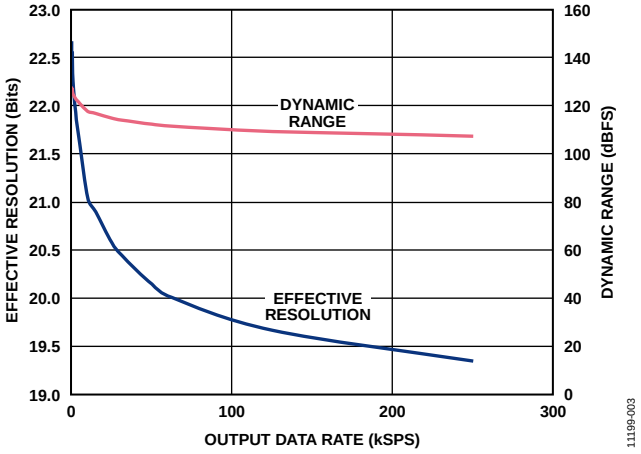


图3. 有效分辨率(均方根位数)与输出数据速率的关系

先将均方根噪声转换为峰峰值噪声近似值(均方根噪声乘以系数6.6)，有效分辨率便可转换为无噪声代码分辨率。计算结果约为2.7位，随后将其从有效分辨率中扣除，以得到无噪声代码分辨率。如本例所示，经计算后，19.3位有效分辨率相当于16.6位无噪声代码分辨率。这一结果与AD7176-2在无缓冲短路输入情况下，输出数据速率为250 kSPS时的17.2位无噪声位规格相比，大约有0.3位的差异。这是由于本例仅采用±10 V作为满量程范围，而非±12.5 V的最大值。

图4显示采用端点法获得的系统积分非线性，用满量程(FSR)的ppm表示。

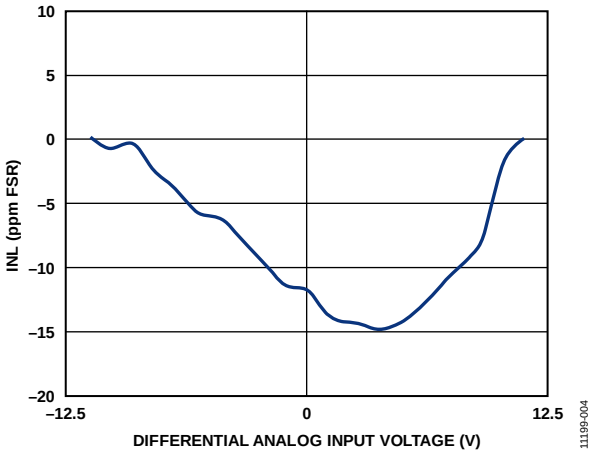


图4. 积分非线性(INL，以FSR的ppm表示)与输入电压的关系

虽然本电路主要设计用于处理直流输入，但它也能转换低频交流输入。其失真性能随模拟输入幅度的变化而改变。图5和图6分别显示−1 dBFS和−6 dBFS以及1 kHz正弦波情况下的性能。由Audio Precision 2700系列音频源产生的正弦波直接输入AD8475。

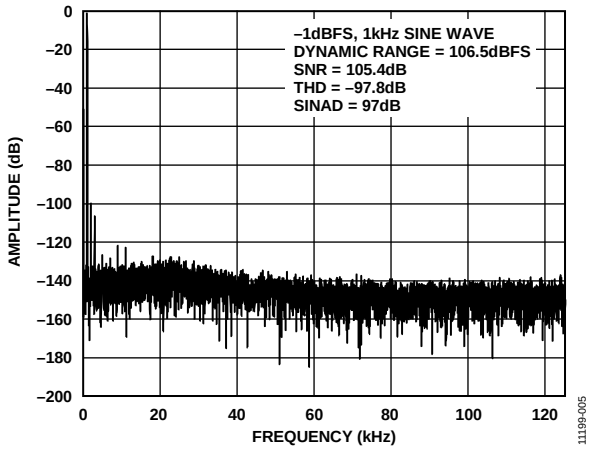


图5. AD8475至AD7176-2的FFT性能(1 kHz、−1 dBFS输入音、16384点FFT)

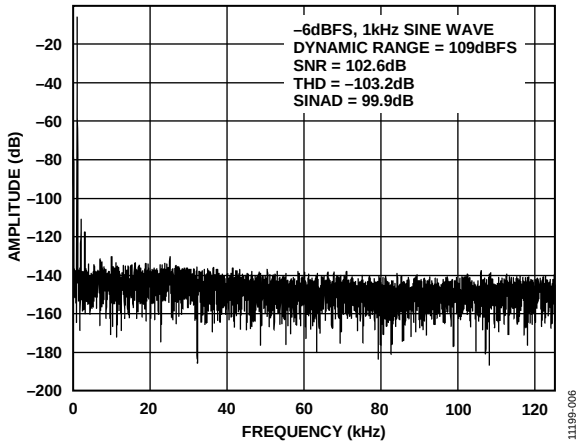


图6. AD8475至AD7176-2的FFT性能(1 kHz、−6 dBFS输入音、16384点FFT)

若要获得最佳的高分辨率系统性能，则出色的印刷电路板(PCB)布局、接地以及去耦技巧是必不可少的。详细信息，请参考指南MT-031、指南MT-101、AD8475数据手册及AD7176-2数据手册。欲查看完整原理图和印刷电路板的布局，请参见CN-0310设计支持包。

常见变化

图1所示电路中，AD8475所选增益为0.4。若选择了0.8增益，则满量程范围将从±10 V下降到±5 V，导致灵敏度翻倍。

使用额外AD8475器件的第二条通道可连接AD7176-2的AN0/AN1引脚。

ADR445基准电压源可替换为具有300 mV压差的ADR4550基准电压源。

电路评估与测试

设备要求

需要使用以下设备：

- EVAL-AD7176-2SDZ评估板和软件
- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- 精密直流电压源
- Audio Precision 2700系列(交流输入)
- PC(Windows 32位或64位)
- 7 V至9 V直流电源或壁式电源

软件安装

AD7176-2评估套件包括一张光盘，其中含有自安装软件。该软件兼容Windows® XP (SP2)、Windows Vista和Windows 7 (32位或64位)。如果安装文件未自动运行，可以运行光盘中的**setup.exe**文件。

请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

完成光盘安装后，将EVAL-SDP-CB1Z(通过连接器A或连接器B)连接到EVAL-AD7176-2SDZ，然后利用附送的电缆将EVAL-SDP-CB1Z连接到PC的USB端口。

检测到评估系统后，确认出现的所有对话框。这样就完成了安装。

设置与测试

有关使用软件和运行测试的完整详细信息，请参考UG-478用户指南。

图7显示测试设置的功能框图。

若要测试图1中的电路，硬件需要经过下文所述的微小改变：

- 信号从位于J8端子板上的A2和A3输入端输入到AD8475。
- 改变连接到位置C的SL9和SL10焊点，可将来自J8的A2和A3信号路由至AD8475输入端。
- 安装10 Ω (0603)阻值的R64和R74，将AD8475输出连接至AD7176-2的AIN2和AIN3引脚。
- 移除板卡底部的R110和R120电阻(如UG-478用户指南中所示)。

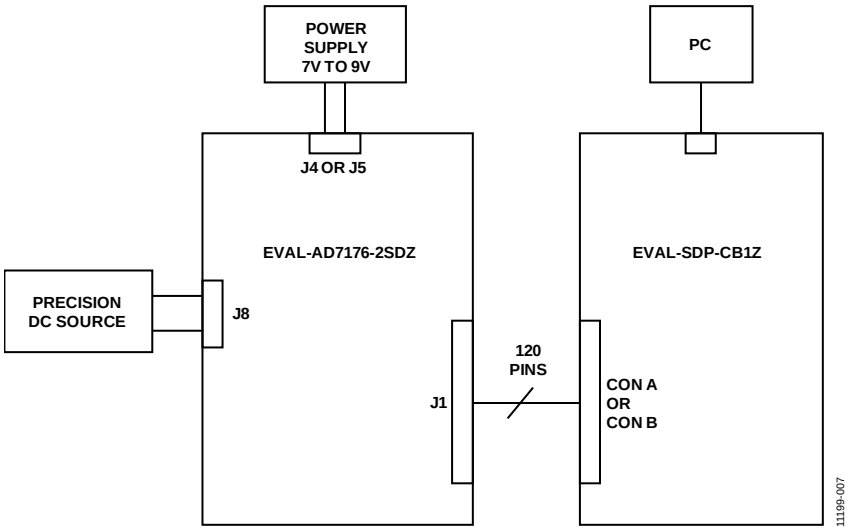


图7. 测试设置功能框图

更多资料

CN-0310设计支持包：
http://www.analog.com/CN0310-DesignSupport

UG-478：*AD7176-2评估板—24位、250 kSPS Σ-Δ型ADC，建立时间20 μs*。

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

教程MT-004：*ADC输入噪声面面观—无噪声是利还是弊?* ADI公司。

教程MT-022：*ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础*。ADI公司。

教程MT-023：*ADC架构IV：Σ-Δ型ADC的高级概念和应用*。ADI公司。

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

教程MT-074：*精密ADC用差分驱动器*。ADI公司。

教程MT-075：*高速ADC用差分驱动器概述*。ADI公司。

教程MT-076：*差分驱动器分析*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

AD7176-2数据手册

EVAL-AD7176-2SDZ、AD7176-2评估板

AD8475数据手册和评估板

ADR445数据手册

修订历史

2013年12月—修订版0至修订版A

更改标题 1

2012年11月-版本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.

©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11199sc-0-12/13(A)



www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0313。

连接/参考器件	
ADM3485E	±15 kV ESD保护、3.3 V、12 Mbps、EIA RS-485收发器

EMC COMPLIANT RS-485收发器保护电路

评估和设计支持

电路评估板

CN-0313电路评估板(EVAL-CN0313-SDPZ)

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所示电路使用ADM3485E收发器，是经过验证并测试的电磁兼容性(EMC)解决方案，可为使用广泛的RS-485通信端口提供三重保护。每个解决方案都经过测试和特性表征，确保收发器和保护电路元件之间的动态交互能够协同工作，保护它们免遭静电放电(ESD)、电快速瞬变脉冲群(EFT)和电涌的破坏——分别由IEC 61000-4-2、IEC 61000-4-4和IEC 61000-4-5标准定义。本电路使用ADM3485E提供经过验证的RS-485接口ESD、EFT和电涌(常见于恶劣工作环境)保护。

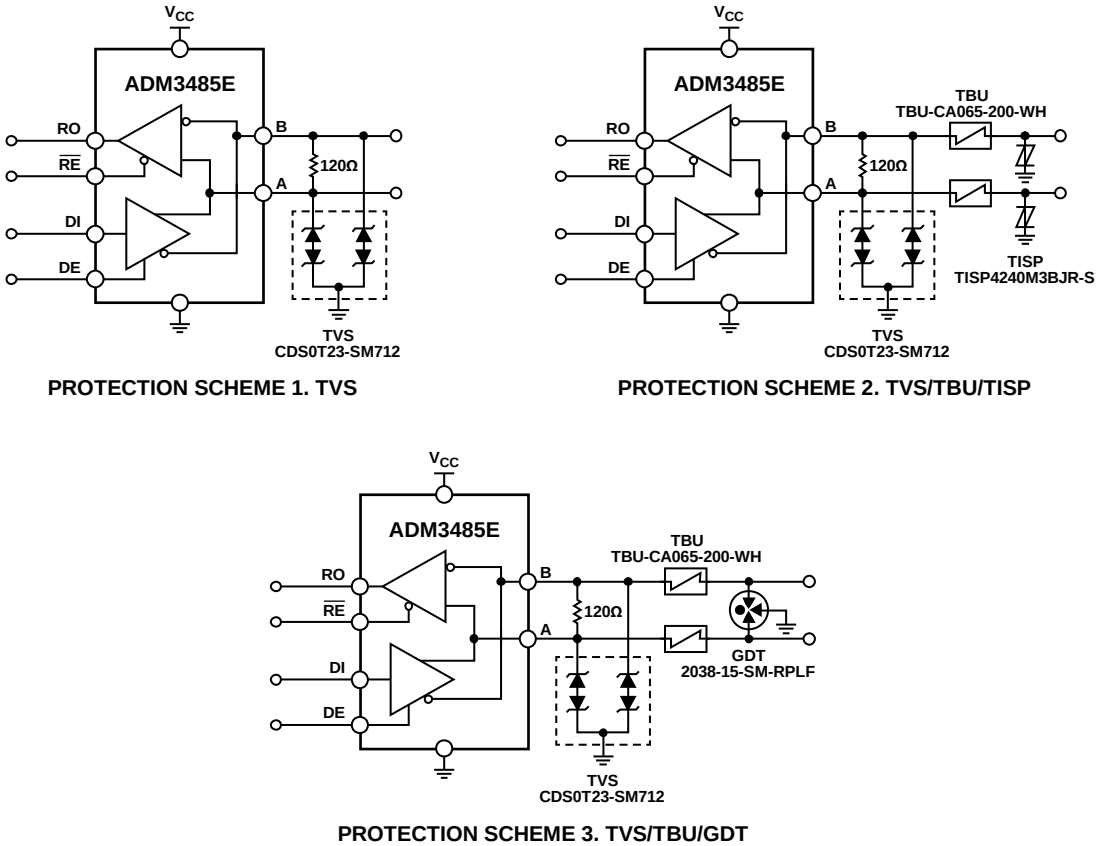


图1. 三个EMC兼容ADM3485E保护电路(原理示意图，未显示所有连接)

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

在工业和仪器仪表应用中，RS-485总线标准是使用最广泛的物理层总线设计标准之一。RS-485提供多个系统之间的差分数据传输，这些系统通常相距很远。RS-485的应用包括：过程控制网络、工业自动化、远程终端、楼宇自动化(例如，暖通空调(HVAC)、保安系统)、电机控制和运动控制。

在这些实际的系统中，雷击、电源波动、感应开关和静电放电会通过产生较大瞬变电压对通信端口造成损害。设计人员必须确保设备不仅能在理想条件下工作，而且能够在实际可能遇到的恶劣环境下正常工作。为了确保这些设计能够在电气条件恶劣的环境下工作，必须符合EMC规范。

许多EMC的问题并不简单，且不易呈现，因此必须在产品开发周期的初级阶段即将其考虑在内。正确的解决方案和保护电路必须作为整体设计的一部分，而非留到最后一刻。保护电路必须集成特定收发器生产商的输入和输出结构，作为设计的组成部分。

IEC 61000规范定义了一组EMC耐受性要求。在这组规范中，设计人员必须考虑数据通信线路的下列三类高压瞬变：

- IEC 61000-4-2静电放电(ESD)
- IEC 61000-4-4电快速瞬变脉冲群(EFT)
- IEC 61000-4-5电涌耐受

ESD和EFT具有类似的上升时间、脉冲宽度和能耗水平。电涌瞬变具有更长的上升时间和脉冲宽度；其幅度最终可能比ESD或EFT瞬变电能的幅度高3至4个数量级。由于ESD和EFT瞬变的相似性，它们的电路保护设计也相近。但是因为电涌瞬变的电能水平较高，因此必须将它们区别对待。

每款解决方案都向数据端口提供ESD电压(8 kV接触放电和15 kV空气放电)以及2 kV的EFT电压保护。不同的解决方案提供高达6 kV的更高电涌保护等级。电路保护等级列于表1中。

表1. 图1中全部三个保护电路的保护级别

保护方案	ESD	EFT (kV)	浪涌(kV)
1. TVS	接触放电：8 kV； 空气放电：15 kV	2	1
2. TVS/TBU/TISP	接触放电：8 kV； 空气放电：15 kV	2	4
3. TVS/TBU/GDT	接触放电：8 kV； 空气放电：15 kV	2	6

图2显示EVAL-CN0313-SDPZ板的实物照片。电路板上有三个ADM3485E器件，每个器件用于一种保护方案。每种保护方案都提供本文描述的ESD和EFT保护，并提升电涌保护等级。

有关EVAL-CN0313-SDPZ板的完整设计支持包，包括原理图、布局文件和物料清单，请参阅www.analog.com/CN0313-DesignSupport。

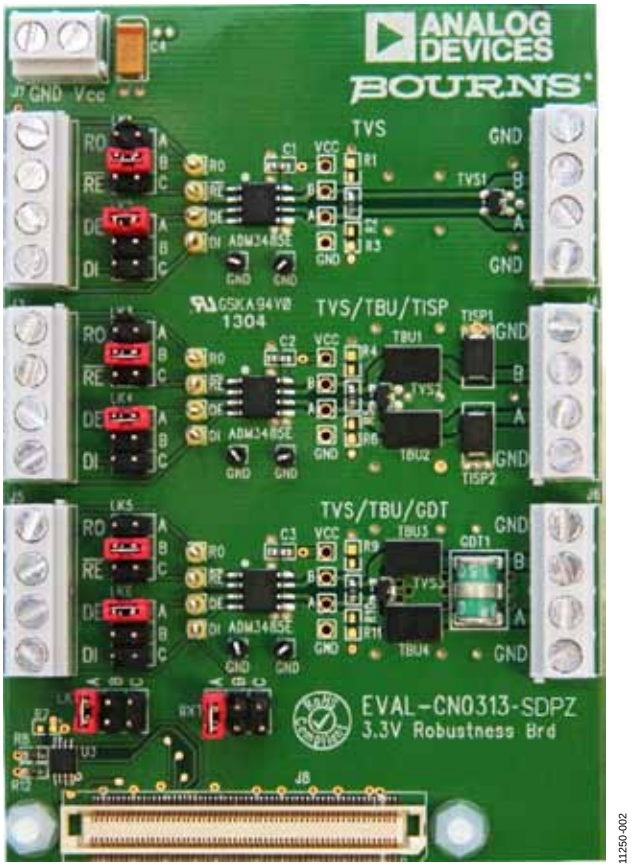


图2. EVAL-CN0313-SDPZ板

ADM3485E是一款3.3 V低功耗数据收发器，适合用于多点传输线路的半双工通信。它的数据速率高达12 Mbps，总线引脚(A和B)上的共模电压范围为−7 V至+12 V。数据通过DI引脚发送出去，通过RO引脚接收。驱动器和接收器的输出都可使能或禁用，即通过改变DE和$\overline{RE}$引脚上的相应逻辑电平，进入高阻抗状态。

电源和接地通过螺旋电缆连接器互相连接(V_{CC}和GND)。该连接器供全部三个ADM3485E器件使用。

DE和$\overline{RE}$逻辑输入通过LK1至LK6设置。对每个ADM3485E而言，LK2、LK4和LK6与DE有关；LK1、LK3和LK5与$\overline{RE}$有关。对每条链路而言，位置A连接逻辑引脚至V_{CC}；位置B连接逻辑引脚至GND；位置C连接逻辑引脚至四引脚侧面螺旋电缆连接器。输入DI和输出RO引脚直接连接四引脚螺旋连接器。

EVAL-CN0313-SDPZ还兼容ADI公司的ezLINX™板(EZLINX-IIIDE-EBZ)，以及系统开发平台(EVAL-SDP-CB1Z)。连接器J8将SDP或ezLINX板上的UART和GPIO接口与ADM3485E器件的逻辑I/O相连。I/O连接和跳线配置如表2所示。

表2. ezLINX和SDP I/O连接、跳线配置

ADM3485E	I/O引脚	SDP/ezLINX连接器	选择
TVS	RO	UART_RX	LK7 (A)
	$\overline{RE}$	GPIO_0	LK1 (C)
	DE	GPIO_3	LK2 (C)
	DI	UART_TX	LK8 (A)
TVS/TBU/TISP	RO	UART_RX	LK7 (B)
	$\overline{RE}$	GPIO_1	LK3 (C)
	DE	GPIO_4	LK4 (C)
	DI	UART_TX	LK8 (B)
TVS/TBU/GDT	RO	UART_RX	LK7 (C)
	$\overline{RE}$	GPIO_2	LK5 (C)
	DE	GPIO_5	LK6 (C)
	DI	UART_TX	LK8 (C)

ADM3485E发送器和接收器共用同样的差分总线引脚(A和B)。保护电路用于保护这些总线引脚。

在第一个保护电路中(**TVS**，如图1所示)，使用了一个元件，即Bourns公司的CDSOT23-SM712。它是EVAL-CN0313-SDPZ上的瞬变电压抑制器(TVS)阵列。它由两个双向TVS二极管组成，经过优化后保护RS-485系统，使其受到尽可能少的过应力，同时支持全范围RS-485信号和共模电压偏移。在正常工作条件下，TVS具有很高的对地阻抗。发生过压情况时，TVS进入雪崩击穿模式，并将引脚电压箝位于安全的预定电平。然后，它将瞬变电流从ADM3485E转移到地。

此保护方案提供高达8 kV(接触放电)和15 kV(空气放电)ESD保护、2 kV EFT保护和1 kV电涌保护。

如CDSOT23-SM712数据手册中所述，该器件专为RS-485设备而设计。以下两个保护方案应用于CDSOT23-SM712，提供针对电涌的更高级电路保护。

在第二个方案中(图1中的**TVS/TBU/TISP**)，CDSOT23-SM712 TVS提供第二级保护，而Bourns公司的TISP4240M3BJR-S提供第一级保护。TISP4240M3BJR-S是一款完全集成式电涌保护器(**TISP**)。TISP是一款固态晶闸管。当超过其预定保护电压时，TISP提供低阻抗接地路径，将大部分瞬变能量从ADM3485E转移开。

Bourns公司的TBU-CA065-200-WH瞬态闭锁单元(**TBU**)是一款非线性过流保护器件，位于第一级和第二级保护器件之间，确保协调工作。TBU是一款过流闭锁器件，在预定电流下开路。在阻隔模式下，它具有很高的阻抗以阻隔瞬变能量。此保护方案提供高达8 kV(接触放电)和15 kV(空气放电)ESD保护、2 kV EFT保护和4 kV电涌保护。

第三级保护方案(图1中的**TVS/TBU/GDT**)工作情况与保护方案2相似。该方案使用气体放电管(GDT)而非TISP。GDT针对比前述TISP保护方案更高的过压和过流提供保护。GDT是气体放电等离子器件，提供低阻抗接地路径以防止过压瞬变。所选GDT为Bourns公司的2038-15-SM-RPLF。

该第三级保护方案提供高达8 kV(接触放电)和15 kV(空气放电)ESD保护、2 kV EFT保护和6 kV电涌保护。

ADM3485E有一个120 Ω引脚与总线引脚相连。

电路评估与测试

为EVAL-CN0313-SDPZ板施加3.3 V至V_{CC}电源。电压可通过每个ADM3485E附近的V_{CC}测试点检查。发送和接收路径可通过连接其中一个ADM3485E电路进行测试，如图3所示。信号或模式发生器可连接到DI。驱动器的输出可通过A和B测试点监控，而接收器的输出可通过RO测试点监控。跳线配置如图3所示。该测试设置可应用于全部三个电路。

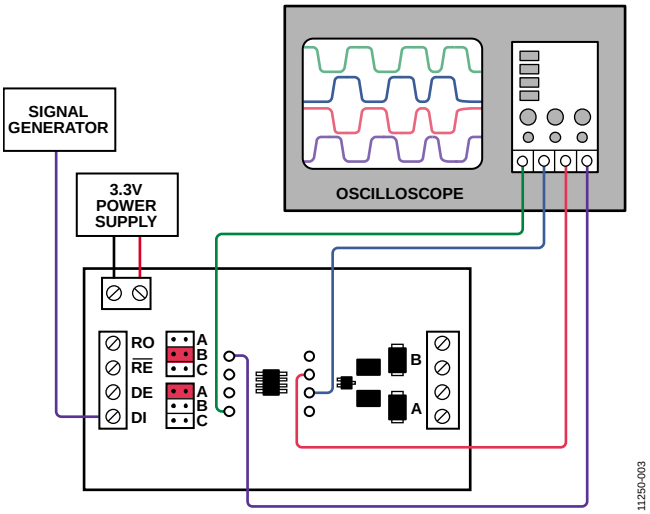


图3. 发送和接收测试设置

根据IEC 61000-4-2，ESD测试需使用两种耦合方法，即接触放电和空气放电。接触放电意味着放电枪与测试端口直接相连。采用空气放电法时，放电枪的放电电极向测试端口移动，直到产生放电并在整个气隙上形成一道弧。向每条总线线路的螺丝端子连接器放电。

对于IEC 61000-4-4 EFT测试，使用容性耦合箝位将EFT突发脉冲耦合至连接总线线路的电缆。箝位的耦合电容值取决于电缆直径、电缆材料和电缆的屏蔽情况。

IEC 61000-4-5电涌测试表示需要使用耦合/去耦网络(CDN)，以便将电涌瞬变耦合至总线引脚。根据规格要求，它必须使用两个80 Ω电阻针对两个端口测试。图4显示电涌测试的测试设置。将CDN连接至A和B引脚，以及将电涌发生器的共模端连接至4个引脚螺旋连接器的接地。

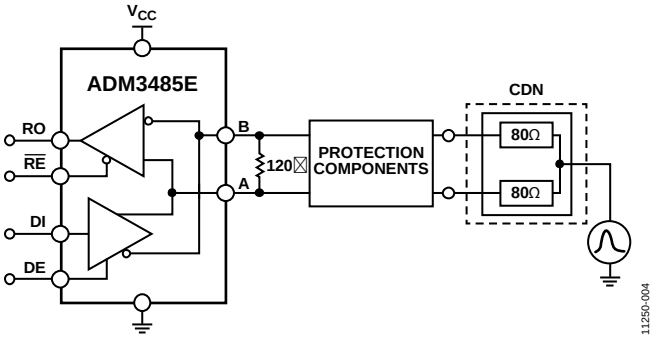


图4. IEC 61000-4-5电涌CDN输入ADM3485E的设置

本文描述的所有保护电路均采用ADM3485E，经过实验室特性表征并通过了外部独立的EMC兼容性测试公司的验证。

有关ezLINX iCoupler®隔离式接口开发环境的更多信息，请参考http://wiki.analog.com/resources/eval/ezlinx。

有关EMC的其他关键问题，请访问 http://www.analog.com/rs485emc。

更多资料

CN-0313设计支持包：
http://www.analog.com/CN0313-DesignSupport

ezLINX™ iCoupler®隔离接口开发环境、ezLINX板快速入门指南

通过认证的EMC兼容RS-485接口设计工具

Marais, Hein。应用笔记AN-960。RS-485/RS-422电路实施指南。ADI公司。

Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 4-2：测试和测量技巧—静电放电抗扰度测试(IEC 61000-4-2)

电磁兼容性(EMC)第4-4节：测试和测量技巧—电快速瞬变/突波抗扰度测试(IEC 61000-4-4)

电磁兼容性(EMC)第4-5节：测试和测量技巧—浪涌抗扰度测试(IEC 61000-4-5)

数据手册和评估板

ADM3485E数据手册

系统开发平台(EVAL-SDP-CB1Z)

ezLINX™ iCoupler®隔离接口开发环境(EZLINX-IIIDE-EBZ)

用户指南UG-400：*ezLINX™ iCoupler®隔离接口开发环境*。ADI公司。

CDSOT23-SM712—表贴TVS二极管数据手册。Bourns

TISP4xxxM3BJ过压保护系列(TISP4240M3BJR-S)数据手册。Bourns

TBU-CA系列—TBU®高速保护器(TBU-CA065-200-WH)数据手册。Bourns

2038系列微型对称三电极表贴气体放电管(2038-15-SM-RPLF)数据手册。Bourns

修订历史

2013年2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.
CN11250sc-0-2/13(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0314。

连接/参考器件	
AD8420	宽电源电压范围、轨到轨输出仪表放大器
ADR02	超紧凑、5.0 V精密基准电压源

采用微功耗仪表放大器的可配置4-20 mA环路供电发射器/接收器

评估和设计支持

电路评估板

CN0314评估板(EVAL-CN0314-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所示电路是基于一款行业领先的微功耗仪表放大器的可配置4 mA至20 mA环路供电发射器。无调整总误差小于1%。既可以用一个开关配置为将差分输入电压转换成电流输出的发射器(图1)，也可配置成将4 mA至20 mA电流输入转换成电压输出的接收器(图5)。

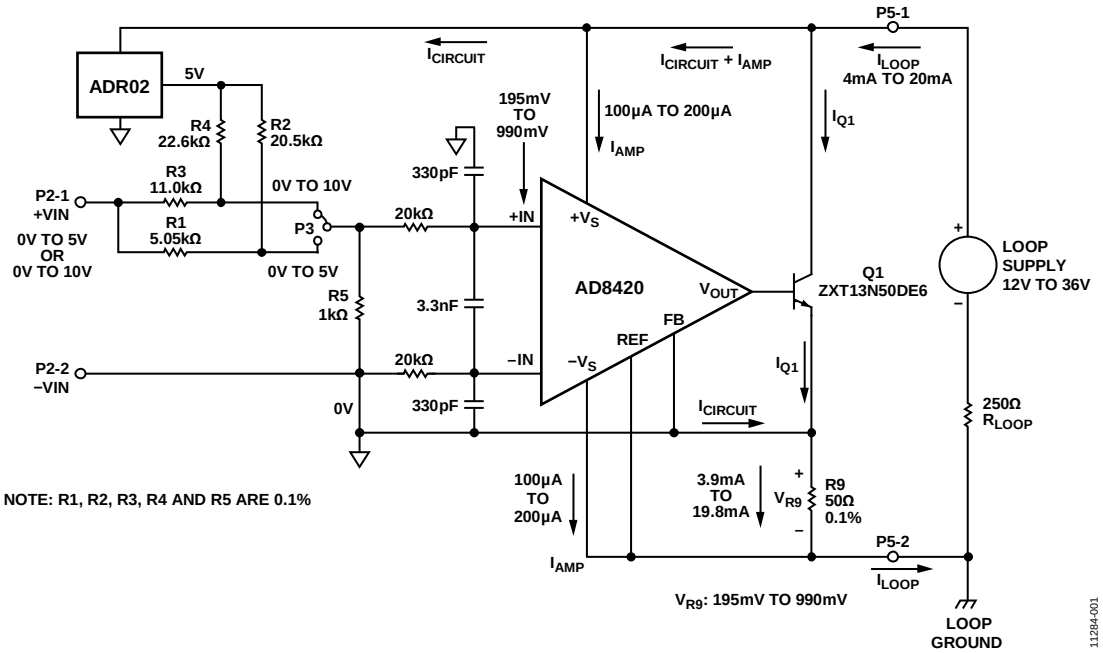


图1. 鲁棒的环路供电型可配置发射器电路(带4 mA至20 mA输出)

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

设计针对精密、低噪声和低功耗工业过程控制应用而优化。作为发射器时，电路可以接受0 V至5V或0 V至10 V的输入电压。作为接收器时，则可提供0.2 V至2.3 V或0.2 V至4.8 V输出电压，与采用2.5 V或5 V基准电压源的ADC兼容。作为发射器时，电源电压范围为12 V至36 V，作为接收器时为7 V至36 V。

由于该电路是可以配置的，因此，单个硬件设计可以同时用作备用发射器和备用接收器，从而降低客户的库存要求。

电路描述

电路搭载AD8420，这是一款基于间接电流反馈架构的仪表放大器。得益于该架构，AD8420拥有出色的输入和输出特性。与传统仪表放大器不同，AD8420可轻松放大等于或略低于地电平的信号而不需要双电源供电。AD8420具有轨到轨输出电压摆幅，完全与输入共模电压无关。这使得AD8420摆脱了大多数传统仪表放大器架构存在的、共模输入和输出电压之间交互作用导致的多种限制。灵活的输入和输出特性，加上微功耗(0 V输入下最大值为80 μA)和宽电源范围，这些特性使AD8420成为灵活低功耗工业应用的理想选择。

发射器配置

图1所示为4mA至20mA发射器配置的简化电路图。电路功耗仅为1 mA左右，非常适合环路供电应用。发射器的输入范围为0 V至5 V和0 V至10 V，可以通过跳线P3选择。然后，将输入电压范围调整至0.195 V至0.990 V，因为AD8420的差分输入电压的上限为±1 V。

AD8420的输入端有一个差模噪声滤波器(40 kΩ/3.3 nF)，带宽为1.2 kHz，还有一个共模噪声滤波器(20 kΩ/330 pF)，带宽为24 kHz。

AD8420的间接电流反馈架构强制放大器的差分输入电压出现在其FB和REF引脚之间。然后，晶体管Q1把0.195 V至0.990 V电压范围转换成3.9 mA至19.8 mA的电流，流过R9 50 Ω检测电阻。

通过R9检测电阻的电流包括电路电流和Q1电流，但不包括AD8420电流I_{AMP}。

AD8420的特有架构使其电源电流具有可预测性，当在+IN和−IN之间施加0.195 V至0.990 V的输入电压时，其范围在100 μA至200 μA之间。该电源电流会增加通过R9的电流，使总输出环路电流增至4 mA至20 mA。因此，环路中的总电流可通过以下等式得到：

$$I_{LOOP} = I_{AMP} + I_{R9}$$

若要使电路正常工作，电路总电源电压必须大于7 V，以便为ADR02基准电压源提供充分的裕量。

$$V_{LOOP\ SUPPLY} > 7\ V + R_{Load} I_{Loop(max)}$$

对于250 Ω的R_{LOOP}，

$$V_{LOOP\ SUPPLY} > 7\ V + (250\ \Omega)(20\ mA)$$

因此，

$$V_{LOOP\ SUPPLY} > 12\ V$$

环路电源电压同样限值为36 V(最大值)。

AD8420的一个优势是其高阻抗基准电压源引脚，该引脚无需通过额外的运算放大器来驱动，从而减少了发射器电路的功耗、成本和空间要求。

为了使环路正常工作，电路板地和环路地不得相连，除非需要R9(50 Ω检测电阻)。

调整电阻的选择

AD8420的差分输入电压范围限值为±1V(最大值)。因此，为了能接受更高的工业输入电压范围，电路采用调整电阻网络将0 V至5 V或0 V至10 V输入转换成0.195 V至0.990 V。下列等式利用节点分析法来求得电路中R1、R2、R3和R4的值：

$$\frac{VIN_{MIN} - 0.195\ V}{R1} + \frac{V_{REF} - 0.195\ V}{R2} = \frac{0.195\ V}{R5} \quad (1)$$

$$\frac{VIN_{MAX} - 0.990\ V}{R1} + \frac{V_{REF} - 0.990\ V}{R2} = \frac{0.990\ V}{R5} \quad (2)$$

其中：

$V_{REF} = 5\ V$

$R5 = 1\ k\Omega$

对于0 V至5 V的输入范围，从等式1和等式2可分别得到等式3和等式4。

$$\frac{0\ V - 0.195\ V}{R1} + \frac{5\ V - 0.195\ V}{R2} = \frac{0.195\ V}{1\ k\Omega} \quad (3)$$

$$\frac{5\ V - 0.990\ V}{R1} + \frac{5\ V - 0.990\ V}{R2} = \frac{0.990\ V}{1\ k\Omega} \quad (4)$$

利用等式3和等式4求出R1和R2的值：

$R1 = 5044\ \Omega$

$R2 = 20564\ \Omega$

对于0 V至10 V的输入范围，从等式1和等式2可分别得到等式5和等式6。

$$\frac{0\ V - 0.195\ V}{R3} + \frac{5\ V - 0.195\ V}{R4} = \frac{0.195\ V}{1\ k\Omega} \quad (5)$$

$$\frac{10\ V - 0.990\ V}{R3} + \frac{5\ V - 0.990\ V}{R4} = \frac{0.990\ V}{1\ k\Omega} \quad (6)$$

同样，求得相应调整电阻的值：

$R3$ =11088 Ω

$R4$ =22603 Ω

EVAL-CN0314-EB1Z板提供的电阻如下：实际电路中，必须选择最接近EIA标准的0.1%电阻，因此可得固定失调误差。

$R1$ = 5050 Ω且R2 = 20500 Ω

$R3$ = 11000 Ω且R4 = 22600 Ω

有了随电路板提供的这些值，就可以利用以下等式算出这些电阻值导致的失调误差：

对于0 V至5 V输入，VREF = 5 V，R1 = 5.05 kΩ，R2 = 20.5 kΩ，且R5 = 1 kΩ。

失调误差 (%FSR) =

$$\left[\frac{(R1)(R2)(R5)\left(\frac{VIN}{R1}+\frac{VREF}{R2}\right)}{[(R1)(R2)+(R2)(R5)+(R1)(R5)]50\,\Omega}-IQ1(ideal)}{16\text{ mA}}\right]\times 100\% \quad (7)$$

失调误差 (%FSR) = 0.078%，其中，VIN = 0 V；IQ1 = 3.9 mA

失调误差 (%FSR) = –0.033%，其中，VIN = 5 V；IQ1 = 19.8 mA

结果，对于0 V至10 V输入，VREF = 5 V，R3 = 11 kΩ，R4 = 22.6 kΩ，且 R5 = 1 kΩ

失调误差 (%FSR) =

$$\left[\frac{(R3)(R4)(R5)\left(\frac{VIN}{R3}+\frac{VREF}{R4}\right)}{[(R3)(R4)+(R4)(R5)+(R3)(R5)]50\,\Omega}-IQ1(ideal)}{16\text{ mA}}\right]\times 100\% \quad (8)$$

失调误差 (%FSR) = –0.013%，其中，VIN = 0 V；IQ1 = 3.9 mA

失调误差 (%FSR) = 0.718%，其中，VIN = 10 V；IQ1 = 19.8 mA

为了最大限度地减小该失调误差，可使用两个0.1%电阻组合，以便更接近算出的电阻值。

总发射器电路精度

对电阻容差导致的总误差的合理近似推算是假设每个关键电阻对总误差贡献都相等。四个关键电阻为R1或R3、R2或R4、R5和R9。0.1%电阻导致的最差情况下的容差可造成0.4%总电阻误差最大值。若假定rss误差，则总rss误差为0.1 √4 = 0.2%。

因系统中有源元件导致的最大误差和rss误差(AD8420使用A级，ADR02使用B级)如下表所示。

表1. 有源元件导致的误差

误差元件	误差	误差值	误差(%FSR)
AD8420-A	失调	250 µV	0.03%
ADR02-B	失调	0.06%	0.015%
RSS FS误差			0.034%
最大FS误差			0.045%

将有源元件失调导致的最差情况误差加上最差情况电阻容差误差0.4%，结果得到：

满量程误差 = 0.4% + 0.045% = 0.445%

这些误差假定选用理想电阻，同时假定，这些误差来源于其容差。

电路的实际误差数据见图3和图4，其中，环路电源电压=25V。总输出误差(%FSR)通过将实测输出电流与理想输出电流的差除以FSR (16 mA)，然后将计算结果乘以100即可算出。

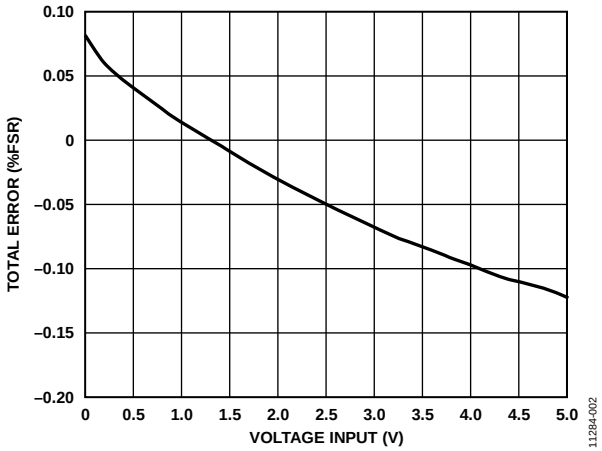


图2. 总发射器误差(% FSR)与输入电压(范围：0 V至5 V)的关系

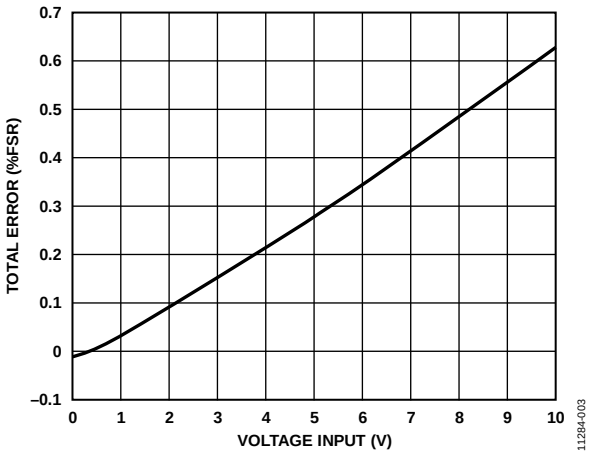


图3. 总发射器误差(% FSR)与输入电压(范围：0 V至10 V)的关系

接收器配置

图4所示为简化的接收器配置。接收器电路将电流信号转换成电压电平，该电平与采用2.5 V或5 V基准电压源的多数单端输入ADC相兼容。

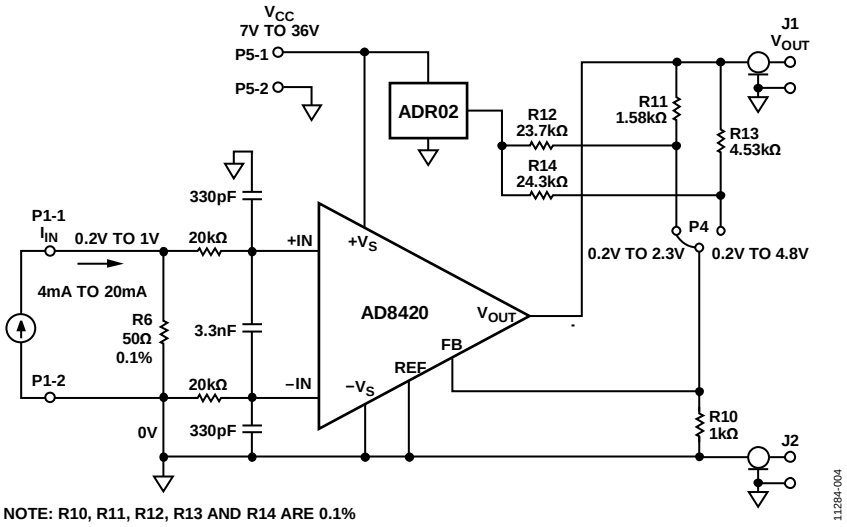


图4. 4 mA至20 mA接收器配置的简化原理图。

电阻R6用于检测4 mA至20 mA信号，并将其转换成0.2 V至1 V的输入电压以提供给放大器。然后，输入电压反射过放大器的FB和REF引脚。不同于输出电压范围为1 V至5 V的多数直接增益接收器，电路采用ADR02和增益及调整电阻来提高0.2 V至4.8 V的输出范围。这使采用5 V基准电压源的ADC的输入动态范围实现了最大化。结果带来的额外裕量为整个输入信号范围提供了线性度保障。接收器电路也可以用跳线P4进行配置，以便为采用2.5 V基准电压源的ADC提供0.2 V至2.3 V的输出电压。

不同于许多其他单电源仪表放大器，对于这种应用，AD8420的关键优势在于，它可以检测近地电流，而不会超过输入范围，也不会遇到共模限制。另外，AD8420还具有增益和电平转换能力，不会像简单的电阻分压器一样浪费ADC输入范围。

增益和调整电阻的选择

AD8420的增益一般通过两个电阻(R11和R10)的比值来设定。然而，电路采用ADR02以利用被低端直接增益浪费的20%的额外范围。以下等式展示了如何获得针对目标输出电压范围的增益值和调整电阻值。

$$\frac{VOUT_{MIN} - 0.200\ \text{V}}{R11} + \frac{VREF - 0.200\ \text{V}}{R12} = \frac{0.200\ \text{V}}{R10} \quad (9)$$

$$\frac{VOUT_{MAX} - 1\ \text{V}}{R11} + \frac{VREF - 1\ \text{V}}{R12} = \frac{1\ \text{V}}{R10} \quad (10)$$

其中：

$VREF = 5\ \text{V}$

$R10 = 1\ \text{k}\Omega$

对于0.2 V至2.3 V的输出范围：

$$\frac{0.2\ \text{V} - 0.200\ \text{V}}{R11} + \frac{5\ \text{V} - 0.200\ \text{V}}{R12} = \frac{0.200\ \text{V}}{1\ \text{k}\Omega} \quad (11)$$

$$\frac{2.3\ \text{V} - 1\ \text{V}}{R11} + \frac{5\ \text{V} - 1\ \text{V}}{R12} = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{k}\Omega} \quad (12)$$

我们可以得到电阻值：

$R11 = 1560\ \Omega$

$R12 = 24000\ \Omega$

对于0.2 V至4.8 V的输出范围：

$$\frac{0.2\ \text{V} - 0.200\ \text{V}}{R13} + \frac{5\ \text{V} - 0.200\ \text{V}}{R14} = \frac{0.200\ \text{V}}{1\ \text{k}\Omega} \quad (13)$$

$$\frac{4.8\ \text{V} - 1\ \text{V}}{R13} + \frac{5\ \text{V} - 1\ \text{V}}{R14} = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{k}\Omega} \quad (14)$$

有

$R13 = 4560\ \Omega$

$R14 = 24000\ \Omega$

电路板上提供的电阻是值最接近EIA标准0.1%的电阻，可从供应商处取得。因此，电路板随附电阻的实际值如下：

R11 = 1580 Ω且R12 = 23700 Ω

R13 = 4530 Ω且R14 = 24300 Ω

根据电路板提供的这些值，电阻值引起的误差可计算如下：

对于0.2 V至2.3 V的输出范围，VREF = 5 V，R11 = 1580 Ω，R12 = 23700 Ω，且R10 = 1 kΩ。

$$\text{失调误差 (\%FSR)} = \left[\frac{VFB\left(1 + \frac{R11}{R10} - \frac{R11}{R12}\right) - VREF\left(\frac{R11}{R12}\right) - V_{OUT_IDEAL}}{V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}}\right] \times 100\% \quad (15)$$

失调误差(%FSR) = −0.190%，其中，VFB = 0.2 V；V_{OUT_IDEAL} = 0.2 V

失调误差(%FSR) = 0.635%，其中，VFB = 1 V；V_{OUT_IDEAL} = 2.3 V

对于0.2 V至4.8 V的输出范围，VREF = 5 V，R13 = 4530 Ω，R14 = 24300 Ω，且R10 = 1 kΩ。

$$\text{失调误差 (\%FSR)} = \left[\frac{VFB\left(1 + \frac{R13}{R10} - \frac{R13}{R14}\right) - VREF\left(\frac{R13}{R14}\right) - V_{OUT_IDEAL}}{V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}}\right] \times 100\% \quad (16)$$

失调误差(%FSR) = 0.243%，其中，VFB = 0.2 V；V_{OUT_IDEAL} = 0.2 V

失调误差(%FSR) = −0.341%，其中，VFB = 1 V；V_{OUT_IDEAL} = 4.8 V

也可使用两个0.1%电阻组合，以便更接近计算值，从而最大限度地减小该失调误差。

总接收器电路精度

对电阻容差导致的总误差的合理近似推算是假设每个关键电阻对总误差贡献都相等。四个关键电阻为R11或R13、R12或R14、R6和R10。0.1%电阻导致的最差情况下的容差可造成0.4%总电阻误差最大值。若假定rss误差，则总rss误差为$0.1\sqrt{4} = 0.2\%$。

因系统中有源元件导致的最大误差和rss误差(AD8420使用A级，ADR02使用B级)如下表所示。

表2. 有源元件导致的误差

误差元件	误差	误差值	误差(%FSR)
ADR02-B	失调	0.06%	0.01%
AD8420-A	失调	250 µV	0.01%
AD8420-A	增益	0.05%	0.05%
RSS FS失调			0.014%
RSS FS增益			0.05%
RSS FS误差			0.064%
最大FS失调			0.02%
最大FS增益			0.05%
最大FS误差			0.07%

给因有源元件导致的最差情况误差加上最差情况电阻容差误差0.4%，结果得到：

满量程误差 = 0.4% + 0.07% = 0.47%

这些误差假定选用理想电阻，同时假定，这些误差来源于其容差。

接收器电路的实际误差数据见图5和图6，其中，V_{CC} = 25 V。总输出误差(%FSR)通过将实测输出电压与理想输出电流的差除以输出电压的FSR，然后将计算结果乘以100即可算出。

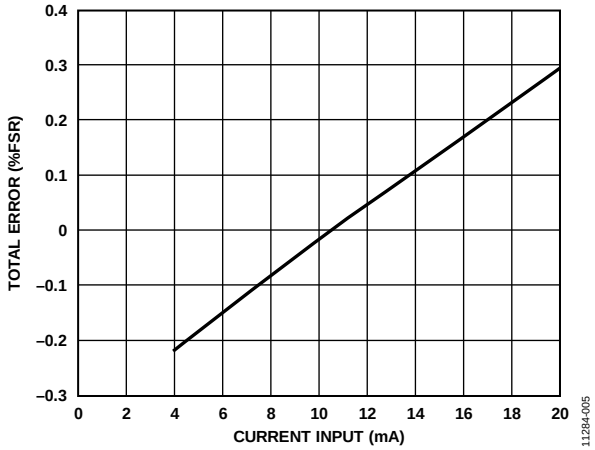


图5. 总接收器误差(%FSR)与输入电流(范围：4 mA至20 mA)在0.2 V至2.3 V输出范围下的关系

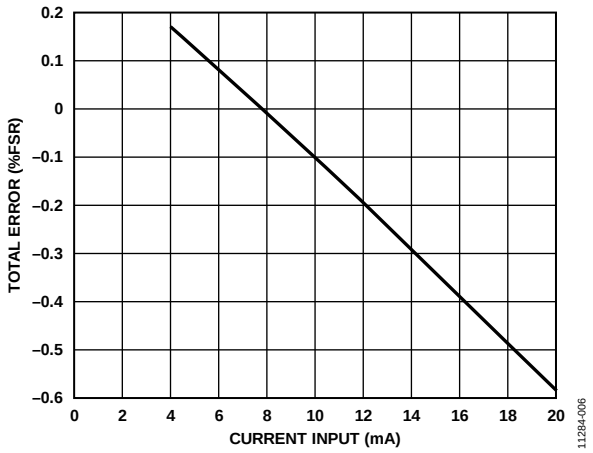


图6. 总接收器误差(%FSR)与输入电压(范围：4 mA至20 mA)在0.2 V至4.8 V输出范围下的关系

有关EVAL-CN0314-EB1Z发射器/接收器板的设计支持包(包括完整的原理图、物料清单和布局文件)，请参考：http://www.analog.com/CN0314-DesignSupport。

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。可在该配置中使用其他基准电压和仪表放大器，以适应该电路的其他应用。

AD8237是一款微功耗、零漂移、真正轨到轨仪表放大器，也可用于本电路配置的低电源电压版本。

针对低电流电压应用，可使用高精度、低功耗、低噪声基准电压源ADR4550来代替ADR02。

电路评估与测试

设备要求

- EVAL-CN0314-EB1Z评估板
- Agilent E3631A双直接电源(或等效设备)
- Yokogawa 2000双直接电源(或等效设备)
- Agilent 3458精密万用表(或等效设备)

测试设置配置和测试

电路通过图7和图8所示测试设置进行了测试。Agilent 3631A设为25 V，作为评估板的电源。Agilent 3458万用表用于测量评估板的实际电流或电压输出。EVAL-CN0314-EB1Z的照片如图9所示。

对于发射器配置测试设置(图8)，利用一个Yokogawa 2000精密直流源来产生0 V至5 V或0 V至10 V的差分输入范围。S1开关必须置于“V-I”位，以将电路配置为发射器。

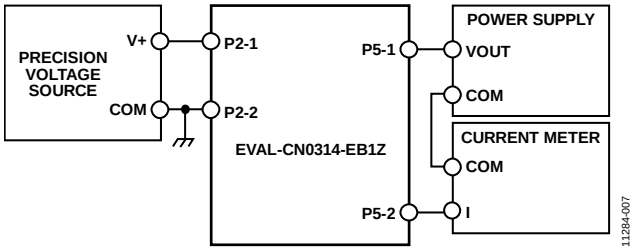


图7. 发射器测试设置的功能框图

对于接收器配置测试设置(图9)，利用第二块EVAL-CN0314-EB1Z来产生4 mA至20 mA的输入电流。如果需要可以使用精密电流源。S1开关必须置于“I-V”位，以将电路配置为接收器。

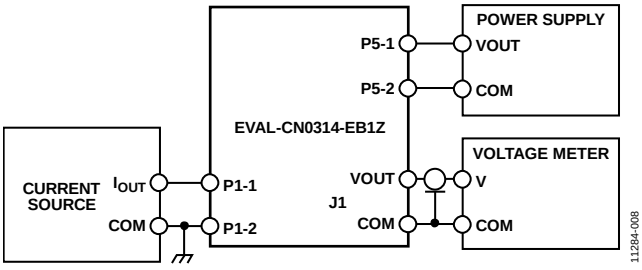


图8. 接收器测试设置的功能框图



图9. EVAL-CN0314-EB1Z板的照片

针对4 mA至20 mA发射器的开关和跳线设置

对于如图1所示发射配置，开关S1应置于“V-I”位。对于0 V至10 V的输入范围，跳线P3应置于“0–10V”位，对于0 V至5 V的输入范围，则应置于“0–5V”位。同时参见图9所示评估板照片。

针对4 mA至20 mA接收器的开关和跳线设置

对于如图4所示接收器配置，开关S1应置于“I-V”位。对于0.2 V至2.3 V的输入范围，跳线P4应置于“0.2-2.3V”位，对于0.2 V至4.8 V的输入范围，则应置于“0.2-4.8V”位。同时参见图9所示评估板照片。

更多资料

CN-0314设计支持包：
http://www.analog.com/CN0314-DesignSupport

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

教程MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-065：*仪表放大器噪声*。ADI公司。

教程MT-066：*仪表放大器桥电路误差预算分析*。ADI公司。

教程MT-087：*基准电压源*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

基准电压源向导设计工具。

数据手册和评估板

CN-0314电路评估板(EVAL-CN0314-EB1Z)

AD8420数据手册

ADR02数据手册

修订历史

2014年3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.

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11284sc-0-3/14(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0318。

连接/参考器件	
AD5760	超稳定、16位、电压输出型DAC
AD8675/ AD8676	超高精度、36 V、2.8 nV/√Hz、单通道/双通道、轨到轨输出运算放大器
ADR4550	超低噪声、高精度5 V基准电压源

16位、线性、超稳定、低噪声、双极性、±10 V直流电压源

评估和设计支持

电路评估板

AD5760电路评估板(EVAL-AD5760SDZ)

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16位、超稳定、低噪声、精密、双极性、±10 V电压源，仅需搭配最少数量的精密外部元件。

AD5760电压输出DAC(B级)的积分非线性(INL)最大值为±0.5 LSB，差分非线性(DNL)最大值为±0.5 LSB。

完整系统具有低于0.1 LSB的峰峰值噪声和漂移，以100秒时间间隔进行测量。该电路适用于医疗仪器、测试和测量，以及需要精密低漂移电压源的工业控制应用中。

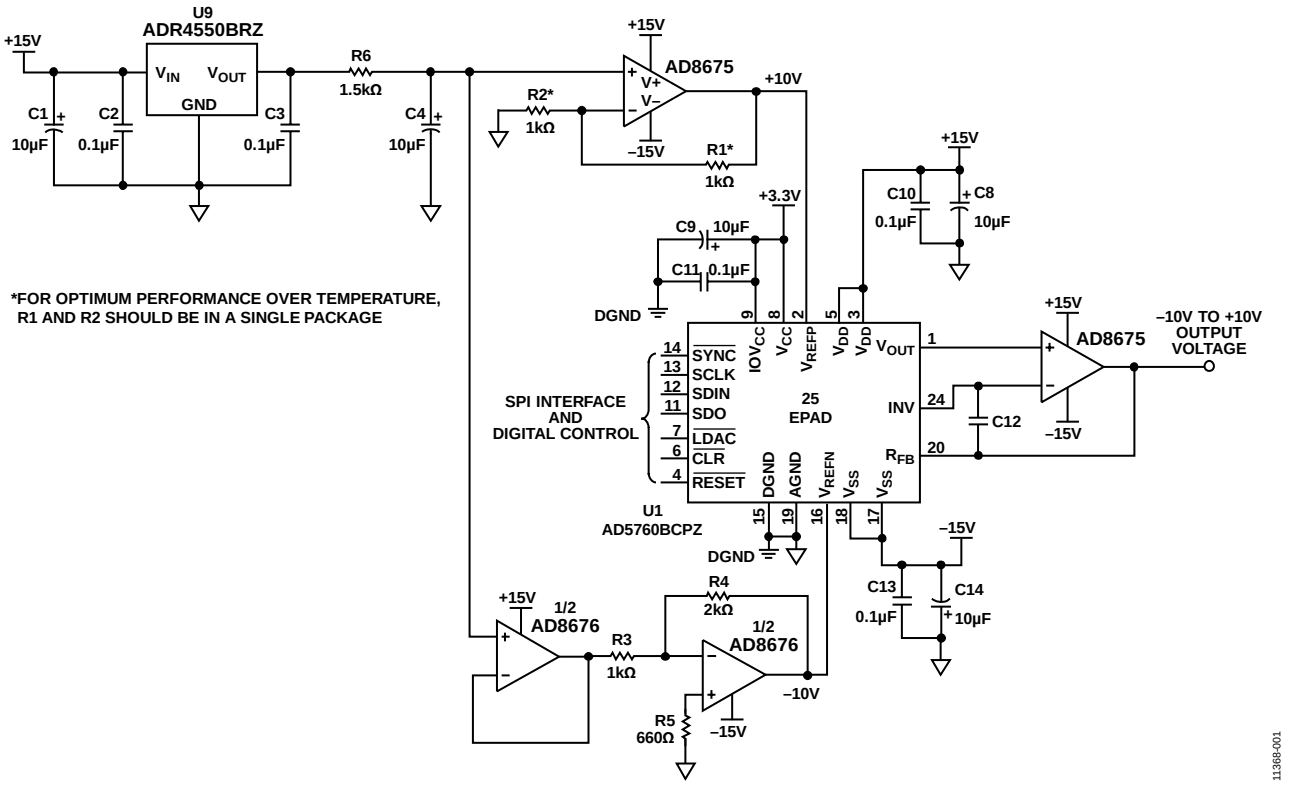


图1. 16位精密±10 V电压源(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

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.cn
Fax: 781.461.3113
©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

图1所示电路基于真16位、无缓冲电压输出DAC AD5760，采用最高33 V双极性电源供电。AD5760的正基准电压输入范围为5 V至V_{DD} − 2.5 V，负基准电压输入范围为V_{SS} + 2.5 V至0 V，相对精度最大值为±0.5 LSB，保证工作单调性，差分非线性(DNL)最大值为±0.5 LSB。AD5760输出噪声为8 nV/√Hz，还具有极高的长期线性误差稳定性(0.00625 LSB)。

图1显示AD5760配置为带有放大器输入偏置电流补偿的单位增益模式，可产生对称的双极性输出电压范围。此工作模式采用外部输出运算放大器和片内电阻(参见AD5760数据手册)来提供输入偏置电流补偿。这些内部电阻相互之间以及与DAC梯形电阻之间均热匹配，因而可实现比率热跟踪。

精密运算放大器AD8675具有低失调电压(最大值75 μV)和低噪声(典型值2.8 nV/√Hz，0.1 μV p-p，0.1 Hz至10 Hz)特性，是AD5760的最佳输出缓冲器。AD5760具有两个内部匹配的6.8 kΩ前馈和反馈电阻，它们既可以连接到运算放大器AD8675以提供10 V失调电压，从而实现±10 V输出摆幅，也可以并行连接以提供偏置电流消除功能。本例显示±10 V双极性输出，电阻用于偏置电流消除功能。内部电阻连接通过设置AD5760控制寄存器中的相关位来控制(参见AD5760数据手册)。

ADR4550是高精度基准电压源，提供出色的温度稳定性(最大值2 ppm/°C，B级)和超低输出电压噪声(2.8 μV p-p，0.1 Hz至10 Hz)。这些特性使其成为AD5760的理想基准电压源。

为了获得±10 V输出电压范围，使用AD8675和AD8676(双通道AD8675)将ADR4550的+5 V基准电压放大至±10 V(如图1所示)。

输出缓冲器同样采用AD8675，它具有低噪声和低漂移特性。此放大器与AD8676(AD8675的双通道版本)共同将低噪声ADR4550的+5 V基准电压分别放大至+10 V和-10 V。此增益电路中的R1、R2、R3和R4为精密金属薄片电阻，其容差和温度系数电阻分别为0.01%和0.6 ppm/°C。R6和C4构成低通滤波器，截止频率大约为10 Hz。该滤波器用于衰减基准电压源噪声。

如有需要，可使用单个双通道放大器AD8676代替电路中的两个运算放大器AD8675。然而，EVAL-AD5760SDZ板设计用于提供输出级灵活性，因此本例中选择两个运算放大器AD8675。

该电路的数字输入采用串行输入，并与标准SPI、QSPI、MICROWIRE®和DSP接口标准兼容。

线性度测量

利用Agilent 3458A万用表，在EVAL-AD5760评估板上演示图1所示电路的精密性能。图2显示积分非线性与DAC代码具有函数关系，且位于± 0.5 LSB的规格范围内。

图3显示差分非线性与DAC代码具有函数关系，且位于±0.5 LSB的规格范围内。

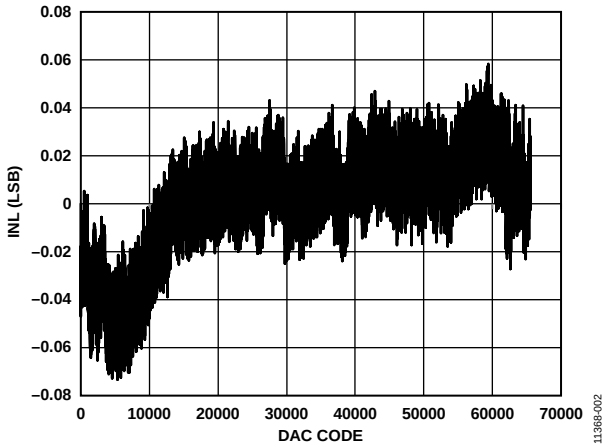


图2. 积分非线性与DAC码的关系

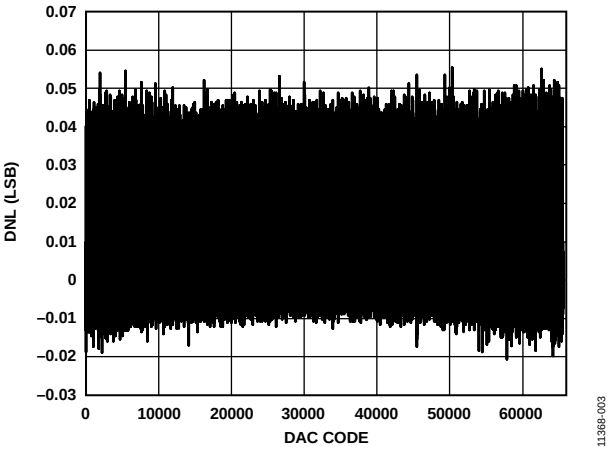


图3. 微分非线性与DAC码的关系

噪声漂移测量

要实现高精度，电路输出端的峰峰值噪声必须维持在1 LSB以下，对于16位分辨率和+10 V单极性电压范围为152 μV，而对于20 V峰峰值电压范围则为305 μV。

实际应用中不会在0.1 Hz处有高通截止频率来衰减1/f噪声，但会在其通带中包含低至直流的频率；因此，测得的峰峰值噪声对于+10 V单极性电压范围如图4所示，而对于±10 V双极性电压范围则如图5所示。两种情况下，电路输出端的噪声是在100秒内测得的，测量充分涵盖低至0.01 Hz的频率。

图4显示10 V输出范围内的信号链噪声性能(1 LSB = 152 μV)。将AD5760的V_{REFN}输入接地即可得到10 V范围。

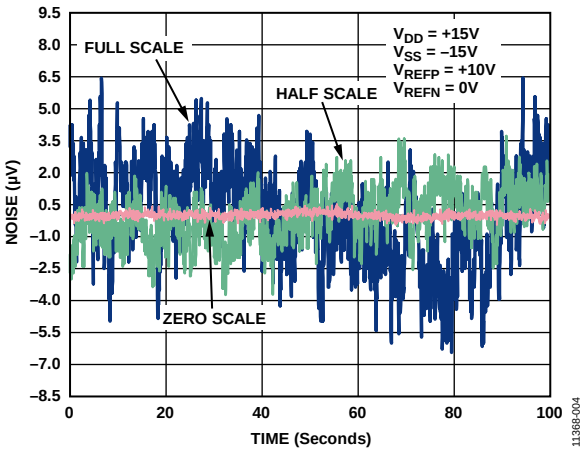


图4. 使用ADR4550基准电压源和10 V峰峰值单极性输出电压范围，100秒内测得的DAC输出电压噪声：满量程(蓝色)、中间电平(绿色)和零电平(红色)

图4中10 V范围的峰峰值输出噪声总结如下：

- 零电平 = 0.96 μV p-p = 0.006 LSB p-p
- 中间电平 = 7.46 μV p-p = 0.05 LSB p-p
- 满量程 = 12.88 μV p-p = 0.08 LSB p-p

零电平输出电压的噪声最低，此时噪声仅来自DAC内核，这仅仅是由于V_{REFN}输入接地。选择零电平码时，DAC会衰减各基准电压路径的噪声贡献。

频率较低时，温度漂移和热电偶效应会变成误差源。通过选择热系数较小的器件可以将上述效应降至最小。在此电路中，低频1/f噪声的主要来源是基准电压源。另外，基准电压源的温度系数值也是电路中最大的，为2 ppm/°C。

图5显示20 V输出范围内的信号链噪声性能(1 LSB = 305 μV)。

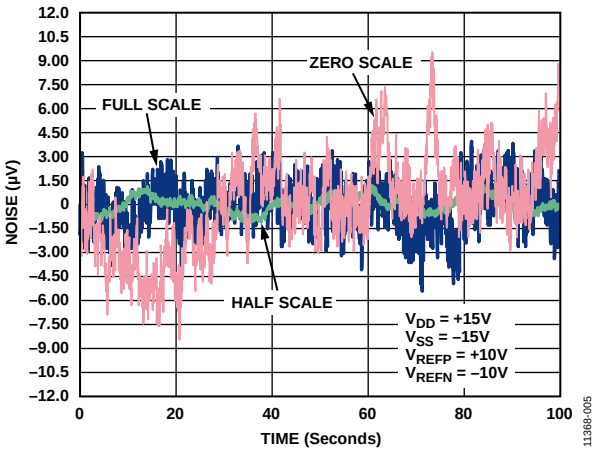


图5. 使用ADR4550基准电压源和20 V峰峰值双极性输出电压范围，100秒内测得的DAC输出电压噪声：满量程(蓝色)、中间电平(绿色)和零电平(红色)

图5中20 V范围的峰峰值噪声总结如下：

- 零电平 = 18 μV p-p = 0.06 LSB p-p
- 中间电平 = 2.47 μV p-p = 0.008 LSB p-p
- 满量程 = 9.22 μV p-p = 0.03 LSB p-p

中间电平时具有最低的噪声，因为DAC内核在该电平位置具有针对基准电压源的最大衰减。

零电平时的噪声大于满量程时的噪声，因为负基准电压通过额外的缓冲器级。

欲查看完整原理图和印刷电路板的布局，请参见CN-0318设计支持包：www.analog.com/CN0318-DesignSupport

常见变化

AD5760支持各种不同的输出范围，从0 V至+5 V、最高±10 V以及该范围内的任意值。如图1所示，带有放大器输入偏置补偿的单位增益模式可用于对称或非对称输出范围——在V_{REFP}和V_{REFN}端施加所需基准电压即可。将AD5760内部控制寄存器的RBUF位设为逻辑1，即可选定这些单位增益模式。增益2配置可在单端基准电压源输入需要对称输出范围时使用(V_{REFN} = 0 V)。将AD5760内部控制寄存器的RBUF位设为逻辑0，便可选择这种模式。

如有需要，可使用双通道AD8676代替两个运算放大器AD8675。

电路评估与测试

设备要求

- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- EVAL-AD5760SDZ评估板和软件
- Agilent 3458A万用表
- PC(Windows 32位或64位操作系统)
- National Instruments GPIB转USB-B接口电缆
- SMB电缆(1)

软件安装

AD5760评估套件包括一张光盘，其中含有自安装软件。该软件兼容Windows XP (SP2)和Vista(32位和64位)。如果安装文件未自动运行，可以运行光盘中的setup.exe文件。完整的硬件和软件设置步骤请参见用户指南UG-436。

请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

1. 光盘文件安装完毕后，按照用户指南UG-436中的描述为AD5760评估板接通电源。将SDP板(通过连接器A或连接器B)连接到AD5760评估板，然后利用附送的电缆连接到PC的USB端口。
2. 检测到评估系统后，确认出现的所有对话框。这样就完成了安装。

功能框图

测试配置的功能框图如图7所示。

电源

必须提供下列外部电源：

- AD5760的数字电源：在连接器J1的VCC与DGND输入之间提供3.3 V电源。
- 或者将链路1放在位置A，以便从USB端口通过SDP板为数字电路供电(默认设置)。
- AD5760的正模拟电源：在J2的VDD与AGND输入之间提供+12 V至+16.5 V的电源。
- AD5760的负模拟电源：在J2的VSS与AGND输入之间提供−12 V至−16.5 V的电源。

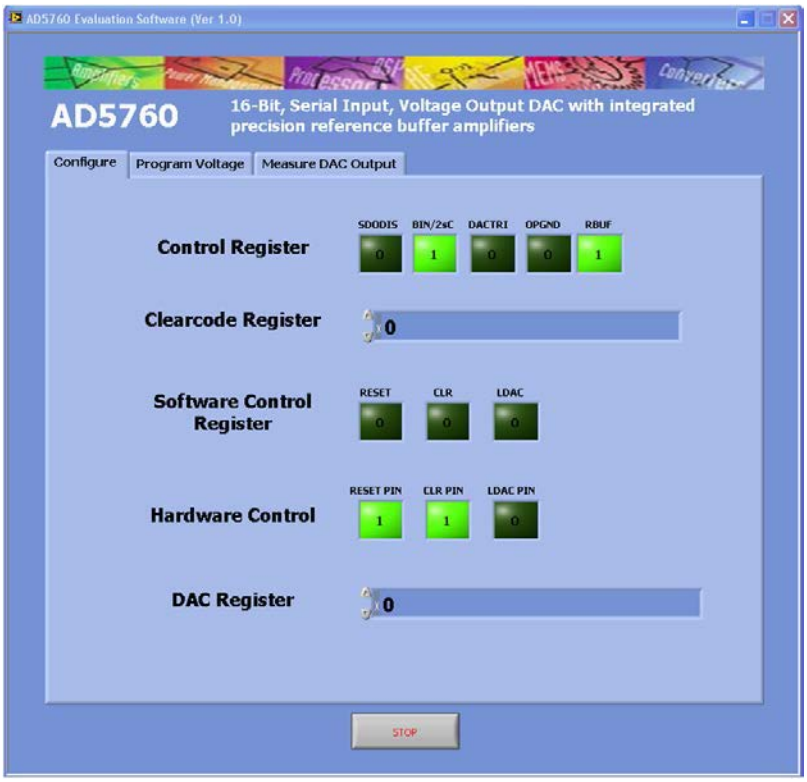


图6. 评估软件主窗口

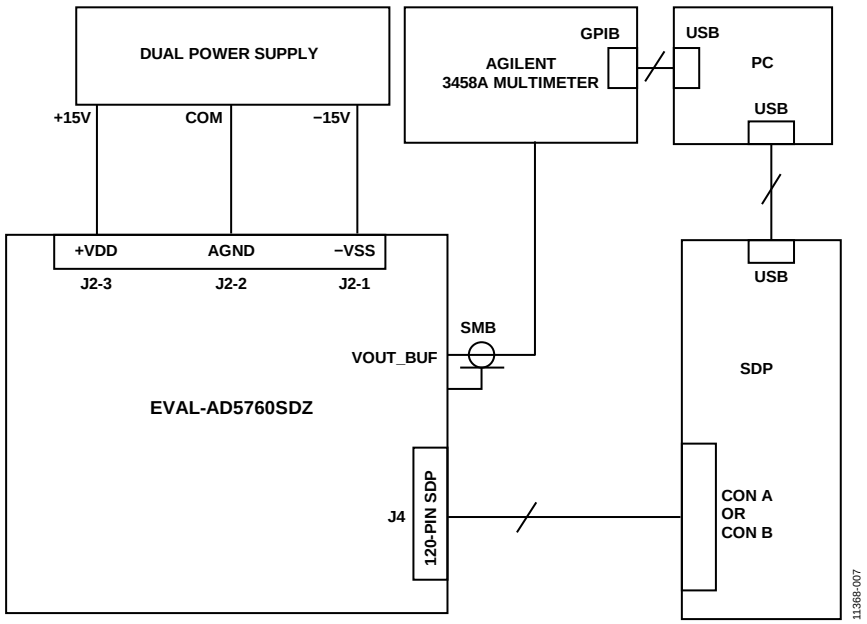


图7. 测试设置功能框图

默认链路选项设置

默认链路选项如表1所示。该板的默认配置为：V_{REFP} = +10 V，V_{REFN} = −10 V，输出范围为±10 V。

表1. 默认链路选项

链路编号	选项
LK1	A
LK2	B
LK3	A
LK4	已移除
LK5	已移除
LK6	已移除
LK7	已移除
LK8	C
LK9	已插入
LK11	已插入

要将该板配置为图1所示电路，必须对表1中的默认链路配置进行如下改动：

1. 将LK3放在位置B
2. 插入LK4
3. 将LK8放在位置C。

这些改动将输出缓冲放大器的增益配置为1，并补偿放大器输入偏置电流。欲了解有关EVAL-AD5760SDZ测试设置的更多信息，请参阅用户指南UG-436。

测试

VOUT_BUF SMB连接器连接到Agilent 3458A万用表。线性度测量利用AD5760 GUI上的“测量DAC输出”选项卡进行。

噪声漂移测量也是在VOUT_BUF SMB连接器上进行。输出电压利用AD5760 GUI上的“设置电压”选项卡进行。峰峰值噪声漂移的测量时间为100秒。

量数据计算INL、DNL和噪声，请参阅AD5760数据手册和以下文献：数据转换手册第5章“测试数据转换器”，ADI公司

更多资料

CN0318设计支持包：
www.analog.com/CN0318-DesignSupport

Egan，Maurice。“用20位DAC实现1 ppm精度精密电压源”。*模拟对话*，第44卷，2010年4月。

Kester，Walt。2005年。*数据转换手册*。ADI公司。第3章、第5章和第7章。

教程MT-015：*DAC基本架构II：二进制DAC*。ADI公司。

教程MT-016：*DAC基本架构III：分段DAC*。ADI公司。

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

教程MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。基准电压源向导设计工具。

电路笔记CN-0177：*18位、线性、低噪声、精密双极性±10V直流电压源* 。

电路笔记CN-0191：*20位、线性、低噪声、精密双极性±10V直流电压源*。

电路笔记CN-0200：*18位、线性、低噪声、精密双极性±10V直流电压源* 。

电路笔记CN-0257：*20位、线性、低噪声、精密单极性+10 V直流电压源*。

用户指南UG-436：*集成精密基准电压源缓冲器放大器的10位串行输入、电压输出DAC评估板*。

数据手册和评估板

AD5760数据手册和评估板

AD8675数据手册

AD8676数据手册

ADR4550数据手册

修订历史

2013年5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.
CN11368sc-0-5/13(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/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、微功耗线性稳压器
OP193	精密、微功耗单通道运算放大器
ADR3412	微功耗、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。

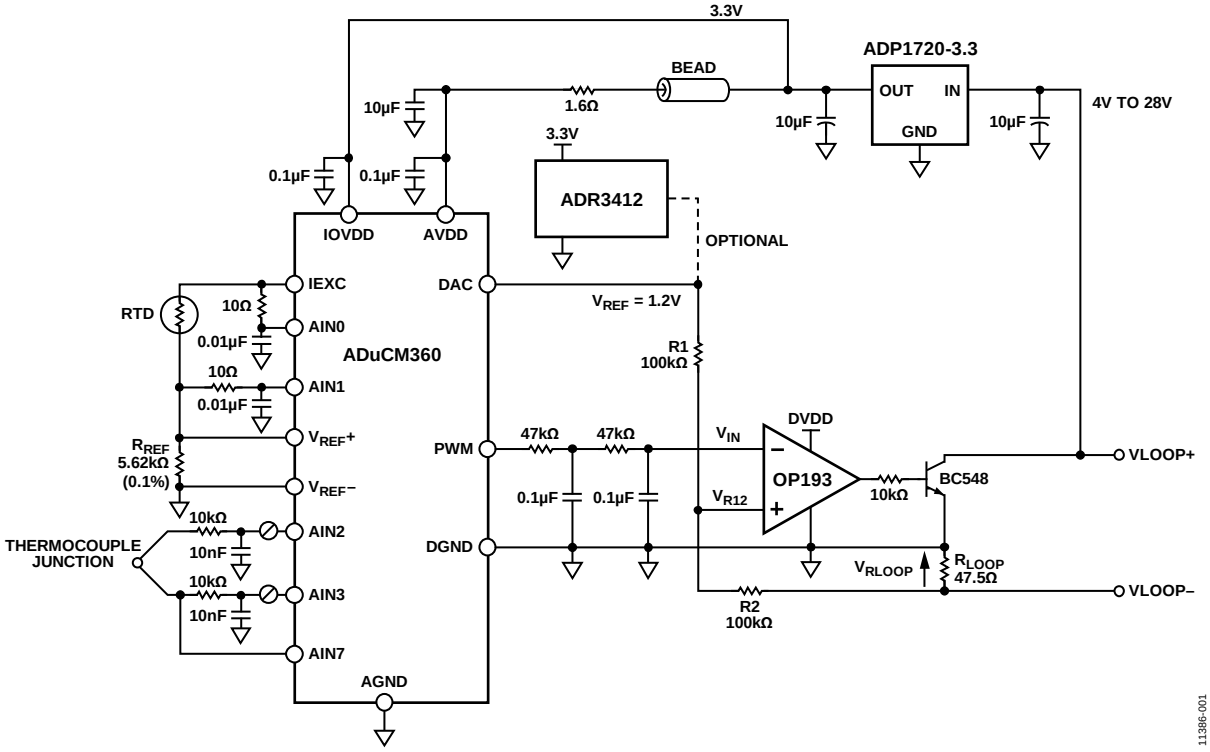


图1. ADuCM360控制4 mA至20 mA基于环路的温度监控电路
（原理示意图：未显示所有连接和去耦）

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.cn
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 μA至2 mA范围内以一定的阶跃进行配置。本例使用200 μA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±0.5°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(~50 μA)。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≈24 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 µVision4工具查看时项目中所用的源文件列表。

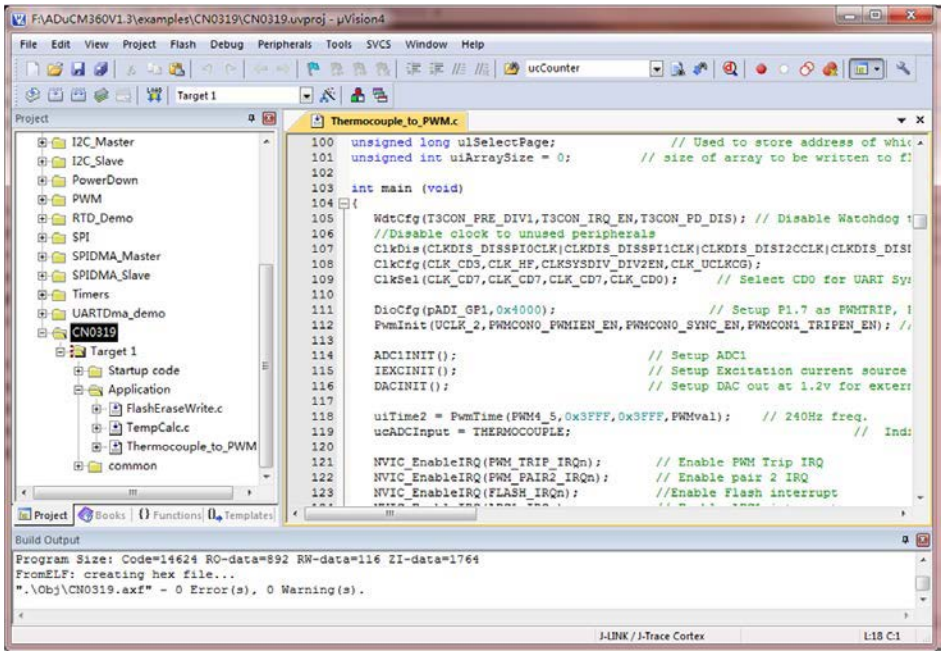


图2. Keil µVision4中查看的源文件

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参数可轻松包含或移除该程序。

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。

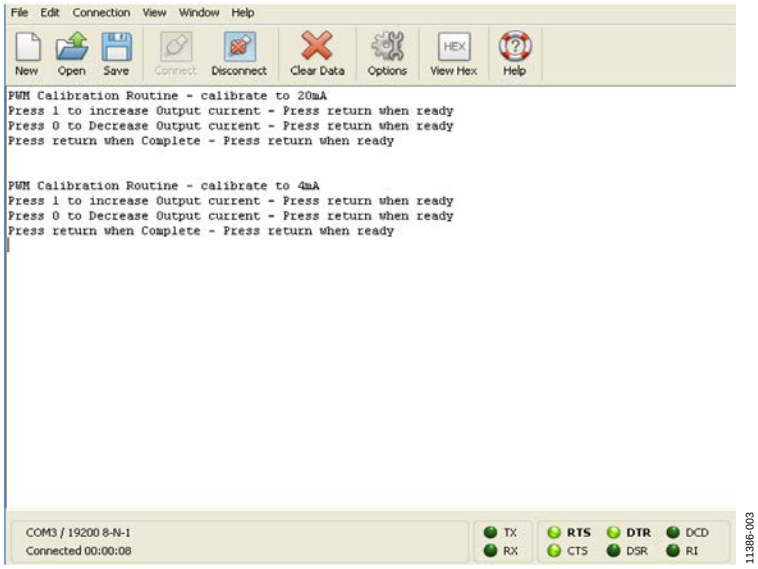


图3. 校准PWM时的“超级终端”输出

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。

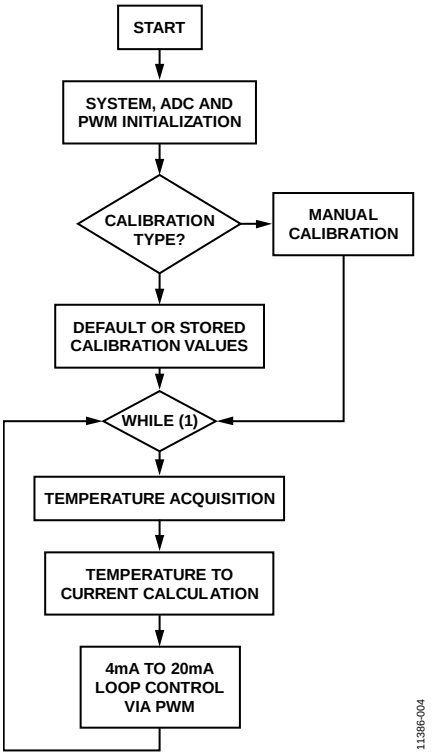


图4. 代码流程图

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。

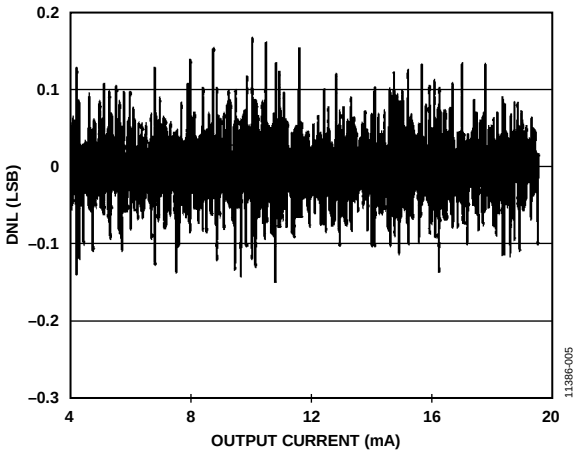


图5. 电路的典型DNL性能

温度-电流输出

图6中的设置用来测试电路的通信部分。

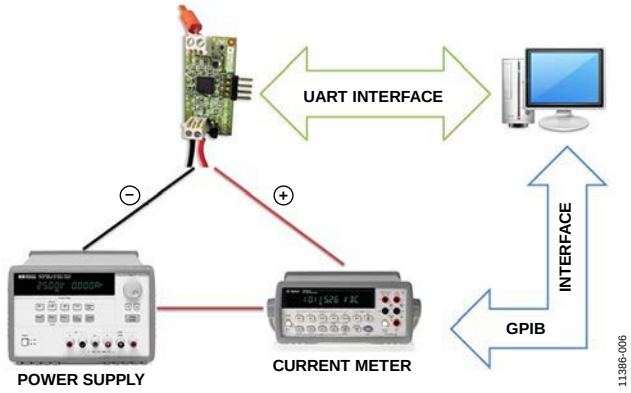


图6. 测量设置

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 mA – 4 mA)/550 = 0.029029 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。

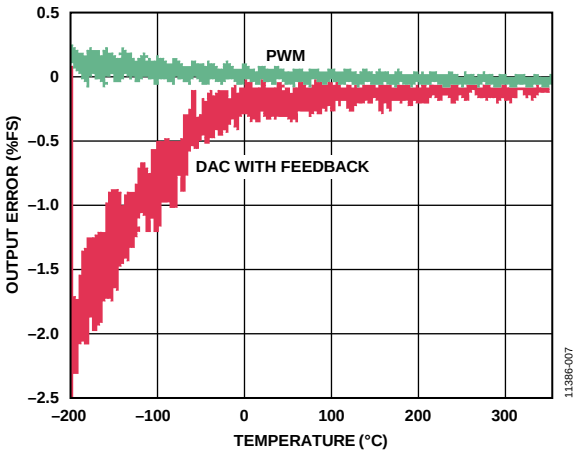


图7. DAC控制(CN-0300)和PWM控制(CN-0319)两种情形下电流环路误差与温度读数的关系

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 µA。

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 µA。 禁用所有其他外设。	1.80 mA
ADP1720，3.3 V输出线性稳压器	~100 µA
OP193，低功耗运算放大器	15 µA
其余电路	50 µA
总电流(激励电流较低)	2.0 mA

有关ADuCM360功耗数据的更多详情，请参考应用笔记AN-1111。

更多资料

CN-0319设计支持包：
http://www.analog.com/CN0319-DesignSupport

Kester, Walt。1999年。*传感器信号调理*。ADI公司。第7章：温度传感器。

Kester, Walt。1999年。*传感器信号调理*。ADI公司。第8章：信号调理用ADC。

Looney, Mike。应用笔记AN-1111：*使用ADuCM360/ADuCM361时的降低功耗选项*。ADI公司。

Looney, Mike。*使用ADuC706x微控制器实现RTD接口和线性化*。应用笔记AN-0970。ADI公司。

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

教程MT-101：去耦技术。ADI公司。

用户指南UG-457，ADuCM360开发系统入门

数据手册和评估板

ADuCM360数据手册

ADuCM361数据手册

ADP1720数据手册

OP193数据手册

ADR3412数据手册

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)



www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0321。

连接/参考器件	
AD5422	16位电流和电压输出DAC
AD5700-1	集成内部RC振荡器的低功耗HART调制解调器
ADP2441	36 V、1 A同步降压DC-DC稳压器
ADuM3471	集成变压驱动器和PWM控制器的四通道隔离器
ADuM3482	3.75 kV rms小型四通道数字隔离器

具有HART的完全隔离、单通道电压、4 mA至20 mA输出

评估和设计支持

电路评估板

CN0321评估板(EVAL-CN0321-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

设计和文件汇总

原理图、布局文件、物料清单

电路功能与优势

该电路提供一款完整的、完全隔离、模拟输出通道，适合需要标准4 mA至20 mA HART®[1]兼容型电流输出和单极性/双极性输出电压范围的可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS)模块。它为通道间隔离PLC/DCS输出模块或其他所有需要完全隔离式模拟输出的工业应用提供了灵活的构建块。电路在模拟输出端还提供了外部保护功能。

AD5422 16位数模转换器(DAC)可通过软件配置，提供全部必须的电流和电压输出。

AD5700-1是业界功耗最低、尺寸最小的HART兼容型IC调制解调器，与AD5422配合使用，组成完整的HART兼容型4 mA至20 mA解决方案。AD5700-1集成内部精密振荡器，可额外节省空间，尤其在通道间隔离应用中。

PLC/DCS解决方案必须与本地系统控制器隔离，使之免受接地环路影响，同时确保不受外部事件影响。传统解决方案利用分立IC提供电源和数字隔离。当需要多通道隔离时，分立电源解决方案的成本和空间会变成一个大大的缺点。基于光隔离器的解决方案通常具有合理的输出调节，但需要额外的外部元件，因而会使电路板面积增大。电源模块常常体积庞大，而且输出调节可能不佳。图1中的电路使用ADuM347x系列隔离器和电源调节电路，以及相应的反馈隔离。使用外部变压器将功率传输到隔离栅的另一端。

ADuM3482为AD5700-1提供UART信号隔离。

ADP2441是36 V降压DC-DC稳压器，采用工业标准24 V电源，具有宽输入电压容差。它可将电压降为5 V，为所有控制器侧电路供电。该电路还在24 V电源端集成了标准外部保护，同时还可提供+36 V至−28 V的直流过压保护。

[1] HART是HART通信基金会的注册商标。

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.cn
Fax: 781.461.3113
©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

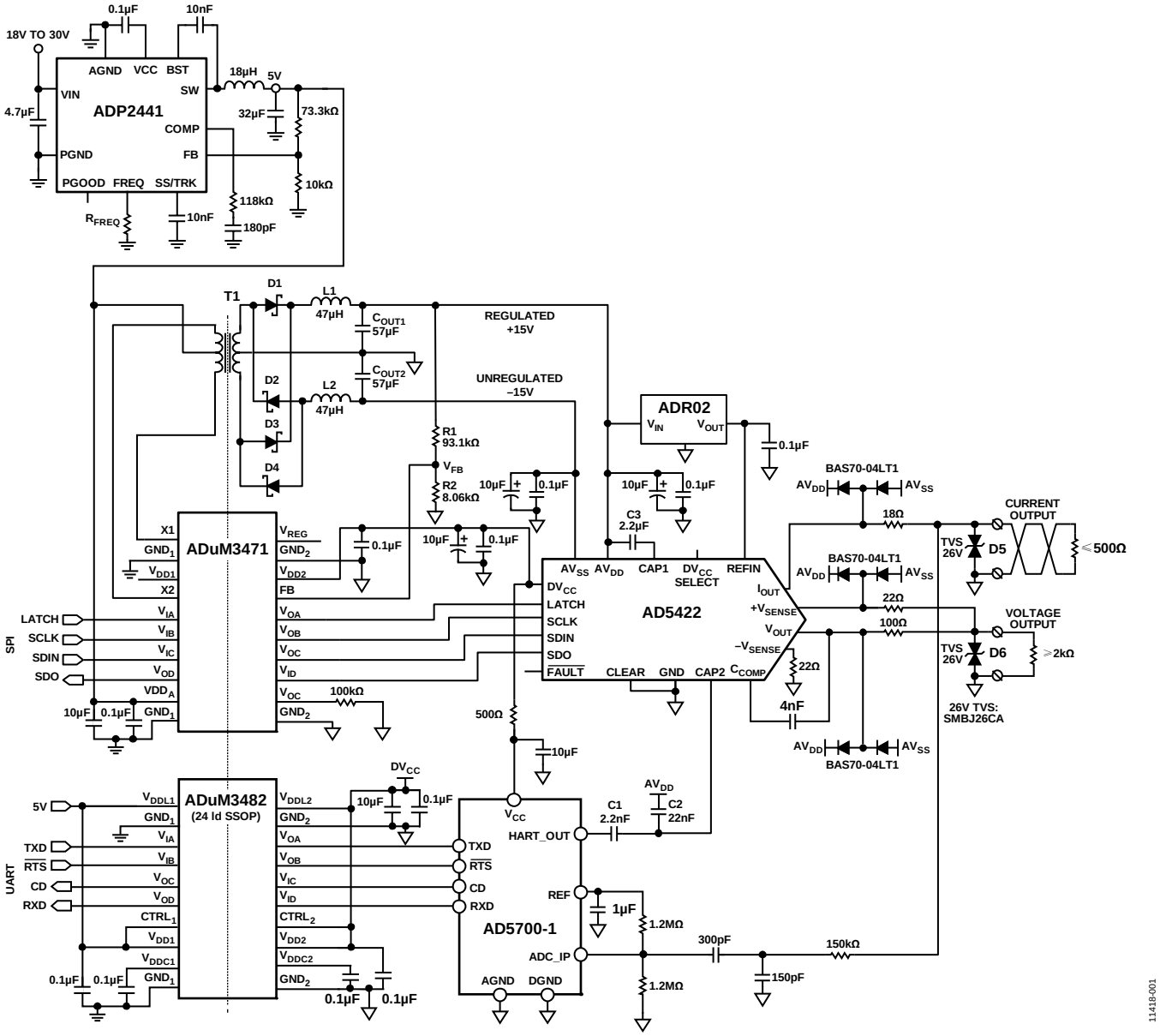


图1. 功能框图(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

电路描述

模拟输出

对于工业控制模块，标准模拟输出电压和电流范围包括±5 V、±10 V、0 V至+5 V、0 V至+10 V、+4 mA至+20 mA和0 mA至+20 mA。AD5422是一款精密的、全集成16位DAC，内置可编程电流源和可编程电压输出，设计用于满足工业过程控制应用的需要。

AD5422提供前面列出的所有输出范围，电流输出范围和电压输出范围分别以独立引脚提供。针对所有电压范围提供10%超量程功能，并且针对电流输出提供0 mA至20 mA超量程。模拟输出受短路和开路保护。

AD5422具有一个片上10 ppm/°C基准电压源。为了在额定温度范围内达到更高的性能，该设计使用了ADR02基准电压源。ADR02是一款5 V精密基准电压源，允许高达36 V的输入电压。其最大精度误差为0.05%，最大温度漂移为3 ppm/°C。该漂移在工业温度范围内会贡献大约0.02%误差。

AD5422支持以内部或外部精密电流设置电阻作为电流输出电路。本设计使用内部电流检测电阻选项；但通过使用精密外部15 kΩ电阻，可达到更高的精度。

通过浮空AD5422的DV_{CC} SELECT引脚，内部4.5 V电源可连接至DV_{CC}引脚，用于AD5700-1的数字电源和隔离器的现场端。也可使用ADuM3471上的5 V输出型低压差(LDO)稳压器。LDO提供更紧凑的5 V稳压供电轨；但由于ADuM3471稳压器输入引脚上的绝对最大额定值，它不允许高于20 V的直流过压。

EVAL-CN0321-SDPZ硬件的输出连接器配置见表1。

表1.输出引脚

引脚名称	输出类型
OUT2	电压输出范围
GND	接地
OUT1	电流输出范围

HART兼容性

AD5700-1与AD5422搭配使用，组成完整的HART兼容型4 mA至20 mA解决方案。AD5700-1是0.5%精密内部振荡器，可极大节省在通道间隔离的应用中的板上空间；这类应用原本需要针对每通道使用时钟晶体。晶体通常比AD5700-1 IC本身要大；因此，内部振荡器节省下来的面积空间是巨大的。

HART调制解调器输出通过C1和C2衰减，并通过CAP2引脚交流耦合至AD5422。其他信息参见AN-1065应用笔记。电路笔记CN-0278描述了一种使用R_{SET}引脚的替代HART耦合方式，具有更高的电源抑制性能，但需要使用一个外部精确电流设置电阻。

隔离电源

AD5422需要的电压输出裕量最大值为0.8 V，并且电流输出需要最大值为2.5 V的裕量。因此，需要一个大于12.5 V的电源，以便通过500 Ω负载输出20 mA电流。在本设计中，最小电源电压(过温)不超过13.5 V，允许具有一定裕量。

ADuM347x为四通道数字隔离器，集成脉冲宽度调制(PWM)控制器和低阻抗变压驱动器(X1和X2)。隔离式DC/DC转换器仅需要以下额外器件：变压器和简单的全波二极管整流器。采用5.0 V或3.3 V输入电源时，器件最多可提供2 W的调节隔离功率，因而无需另外使用隔离式DC-DC转换器。

*i*Coupler®芯片级变压器技术用于隔离逻辑信号；集成的变压器驱动器带隔离副边控制功能，可以提高隔离式DC/DC转换器的效率。内部振荡器频率可以在200 kHz至1 MHz范围内调整，由R_{OC}的值决定。当R_{OC} = 100 kΩ时，开关频率为500 kHz。

ADuM3471调节来自15 V正电源。调节反馈来自分压器网络(R1和R2)。电阻根据以下要求选择：当输出电压为15 V时，反馈电压为1.25 V。反馈电压与ADuM3471内部反馈设定点电压1.25 V相比较。调节通过改变驱动外部变压器的PWM信号的占空比来实现。

负电源的调节不太严格，且空载时可能低至−26.4 V。因此，在负电源处放置一个25 V齐纳二极管。轻载时，二极管从电源获取小电流，但可确保其箝位在25 V左右。

另一种方法是使用匝数比为4:1的隔离式变压器；当其空载时，负供电轨不会过低。在要求较高顺从电压或极低功耗的应用中，应当考虑其它电源设计。

输入功率

图1中的电路采用24 V电源供电。ADP2441用于将24 V降压为5 V，为所有控制器侧电路供电。

ADP2441可接受最高36 V的电压，并且可更加轻松地达到可靠的电源输入瞬变保护。

ADP2441还具有其他各种安全性/可靠性功能，如欠压闭锁(UVLO)、精确使能特性、电源良好引脚和过流限值保护。对于24 V输入和5 V输出，它能达到最高90%效率。

隔离

ADuM3471电源隔离电路包括四个完全隔离的电压通道，隔离额定值为2.5 kV。这四个通道用于隔离AD5422的四条数据线路(SCLK、LATCH、SDIN和SDO)。SDO线路隔离对于电路运行而言并非必要，但允许访问诊断和故障特性，以及寄存器回读。

ADuM3482是一款3.75 kV四通道数字隔离器，采用小型20引脚SSOP封装(7.2 mm × 7.8 mm)。ADuM3482内核工作电压范围为3.0 V至5.5 V，而I/O电源范围为1.8 V至5.5 V。这些器件可用于直接与1.8 V逻辑器件接口。该隔离器用于隔离AD5700-1 HART调制解调器的UART信号。

有关*i*Coupler产品的更多信息，请访问www.analog.com/icouplers。

直流过压保护

图1中的电路允许对持续的直流电压+36 V和−28 V进行过压保护。这意味着，在直流电源线路意外连接输出时，电路受到保护。

在过压条件中，电源通过外部保护二极管拉高或拉低。这些二极管和输出端之间的电阻限制了峰值电流。

输出端的最大/最小电压受限于任意连接输出或电源电路的击穿电压。AD5422的电流和电压输出可耐受+48 V至最低−28 V。AV_{SS}输入可耐受−28 V，AV_{DD}可耐受+48 V。ADR02基准电压源输入可耐受36 V。AD5700-1的ADC_IP引脚受150 kΩ电阻保护，该电阻限制所有电流，后接一个300 pF隔直电容。在直流过压条件下，勿将其他IC暴露在较高的电压下。

瞬变电压保护

AD5422内置ESD保护二极管，可防止正常操作造成的损害。但是，工业控制环境会使I/O电路遭受高得多的瞬变。为了防止过高瞬态电压影响AD5422，可能需要外部功率二极管和浪涌电流限制电阻，如图1所示。

对电流输出路径上电阻值的制约条件(图1中的18 Ω)是：正常工作时，I_{OUT}输出电平必须保持在其顺从电压限值内，即AV_{DD} − 2.5 V，并且两个保护二极管和电阻必须具有适当的额定功率。在18 Ω下，对于4 mA至20 mA输出，引脚上的电压限值会降低$V = I_{MAX} \times R = 0.36$ V。

对电压输出路径上电阻值的制约条件(图1中的100 Ω)是：整个输出电压范围内必须具有0.8 V裕量。电阻效应可通过$+V_{SENSE}$输入降至最低。如图1所示，$+V_{SENSE}$输入受22 Ω电阻保护。相应地，$-V_{SENSE}$路径上还有一个22 Ω电阻。这两个22 Ω电阻会导致绝对增益误差，该误差可能需要在室温下加以校准；产生该误差的原因是AD5422的内部反馈电路阻抗仅为70 kΩ。在AD5422的输出端(而非V_{OUT}引脚)检测电压的优势是，V_{OUT}引脚的保护电阻两端具有可变电压，具体取决于所获取的负载电流。在输出端检测可避开此误差源。

还可以通过瞬态电压抑制器(TVS)或瞬态吸收器实现进一步的保护。这些元件包括单向和双向抑制器，可提供各种各样的隔离和击穿电压额定值。TVS应尽量采用最低击穿电压定标，同时在电流正常输出的范围内不导通。如前所述，建议保护所有远程连接节点。

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。如果应用只需要4 mA至20 mA电流输出，则可以使用单电源方案。这种情况下，AD5422的正AV_{DD}电源可以达到比如24 V，而输出顺从电压为24 V − 2.5 V = 21.5 V。输出电流为20 mA时，可以驱动高达1 kΩ的负载电阻。

如果应用不需要16位分辨率，可以使用12位产品AD5412。对于仅需电流输出的应用，可以使用AD5420(16位)和AD5410(12位)。

对于需要在同一个引脚输出电压和电流的应用，参见电路笔记CN-0278中的技巧。

若不需要过压保护，则可以采用数值较低的最大电源电压，如ADR4550或ADR445。

ADuM347x隔离器(ADUM3470、ADuM3471、ADuM3472、ADuM3473和ADuM3474)提供四个独立的隔离通道，支持多种输入/输出通道配置。这些器件还提供1 Mbps(A级)或25 Mbps(C级)的最大数据速率。

可使用AD5700调制解调器，而非AD5700-1；但需要使用外部晶体或CMOS时钟。

电路评估与测试

设备要求

需要使用以下设备：

- EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP-B)
- EVAL-CN0321-SDPZ评估板和软件
- PC(Windows® 32位或64位)
- 24 V电源
- 精密电压表，如Agilent 34410A
- 数字测试滤波器(如HCF_TOOL-31，可从HART通信基金会获得)
- 500 Ω精密负载电阻
- Tektronix DS1012B示波器或等同产品

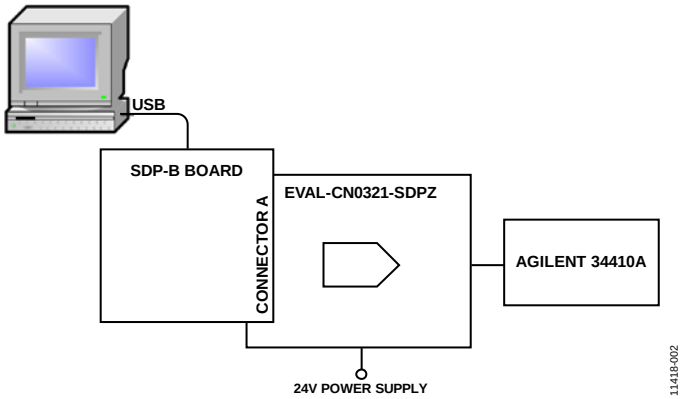


图2. 测试设置功能框图

测试设置功能框图

测试设置的框图如图2所示。

软件安装

评估套件包括一张光盘，其中含有自安装软件。该软件兼容Windows XP (SP2)、Vista(32位或64位)，或Windows 7(32位或64位)。如果安装文件未自动运行，可以运行光盘中的**setup.exe**文件。

请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

1. 使用附带的电缆，通过PC的USB端口连接EVAL-SDP-CB1Z。
2. 连接EVAL-CN0321-SDPZ评估板至连接器A。若使用了连接器B，则EVAL-SDP-CB1Z的UART将无法正常工作。
3. 对J1连接器施加24 V，可上电EVAL-CN0321-SDPZ。
4. 启动EVAL-CN0321-SDPZ软件，然后确认出现的所有对话框。这样就完成了安装。

软件

软件主窗口如图3所示。点击**Advanced**可提供配置AD5422的更多选项。

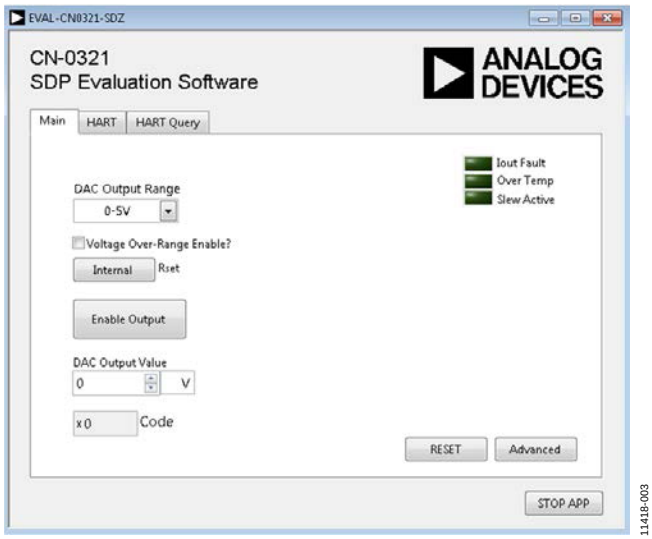


图3. 软件主窗口

对于HART通信而言，确保开启了电流输出范围，然后选择**HART**页面。在**HART**页面上，数据可输入**Command**命令框，然后发送4 mA至20 mA环路；软件可以设为轮询4 mA至20 mA环路上的任意数据。也可选择**HART Query**页面，查询所连接HART兼容型执行器的器件地址和器件类型。

绝对精度性能

在电流输出模式下，AD5422使用内部R_{SET}的总不可调整误差(TUE)规格为0.08%FSR(典型值，25°C)。

ADR02基准电压源(B级)的总误差为0.06%最大值(25°C)。

表2显示电路的测量电流输出误差(4 mA至20 mA范围)。

表2 测量电流输出误差(4mA至20mA范围)

代码(十六进制)	输出端电流(mA)	误差(%FSR)
0000	3.992	−0.049
4000	7.995	−0.034
8000	11.997	−0.018
B000	16.000	+0.001
FFFF	20.003	+0.020

结果位于预期值范围内。

类似地，对于电压输出模式，AD5422的TUE为0.01%FSR(典型值，25°C)。

ADR02基准电压源(B级)的误差为0.06%最大值(25°C)。

表3显示±10 V输出范围内，电路的测量电压输出误差。

表3 测量电压输出误差(±10V范围)

代码(十六进制)	输出端电压(V)	误差(%FSR)
0000	−10.010	−0.050
4000	−5.005	−0.023
8000	+0.001	+0.003
B000	+5.006	+0.031
FFFF	+10.011	+0.057

表3中的电压输出包括AD5422电路+V_{SENSE}和−V_{SENSE}输入上的22 Ω保护电阻误差。+V_{SENSE}和−V_{SENSE}输入内部连接至数值约为70 kΩ的反馈电阻。额外的22 Ω电阻从外部加入约为22 kΩ/70 kΩ(或0.031%)的增益误差。该初始误差可通过校准消除。

积分非线性(INL)性能

AD5422的INL在线性电源和隔离式DC/DC开关电源两种情况下进行测试，确保系统精度不会因为开关电源而有所损失。图4显示的是线性电源以及开关电源下的INL。与线性电源相比，使用开关电源时性能没有明显损失。

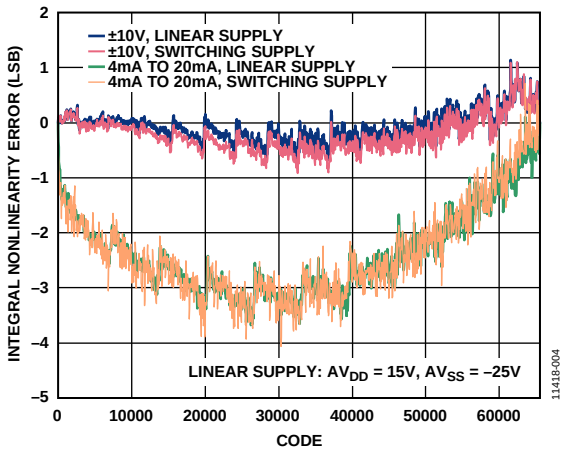


图4. 使用线性电源和开关电源的电路实测INL

此外还测试并比较了线性电源和开关电源两种情况下一定时间内的平均输出噪声，如图5所示。注意，一定时间内测得的输出噪声存在细微的偏差。这一偏差不超过1 LSB，可能由略为不同的测量设置引入，或两次测量间隔期间的基准电压漂移引入。

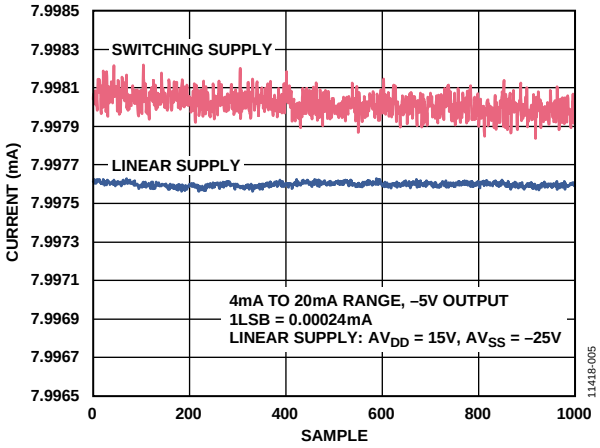


图5. 实测平均DAC输出噪声，1000次采样，电表设为NPLC = 1

HART兼容性

图1中的电路要与HART兼容，必须符合HART物理层规范。HART规范文档中包含了众多物理层规范。为了评估硬件性能，采用静默期间的输出噪声和模拟变化率测试。

静默期间的输出噪声测试

当HART设备没有进行传输(静默)时，噪声不应耦合至网络上。噪声过高可能会干扰设备本身或网络上的其它设备对HART信号的接收。

对于在环路中的500 Ω负载上测得的电压噪声，其包含的宽带噪声和HART扩展频带中的相关噪声总和不能超过2.2 mV rms。此外，HART扩展频带外的噪声不应超过138 mV rms。

500 Ω负载上的噪声采用真均方根测量仪测得。此噪声作为带外噪声直接进行测量，作为带内噪声通过HCF_TOOL-31滤波器测量。还需要使用示波器来检查噪声波形。

图6显示捕获的噪声波形，结果总结在表4中。

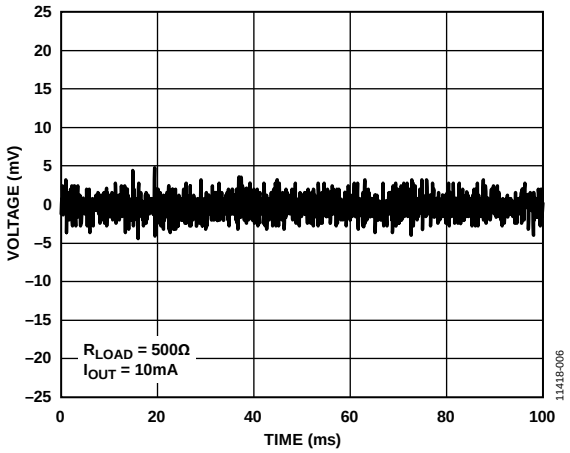


图6. 静默波形下的输出噪声

表4.静默期间的输出噪声

输出噪声	测得值(mV)	
扩展频率范围以外	0.6	<138
扩展频率范围以内	0.126	<2.2

模拟变化率

模拟变化率测试可确保器件调节模拟输出电流时，模拟电流的最大变化率不会干扰HART通信。电流的阶跃变化会扰乱HART信号传输。

最差情况下的模拟输出电流变化一定不能产生高于15 mV峰值电压的干扰，此数值在HART扩展频带下，通过对500 Ω负载进行测量得到。

AD5422 DAC和输出驱动器相对较快。因此，为了满足所需的系统规格，输出电流变化受限于使用AD5422 CAP1和CAP2引脚电容时的硬件压摆率限值，以及AD5422的数字压摆率控制特性。详见AN-1065应用笔记。

使用一个示波器执行该测试，并通过HCF_TOOL-31滤波器耦合至500 Ω负载。

结果如图7所示。4 mA至20 mA输出线路(见图7中的蓝线)显示4 mA和20 mA之间的周期性步进，直接在500 Ω负载上测得。滤波器放大10倍的输出(见图7中的红线)是HCF_TOOL-31滤波器输出端捕获的信号，将其放大10倍，并处于150 mV峰值限制之内。

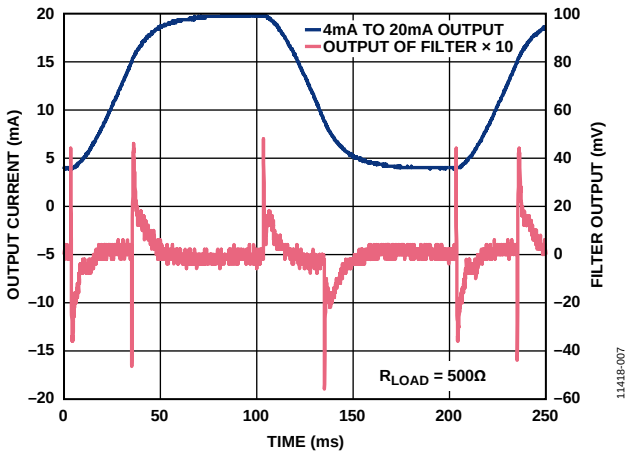


图7. 模拟变化率波形

更多资料

CN-0321设计支持包：
http://www.analog.com/CN0321-DesignSupport

CN-0270：完整的4 mA至20 mA HART解决方案

CN-0278：*具有额外电压输出能力的完整4 mA至20 mA HART解决方案*

Maurice Egan。应用笔记AN-1065：*配置用于HART通信合规性的AD5420*。ADI公司。

HART®通信基金会

数据手册和评估板

AD5422数据手册

AD5700-1数据手册

ADP2441数据手册

ADuM3471数据手册

ADuM3482数据手册

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

(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.
CN11418sc-0-4/13(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0325。

连接/参考器件	
AD7795	16位Σ-Δ型ADC，40nV噪声
AD8226	36V仪表放大器，CMR大于90dB
ADT7310	±0.5°C数字温度传感器
ADP2441	36V、1A、降压DC-DC稳压器
ADR441	超低噪声LDO XFET® 2.5V基准电压源
ADP1720	50 mA、高电压线性稳压器
ADuM3471	集成变压器驱动器和PWM的四通道隔离器

使用4引脚或6引脚端子板的PLC/DCS通用模拟输入

评估和设计支持

电路评估板

CN0325评估板(EVAL-CN0325-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所示电路提供两个16位全隔离式通用模拟输入通道，适用于可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS)模块。两个通道均支持软件编程，以及多种电压、电流范围和热电耦、RTD类型，具体如图1所示。输入通道提供±30 V直流过压条件保护。

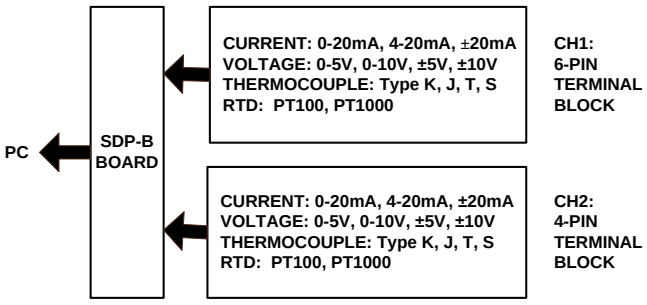


图1. 通用模拟输入通道概览

演示板含有两个不同的全隔离式通用输入通道，一个带4引脚端子板(CH2)，一个带6引脚端子板(CH1)。对于4引脚端子板(CH2)，电压、电流、热电偶和RTD输入全部共用相同的4个端子，从而最大限度地减少了所需端子引脚的数量。对于6引脚端子板通道(CH1)，电压和电流输入共用一组3个端子，热电偶和RTD输入共用另一组3个端子；这需要更多端子，但其器件数量较少，元件成本也较低。图2所示为PCB照片，图3所示为电路的详细原理图。

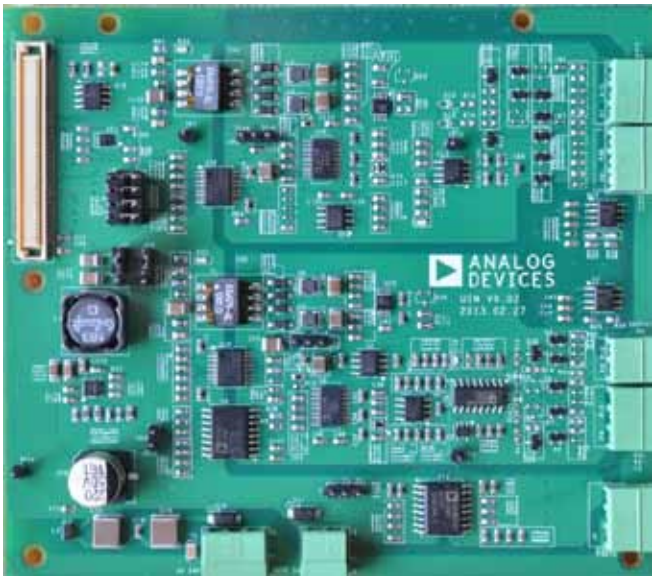


图2. 通用模拟输入板

Rev. PrA

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.cn
Fax: 781.461.3113
©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

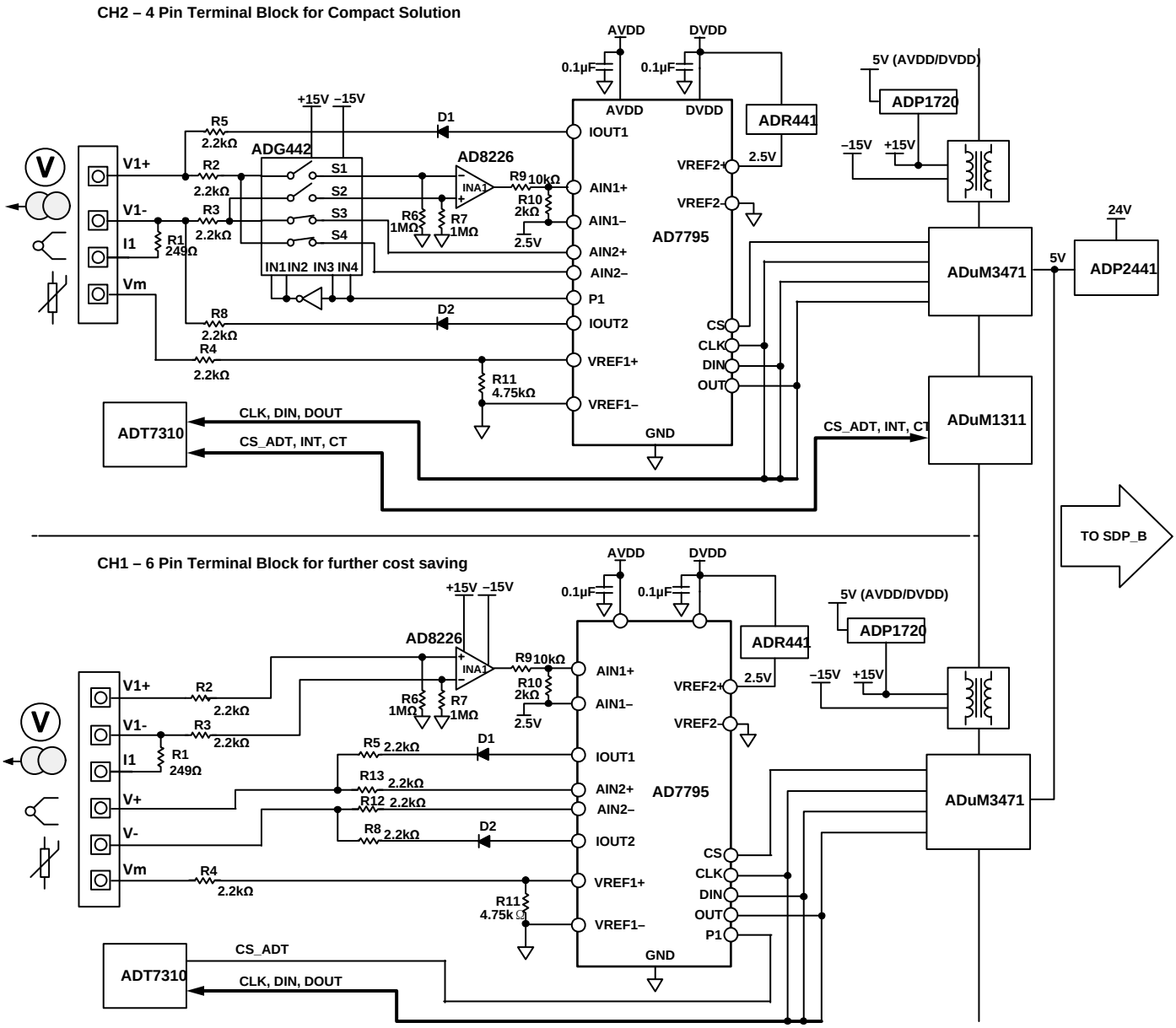


图3. 功能框图(简化原理图： 未显示所有连接和去耦)

电路描述

AD7795低噪声、16位Σ-Δ ADC搭载片内仪表放大器和基准电压源，用于数据转换应用。片内仪表放大器和电流源为RTD和热电偶测量提供了一种完整的解决方案。对于电压和电流输入，AD8226仪表放大器(其CMR大于90 dB)用于提供高输入阻抗，抑制共模干扰。通过一个精密电阻分压器将电压和电流信号缩放至ADC的范围之内。

ADR441是一款超低噪声、低压差XFET® 2.5 V基准电压源，用作ADC的基准电压源。

对于4引脚端子板通道(CH2)，使用ADG442、低R_{ON}防闩锁开关来在电压、电流、热电偶和RTD输入模式之间切换。

ADuM1311三通道数字隔离器也用在4引脚端子板电路中，用于隔离ADG442开关的控制线路。数字和电源隔离采用ADuM3471实现，这是一款PWM控制器和变压器驱动器，搭载四通道隔离器，用于基于外部变压器产生±15 V隔离式电源。

ADP2441 36 V降压DC-DC稳压器对输入电源的容限较宽，是可接受24 V工业电压的理想之选。最高可接受36 V电源，因而更有利于实现对电源输入进行可靠的瞬变保护。ADP2441将输入电压降至5 V，以驱动ADuM3471以及所有其他控制端电路。电路在24 V电源端还提供了外部保护功能。

ADP2441还具有其他各种安全性/可靠性功能，如欠压闭锁(UVLO)、精确使能特性、电源良好引脚和过流限值保护。还可以在24 V输入、5 V输出配置中实现最高90%的效率。

硬件

图2所示为含4引脚端子板的通道位置以及含6引脚端子板的通道位置。 同时显示了24 V电源输入的位置。

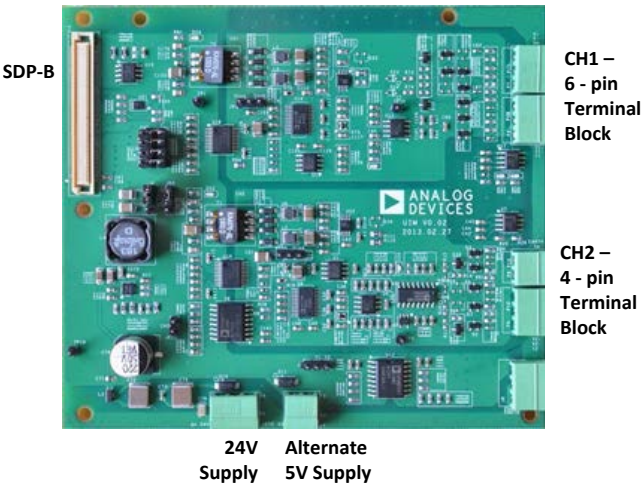


图4. 通道位置

通道选择

需要插入并切换跳线，以配置CH1和CH2之间的电源和SPI信号，如表1所示。

表1. 通道选择配置设置

链路编号	数字功能	选择CH1 (6引脚端子板)的链路位	选择CH2 (4引脚端子板)的链路位
JK0	5V电源	CH1	CH2
JK1	SCLK	CH1	CH2
JK2	/CS	CH1	CH2
JK3	DIN	CH1	CH2
JK4	Dout	CH1	CH2
JK11	TEMP_CS	未插入	已插入

电源配置

用24 V电源来驱动评估板的控制器端。也可使用5 V电源，旁路ADP2441电路。该5 V输入不具有任何过压保护功能，不得超过6 V。所用电源应通过J4链路选项进行配置，如表2所示。

表2. 外部电源配置设置

	选择24V输入(默认)的链路位	选择5V输入(默认)的链路位
J4	VCC1	VCC2

对于隔离栅的模拟输入端，有两种选项可用于驱动模拟电路的5 V稳压电源。可使用ADP1720线性稳压器将15 V电源降至5 V，也可使用ADuM3471的内置5 V稳压器。两种选项的链路配置如表3所示。

表3. 现场5V电源配置设置

	ADP1720 5V稳压器(默认)的链路位	ADuM3471 5V稳压器的链路位
J3	Vreg	Vaum
J9	Vreg	Vaum

CH2： 4引脚端子板通道

输入连接器

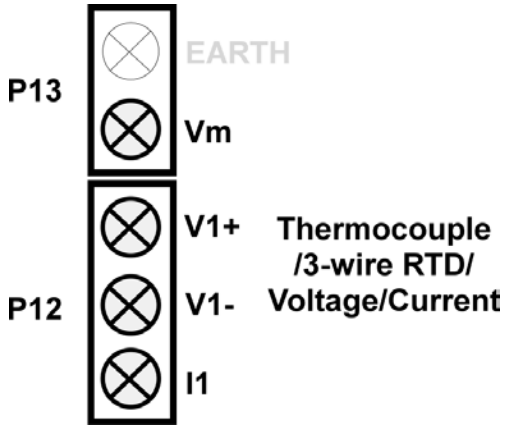


图5. CH2输入连接器

电压和电流

P12连接器用于电压和电流输入连接。图11和图12所示为该输入连接和配置的简化原理图。支持的差分输入范围为：0 V至5V、0 V至10V、±5V、±10 V、0 mA至20 mA、4 mA至20 mA和±20 mA。在V1+和V1–之间连接电压或电流输入，因为电流输入会同时把V1+和I1引脚短接在一起。这样就连接了一个249 Ω精密电流检测电阻，其精度为0.1%，额定值为0.25 W。

热电偶

P12连接器也用于热电偶输入。可以连接多种热电偶类型，包括J、K、T和S。热电偶连接于V1+和V1-输入之间(图5)。下面的图6所示为将热电偶(例如，T型)连接到通用型模拟输入板的方法。热电偶输入的简化原理图见图13。

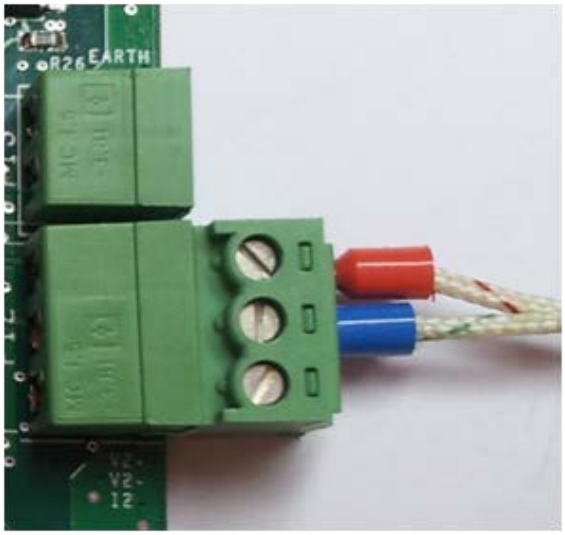


图6. CH2热电偶连接器

RTD

P12、P13连接器用于RTD输入。硬件可以支持1000 Ω和100 Ω铂RTD输入。对于3线模式，两条通用线连接至V1+和V1–，回路连接至Vm(见图5)。下面的图7所示为将3线RTD传感器连接到通用型模拟输入板的方法。RTD输入的简化原理图见图14。

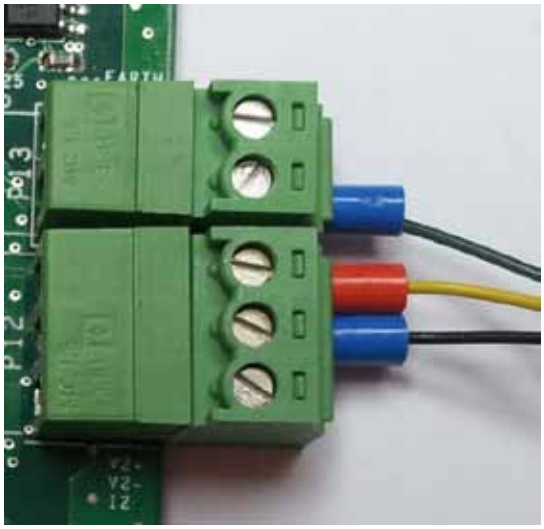


图7. CH2 RTD连接器

CH1： 6引脚端子板通道

输入连接器

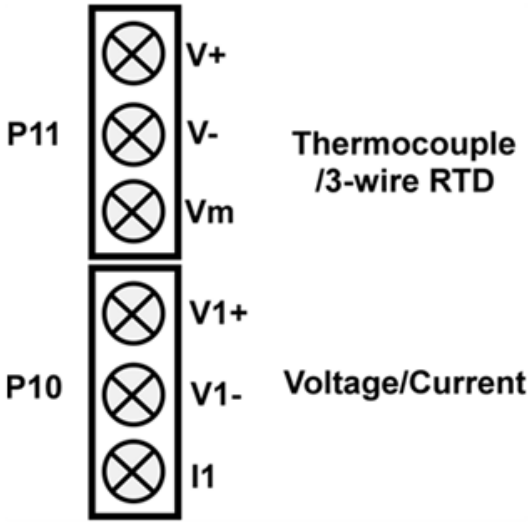


图8. CH1通道输入连接器。
简化输入示意图见图13。

电压和电流

P10连接器用于电压和电流输入连接。支持的差分输入范围为：0 V至5 V、0 V至10V、±5V、±10V、0 mA至20 mA、4 mA至20mA和±20 mA。在V1+和V1–之间连接电压或电流输入(见图13)，尽管对于电流输入，同时还要把V1+和I1引脚短接在一起，这样就连接了一个249 Ω精密电流检测电阻，其精度为0.1%，额定值为0.25 W。

热电偶

P11连接器用于热电偶输入。可以连接多种热电偶类型，包括J、K、T和S。热电偶连接于V+和V-输入之间(图8)。下面的图9所示为将热电偶(此例为T型)连接到通用型模拟输入板的方法。

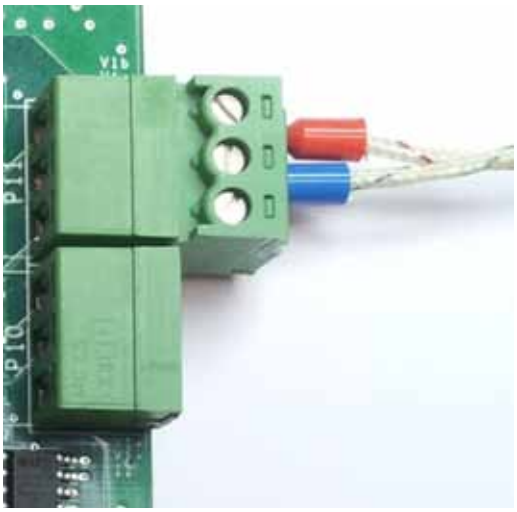


图9. CH1热电偶连接器

RTD

P11连接器也用于RTD输入。硬件可以支持1000 Ω和100 Ω铂RTD输入。对于3线模式，两条共用线连接至V+和V–，回路连接至Vm(见图8)。下面的图10所示为将3线RTD传感器连接到通用型模拟输入板的方法。

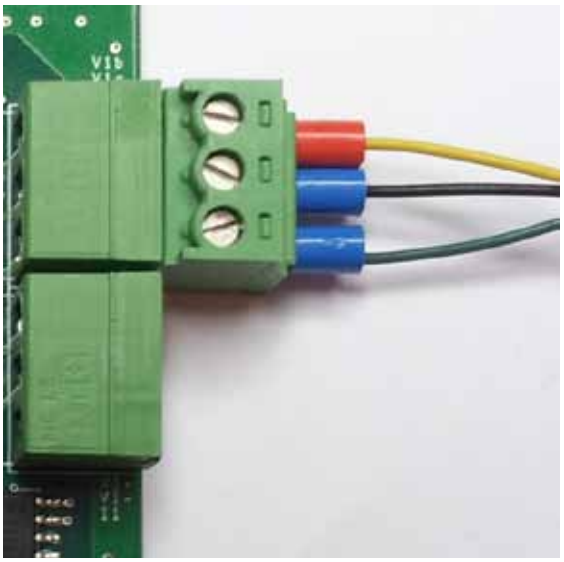


图10. CH1 RTD连接器

简化输入电路示意图

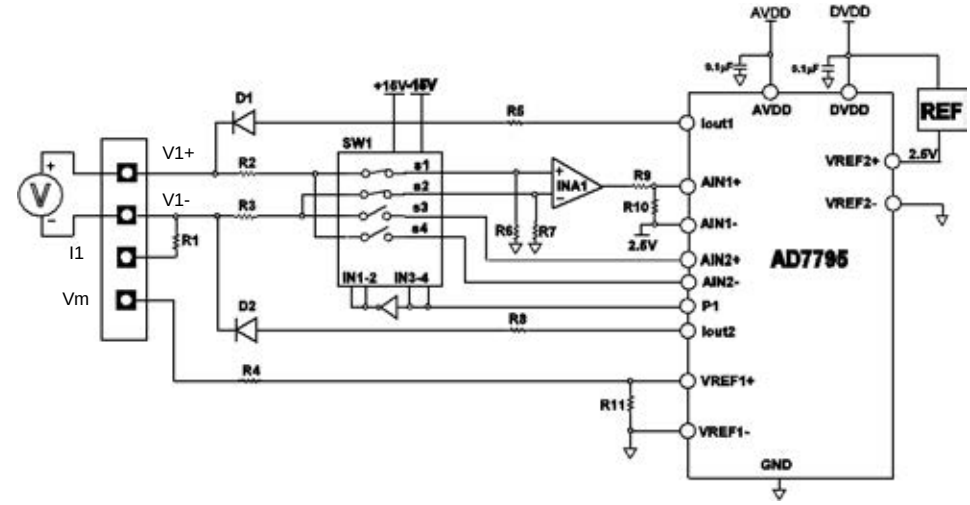


图11. CH2简化电压输入示意图

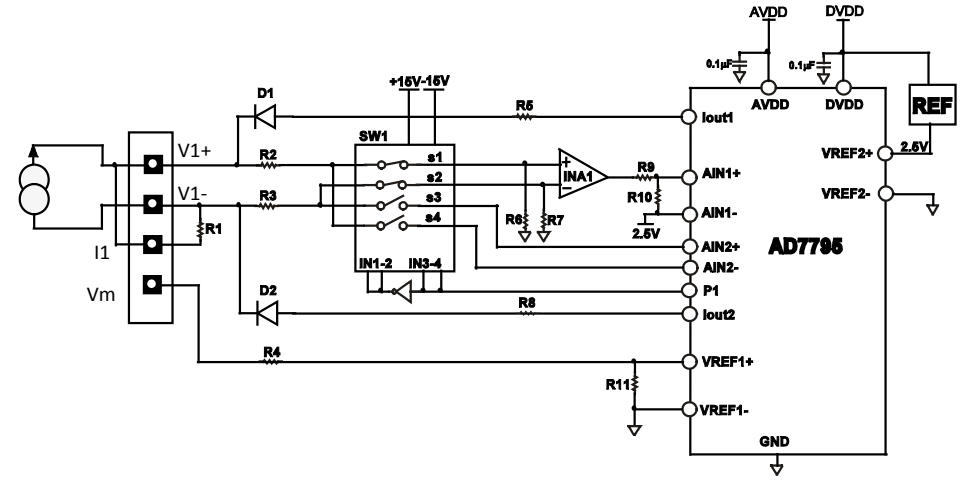


图12. CH2简化电流输入示意图

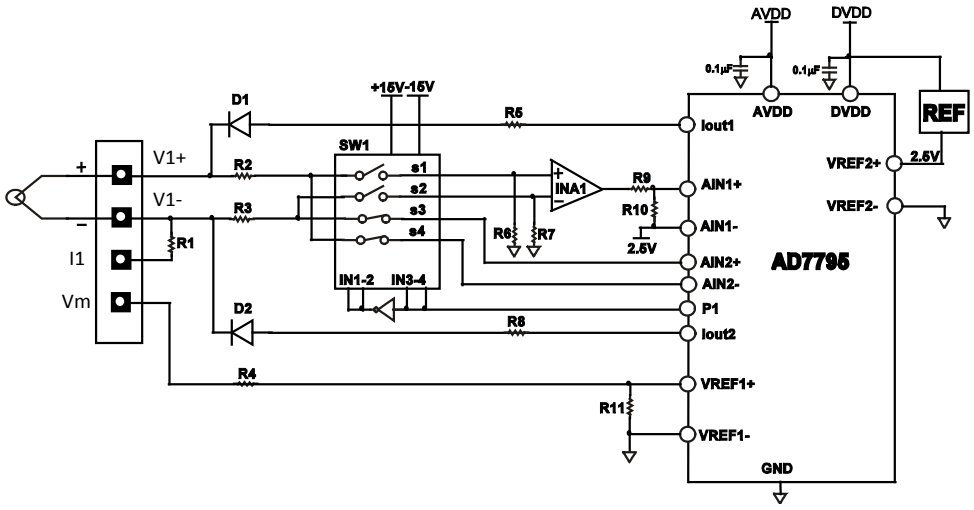


图13. CH2简化热电偶输入示意图

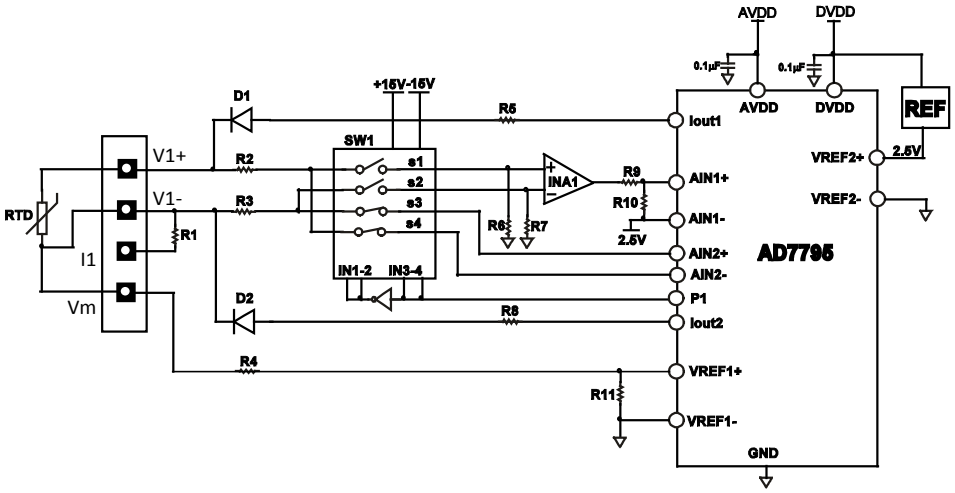


图14. CH2简化RTD输入示意图

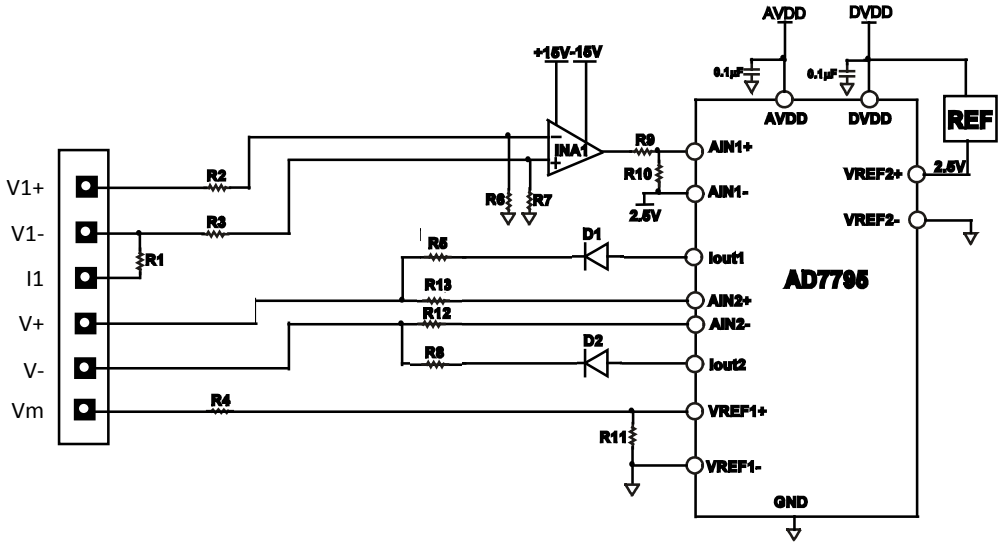


图15. CH1简化输入示意图

软件说明

通用模拟输入板附带一张CD光盘，其中含有用Labview设计的评估软件。可将该软件安装到装有Windows XP (SP2)、Vista(32位或64位)或Windows 7(32位或64位)的标准PC上。要使用评估软件，需要SDP-B(系统演示平台B版)。

在评估软件运行时，来自板载EEPROM的优化默认配置以及校准参数将加载到软件中。评估软件允许用户通过通用模拟输入板采集数据，可以对该数据进行分析，也可将其保存到文件中。分析结果以坐标图和数字格式显示在屏幕上。用户可以设置自己的配置和校准值，将其保存到板载EEPROM中，软件会记录配置并在下次运行时自动上传。

软件安装

1. 插入CD光盘(或者从以下网址下载软件安装包：ftp://ftp.analog.com/pub/cftl/CN0325/)
2. 在CD或下载的文件中找到Setup.exe文件。双击该文件，启动安装程序。
3. 按照屏幕指示操作，完成安装。

请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统和SDP板。 安装完成后，

1. 使用附带的电缆，通过PC的USB端口连接EVAL-SDP-CB1Z。
2. 将EVAL-CN0325-SDPZ评估板连接至两个SDP连接器之一。

3. 打开EVAL-CN0325-SDPZ(确保按“硬件”部分的要求正确设置跳线)
4. 启动EVAL-CN0325-SDPZ软件(“CN0325.exe”)，然后确认出现的所有对话框。 这样就完成了安装。

使用软件

软件主面板如图16所示。硬件通过**Configuration(配置)**选项卡进行配置，该选项卡分为三个子选项卡，分别处理不同的功能。**Acquisition Result(采集结果)**选项卡显示来自ADC的所有数据，并将结果转换成相关单位。**Calibration(校准)**选项卡允许用户对任何范围进行校准。有关已连接SDP板和软件的详情可在**S/W Version Info(软件版本信息)**选项卡中找到。

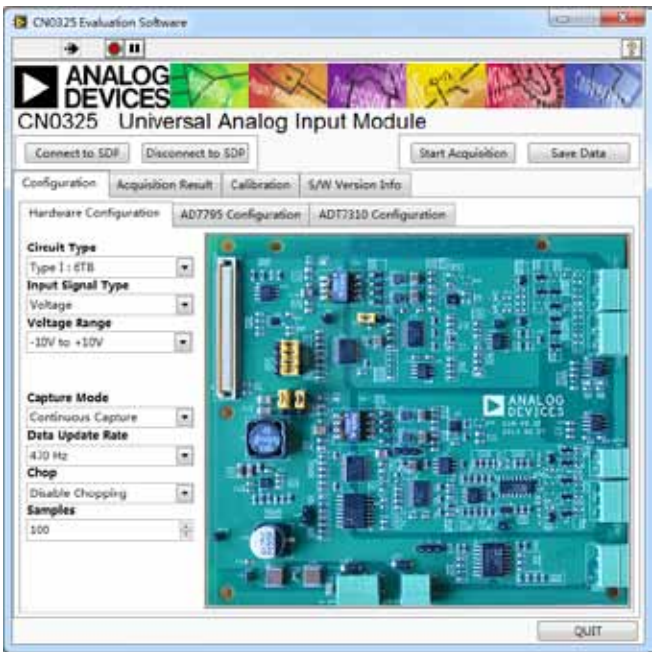


图16. 评估软件主面板。

主窗口按钮

Connect to SDP(连接至SDP)：单击设置SDP板和评估板之间的连接。

Disconnect to SDP(断开与SDP的连接)：单击断开SDP板与评估板之间的连接。

Single Capture(单次捕获)：单击启动单次捕获。

Start (Stop) Acquisition(开始(停止)采集)：单击开始(停止)连续捕获。

Save Data(保存数据)：将软件中显示的数据保存至文件，以便进一步分析使用。

Quit(退出)：退出应用程序。

Configuration(配置)选项卡

Hardware Configuration(硬件配置)子选项卡

Hardware Configuration(硬件配置)子选项卡上的图片(见图17)展示的是所选输入的正确跳线设置方法和接线方法。为确保结果的正确性，硬件上的跳线设置应与图片相同。不同的输入选项列于下方：

Circuit Type(电路类型)：有两个完全隔离式通用模拟输入电路可供选择。“Type1- 6TB”：成本最低的解决方案，带6引脚传感器和信号连接端子；或者“Type2- 4TB”：一种更加紧凑的解决方案，只带4引脚传感器和信号连接端子。

Input Signal Type(输入信号类型)：评估板可以转换多类信号，包括电压、电流、热电偶和RTD。一旦选定，就必须选择所需范围的热电偶/RTD类型。

Capture Mode(捕获模式)：设置数据捕获方法。要么是单次捕获模式，即只捕获指定数量的采样。要么是连续捕获模式，即将连续捕获数据，直到用户停止采集为止。

AD7795配置子选项卡

对于在**硬件配置**选项卡中选择的每一类输入信号范围，都会有相应的默认配置加载到通用模拟输入板中。本AD7795**配置**选项卡(见图17)支持更高级的配置，并且具有较大的灵活性，能够以不同于默认值的配置对板进行评估。

该选项卡的使用要求掌握具体的AD7795寄存器、功能和硬件结构知识。配置不正确可能导致采集或运行错误。按钮**Recover All (Current) range to Default(将全部(当前)范围恢复为默认值)**用于恢复所选范围的默认配置。

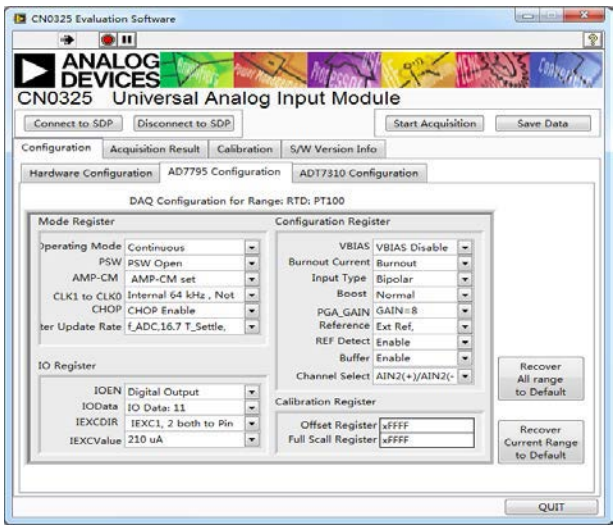


图17. AD7795配置页。

ADT7310配置子选项卡

有一个板载温度传感器芯片ADT7310，在热电偶测量过程中，该芯片靠近端子板，以实现冷结补偿。一般情况下，会将默认配置加载到通用模拟输入板中。本ADT7310配置选项卡(见图18)支持更高级的配置，并且具有较大的灵活性，能够以不同于默认值的配置对板进行评估。该选项卡的使用要求掌握具体的ADT7310寄存器、功能和硬件结构知识。

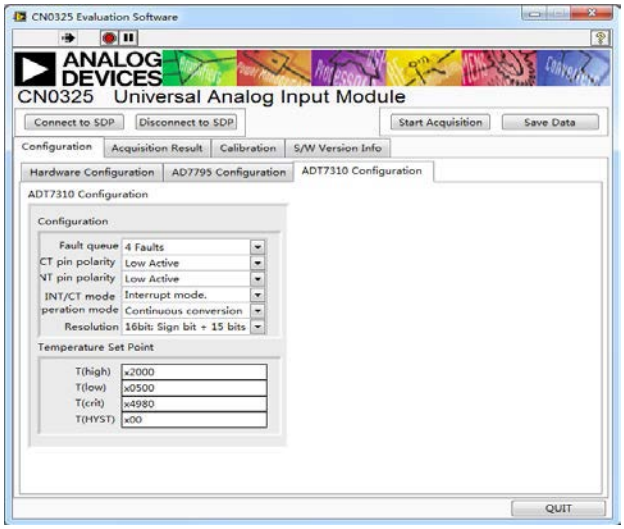


图18. ADT7310配置页。

Acquisition Result(采集结果)选项卡

Converted Result(转换结果)子选项卡

基于来自数据转换器的RAW数据以及通道配置和校准值，将结果转换成相关的单位。数据以波形图显示在该子选项卡中(见图19)。同时对数据进行分析，以提供采样数、均值、最小值、最大值、rms和峰峰值噪声以及rms和峰峰值分辨率。

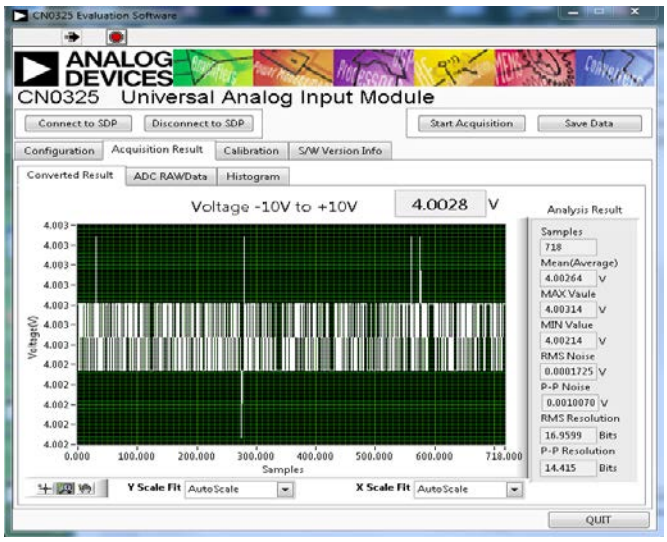


图19. 采集结果选项卡，转换结果子选项卡

ADC RAW Data(ADC RAW数据)子选项卡

直接从ADC读取的采集数据以波形图显示在该子选项卡中。同时对数据进行分析，以提供采样数、均值、最小值、最大值、rms和峰峰值噪声以及rms和峰峰值分辨率。

Histogram(直方图)子选项卡

直方图选项卡(见图20)清楚地显示了已捕获的RAW ADC数据的分布情况。该图表可以用来评估噪声和采集稳定性。

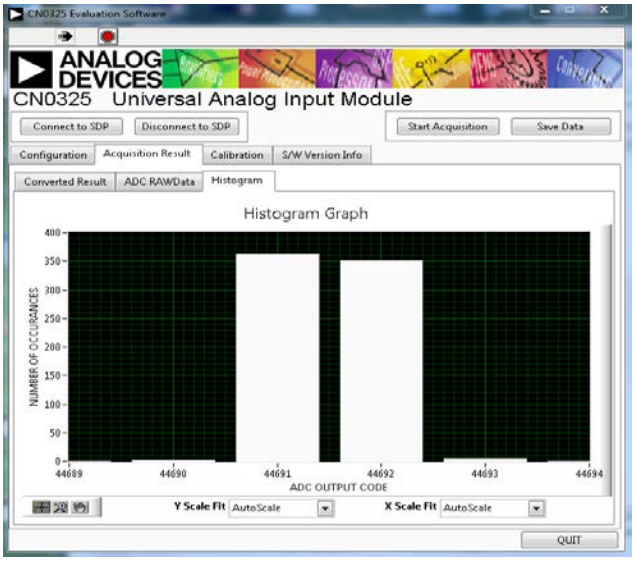


图20. 采集结果选项卡，直方图子选项卡

Calibration(校准)选项卡

该软件同时为每一种输入信号和传感器类型提供了独立的校准参数。这样，用户就可以准确地校准系统失调和增益，以使系统实现高直流精度(见图21)。校准参数可以存储到板载EEPROM中，以便以后使用。完整的校准同时要求进行零电平校准和满量程校准。

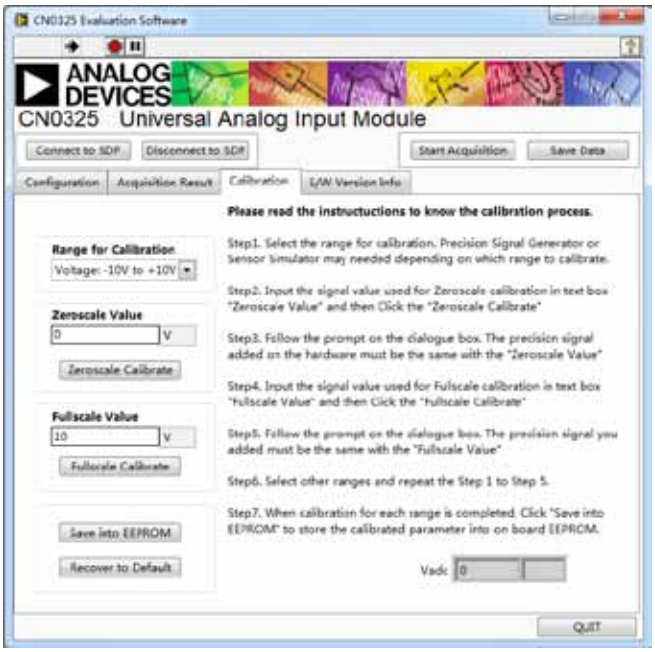


图21. 校准页。

以下步骤将确保校准的准确性。

1. 选择要校准的输入范围
2. 应用**Zeroscale Value(零电平值)**中指定的正确输入信号，单击按钮**Zero Calibrate(零校准)**。按提示操作，完成零电平校准。
3. 应用**Fullscale Value(满量程值)**中指定的正确输入信号，单击按钮**Zero Calibrate(零校准)**。按提示操作，完成满量程校准。
4. 单击按钮**Save into EEPROM(保存至EEPROM)**

校准参数将存入ADC的内部校准寄存器。只有当用户单击按钮**保存至EEPROM**时，新的校准值才会永久性地保存至EEPROM，并在下次选择该范围时加载。

工厂默认校准值的副本存储在板载EEPROM中。单击**Recover to Default(恢复默认值)**按钮，所有校准值将恢复至工厂默认值。

软件版本信息选项卡

图22展示的是软件版本信息选项卡的图片。该选项卡提供有关已连接SDP板的信息。

单击**Flash LED(闪烁LED)**按钮，结果将使SDP上的LED灯闪烁，同时表示SDP与评估板之间已成功建立连接。

单击**Read Firmware(读取固件)**按钮，结果将读取SDP平台上的当前代码信息。

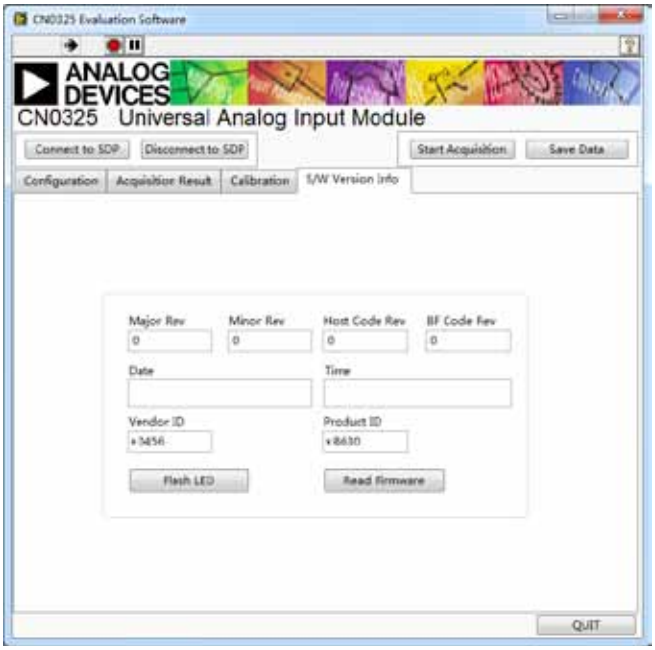


图22. 软件版本信息选项卡

每个参数的意义列出如下：

Major Rev(重大修订号)：重大代码修订编号

Minor Rev(微小修订号)：微小代码修订编号

HostCode Rev(主机代码修订号)：用于开发固件的主机代码的版本号

BlackFinCode Rev(BlackFin代码修订号)：固件的BlackFin代码修订编号

Date(日期)：代码编译日期

Time(时间)：代码编译时间

更多资料

CN-0325设计支持包：
http://www.analog.com/CN0325-DesignSupport

AD779x仪表转换器—常见问题解答

MT-004：ADC输入噪声面面观—噪声是利还是弊?

教程MT-022：ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础。ADI公司。

教程MT-023：ADC架构IV：Σ-Δ型ADC的高级概念和应用。ADI公司。

教程MT-031：实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团。ADI公司。

教程MT-101：去耦技术。ADI公司。

Chen, Baoxing。2006年。采用isoPower技术的iCoupler产品：利用微变压器跨越隔离栅实现信号和电源传输。ADI公司。

iCoupler®技术揭秘：集成PWM控制器和变压器驱动器的四通道隔离器ADuM347x设计总结。作者：Flow Zhao，ADI公司设计工程师。

Slattery，Colm、Derrick Hartmann和Li Ke。“PLC评估板简化工业过程控制系统的设计。”《模拟对话》，2009年4月。ADI公司。

数据手册和评估板

AD7795数据手册

AD8226数据手册

ADT7310数据手册

ADP2441数据手册

ADR441数据手册

ADP1720数据手册

ADuM3471数据手册

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

(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.
CN0325sc-0-4/13(PrA)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0326。

连接/参考器件	
AD7793	3通道、低噪声、低功耗24位Σ-Δ型ADC
ADuM5401	集成DC/DC转换器的四通道隔离器
AD8603	微功耗RRIO、低噪声、精密单通道CMOS运算放大器

具有温度补偿的隔离式低功耗PH值测试系统

评估和设计支持

电路评估板

- CN0326评估板(EVAL-CN0326-PMDZ)
- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- SDP PMOD转接板(SDP-PMD-IB1Z)

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所示电路是一个完全隔离式低功耗pH传感器信号调理器和数字化仪，并且带有自动温度补偿以实现高精度。

该电路可为0至14范围内的pH值提供精度为0.5%的读数，无噪声代码分辨率大于14位，适用于多种工业应用，如化工、食品加工、水处理、污水分析等。

该电路支持众多内部电阻超高(范围从1 MΩ至数GΩ)的pH传感器，其数字信号和电源隔离设计使其免受恶劣工业环境中常见的噪声和瞬变电压的影响。

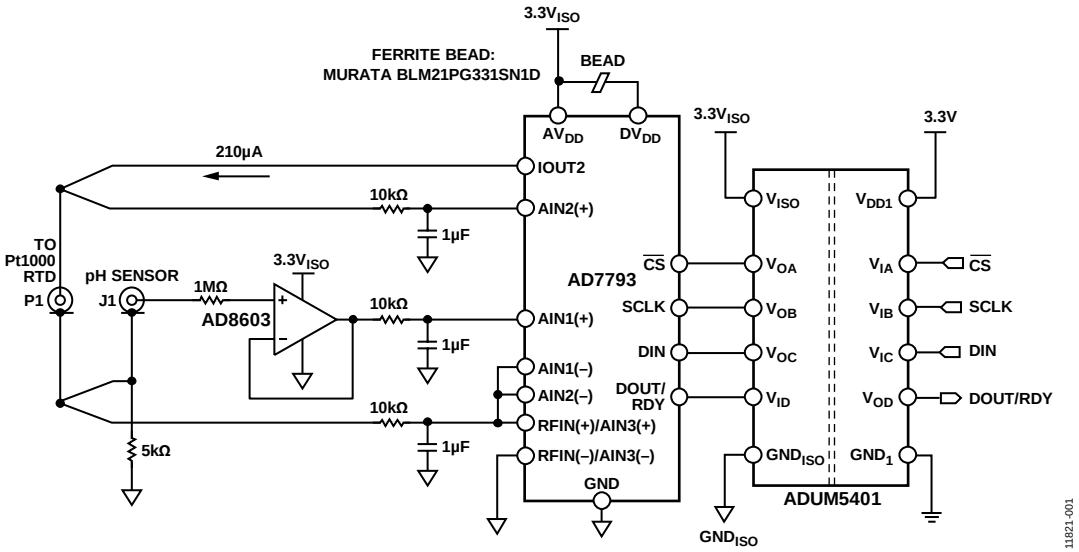


图1. pH传感器电路图(简化原理图： 未显示所有连接和去耦)

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.cn**
Fax: 781.461.3113 **©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.**

电路描述

pH测量的基本原理

pH值是衡量水溶液中氢离子和氢氧化物离子相对量的一项指标。就摩尔浓度来说，25°C的水含有1×10^{-7}摩尔/升氢离子，氢氧化物离子浓度与此相同。中性溶液指氢离子浓度正好等于氢氧化物离子浓度的溶液。pH值是表示氢离子浓度的另一种方式，定义如下：

$$pH = -\log(H^+)$$

因此，如果氢离子浓度为1.0×10^{-2}摩尔/升，则pH值为2.00。

pH电极是许多工业所使用的电化学传感器，但对水处理和污水工业具有特别重要的意义。pH探针由一个玻璃测量电极和一个参考电极构成，类似于一块电池。当把探针置于溶液中时，测量电极产生一个电压，具体取决于溶液中氢的活性，然后将该电压与参考电极的电位进行比较。随着溶液酸性的增强(pH值变低)，玻璃电极电位相对于参比电极阳性增强(+mV)；随着溶液碱性的增强(pH值变高)，玻璃电极电位相对于参比电极阴性增强(-mV)。这两个电极之差即为测得电位。在理想情况下，典型的pH探针在25°C下会产生59.154 mV/pH单位，用能斯脱方程表示为：

$$E = a - \frac{2.303\,R(T + 273.1)}{nF} \times (pH - pH_{ISO})$$

其中：

E = 氢电极电压，活性未知

α = ±30 mV，零点容差

T = 环境温度(单位：°C)

n = 1(25 °C)，价(离子上的电荷数)

F = 96485库仑/摩尔，法拉第常数

R = 8.314 伏特-库仑/°K摩尔，阿伏加德罗氏数

pH = 未知溶液的氢离子浓度

pH_{ISO} = 7，参比氢离子浓度

方程表明，产生的电压取决于溶液的酸度和碱度，并以已知方式随氢离子活性而变化。溶液温度的变化会改变其氢离子的活性。当溶液被加热时，氢离子运动速度加快，结果导致两个电极间电位差的增加。另外，当溶液冷却时，氢活性降低，导致电位差下降。根据设计，在理想情况下，当置于pH值为7的缓冲溶液中时，电极会产生零伏特电位。

关于pH理论的一本不错的参考书是《pH理论与实践》(出版社：Radiometer Analytical SAS；出版地点：Villeurbanne Cedex，法国)。

电路细节

该设计为带温度补偿的pH传感器提供了一种整体解决方案。有三个重要的电路级：pH探针缓冲器、ADC和数字及电源隔离器，如图1所示。

AD8603，是一款精密微功耗(最大值50 µA)及低噪声(22 nV/√Hz) CMOS运算放大器，配置为连接AD7793通道之一输入的缓冲器。AD8603的典型输入偏置电流为200 fA，为高内部电阻pH探针提供了一种有效的解决方案。

pH检测和温度补偿系统基于AD7793，24位(Σ-Δ)ADC。它有三个差分模拟输入和一个片内低噪声、可编程增益放大器(PGA)，其范围为单位增益至128。AD7793的最大功耗仅为500 µA，适用于任何低功耗应用。有一个低噪声、低漂移内部带隙基准电压源，而且也可采用一个外部差分基准电压。输出数据速率可通过软件编程设置，可在4.17 Hz至470 Hz的范围内变化。

ADuM5401(四通道数字隔离器，集成DC-DC转换器)提供微控制器与AD7793数字线路之间的数字信号和电源隔离功能。利用*i*Coupler芯片级变压器技术，能够隔离逻辑信号和DC/DC转换器中的电源反馈路径。

pH传感器接口缓冲器

典型的pH探针电极由玻璃制成，可形成极高的电阻，范围从1 MΩ到1 GΩ不等，充当与pH电压源串联的电阻，如图2所示。

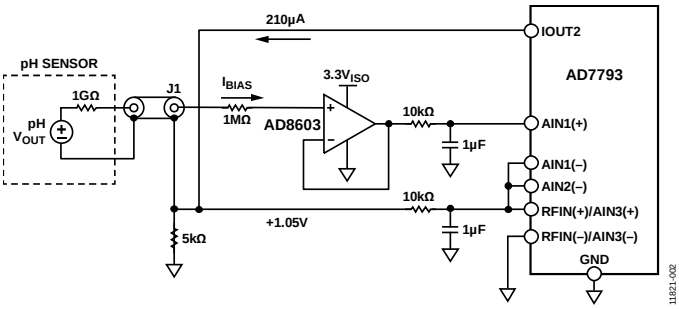


图2. 连接ADC的pH传感器和缓冲器接口
(简化原理图：未显示所有连接、RTD和去耦。)

流过该串联电阻的缓冲放大器偏置电流会给系统带来失调误差。为使电路与该高源电阻隔离开来，在这种应用中，需要一个高输入阻抗、超低输入偏置电流的缓冲放大器。AD8603用作该应用的缓冲放大器，如图2所示。AD8603的低输入电流可以最大限度地减少流过电极电阻的偏置电流所产生的电压误差。

就25°C下串联电阻为1 GΩ的pH探针来说，对于200 fA典型输入偏置电流，失调误差为0.2 mV (0.0037 pH)。即使在1 pA的最大输入偏置电流下，误差也只有1 mV。

10 kΩ/1 μF低通噪声滤波器针对缓冲放大器输出的截止频率为f= 1/2πRC，即16 Hz。

必须利用防护、屏蔽、高绝缘电阻支柱以及其他此类标准皮安方法，以最大限度地减少AD8603缓冲器高阻抗输入端的泄漏。

ADC通道1配置，pH传感器

该级涉及测量pH电极产生的小电压。表1展示了一个典型pH探针的技术规格。基于能斯脱方程，来自探针的满量程电压范围为±414 mV (±59.14 mV/pH) (25°C)至±490 mV (±70 mV/pH)(80°C)。

表1. 典型pH探针的技术规格

测量范围	pH 0至pH 14
零电压下的pH值	pH 7.00 ± 0.25
精度	pH 0.05，温度范围：20°C至25°C
分辨度	pH 0.01 0.1 mV
工作温度	80°C(最大值)
反应时间	最终值的95%≤ 1秒

在读取pH探针输出电压时，ADC采用外部1.05 V基准电压源，增益配置为1。满量程输入范围为$\pm V_{REF}/G = \pm 1.05$ V，来自pH探针的最大信号为±490 mV (80°C)。

由于传感器的输出是双极性的，并且AD7793采用单电源供电，因此，pH探针产生的信号应偏置到地以上，以使其处于ADC的可接受共模范围之内。该偏置电压产生的方式是，将210 μA IOUT2电流注入5 kΩ 0.1%电阻，如图2所示。结果产生1.05 V共模偏置电压，这同时充当ADC基准电压。

ADC通道2配置，RTD

ADC的第二通道监控在RTD上产生的电压，该RTD由AD7793的IOUT2电流输出引脚驱动。210 μA激励电流驱动由RTD和精密电阻(5 kΩ, 0.1%)构成的串联组合。(参见图1)。

纯铂的温度系数为0.003926 Ω/Ω/°C。根据DIN Std. 43760-1980和IEC 751-1983标准，工业RTD的正常系数为0.00385 Ω/Ω/°C。RTD的精度通常以0°C为基准。DIN 43760标准认可两个类，如表2所示，ASTM E–1137标准认可两个级，如表3所示。

表2. DIN-43760的标准RTD精度

类	容差
DIN 43760 A类	±0.06% @ 0°C
DIN 43760 B类	±0.12% @ 0°C

表3. ASTM E-1137的标准RTD精度

级	容差
ASTM E-1137 A级	±0.05% @ 0°C
ASTM E-1137 B级	±0.10% @ 0°C

RTD电阻值的计算公式为：

$$\text{RTD电阻} = RTD_0 (1 + T\,\alpha)$$

其中：

*RTD*电阻 = T下的电阻值

RTD_0 = 0°C下的电阻值

T = 环境温度

α = 0.00385 Ω/Ω/°C，DIN Std 43760-1980和IEC 751-1983定义的温度系数

RTD电阻在0°C (1000 Ω)至100°C (1385 Ω)范围内变化，产生的电压信号范围为210 mV至290 mV，激励电流为210 μA。

精密5 kΩ电阻产生作为外部基准电压源的1.05 V电压。当增益为1时，模拟输入范围为±1.05 V ($\pm V_{REF}/G$)。该架构形成一种比率式配置。 激励电流值的变化不会影响系统精度。

尽管100 Ω Pt RTD十分常见，也可指定其他电阻(200 Ω、500 Ω、1000 Ω等)和材料(镍、铜、镍铁)。本应用使用一个1 kΩ DIN 43760 A类RTD，用于实现pH传感器的温度补偿功能。 1000 Ω RTD对线路电阻误差不如100 Ω RTD敏感度。

采用一条2线连接，如图3所示。在RTD引脚上施加恒定电流，同时测量通过RTD本身的电压。测量器件是AD7793，该器件表现出高输入电阻和低输入偏置电流。该方案的误差源是引脚电阻、AD7793所产生恒定电流源的稳定性以及输入放大器中的输入阻抗和/或偏置电流及相应的漂移。

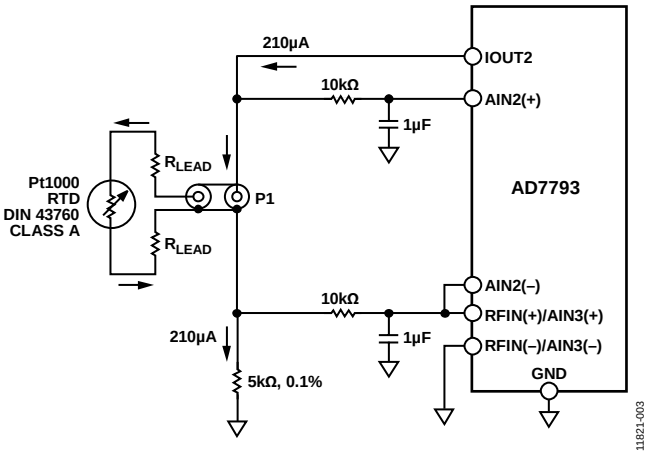


图3. 2线铂RTD连接(简化原理图：未显示所有连接和去耦)

消除线路电阻误差的另一种可能性是3线RTD配置，详见电流笔记CN-0287。

输出编码

任一通道上输入电压的输出代码为：

$$Code = 2^{N-1}\left(\frac{AIN \times GAIN}{V_{REF}} + 1\right)$$

其中：

*AIN*为模拟输入电压。

*GAIN*为仪表放大器设置。

N = 24

EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台板和PC处理AD7793输出的数据。

数字和电源隔离

ADuM5401隔离ADC数字信号，同时为电路提供经隔离稳压的3.3 V电源。ADuM5401 (V_{DD1})的输入应在3.0 V和3.6 V之间。要注意ADuM5401的布局，以尽量减少EMI/RFI问题。有关更多详情，请参考AN-1109应用笔记：*i*Coupler器件的辐射控制建议。

系统校准

AD7793的AIN3(+)输入用于测量精密5 kΩ 0.1%电阻上的电压降。为了精确测量RTD电阻，必须考虑IOUT2电流的±5%变化范围。在此基础上，将该电压除以5 kΩ，从而求得IOUT2确切电流值。RTD电阻则通过用RTD中的电压除以IOUT2确切电流值来计算。

利用如图4所示两点校准程序来校准EVAL-CN0326-PMDZ评估软件中的pH计。

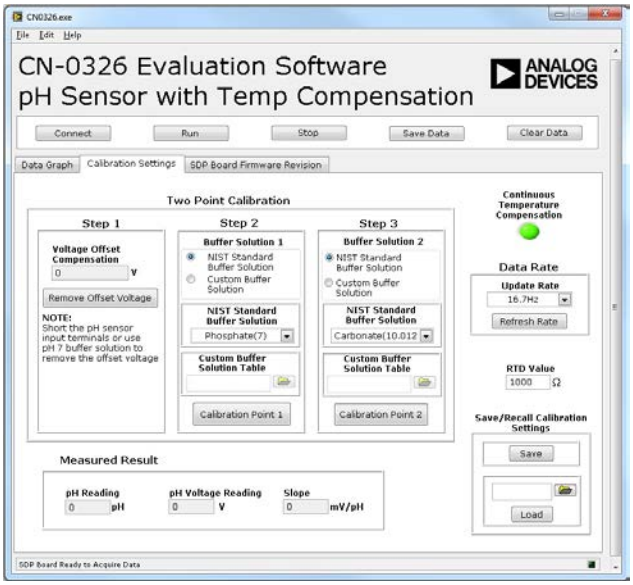


图4. 评估软件校准设置窗口

用户需要至少使用两种缓冲溶液，其中，用一种值为pH-7的中性pH缓冲溶液来消除pH探针和系统导致的失调。中性缓冲溶液可以用来设置第一个校准点。第一种缓冲溶液的pH值取决于需要测量的溶液的pH值。在测量碱性基液时，可以使用pH-10缓冲溶液；在测量酸性溶液时，可使用pH-4缓冲溶液。为了提高测量的精度，可以实施三点校准。其方法是在第2步和第3步使用两组不同的缓冲溶液，如图4所示，其中，pH-7溶液用来消除失调。

软件包括NIST推荐的缓冲溶液清单。清单中描述的每种缓冲溶液都有自己的温度系数，范围在0°C至95°C之间，可以在Radiometer Analytical出版的《pH理论与实践》一书中找到。软件利用该表将来自pH探针的mV输入关联至与读取自RTD传感器的温度读数相对应的正确pH值，并利用线性插值法来填充表中空白。用户可以选择通过单击如图4所示绿色按钮，使能/禁用连续温度补偿选项。

用于pH传感器校准的缓冲溶液在市场中很常见。也可使用NIST认证的其他pH参比溶液来校准。由于市场上有多种缓冲溶液可供选择，因此，软件同时为用户提供了一个选项，可以使用所需要的NIST认证pH参比溶液进行校准，如图4所示。

软件同时还为用户提供了一个使用其他RTD电阻值的选项，但其默认值设为1000 Ω。

系统噪声考虑因素

如果输出数据速率为16.7 Hz且增益为1，则AD7793的rms噪声等于1.96 μV(噪声折合到输入端，来自AD7793数据手册)。峰峰值噪声等于：

6.6 × RMS 噪声 = 6.6 × 1.96 μV = 12.936 μV

如果pH计的灵敏度为59 mV/pH，则pH计能测量的无噪声分辨度pH水平为

12.936 μV / (59 mV/pH) = 0.000219 pH

其中只包括AD7793的噪声贡献。实际系统结果见下一节。

测试数据与结果

全部数据捕获操作都通过CN0326 LabVIEW评估软件实现。用一个Yokogawa GS200精密电压源来模拟pH传感器的输入。

通过以1 mV增量在−420 mV至+420 mV范围内扫描精密电压，EVAL-CN0326-PMDZ能根据用户自定义的校准选项捕获数据。

AD8603缓冲器和AD7793在实际系统中的峰峰值噪声的确定方法是，短接pH探针BNC连接器，并采集1000个采样。如图5中所直方图所示，代码分布约为500个代码，相当于峰峰值噪声为31.3 μV，等效pH读数分布为0.00053 pH峰峰值。

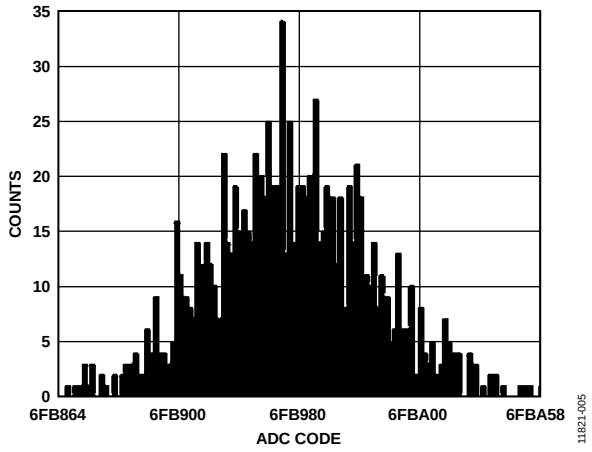


图5. 输出代码分布直方图
(AD7793输入引脚短接在一起)

测试系统时将三个不同电阻与ADC输入串联，以仿真高阻抗玻璃电极的不同阻抗。同时对系统进行了校准，结果得到60 mV/pH。据图6，线性误差随仿真玻璃电极阻抗的增加而增加。图6同时显示，在整个仿真pH输出电压范围内，对于200 MΩ的pH探针阻抗，线性误差小于0.5%。

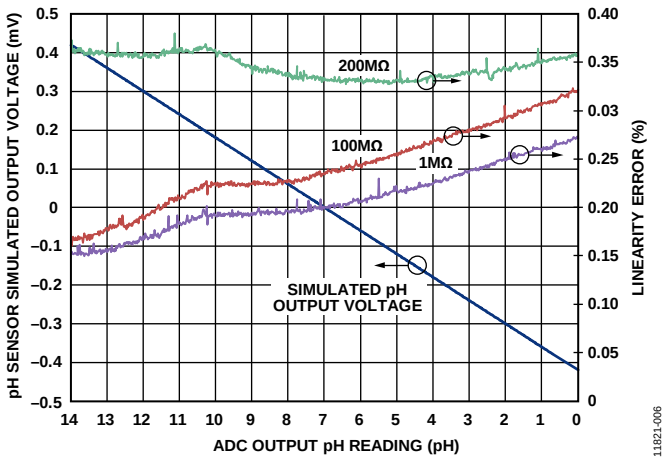


图6. pH传感器仿真输出电压(及关联线性误差图)
与ADC输出pH读数的关系(所示探针电阻为
1 MΩ、100 MΩ和200 MΩ)

测试数据以图7所示评估板采集。针对该系统的完整文档可以在CN-0326设计支持包中找到。



图 7. EVAL-CN0326-PMDZ板的照片

常见变化

其他合适的ADC有AD7792和AD7785，这两款器件具有与AD7793相同的特性组合， 但AD7792为16位ADC，AD7785为20位ADC。

AD8607缓冲放大器采用8引脚MSOP封装。这是一款双通道微功耗轨到轨输入/输出放大器，与AD8603属于同一系列。

ADuM5401的其他系列包括多种通道配置，如ADuM5402/ADuM5403 /ADuM5404，同时提供4个独立隔离通道。

电路评估与测试

本电路采用EVAL-CN0326-PMDZ电路板、EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板和SDP-PMD-IB1Z(一款针对EVAL-SDP-CB1Z的PMOD转接板)。SDP和SDP-PMD-IB1Z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。为了使用SDP-PMD-IB1Z和SDP评估EVAL-CN0326-PMDZ板，通过一个间距为100密尔、面积为25平方密尔的标准直角引脚-接头连接器把EVAL-CN0326-PMDZ连接至SDP-PMD-IB1Z。

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-CN0326-PMDZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z电路评估板
- SDP-PMD-IB1Z SDP转接板
- CN-0326评估软件
- 电源：6 V壁式或同等电源适配器
- Yokogawa 2000精密直流电源或等效电源

开始使用

将CN-0326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。

设置

CN0326评估套件包括一张光盘，其中含有自安装软件。该软件兼容Windows® XP (SP2)和Vista(32位和64位)。如果安装文件未自动运行，您可以运行光盘中的**setup.exe**文件。

请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

1. 光盘文件安装完毕后，按照“电源配置”部分所述为SDP-PMD-IB1Z评估板接通电源。把SDP板(通过连接器A)接至SDP-PMD-IB1Z评估板，然后用随附电缆将其接至用于评估的PC的USB端口。
2. 将EVAL-CN0326-PMDZ的12引脚直角公引脚接头连接至SDP-PMD-IB1Z的12引脚直角母引脚接头。
3. 在运行图9所示程序之前，将pH探针的BNC端子和RTD传感器连接至EVAL-CN0326-PMDZ的端子插孔中。
4. 在接好并打开所有外设和电源之后，在图9所示图形用户界面上单击**Connect(连接)**。当PC成功检测到评估系统时，即可使用图9所示软件对EVAL-CN0326-PMDZ电路板进行评估。

功能框图

测试设置的功能框图如图8所示。该测试设置应按图中所示方式连接。主软件窗口的屏幕截图如图9所示。

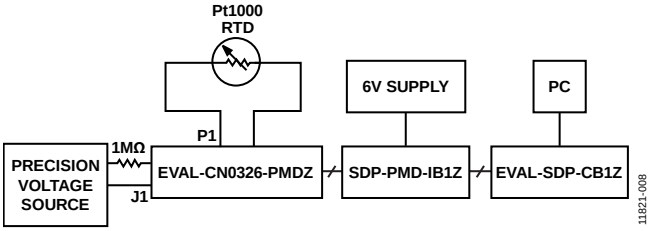


图8. pH传感器测试设置功能框图

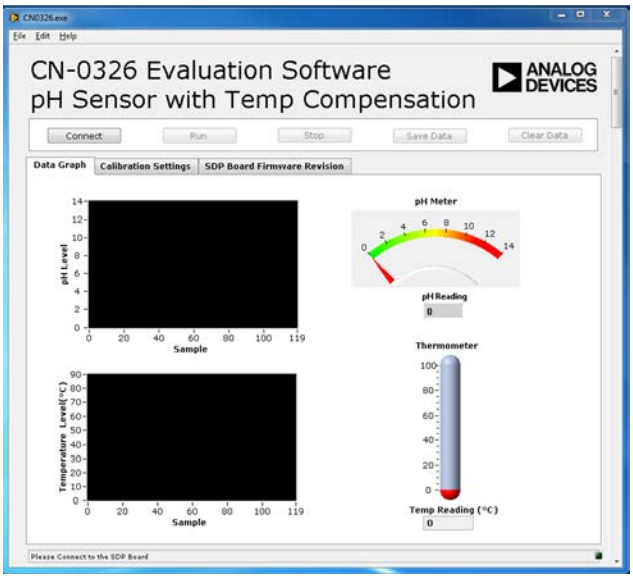


图9. 评估软件主窗口

电源配置

SDP-PMD-IB1Z必须采用6 V直流电源，其跳线JP1应设为3.3 V，用于驱动EVAL-CN0326-PMDZ。

测试

用Agilent E3631A和Yokogawa GS200精密电压来仿真传感器输出。Yokogawa的负端子连接至pH传感器所用ADC的负端子。正端子与电阻串联，接至ADC的正端子，如图8所示。Yokogawa产生±420 mV电压，然后仿真pH传感器输出，随后改变串联电阻值，以仿真pH探针的玻璃电极的阻抗，如图8所示。

用CN-0326评估软件来捕获来自EVAL-CN0326-PMDZ电路板的数据，所用设置如图8所示。

有关软件使用方法的详细信息可在CN-0326软件用户指南中找到。

更多资料

CN-0326设计支持包：
www.analog.com/CN0326-DesignSupport

教程MT-004：*ADC输入噪声面面观—无噪声是利还是弊?* ADI公司。

教程MT-022：*ADC架构III：Σ-Δ型ADC基础*。ADI公司。

教程MT-023：*ADC架构IV：Σ-Δ型ADC的高级概念和应用*。ADI公司。

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

教程MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-037：*运算放大器输入失调电压*。

教程MT-038：*运算放大器输入偏置电流*

教程MT-040：*运算放大器输入阻抗*

教程MT-095：*EMI、RFI和屏蔽概念*

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司

Kester，Walt。1999年。*高阻抗传感器*。第5部分。ADI公司。

Kester，Walt。1999年。*温度传感器*。第7部分。ADI公司。

Chen，Baoxing。2006年。*采用isoPower®技术的iCoupler®产品：利用微变压器跨越隔离栅实现信号和电源传输*。ADI公司。

Wayne，Scott。2005年。“*i*Coupler®数字隔离器保护工业、仪器仪表和计算机应用中的RS-232、RS-485和CAN总线。”*模拟对话*，第39卷。ADI公司（十月）。

Brian Kennedy和Mark Cantrell。应用笔记AN-1109：*iCoupler器件的辐射控制建议*。ADI公司。

pH理论与实践。Radiometer Analytical，SAS，Villeurbanne Cedex（法国）。

数据手册和评估板

AD7793数据手册

AD7793评估板

ADUM5401数据手册

ADuM5401评估板

AD8603数据手册

修订历史

2013年9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.
CN11821sc-0-9/13(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0335。

连接/参考器件	
AD8606	精密、低噪声、双通道CMOS、轨到轨输入/输出运算放大器
AD7091R	1 MSPS、超低功耗、12位ADC
ADuM5401	集成DC/DC转换器的四通道2.5 kV隔离器

12位、300 kSPS、单电源、完全隔离式数据采集系统，用于±10 V输入

评估和设计支持

电路评估板

CN0335电路评估板(EVAL-CN0335-PMDZ)
SDP/PMD转接板(SDP-PMD-IB1Z)
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所示电路是只采用了三个有源器件的完全隔离式12位、300 kSPS数据采集系统。

该系统采用3.3 V单电源供电，可处理±10 V输入信号。室温校准后，在±10°C温度变化范围内的总误差不超过±0.1% FSR，是各种工业测量应用的理想之选。

该电路的小巧尺寸使得该组合成为业界领先的数据采集系统解决方案，在这种系统中精度、速度、成本和尺寸极为关键。数据和电源相互隔离，因而该电路具有出色的高电压耐受性，同时还能有效避免恶劣工业环境下常见的接地环路干扰问题。

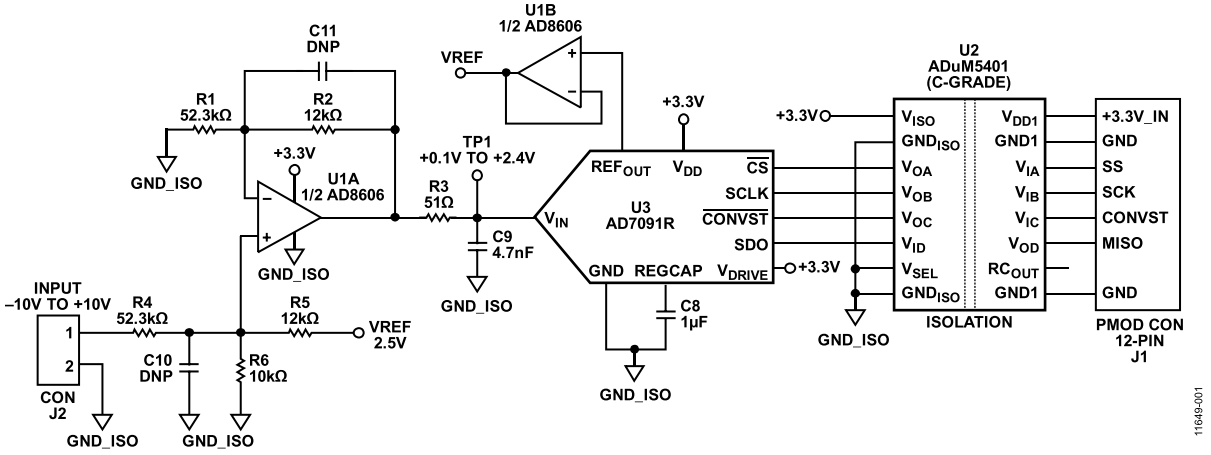


图1. ±10 V隔离式单电源数据采集系统(未显示所有连接和去耦)

Rev. A
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.cn
Fax: 781.461.3113
©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

该电路由一个输入信号调理级、一个ADC级和一个输出隔离级构成。±10 V输入信号由U1A运算放大器进行电平转换和衰减，该运算放大器是双通道AD8606的一半。该运算放大器的输出为0.1 V至2.4 V，与ADC的输入范围相匹配(0 V至2.5 V)，裕量为100 mV用于维持线性度。 来自ADC的缓冲基准电压(V_{REF} =2.5 V)用于生成所需失调。 可以修改电阻值，以适应本电路笔记后面部分所述的其他常用输入范围。

该电路设计支持单电源供电。AD8606的最小额定输出电压为50 mV(2.7 V电源)和290 mV(5 V电源)，负载电流为10 mA，温度范围为−40°C至+125°C。在3.3 V电源、负载电流低于1 mA、温度范围更窄的情况下，保守估计最小输出电压为45 mV至60 mV。

考虑到器件的容差，最小输出电压(范围下限)设为100 mV，以提供安全裕量。 输出范围的上限设为2.4 V，以便为ADC输入端的正摆幅提供100 mV的裕量。 因此，输入运算放大器的标称输出电压范围为0.1 V至2.4 V。

AD8606 (U1B)的另一半用于缓冲AD7091R (U3) ADC的内部2.5 V基准电压。

本应用中选用AD8606的原因是该器件具有低失调电压(最大值65 µV)、低偏置电流(最大值1 pA)和低噪声(最大值12 nV/√Hz)等特性。在3.3V电源下，功耗仅为9.2 mW。

运算放大器的输出级后接一个单极点RC滤波器(R3/C9)，用于降低带外噪声。RC滤波器的截止频率设为664 kHz。可添加一个可选二阶滤波器(R4、C10和R1、R2、C11)，以便在出现低频工业噪声的情况下，进一步降低滤波器截止频率。在这类情况下，由于信号带宽较小，因此可以降低AD7091R的采样速率。

选择AD7091R 12位1 MSPS SAR ADC是因为其在3.3 V (1.2 mW)下的功耗超低，仅为349 µA，显著低于当前市场上竞争对手的任何ADC。AD7091R还内置一个2.5 V的基准电压源，其典型漂移为±4.5 ppm/oC。 输入带宽为7.5 MHz，且高速串行接口兼容SPI。AD7091R采用小型10引脚MSOP封装。

采用3.3 V电源供电时，该电路的总功耗(不包括ADuM5401隔离器)约为10.4 mW。

电流隔离由四通道数字隔离器ADuM5401(C级)提供。除了隔离输出数据以外，ADuM5401还为该电路提供隔离3.3 V电源。除非需要隔离，否则电路正常运行时并不需要ADuM5401。ADuM5401四通道2.5 kV隔离器集成DC/DC转换器，采用小型16引脚SOIC封装。ADuM5401在7 MHz时钟频率下的功耗约为140 mW。

AD7091R需要50 MHz的串行时钟(SCLK)，方能实现1 MSPS的采样速率。然而，ADuM5401(C级)隔离器的最大数据速率为25 Mbps，对应的最大串行时钟频率为12.5 MHz。另外，SPI端口要求，SCLK的后沿将输出数据驱动至处理器，因此，ADuM5401的总双向传播延迟(最大值120 ns)将时钟上限限制在1/120 ns = 8.3 MHz。

尽管AD7091R是一款12位ADC，但串行数据同样被格式化为16位字，以便与处理器串行端口要求相兼容。 因此，采样周期TS包括AD7091R 650 ns的转换时间加上58 ns(数据手册要求的额外时间，t_1延迟 + t_{QUIET}延迟)，再加上用于SPI接口数据传输的16个时钟周期。

$$T_S = 650\ ns + 58\ ns + 16 \times 120\ ns = 2628\ ns$$

$$f_S = 1/T_S = 1/2628\ ns = 380\ kSPS$$

为了提供安全裕量，建议将SCLK和采样速率的最大值分别设为7 MHz和300 kSPS。 数字SPI接口可以用12引脚且兼容Pmod的连接器(Digilent Pmod规格)连接到微处理器评估板。

电路设计

图2所示电路可将−10 V至+10 V输入信号衰减及电平转换为0.1 V至2.4 V的ADC输入范围。

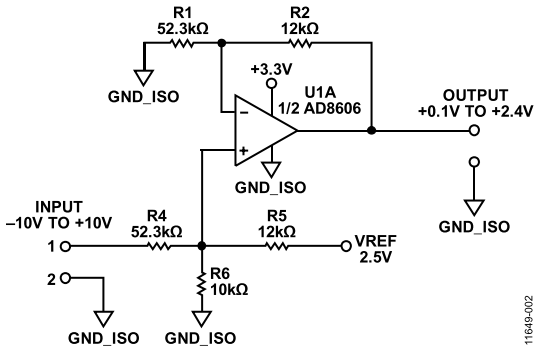


图2. 输入电压信号调理电路

传递函数通过叠加原理求得。

$$V_{OUT} = V_{IN}\frac{R5\|R6}{R4+R5\|R6}\left(1+\frac{R2}{R1}\right)+V_{REF}\frac{R4\|R6}{R5+R4\|R6}\left(1+\frac{R2}{R1}\right)=$$

$$=V_{IN}\frac{R}{R4+R}k+V_{REF}\frac{R0}{R5+R0}k=V_{IN}GAIN+OFFSET \quad (1)$$

其中：

$$R=R5\|R6=\frac{R5R6}{R5+R6},\quad R0=R4\|R6=\frac{R4R6}{R4+R6} \quad (2)$$

$$\text{and } k=\left(1+\frac{R2}{R1}\right) \quad (3)$$

增益、输出失调和电阻值的计算

若输入电压范围为±10 V，则计算如下。

电路的增益为：

$$GAIN=\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}}=\frac{2.4\text{ V}-0.1\text{ V}}{+10\text{ V}-(-10\text{ V})}=\frac{2.3\text{ V}}{20\text{ V}}=0.115 \quad (4)$$

根据传递函数：

$$GAIN=\frac{R5\|R6}{R4+R5\|R6}\left(1+\frac{R2}{R1}\right)=\frac{R}{R4+R}k \quad (5)$$

电路的输出失调为：

$$OFFSET=V_{OUT}\ (V_{IN}=0\text{ V})=0.1\text{ V}+\frac{2.4\text{ V}-0.1\text{ V}}{2}=1.25\text{ V} \quad (6)$$

根据传递函数：

$$OFFSET=V_{REF}\frac{R4\|R6}{R5+R4\|R6}\left(1+\frac{R2}{R1}\right)=V_{REF}\frac{R0}{R5+R0}k \quad (7)$$

由等式4可知，对于k =1.23(该值可变动，具体取决于标准数值电阻R1和R2的值)，R4/R的比值可计算如下：

$$R4=9.696\,R \quad (8)$$

由等式7可知，若V_{REF} = 2.5V且k =1.23，则R5/R0的比值可计算如下：

$$R5=1.46\,R0 \quad (9)$$

由等式2中的电阻R和R0，以及等式8和等式9中的比值可知，R4/R6比值可计算如下：

$$R4=5.346\,R6 \quad (10)$$

由等式8、等式9和等式10可知，电阻R4、R5和R6可计算如下。例如，若选择R6 = 10 kΩ，则R4 = 53.46 kΩ，R5 =12.3 kΩ。

在实际电路中，为电阻R4和R5选择了最接近现有标准的电阻值。所选值为R4 = 52.3 kΩ，R5 = 12 kΩ。注意，R1 = R4，R2 = R5。

如果仔细选择这些值，因使用替代标准值电阻导致的总误差可降至几个百分点以下。然而，应通过等式1来重新计算U1A运算放大器在±10 V输入下的输出，以确保维持所需裕量。

这类电路的绝对精度主要取决于电阻，因此，需要进行增益和失调校准，以消除因替代标准值电阻和电阻容差导致的误差。

计算不同输入范围的电阻

对于±10 V以外的输入范围，可完成下列计算步骤。

定义输入范围、输出范围和失调：

$$\Delta V_{IN}=V_{IN_MAX}-V_{IN_MIN} \quad (11)$$

$$\Delta V_{OUT}=V_{IOUT_MAX}-V_{OUT_MIN} \quad (12)$$

$$Offset=\frac{\Delta V_{OUT}}{2}+V_{OUT_MIN} \quad (13)$$

计算增益：

$$GAIN=\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}} \quad (14)$$

计算失调：

$$Offset=\frac{\Delta V_{OUT}}{2}+V_{OUT_MIN} \quad (15)$$

选择参数k的数值：

$$k=\left(1+\frac{R2}{R1}\right) \quad (16)$$

通过下式选择R4/R比值：

$$GAIN=\frac{R}{R4+R}k \quad (17)$$

通过下式选择R5/R0比值：

$$Offset=V_{REF}\frac{R0}{R5+R0}k \quad (18)$$

用等式2中定义的数值替换等式17和等式18中的R和R0，并求解两个等式，得出R4/R6比值。

选择电阻R6的值。通过R4/R6比值算出R4。得到R4和R6数值，通过等式2和R4/R6比值计算R5。通过等式16计算R2和R1。可适当选择R1 = R4并计算R2。

电阻温度系数对总误差的影响

公式1表明，输出电压与以下五个电阻相关：R1、R2、R4、R5和R6。TP1处的满量程输出电压对这五个电阻中每个阻值的微小变化敏感，其灵敏度通过仿真程序计算。电路的输入电压为+10 V。计算得到的各灵敏度为S_{R1} = 0.19、S_{R2} = 0.19、S_{R4} = 0.39、S_{R5} = 0.11、S_{R6} = 0.50。假设各温度系数以和方根(rss)方式组合，则采用100 ppm/°C电阻时，总满量程漂移约为：

满量程漂移 =
=100 ppm/°C $\sqrt{(S_{R1}^2 + S_{R2}^2 + S_{R4}^2 + S_{R5}^2 + S_{R6}^2)}$
=100 ppm/°C $\sqrt{(0.19^2 + 0.19^2 + 0.39^2 + 0.11^2 + 0.50^2)}$
= 69 ppm/°C

69 ppm/°C的满量程漂移对应于0.0069% FSR/°C。使用25 ppm/°C电阻可将漂移误差降低至0.25 × 69 ppm/°C = 17 ppm/°C，或者0.0017% FSR/°C。

有源元件温度系数对总误差的影响

AD8606运算放大器和AD7091R ADC的直流失调由校准程序消除。

ADC AD7091R内置基准电压源的失调漂移典型值为4.5 ppm/°C，最大值为25 ppm/°C。

AD8606运算放大器的失调漂移典型值为1μV/°C，最大值为4.5μV/°C。

U1A AD8606输入导致的误差以2.3 V输出范围为基准，因而为2 ppm/°C。U1B基准电压缓冲器导致的误差以2.5 V为基准，同样约为2 ppm/°C。

总漂移误差结如表1所概括。这些误差不包括AD7091R的±1 LSB积分非线性误差。

请注意，如果采用50 ppm/°C或100 ppm/°C电阻，则总漂移的最大来源是电阻漂移，有源元件产生的漂移可忽略。

表 1. 温度漂移导致的误差

误差源	总误差
电阻(1%, 100 ppm/°C)	±0.0069% FSR/°C
AD7091R ($\Delta V_{VREF}/\Delta T$ = 25 ppm/°C)	±0.0025% FSR/°C
AD8606，U1A ($\Delta V_{OS}/\Delta T$= 4.5 μV/°C)，2 ppm/°C，以2.3 V为基准	±0.0002% FSR/°C
AD8606，U1B ($\Delta V_{OS}/\Delta T$= 4.5 μV/°C)，2 ppm/°C，以2.5 V为基准	±0.0002% FSR/°C
总FSR误差温度系数 (100 ppm/°C电阻)	±0.0098% FSR/°C
ΔT=±10°C的总% FSR误差 (100 ppm/°C电阻)	±0.098% FSR
ΔT=±10°C的总% FSR误差 (25 ppm/°C电阻)	±0.046% FSR

两点校准前后的测试数据

为了执行两点校准，先向输入端施加−10 V的电流，并将ADC输出代码记为Code_1。然后，向输入端施加+10 V的电流，再将ADC输出代码记为Code_2。增益系数通过下式计算：

$$GF = \frac{20\ \text{V}}{\text{Code_2} - \text{Code_1}}$$

现在，可通过下式计算与任何输出代码Code_x对应的输入电压：

$$V_{IN} = -10\ \text{V} + GF\,(\text{Code_x} - \text{Code_1}).$$

通过比较使用元件标称值计算得到的理想传递函数和未校准实际电路传递函数，可以得到校准前的误差。实测电路所用电阻的容差为±1%。测试结果不包括温度变化。

图3中所示为环境温度下校准前后的百分比误差(FSR)测试结果。如图所示，校准前的最大误差约为0.23% FSR。校准后，误差降至±0.03% FSR，大致相当于ADC的1 LSB误差。

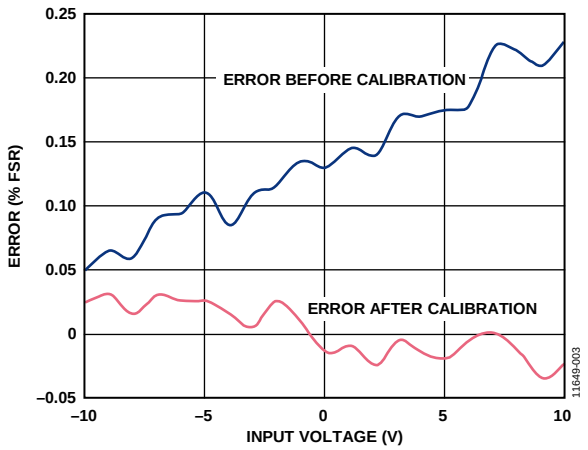


图3. 室温校准前后的电路测试误差

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。该系统的PCB采用简单的双层板堆叠而成，但采用4层板可以得到更好的EMS性能。有关布局和接地的信息，请参见MT-031指南；有关去耦技术的信息，请参见MT-101指南。AD8606的电源应当用10 μF和0.1 μF电容去耦，以适当抑制噪声并减小纹波。这些电容应尽可能靠近相应器件，0.1 μF电容应具有低ESR值。对于所有高频去耦，建议使用陶瓷电容。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。

ADuM5401 *iso*Power集成式DC/DC转换器要求在输入和输出电源引脚上进行电源旁路。请注意，引脚1与引脚2以及引脚15和引脚16之间需要低ESR旁路电容，这些电容应尽可能靠近芯片焊盘。为了抑制噪声并降低纹波，至少需要并联两个电容。针对V_{DD1}和V_{ISO}，推荐的电容值是0.1 µF和10 µF。较小的电容必须具有低ESR，建议使用陶瓷电容。低ESR电容末端到输入电源引脚的走线总长不得超过2 mm。如果旁路电容的走线长度超过2 mm，可能会破坏数据。考虑在引脚1与引脚8及引脚9与引脚16之间实现旁路，除非两个公共地引脚靠近封装连在一起。有关更多信息，请参见ADuM5401数据手册。

有关完整文档包，包括原理图、电路板布局和物料清单(BOM)，请参考：www.analog.com/CN0335-DesignSupport

高电压能力

这款PCB依据2500 V基本绝缘规范而设计。不建议进行2500 V以上的高电压测试。在高电压下使用该评估板时必须谨慎，而且不得依赖该PCB来实现安全功能，因为它未经过高电位测试(也称为高压测试或耐压绝缘测试)，也未通过安全认证。

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。可在该配置中采用其他精密运算放大器和其他ADC，以将±10V输入电压范围转换成数字输出，用于本电路的各种其他应用中。

可依据“电路设计”部分的等式，针对±10 V输入电压范围以外进行设计，如图1所示。表2显示针对某些标准电压范围计算电阻。

表2. 标准电压范围元件值

范围(V)	k	R4 (kΩ)	R5 (kΩ)	R6 (kΩ)
±5	1.2	40.87	18.8	20
±2	2	32.174	37	20
±1	4	40.87	94	20
0至1	4	14.435	830	20
0至2	2	14.087	405	20
0至2.5	2	22.609	520	20
0至5	2	65.217	750	20
0至10	1	63.478	365	20
0至24	1	90.174	216	10

在下限为零且上限高于基准电压时，转换不需增益(k = 1)，并且可简化电路。图4显示输入范围为0 V至10 V的一个例子。

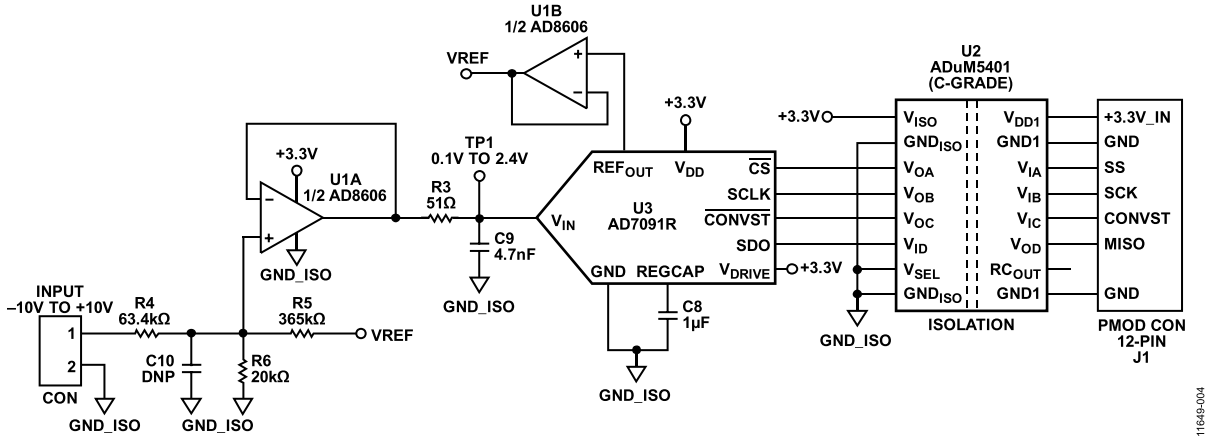


图4. 0 V至10 V隔离式单电源模数转换(未显示所有连接和去耦)

AD7091与AD7091R类似，但没有基准电压输出，而且输入范围等于电源电压。AD7091可与2.5 V ADR391基准电压源配合使用。ADR391不需要缓冲，因此可在电路中使用一个AD8605。

ADR391是一款精密2.5 V带隙基准电压源，具有低功耗、高精度(温度漂移为9 ppm/°C)等特性，采用微型TSOT封装。

AD8608是AD8605的四通道版本，在需要额外的精密运算放大器时，可以替代AD8606。

AD8601、AD8602和AD8604分别为单通道、双通道和四通道轨到轨、输入和输出、单电源放大器，具有超低失调电压和宽信号带宽等特性，可以替代AD8605、AD8606和AD8608。

AD7457是一款12位、100 kSPS、低功耗SAR ADC，在不需要300 kSPS吞吐速率的情况下，可以与ADR391基准电压源相配合，用于代替AD7091R。

电路评估与测试

EVAL-CN0335-PMDZ板包含要评估的电路(如本笔记所述)，SDP评估板与CN0335评估软件配合使用，以捕获来自EVAL-CN0335-PMDZ电路板的数据。本电路采用EVAL-CN0335-PMDZ电路板、SDP-PMD-IB1Z和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板。转接板SDP-PMD-IB1Z和SDP板EVAL-SDP-CB1Z采用120引脚对接连接器。转接板和EVAL-CN0335-PMDZ板采用12引脚Pmod对接连接器，可快速进行设置和评估电路性能。

设备要求

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista®(32位)或Windows® 7/8(64位或32位)PC
- EVAL-CN0335-PMDZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP评估板
- SDP-PMD-IB1Z转接板
- CN0335评估软件
- 精密电压源

开始使用

将CN0335评估软件光盘放进PC的光盘驱动器，加载评估软件。也可以从CN0335评估软件中下载最新版的评估软件。打开“我的电脑”，找到包含评估软件光盘的驱动器，打开setup.exe。按照屏幕上的提示完成安装。建议将所有软件安装在默认位置。

功能框图

图5所示为测试设置的功能框图。

设置

1. 通过直流管式插孔将EVAL-CFTL-6V-PWRZ(+6 V直流电源)连接到SDP-PMD-IB1Z转接板。
2. 通过120引脚ConA连接器将SDP-PMD-IB1Z(转接板)连接到EVAL-SDP-CB1Z SDP板。
3. 通过USB电缆将EVAL-SDP-CB1Z(SDP板)连接到PC。
4. 通过12引脚接头Pmod连接器将EVAL-CN0335-PMDZ评估板连接到SDP-PMD-IB1Z转接板。
5. 通过端子板J2将电压源(电压生成器)连接到EVAL-CN0335-PMDZ评估板。

测试

启动评估软件。如果“设备管理器”中出现“Analog Devices System Development Platform(ADI系统开发平台)”驱动器，软件便能与SDP板通信。一旦USB通信建立，就可以使用SDP板来发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0335-PMDZ板的串行数据。可将各种输入电压值保存到电脑中。有关如何使用评估软件来捕捉数据的详细信息，请参阅CN0335软件用户指南。

EVAL-CN0335-PMDZ板照片如图6所示。

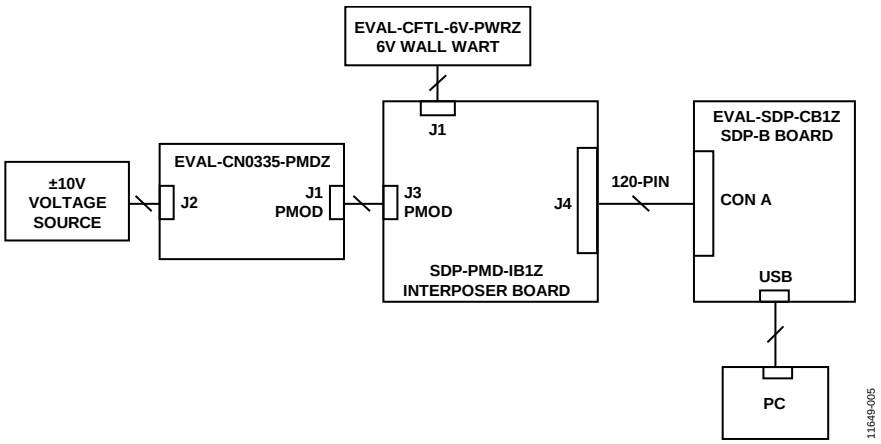


图5. 测试设置功能框图

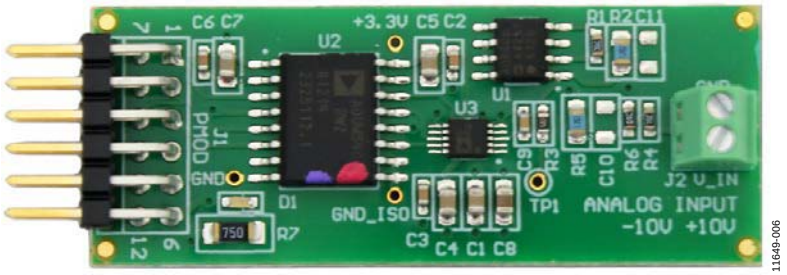


图 6. EVAL-CN0335-PMDZ板的照片

更多资料

CN0335设计支持包：
http://www.analog.com/CN0335-DesignSupport

Chen，Baoxing、John Wynne和Ronn Kliger。*采用微型片内变压器的高速数字隔离器*。ADI公司，2003年

Chen，Baoxing。*采用isoPower™技术的iCoupler®产品：利用微变压器跨越隔离栅实现信号和电源传输*。ADI公司，2006年

Ghiorse，Rich。应用笔记AN-825：*iCoupler®隔离产品的电源考虑因素*。ADI公司。

Krakauer，David。“数字隔离提供紧凑的低成本解决方案，积极应对设计挑战。”《模拟对话》。第40卷，2006年12月。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司

Wayne，Scott。“*i*Coupler®数字隔离器保护工业、仪器仪表和计算机应用中的RS-232、RS-485和CAN总线。”《模拟对话》，第39卷第4期，2005年。

数据手册和评估板

AD8606数据手册

AD7091R数据手册

ADuM5401数据手册

修订历史

2014年3月—修订版0至修订版A

更改电路功能与优势部分 1

2014年2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.

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11649sc-0-3/14(A)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0336。

连接/参考器件	
AD8606	精密、低噪声、CMOS、轨到轨输入/输出运算放大器
AD7091R	1 MSPS、超低功耗、12位ADC
ADuM5401	集成DC/DC转换器的四通道2.5 kV隔离器

12位、300 kSPS、单电源、完全隔离式数据采集系统，用于4-20 mA输入

评估和设计支持

电路评估板

CN0336电路评估板(EVAL-CN0336-PMDZ)
SDP/PMD转接板(SDP-PMD-IB1Z)
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所示电路是只采用了三个有源器件的完全隔离式12位、300 kSPS数据采集系统。

该系统采用3.3 V单电源供电，可处理4 mA至20 mA的输入信号。室温校准后在±10°C温度变化范围内的总误差为±0.06% FSR，是各种工业测量应用的理想之选。

该电路尺寸小巧使得该组合成为业界领先的4 mA至20 mA数据采集系统解决方案，在这种系统中精度、速度、成本和尺寸极为关键。数据和电源相互隔离，因而该电路具有出色的高电压耐受性，同时还能有效免疫恶劣工业环境下常见的接地环路干扰问题。

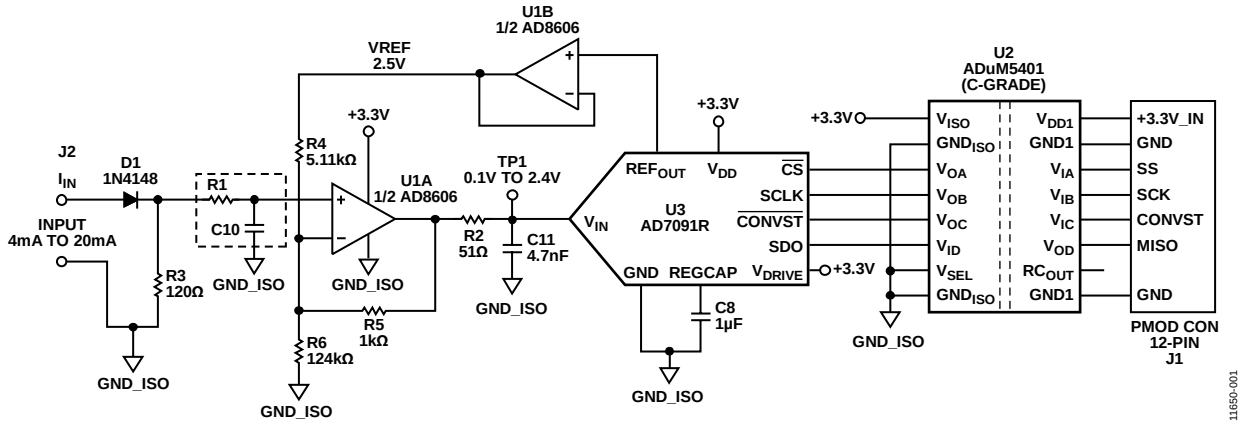


图1. 4 mA至20 mA隔离式单电源模数转换(未显示所有连接和去耦)

Rev. A
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.cn
Fax: 781.461.3113
©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

该电路由一个输入电流-电压转换器、一个电平转换电路、一个ADC级和一个输出隔离级构成。4 mA至20 mA输入信号由电阻R3转换成电压。在R3 = 120Ω且输入电流为4 mA至20 mA的情况下，电平转换电路的输入电压为：0.48 V至2.4 V。二极管D1用于提供保护，使电路免受输入电流源意外反相连接的影响。

R3上的电压由U1A运算放大器进行电平转换和衰减，该运算放大器是双通道AD8606的一半。该运算放大器的输出为0.1 V至2.4 V，与ADC的输入范围相匹配(0 V至2.5 V)，裕量为100 mV用于维持线性度。来自AD7091R ADC的缓冲基准电压源(V_{REF} = 2.5 V)用于生成所需失调。可以修改电阻值，以适应本电路笔记后面部分所述的其他常用输入范围。

该电路设计支持单电源供电。在负载电流为10 mA，温度范围为-40°C至+125°C时，AD8606的最小额定输出电压为50 mV(2.7 V电源)和290 mV(5 V电源)。在3.3 V电源、负载电流低于1 mA、温度范围更窄的情况下，保守估计最小输出电压为45 mV至60 mV。

考虑到器件的容差，最小输出电压(范围下限)设为100 mV，以提供安全裕量。输出范围的上限设为2.4 V，以便为ADC输入端的正摆幅提供100 mV的裕量。因此，输入运算放大器的标称输出电压范围为0.1 V至2.4 V。

AD8606 (U1B)的另一半用于缓冲AD7091R (U3) 模数转换器的内部2.5 V基准电压源。

本应用中选用AD8606的原因是该器件具有低失调电压(最大值65 µV)、低偏置电流(最大值1 pA)和低噪声(最大值12 nV/√Hz)等特性。 在3.3V电源下，功耗仅为9.2 mW。

运算放大器的输出级后接一个单极点RC滤波器(R2/C11)，用于降低带外噪声。RC滤波器的截止频率设为664 kHz。 可添加一个可选滤波器(R1/C10)，以便在出现低频工业噪声的情况下，进一步降低滤波器截止频率。在这类情况下，由于信号带宽较小，因此可以降低AD7091R的采样速率。

选择AD7091R 12位1 MSPS SAR ADC是因为其在3.3 V (1.2 mW)下的功耗超低，仅为349 µA，显著低于当前市场上竞争对手的任何ADC。AD7091R还内置一个2.5 V的基准电压源，其典型漂移为±4.5 ppm/°C。输入带宽为7.5 MHz，且高速串行接口兼容SPI。AD7091R采用小型10引脚MSOP封装。

采用3.3 V电源供电时，该电路的总功耗(不包括ADuM5401隔离器)约为10.4 mW。

ADuM5401四通道2.5 kV隔离器集成DC/DC转换器，采用小型16引脚SOIC封装。ADuM5401在7 MHz时钟频率下的功耗约为140 mW。电流隔离由四通道数字隔离器ADuM5401(C级)提供。除了隔离输出数据以外，ADuM5401还为该电路提供隔离+3.3 V电源。除非需要隔离，否则电路正常运行时并不需要ADuM5401。

然而，ADuM5401(C级)隔离器的最大数据速率为25 Mbps，对应的最大串行时钟频率为12.5 MHz。另外，SPI端口要求，SCLK的后沿将输出数据驱动至处理器，因此，ADuM5401的总双向传播延迟(最大值120 ns)将时钟上限限制在1/120 ns = 8.3 MHz。

尽管AD7091R是一款12位ADC，但串行数据同样被格式化为16位字，以便与处理器串行端口要求相兼容。因此，采样周期T_S包括AD7091R 650 ns的转换时间加上58 ns(数据手册要求的额外时间，t_1延迟 + t_{QUIET}延迟)，再加上用于SPI接口数据传输的16个时钟周期。

$$T_S = 650\ ns + 58\ ns + 16 \times 120\ ns = 2628\ ns$$
$$f_S = 1/\ T_S = 1/2628\ ns = 380\ kSPS$$

为了提供安全裕量，建议将SCLK和采样速率的最大值分别设为7 MHz和300 kSPS。数字SPI接口可以用12引脚且兼容Pmod的连接器(Digilent Pmod规格)连接到微处理器评估板。

电路设计

图2所示电路提供了适当的增益和电平转换功能，可以将0.48 V至2.4 V信号转换为ADC输入范围，即0.1 V至2.4 V。

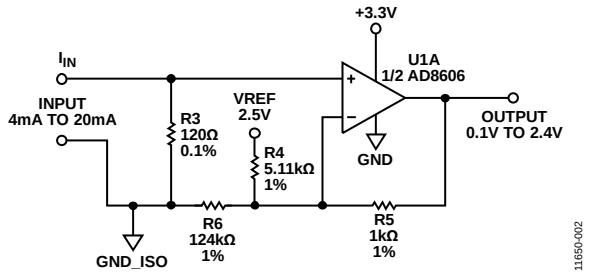


图2. 电流-电压转换器和电平转换电路

传递函数通过叠加原理求得。

$$V_{OUT} = I_{IN} R3\left(1+\frac{R5}{R4||R6}\right) - V_{REF}\frac{R5}{R4} =$$

$$I^*_{IN} R3\left(1+\frac{R5}{R4||R6}\right) + 4\text{ mA}\times R3\left(1+\frac{R5}{R4||R6}\right) - V_{REF}\frac{R5}{R4} \quad (1)$$

其中：

$$I_{IN} = I^*_{IN} + 4\text{ mA} \quad (2)$$

$$I^*_{IN} = 0\text{ mA to }16\text{ mA} \quad (3)$$

且 $$R4\|R6 = \frac{R4R6}{R4+R6} \quad (4)$$

增益和电阻值的计算

电路的增益为：

$$GAIN = \frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta I_{IN}} = \frac{(2.4-0.1)\text{V}}{(I^*_{IN})_{MAX}} = \frac{2.3\text{ V}}{16\text{ mA}} = 143.75\left[\frac{\text{V}}{\text{mA}}\right] \quad (5)$$

$$= R3\left(1+\frac{R5}{R4||R6}\right)$$

当输入范围为0 mA至20 mA时，电路不需要进行电平转换，运算放大器充当跟随器。 此时，R3上的压降不得超过输出范围的上限(2.4 V)，计算公式如下：

$$R3\times(I_{IN})_{MAX} = R3\times 20\text{ mA} \le 2.4\text{ V} \quad (6)$$

如果R3 = 120 Ω，R5与(R4||R6)之比可通过公式5求出：

$$\frac{R5}{R4\|R6} = \frac{GAIN}{R3} - 1 = \frac{143.75}{120} - 1 = 0.198 \quad (7)$$

电路的输出失调可通过下式得出，其中I_{IN} = 4 mA：

失调 =

$$V_{OUT}(I_{IN} = 4\text{ mA}) = 0.1\text{ V}$$

$$= 4\text{ mA}\times R3\left(1+\frac{R5}{R4\|R6}\right) - V_{REF}\frac{R5}{R4}$$

将公式7代入公式8，并求解R5/R4：

$$\frac{R5}{R4} = \frac{1}{V_{REF}}\left[4\text{ mA}\times R3\left(1+\frac{R5}{R4\|R6}\right) - 0.1\text{ V}\right] = 0.19 \quad (9)$$

现在，如果给定电阻R4、R5和R6三者之一的值，就可以根据公式7和公式9计算其他两个电阻的值。 例如，如果R5 = 1000 Ω，则R4 = 5,263 Ω，R6 = 125,310 Ω。

在实际电路中，为电阻R4和R6选择了最接近现有标准的电阻值。 所选值为R4 = 5.11kΩ，R6 = 124 kΩ。

如果仔细选择这些值，因使用替代标准值电阻导致的总误差可降至几个百分点以下。然而，应通过公式1来重新计算U1A运算放大器在4 mA和20 mA输入电流下的输出，以确保维持所需裕量。

这类电路的绝对精度主要取决于电阻，因此，需要进行增益和失调校准，以消除因标准值替代和电阻容差导致的误差。

电阻温度系数对总误差的影响

公式1表明，输出电压与以下四个电阻相关：R3、R4、R5和R6。TP1处的满量程输出电压对这四个电阻中每个阻值的微小变化敏感，其灵敏度通过仿真程序计算。电路的输入电流为20 mA。计算得到的各灵敏度为S_{R3} = 1.2、S_{R4} = 0.01、S_{R5} = 0.00、S_{R6} = 0.01。假设各温度系数以和方根(rss)方式组合，则在R3采用25 ppm/°C电阻且R4、R5和R6采用100 ppm/°C电阻时，总满量程漂移约为：

满量程漂移

= 100 ppm/°C$\sqrt{[(0.25\times S_{R3})^2 + S_{R4}{}^2 + S_{R5}{}^2 + S_{R6}{}^2)]}$

= 100 ppm/°C$\sqrt{[(0.25\times 1.2)^2 + 0.01^2 + 0.00^2 + 0.01^2)]}$

= 30 ppm/°C

30 ppm/°C的满量程漂移对应于0.003%FSR/°C。

有源元件温度系数对总误差的影响

AD8606运算放大器和AD7091R ADC的直流失调由校准程序消除。

ADC AD7091R内置基准电压源的失调漂移典型值为4.5 ppm/°C，最大值为25 ppm/°C。

AD8606运算放大器的失调漂移典型值为1 μV/°C，最大值为4.5 μV/°C。

U1A AD8606输入失调导致的误差以输入电压范围2.4 V − 0.48 V = 1.92 V为基准，因而为2.3 ppm/°C。U1B基准电压缓冲器导致的误差以2.5 V为基准，同样约为2 ppm/°C。

总漂移误差结如表1所概括。这些误差不包括AD7091R的±1 LSB积分非线性误差。

表 1. 温度漂移导致的误差

误差源	总误差
电阻(1%, 100 ppm/°C)	±0.0030 %FSR/°C
AD7091R ($\Delta V_{VREF}/\Delta T$ = 25 ppm/°C)	±0.0025 %FSR/°C
AD8606，U1A ($\Delta V_{OS}/\Delta T$ = 4.5 μV/°C)，2 ppm/°C，以1.92 V为基准	±0.0002 %FSR/°C
AD8606，U1B ($\Delta V_{OS}/\Delta T$ = 4.5 μV/°C)，2 ppm/°C，以2.5 V为基准	±0.0002 %FSR/°C
总FSR误差温度系数	±0.0059 %FSR/°C
ΔT = ±10°C时的总%FSR误差	±0.059 %FSR

两点校准前后的测试数据

为了执行两点校准，先向输入端施加4 mA的电流，并将ADC输出代码记为Code_1。然后，向输入端施加20 mA的电流，再将ADC输出代码记为Code_2。增益系数通过下式计算：

$$GF = \frac{16\ \text{mA}}{\text{Code_2} - \text{Code_1}}. \quad (10)$$

现在，可通过下式计算与任何输出代码Code_x对应的输入电流：

$$I_{IN} = 4\ \text{mA} + GF\,(\text{Code_x} - \text{Code_1}). \quad (11)$$

通过比较使用元件标称值计算得到的理想传递函数和未校准实际电路传递函数，可以得到校准前的误差。实测电路所用电阻的容差为±1%。测试结果不包括温度变化。

图3中所示为环境温度下校准前后的百分比误差(FSR)测试结果。如图所示，校准前的最大误差约为0.25% FSR。校准后，误差降至±0.02% FSR，大致相当于ADC的1 LSB误差。

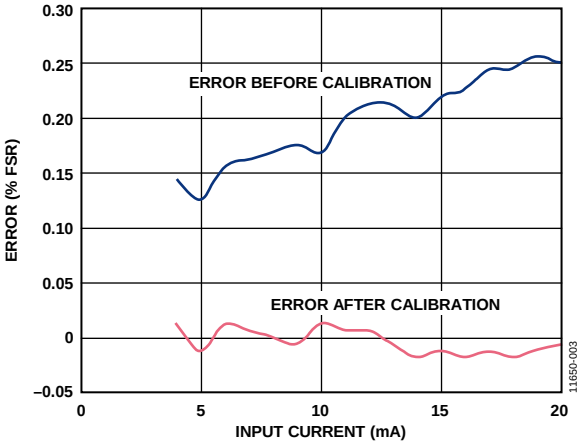


图3. 室温校准前后的电路测试误差

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。该系统的PCB采用简单的双层板堆叠而成，但采用4层板可以得到更好的EMS性能。有关布局和接地的信息，请参见MT-031指南；有关去耦技术的信息，请参见MT-101指南。AD8606的电源应当用10 µF和0.1 µF电容去耦，以适当抑制噪声并减小纹波。这些电容应尽可能靠近相应器件，0.1 µF电容应具有低ESR值。对于所有高频去耦，建议使用陶瓷电容。电源走线必须尽可能宽，以提供低阻抗路径，并减小电源线路上的毛刺效应。ADuM5401 *iso*Power集成式DC/DC转换器要求在输入和输出电源引脚上进行电源旁路。请注意，引脚1与引脚2以及引脚15和引脚16之间需要低ESR旁路电容，这些电容应尽可能靠近芯片焊盘。

为了抑制噪声并降低纹波，至少需要并联两个电容。针对V_{DD1}和V_{ISO}，推荐的电容值是0.1 µF和10 µF。较小的电容必须具有低ESR，建议使用陶瓷电容。低ESR电容末端到输入电源引脚的走线总长不得超过2 mm。如果旁路电容的走线长度超过2 mm，可能会破坏数据。考虑在引脚1与引脚8及引脚9与引脚16之间实现旁路，除非两个公共地引脚靠近封装连在一起。有关更多信息，请参见ADuM5401数据手册。

有关完整文档包，包括原理图、电路板布局和物料清单(BOM)，请参考：www.analog.com/CN0336-DesignSupport

高电压能力

这款PCB依据2500 V基本绝缘规范而设计。不建议进行2500 V以上的高电压测试。在高电压下使用该评估板时必须谨慎，而且不得依赖该PCB来实现安全功能，因为它未经过高电位测试(也称为高压测试或耐压绝缘测试)，也未通过安全认证。

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。可在该配置中采用其他精密运算放大器和其他ADC，以将4 mA至20 mA输入转换成数字输出，用于本电路的各种其他应用中。

可依据“电路设计”部分的建议，针对4 mA至20 mA输入电流范围以外的电流重新计算图1所示电路。在这些情况下，当范围下限为零(0 mA至20 mA、0 mA至10 mA、0 mA至5 mA)时，转换不需要进行电平转换，输入电路可按如图4所示进行简化。

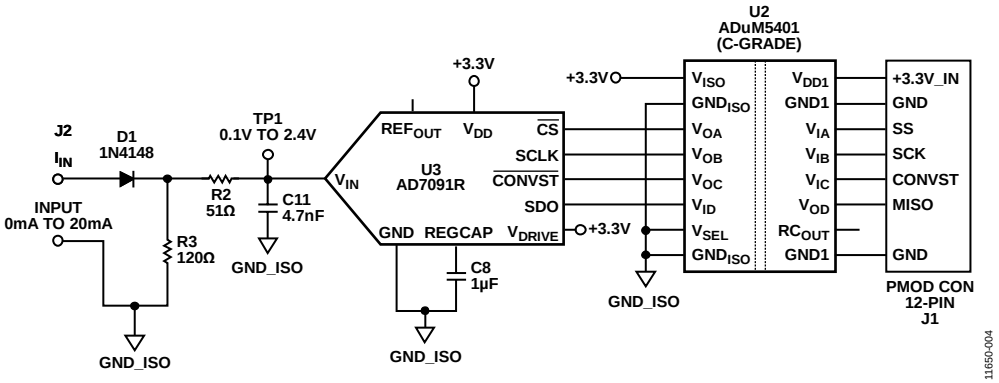


图4. 0 mA至-20 mA隔离式单电源模数转换(未显示所有连接和去耦)

AD7091与AD7091R类似，但没有基准电压输出，而且输入范围等于电源电压。AD7091可与2.5 V ADR391基准电压源配合使用。ADR391不需要缓冲，因此可在电路中使用一个AD8605。

ADR391是一款精密2.5 V带隙基准电压源，具有低功耗、高精度(温度漂移为9 ppm/°C)等特性，采用微型TSOT封装。

AD8608是AD8605的四通道版本，在需要额外的精密运算放大器时，可以替代AD8606。

AD8601、AD8602和AD8604分别为单通道、双通道和四通道轨到轨、输入和输出、单电源放大器，具有超低失调电压和宽信号带宽等特性，可以替代AD8605、AD8606和AD8608。

AD7457是一款12位、100 kSPS、低功耗SAR ADC，在不需要300 kSPS吞吐速率的情况下，可以与ADR391基准电压源相配合，用于代替AD7091R。

电路评估与测试

EVAL-CN0336-PMDZ板包含要评估的电路(如本笔记所述)，SDP评估板与CN0336评估软件配合使用，以捕获来自EVAL-CN0336-PMDZ电路板的数据。本电路采用EVAL-CN0336-PMDZ电路板、SDP-PMD-IB1Z和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板。转接板SDP-PMD-IB1Z和SDP板EVAL-SDP-CB1Z采用120引脚对接连接器。转接板和EVAL-CN0336-PMDZ板采用12引脚Pmod对接连接器，可快速进行设置和评估电路性能。

设备要求

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista®(32位)或Windows® 7/8(64位或32位)PC
- EVAL-CN0336-PMDZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP评估板
- SDP-PMD-IB1Z转接板
- CN0336评估软件
- 电流校准器(4 mA至20mA电流源)

开始使用

将CN0336评估软件光盘放进PC的光盘驱动器，加载评估软件。也可以从CN0336评估软件中下载最新版的评估软件。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5所示为测试设置的功能框图。

设置

- 通过直流管式插孔将EVAL-CFTL-6V-PWRZ (+6 V直流电源)连接到SDP-PMD-IB1Z转接板。
- 通过120引脚Con A连接器将SDP-PMD-IB1Z(转接板)连接到EVAL-SDP-CB1Z SDP板。
- 通过USB电缆将EVAL-SDP-CB1Z (SDP板)连接到PC。
- 通过12引脚接头Pmod连接器将EVAL-CN0336-PMDZ评估板连接到SDP-PMD-IB1Z转接板。
- 通过端子板J2将4 mA至20 mA电流源(电流校准器)连接到EVAL-CN0336-PMDZ评估板。

测试

启动评估软件。如果“设备管理器”中出现“Analog Devices System Development Platform(ADI系统开发平台)”驱动器，软件便能与SDP板通信。一旦USB通信建立，就可以使用SDP板来发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0336-PMDZ板的串行数据。可将各种输入电流值对应的数据保存到电脑中。有关如何使用评估软件来捕捉数据的信息和详情，请参见CN0336软件用户指南。有关SDP板的信息和详情，请参见SDP用户指南。

EVAL-CN0336-PMDZ评估板照片如图6所示。

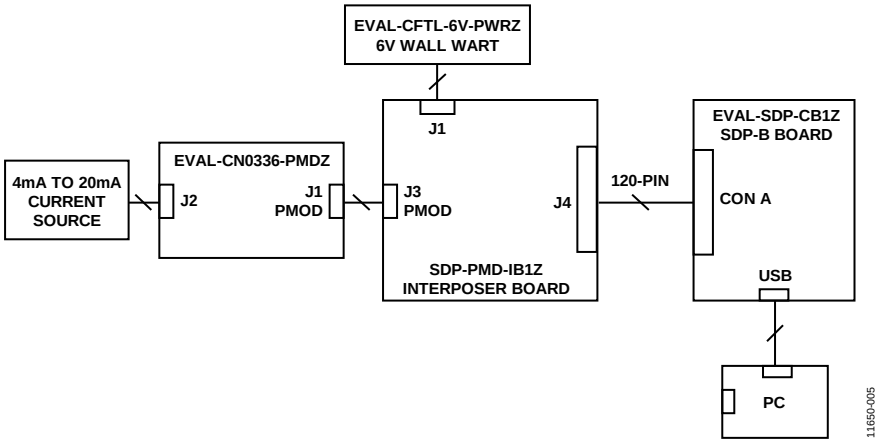


图5. 测试设置功能框图

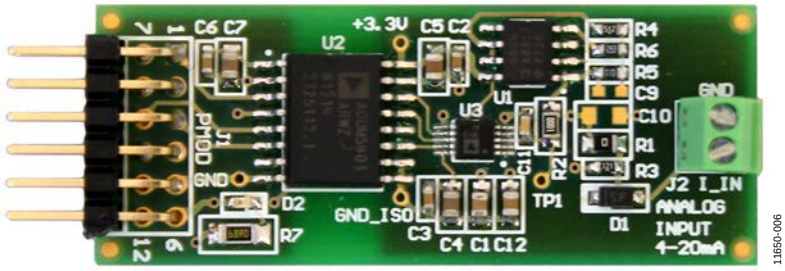


图 6. EVAL-CN0336-PMDZ板的照片

更多资料

CN0336设计支持包：
http://www.analog.com/CN0336-DesignSupport

Chen，Baoxing、John Wynne和Ronn Kliger。*采用微型片内变压器的高速数字隔离器*。ADI公司，2003年

Chen，Baoxing。*采用isoPower™技术的iCoupler®产品：利用微变压器跨越隔离栅实现信号和电源传输*。ADI公司，2006年

Ghiorse，Rich。应用笔记AN-825：*iCoupler®隔离产品的电源考虑因素*。ADI公司。

Krakauer，David。“数字隔离提供紧凑的低成本解决方案，积极应对设计挑战。”《模拟对话》。第40卷，2006年12月。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司

Wayne，Scott。“*i*Coupler®数字隔离器保护工业、仪器仪表和计算机应用中的RS-232、RS-485和CAN总线。”《模拟对话》，第39卷第4期，2005年。

数据手册和评估板

AD8606数据手册

AD7091R数据手册

ADuM5401数据手册

修订历史

2014年3月—修订版0至修订版A

更改电路功能与优势部分 1

2014年2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.

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11650sc-0-3/14(A)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0337。

连接/参考器件	
AD8608	精密、低噪声、CMOS、轨到轨输入/输出四通道运算放大器
AD7091R	1 MSPS、超低功耗、12位ADC
ADuM5401	集成DC/DC转换器的四通道2.5 kV隔离器

带三线式补偿的12位、300 kSPS、单电源、完全隔离式RTD温度测量系统

评估和设计支持

电路评估板

CN0337电路评估板(EVAL-CN0337-PMDZ)
SDP/PMD转接板(SDP-PMD-IB1Z)
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所示电路是只采用了三个有源器件的完全隔离式12位、300 kSPS RTD温度测量系统。该系统可处理Pt100 RTD输出，集成创新电路，通过标准三线式连接实现引线补偿。该电路采用3.3 V单电源供电。室温校准后，在±10°C温度变化范围内的总误差不超过±0.24% FSR，是各种工业温度测量应用的理想之选。

对于精度、成本和尺寸极为关键的温度测量应用，该电路的小巧尺寸使得该组合成为业界领先的温度测量解决方案。数据和电源相互隔离，因而该电路具有出色的高电压耐受性，同时还能有效避免恶劣工业环境下常见的接地环路干扰问题。

这款实现三线式RTD引线补偿的创新电路，由保加利亚瓦尔纳技术大学电子工程和微电子系副教授Hristo Ivanov Gigov博士以及工程师和博士生Stanimir Krasimirov Stankov开发。

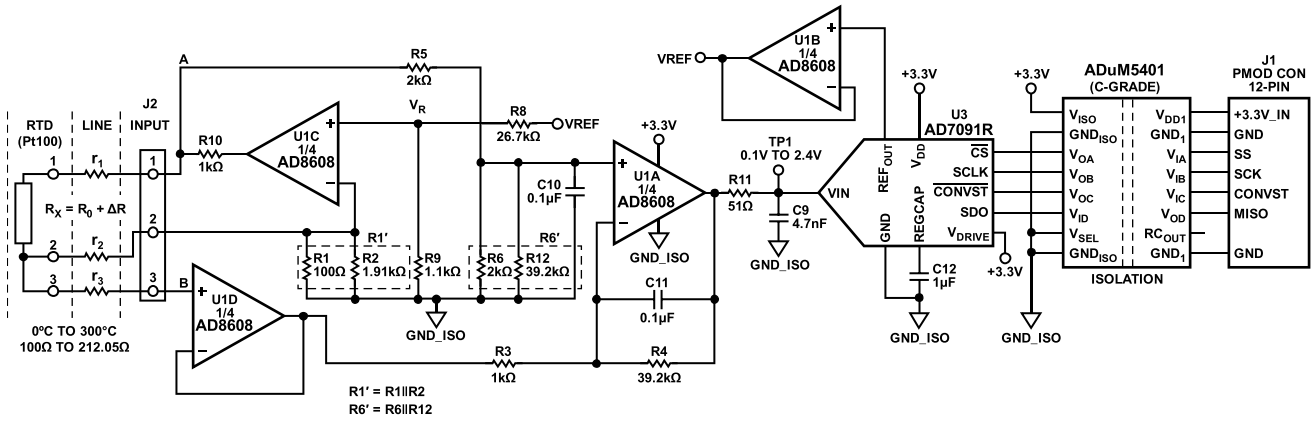


图1.带隔离的电阻偏差至数字转换，使用Pt100 RTD传感器
(未显示去耦和所有连接)

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

该电路的输入级是一个RTD信号调理电路，采用补偿三线式连接RTD。该电路将RTD输入电阻范围(100 Ω至212.05 Ω，0°C至300°C温度范围)转换至兼容ADC输入范围(0 V至2.5 V)的电压电平。

RTD激励电流由运算放大器U1C，四通道AD8608的四分之一提供。100 mV基准电压V_R由2.5 V ADC基准电压驱动的R8/R9分频器产生，进而生成V_R/(R1||R2) RTD激励电流，数值约为1.05 mA。

当温度变化范围为0°C至300°C时，激励电流在RTD两端产生数值约为117.6 mV(105 mV至222.6 mV)的电压变化。U1A运算放大器将该电压变化放大19.6倍，产生2.3 V输出范围。电阻R2与电阻R1并联，对输出范围进行电平转换，以便U1A运算放大器输出0.1 V至2.4 V，从而匹配ADC的输入范围(0 V至2.5 V)，同时提供100 mV裕量以保持线性度性能。可以修改电阻值，以适应本电路笔记后面部分所述的其他常用温度范围。

该电路设计支持单电源供电。AD8608的最小额定输出电压为50 mV(2.7 V电源)和290 mV(5 V电源)，负载电流为10 mA，温度范围为−40°C至+125°C。在3.3 V电源、负载电流低于1 mA、温度范围更窄的情况下，保守估计最小输出电压为45 mV至60 mV。

考虑到器件的容差，最小输出电压(范围下限)设为100 mV，以提供安全裕量。输出范围的上限设为2.4 V，以便为ADC输入端的正摆幅提供100 mV的裕量。因此，运算放大器的标称输出电压范围为0.1 V至2.4 V。

运算放大器U1B用来缓冲AD7091R (U3) ADC的内部2.5 V基准电压。

本应用中选用四通道运算放大器AD8608的原因是该器件具有低失调电压(最大值75 μV)、低偏置电流(最大值1 pA)和低噪声(最大值12 nV/√Hz)等特性。在3.3 V电源下，功耗仅为18.5 mW。

U1D运算放大器提供三线式校正信号，可补偿引线电阻r_1和r_2产生的误差。从点A到TP1的增益为+19.6，从点B到TP1的增益为−39.2。点A处的电压含有正误差项，数值等于r_1和r_2上的压降。点B处的电压含有正误差项，数值等于r_2上的压降，可忽略r_3上的小数值压降。由于点B到TP1的增益为负且数值等于点A到TP1增益的两倍，因此r1和r2上的压降产生的误差抵消(假定$r_1 = r_2$)。

运算放大器的输出级后接一个单极点RC滤波器(R11/C9)，用于降低带外噪声。RC滤波器的截止频率设为664 kHz。在有低频工业噪声的情况下，额外的二阶滤波器(增加电容C10和C11)用于降低滤波器截止频率。此时，AD7091R将不会工作在最大吞吐速率下。为了提升转换速度，请勿填充C10和C11。

选择AD7091R12位1 MSPS SAR ADC是因为其在3.3 V (1.2 mW)下的功耗超低，仅为349 μA，显著低于当前市场上竞争对手的任何ADC。输入带宽为7.5 MHz，且高速串行接口兼容SPI。AD7091R还内置一个2.5 V的基准电压源，其典型漂移为±4.5 ppm/oC。AD7091R采用小型10引脚MSOP封装。

采用3.3V电源供电时，该电路的总功耗(不包括ADuM5401隔离器)约为20 mW。

电流隔离由四通道数字隔离器ADuM5401(C级)提供。除了隔离输出数据以外，ADuM5401还为该电路提供隔离+3.3 V电源。除非需要隔离，否则电路正常运行时并不需要ADuM5401。ADuM5401四通道2.5 kV隔离器集成DC/DC转换器，采用小型16引脚SOIC封装。ADuM5401在7 MHz时钟频率下的功耗约为140 mW。

AD7091R需要50 MHz的串行时钟(SCLK)，方能实现1 MSPS的采样速率。然而，ADuM5401(C级)隔离器的最大数据速率为25 Mbps，对应的最大串行时钟频率为12.5 MHz。另外，SPI端口要求，SCLK的后沿将输出数据驱动至处理器，因此，ADuM5401的总双向传播延迟(最大值120 ns)将时钟上限限制在1/120 ns = 8.3 MHz。

尽管AD7091R是一款12位ADC，但串行数据同样被格式化为16位字，以便与处理器串行端口要求相兼容。因此，采样周期TS包括AD7091R 650 ns的转换时间加上58 ns(数据手册要求的额外时间，t_1延迟 + t_{QUIET}延迟)，再加上用于SPI接口数据传输的16个时钟周期。

$$T_S = 650\ ns + 58\ ns + 16 \times 120\ ns = 2628\ ns$$

$$f_S = 1/T_S = 1/2628\ ns = 380\ kSPS$$

为了提供安全裕量，建议将SCLK和采样速率的最大值分别设为7 MHz和300 kSPS。数字SPI接口可以用12引脚且兼容Pmod的连接器(DigilentPmod规格)连接到微处理器评估板。

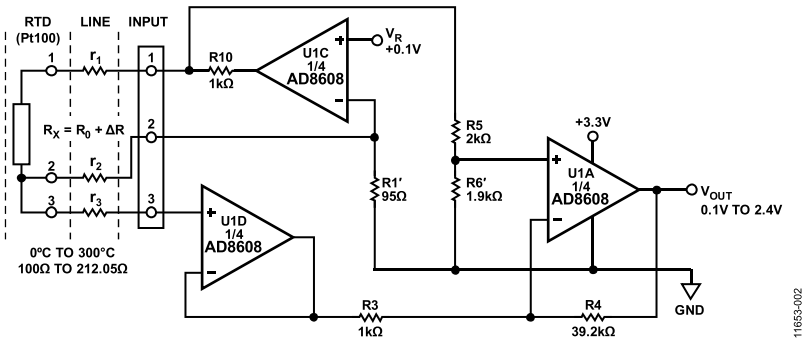


图2.采用三线式连接的RTD信号调理电路

电路设计

图2所示电路可将100 Ω至212.05 Ω的RTD电阻变化转换为0.1 V至2.4 V的输出电压变化，兼容ADC输入范围。此外，该电路还可消除与导线电阻r_1和r_2有关的误差。

图2中电路的传递函数可通过叠加原理得到：

$$V_{OUT} = \frac{V_R}{R1'}(r_1 + R_X + r_2 + R1')\frac{R6'}{R5+R6'}\left(1+\frac{R4}{R3}\right) - \frac{V_R}{R1'}(r_2 + R1')\frac{R4}{R3} \quad (1)$$

其中：

$R_X = R_0 + \Delta R$

$R1' = R1||R2 = R_0$, $R6' = R6||R12$

$r_1 = r_2$，忽略r_3上的压降。

扩展等式1，将包含r_1的项设为0，求解R6′：

$$R6' = R5\frac{R4/R3}{2+R4/R3} \quad (2)$$

满足等式2的条件便可消除引线电阻产生的误差，即$r_1 = r_2$(r_3未计算在内，因为它连接U1D的高阻抗输入)。

将等式2代入等式1，获得传递函数：

$$V_{OUT} = \frac{V_R}{2R_0}\times\frac{R4}{R3}\Delta R \quad (3)$$

等式3显示若满足等式2，则引脚线路电阻完全得到补偿。通过调节R4/R3的比例，可将增益设为所需的数值。

增益、输出失调、电阻值和容差的计算

若温度范围为0°C至300oC，则RTD Pt100电阻范围为100 Ω至212.05 Ω，且图2中电路的输入电阻变化ΔR为0 Ω至112.05 Ω。因此，由等式3得到的电路增益为：

$$Gain = \frac{V_R}{2R_0}\times\frac{R4}{R3} = \frac{V_{OUT}}{\Delta R} = \frac{2.4\text{ V} - 0.1\text{ V}}{112.05\ \Omega - 0\ \Omega} = 20.53\text{ mA} \quad (4)$$

假设经过传感器的电流为1 mA且R_0 = 100 Ω，则所需的基准电压V_R为：

$$V_R = 100\ \Omega \times 1\text{ mA} = 0.1\text{ V}.$$

从而由等式4可求解R4/R3：

$$\frac{R4}{R3} = 2\times\frac{100\ \Omega}{0.1\text{ V}}\times 20.53\text{ mA} = 41.06$$

选择R3 = 1 kΩ，则R4 = 41 kΩ。

选择电阻R5为2 kΩ标准值，则由等式2可算出电阻R6′：

$$R6' = R5\frac{R4/R3}{2+R4/R3} = 2\text{ k}\Omega\times\frac{41.06}{2+41.06} = 1.907\text{ k}\Omega$$

保证满足等式2的一种简便方法是使用下述关系：

R5 = 2R3，R6′ = R5||R4，如图1所示。

若满足此条件，则0°C时R1′ = R_0 = 100 Ω，且V_{OUT} = 0 V。

现在，必须将电路的输出失调设为0.1 V。使输出发生偏移的一种简单方法是让电阻R1′略为低于R_0。注意，这样会成比例影响增益。0.1 V输出失调约为2.3 V总范围的4.35%，因此比例R1′/R_0必须低于0.9565。若要保持高输出电平为2.4 V，则比例R4/R3可按比例校正。例如，R4 = 0.9565 × 41.06 × R3 = 39.27 kΩ。使用图1中的标准电阻值，则电路能够提供所需增益和输出失调的良好近似值。通过将电阻R2 = 1.91 kΩ与电阻R1 = 100 Ω并联连接，可形成R1′。

对于任何其他温度范围，或任何其他温度传感器而言(比如Pt200、Pt500、Pt1000、Pt2000)，电阻值必须如下所示重新计算：

1. 选择R3值(例如1 kΩ)，然后使R5 = R6 = 2R3。
2. 选择经过传感器的激励电流I_R，然后计算$V_R = I_R \times R_X_low$
   其中，R_X_low = 范围内最低温度时的RTD电阻。
3. 选择R9数值(例如R9 = 1 kΩ)，然后计算R8：
   $$R8 = \frac{V_{REF} - V_R}{V_R} \times R9$$
   其中，V_{REF} = 2.5 V = ADC基准电压。
4. 计算A = 0.0435 × (R_X_high – R_X_low)
   其中，
   A = 用来完成计算过程所需的临时常数。
   R_X_high = 范围内最高温度时的RTD电阻。
5. 计算$R_0 = R_X_low - A$。
6. 计算$R_0 = R1 \times R2/(R1 + R2)$，然后选择R1和R2值。建议选择标准R1值，使其等于R_X_low，然后计算R2。
7. 计算
   $$B = \frac{0.2R_0}{V_R \times A}$$
   其中，B= 用来完成计算过程所需的临时常数。
8. 计算$R4 = B \times R3$，确保R12 = R4。

精度分析

等式1表示所有电阻都会对总误差产生影响。如果仔细选择这些值，因使用替代标准值电阻导致的总误差可降至几个百分点以下。然而，应通过等式1来重新计算U1A运算放大器在100 Ω和212.05 Ω输入下的输出，以确保维持所需裕量。在实际电路中，选择最接近现有标准的电阻值。电阻Rl、R2、R8和R9为0.1%、25 ppm/°C。电路中的其他电阻为1%、100 ppm/°C： R3、R4、R5、R6和R12。

这类电路的绝对精度主要取决于电阻，因此，需要进行增益和失调校准，以消除因替代标准值电阻和电阻容差导致的误差。

电阻温度系数对总误差的影响

公式1表明，输出电压与以下九个电阻相关：R1、R2、R3、R4、R5、R6、R8、R9和R12。

TP1处的满量程输出电压对这九个电阻中每个阻值的微小变化敏感，其灵敏度通过仿真程序计算。电路的输入RTD电阻为212 Ω。计算得到的各灵敏度为S_{R1} = 1.83、S_{R2} = 0.09、S_{R3} = 0.94、S_{R4} = 0.94、S_{R5} = 1.35、S_{R6} = 1.28、S_{R8} = 0.97、S_{R9} = 0.96和S_{R12} = 0.07。假设各温度系数以和方根(rss)方式组合，则25 ppm/°C电阻R1、R2、R8、R9以及100 ppm/°C电阻R3、R4、R5、R6、R12的总满量程漂移约为：

满量程漂移
= 25 ppm/°C$\sqrt{[(S_{R1})^2 + (S_{R2})^2 + (4S_{R3})^2 + (4S_{R4})^2 + (4S_{R5})^2 + (4S_{R6})^2 + (S_{R8})^2 + (S_{R9})^2 + (4S_{R12})^2)]}$
= 25 ppm/°C$\sqrt{(1.83^2 + 0.09^2 + 3.76^2 + 3.76^2 + 5.4^2 + 5.12^2 + 0.97^2 + 0.96^2 + 0.28^2)}$
= 236 ppm/°C

236 ppm/°C的满量程漂移对应于0.024% FSR/°C。若温度发生±10°C变化，则误差为±0.24% FSR。

若全部九个电阻均采用25 ppm/°C电阻，则可降低满量程漂移至大约80 ppm/°C(或者0.008% FSR/°C)。

完成校准过程后，电阻容差导致的误差、AD8608运算放大器(75 μV)以及ADC AD7091R产生的失调均被消除。依然有必要计算并验证运算放大器输出在所需的范围内。

有源元件温度系数对总误差的影响

AD8608运算放大器(75 μV)和AD7091R ADC的直流失调由校准程序消除。

ADC AD7091R内置基准电压源的失调漂移典型值为4.5 ppm/°C，最大值为25 ppm/°C。

AD8608运算放大器的失调漂移典型值为1 μV/°C，最大值为4.5 μV/°C。

请注意，如果采用50 ppm/°C或100 ppm/°C电阻，则总漂移的最大来源是电阻漂移，有源元件产生的漂移可忽略。

引脚线路电阻补偿

图1中的电路可针对引脚线路电阻(r_1、r_2和r_3)进行完全补偿。然而，若等式3有任何失配，则引脚线路r_1和r_2会对测量产生误差。第三个引脚线路r_3不会对电路产生影响，因为它与U1D的高阻抗输入相连。

电路的线性度不受引脚线路r_1和r_2的影响，哪怕等式3有失配。

RTD线性化

图1中的电路就RTD的电阻变化而言是线性的。然而，RTD传递函数(电阻与温度的关系)是非线性的。因此，需要进行线性化，以消除RTD的非线性误差。对于涉及到微控制器的系统而言，通常采用软件来完成线性化。AN-709应用笔记讨论了有关Pt100 RTD传感器的部分线性化技术。CN0337评估软件中采用了同样的技术来消除Pt100传感器的非线性误差。

两点校准前后的测试数据

为了执行两点校准，先向输入端施加100 Ω的精密电阻，并将ADC输出代码记为Code_1。然后，向输入端施加212.05 Ω精密电阻，再将ADC输出代码记为Code_2。增益系数通过下式计算：

$$GF = \frac{212.05\,\Omega - 100\,\Omega}{\text{Code_2} - \text{Code_1}}.$$

现在，可通过下式计算与任何输出代码Code_x对应的RTD电阻：

$$R_X = 100\,\Omega + GF\,(\text{Code_x} - \text{Code_1}).$$

通过比较使用元件标称值计算得到的理想传递函数和未校准实际电路传递函数，可以得到校准前的误差。测试电路采用±1%、±100 ppm/°C电阻构建(R1、R2、R8和R9除外，它们是±0.1%、±25 ppm/°C电阻)。测试在室内环境温度下采用印刷电路板(PCB)完成。

图3所示为温度不发生变化的情况下部分测试板校准前后的测试结果。如图所示，校准前的最大误差约为0.27% FSR。校准后，误差降至±0.037% FSR，大致相当于ADC的1.5 LSB误差。

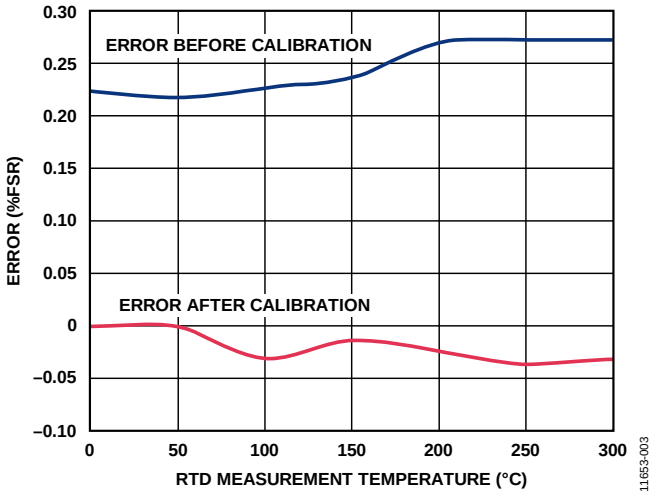


图3.室温校准前后的电路测试误差

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。该系统的PCB采用简单的双层板堆叠而成，但采用4层板可以得到更好的EMS性能。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。AD8608的电源应当用10 µF和0.1 µF电容去耦，以适当抑制噪声并减小纹波。这些电容应尽可能靠近相应器件，0.1 µF电容应具有低ESR值。对于所有高频去耦，建议使用陶瓷电容。电源走线必须尽可能宽，以提供低阻抗路径，并减小电源线路上的毛刺效应。ADuM5401 *iso*Power集成式DC/DC转换器要求在输入和输出电源引脚上进行电源旁路。请注意，引脚1与引脚2以及引脚15和引脚16之间需要低ESR旁路电容，这些电容应尽可能靠近芯片焊盘。为了抑制噪声并降低纹波，至少需要并联两个电容。针对V_{DD1}和V_{ISO}，推荐的电容值是0.1 µF和10 µF。较小的电容必须具有低ESR，建议使用陶瓷电容。低ESR电容末端到输入电源引脚的走线总长不得超过2 mm。如果旁路电容的走线长度超过2 mm，可能会破坏数据。考虑在引脚1与引脚8及引脚9与引脚16之间实现旁路，除非两个公共地引脚靠近封装连在一起。更多信息请参考ADuM5401数据手册。

有关完整文档包，包括原理图、电路板布局和物料清单(BOM)，请参考：www.analog.com/CN0337-DesignSupport

高电压能力

这款PCB依据2500 V基本绝缘规范而设计。不建议进行2500 V以上的高电压测试。在高电压下使用该评估板时必须谨慎，而且不得依赖该PCB来实现安全功能，因为它未经过高电位测试(也称为高压测试或耐压绝缘测试)，也未通过安全认证。

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。可在该配置中采用其他精密运算放大器和其他ADC，以将电阻偏差输入范围转换成数字输出，用于本电路的各种其他应用中。

可依据“电路设计”部分的建议，针对0°C至300oC范围以外的输入温度重新设计图1中的电路。表1显示使用Pt100 RTD传感器时，部分标准温度范围的计算结果。

表1.常见温度范围的电阻值[1]

温度范围	R1	R2	R4, R12
–50°C至50°C	79.4 Ω	7.82 kΩ	93.1 kΩ
0°C至50°C	100 Ω	11.7 kΩ	237 kΩ
0°C至100°C	100 Ω	5.83 kΩ	118 kΩ
0°C至200°C	100 Ω	2.91kΩ	59 kΩ
0°C至300°C	100 Ω	1.91 kΩ	39.2 kΩ
0°C至400°C	100 Ω	1.45 kΩ	29.4 kΩ
0°C至500°C	100 Ω	1.17 kΩ	23.7 kΩ
0°C至600°C	100 Ω	976 Ω	19.6 kΩ
0°C至700°C	100 Ω	837 Ω	16.9 kΩ
0°C至800°C	100 Ω	723 Ω	14.7 kΩ

[1] 其他电阻值如图1所示(R5 = R6 = 2 kΩ，R3 = 1 kΩ，R8 = 26.7 kΩ，R9 = 1.1 kΩ)

AD7091与AD7091R类似，但没有基准电压输出，而且输入范围等于电源电压。AD7091可与2.5 V ADR391基准电压源配合使用。ADR391不需要缓冲。

ADR391是一款精密2.5 V带隙基准电压源，具有低功耗、高精度(温度漂移为9 ppm/°C)等特性，采用微型TSOT封装。

AD8605和AD8606分别是四通道AD8608的单通道和双通道版本，可按不同配置的需要代替AD8608使用。

AD8601、AD8602和AD8604分别为单通道、双通道和四通道轨到轨、输入和输出、单电源放大器，具有超低失调电压和宽信号带宽等特性，可以替代AD8605、AD8606和AD8608。

AD7457是一款12位、100 kSPS、低功耗SAR ADC，在不需要300 kSPS吞吐速率的情况下，可以与ADR391基准电压源相配合，用于代替AD7091R。

电路评估与测试

本电路采用EVAL-CN0337-PMDZ电路板、SDP-PMD-IB1Z和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板。转接板SDP-PMD-IB1Z和SDP板EVAL-SDP-CB1Z采用120引脚对接连接器。转接板EVAL-CN0337-PMDZ板采用12引脚Pmod对接连接器，可快速进行设置和评估电路性能。EVAL-CN0337-PMDZ板包含待评估电路，如本笔记所述。SDP评估板与CN0337评估软件一起使用，可从EVAL-CN0337-PMDZ电路板获取数据。

设备要求

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista®(32位)或Windows® 7/8(64位或32位)PC
- EVAL-CN0337-PMDZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP评估板
- SDP-PMD-IB1Z转接板
- CN0337评估软件
- 十倍频程精密电阻箱或Pt100传感器(若无电阻箱，可执行校准过程)

开始使用

将CN0337评估软件光盘放进PC的光盘驱动器，加载评估软件。也可以从CN0337评估软件中下载最新版的评估软件。打开“My Computer”，找到包含评估软件光盘的驱动器，打开setup.exe文件。按照屏幕提示完成安装。建议将所有软件安装在默认位置。

功能框图

图4显示测试设置的功能框图。

设置

1. 通过直流管式插孔将EVAL-CFTL-6V-PWRZ(+6 V直流电源)连接到SDP-PMD-IB1Z转接板。
2. 通过120引脚连接器A将SDP-PMD-IB1Z(转接板)连接到EVAL-SDP-CB1Z(SDP板)。
3. 通过USB电缆将EVAL-SDP-CB1Z(SDP板)连接到PC。
4. 通过12引脚接头Pmod连接器将EVAL-CN0337-PMDZ评估板连接到SDP-PMD-IB1Z转接板。
5. 通过端子板J2将十倍频程电阻箱(Pt100传感器)连接到EVAL-CN0337-PMDZ评估板。

测试

启动评估软件。如果“设备管理器”中出现“Analog Devices System Development Platform(ADI系统开发平台)”驱动器，软件便能与SDP板通信。一旦USB通信建立，就可以使用SDP板来发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0337- PMDZ板的串行数据。可将输入温度值(电阻值)等各种数据保存到电脑中。有关如何使用评估软件来捕捉数据的详细信息，请参阅CN0337软件用户指南。

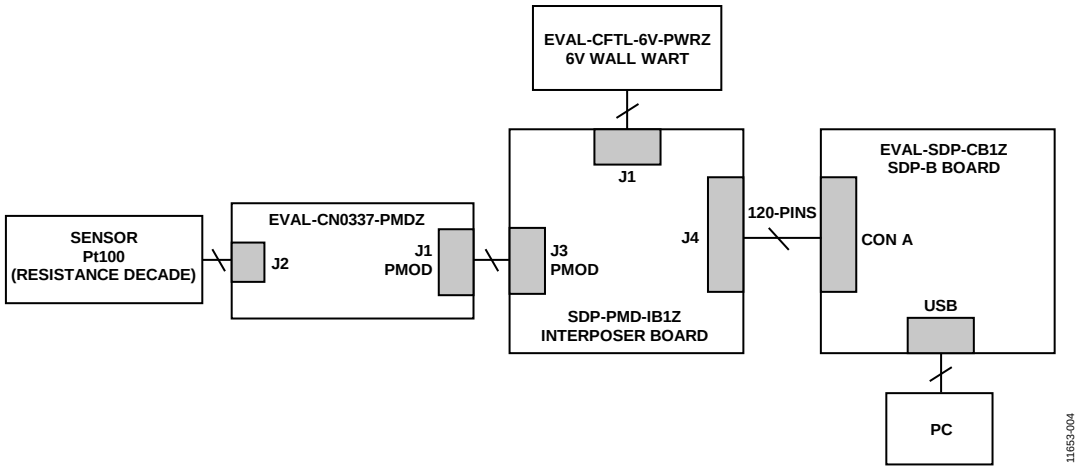


图4.测试设置功能框图

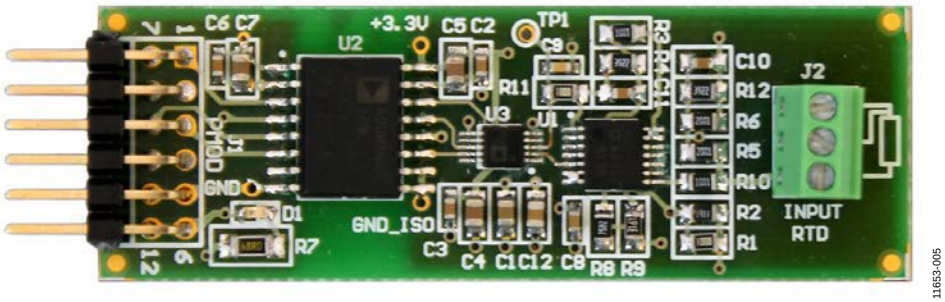


图5.EVAL-CN0337-PMDZ评估板照片

更多资料

CN0337设计支持包：
http://www.analog.com/CN0337-DesignSupport

应用笔记AN-709：使用ADuC8xx微控制器实现RTD接口和线性化。ADI公司。

Chen，Baoxing、John Wynne和Ronn Kliger。*采用微型片内变压器的高速数字隔离器*。ADI公司，2003年

Chen，Baoxing。*采用isoPower™技术的iCoupler®产品：利用微变压器跨越隔离栅实现信号和电源传输*。ADI公司，2006年

Ghiorse，Rich。应用笔记AN-825：*iCoupler®隔离产品的电源考虑因素*。ADI公司。

Krakauer，David。“数字隔离提供紧凑的低成本解决方案，积极应对设计挑战。”《模拟对话》。第40卷，2006年12月。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

Wayne, Scott。“*i*Coupler®数字隔离器保护工业、仪器仪表和计算机应用中的RS-232、RS-485和CAN总线。”《模拟对话》，第39卷第4期，2005年。

数据手册和评估板

AD8608数据手册

AD7091R数据手册

ADuM5401数据手册

修订历史

2014年3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.

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11653sc-0-3/14(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0348。

连接/参考器件	
AD5541A	串行输入、电压输出、无缓冲型16位DAC
ADA4500-2	轨到轨输入/输出、零输入交越失真放大器
ADR4550	超低噪声、高精度5 V基准电压源

16位单电源缓冲电压输出数模转换，积分和微分非线性误差小于±1 LSB

评估和设计支持

电路评估板

CN-0348电路评估板(EVAL-CN0348-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所示电路是一款完整的单电源16位缓冲电压输出DAC，它利用一个CMOS DAC和一个无交越失真的创新放大器将积分和微分非线性误差保持在±1 LSB。

大多数轨到轨运算放大器都有交越非线性误差，其在16位系统中可能高达4到5个LSB，而本电路消除了这一误差。

这款业界领先的解决方案非常适合需要紧凑型、单电源、低成本、高线性度16位缓冲电压源的工业过程控制和仪器仪表应用。

采用6 V单电源供电时，三个有源器件的总功耗典型值小于25 mW。

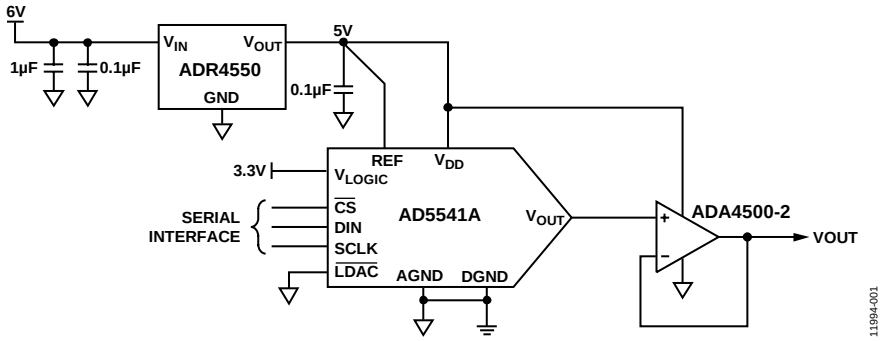


图1. ±1 LSB线性16位缓冲电压输出DAC(原理示意图，未显示去耦和所有连接)

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.cn
Fax: 781.461.3113
©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

图1显示该单电源信号链由基准电压源、数模转换器(DAC)和DAC缓冲器组成。DAC的基准电压等于电源电压V_{DD}，以便最大程度地提高动态输出范围和信噪比。这种配置需要一个轨到轨输入和输出缓冲放大器。

DAC为AD5541A，它是一款16位、串行输入、电压输出、分段式R/2R CMOS DAC。DAC的输出电压与基准电压相关，如下式所示：

$$V_{OUT} = \frac{V_{REF} \times D}{2^N}$$

其中

*D*为载入DAC寄存器的十进制数据字。

*N*为位数。

对于5 V基准电压且N = 16，上述公式可简化为下式：

$$V_{OUT} = \frac{5 \times D}{2^{16}} = \frac{5 \times D}{65{,}536}$$

这样，在中间电平时V_{OUT}为2.5 V，在满量程时V_{OUT}为5 V。LSB大小为5 V/65,536 = 76.3 μV。

16位时，1 LSB也相当于满量程的0.0015%，或者15 ppm FS。

ADR4550使用创新的内核拓扑结构来实现高精度，同时提供业界领先的温度稳定性和噪声性能。基准电压源ADR4550为DAC提供高精度、低噪声(2.8 μV p-p，0.1 Hz至10 Hz)且稳定的基准电压。低输出电压温度系数(最大值2 ppm/°C)和低长期输出电压漂移也提高了系统在寿命和温度范围内的精度。

ADR4550B室温初始精度为±0.02%(最大值)，相当于16位时的约14 LSB。此初始误差可以通过系统校准消除。基准电压源驱动DAC的REF引脚，并且为DAC和输出缓冲器供电。因此，它必须提供最高3.9 mA的负载电流。ADR4550能以25 ppm/mA负载电流调整率驱动最高10 mA电流。

基准电压源ADR4550尽可能靠近DAC的REF引脚，使输出走线的长度最短，从而使压降所致误差最小。流经PCB走线的电流会产生IR压降，走线较长时，这种压降可能达到数毫伏或更大，引起相当大的误差。室温下，1英寸长、0.005英寸宽的1盎司铜走线的电阻约为100 mΩ。当负载电流为10 mA时，该走线可能引起1 mV的误差。

输出缓冲器选用ADA4500-2。该器件是一款高精度放大器，最大失调电压为120 μV，失调漂移小于5.5 μV/°C，0.1 Hz至10 Hz噪声为2 μV p-p，最大输入偏置电流为2 pA。其重要特性是轨到轨输入和输出摆幅以及零交越失真，因此适合用作DAC缓冲器。

ADA4500-2的详细工作原理请参见ADA4500-2数据手册。典型的轨到轨输入放大器采用两个差分对来实现轨到轨输入摆幅(参见指南MT-035)。一个差分对在输入共模电压范围的上部活跃，另一个差分对在该范围的下部活跃。这种经典双差分对拓扑结构在一个差分对与另一个差分对交接时会产生交越失真。将该放大器用作DAC缓冲器时，失调电压的变化会引起非线性误差。ADA4500-2利用其输入结构中的集成电荷泵来实现轨到轨输入摆幅，无需第二差分对。因此，它不存在交越失真。在这种单电源系统中使用零交越失真放大器，不仅可在输入共模/输入数字码范围内保持高线性度，而且可提供宽动态输出范围。

DAC的输出阻抗是恒定的(典型值6.25 kΩ)，与输出码无关。但是，输出缓冲器应具有高输入阻抗(低输入偏置电流)以使误差最小。ADA4500-2是一款合适的器件，具有高输入阻抗，室温下的输入偏置电流最大值为2 pA，全温度范围内的输入偏置电流最大值为190 pA。最差情况下，输入偏置电流引起的误差为1.2 μV，远小于1 LSB。

AD5541A采用10引脚MSOP或10引脚LFCSP封装。ADR4550采用8引脚SOIC封装，ADA4500-2采用8引脚MSOP或8引脚LFCSP封装。

测量结果表明，AD5541A、ADR4550和ADA4500-2的组合是高精度、低噪声应用的出色解决方案。ADA4500-2无交越失真，可维持DAC的线性度。

积分非线性(INL)和微分非线性(DNL)测量

积分非线性(INL)误差指实际DAC传递函数与理想传递函数的偏差，用LSB表示。差分非线性(DNL)误差指实际步进大小与1 LSB的理想值之间的差异。该系统解决方案提供16位分辨率，DNL和INL均为±1 LSB。图2和图3显示了该电路的DNL和INL性能。

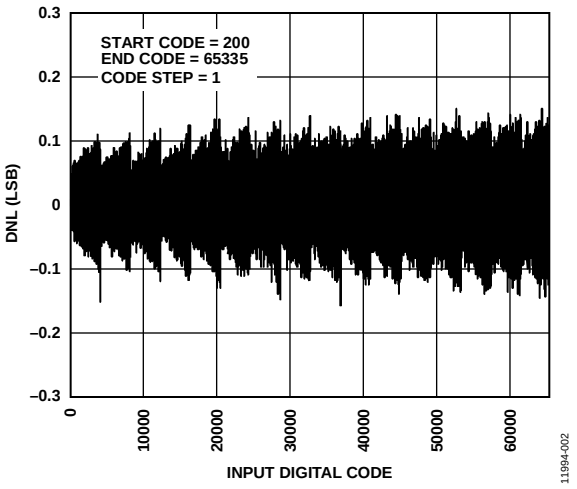


图2. 微分非线性(DNL)

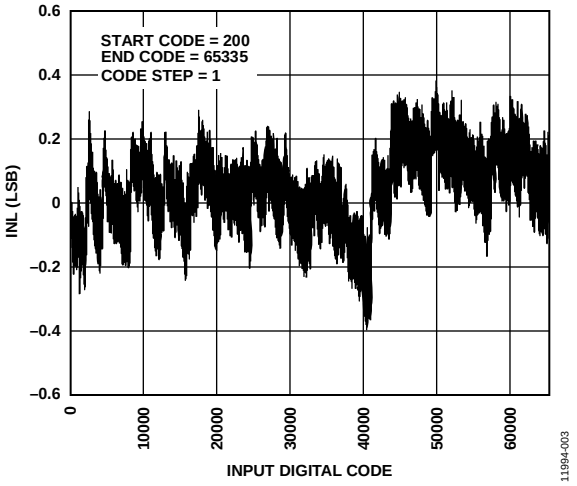


图3. 积分非线性(INL)

注意，DNL和INL测量排除了从范围任一端开始的200个代码(约15 mV)。这是因为，轨到轨输出级在该区间内会变为非线性，如指南MT-035所述。

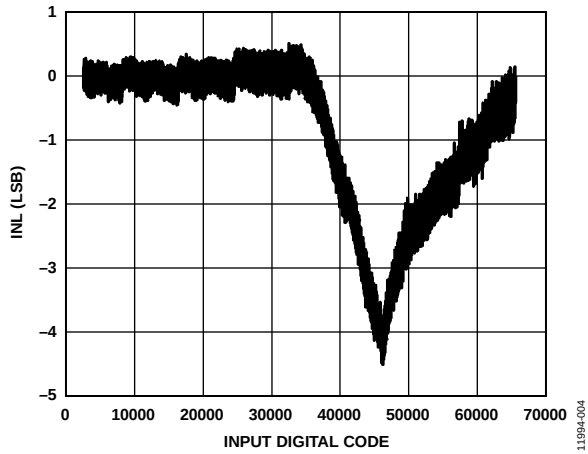


图4. 采用具有传统轨到轨输入级的运算放大器缓冲器时的DAC非线性误差

图4显示了采用具有传统轨到轨输入级的运算放大器所引起的非线性误差。注意，当共模电压与+5 V电源轨相差大约1.7 V时，出现大约4 LSB的峰值误差。

电路板布局考量

应当精心考虑电路板上的电源和接地回路布局。印刷电路板应将模拟部分与数字部分分离。如果该电路所在系统有多个器件要求模拟地至数字地连接，则只能在一个点上进行连接。所有器件的电源都应通过至少0.1uF的电容旁路。这些旁路电容应尽可能靠近器件，电容最好正对着器件。所选0.1 μF电容应当具有低有效串联电阻(ESR)和低有效串联电感(ESL)，例如陶瓷型电容。0.1μF电容为瞬变电流提供低阻抗接地路径。电源走线应尽可能宽，以提供低阻抗供电路径。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术(请参考指南MT-031——“实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团”，以及指南MT-101——“去耦技术”)。

常见变化

ADA4505系列是微功耗、零交越失真、低输入偏置电流放大器。如要求功耗更低的解决方案(速度较低)，请使用ADA4505-1/ADA4505-2/ADA4505-4作为输出缓冲器。

ADR425、ADR435和ADR445是提供5 V基准电压的合适器件。它们具有高精度和低噪声特性，支持最高18 V的输入电压。

如需双极性输出摆幅，请使用AD5512A/AD5542A。它们是单通道、12/16位、无缓冲电压输出数模转换器(DAC)，支持双极性工作模式。

避免交越失真的另一种解决方案是使用较低的基准电压，例如2.5 V ADR4525，电源电压仍为5 V，不过输出范围会缩小。这样可确保典型轨到轨输入放大器(采用双差分对拓扑)的交越点不在输入数字码范围内。

电路笔记CN-0181和CN-0169也说明了采用AD5541A的其它数模转换方案。

电路评估与测试

本电路使用EVAL-CN0348-SDPZ评估板和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板。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。EVAL-CN0348-SDPZ板包含要评估的电路，如本笔记所述。SDP评估板与CN-0348评估软件一起使用，可从EVAL-CN0348-SDPZ电路板获取数据。

设备要求

- 带USB端口和Windows XP、Windows Vista(32位)或Windows 7(32位)的PC
- EVAL-CN0348-SDPZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP评估板
- CN-0348评估软件
- 电源：6 V至18 V，或6 V壁式电源适配器
- Agilent 3458A万用表(或等效设备)
- GPIB转USB电缆(仅在捕捉DAC模拟数据并将其传送到PC时才需要)

开始使用

将CN0348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。

功能框图

图5所示为测试设置的功能框图。

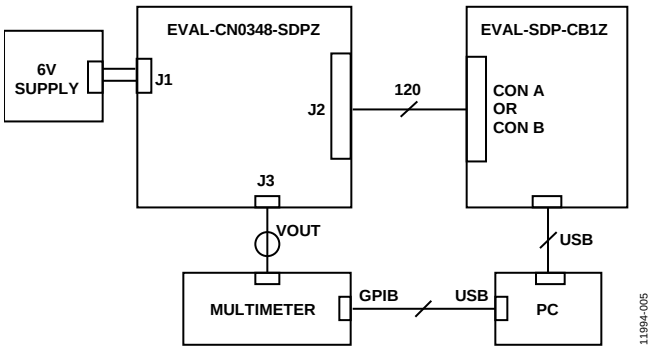


图5. 测试设置功能框图

设置

EVAL-CN0348-SDPZ电路板上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z (SDP)评估板上标有CON A的连接器。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。

在断电情况下，将一个+6 V(最高+18 V)电源连接到板上标有V+和AGND的引脚(J1)。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

为连接到EVAL-CN0348-SDPZ电路板的V+电源通电。通过USB电缆将PC连接到SDP板上的微型USB连接器，并启动评估软件。如果"Device Manager(设备管理器)"中出现"Analog Devices System Development Platform(ADI系统开发平台)"驱动程序，软件便能与SDP板通信。

USB通信建立后，就可以使用SDP板来发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0348-SDPZ板的串行数据。

图6为EVAL-CN0348-SDPZ评估板的照片。

有关测试设置以及如何使用评估软件来捕捉数据的详细信息，请参阅CN-0348软件用户指南。

有关SDP板的信息，请参阅SDP用户指南。

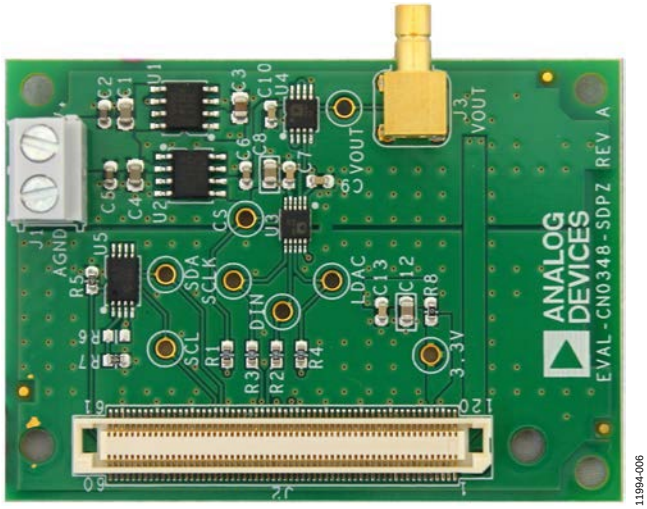


图6. EVAL-CN0348-SDPZ评估板

更多资料

CN-0348设计支持包：
http://www.analog.com/CN0348-DesignSupport

Kester，Walt。*数据转换手册*，第3章和第7章。ADI公司。2005年。

教程MT-015：*DAC基本架构II：二进制DAC*。ADI公司。

教程MT-016：*DAC基本架构III：分段DAC*。ADI公司。

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

教程MT-035：*运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题*。ADI公司。

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

数据手册和评估板

AD5541A数据手册

ADA4500-2数据手册

ADR4550数据手册

修订历史

2014年1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.

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11994sc-0-1/14(0)



www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0350。

连接/参考器件	
AD8608	精密、低噪声、四通道CMOS、轨到轨输入/输出运算放大器
AD7091R	1 MSPS、超低功耗、12位ADC

针对压电传感器的12位、1 MSPS、单电源、双芯片数据采集系统

评估和设计支持

电路评估板

CN0350电路评估板(EVAL-CN0350-PMDZ)
SDP/PMD转接板(SDP-PMD-IB1Z)
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所示电路是只采用了2个有源器件的12位、1 MSPS数据采集系统。

该系统用3.3 V单电源功能，能够处理来自压电传感器的电荷输入信号，在±10°C温度范围内，其校准后总误差小于0.25% FSR，是各种实验室和工业测量的理想之选。

该电路的小巧尺寸使得该组合成为业界领先的数据采集系统解决方案，在这种系统中精度、速度、成本和尺寸极为关键。

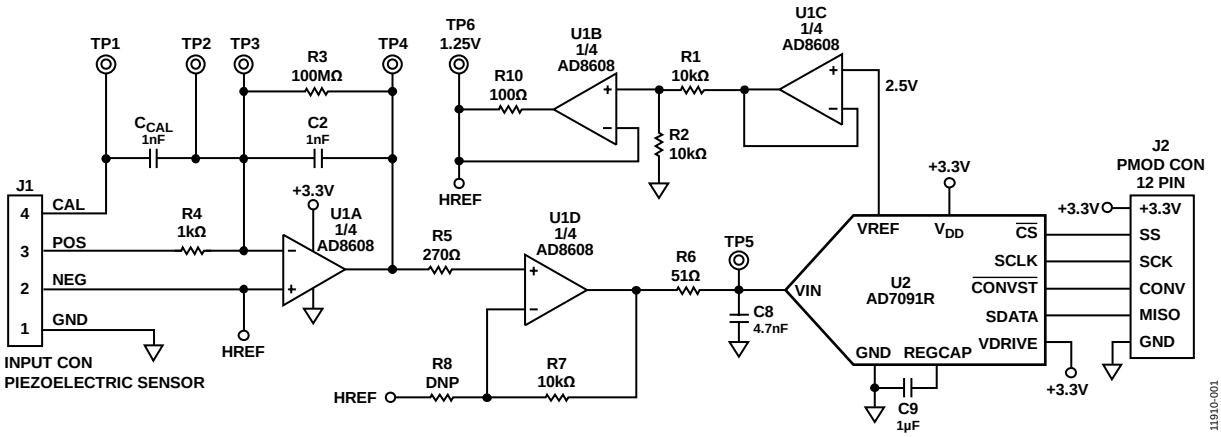


图1.针对压电传感器的单电源电荷输入数据采集系统(未显示所有连接和去耦)

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

该电路由一个输入信号调理级和一个ADC级构成。电流输入信号由电荷-电压转换器(运算放大器U1A的电荷放大器和电容C2)转换成电压，并由同相放大器(运算放大器U1D和电阻R7和R8)放大。ADC的基准电压(VREF =2.5 V)经过缓冲和衰减(运算放大器U1B和U1C以及电阻R1和R2)，产生1.25 V的失调HREF，用于将来自传感器的交流信号调理至ADC的输入范围之内。运算放大器U1A、U1B、U1C和U1D都是四通道AD8608。U1D运算放大器的输出为0.1 V至2.4 V，与ADC的输入范围(0 V至2.5 V)相匹配，同时提供100 mV的裕量以保持线性度。电阻值和电容值可以修改，以适应本电路笔记描述的其他传感器范围。

AD8608的最小额定输出电压为50 mV(2.7 V电源)和290 mV(5 V电源)，负载电流为10 mA，温度范围为−40°C至+125°C。在3.3 V电源、负载电流低于1 mA、温度范围更窄的情况下，保守估计最小输出电压为45 mV至60 mV。该电路设计支持单电源供电。

考虑到器件的容差，最小输出电压(范围下限)设为100 mV，以提供安全裕量。输出范围的上限设为2.4 V，以便为ADC输入端的正摆幅提供100 mV的裕量。因此，输入运算放大器的标称输出电压范围为0.1 V至2.4 V。

本应用中选用AD8608的原因是该器件具有低偏置电流(最大值1 pA)、低噪声(最大值12 nV/√Hz)和低失调电压(最大值65 μV)等特性。在3.3V电源下，功耗仅为15.8 mW。

运算放大器的输出级后接一个单极点RC滤波器(R6/C8)，用于降低带外噪声。RC滤波器的截止频率设为664 kHz。

选择AD7091R 12位1 MSPS SAR ADC是因为其在3.3 V (1.2 mW)下的功耗超低，仅为349 μA，显著低于当前市场上竞争对手的任何ADC。AD7091R还内置一个2.5 V的基准电压源，其典型漂移为±4.5 ppm/°C。输入带宽为7.5 MHz，且高速串行接口兼容SPI。AD7091R采用小型10引脚MSOP封装。

AD7091R需要50 MHz的串行时钟(SCLK)，方能实现1 MSPS的采样速率。在多数压电传感器应用中，都可以使用较低的采样速率。对于本电路笔记中采用的测试数据，SCLK为30 MHz，采样速率为300 kSPS。

数字SPI接口可以用12引脚且兼容PMOD的连接器(Digilent PMOD规格)连接到微处理器评估板。

电路设计

图2所示电路将输入电荷转换成电压，并将其电平转换至ADC的输入范围(0.1 V至2.4 V)内。

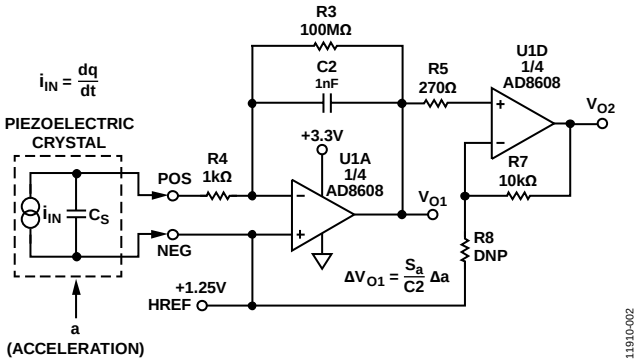


图2. 电荷输入信号调理电路

压电元件通常用于测量加速度和振动。这里将压电晶体与质量块m配合使用。当质量块受到加速度a影响时，则质量块和压电晶体上将产生惯性力$F = m \times a$。因此，该晶体会获得电荷$q = d \times F$，其中，d(单位为库仑/牛顿，C/N)为晶体电荷对力的灵敏度。

因此，压电加速度计的稳定状态电荷灵敏度S_a为$S_a = \Delta q/\Delta a$(单位为C × s²/m)。

注意，加速度可以用关系1 g = 9.81 m/s²转换成g。

如果将加速度计与带反馈电容C2的电荷放大器配合使用(如图2所示)，则C2上因电荷Δq而形成的电压为$\Delta V = \Delta q$/C2。对应的稳定状态电压灵敏度为：

$$S_V = \Delta V/\Delta a = S_a/C2. \quad \text{等式1}$$

图1中信号调理电路的第一级为电荷放大器(U1A和电容C2)，其中，输出电压根据等式1而变化。该电路的输出经过转换，以处理双极性输入信号(如振动测量)。利用1.25 V的基准电压源，该电路的零电平会转换至ADC输入范围的中点。电荷放大器的输出电压为：

$$V_{O1} = V_{HREF} + \frac{1}{C2}\int i_N dt = V_{HREF} + \frac{q}{C2} = V_{HREF} + \frac{S_a}{C2}a \quad \text{等式2}$$

图1中信号调理电路的第二级是一个同相放大器，其输出电压为：

$$V_{O2} = V_{HREF} + \left(1 + \frac{R7}{R8}\right)\frac{S_a}{C2}\Delta a \quad \text{等式3}$$

电阻R3(陶瓷传感器为100 MΩ至10 GΩ，晶体传感器为10 GΩ至10 TΩ)为运算放大器提供直流反馈，并提供输入偏置电流。对于测得的最小频率，该电阻必须尽量小，并决定着频率输入范围的最低限值。在低频下，转折频率f_{CL}约为：

$$f_{CL} = \frac{1}{2\pi R3C2} \quad \text{等式4}$$

将一个电阻R4(1 kΩ至10 kΩ)与运算放大器反相输入端串联，有助于提高稳定性和限制意外高输入电压导致的输入电流。进一步提高R4会导致高频响应下降。在高频下，R4可以与传感器的阻抗Z_S相当($1/\omega C_S$，其中C_S为压电传感器的电容)。

高频条件下的转折频率f_{CH}为：

$$f_{CH} = \frac{1}{2\pi R4C_S} \quad \text{等式5}$$

利用等式1至等式5，可以算出具体应用的电路参数(C2、R7、R8、f_{CL}和f_{CH})。

例如，Kistler型8002K石英加速度计具有以下规格：

- 范围：±1000 g
- 灵敏度：1 pC/g
- 电容：90 pF(典型值)
- 频率响应：−1%, +5% ≈0 Hz至6000 Hz
- 绝缘电阻：大于10^{13}Ω

对于V_{O1}下的输出电压摆幅±1 V，可利用等式1计算C2。

$$C2 = S_a \Delta a / \Delta V = (1\ \text{pC/g} \times 1000\ \text{g})/1\ \text{V} = 1\ \text{nF}$$

对于0.1 V至2.4 V (1.25 V ± 1.15 V)的ADC输入电压摆幅，同相放大器的增益必须等于1.15，R7/R8比值 = 0.15。如果选择一个标准值电阻R7 =10 kΩ，则R8 = 66.67 kΩ。

选择R3 = 100 MΩ并忽略运算放大器的输入电阻和压电传感器的绝缘电阻。低频条件下的转折频率为(见等式4)：

$$f_{CL} = \frac{1}{2\pi R3C2} = \frac{1}{2\pi \times 10^8 \times 10^{-9}} = 1.6Hz$$

选择R4 =1 kΩ时，高频条件下的转折频率为(见等式5)：

$$f_{CH} = \frac{1}{2\pi R4C_S} = \frac{1}{2\pi \times 10^3 \times 90 \times 10^{-12}} = 1.77MHz$$

因此，保护电阻R4 = 1 kΩ不影响高通频率响应，因为传感器的频率响应上限只有6 kHz。

电阻和基准电压容差导致的增益和失调误差

从等式3，可得到信号调理电路的增益：

$$GAIN = \left(1 + \frac{R7}{R8}\right)\frac{1}{C2} \quad \text{等式6}$$

相对增益误差为：

$$\frac{dGAIN}{GAIN} = \delta_G$$

根据对数导数原理，得出：

$$\ln GAIN = \ln(R8 + R7) - \ln R8 - \ln C2$$

对$lnGAIN$求导得到：

$$\frac{dGAIN}{GAIN} = \frac{dR8}{R7 + R8} + \frac{dR7}{R7 + R8} - \frac{dR8}{R8} - \frac{dC2}{C2}$$

$$\frac{dGAIN}{GAIN} = \frac{dR8}{R8}\frac{R8}{R7 + R8} + \frac{dR7}{R7}\frac{R7}{R7 + R8} - \frac{dR8}{R8} - \frac{dC2}{C2}$$

$$\delta_G = \delta_{R8}\frac{R8}{R7 + R8} + \delta_{R7}\frac{R7}{R7 + R8} - \delta_{R8} - \delta_{C2}$$

$$\delta_G = \delta_{R8}\left(\frac{R8}{R7 + R8} - 1\right) + \delta_{R7}\frac{R7}{R7 + R8} - \delta_{C2}$$

$$\delta_G = \delta_{R8}\left(\frac{-R7}{R7 + R8}\right) + \delta_{R7}\frac{R7}{R7 + R8} - \delta_{C2}$$

$$\delta_G = \left(\frac{R7}{R7 + R8}\right)(\delta_{R7} - \delta_{R8}) - \delta_{C2} \quad \text{等式7}$$

如果器件R7、R8和C2的容差为1%，则可估算出求和增益误差。

最差条件下的相对增益误差：

$$(\delta_G)_{\max} = \pm\left[\frac{R7}{R7 + R8}(|\delta_{R7}| + |\delta_{R8}|) + |\delta_{C2}|\right] =$$

$$= \pm\left(\frac{10k\Omega}{10k\Omega + 66.7k\Omega} \times 2\% + 1\%\right) = \pm(0.13 \times 2\% + 1\%) = \pm 1.26\%$$

均方误差(和方根误差)：

$$(\delta_G)_{MSqE} = \pm\sqrt{\left(\frac{R7}{R7 + R8}\right)^2 (\delta_{R7}{}^2 + \delta_{R8}{}^2) + \delta_{C2}{}^2}$$

$$= \pm\sqrt{2 \times 0.13^2 \times 1\%^2 + 1\%^2} = \pm 1.0168\%$$

从等式3，可得到信号调理电路的输出失调为：

$$OFFSET = HREF = \frac{R2}{R1 + R2}V_{REF} \quad \text{等式8}$$

相对失调误差为：

$$\delta_{OS} = \frac{R1}{R1 + R2}(\delta_{R2} - \delta_{R1}) - \delta_{VREF} \quad \text{等式9}$$

如果R1、R2和V_{REF}的容差为1%，可以估算出求和失调误差。

最差条件下的相对失调误差：

$$(\delta_{OS})_{\max} = \pm\left[\frac{R1}{R1+R2}\left(\left|\delta_{R2}\right|+\left|\delta_{R1}\right|\right)+\left|\delta_{VREF}\right|\right] = \pm 2\%$$

均方失调误差(和方根误差)：

$$(\delta_{OS})_{MSqE} = \pm\sqrt{2\times 0.5^2\times 1\%^2+1\%^2} = 1.225\%$$

完成校准过程后，电阻容差、AD8608运算放大器的失调(75 μV)以及ADC AD7091R导致的误差均消除。依然有必要计算并验证U1D运算放大器输出在所需的范围内(0.1 V至2.4 V)。

电阻和基准电压源温度漂移导致的增益和失调误差

利用等式7和等式9，可以算出元件温度漂移导致的误差。例如，如果电阻温度漂移为±100 ppm/°C，且基准电压漂移为±25 ppm/°C，则在最差条件下，增益误差小于±0.013%/°C，而失调误差约为±0.01%/°C，这相当于在±10°C的温度变化范围内，总误差小于±0.25%。

有源元件温度系数对总误差的影响

AD8608运算放大器(75 μV)和AD7091R ADC的直流失调由校准程序消除。

AD7091R内置基准电压源的失调漂移典型值为4.5 ppm/°C，最大值为25 ppm/°C。

AD8608运算放大器的失调漂移典型值为1.5 μV/°C，最大值为6 μV/°C。

注意，如果采用100 ppm/°C电阻，则总漂移的最大来源是电阻漂移，有源元件产生的漂移可忽略不计。

校准与测试

在将电荷放大器与传感器连接之前，应对其灵敏度进行测试，以便对系统增益进行校准。图3所示为一种不需要应用任何机械负载(加速度、力、压力等)的电子校准系统。由与校准电容C_{CAL}串联的一个可调幅度和频率低阻抗输出电压源来驱动电荷输入。该电压源的输出必须相对于电路板接地电压保持浮动，以便能在1.25 V的HREF共模电压下工作。

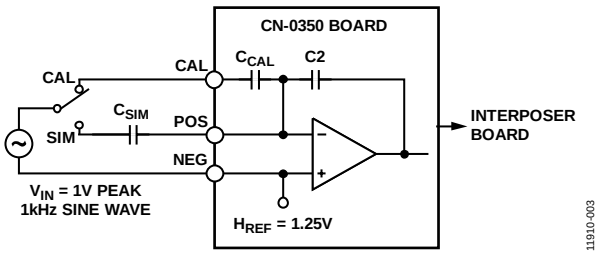


图3. 校准电荷输入信号调理电路

输入电荷量为$Q = C_{CAL} \times V_{IN}$。例如，一个幅度为1 V的输入正弦波电压和一个1 nF的校准电容可产生±1000 pC的峰值电荷输入。这可用来校准系统。重要的是，C_{CAL}要选用容差不大于1%的电容，以最大程度地减少误差。请注意，C_{CAL}的容差会影响校准精度。C2的容差决定输出范围，但C2的温度变化会影响精度。

在此基础上，可以利用外部仿真电容C_{SIM}来检查和调节电路。检查电路的另一种方式是使用CAL输入和可调电压源。出于校准和仿真需要，可以在TP1和TP2之间并联一个值和精度适当的外部电容来更改电容C_{CAL}。对于其他输入范围，则可在TP3和TP4之间并联一个值和精度适当的外部电容来更改电容C2。

图4所示为在1V 1 kHz正弦波输入和C_{SIM} = 1 nF条件下测得的ADC输出。因此，电荷输入为±1000 pC。



图4. ±1000 pC输入电荷、1 kHz正弦波条件下的ADC输出

图5所示为使用Loudity LD-BZPN-2312压电传感器时的实际输出，其中，以一个正弦波振动约为120 Hz的扬声器实现激励。该电路以1 V的峰值输入正弦波电压和C_{CAL} = C2 = 10 nF进行校准。



图5. LD-BZPN-2312压电传感器的实测输出
(以120 Hz正弦波版扬声器实现激励)

印刷电路板(PCB)布局考量

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必须尽可能隔离数字部分和模拟部分。该系统的PCB采用简单的双层板堆叠而成，但采用4层板可以得到更好的EMS性能。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。AD8608的电源必须用10 µF和0.1 µF电容去耦，以适当地抑制噪声并减小纹波。这些电容须尽可能靠近相应器件，0.1 µF电容应具有低ESR值。对于所有高频去耦，建议使用陶瓷电容。电源走线必须尽可能宽，以提供低阻抗路径，并减小电源线路上的毛刺效应。

用于调理压电传感器输出的高阻抗电路需要注意电阻、绝缘(电介质)和布线。电荷放大器的低阻抗输入电路可大幅减少布线问题，但对电阻、绝缘体和静电计放大器布局的要求也适用于采用分立式元件构建的电荷放大器。建议在印刷电路板两侧的敏感输入端周围放置一个保护环，以最大限度地减少输入漏电流。保护环环绕在正端四周，并连接到基准(共模)电压源HREF。

有关完整文档包，包括原理图、电路板布局和物料清单(BOM)，请参考：www.analog.com/CN0350-DesignSupport。

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。可在该配置中采用其他精密运算放大器和其他ADC，以将±1000 pC输入电荷范围转换成数字输出，用于本电路的各种其他应用中。

可依据“电路设计”部分的等式，针对±1000 pC输入电荷范围以外进行设计，如图1所示。连接器TP3和TP4可用于将额外的电容与C2并联起来，以构建其他范围的电路。连接器TP1和TP2可用于将额外的电容与C_{CAL}并联起来，以校准其他范围的电路。

AD7091与AD7091R类似，但没有基准电压输出，而且输入范围等于电源电压。AD7091可与2.5 V ADR3425基准电压源配合使用。ADR3425不需要缓冲，因此可在电路中使用单通道AD8605和双通道AD8606。

ADR3425是一款精密2.5 V带隙基准电压源，具有低功耗、高精度(温度漂移为8 ppm/°C)等特性，采用6引脚SOT-23封装。

AD8601、AD8602和AD8604分别为单通道、双通道和四通道轨到轨、输入和输出、单电源放大器，具有超低失调电压和宽信号带宽等特性，可以替代AD8605、AD8606和AD8608。

AD7457是一款12位、100 kSPS、低功耗SAR ADC，在不需要高吞吐速率的情况下，可以与ADR3425基准电压源相配合，用于代替AD7091R。

电路评估与测试

本电路采用EVAL-CN0350-PMDZ电路板、SDP-PMD-IB1Z和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板。转接板SDP-PMD-IB1Z和SDP板EVAL-SDP-CB1Z采用120引脚对接连接器。转接板和EVAL-CN0350-PMDZ板采用12引脚PMOD对接连接器，可快速进行设置和评估电路性能。EVAL-CN0350-PMDZ板包含要评估的电路(如本笔记所述)，SDP评估板与CN0350评估软件配合使用，以捕获来自EVAL-CN0350-PMDZ电路板的数据。

设备要求

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista®(32位)或Windows® 7/8(64位或32位)PC
- EVAL-CN0350-PMDZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP评估板
- SDP-PMD-IB1Z转接板
- EVAL-CFTL-6V-PWRZ电源
- CN0350评估软件
- 精密电压发生器

开始使用

将CN0350评估软件光盘放进PC的光盘驱动器，加载评估软件。也可以从CN0350评估软件中下载最新版的评估软件。打开“我的电脑”，找到包含评估软件光盘的驱动器，打开文件setup.exe。按照屏幕上的提示完成安装。建议将所有软件安装在默认位置。

功能框图

图6所示为测试设置的功能框图。

设置

- 通过直流管式插孔将EVAL-CFTL-6V-PWRZ(+6 V直流电源)连接到SDP-PMD-IB1Z转接板
- 通过120引脚ConA连接器将SDP-PMD-IB1Z(转接板)连接到EVAL-SDP-CB1Z SDP板
- 通过USB电缆将EVAL-SDP-CB1Z(SDP板)连接到PC
- 通过12引脚接头PMOD连接器将EVAL-CN0350-PMDZ评估板连接到SDP-PMD-IB1Z转接板
- 通过端子板J1Test将电压发生器连接到EVAL-CN0350-PMDZ评估板

启动评估软件。如果设备管理器中列出了Analog Devices系统开发平台驱动器，软件将能与SDP板通信。一旦USB通信建立，就可以使用SDP板来发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0350-PMDZ板的串行数据。可将各种输入电压值保存到电脑中。有关如何使用评估软件来捕获数据的信息和详情，请参见CN0350软件用户指南。

EVAL-CN0350-PMDZ板照片如图7所示。

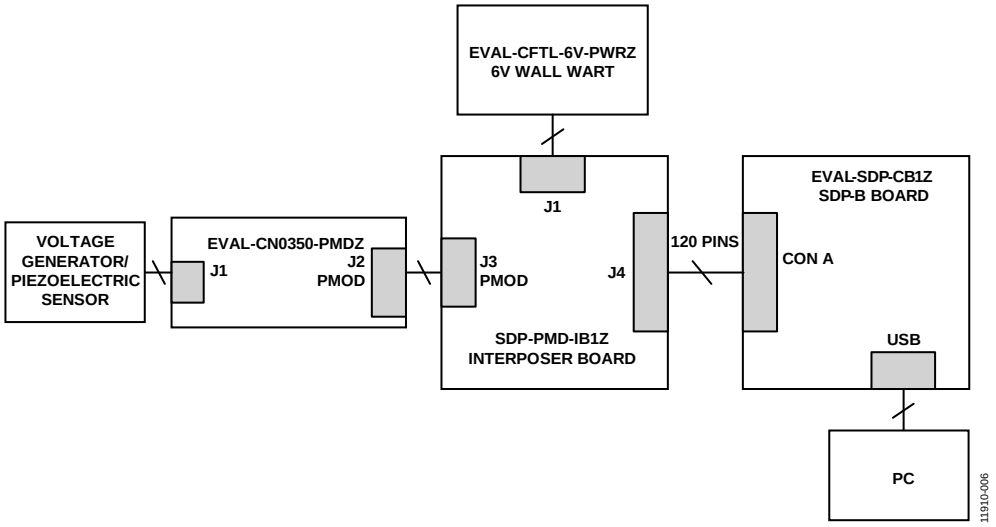


图6. 测试设置功能框图

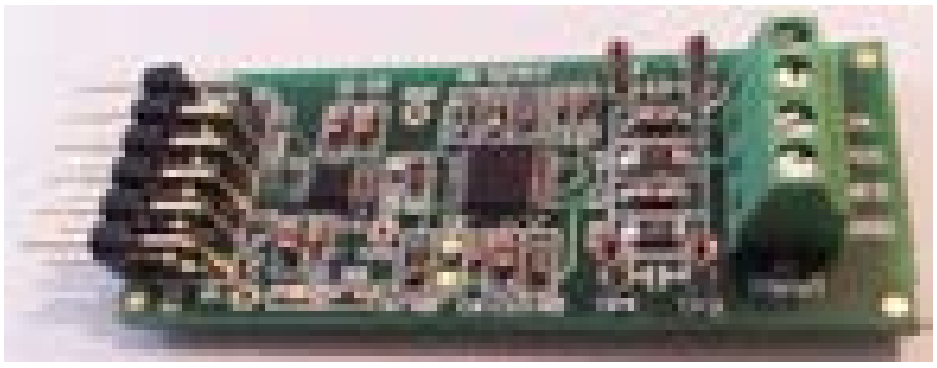


图 7. EVAL-CN0350-PMDZ板的照片

更多资料

CN0350设计支持包：
http://www.analog.com/CN0350-DesignSupport

Pallas-Areny，Ramon和John G. Webster。*传感器信号调理*。版权所有 © 2001年，John Wiley & Sons。

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

教程MT-101：*去耦技术*。ADI公司。

教程MT-004：*ADC输入噪声面面观—无噪声是利还是弊？*。ADI公司。

数据手册和评估板

AD8608数据手册

AD7091R数据手册

修订历史

2014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.

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11910sc-0-5/14(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0364。

关联器件/参考	
AD7173-8	低功耗，8-/16-通道,31.25 kSPS，24位、高度集成Σ-Δ ADC
AD5700-1	具有内部振荡器的低功耗HART调制解调器
ADuM5211	集成直流-直流转换器的双通道数字隔离器
ADuM3151	3.75 kV，7通道，SPI专用SPIsolator数字隔离器
ADG704	CMOS，低电压、4 Ω、4通道多路复用器
ADP2441	36 V，1 A、同步、降压调节器

兼容HART的PLC/DCS四通道电压、电流输入

评估和设计支持

电路评估板

CN-0364评估板(EVAL-CN0364-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

设计和文件

原理图，布局文件，BOM

电路功能及优势

图1所示电路提供了一个完整的全隔离、高灵活性的四通道模拟输入系统，适用于需要多电压输入、HART兼容、4 mA至20 mA电流输入等要求的可编程逻辑控制器(PLCs)和分布式控制系统(DCS)。

此模拟输入电路是为分组隔离的工业模拟输入而设计，可支持的电压和电流输入范围包括±5 V、±10 V、0 V至+5 V、0 V至+10 V、 +4 mA至20 mA和0 mA至+20 mA。

该电路由标准的24 V总线供电，并产生一个隔离的5 V系统供电电压。

电路描述

数据转换由24位Σ-Δ模拟至数字转换器(ADC)AD7173-8来完成。AD7173-8可由软件配置，允许8路全差分或16路单端输入通道，通过内置交叉多路复用器提供极大的灵活性。AD7173-8采用小型6 mm × 6 mm LFCSP封装，是空间尺寸受限场合下的一个理想选择。内部时钟和精密2.5 V电压基准减少了外部组件，进一步节省了空间。四个可编程通用输出引脚(GPIO0，GPIO1，GPO2，GPO3)允许控制外部多路复用器，因此可以控制切换多路HART接口，从而减少从处理器/控制器的额外连线。AD7173-8具有内部校准寄存器,可以编程来提供全输入路径上的偏置和增益校准。

AD5700-1是业内最低功率、最小封装、HART兼容的调制解调器,与电流输入通道一起形成HART兼容的，4 mA到20 mA接收器解决方案。AD5700-1包括一个内部精密振荡器，可以额外节省空间，尤其是在隔离应用中。

ADG704多路复用器提供多路电流输入通道与HART之间的连接。

ADuM5211将两个数据通道(Tx，Rx)隔离，并且通过集成的*iso*Power®技术提供了5 V电源隔离。ADuM3151 SPIsolator提供串行外围接口(SPI)隔离，时钟速率可以高达17 MHz (B级)，同时可隔离三个附加的数据通道。

ADP2441是36 V，降压调节器，可接受工业标准24 V电源供电，具有宽输入电压。ADP2441将输入电压降至5 V，为所有控制器侧电路供电。该电路还包括标准24 V输入端外围保护。

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

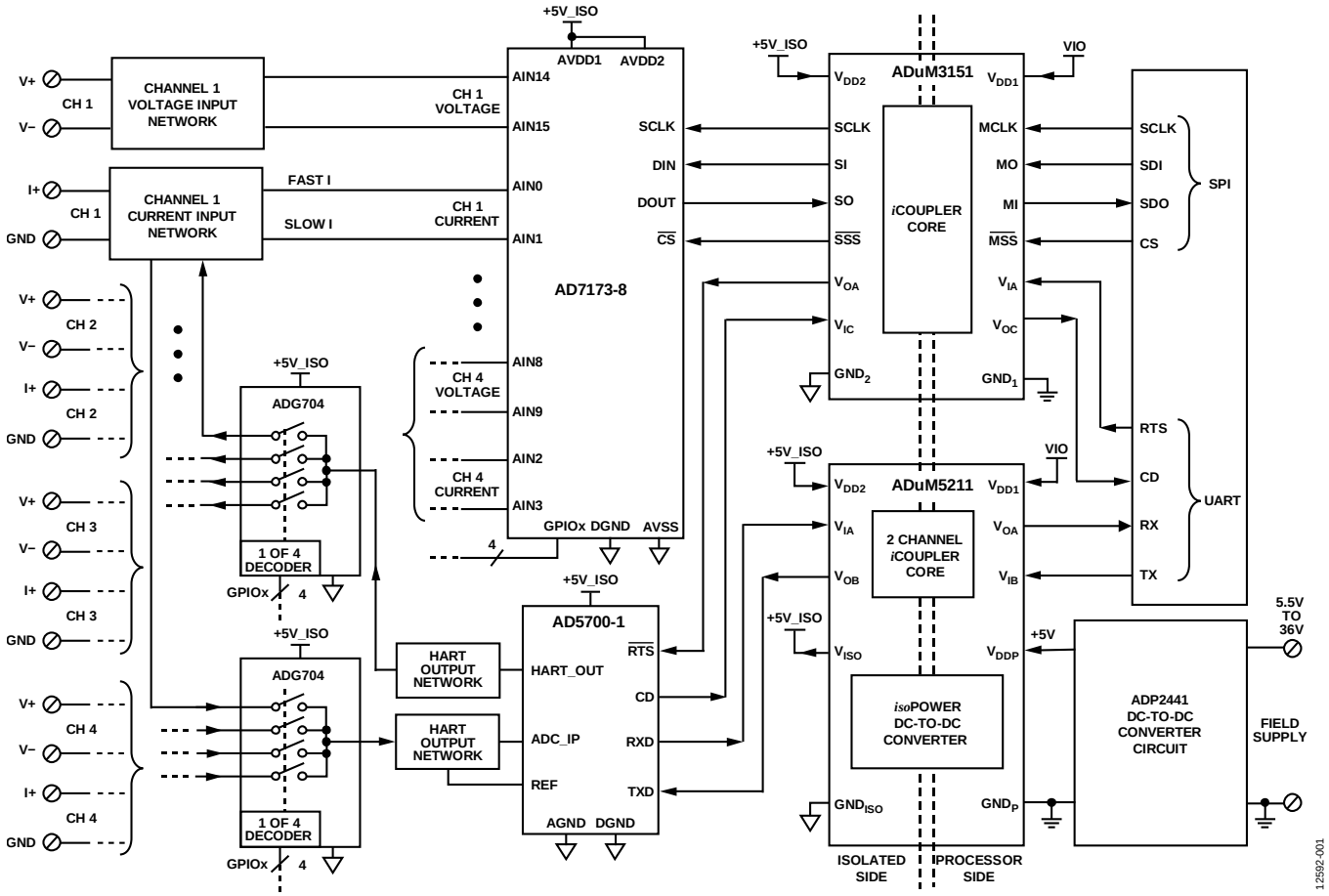


图1. PLC/DCS四通道电压和电流输入前端(简化原理图：未显示所有连接及去耦电路)

电压输入电路

图2显示通道1的电压输入网络。

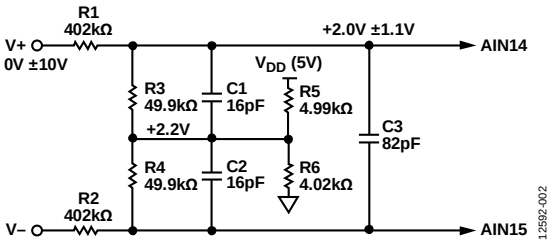


图2. 电压输入等效电路(简化)

该电路为差分输入，支持最高输入范围为±10 V，并允许具有±5 V的共模电压。输入阻抗约为900 kΩ，高值的R1和R2在高电压瞬变期间也可以对输入进行保护。

R1、R2、R3和R4电阻形成差分电阻分压器。这些电阻的匹配对电路的直流精度至关重要。推荐单点校准以消除初始误差。多点校准可用来消除温漂影响。评估板R1、R2、R3和R4的默认安装为0.1%，25 ppm/℃的电阻。

R5、R6电阻设置ADC的共模电压。AD7173-8具有允许输入0 V至3.9 V电压范围。+2.2 V的偏置电压于输入的分压电阻配合，将±10 V输入信号进行偏置和衰减，使得在ADC输入端，信号变为以2 V共模电压为中心，幅值为±1.1 V的信号。

输入共模噪声滤波由R1||R3/C1和R2||R4/C2提供，大约200 kHz。差模噪声滤波由R1||R3，R2||R4和C3提供，大约20 kHz。

表 1 总结了四个电压输入通道的参数。

表1. 电压输入电路参数 (基于最坏的情况计算的最大值)

参数	数值	单位	测试条件/注释
输入阻抗	903	kΩ	
分压比	0.11		402 kΩ和49.9 kΩ的电阻分压
源于电阻的初始误差	0.18	%FSR max	25°C，未校正，假定 0.1%电阻
源于输入漏电流的误差	±0.01	%FSR	±10 V范围， AD7173-8，±2 nA典型漏电流
源于电阻漂移的误差	18	ppm/°C max	假定10 ppm/°C电阻
		ppm/°C max	假定5 ppm/°C电阻
源于基准电压漂移的误差	10	ppm/°C max	内部基准
共模	±5	V	
数据速率	31.25	kSPS	1 输入使能(±10 V，14.7位无噪声分辨率)
		kSPS	4通道，每通道完全稳定，sinc5+1滤波(±10 V，14.7位无噪音分辨率)
		SPS	4通道，每通道完全稳定， 50 Hz/60 Hz抑制，(±10 V，18.8位无噪音分辨率)
输入滤波	20	kHz	差模
		kHz	共模

电流输入电路

图3显示通道1的电流输入网络。

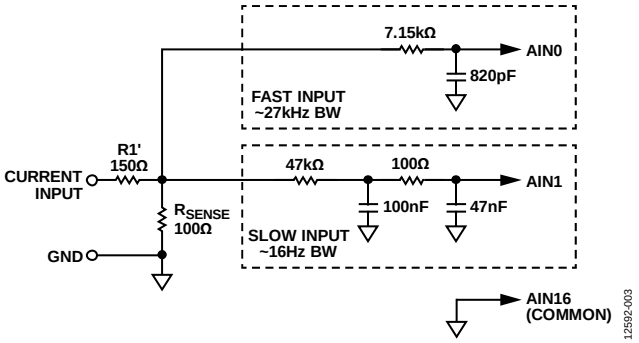


图3. 电流输入等效电路(简化)

该电路具有四个电流输入的通道，支持最大输入范围0 mA到24 mA。电路输入阻抗是250 Ω，输入参考为地。使用一个100 Ω精密电流检测电阻，因此24 mA输入产生2.4 V，在AD7173-8的2.5 V(使用内部的2.5 V电压参考)输入范围之内。评估板默认安装电阻为0.1%，10 ppm/°C电阻。

ADC输入分为两个输入路径。快速输入路径用于不使用HART的通道，低速输入路径用于使用HART的通道。

快速输入路径允许Σ-Δ ADC的信号输入全带宽的信号。也可能使用内部sinc滤波器滤除 1.2 kHz和2.2 kHz的HART频率。然而，使用sinc滤波器需要在400 SPS数据速率(sinc3滤波器筛选)下运行相关通道，这将增加所有四个通道所需的转换时间。

慢输入通道包含16 Hz双极点滤波器，滤掉1.2 kHz和2.2 kHz的HART数字信号频率。使用此输入，Σ-Δ ADC可以仍然运行在快速数据速率下，同时滤除HART数字信号频率。所有四个通道的转换时间不会增加。如果所有通道的HART不全使能，ADC运行在快速数据速率下尤其有用。

表2中总结了电流输入线路参数。

表2. 电流输入线路参数 (基于最坏情况计算的最大值)

参数	数值	单位	测试条件/注释
输入阻抗	250	Ω	接地
源自电阻的误差	N/A[1]	%FSR max	每个R_{SENSE}电阻规格
源自电阻漂移的误差	N/A[1]	ppm/°C max	每个R_{SENSE}电阻规格
源自基准漂移的误差	10	ppm/°C max	内部基准
数据速率	31.25	kSPS	使能1输入 (14.8位无噪声编码分辨率，用于0 mA到20 mA)
		kSPS	4个通道，每通道完全稳定，sinc5+1的滤波(14.8位峰峰值分辨率，用于0 mA到 20 mA)
		SPS	4个通道，每通道完全稳定，50 Hz/60 Hz抑制(18.1位峰峰值分辨率，用于0 mA到 20 mA)
输入滤波器	27	kHz	快速输入
	16	Hz	提供HART滤波的低速输入

[1] N/A = 不适用

HART输入和输出电路

图4显示了HART输入和输出电路。

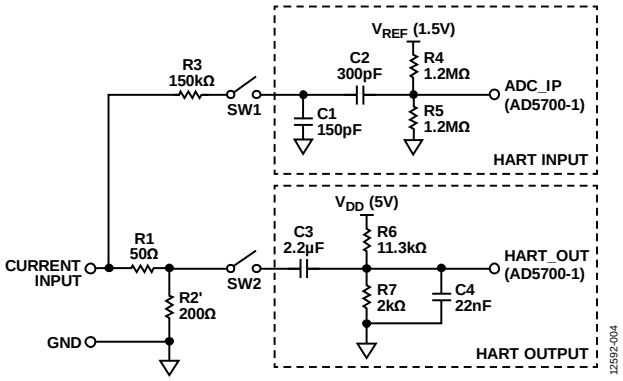


图4. HART输入与输出电路(简化)

HART的功能是在四个电流输入通道间进行复用。通过两个ADG704多路复用器(图4中SW1和SW2),实现HART输入和输出网络在四个通道上共享。

HART输入电路由R3、C1、C2、R4、R5组成的HART带通滤波器组成。AD5700-1的数据手册有此滤波器的描述。每个通道使用一个开关(SW1)来将HART输入线路切换到HART激活通道。每个通道上都有一个150 kΩ的电阻(R3),它是带通滤波器的一部分,同时给开关SW1提供了额外的保护。HART输入直接连接到电流输入端,以确保AD5700-1的ADC_IP引脚可以接收到正确的电压电平。

每个通道使用一个开关SW2来将HART输出线路切换到激活通道。电容C3用来耦合HART信号。需要仔细选择R1、C3、R6,R7的组合,以确保AD5700-1的HART_OUT引脚的电压在25 Hz、4 mA至20 mA的输入信号(对于HART使能器件,代表最快的可允许速率)下不低于GND。

电源电路

评估板由5.5 V至36 V直流电源供电,并使用板上开关稳压器为系统提供5 V电压,如图5所示。在测试设置中,5 V电压为EVAL-SDP-CBIZ系统演示平台(SDP)评估板供电。EVAL-SDP-CB1Z SDP板提供VIO的3.3V电压。

即使使用小尺寸电感,ADP2441的高开关频率也能够提供最小的输出电压纹波。电感尺寸的选择需要在效率和瞬态响应之间权衡。小电感会引起大的电感电流纹波,可提供良好的瞬态响应,但效率会降低。由于ADP2441的高开关频率,建议使用屏蔽的铁氧体磁芯电感,因为此类电感的铁芯损耗和电磁干扰(EMI)都低。

图5电路中,开关频率大约为1 MHz,由88.7 kΩ外部电阻设定。12 µH的电感(线艺LPS6235-123MLC)是按照ADP2441数据手册的表8进行选择的。

该电路通过螺丝端子连接到5.5 V至36 V的供电电源。EARTH端可以与外部的大地连接,不使用外部接地时刻连接至GND端子。

功率电感(DR73-102-R),压敏电阻(V56ZA3P,56 V),功率二极管(S2A-TP,50 V)和一个1.1 A的保险丝提供额外的输入电压瞬变保护。

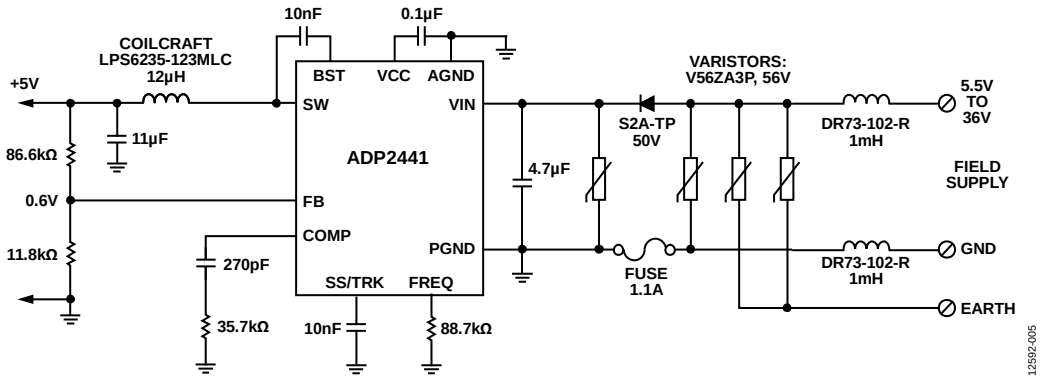


图5. 供电电路(简化原理图:未显示所有的连接)

噪声测试

短接每个通道的输入端子进行系统噪声的评估，这样会使得每个输入通道的差分电压为零，且每个电流输入通道的输入接地。输入短路时采集数据，从样本数中计算代码的分布和无噪声编码分辨率。

可使用CN-0364评估软件来进行噪声试验。可以得到每个通道代码的分布和无噪声编码分辨率，数据显示在直方图中。图6直方图是由通道1电压输入采集的样本数据。

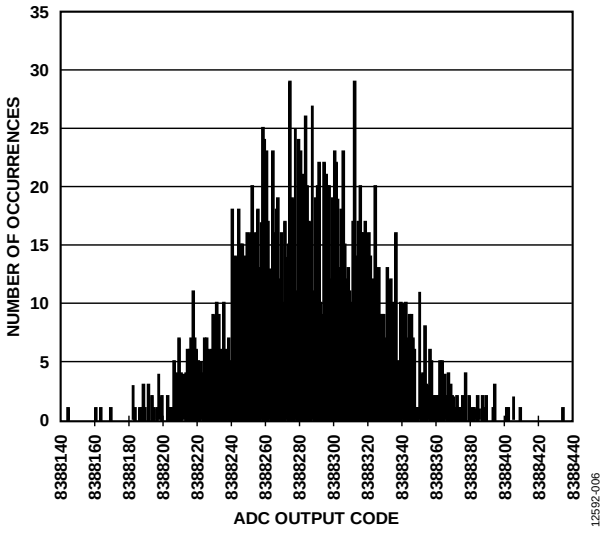


图6. 通道1电压输入、输入短路，偏置到参考电压，31.25 kSPS，Sinc5+1滤波器，2000个采样(15.8位无噪声编码分辨率)

HART测试

HART功能进行测试按照HART物理层测试规范(HCF-试验-2)进行。该电路满足HART物理层的要求。有关HART规格的更多细节可以直接从HART通信基金会获取。

ADC输入对HART 1.2 KHz和2.2 KHz信号的抑制进行了测试。表3显示测试结果。

表3. 1.2KHz和2.2 KHz HART频率的抑制

操作模式	频率(kHz)	抑制(dB)
低速输入路径，31 kSPS Sinc5 + 1滤波	1.2	60.5
	2.2	66.5
快速输入路径，400 SPS Sinc3滤波	1.2	≥74.4
	2.2	66.6

EVAL-CN0364-SDPZ评估板的完整设计支持包，包括原理图、BOM和布局，可以从www.analog.com/CN0364-DesignSupport下载。

常规变化

需要高信道数据速率时，ADC可以使用AD7175-2。AD7175-2支持最高250 kSPS的数据速率，具有最高50 kSPS的信道切换速率。AD7175-2可以在250 kSPS数据速率下实现17.2无噪声位的分辨率。除了更高的数据率外，AD7175-2的特性与AD7173-8类似。

应用中隔离电源的功率高于150 mW时，可以使用ADuM540x或ADuM347x。ADuM540x采用*iso*Power技术，可提供高达500 mW的隔离电源。ADuM347x驱动外部分立变压器，高达70%的效率提供高达2W的功率。

电路评估和测试

图1中所示的电路使用EVAL-CN0364-SDPZ评估板和EVAL-SDP-CB1Z SDP控制器板。

EVAL-CN0364-SDPZ评估板具有PMOD兼容的端子，可与外部控制器板集成。

CN-0364评估软件与SDP板通讯，并对EVAL-CN0364-SDPZ评估板进行配置并从其获取数据。

所需设备

需要以下设备：

- 带有USB端口的PC机，windows Vista(32位)或Windows7(32位)
- EVAL-CN0364-SDPZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP控制器板
- CN-0364评估软件
- 精密电压和电流源
- 电源：直流5.5 V至36 V，500mA

启动

安装CN-0364评估软件，软件可在ftp://ftp.analog.com/pub/cftl/CN0364下载。请按照屏幕上的提示安装和使用本软件。从CN-0364软件用户指南中可获取更多详细信息。

功能框图

图7为测试设置的功能框图。

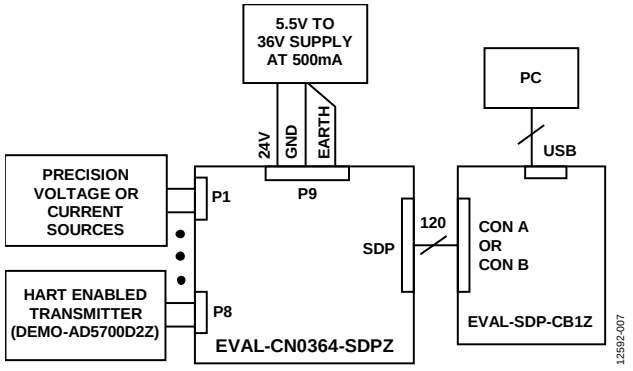


图7. 测试设置功能框图

设置

通过一个120针的匹配连接器连接EVAL-CN0364-SDPZ评估板和EVAL-SDP-CB1Z SDP板。CN-0364评估软件和SDP板允许使用PC机对数据进行分析。

可以连接CN-0267电路(一个完整的带有HART接口，4 mA至20 mA环路供电现场仪表)，来方便测试HART物理层功能。CN-0267硬件响应CN-0364评估软件中的HART指令。

外部控制器也可以通过SPI和UART通信的PMOD头来与评估板通信并为其供电。

精密电压和电流源可用作模拟前端的输入来进行系统性能评估。

图8是EVAL-CN0364-SDPZ评估板的照片。

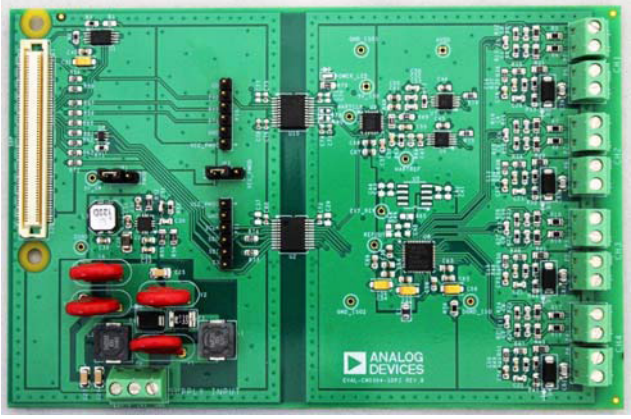


图8. EVAL-CN0364-SDPZ评估板照片

更多资料

CN-0364设计支持包

SDP-B用户指南

电路笔记CN-0267：*具有HART接口的完整4 mA至20 mA环路供电现场仪表*。ADI公司。

电路笔记CN-0270：*完整4 mA至20 mA HART解决方案*。ADI公司。

电路笔记CN-0278：*具有额外电压输出能力的完整4 mA至20 mA HART解决方案*。ADI公司。

电路笔记CN-0321：*具有HART的完全隔离、单通道电压、4 mA至20 mA输出*。ADI公司。

电路笔记CN-0328：*完全隔离式4通道多路复用HART模拟输出电路*。ADI公司。

Mark Cantrell。应用笔记AN-0971：iso*Power器件的辐射控制建议*。ADI公司。

HART®通信基金会

数据表和评估板

AD7173-8数据手册

AD5700-1数据手册

ADuM3151数据手册

ADuM5211数据手册

ADG704数据手册

ADP2441数据手册

修订历史记录

12/14—修订0：初始版本

(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.

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN12592sc-0-12/14(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0368。

连接/参考器件	
AD7866	双通道、1 MSPS、12位同步采样SAR ADC
ADA4571	集成式AMR角度传感器和信号调理器

磁阻角度和线性位置测量

评估和设计支持

电路评估板

CN-0368评估板(EVAL-CN0368-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所示紧凑型双芯片电路提供非接触式各向异性磁阻(AMR)测量解决方案，可用于角度或线性位置测量。该双芯片系统在180°范围内具有优于0.2°的角精度，在0.5英寸范围内具有2 mil(0.002英寸)线性精度，具体取决于所用磁体的尺寸。

该电路适用于高速、高精度、非接触式角度和长度测量关键型应用，比如机床速度控制、起重机角度控制、无刷直流电机和其他工业或汽车应用。

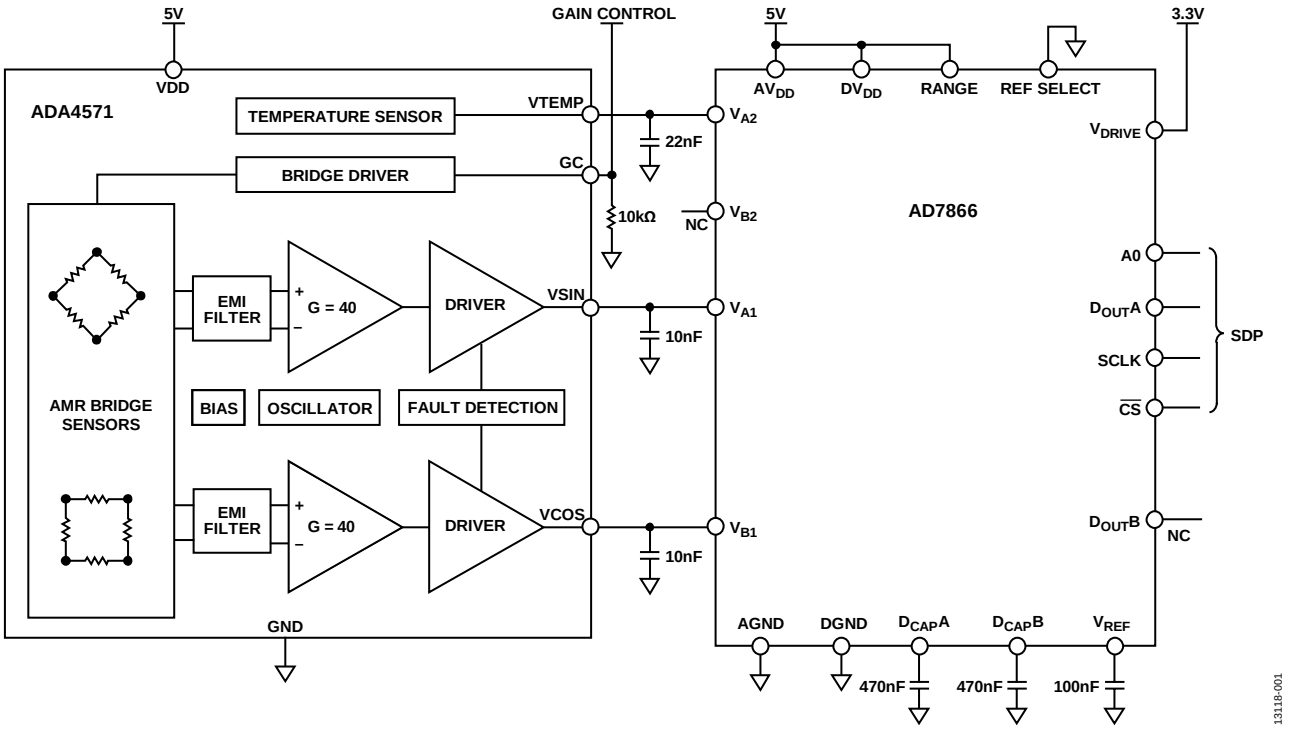


图1. 磁阻角度和线性检测系统(原理示意图： 未显示去耦和所有连接)

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

ADA4571是一款各向异性磁阻(AMR)传感器，集成信号调理放大器和ADC驱动器，以及用于温度补偿的温度传感器。ADA4571产生两路模拟输出，指示周围磁场的角位置。

ADA4571集成一个AMR传感器和一个固定增益(标称值G = 40)仪表放大器。ADA4571可提供有关旋转磁场角度的干净且经过放大的余弦和正弦输出信号。T输出电压范围与电源电压成比例。

传感器含有两个互成45°角的透磁合金惠斯登电桥。x-y传感器平面的旋转磁场提供两路正弦输出信号，且传感器与磁场方向的角度(α)频率翻倍。在x-y平面的均质场内，输出信号与z方向(气隙)的物理位置无关。

正弦和余弦输出端的输出电压摆幅范围为7% V_{DD}至93% V_{DD}。有两个诊断频段(V_{DD}的0%至7%和V_{DD}的93%至100%)，因而可向所有内部连接提供焊线断开检测。

ADA4571采用8引脚SOIC封装。

VSIN和VCOS输出的输出阻抗为50 Ω，采用外部10 nF电容时组成318 kHz噪声滤波器。

AD7866是一款双通道、同步采样、12位、1 MSPS SAR ADC。RANGE引脚的极性确定模拟输入范围和输出编码。如果片选信号变为低电平时该引脚连接逻辑高电平，则下次转换的模拟输入范围为0 V至2 × V_{REF}(0 V至5 V)，为ADA4571 AMR传感器的0.35 V至4.65 V信号提供大约350 mV裕量。

将REFSEL引脚连接至低电平可配置ADC使用内部2.5 V基准电压源。V_{REF}引脚提供该电压，但将其用于系统的其他位置前必须先使用缓冲器。D_{CAP}A引脚和D_{CAP}B引脚采用470 nF电容去耦，确保ADC正常工作。

AD7866同步采样传感器的两个通道。数字字通常在D_{OUT}A和D_{OUT}B端提供。每个数据流包括1个前导零，随后是3个状态位，再加上12位转换数据。然而，保持$\overline{CS}$引脚为低电平并持续额外16个时钟周期，则两个数字字均可从一个通道(D_{OUT}A)获取。因此，SPI接口允许在一条数据线路上访问两个通道。

AD7866的两个ADC输入均带有双通道多路复用器。A0输入引脚上的逻辑0允许A1和A2输入端转换，而A0输入引脚上的逻辑1允许B1和B2输入端转换。ADA4571的温度传感器输出连接AD7866的B1输入，并允许对系统进行软件温度校准。

磁阻(MR)理论

磁阻是存在外部磁场时，材料改变其电阻值的能力。最常用的MR传感器基于AMR技术。

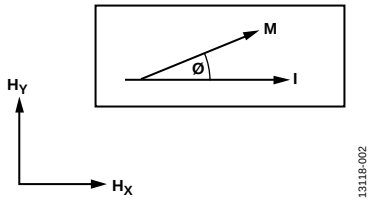


图2. 各向异性磁阻示例

AMR效应示例如图2所示。电流(I)流过导体，受外部磁场(H_Y)影响。导体电阻的变化与磁化矢量(M)和电流矢量(I)之间的角度(Ø)成函数关系。磁化矢量是内部磁场(H_X)与施加的外部磁场(H_Y)的净求和结果。

当磁化矢量(M)与电流矢量(I)平行时，具有最大电阻。当磁化矢量(M)与电流矢量(I)垂直时，具有最小电阻。

有效利用AMR效应要求导体自身必须对机械应力材料不敏感，但对磁约束敏感。由于这些原因，透磁合金(80%镍，20%铁)是AMR传感器制造中最常用的合金。

透磁合金属性

透磁合金条有两个属性，创建角度测量系统时会具有设计挑战性。

首先，透磁合金具有较窄的线性工作区(见图3)。仅当磁化矢量(M)和电流矢量(I)之间的角度(Ø)变大时，响应才是线性的。不幸的是，线性响应不久后透磁合金就会饱和。

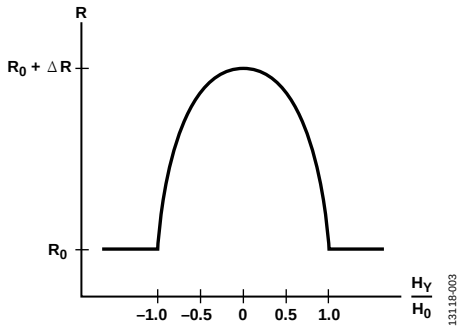


图3. 透磁合金电阻与磁场的关系

其次，透磁合金对极性不敏感。无论磁化矢量(M)和电流矢量(I)之间的角度(Ø)是正或负，透磁合金条的电阻都将下降。

双色条磁极

改善透磁合金条线性度和磁极非敏感特性的常用方法是与金属条的轴向成45°添加铝条(称为双色条磁极，如图4所示)。双色条磁极间流动的任何电流都将走最短的路径——垂直路径，并且电流矢量(I)和磁化矢量(M)之间的角度偏移45°。

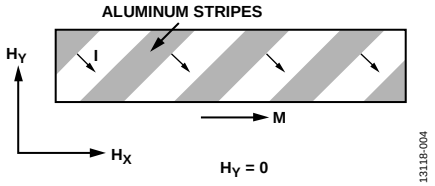


图4. 透磁合金条的双色条磁极效应

图5显示向透磁合金条中加入双色条磁极后的结果。电流矢量偏移45°，但磁化矢量保持不变。注意，线性特性现在存在于图形的中央部分。

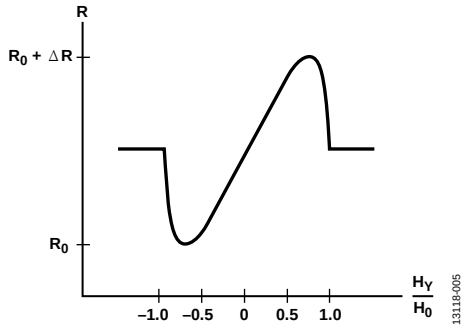


图5. 双色条磁极透磁合金电阻与磁场的关系

磁场强度

磁场强度至少为25 kA/m，才能确保满足ADA4571数据手册中的规格。该激励磁场必须与ADA4571封装内传感元件的中央部分相交。

选择磁体时，需考虑传感器和磁体之间的气隙，如图6所示。如果磁体未靠近传感器放置(即距离d极大)，则可能需要更强或更大的磁体才能确保达到最小磁场强度要求。

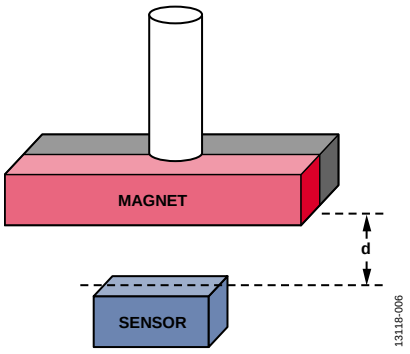


图6. 用于转轴角度测量的磁体方向与气隙

传感器基础知识

标准AMR传感器由两个惠斯登电桥组成，互相之间的相对角度为45°，如图7所示。

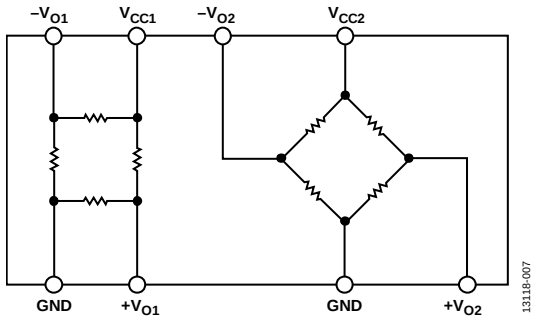


图7. ADA4571双惠斯登电桥配置

旋转磁场产生正弦(2Ø)和余弦(2Ø)输出信号，如图8所示。两个信号在180°范围内均为周期信号，因此没有额外元件或参考点就无法进行全方位360°测量检测。

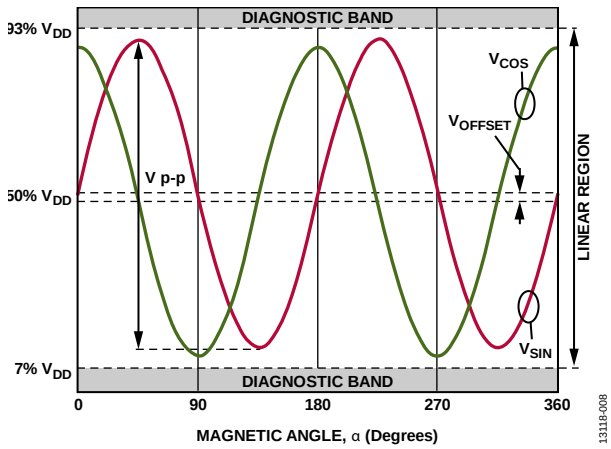


图8. 磁阻传感器输出电压

通道灵敏度

ADA4571传感器标称灵敏度为每通道52 mV/°，这意味着磁化矢量和传感器方向之间的每一度变化都会产生52 mV的输出电压改变。角度的灵敏度并非常量。灵敏度下降的部分是线路斜率接近零时的输出部分。

如图8所示，余弦输出(绿线)在磁化矢量角度接近0°、90°、180°或270°时损失灵敏度。类似地，正弦输出(红线)在磁化矢量角度接近45°、135°、225°和315°时损失灵敏度。幸运的是，当一个通道的灵敏度降低时，另一个通道处于高灵敏度区域。

系统带宽、磁场旋转

磁场角度矢量是理解电路带宽的重要内容。ADC每微秒转换一个样本。为了获得1°分辨率，磁场1 ms只能移动1°(2.778 kHz)，否则ADC无法以足够高的速度进行采样，以便跟上磁场变化的速度。对于1 MSPS ADC，这表示磁场的最大可用角速度为2.778 kHz。

旋转测量测试结果

将直径方向的N42磁体(直径 = 0.5英寸，厚度 = 0.125英寸)连接至金属杆的末端。精密直流电机可对金属杆进行精细角度控制。传感器精确安装在磁体正面。气隙设为2 mm。只要磁铁激励使传感器完全饱和，则结果便与气隙基本无关。

电机转动，创造出与传感器相交的旋转磁场，进而产生重复性正弦和余弦输出电压，适合进行角度计算和数据采集。

图9显示了该设置的功能框图。图10是该设置的照片，可用来采集轴尾配置的数据。该设置由无刷直流电机、物理安装、磁体和集成相应ADA4571传感器的PCB组成。

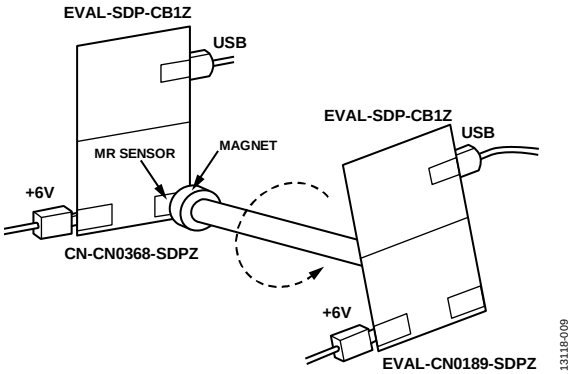


图9. 数据采集测试设置——轴尾配置

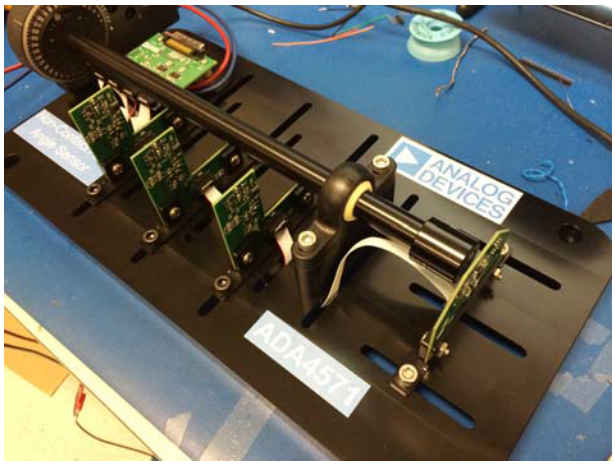


图10. 无刷直流电机基准测试设置照片

图11通过磁体的多次转动，将电机的机械角与传感器的计算磁场角相比较。该计算利用两个输出之比的反正切函数。未进行校准时，误差接近±1°。

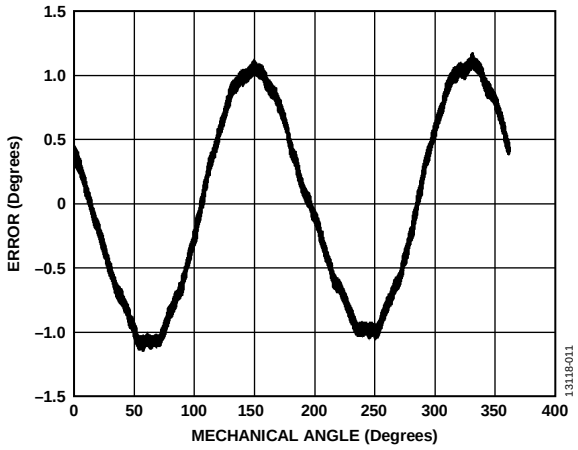


图11. 失调校正前的角误差与机械角之间的关系

图12显示仅有一次失调校正的误差。无需针对正弦和余弦的幅度失配、非线性度或正交性校正进行额外调节。使用每个通道的峰峰值或平均值可确定失调值，因为它贯穿整个机械旋转。从对应通道中减去失调，以获得线性传感器响应。最大误差接近±0.2°，而该范围内的绝大部分误差小于±0.1°。

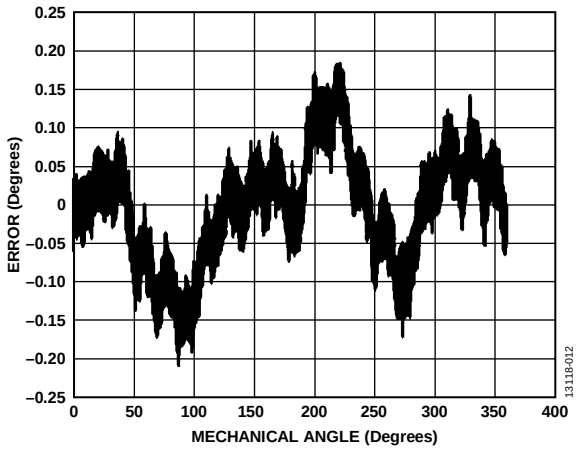


图12. 仅针对失调进行校正后的角误差与机械角的关系

线性位置测试结果

创建增量线性位置测量系统时，只需进行极少量的修改。采用由一系列变化的南北极组成的多极条状磁体代替现有磁体，如图13所示。

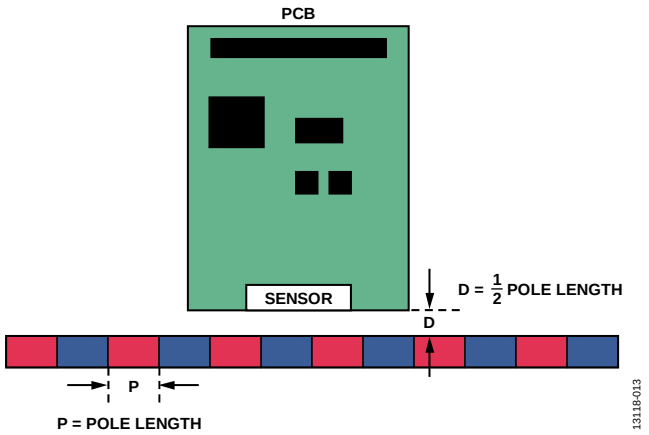


图13. 线性位置测量磁体、PCB和传感器

随着传感器沿与磁体平行方向移动，每转过磁极长度的180°，它都会检测磁场。磁极长度(P)和传感器的角度精度(ΔØ = 0.05°)确定理论精度(Δx)。

$$\Delta x = P \times \Delta Ø/180°$$

这样便形成了仅有一个磁极长度的绝对测量系统。若磁体有多个磁极，则对通过的磁极进行计数可获得更精确的读数。传感器与磁体的理想距离是磁体磁极长度的一半。

通过在数显卡尺的臂上安装磁体，测试EVAL-CN0368-SDPZ PCB。安放EVAL-CN0368-SDPZ PCB，使其ADA4571 AMR传感器(U5)正面与磁体正面垂直。当磁体移动时，数显卡尺显示移动的距离，精度达0.0005英寸。同时，磁力线与传感器相交，提供可用输出范围。图14是该设置的功能框图，图15是该设置的照片。

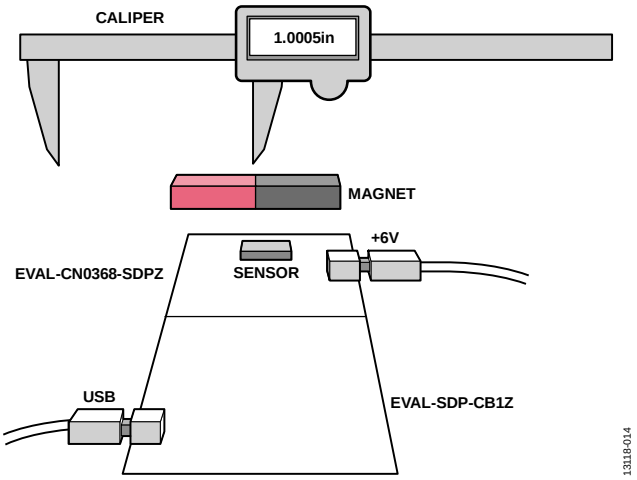


图14. 线性测量的数据采集测试设置

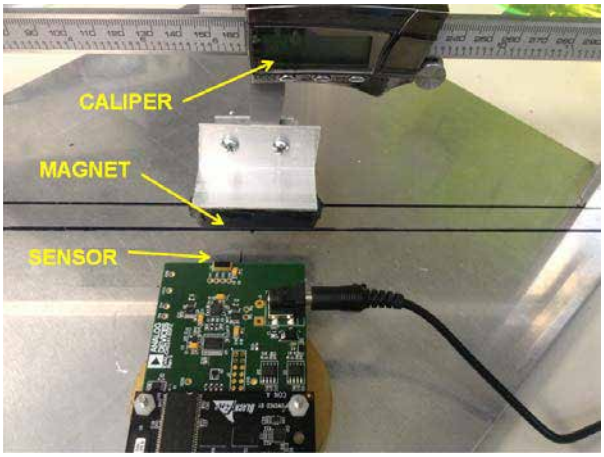


图15. 基准测试设置照片

该设置采用了长度为2英寸的磁体，放置位置离开传感器1英寸。建议用于线性运动检测的传感器至磁体气隙等于磁体磁极长度的一半。通过沿x轴移动磁体来采集数据，并将评估软件读数与卡尺数字显示屏的读数做比较。图16显示1.0英寸范围内记录的输出位置误差。整个范围内的误差为±2密耳。

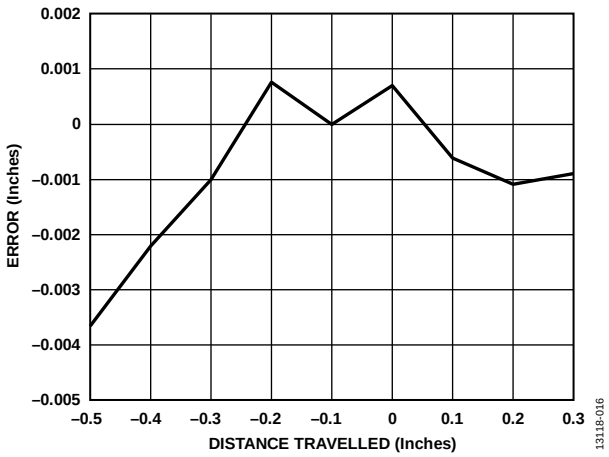


图16. 磁场位置误差：1.0英寸范围

将测量范围限制在0.4英寸可获得更好的测量结果。注意，0.4英寸与图8所示的三角波的线性部分重合，并将测量限制在30°范围内。对此更改范围应用新的增益校正系数，可获得±1密耳的误差，如图17所示。

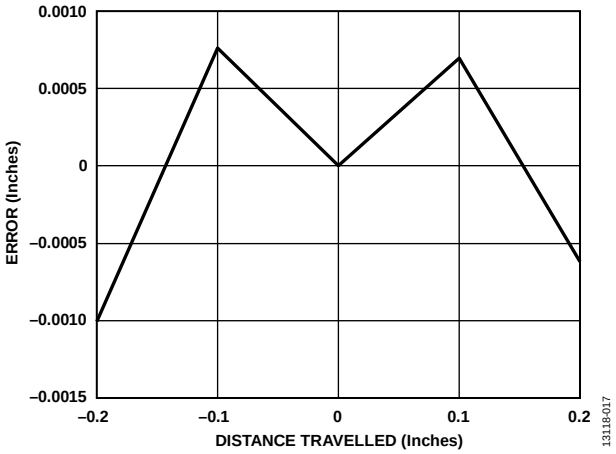


图17. 磁场位置误差：0.4英寸范围

传感器放在磁体本体的中央，如图18所示。当传感器相对磁体上下移动时，会产生一个常见误差源——垂直对齐误差。

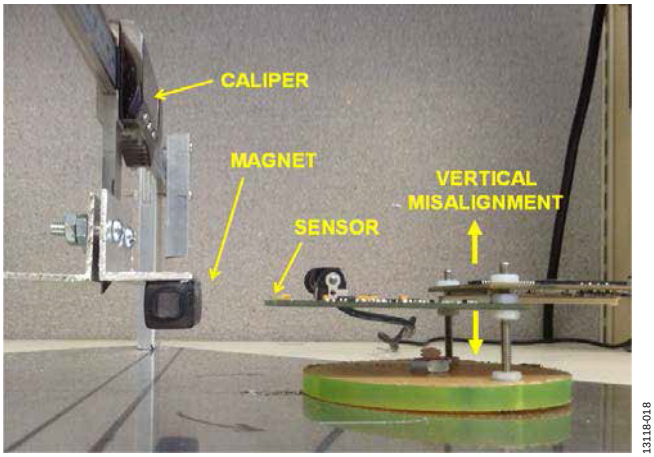


图18. 基准测试设置照片：垂直对齐误差

图19显示了传感器与磁体在垂直方向上未对齐所造成的误差。测试将PCB上移或下移0.25英寸和0.5英寸，然后获取数据。对于1.0英寸测量范围，将目标上移或下移0.25英寸会给计算增加数密耳的误差。上移或下移0.5英寸会使测量情况更糟，原始读数的误差会增加数十密耳。

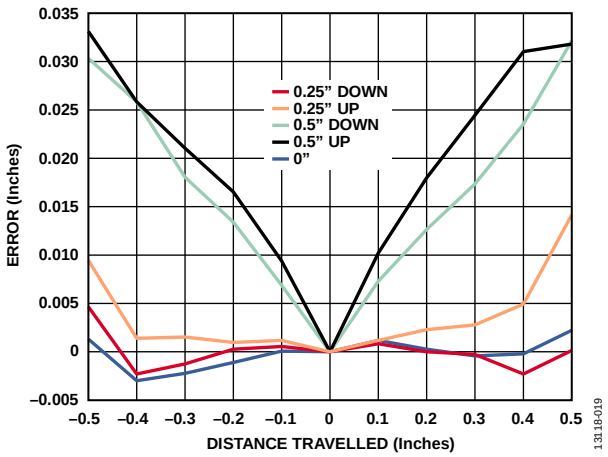


图19. 磁场位置误差：垂直对齐误差

通过调整增益校正系数，可以减小这些误差，但无法完全消除。增大与磁体的距离会对磁场强度产生不利影响，磁力线的方向会使得某些数据不可恢复。

第二个常见的误差源是旋转对齐误差，如图20所示。虽然传感器和磁体相对于垂直轴上定位理想，但传感器与磁体的正面并不平行。

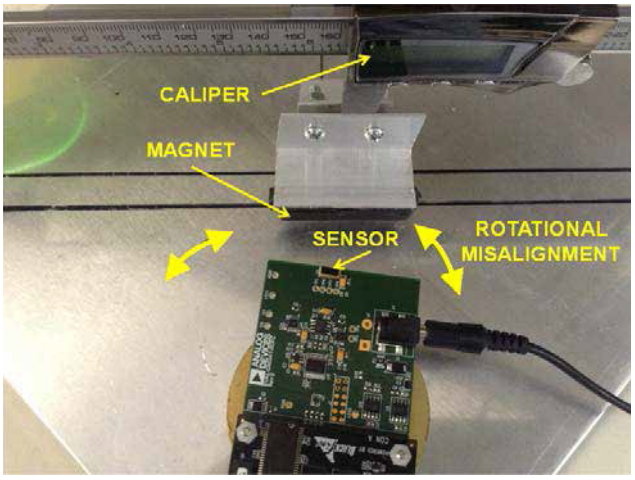


图20. 基准测试设置照片：旋转对齐误差

图21显示了与旋转对齐误差有关的读数。绿线显示了平行配置所记录的误差，红线和蓝线显示了传感器相对于磁体正面左右旋转所带来的额外误差。

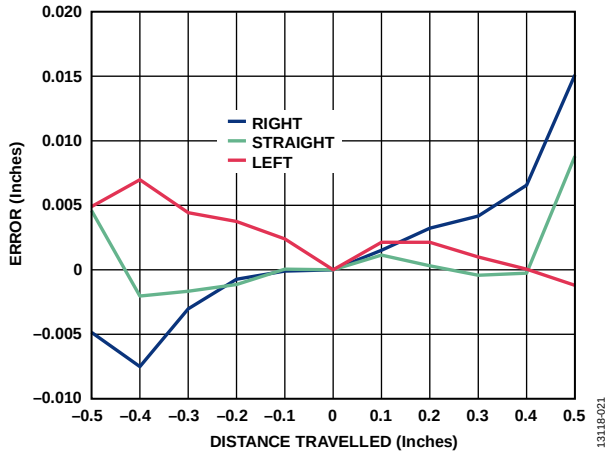


图21. 磁场位置误差：旋转对齐误差

最后一个常见的误差源是传感器至磁体距离，如图22所示。传感器与磁体的理想距离是磁体长度的一半。增大或减小该距离都会导致数据组误差。图22显示了磁体和传感器相距太近的基准测试设置。

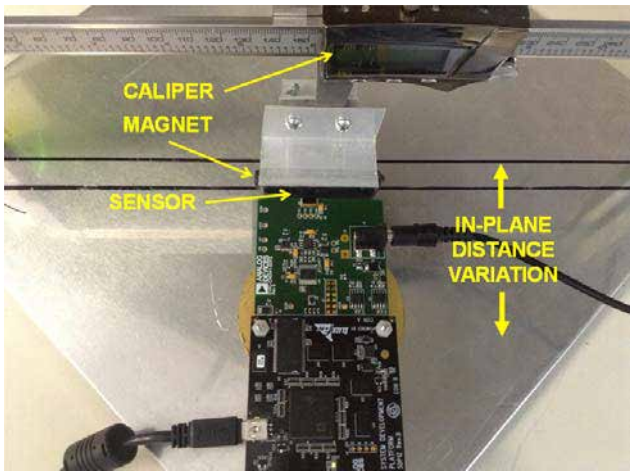


图22. 基准测试设置照片：平面距离变化

磁体与传感器的距离先后设置为0.1英寸、0.5英寸和1英寸，然后获取数据。图23显示了不同配置相关的误差。

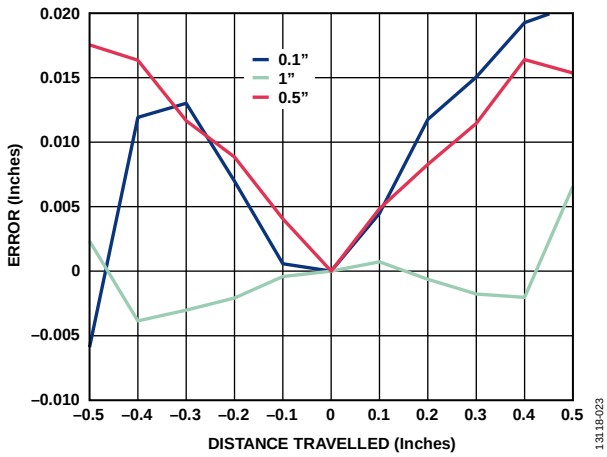


图23. 磁场位置误差：平面距离变化

通过调整增益校正系数，可以减小这些误差，但无法完全消除。增大或减小与磁体的距离会对磁场强度产生不利影响，磁力线的方向会使得某些数据不可恢复。

图24是LabVIEW®评估软件的屏幕截图，该软件可用于角位置应用的一切读数显示与计算。图25是**线性测量**选项卡的屏幕截图。

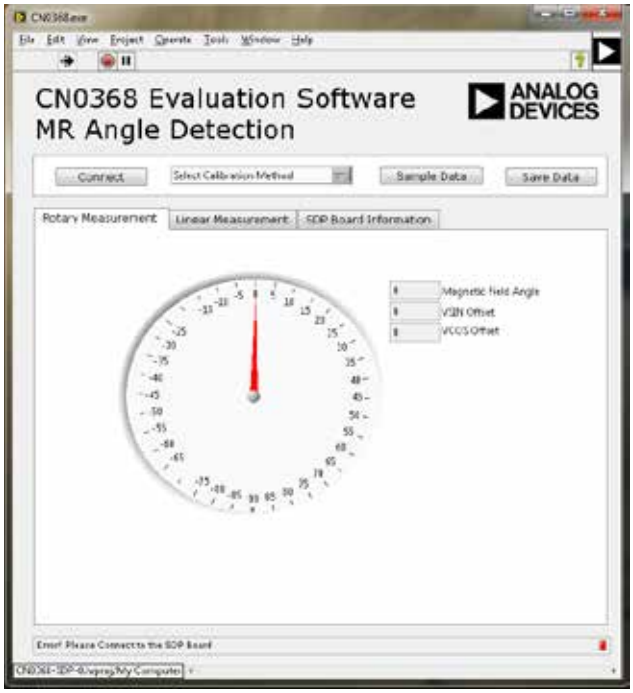


*图24. CN0368评估软件**旋转测量**选项卡屏幕截图*

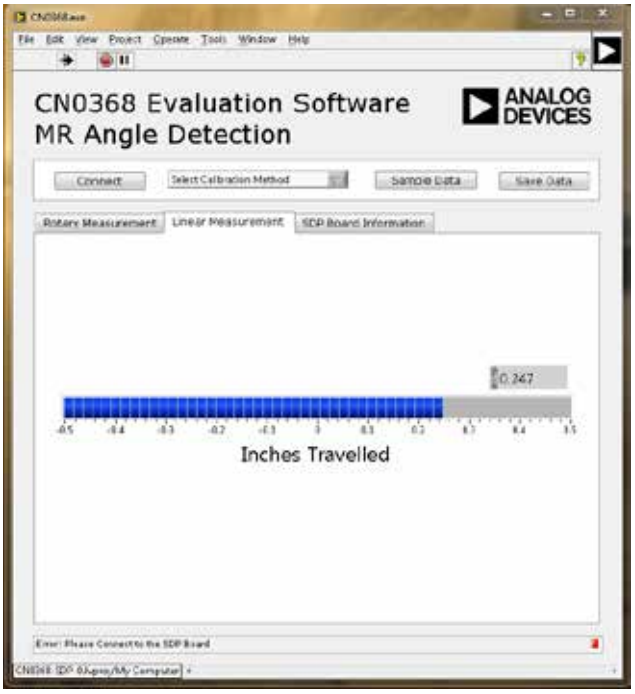


图25. CN0368评估软件**线性测量**选项卡屏幕截图

校准期间确定每个惠斯登电桥的最大和最小电压输出(V_{MAX}和V_{MIN})。了解这些数值可以更精确地将电压映射到数字码。通过**选择校准方法**下拉框，用户可以有两种方法确定V_{MAX}和V_{MIN}值。

第一种方法是在磁激励360°旋转时，软件确定V_{MAX}和V_{MIN}。随后，软件计算各通道的失调电压值，并使用这些值来确定磁场角度。

第二种方法是在磁激励360°旋转时，软件确定V_{MAX}、V_{MIN}和V_{TEMP}。然后在不同的温度下重复该步骤。软件使用这些变量计算各通道的失调电压和温度相关性，进而计算磁场角度。

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。CN-0368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。

所有IC的电源应当用1 µF和0.1 µF电容去耦，以适当抑制噪声并减小纹波。这些电容应尽可能靠近器件。对于所有高频去耦，建议使用陶瓷电容。

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。通过数字地将时钟及其它快速开关数字信号屏蔽起来，使之不影响电路板的其它器件。图26为PCB的照片。

用于CN-0368的完整设计支持包可参见www.analog.com/CN0368-DesignSupport。



图26. EVAL-CN0368-SDPZ板的照片

常见变化

如需1 MSPS以上采样速率，应考虑使用下列同步采样ADC：AD7352(3 MSPS时为12位)、AD7356(5 MSPS时为12位)、AD7357(4.25 MSPS时为14位)。

如需12位或14位以上的分辨率，可使用AD7655(1 MSPS时为16位)。

电路评估与测试

本电路使用EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)板和EVAL-CN0368-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。

EVAL-CN0368-SDPZ包含待评估电路，如CN-0368所述。EVAL-SDP-CB1Z板与CN0368评估软件一同使用，捕获EVAL-CN0368-SDPZ电路板的数据。

设备要求

需要以下设备：

- 带USB端口和Windows® XP(32位)、Windows Vista(32位)或Windows 7(32位)PC
- EVAL-CN0368-SDPZ电路板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP板
- 6 V电源或壁式电源适配器
- CN0368评估软件
- 传感器封装处磁场强度不低于25 kA/m的钕磁体

开始使用

将CN0368评估软件光盘放入PC，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27所示为测试设置的功能框图。

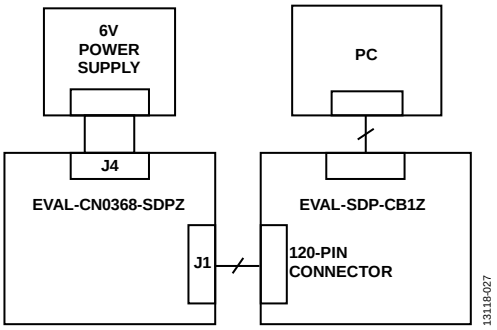


图27. 测试设置框图

设置

将EVAL-CN0368-SDPZ上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z上的连接器。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。

在断电情况下，将6 V直流管式插孔连接到J4连接器。将EVAL-SDP-CB1Z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。

将钕磁体直接放置在IC之上，或置于专为旋转磁体而设计的夹具中，使IC和磁体的距离最短。

使磁场的其他来源远离IC很重要，因为任何杂散磁场都会使传感器输出电压产生误差。

测试

为直流管式插孔、J4连接器上电。启动CN0368评估软件，并通过USB电缆将PC连接到EVAL-SDP-CB1Z上的微型USB连接器。

一旦USB通信建立，就可以使用EVAL-SDP-CB1Z来发送、接收和捕捉来自EVAL-CN0368-SDPZ的串行数据。

有关EVAL-SDP-CB1Z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CN-0368软件用户指南：www.analog.com/CN0368-UserGuide

更多资料

CN-0368设计支持包：www.analog.com/CN0368-DesignSupport

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

MT-101指南，去耦技术，ADI公司。

AN-688应用笔记，*i*MEMS加速度计和陀螺仪的相位和频率响应，ADI公司。

数据手册和评估板

AD7866数据手册

ADA4571数据手册

修订历史

2015年3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.

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN13118sc-0-3/15(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0373。

连接/参考器件	
ADM3252E	2.5 kV信号和电源隔离式双通道RS-232线路驱动器/接收机
ADM2587E	2.5 kV信号和电源隔离、±15 kV ESD保护、全/半双工RS-485收发机
ADuM3160	全速/低速2.5 kV USB数字隔离器
ADuM3070	2.5 kV集成反馈功能的隔离式开关调节器
ADP190	逻辑控制的高端电源开关
ADP7102	20 V、300 mA低噪声CMOS LDO

隔离式USB转隔离式RS-485/隔离式RS-232接口

评估和设计支持

电路评估板

CN-0373电路评估板(EVAL-CN0373-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所示电路提供使用广泛的USB总线与RS-485或RS-232总线之间的完全隔离连接。信号和电源隔离确保USB设备与工业总线或调试端口之间实现安全接口，允许监控TIA/EIA-485/232总线流量，并且便于向未配备RS-485或RS-232端口的PC发送命令或从该PC接收命令。

本电路中的隔离能提供电气线路浪涌保护并断开总线和数字引脚之间的接地连接，增加系统安全性和鲁棒性，进而消除系统中可能存在的接地环路。

在工业和仪器仪表应用中，TIA/EIA RS-485总线标准是使用最广泛的物理层总线设计标准之一。RS-485提供多个系统之间的差分数据传输，这些系统通常相距很远。相比RS-232标准，RS-485通信可通过差分通信方式提供额外的鲁棒性。

TIA/EIA RS-232器件广泛用于工业机器、网络设备和科研仪器中。在现代个人电脑中(个人电脑经常用来调试网络问题)，大部分外设接口已经采用USB代替RS-232，并且很多电脑不再配备RS-232端口。图1中的电路为RS-232和RS-485接口提供鲁棒而紧凑的解决方案。

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

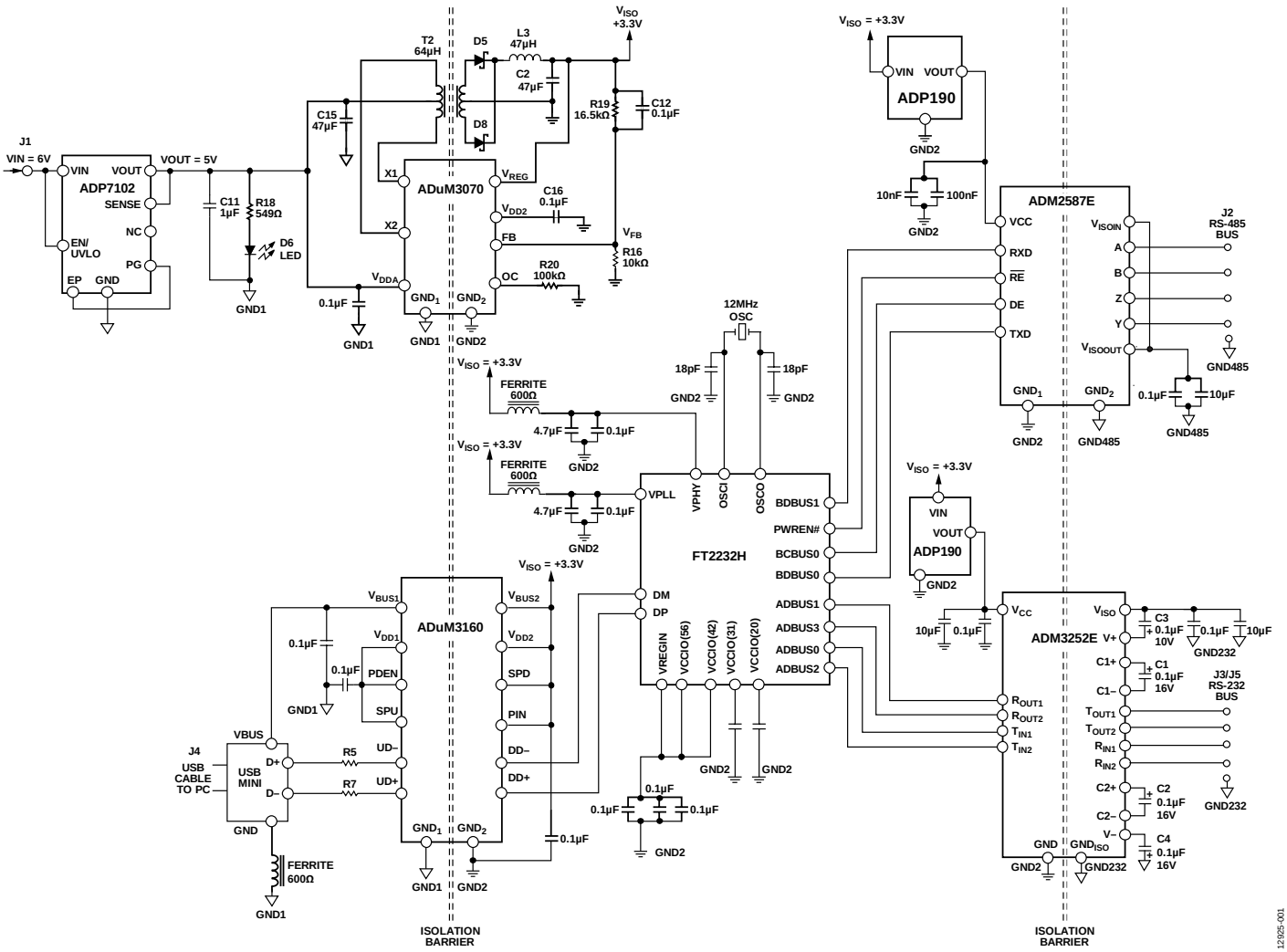


图1. 隔离式USB转FTDI隔离式RS-232/隔离式RS-485电路(原理示意图，未显示所有连接)

电路描述

图1中的电路提供完全符合TIA/EIA-485/232标准、高度集成且鲁棒隔离性能的收发机。ADM3252E 2.5 kV rms隔离式RS-232和ADM2587E 2.5 kV rms隔离式RS-485解决方案是业界尺寸最小的解决方案。ADuM3160提供市场领先的USB端口2.5 kV rms隔离，可轻松实现与低速和全速USB兼容外设的集成。FTDI FT2232H(USB至UART转换器)能为通过UART转RS-485或RS-232总线端口进行传输提供方便。

TIA/EIA RS-232器件广泛用于工业机器、网络设备和科研仪器中。RS-485的应用包括：过程控制网络、工业自动化、远程终端、楼宇自动化(例如，暖通空调(HVAC)、保安系统)、电机控制和运动控制。

在这些实际的系统中，雷击和电源波动会通过产生较大瞬变电压对通信端口造成损害。图1电路的隔离可针对这些电气线路浪涌提供保护，增加系统安全性。



图2. EVAL-CN0373-EB1Z板

图2显示隔离式USB转FTDI隔离式RS-232/隔离式RS-485电路的照片。如有需要，该电路可实现USB端口至RS-485和RS-232端口的同步发送，也可仅发送一个端口。

ADuM3160提供USB总线D+和D−输入端数据信号到FTDI FT2232H(USB至UART转换器)的2.5 kV rms数字隔离。隔离式USB输出DD−和DD+信号分别连接FTDI的DM和DP引脚。FTDI FT2232H可通过UART转RS-232/RS-485接口发送数据，具体取决于所选PC虚拟COM端口(VCP)。ADuM3160通过USB电缆连接提供V_{BUS1}电源。ADuM3070提供稳压隔离电源。ADuM3070的电源(+6 V)和接地通过J1管式插口连接器相连。ADuM3160 V_{BUS2}引脚采用ADuM3070的3.3 V隔离电源供电。ADuM3070 3.3V输出还为ADM3252E 2.5 kV rms隔离式RS-232和ADM2587E 2.5 kV rms隔离式RS-485收发机提供主电源。

ADM2587E 2.5 kV rms隔离式RS-485收发机是业界领先的信号和电源隔离解决方案。该收发机可在3.3 V或5 V下工作。数据通过TxD引脚发送，通过RxD引脚接收。驱动器和接收器的输出都可使能或禁用，即通过改变DE和$\overline{RE}$引脚上的相应逻辑电平，进入高阻抗状态。

FTDI输出引脚BDBUS0连接ADM2587E的TxD数据输入引脚。FTDI输出引脚BCBUS0、PWREN#和BDBUS1分别连接ADM2587E的DE、$\overline{RE}$和RxD输入引脚。DE和$\overline{RE}$引脚状态还可通过LK1和LK2跳线配置。对每条链路而言，位置A连接逻辑引脚至3.3 V，位置B连接逻辑引脚至GND，位置C连接逻辑引脚至FTDI输出引脚。

ADM2587E可通过A、B、Y和Z RS-485输入/输出发送和接收总线数据。RS-485总线电缆可通过J2五路连接器连接。断开LK5和LK6跳线连接可将ADM2587E置于全双工配置下，在该配置下数据可通过Y和Z引脚发送，并通过A和B引脚接收。连接LK5和LK6跳线可将ADM2587E输入/输出置于半双工配置下，在该配置下仅能发送或接收总线数据，不能同时收发。

ADM3252E是一款高速、2.5 kV、完全隔离、双通道RS-232/V.28收发机，采用3.3 V或5 V单电源供电。RS-232接口支持全双工通信，通过J5五路连接器或J3连接器为CTS和RTS提供硬件握手。J3提供RS-232电缆连接器，用来连接工业设备。

ADM3252E发射机输入(T_{INx})支持从FTDI的ADBUS0和ADBUS2引脚输出的FTDITTL/CMOS输入电平。T_{Inx}输入反转并跨越隔离栅耦合，然后作为EIA/TIA-232E总线信号通过J3或J5连接器发送。ADM3252E接收机输入(R_{INx})支持来自J3或J5连接器的EIA/TIA-232E信号电平。R_{Inx}输入反转并跨越隔离栅耦合至R_{OUTx}引脚。R_{OUTx}引脚连接FTDI的ADBUS1和ADBUS3输入。

使用两个独立的ADP190电路作为软启动电路，并在FTDI FT2232H完全上电后为ADM2587E和ADM3252E供电。跳线LK7通过74AHC1G14W5-7逆变器将FTDI FT2232H PWREN#引脚连接至ADP190电路的EN引脚。ADP190 EN引脚必须为高电平才能开启电源开关；驱动EN至低电平可关闭电源开关。连接位置A的LK7(位置B断开连接)表示ADP190 EN引脚始终为高电平/使能。连接位置B的LK7(位置A断开连接)表示ADP190 EN引脚通过PWREN#反转信号触发。

FTDI FT2232H数据手册提供RS-232通信的引脚功能完整列表。LK3和LK4跳线支持RS-232握手选项。LK3连接时，ADBUS4 (DTR#)连接到ADBUS5 (DSR#)。LK4连接时，ADBUS4 (DTR#)连接到ADBUS6 (DCD#)。

电路评估与测试

在J1管式插口连接器上施加6 V电压，为EVAL- CN0373-EB1Z板供电。可在ADP7102稳压器输出端的VCC_REG测试点上检查该电压。ADP7102输出电压测量值应当为5 V。5 V电压路由至ADuM3070和T2变压器，然后为RS-485、RS-232和FTDI电路提供3.3 V电源输出。检查ISO_VCC测试点，该点处的测量电压应当为3.3V。

通过将RS-232和RS-485输出连接至ADI ezLINX™ *i*Coupler®隔离接口开发环境板，可测试完整的发送和接收路径。此外，还可通过Tera Term开源终端仿真程序执行USB转RS-232/RS-485发送测试。如有需要，该电路可实现USB端口至RS-485和RS-232端口的同步发送，也可仅发送一个端口。

使用USB电缆连接笔记本电脑/PC与J4连接器。将示波器探针与ADM3252E收发机旁边的ISOTxD测试点相接，如图3所示。打开PC应用软件，选择**COM5**，然后单击**OK(确定)**，如图4所示。

单击**File(文件)**菜单下的**Send(发送)**按钮，载入待发送的RS-232数据。选择用于连续测试传输的大数据尺寸文件并单击**Send(发送)**，如图5所示。

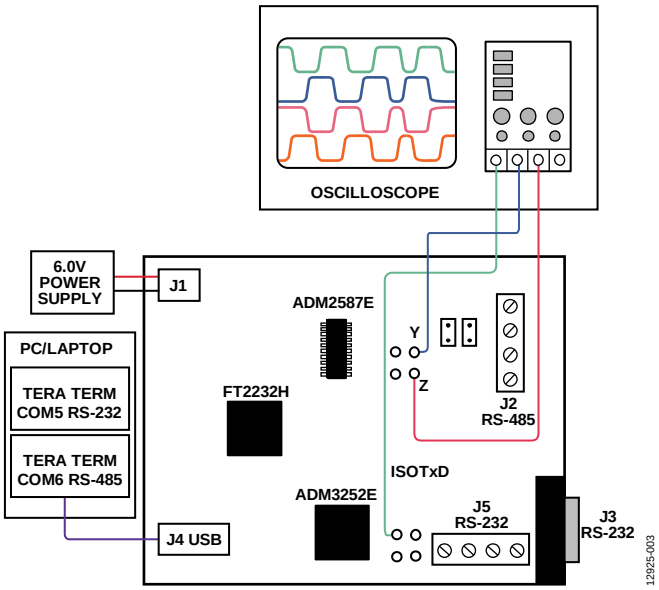


图3. EVAL-CN0373-EB1Z板测试设置

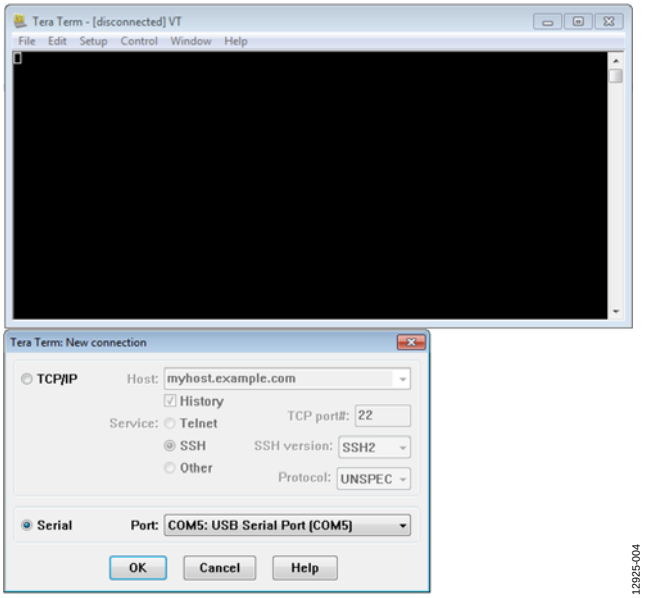


图4. 用于向EVAL-CN0373-EB1Z板上的RS-232端口进行USB传输的Tera Term COM5

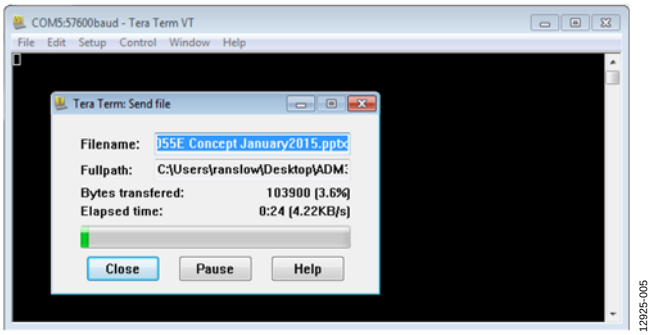


图5. 用于向EVAL-CN0373-EB1Z板上的RS-232端口进行USB传输的Tera Term COM5数据

用探针探测EVAL-CN0373-EB1Z板上的ISOTxD测试点，通过示波器观察隔离式RS-232信号(见图6)。

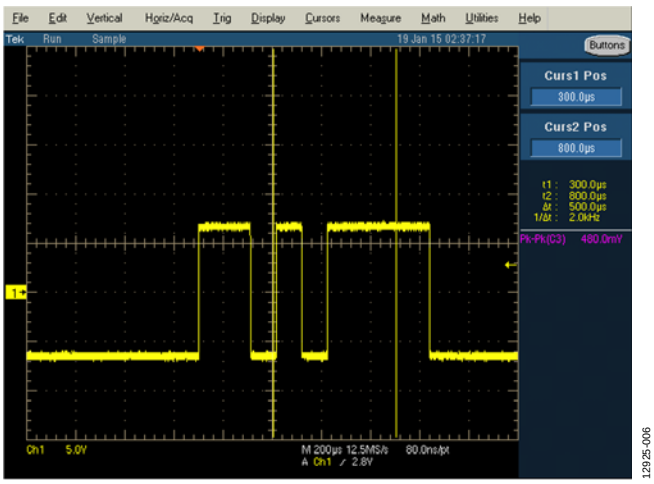


图6. EVAL-CN0373-EB1Z板上RS-232端口的ISOTxD信号

可针对ADM2587E收发机执行类似的测试。使用USB电缆连接笔记本电脑/PC与J4连接器。将示波器探针与ADM2587E收发机旁边的Y和Z测试点相接，如图3所示。打开第二个Tera Term仿真器窗口，选择**COM6**用于RS-485传输，如图7所示。

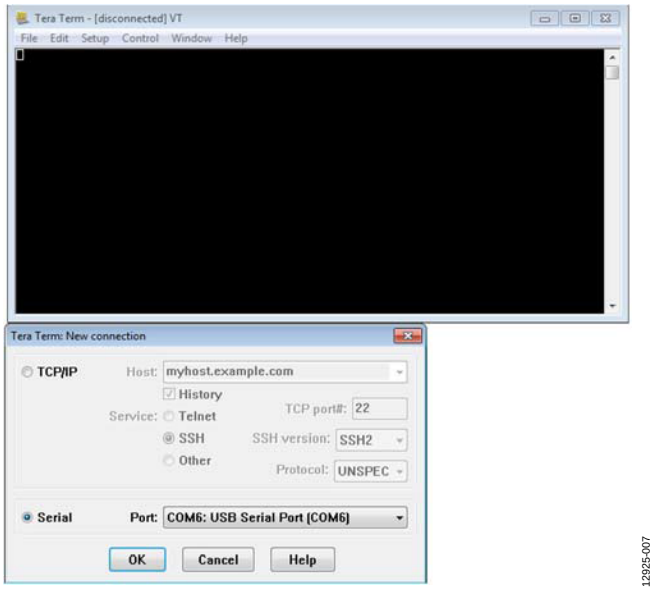


图7. 用于向EVAL-CN0373-EB1Z板上的RS-485端口进行USB传输的Tera Term COM6

单击**File(文件)**菜单下的**Send(发送)**按钮，载入待发送的RS-485数据。选择用于连续测试传输的大数据尺寸文件并单击**Send(发送)**，如图8所示。

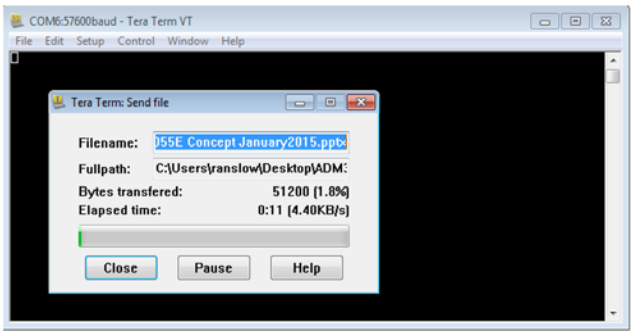


图8. 用于向EVAL-CN0373-EB1Z板上的RS-485端口进行USB传输的Tera Term COM6数据

用探针探测Y和Z测试点，通过示波器观察隔离式RS-485信号；或者使用示波器的Y – Z数学函数观察差分总线信号，如图9所示。



图9. EVAL-CN0373-EB1Z板上RS-485端口的Y – Z数学波形

更多资料

CN-0373设计支持包：
www.analog.com/CN0373-DesignSupport

ezLINX™ *i*Coupler®隔离接口开发环境、ezLINX板快速入门指南。

Marais，Hein。AN-960应用笔记：RS-485/RS-422电路实施指南。ADI公司。

Clark，Sean和Ronn Kliger。AN-740应用笔记： RS-232应用中的*i*Coupler®隔离。ADI公司。

UG-400用户指南：ezLINX™ *i*Coupler®隔离接口开发环境。ADI公司。

数据手册和评估板

ADM2587E数据手册

ADM3252E数据手册

ADuM3160数据手册

ADuM3070数据手册

ADP190数据手册

ADP7102数据手册

ezLINX™ *i*Coupler®隔离接口开发环境(EZLINX-IIIDE-EBZ)

修订历史

2015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.

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN12925sc-0-4/15(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0376。

连接/参考器件	
AD7124-4	集成PGA和基准电压源的8通道、低噪声、低功耗24位Σ-Δ型ADC
ADuM5010	2.5 kV rms、隔离式DC/DC转换器
ADuM1441	微功耗四通道数字隔离器
ADP2441	36 V、1 A同步降压DC-DC稳压器

适合PLC/DCS应用的通道间隔离温度输入(热电偶/RTD)

评估和设计支持

电路评估板

CN-0376电路评估板(EVAL-CN0376-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

设计和集成文件

原理图、布局文件和物料清单

电路功能与优势

图1所示电路提供一个双通道、通道间隔离的热电偶或RTD输入，适用于可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS)。该高集成度设计采用低功耗、24位、Σ-Δ型模数转换器(ADC)，带有丰富的模拟和数字特性，无需额外的信号调理IC。

每个通道可接受热电偶或RTD输入。整个电路采用标准24 V总线电源供电。各通道的大小仅有27 mm × 50 mm。

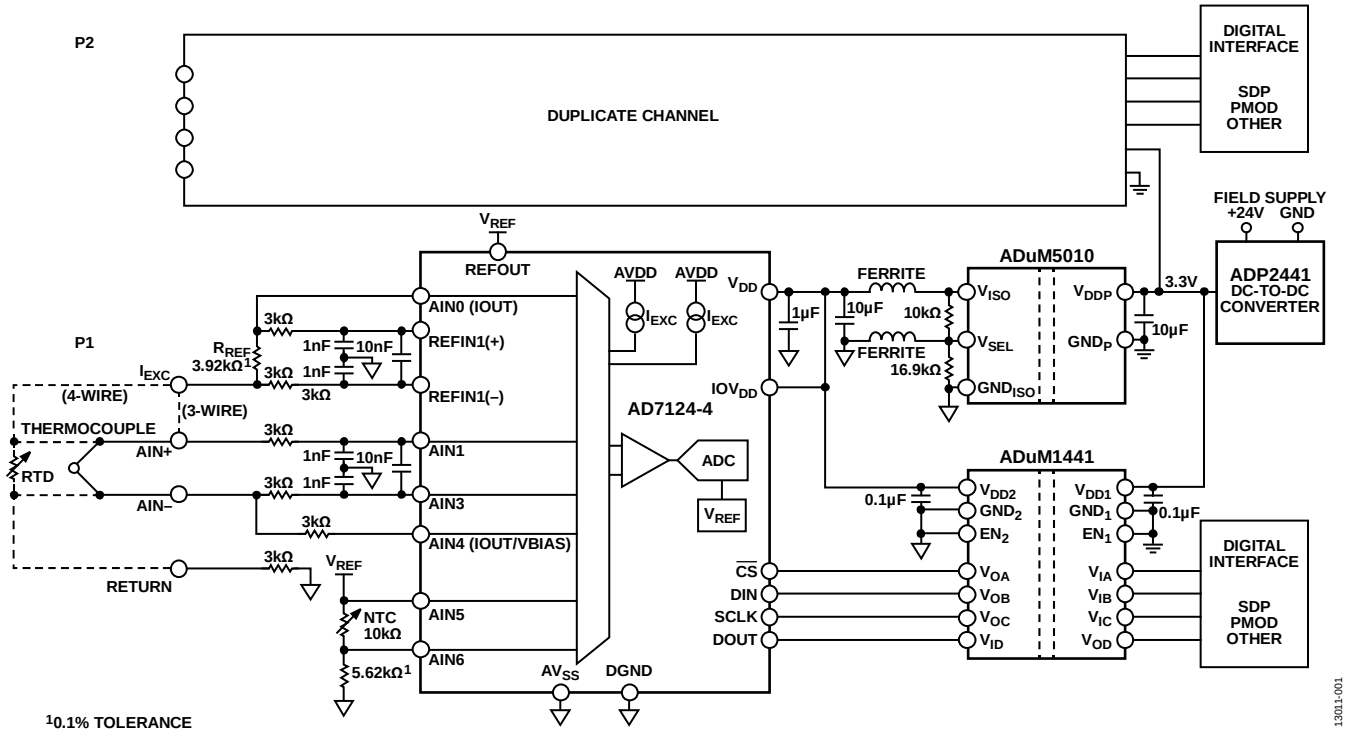


图1. PLC/DCS通道间隔离温度输入(原理示意图：未显示去耦和所有连接)

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

AD7124-4 24位Σ-Δ型ADC集成可编程增益阵列(PGA)和基准电压源，为灵活地连接热电偶或RTD传感器提供完整的特性组合。其特性包括片内基准电压源、可编程增益阵列、激励电流、偏置电压发生器以及提供增强50 Hz和60 Hz抑制选项的灵活滤波。AD7124-4采用5 mm × 5 mm小型LFCSP封装，因而非常适合空间为重要考虑因素的通道间隔离设计。它还包括多个可供用户使用的诊断功能。

ADuM5010隔离式DC/DC转换器通过集成的*iso*Power®技术提供3.3 V隔离电源。ADuM1441用于隔离AD7124-4的串行外设接口(SPI)。AD7124-4微功耗隔离器空闲时每通道的功耗仅4.8 μA，能效非常高。

ADP2441是36 V降压DC-DC稳压器，采用工业标准24 V电源，具有宽输入电压容差。ADP2441用于将输入电压降至3.3 V，从而为所有控制器侧电路供电。

系统概述

通道间隔离在自动化系统中极具优势，因为特定输入通道的故障不会影响系统中的其它通道。然而，通道间隔离输入模块给设计提出了重大挑战，具体表现在复杂度、空间限制和系统成本这些方面。

热电偶或RTD输入是工业自动化系统的常用输入，因此，设计一个能够处理两者的温度输入模块很有用。这种灵活性最大程度地减少了两种输入模块的设计工作，而且为模块用户提供了灵活性。

AD7124-4显著降低了设计复杂度，提供一个片上系统，能够执行热电偶和RTD传感器所需的全部测量功能。

图1所示电路的每个通道大小仅有27 mm × 50 mm，若在印刷电路板(PCB)两面贴放器件，则上述面积可进一步缩小。之所以能实现如此小的尺寸，是因为AD7124-4采用5 mm × 5 mm小型LFCSP封装，并且集成了几乎所有必需的功能，除了隔离以及附加前端滤波和保护之外。用于数据和电源隔离的隔离电路仅占用87 mm^2，最小合并宽度为12.5 mm。

端子连接

图2显示了两个输入通道各自的端子连接。这些引脚对应于硬件中的P1和P2(见图1)。热电偶以及2/3/4线RTD连接如图所示。

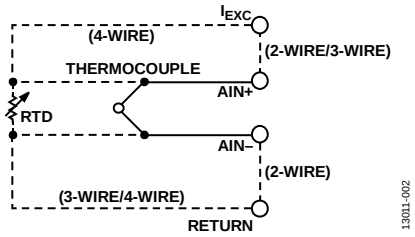


图2. 前端滤波和电路(简化图)

输入滤波

如图3所示，输入共模噪声滤波由R1、C1和R2、C2实现，截止频率约为50 kHz。差分噪声滤波由R1、R2和C3实现，截止频率约为2.5 kHz。务必以Σ-Δ调制器频率(全功率模式下为307 kHz)滤除任何干扰，这点特别重要。建议调整这些滤波器的截止频率以满足系统带宽要求，共模滤波器的截止频率约为差分滤波器截止频率的10倍。

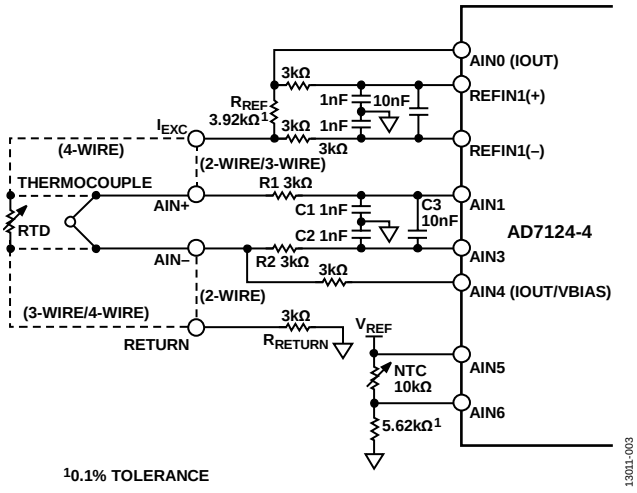


图3. 前端滤波和电路(简化图)

输入保护

为保护输入不受过压状况影响，AD7124-4的每个输入路径上都放置了3 kΩ电阻。此电阻值将30 V DC过压产生的电流限制在10 mA以下。

考虑30 V电压连接在AIN+和AIN−之间的情况。从AIN+朝里看，30 V电压看到R1 (3 kΩ)，之后是内部ESD保护二极管，再后面是从AIN3朝外看到的3 kΩ电阻与从AIN4朝外看到的3 kΩ电阻并联。忽略内部ESD保护二极管，AIN+与AIN−之间的总电阻为3 kΩ + 3 kΩ||3 kΩ = 4.5 kΩ。因此，流经AD7124-4的电流限值为30 V ÷ 4.5 kΩ = 6.7 mA。

RTD输入

图1所示电路可连接到2线、3线或4线RTD。最大可测量3.92 kΩ电阻，因此它适用于Pt100和Pt1000 RTD。使用电流激励，电阻测量为RTD与3.92 kΩ精密基准电阻(R_{REF})之间的比率式测量结果。如图3所示，RTD测量在AIN1和AIN3之间进行，REFIN1+和REFIN1−用作测量的基准输入。激励电流设置如下：

- 2线模式：仅AIN0上的激励有效，设置为250 μA。
- 3线模式：AIN0和AIN4上的激励电流均有效，各设置为100 μA。
- 4线模式：仅AIN0上的激励有效，设置为250 μA。

使用高端电流检测技术。对于较低的RTD引线电阻值，此技术可降低3线模式下电流失配的影响。有关3线RTD配置的更多信息，参见电路笔记CN-0383。

基准电阻(R_{REF})选择为3.92 kΩ，最高支持850°C的Pt1000 RTD测量(850°C时RTD电阻为3.9048 kΩ)。R_{REF}的值必须根据RTD的最大预期电阻来选择。R_{REF}电阻的精度直接影响测量精度，因此，必须使用精密、低漂移电阻。

4线模式下，激励电流必须设置为250 μA，3线模式下设置为100 μA。对于4线模式，假设RTD值为3.92 kΩ。来自AIN0的激励电流流经$R_{REF} + R_{RTD} + R_{RETURN} = 3.92\ k\Omega + 3.92\ k\Omega + 3\ k\Omega = 10.84\ k\Omega$。因此，AIN0处的电压等于250 μA × 10.84 kΩ = 2.71 V。AD7124-4指定激励电流输出端的输出顺从电压为$AV_{DD} - 0.35\ V$，即3.3 V − 0.35 V = 2.95 V。因为2.95 V > 2.71 V，所以即使对于最大RTD电阻，250 μA激励电流也能正常工作。

有关4线RTD配置的更多信息，参见电路笔记CN-0381。

在3线模式下，来自AIN4的引脚补偿激励电流也会流经3 kΩ返回电阻，在AIN0处产生一个附加电压：250 μA × 3 kΩ = 0.75 V。因此，AIN0处的总电压等于2.71 V + 0.75 V = 3.46 V，这违反了裕量要求。所以，在3线模式下，各激励电流必须降至100 μA以提供足够的裕量。

PGA增益可用来提高测量分辨率。对于Pt100 RTD，建议使用8倍增益(因为Pt100值比Pt1000值小10倍)。

为实现所需精度，RTD本身必须由主机控制器通过软件进行线性化，参见电路笔记CN-0383。

热电偶测量

如图3所示，热电偶连接在AIN+和AIN−端子之间。AIN4引脚为热电偶提供3.3 V ÷ 2 = 1.65 V的偏置电压。热电偶电压在AIN1和AIN3之间测量，因为热电偶信号非常小，通常推荐使用32倍或64倍的PGA增益。

冷结补偿使用10 kΩ NTC热敏电阻。基准电压激励V_{REF}从REFOUT获得，并且串联一个精密低漂移5.62 kΩ电阻接地。NTC电阻值可以通过下式计算：

$$R_{NTC} = \frac{V_{NTC}}{V_{REF} - V_{NTC}} \times 5.62\ k\Omega$$

其中：

V_{NTC}为AIN1和AIN3之间测得的电压。

V_{REF}为AD7124-4 REFOUT提供的基准电压。

端子板与NTC温度传感器之间的温度差会直接影响热电偶输入的温度读数。因此，NTC热敏电阻必须尽可能靠近端子板放置，使热耦合最大。

为实现所需精度，热电偶和NTC必须由主机控制器通过软件进行线性化，参见电路笔记CN-0384。

诊断

AD7124-4提供多种系统级诊断功能，包括：

- 基准电压检测
- 输入过压/欠压检测
- SPI通信的CRC
- 存储器映射的CRC
- SPI读/写检查

这些诊断功能对输入通道中可能发生的故障实现了高水平覆盖。

隔离

数据通道利用四通道微功耗隔离器ADuM1441隔离，能效很高。ADuM1441采用5 mm × 6.2 mm、16引脚小型QSOP封装(30 mm^2)。

ADuM5010是一款完整的隔离开发转换器，利用*iso*Power技术为电路提供电源隔离。ADuM5010采用7.4 mm × 7.5 mm、20引脚小型SSOP封装(56.25 mm^2)。

图4所示为ADuM5010电路详情。电源副边使用铁氧体磁珠来抑制潜在的电磁干扰(EMI)辐射。铁氧体磁珠(Murata BLM18HK102SN1)专门针对100 MHz至1 GHz的高阻抗而选择。还使用了10 µF和0.1 µF去耦电容。铁氧体磁珠和电容均通过短走线连接到ADuM5010引脚，以使寄生电感和电阻最小。

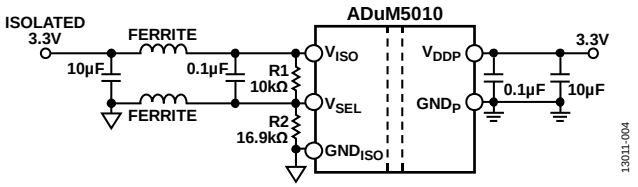


图4. 带铁氧体磁珠和去耦电容的isoPower电路

拼接电容已维持最小面积，因为铁氧体磁珠已大幅降低辐射。ADuM5010电源、GND引脚和铁氧体磁珠之间的PCB区域应消除任何接地层或走线，以尽量减少高频噪声容性耦合到接地层。有关控制*iso*Power器件辐射的更多信息，参见AN-0971应用笔记。

根据ADuM5010数据手册选择R1和R2反馈电阻以选用3.3 V输出。

每通道功耗

ADuM5010由控制器侧电源供电，典型功耗为3.3 mA。ADuM5010满载时的效率仅为27%，因此，尽量减少现场侧的电流消耗会对通道的能效产生重大影响。

AD7124-4功耗约为994 µA(全功率模式、增益 = 32、TC偏置、诊断和内部基准电压源使能)。利用中功率或低功耗模式可以显著降低AD7124-4的功耗。

对于ADuM1441，空闲时现场侧总功耗约为7.2 µA，以2 Mbps工作时为552 µA。如果接口在1/8的时间里有效，则ADuM1441的总功耗为(552 µA × 0.125) + (7.2 µA ×0.875) = 75.3 µA。

当以全功率模式工作、增益为32、内部基准电压源和TC偏置使能时，一个输入通道的实测功耗为7.9 mA(来自控制器侧3.3 V电源)。

电源电路

评估板由4.5 V至36 V直流电源供电，利用板上开关稳压器向系统提供3.3 V电源，如图5所示。EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)板为数字接口提供经调节的3.3 V电压。

ADP2441包括可编程软启动、调节输出电压、开关频率和电源良好指示等特性。这些特性通过外部小型电阻和电容编程。ADP2441还包括多种保护特性，如带迟滞的欠压闭锁(UVLO)、输出短路保护和热关断等。

300 kHz开关频率可使ADP2441的效率最高。由于ADP2441的开关频率非常高，建议使用低磁芯损耗、低EMI的屏蔽铁氧体磁芯电感。

在图5所示电路中，开关频率通过294 kΩ外部电阻设置为约300 kHz。22 µH电感值(Coilcraft LPS6235-223MLC)是利用可下载的ADP2441降压调节器设计工具选择的。此工具可根据所需的工作条件(4.5 V至36 V输入、3.3 V输出、1 A输出电流)选择最佳的元件值。选择1 A电流是为了给主机控制器侧的其它电路供电(若需要)。

有关EVAL-CN0376-SDPZ电路评估板的完整文档，包括原理图、装配图、布局文件、Gerber文件和物料清单，请参阅www.analog.com/CN0376-DesignSupport。

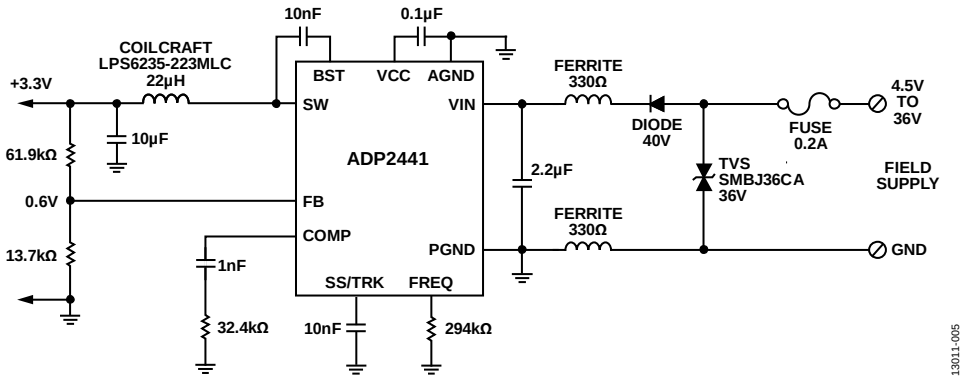


图5. 电源电路(原理示意图，未显示所有连接)

测试结果

关于热电偶、3线和4线RTD电路的详细性能分析，参见电路笔记CN-0381、电路笔记CN-0383和电路笔记CN-0384，其中给出了深入分析和测量结果。

图6给出了EVAL-CN0376-SDPZ的直方图，采用25 SPS后置滤波器，AIN+短接AIN−，增益为32，TC偏置使能。数据对应于17.85位无噪声分辨率。

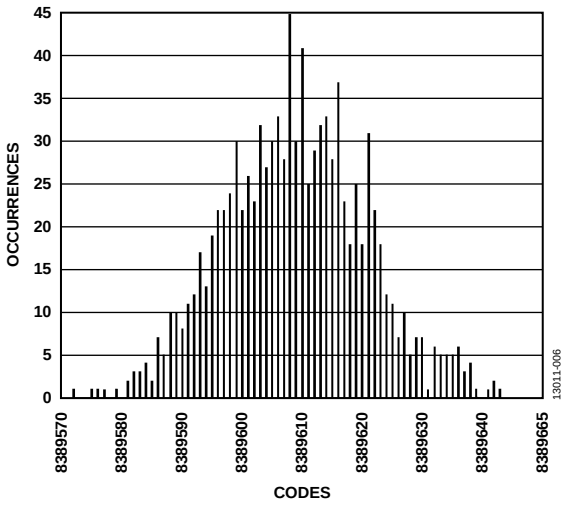


图6. AIN+和AIN-输入短接时的代码直方图
（选择25 SPS后置滤波器、增益 = 32、TC偏置使能）

常见变化

如果需要更多通道，可以使用AD7124-8。AD7124-8有8个差分输入或16个单端输入。AD7792也可作为低成本选项加以考虑，不过其特性较少，性能较低。

ADuM3151等SPIsolator™可作为数据隔离选项，其最高支持17 MHz SPI传输，并且内置三个通用低速隔离通道。

图1所示电路使用NTC热敏电阻进行冷结补偿。另一个选项是使用ADT7320数字温度传感器，其精度为0.25°C。（参见电路笔记CN-0172）。

电路评估与测试

图1所示电路采用EVAL-CN0376-SDPZ评估板和EVAL-SDP-CB1Z SDP控制板。

EVAL-CN0376-SDPZ评估板具有PMOD兼容接头，支持与外部控制板集成。

CN-0376评估软件与SDP板通信，以便配置EVAL-CN0376-SDPZ评估板并从其中捕捉数据。

设备要求

需要以下设备：

- 带USB端口的Windows® Vista(32位)或Windows 7(32位)PC
- EVAL-CN0376-SDPZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP控制板
- CN-0376评估软件
- 精密电压和电阻源，或热电偶、RTD仿真器
- 电源： 4.5 V至36 V dc(100 mA)

开始使用

从ftp://ftp.analog.com/pub/cftl/CN0376/下载CN-0376评估软件，然后安装。按照屏幕提示安装并使用该软件。更多信息参见CN-0376软件用户指南。

测试设置功能框图

图7所示为测试设置的功能框图。

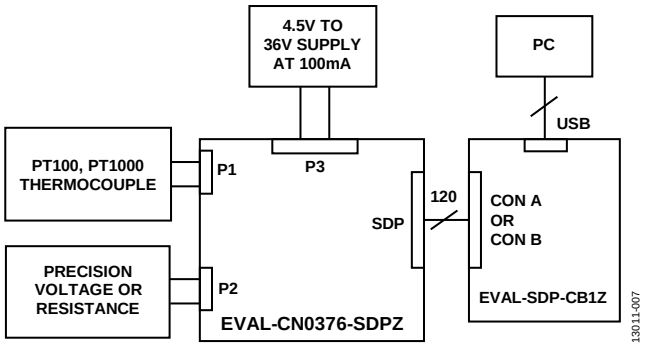


图7. 测试设置功能框图

设置

EVAL-CN0376-SDPZ评估板通过120引脚对接连接器连接EVAL-SDP-CB1Z SDP板，两个板上均有这种连接器。CN-0376评估软件和SDP板支持用PC分析数据。

对P3连接器施加一个4.5 V到36 V(标称值24 V)范围内的电压。务必将P8跳线设为EXT(默认)，以便通过P3电源为电路板供电。

外部控制器也可用来与评估板通信(通过PMOD接头进行SPI通信)，以及为评估板供电。若需要，可将P8跳线设为VCC_PMOD，以便通过PMOD连接器为评估板提供3.3 V电源。

精密电压和电阻源可用作模拟前端的输入，从而评估系统性能。也可使用热电偶或RTD仿真器。

图8显示了EVAL-CN0376-SDPZ电路评估板的实物照片。

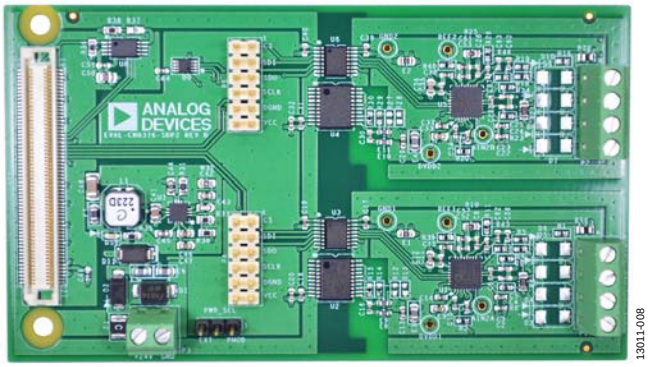


图8. EVAL-CN0376-SDPZ电路评估板照片

更多资料

CN-0376设计支持包：
www.analog.com/CN0376-DesignSupport

SDP-B用户指南

CN-0376软件用户指南

Matthew Duff和Joseph Towey，两种简单、精确、灵活的热电偶温度检测方法，Analog Dialogue 44-10，Analog Devices

Mark Cantrell，应用笔记AN-0971，isoPower器件辐射控制建议，Analog Devices

Walt Kester，《传感器信号调理》第7章“温度传感器”，Analog Devices，1999年

Mary McCarthy，应用笔记AN-615，峰峰值分辨率与有效分辨率，Analog Devices

Donal McNamara，应用笔记AN-892，温度测量原理及实用技术，Analog Devices

Mike Looney，应用笔记AN-0970，使用ADuC706x微控制器实现RTD接口和线性化，Analog Devices

Mark Cantrell，技术文章MS-2644，超低功耗开启高速隔离应用之门，Analog Devices.

MT-031指南，实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团，Analog Devices

MT-101指南，去耦技术，Analog Devices

电路笔记CN-0172，精度为0.25°C的3通道热电偶温度测量系统，Analog Devices

电路笔记CN-0206，耗用电流小于500 µA的热电偶温度测量系统，Analog Devices

电路笔记CN-0209，适合过程控制应用的完全可编程通用模拟前端，Analog Devices

电路笔记CN-0325，使用4引脚或6引脚端子板的PLC/DCS通用模拟输入，Analog Devices

电路笔记CN-0381，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式4线RTD测量系统，Analog Devices

电路笔记CN-0382，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的隔离式4 mA至20 mA/HART温度和压力工业变送器，Analog Devices

电路笔记CN-0383，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式3线RTD测量系统，Analog Devices

电路笔记CN-0384，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式热电偶测量系统，Analog Devices

数据手册和评估板

CN-0376电路评估板(EVAL-CN0376-SDPZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD7124-4数据手册

ADuM1441数据手册

ADuM5010数据手册

ADP2441数据手册

修订历史

2015年7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.

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN13011sc-0-7/15(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0381。

连接/参考器件	
AD7124-4/ AD7124-8	集成PGA和基准电压源的4通道/ 8通道、低噪声、低功耗24位 Σ-Δ型ADC
ADP1720	50 mA、高压、微功耗线性稳压器

采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式4线RTD测量系统

评估和设计支持

电路评估板

AD7124-4评估板(EVAL-AD7124-4SDZ)或AD7124-8评估板(EVAL-AD7124-8SDZ)

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所示电路是一个集成的4线式电阻温度检测器(RTD)系统，基于AD7124-4/AD7124-8低功耗、低噪声、24位Σ-Δ型ADC，针对高精度测量应用而优化。采用两点校准和线性化，在−50°C至+200°C的温度范围内，4线系统的整体精度优于±1°C。在全功率模式、选择sinc⁴滤波器、输出数据速率为50 SPS的条件下，系统的典型无噪声码分辨率为17.9位；在低功耗模式、选择后置滤波器、输出数据速率为25 SPS的条件下，系统的典型无噪声码分辨率为17.3位。

AD7124-4可配置为4个差分或7个伪差分输入通道，而AD7124-8可配置为8个差分或15个伪差分输入通道。片内可编程增益 阵列(PGA)确保ADC中可直接输入小信号。

AD7124-4/AD7124-8提供最高的信号链集成度，其中包括可编程低漂移激励电流源。片内集成了RTD测量系统需要的大部分构建模块，因而能够大大简化RTD系统设计。

AD7124-4/AD7124-8允许用户灵活地使用三种集成功耗模式中的一种，电流消耗、输出数据速率范围和均方根噪声与所选的功耗模式相对应。低功耗模式下，AD7124-4/AD7124-8的功耗仅255 µA，全功率模式下为930 µA。这些功耗选项使得该器件既适合功耗不重要的应用，如输入/输出模块，也适合低功耗应用，如环路供电智能变送器(整个变送器的功耗必须低于4 mA)。

该器件还具有关断选项。在关断模式下，整个ADC及其辅助功能均关断，器件的典型功耗降至1 µA。AD7124-4/AD7124-8还集成了丰富的诊断功能，作为全面特性组合的一部分。

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

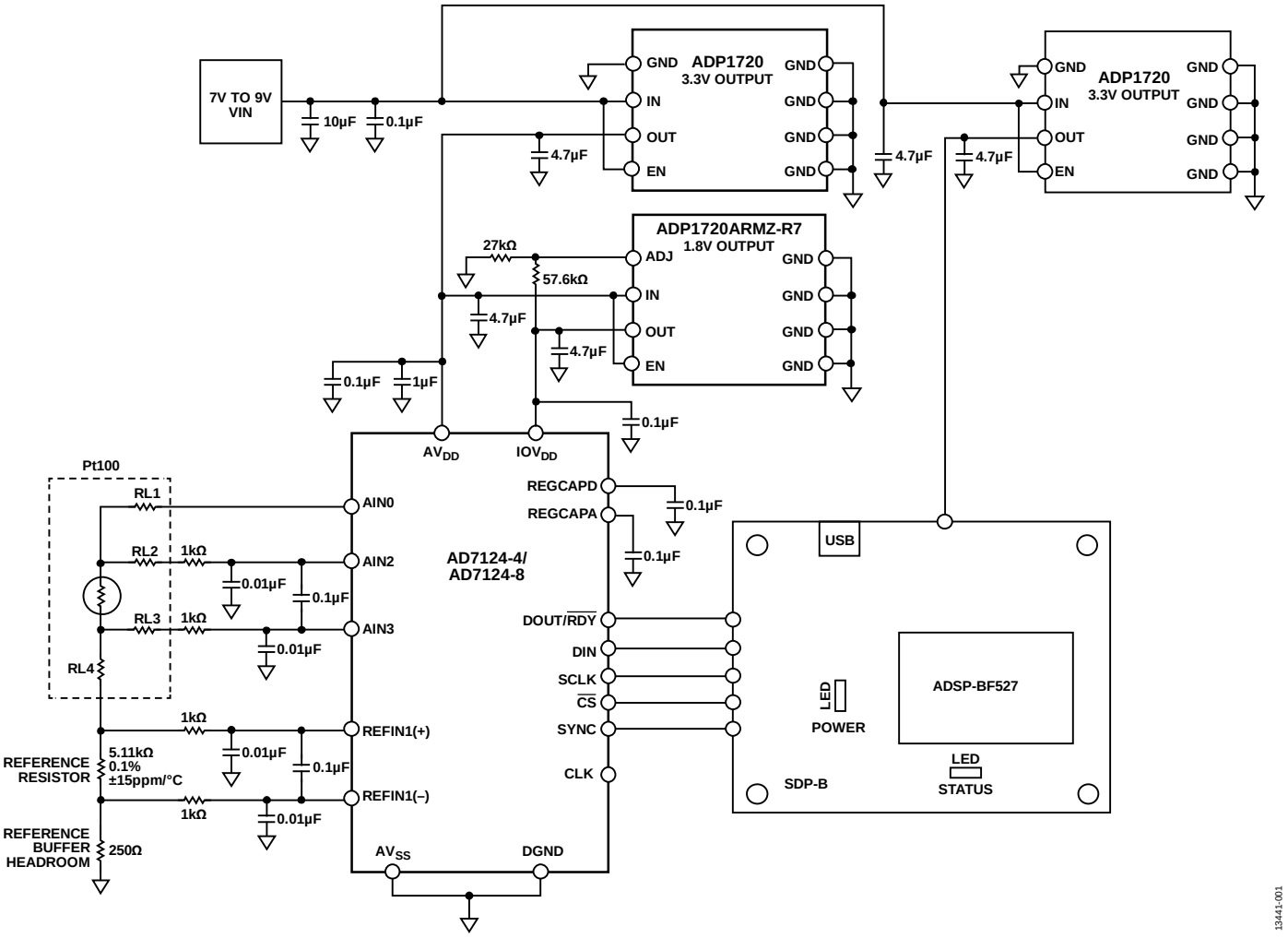


图1. 4线RTD测量配置

电路描述

RTD温度测量简介

RTD是工业应用中温度测量常用的传感器。RTD由纯金属(如铂、镍或铜)制成，其电阻随温度的变化是可预测的。最常用的RTD是铂Pt100和Pt1000。与其它类型的温度传感器相比，RTD具有高精度和良好的稳定性。长导线的电阻所引起的误差可利用4线连接来消除。

为了精确测定电阻，须利用一个恒定电流源在RTD上产生一个电压。AD7124-4/AD7124-8提供两个这样的激励电流源，可通过寄存器编程将其设置为50 µA到1 mA的值。将测量值折合为精密参考电阻两端的电压(由同一个电流驱动)，即可轻易消除电流源中的误差，实现比例测量。

图1所示电路使用Pt100 RTD B类传感器。Pt100 RTD的温度测量范围是−200°C至+600°C。B类RTD在0°C时的电阻典型值为100 Ω，典型温度系数约为0.385 Ω/°C(参见图2)。利用此信息，根据所选的电流源很容易计算出Pt100 RTD两端产生的电压。

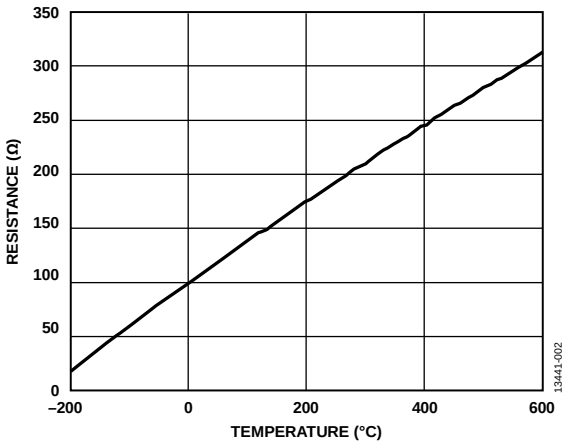


图2. Pt100 RTD电阻与温度的关系

电路工作原理

AD7124-4/AD7124-8提供集成式RTD测量解决方案，可实现高分辨率、低非线性度误差和低噪声性能，以及极高的50 Hz/60 Hz抑制能力。AD7124-4/AD7124-8片内集成低噪声PGA，可放大RTD的小信号，增益编程范围为1到128，因而可以直接与传感器接口。增益级具有高输入阻抗，输入漏电流在全功率模式下不超过3.3 nA，在低功耗模式下为1 nA(典型值)。下面说明构成4线RTD温度测量系统的不同元件。

电源

AD7124-4/AD7124-8具有单独的模拟电源和数字电源。数字电源IOV_{DD}独立于模拟电源，可以为1.65 V至3.6 V范围内的值(以DGND为基准)。模拟电源AV_{DD}以AV_{SS}为基准，范围是2.7 V到3.6 V(中低功率模式)或2.9 V至3.6 V(全功率模式)。图1所示电路采用单电源供电，因此AV_{SS}与DGND相连，仅使用一个接地层。AV_{DD}和IOV_{DD}电压利用低压差稳压器ADP1720分别产生。AV_{DD}电压设置为3.3 V，IOV_{DD}电压设置为1.8 V，采用ADP1720稳压器。使用单独的稳压器可确保噪声最低。

串行外设接口(SPI)

与AD7124-4/AD7124-8的SPI通信由EVAL-SDP-CB1Z板上的Blackfin® ADSP-BF527处理，如图1所示。为了访问AD7124-4/AD7124-8的寄存器，使用AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件。图3显示了该软件的主窗口。单击**4-WIRE RTD**(4线RTD)按钮以配置软件用于4线RTD测量。

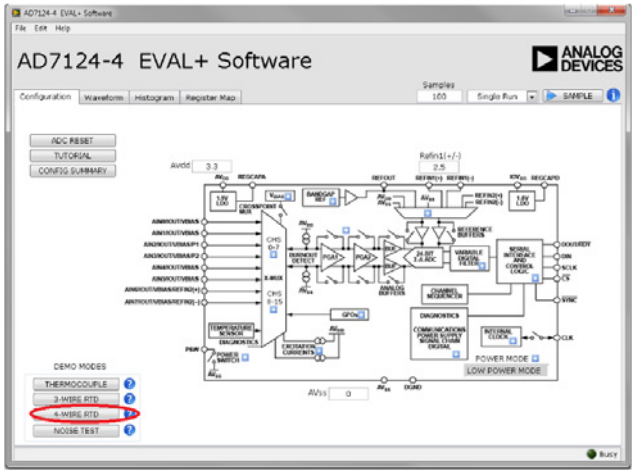


图3. AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件配置窗口

AD7124-4/AD7124-8的片内诊断功能可用来检测SPI通信故障。这些诊断包括检查SPI读写操作，确保仅访问有效寄存器。SCLK计数器确保使用正确数量的SCLK脉冲，而CRC功能检查传输期间位值有无变化。当任一SPI通信诊断功能使能且发生相关的错误时，错误寄存器中的对应标志就会置1。所有使能的标志进行或运算，以控制状态寄存器的ERR标志位。该功能在将状态位附加到ADC转换结果时特别有用。

模拟输入和基准电压源

AD7124-4可配置为4个差分或7个伪差分输入通道，而AD7124-8可配置为8个差分或15个伪差分输入通道。

AD7124-4/AD7124-8的片内诊断功能可用来检查模拟引脚上的电平是否在额定工作范围以内。正(AINP)和负(AINM)模拟输入可以单独检查是否发生过压和欠压，以及ADC是否饱和。当模拟输入上的电压超过AV_{DD}时，过压标志就会置1；当模拟输入上的电压低于AV_{SS}时，欠压标志就会置1。

图1所示电路利用3个模拟引脚实现4线测量： AIN0、AIN2和AIN3。AIN2和AIN3配置为全差分输入通道，用于检测RTD上的电压。用于激励RTD的激励电流源由AV_{DD}产生，并流向AIN0。图4详细显示了模拟引脚及其配置。

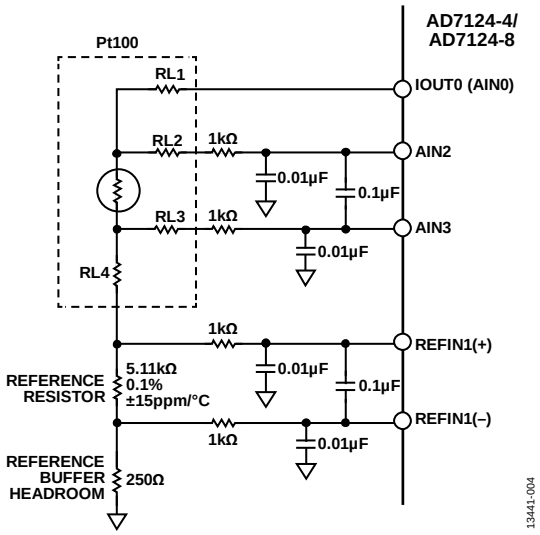


图4. 4线RTD测量的模拟输入配置

数字和模拟滤波

对于图1所示电路，所用的基准输入为REFIN1(±)。流经RTD的电流也会流过精密基准电阻，产生基准电压。此精密基准电阻上产生的电压与RTD上的电压成比例，因此，激励电流的波动会被消除。由于缓冲器已使能，务必满足正常工作所需的裕量(AV_{DD} – 0.1 V和AV_{SS} + 0.1 V)。0.125 V (500 µA × 250 Ω)的裕量由250 Ω接地电阻提供，如图4所示。

差分滤波器(截止频率约为800 Hz)和共模滤波器(截止频率约为16 kHz)在模拟输入端和基准输入端实现。为了抑制调制器频率及其倍数处的干扰，必须使用这种滤波。

AD7124-4/AD7124-8在片内数字滤波方面拥有很大的灵活性。有多种滤波器选项可用，所选的滤波器会影响输出数据速率、建立时间和50 Hz/60 Hz抑制性能。对于此电路笔记，电路实现了sinc⁴滤波器和后置滤波器。之所以使用sinc⁴滤波器，是因为它在整个输出数据速率范围内具有出色的噪声性能，另外还有出色的50 Hz/60 Hz抑制性能。后置滤波器提供50 Hz和60 Hz同时抑制，建立时间为40 ms。

校准

AD7124-4/AD7124-8提供不同的校准模式，通过校准可消除失调和增益误差。对于本电路笔记，电路使用了内部零电平校准和内部满量程校准。

4线RTD配置

图1所示电路使用AD7124-4/AD7124-8进行精密4线RTD测量。4线RTD测量需要一个激励电流源。AD7124-4/AD7124-8提供两个匹配电流源，可使用其中任何一个来激励RTD。RTD产生低电平电压信号，AD7124-4/AD7124-8的片内PGA将其放大。放大后的电压通过24位Σ-Δ型ADC转换为精密数字信号。

本4线RTD电路采用B类RTD。如果片内激励电流设置为500 µA，在最高温度600°C时，RTD上产生的电压约为156.85 mV。为确保使用AD7124-4/AD7124-8的最大范围，PGA增益设置为16。PGA将RTD传感器最大输出电压放大至2.5096 V。

选择适当的外部精密电阻值，使RTD上产生的最大电压等于基准电压除以PGA增益。

$$R_{REF} = V_{RTD\,MAX}/I_{EXC} = 2.5096\ V/500\ \mu A = 5020\ \Omega$$

因此使用5.11 kΩ电阻，其给出的基准电压为

$$5.11\ k\Omega \times 激励电流 = 5.11\ k\Omega \times 500\ \mu A = 2.555\ V$$

利用AD7124-4/AD7124-8进行4线RTD测量时，还必须考虑激励电流源的输出顺从电压。输出顺从电压取决于所选的激励电流。本电路选择500 µA，其输出顺从电压为AV_{DD} – 0.37 V。本电路的AV_{DD}电源电压为3.3 V，因此，激励电流源的输出顺从电压必须低于2.93 V。从上述计算可知，电路满足这一要求，因为AIN0引脚的最大电压等于精密基准电阻上的电压加上RTD上的电压和裕量电阻上的电压。

$$V_{REF} + V_{RTD} + V_{HEADROOM} = 2.555\ V + 156.8\ 5\ mV + 125\ mV = 2.83685\ V$$

针对4线RTD测量的AD7124-4/AD7124-8配置如下：

- 差分输入： AINP = AIN2，AINM = AIN3
- 激励电流：IOUT0 = AIN0 = 500 µA
- 增益 = 16
- 精密基准电阻：5.11 kΩ
- 数字滤波：
  - Sinc⁴滤波器(全功率模式)
  - 后置滤波器(低功耗模式)

当ADC工作在双极性差分模式时，计算RTD电阻R_{RTD}的通用表达式如下所示：

$$R_{RTD} = \frac{(CODE - 2^{N-1}) \times R_{REF}}{G \times 2^{N-1}} \quad (1)$$

其中：

*CODE*为ADC输出码。

*N*为ADC的分辨率(本电路为24)。

R_{REF}为基准电阻。

*G*为所选增益。

根据B类RTD的规格，电阻变化约为0.385 Ω/°C。可利用此关系快速获得RTD的近似温度。由于RTD的温度系数在整个温度范围内略有变化，因此上述方法不够精确，但可以利用它来快速检查温度。

要计算近似温度，请使用公式2。

$$Temperature\ (°C) = \frac{R_{RTD} - 100}{0.385} \quad (2)$$

RTD传递函数即所谓Callender-Van Dusen公式，它由两个不同的多项式公式组成，可提供更精确的结果。公式3用于0°C以上的温度，公式4用于0°C以下的温度。

温度$t \le 0°C$时，公式为：

$$R_{RTD}(t) = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100°C)t^3] \quad (3)$$

温度$t \ge 0°C$时，公式为：

$$R_{RTD}(t) = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (4)$$

其中：

t为RTD温度(°C)。

$R_{RTD}(t)$为RTD电阻(Ω)。

R_0为0°C时的RTD电阻(本例中$R_0 = 100\ \Omega$)。

$A = 3.9083 \times 10^{-3}$。

$B = -5.775 \times 10^{-7}$。

$C = -4.23225 \times 10^{-12}$。

结合公式3和公式4给出的传递函数，有多种方法可以确定作为RTD电阻函数的温度值。这里选择直接数学方法，因为其精度高。根据公式3可得出以下温度计算公式：

$$T_{RTD}\ (°C) = \frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B\left(1 - \frac{r}{R_0}\right)}}{2B} \quad (5)$$

其中r为RTD电阻，其它变量的定义如上所述。

此方法能够很好地处理大于或等于0°C的温度。要计算0°C以下的RTD温度，需要一个最佳拟合多项式表达式，本电路笔记使用的多项式为公式6所示的五阶多项式。

$$T_{RTD}\ (°C) = -242.02 + 2.2228 \times r + (2.5859 \times 10^{-3})r^2 - (48260 \times 10^{-6})r^3 - (2.8183 \times 10^{-3})r^4 + (1.5243 \times 10^{-10})r^5 \quad (6)$$

举例来说，温度设置为25°C时，若从AD7124-4/AD7124-8读出的代码为11270065，则利用公式1将其转换为电阻值：

$$R_{RTD} = \frac{(11270065 - 2^{23}) \times R_{REF}}{G \times 2^{23}} = 109.704\ \Omega$$

利用公式5进行线性化，得出温度为24.921°C。

再举一例，温度设置为−25°C时，若从AD7124-4/AD7124-8读出的代码为10757779，则将其转换为电阻值：

$$R_{RTD} = \frac{(10757779 - 2^{23}) \times R_{REF}}{G \times 2^{23}} = 90.200\ \Omega$$

利用公式6进行线性化，得出温度为−24.982°C。

4线RTD测量和结果

对于图1所示电路，我们采集了AD7124-4/AD7124-8在不同数字滤波器和功耗模式配置下获得的数据，sinc⁴滤波器用于全功率模式，后置滤波器用于低功耗模式。

若选择sinc⁴滤波器、全功率模式和50 SPS的配置，则AD7124-4/AD7124-8可以最佳的速度和噪声性能工作。图5显示了室温下4线RTD按图1所示连接时的噪声分布。对应的均方根噪声典型值为199.37 nV，相当于约17.9位无噪声分辨率。使用相同的滤波器、增益、功耗模式和输出数据速率，但输入短路时，AD7124-4/AD7124-8的噪声性能为100 nV rms，相当于18.7位无噪声分辨率。噪声的增加直接来自输入通道(AIN2、AIN3)上的RTD连接。

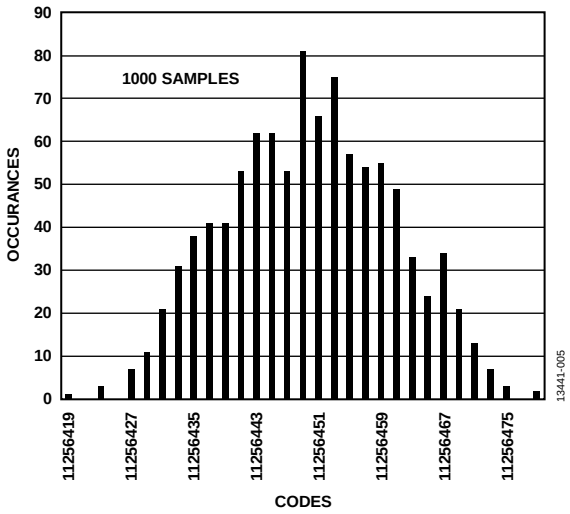


图5. 室温、Sinc⁴滤波器、全功率模式、50 SPS时的RTD码直方图

对于选择sinc⁴滤波器和全功率模式的4线RTD配置，将RTD温度从−50°C扫描至+200°C。对于每个温度，按照上述方法利用AD7124-4/AD7124-8测量RTD上的相应电压。然后将此电压转换为电阻，按照“4线RTD配置”部分所述进行线性化并转换为温度。图6显示了设定温度与线性化后RTD实测温度之间的误差。对于每个RTD温度设置，AD7124-4/AD7124-8保持25°C。如图6所示，线性化后RTD实测温度的误差在Pt100 B类RTD的误差窗口内。图6还显示了RTD误差在不同AD7124-4/AD7124-8温度设置下的偏差。对于AD7124-4/AD7124-8的每个温度设置，执行内部零电平校准和满量程校准。如图6所示，对于AD7124-4/AD7124-8的所有温度设置，RTD误差在B类RTD的预期误差范围内。

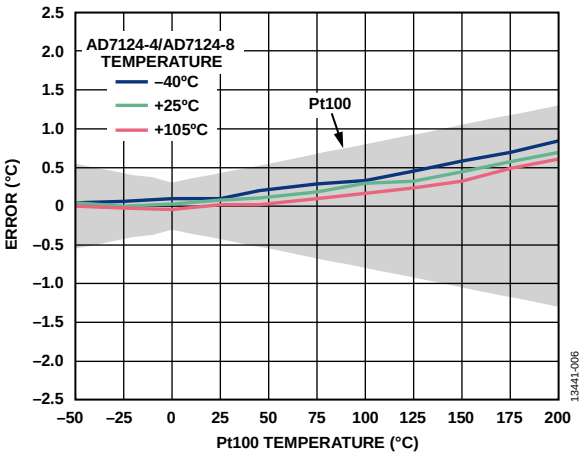


图6. 温度精度测量(Sinc⁴滤波器、全功率模式、50 SPS)

图7显示了在25°C执行一次性内部零电平和满量程校准后的RTD实测温度误差。从图中可看出，在25°C执行一次性校准与在各温度设置执行校准，AD7124-4/AD7124-8表现出相同的性能。

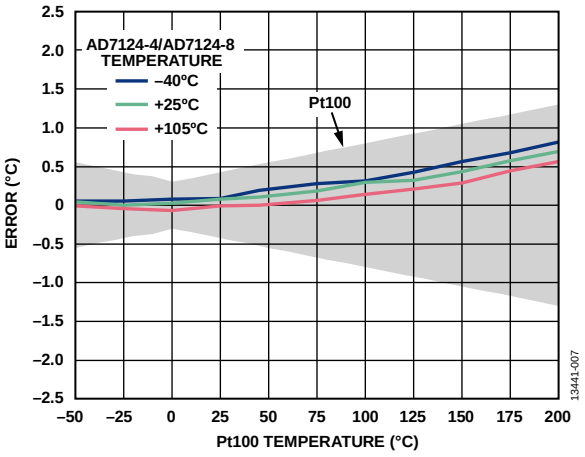


图7. 温度精度测量(Sinc⁴滤波器、全功率模式、50 SPS，仅执行25°C一次性校准)

测试的第二种AD7124-4/AD7124-8配置是低功耗模式，选择后置滤波器和25 SPS输出数据速率。25 SPS滤波器提供50 Hz和60 Hz同时抑制，并且允许用户用建立时间换取电源抑制性能。图8显示了室温下4线RTD按图1所示连接时的噪声分布。对应的均方根噪声典型值为774 nV，相当于约16.8位无噪声分辨率。使用相同的滤波器、增益、功耗模式和输出数据速率，但输入短路时，AD7124-4/AD7124-8的噪声性能典型值为360 nV rms，相当于17.3位无噪声分辨率。两次测量的噪声增加直接来自输入通道(AIN2、AIN3)上的RTD连接。

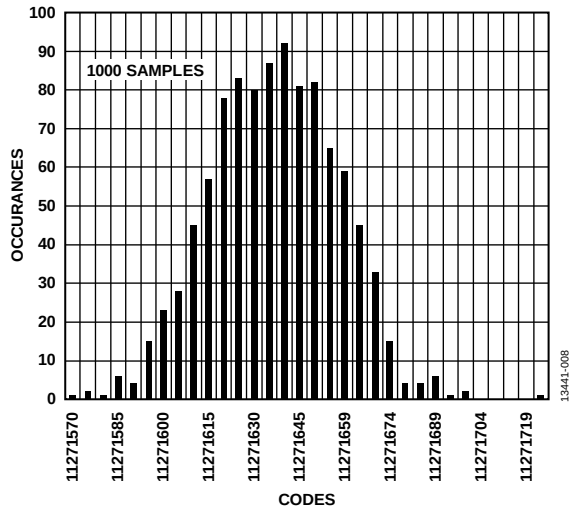


图8. 室温、后置滤波器、低功耗模式、25 SPS时的RTD码直方图

RTD的温度从–50°C扫描到+200°C。对于每个设定的RTD温度，按照上述方法利用AD7124-4/AD7124-8测量RTD上的相应电压。然后将此电压转换为电阻，按照“4线RTD配置”部分所述进行线性化并转换为温度。图9显示了设定温度与线性化后RTD实测温度之间的误差。对于每个RTD温度设置，AD7124-4/AD7124-8保持25°C。如图9所示，RTD实测温度的误差在Pt100 B类RTD的误差窗口内。图9还显示了RTD误差在不同AD7124-4/AD7124-8温度设置下的偏差。对于AD7124-4/AD7124-8的每个温度设置，执行内部零电平校准和满量程校准。如图9所示，对于AD7124-4/AD7124-8的所有温度设置，RTD误差在B类RTD的预期误差范围内。

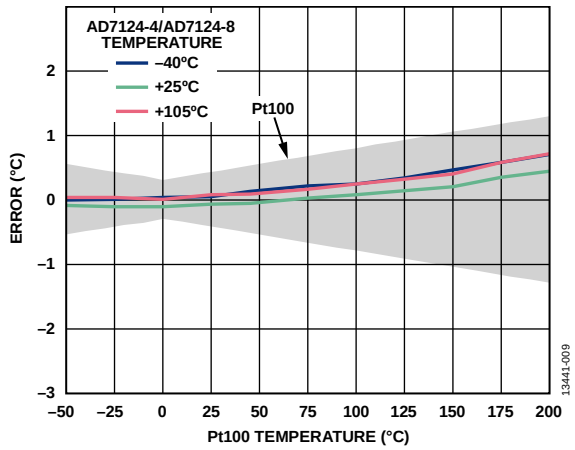


图9. 温度精度测量(后置滤波器、低功耗模式、25 SPS)

图10显示了在25°C执行一次性内部零电平和满量程校准后的RTD实测温度误差。从图中可看出，在25°C执行一次性校准与在各温度设置执行校准，AD7124-4/AD7124-8表现出相似的性能。

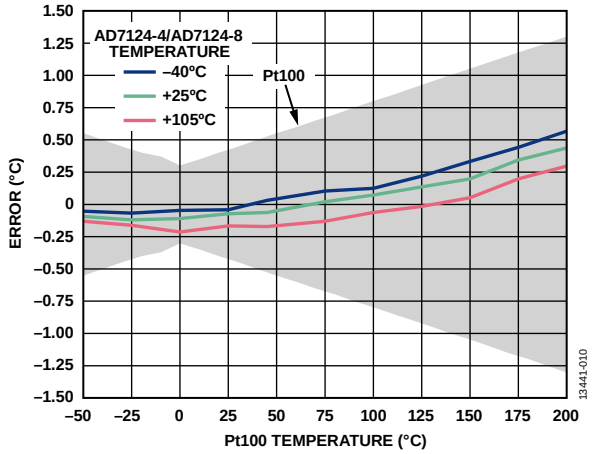


图10. 温度精度测量(后置滤波器、低功耗模式、25 SPS，仅执行25°C一次性校准)

常见变化

多个4线RTD

AD7124-4/AD7124-8可用作多个4线RTD的测量系统。AD7124-4可连接2个4线RTD，AD7124-8最多可连接5个4线RTD。所有RTD可使用同一基准输入，一个电流源可激励所有RTD。当需要进行RTD温度测量时，电流依次流向各RTD的顶端。利用AD7124-4/AD7124-8上的交叉多路复用器可单独配置多个通道，各通道可配置为不同的设置。

测量RTD电压需要进行如下设置：

1. 将外部基准电压设置为REFIN1±。
2. 使能要测量的RTD的IOUT0电流。
3. 使能输入端连接有RTD的模拟输入通道。

图11显示了一个例子，2个4线RTD连接到AD7124-4。一个4线RTD连接在AIN2和AIN3模拟输入引脚上(通道0配置)，激励电流来自AIN0；另一个4线RTD连接在AIN6和AIN7模拟输入引脚上(通道1配置)，AIN1用于提供激励电流。然后按照下述步骤依次对每个RTD执行温度测量：

1. IOUT0流向AIN0。测量通道0(AIN2、AIN3)上的电压；因此，必须使能通道0。对于此测量，禁用所有其它通道。
2. 禁用通道0，使能通道1，将IOUT0电流导向AIN1。然后测量通道1(AIN6、AIN7)上的电压。

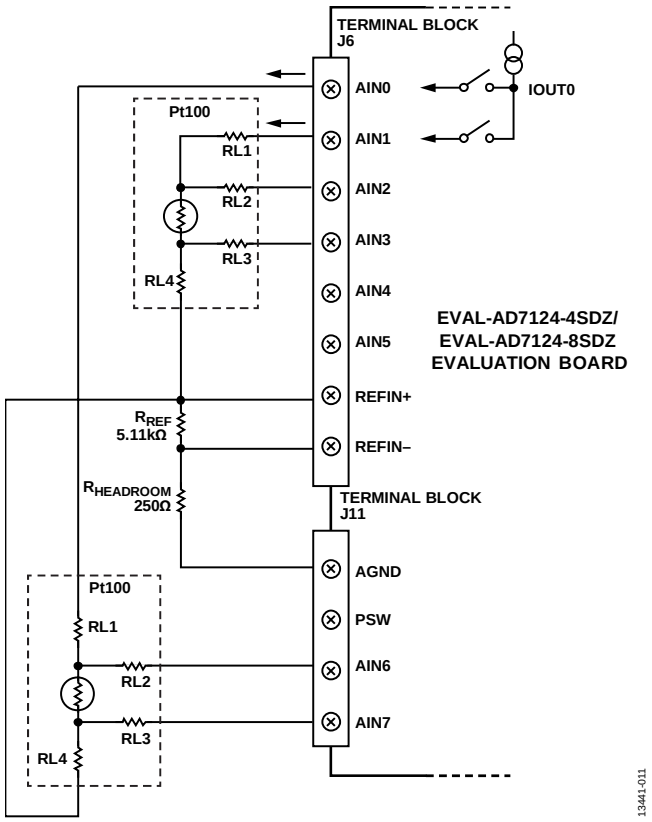


图11. 使用2个4线RTD的AD7124-4 4线RTD配置

对图11所示4线RTD配置的性能进行了评估，确保连接多个RTD时实现了预期性能。对于此测量，两个4线RTD的温度均从–50°C扫描到+200°C。对于每个温度设置，记录各RTD上的电压。图12显示了各RTD的误差。如结果所示，将同一电流从通道0切换到通道1对建立性能无影响，两个RTD均在B类RTD的预期误差窗口内。

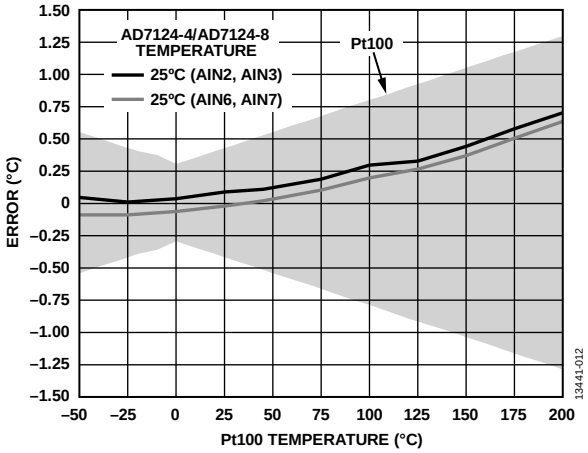


图12. 两种不同RTD测量配置下记录的RTD温度误差

电路评估与测试

设备要求

4线RTD测量系统需要如下设备：

- EVAL–AD7124-4SDZ或EVAL-AD7124-8SDZ评估板
- EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)
- AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件
- 电源： 7 V或9 V壁式电源适配器
- B类Pt100 4线RTD
- 运行Windows® XP (SP2)、Windows Vista或Windows 7(32位或64位)的PC

软件安装

AD7124-4/AD7124-8和SDP板的完整软件用户指南参见EVAL–AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ用户指南和SDP用户指南。

软件需要与硬件接口。此软件可从ftp://ftp.analog.com/pub/evalcd/AD7124下载。如果安装文件未自动运行，请双击**setup.exe**文件。请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

完成评估软件安装后，将EVAL-SDP-CB1Z(通过连接器B)连接到EVAL-AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ，然后利用附送的电缆将EVAL-SDP-CB1Z连接到PC的USB端口。检测到评估系统后，确认出现的所有对话框，完成安装。

设置与测试

图13所示为测试设置的功能框图。

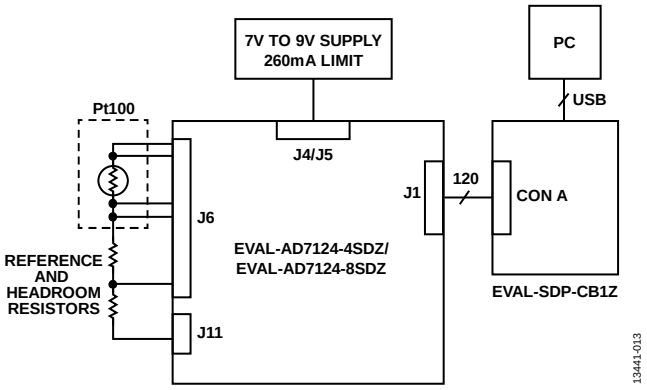


图13. 测试设置功能框图

测试该电路需要EVAL-AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ评估板。此外还需要下列传感器和电阻以确保电路正常工作：

- B类4线Pt100 RTD
- 5.11 kΩ精密电阻
- 缓冲器裕量所需的250 Ω电阻

配置硬件

按照下述步骤配置硬件：

1. 将EVAL-AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ评估板上的所有链接设为默认位置，如EVAL-AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ用户指南所述。
2. 利用连接到J5的7 V或9 V电源为评估板上电。
3. 连接RTD、精密基准电阻和裕量电阻，如图14所示。

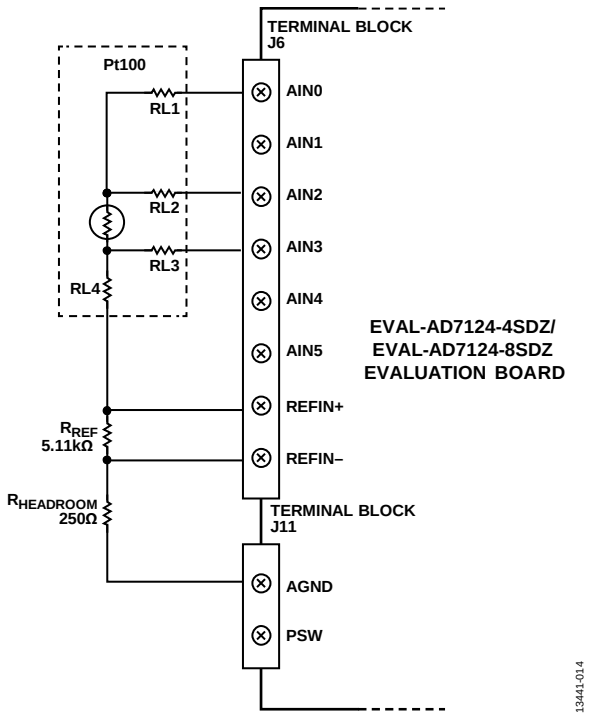


图14. 用于四线式RTD测量的EVAL–AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ评估板连接器

运行AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件，随即出现图15所示的窗口。

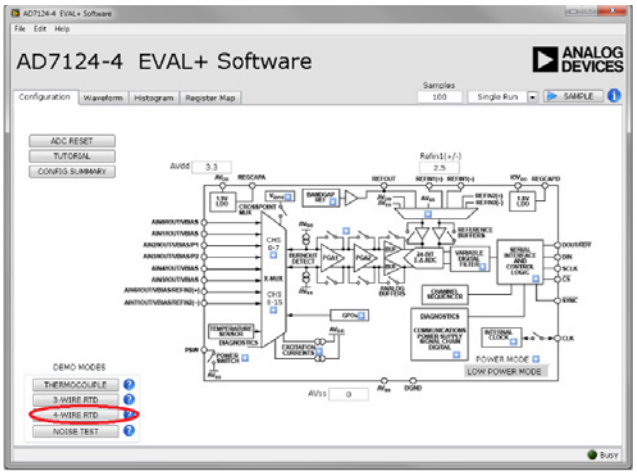


图15. AD7124-4 EVAL+软件窗口

为了配置AD7124-4/AD7124-8进行4线RTD测量，单击**4-WIRE RTD**(4线RTD)演示模式按钮(参见图15)。单击**4-WIRE RTD**(4线RTD)按钮以配置ADC软件，如下所示：

- Channel_0
  - AINP_0 = AIN2
  - AINM_0 = AIN3
  - Setup0
  - Enabled = TRUE
- Setup_0
  - PGA_0 = 16
  - AIN_BUFP、AIN_BUFM均为ENABLED
  - BIPOLAR = ENABLED
  - FS_0 = 384
  - FILTER_MODE_0 = SINC4
- ADC_Control
  - MODE = Continuous Conversion
  - POWER_MODE = FULL
- IO_CONTROL_1
  - IOUT0 Channel Enable = AIN1
  - IOUT0 Select = 500 µA

AD7124-4/AD7124-8的内部满量程和零电平校准。将AD7124-4/AD7124-8配置为4线RTD测量之前，还需要一项额外的设置：此校准可通过**Register Map**(**寄存器映射**)选项卡执行，如图16所示。

1. 单击**ADC_Control**寄存器。
2. 选择**Low Power**(**低功耗**)模式。
3. 执行内部满量程校准。
   a. 单击ADC控制寄存器的**Mode**(**模式**)位域。
   b. 在**Mode**位域中，选择内部满量程校准选项。
   c. 单击寄存器树中的**Gain0**寄存器，检查校准是否已执行，并且系数是否改变。
4. 执行内部零电平校准。
   a. 单击ADC控制寄存器的**Mode**(**模式**)位域。
   b. 在**Mode**位域中，选择内部零电平校准选项。
   c. 单击寄存器树中的**Offset0**寄存器，检查校准是否已执行，并且系数是否改变。
5. 校准完成后，将功耗模式改变为所需的工作模式，并从**ADC_Control**寄存器的**Mode**位域下拉框选择**Continuous**(**连续**)，以确保将ADC设置为连续转换模式。

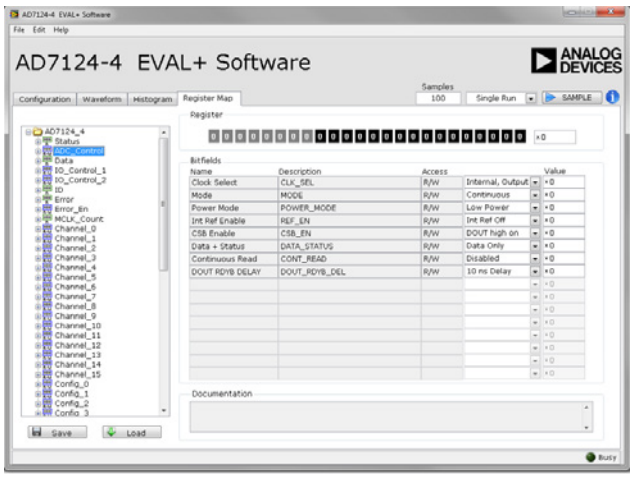


图16. 寄存器映射内部满量程和零电平校准

现在，评估板和器件已完成4线RTD测量配置。单击**SAMPLE**(**采样**)以启动AD7124-4/AD7124-8采样。**Waveform**(**波形**)和**Histogram**(**直方图**)选项卡显示从AD7124-4/AD7124-8采集到的数据。

更多资料

CN-0381设计支持包：
www.analog.com/CN0381-DesignSupport

EVAL-AD7124-4用户指南(UG-855)

EVAL-AD7124-8用户指南(UG-856)

SDP用户指南

Walt Kester，《传感器信号调理》第7章“温度传感器”，Analog Devices，1999年

Mary McCarthy，应用笔记AN-615，峰峰值分辨率与有效分辨率，Analog Devices

Donal McNamara，应用笔记AN-892，温度测量原理及实用技术，Analog Devices

MT-031指南，实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团，Analog Devices

MT-101指南，去耦技术，Analog Devices

电路笔记CN-0376，适合PLC/DCS应用的通道间隔离温度输入(热电偶/RTD)，Analog Devices

电路笔记CN-0382，超低功耗工业温度和压力、4 mA至20 mA/HART变送器，Analog Devices

电路笔记CN-0383，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式3线RTD测量系统，Analog Devices

电路笔记CN-0384，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式热电偶测量系统，Analog Devices

数据手册和评估板

EVAL-AD7124-4SDZ

EVAL-AD7124-8SDZ

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD7124-4数据手册

AD7124-8数据手册

ADP1720数据手册

修订历史

2015年7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.

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN13341sc-0-7/15(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab Reference Circuits

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/CN0382。

连接/参考器件	
AD7124-4	集成PGA和基准电压源的低功耗24位Σ-Δ型ADC
AD5421	16位、环路供电、4 mA至20 mA DAC
AD5700	低功耗HART调制解调器
ADuM1441	SPI隔离器
ADP162	超低静态电流、150 mA CMOS线性稳压器
ADG5433	高压防闩锁型三通道SPDT开关

采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的隔离式4 mA至20 mA/HART工业温度和压力变送器

评估和设计支持

电路评估板

DEMO-AD7124-DZ评估板

设计和集成文件

原理图、布局文件、物料清单、代码示例

电路功能与优势

图1所示电路是一种隔离式智能工业现场仪表，可与许多类型的模拟传感器，如温度传感器(Pt100、Pt1000、热电偶)或桥式压力传感器等接口。该仪表通过4 mA至20 mA模拟输出和可寻址远程传感器高速通道(HART®)接口进行通信。HART是一种数字双向通信，可在标准4 mA至20 mA模拟电流信号之上调制一个1 mA峰峰值频移键控(FSK)信号。HART接口可实现众多功能，例如远程校准、故障查询和过程变量传输；这些功能在诸如温度和压力控制等应用中是必须的。

该电路采用超低功耗、精密、24位Σ-Δ型模数转换器(ADC) AD7124-4，其包括温度和压力系统所需的全部特性。该电路还包括16位4 mA至20 mA环路供电数模转换器(DAC) AD5421，业界功耗最低且尺寸最小的HART兼容型IC调制解调器AD5700，提供超低功耗串行外设接口(SPI)隔离的ADuM1441，CMOS开关ADG5433，以及位于隔离功率电路中的低功耗3.3 V稳压器ADP162。

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

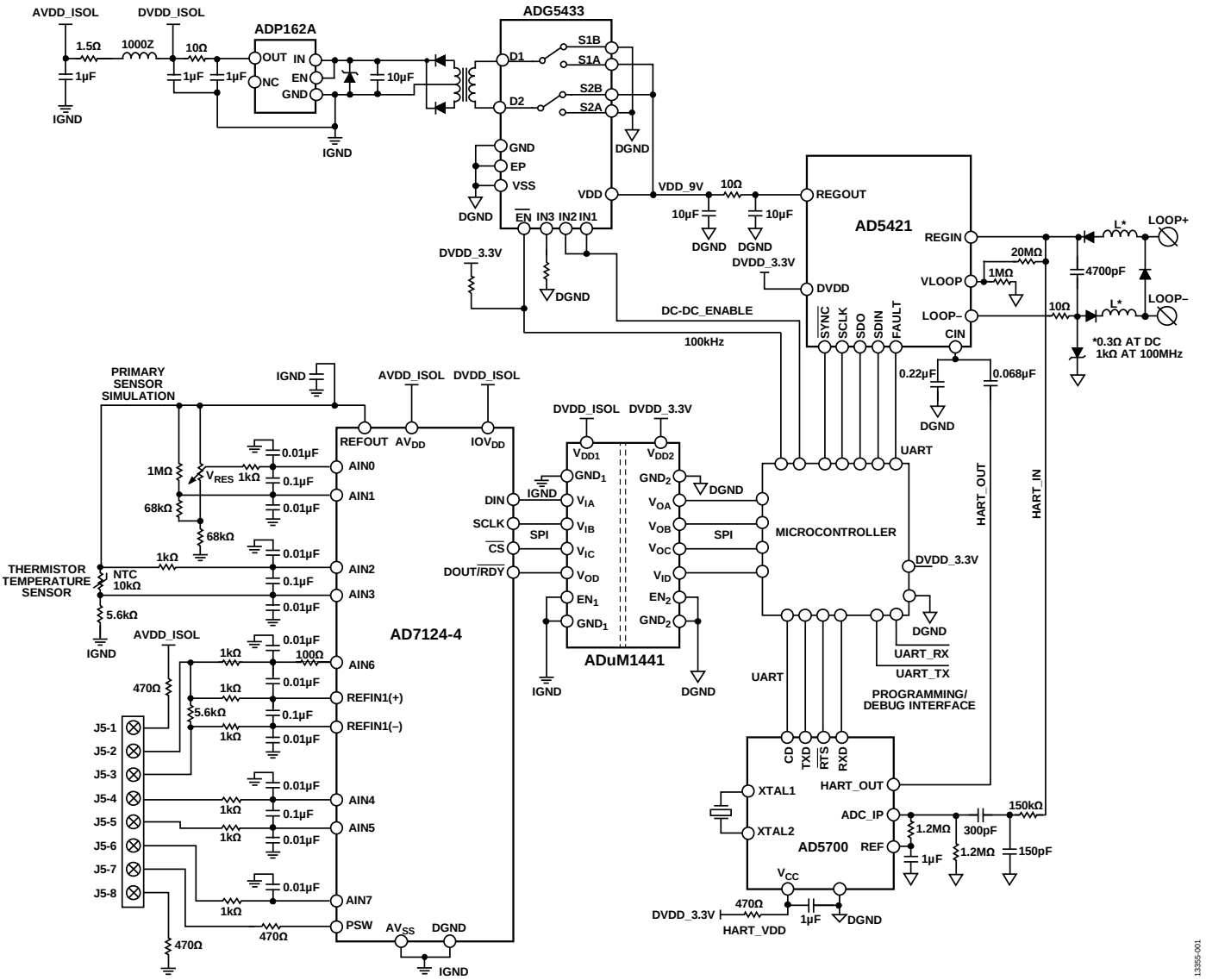


图1. 具有HART接口的4 mA至20 mA环路供电现场仪表(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

电路描述

模拟前端接口

AD7124-4是一款适合高精度测量应用的低功耗、低噪声、完整模拟前端。该器件内置一个低噪声24位Σ-Δ型模数转换器(ADC)，可配置来提供4个差分输入或7个单端或伪差分输入。片内低噪声增益级确保ADC中可直接输入小信号。

AD7124-4的主要优势之一是用户可灵活使用三种集成功率模式。功耗、输出数据速率范围和均方根噪声可通过所选功率模式进行定制。该器件还提供多个滤波器选项，确保为用户带来最大的灵活性。

当输出数据速率为25 SPS(单周期建立)时，AD7124-4可实现50 Hz和60 Hz同时抑制。

AD7124-4提供最高的信号链集成度。该器件内置一个精密低噪声、低漂移内部带隙基准电压源，也可采用内部缓冲的外部差分基准电压。其它主要集成特性包括可编程低漂移激励电流源、开路测试(burnout)电流和偏置电压产生器，利用偏置电压产生器可将某一通道的共模电压设置为$AV_{DD}/2$。低端功率开关允许用户在两次转换之间关断桥式传感器，从而保证系统具有绝对最小功耗。该器件还允许用户采用内部时钟或外部时钟工作。

内置通道序列器可以同时使能多个通道，AD7124-4按顺序在各使能通道上执行转换，简化了与器件的通信。多达16个通道可随时使能，这些通道具有模拟输入或诊断功能(比如电源检查或基准电压源检查)。这一独特的特性允许诊断和转换交替进行。该器件支持8种配置或设置。AD7124-4还支持各通道独立配置。每种配置包括增益、滤波器类型、输出数据速率、缓冲和基准电压源。用户可在各通道上分配任何设置。

AD7124-4还集成了丰富的诊断功能，作为全面特性组合的一部分。这些诊断功能包括循环冗余校验(CRC)、信号链检查和串行接口检查，从而提供更强大的解决方案。这些诊断功能可减少执行诊断功能所需的外部元件，从而减少对电路板空间的需求，缩短设计时间并节省成本。根据IEC 61508，典型应用的失效模式影响和诊断分析(FMEDA)表明安全失效比例(SFF)大于90%。

传感器输入

该电路通过8引脚连接器支持3线/4线RTD、热电偶和压力传感器。AD7124-4具有与这些传感器接口所需的全部构建模块。对于连接的所有类型传感器，ADC以中功耗模式工作。使用后置滤波器的原因是当以25 SPS速率转换时，它能实现50 Hz和60 Hz同时抑制。将一个传感器连接到该电路时，ADC按照所连传感器类型进行适当的配置。还可以执行内部满量程和失调校准，以使失调误差和满量程误差最小；校准由UART或HART命令启动。

AD7124-4具有多种片内诊断功能，可确保设计稳定可靠。在该电路中，开路故障检测确保传感器已连接；通过监视状态寄存器中的上电复位(POR)状态，可在发生上电复位时告知用户。每次转换都要读取错误寄存器，其内容随同传感器结果通过HART发送。

RTD

阻性温度检测器(RTD)的测量范围是−200°C至+600°C。典型RTD为由铂制成的Pt100和Pt1000。本电路使用Pt100。

4线RTD

图2显示了一个4线Pt100 RTD如何连接到本电路。

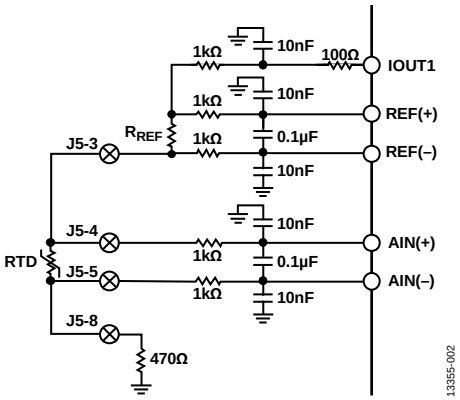


图2. 4线RTD

AD7124-4的一个片内激励电流激励Pt100。Pt100的最大电阻值为313.71 Ω(600°C时)。若激励电流设置为250 µA，则Pt100上产生的最大电压为

$$250\ \mu A \times 313.71\ \Omega = 78.43\ mV$$

可编程增益阵列(PGA)设置为16倍增益，故调制器输入端看到的最大电压为

$$78.43\ mV \times 16 = 1.25\ V$$

5.6 kΩ精密电阻(0.05%、10 ppm/°C)产生基准电压。所选基准电阻R_{REF}的值应使得其上产生的电压最小值为1.25 V，也就是说，模拟输入引起的调制器输入端电压小于或等于基准电压。为Pt100供电的250 µA电流同样流过5.6 kΩ电阻，得到一个比率式配置。因此，激励电流的任何变化对电路性能无影响。精密电阻上产生的电压为

$$5.6\ k\Omega \times 250\ \mu A = 1.4\ V$$

模拟输入端和基准输入端上有抗混叠滤波器。这些滤波器防止任何频率为调制器采样频率倍数的干扰混叠到目标频带中。为确保这些滤波器和外部电阻不引起增益误差，须使能基准电压缓冲器。模拟输入缓冲器会自动使能，因为使用PGA就会使能这些缓冲器。基准电压缓冲器需要一些裕量(电源轨的100 mV以内)。因此，低端上有一个470 Ω电阻以提供此裕量。

250 µA激励电流需要370 mV的裕量。此引脚看到的电压为(470 + 5600 + 313.71) Ω × 250 µA = 1.6 V，这是可以接受的。

AIN4和AIN5引脚用作AINP和AINM模拟输入。

连接器引脚上的1 kΩ电阻有两个作用：一是构成抗混叠滤波器，二是在发生过压时(例如因为接线错误)保护模拟输入。

电路笔记CN-0381更详细地说明了4线Pt100传感器与AD7124-4的接口以及转换结果的线性化或后处理。

图1所示电路还支持4线Pt1000 RTD。电路连接与Pt100相同。ADC配置如本部分前面所述，不过PGA增益设置为1。

3线RTD

图3显示了一个3线Pt100 RTD如何连接到本电路。

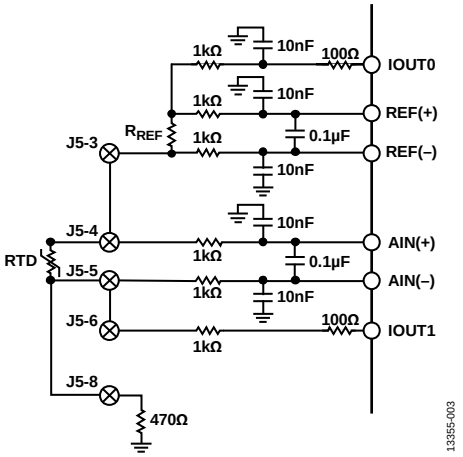


图3. 3线RTD

AD7124-4有两个匹配的激励电流。二者均要配合3线RTD使用，以便能够执行引线补偿。Pt100的最大电阻值为313.71 Ω(600 °C时)，因此激励电流设置为250 µA。基准电阻R_{REF}连接在上方。故而，一个250 µA激励电流(IOUT0)通过引脚AIN6输出，经过5.6 kΩ精密基准电阻(0.05%、10ppm/°C)，然后流过Pt100。另一个250 µA电流(IOUT1)通过引脚AIN7输出。此电流因为引脚电阻而产生一个电压，其与AIN6上电流产生的引脚电阻电压相反。因此，引脚电阻引起的误差被降至最小。

5.6 kΩ基准电阻上产生的电压为

250 µA × 5.6 kΩ = 1.4 V

Pt100上产生的最大电压为

250 µA Ω 313.71 Ω = 78.43 mV

PGA设置为16倍增益，故AD7124-4的调制器看到的电压为

78.43 mV × 16 = 1.25 V

此电压小于基准电压，故在范围内。

模拟输入端和基准输入端上有抗混叠滤波器。这些滤波器防止任何频率为调制器采样频率倍数的干扰混叠到目标频带中。为确保这些滤波器和外部电阻不引起增益误差，须使能基准电压缓冲器。模拟输入缓冲器会自动使能，因为使用PGA就会使能这些缓冲器。基准电压缓冲器需要一些裕量(电源轨的100 mV以内)。因此，低端上有一个470 Ω电阻以提供此裕量。

250 µA激励电流需要370 mV的裕量。此引脚看到的电压为(470 Ω × 2 × 250 µA) + (5600 + 313.71) Ω × 250 µA = 1.713 V，这是可以接受的。

电路笔记CN-0383更详细地说明了3线Pt100传感器与AD7124-4的接口以及转换结果的线性化或后处理。

图1所示电路还支持3线Pt1000 RTD。电路连接与Pt100相同。ADC配置如本部分前面所述，不过PGA增益设置为1。

热电偶

图4显示了一个热电偶如何连接到本电路。

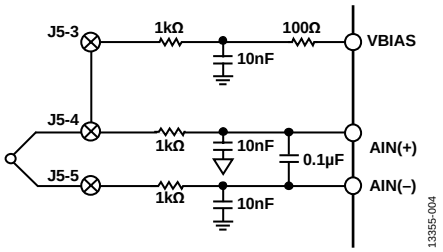


图4. T型热电偶

热电偶由两种不同类型的导线连接而成。产生的电压与温度具有相关性。例如，当温度发生1°C变化时，T型热电偶产生典型值为40 µV的电压。

必须将热电偶电压偏置到一个电压。AD7124-4内置一个V_{BIAS}源，其将热电偶偏置到(AV_{DD} – AV_{SS})/2。该偏置电压在AIN6通道上使能并作用于热电偶，如图4所示。也可以在模拟输入的AINM引脚上使能偏置电压。但在这种情况下，必须限制外部R和C的值，因为AINM上看到的偏置电压与AINP上看到的滤波版本有很大差别，足以影响转换结果。

热电偶测量是绝对测量，内部2.5 V基准电压源用于转换。使用T型热电偶。这种热电偶的温度测量范围是−200°C至+400°C，因而其产生的电压范围是−8 mV至+16 mV。PGA设置为128。

冷结补偿使用NTC热敏电阻(10 kΩ、1%、3435 K)。

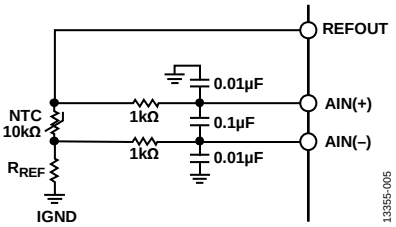


图5. 热敏电阻

内部基准电压源为热敏电阻供电，增益设置为1。热敏电阻低端使用一个电阻R_{REF}。这是一个5.6 kΩ精密电阻(0.05%、10 ppm/°C)。热敏电阻上的电压V_{NTC}为

$$V_{NTC} = \frac{V_{REF} \times ADC_{CODE}}{2^{24}}$$

其中：

V_{REF}为基准电压。

ADC_{CODE}为从AD7124-4读取的代码。

2^{24}为ADC输出的最大代码。

热敏电阻R_{NTC}的阻值为

$$R_{NTC} = \frac{V_{NTC} \times R_{REF}}{V_{REF} - V_{NTC}}$$

其中：

R_{REF} = 5.6 kΩ。

V_{REF}为基准电压。

合并以上两个方程式可得：

$$R_{NTC} = \frac{ADC_{CODE} \times R_{REF}}{FS_{CODE} - ADC_{CODE}}$$

其中：

ADC_{CODE}为从AD7124-4读取的代码。

R_{REF} = 5.6 kΩ。

FS_{CODE}为AD7124-4输出的满量程代码(2^{24})。

然后在微控制器中利用基于热敏电阻方程的查找表，将阻值转换为温度：

$$T = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{R_{NTC}}{R_0}\right)}{\beta} + \frac{1}{T_0}}$$

其中：

T为热敏电阻记录的温度(K)。

R_0 = 10 kΩ。

β = 3435 K。

T_0 = 298.15 K。

用摄氏度°C表示的温度为T − 273.15。

5.6 kΩ电阻还为模拟输入提供裕量，因为使能了模拟输入缓冲器，其需要100 mV的裕量。发生接线错误时，此电阻还能限制电流，从而保护电路。

电路笔记CN-0384更详细地说明了热电偶传感器与AD7124-4的接口以及转换结果的线性化或后处理。

压力传感器

图6所示为连接一个电压激励的压力传感器，图7所示为连接一个电流激励的压力传感器。使用Honeywell压力传感器(Honeywell S&C 24PCDFA6D)。

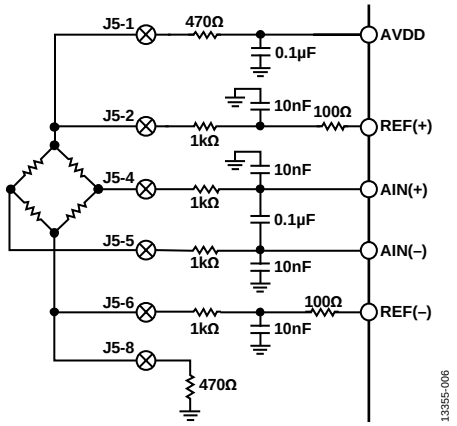


图6. 电压激励压力传感器

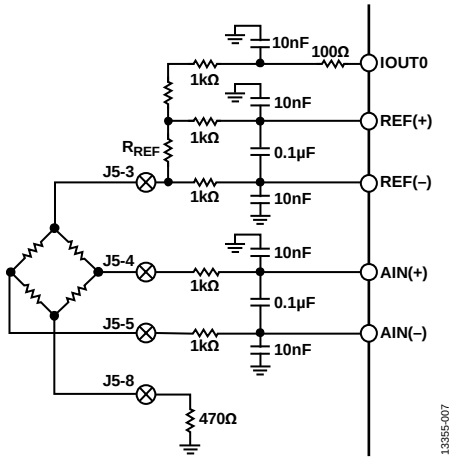


图7. 电流激励压力传感器

对于电压激励架构，AV_{DD} (3.3 V)激励传感器。如果利用AV_{DD}激励称重传感器，激励电压可直接用作ADC基准电压。请注意，传感器高端和低端上增加了一个电阻，用以确保满足AD7124-4缓冲器的裕量要求。使用16倍增益。

对于电流激励模式，AD7124-4的两个100 µA激励电流均被导向引脚AIN6，从而为传感器提供200 µA激励电流。增益同样设置为16。5.6 kΩ精密电阻产生基准电压。这种安排得到一个比率式配置，激励电流值的波动不会影响系统精度。

此电路板提供了相关选项，允许将传感器低端连接到GND或AD7124-4的功率开关。

如上所述，模拟输入端和基准电压源入端具有抗混叠滤波器，可抑制任何频率为ADC采样频率倍数的干扰。发生过压时，串联电阻还会限制电流。

主传感器仿真

本电路包括一个电阻网络和电位计，支持传感器仿真(主传感器仿真电路如图1所示)。利用电位计，AIN0 (AINP)与AIN1 (AINM)之间施加的电压可以在大约−0.09 V到+1.36 V的范围内改变。此电路利用内部基准电压源来支持转换，AD7124-4增益设置为1，使能模拟输入缓冲器。利用这种配置，用户可以评估电路而无需外接传感器。

数字数据处理、算法和通信

演示软件(包含在CN-0382设计支持包中)可进行初始化和配置、处理来自模拟输入的数据、控制模拟输出，并进行HART通信。提到的所有传感器都需要线性化或补偿。此线性化在软件中执行。有关RTD和热电偶传感器的更多信息以及所需的线性化，请参阅电路笔记CN-0381、电路笔记CN-0383和电路笔记CN-0384。

模拟输出

AD5421集成16位低功耗精密DAC，该DAC带4 mA至20 mA环路供电输出驱动器，可提供现场仪表模拟输出所需的全部功能。

AD5421通过SPI接口与微控制器对接。

AD5421还集成了一系列与4 mA至20 mA环路相关的诊断功能。辅助ADC可通过连接至V_{LOOP}引脚上的20 MΩ/1 MΩ电阻分压器测量仪表环路端的电压。该ADC还可通过集成式传感器测量芯片温度。微控制器可配置并读取AD5421的全部诊断数据，但AD5421也可采用自主工作方式。

例如，若控制器和AD5421之间的通信发生故障，AD5421将在一段时间后自动设置其模拟输出为3.2 mA报警电流。此报警电流将现场仪表工作故障这一情况汇报给主机。

输出电流值的任何改变都受到软件的控制，以防对HART通信产生干扰。

HART通信

AD5700集成完整的HART FSK调制解调器。该调制解调器通过标准UART接口，伴随请求发送(RTS)和载波检测(CD)信号实现与微控制器的连接。

HART输出通过0.068 µF/0.22 µF容性分压器调整至所需幅度，并耦合至AD5421 C_{IN}引脚，然后与DAC输出一同驱动和调制输出电流。

HART输入通过一个简单的无源RC滤波器，从LOOP+端耦合至AD5700的ADC_IP引脚。RC滤波器作为第一级，用作HART解调器的带通滤波器，同时增强系统抵抗电磁干扰的能力——这对于稳定工作在恶劣工业环境中的应用而言非常重要。

AD5700低功耗振荡器采用与XTAL1和XTAL2引脚直接相连的3.6864 MHz外部晶振，产生HART调制解调器的时钟。

输出保护

瞬变电压抑制器(TVS)保护4 mA至20 mA HART接口免受过压影响。选择合适的TVS额定电压，防止REG_{IN}引脚上的电压超过AD5421的60 V绝对最大电压。请注意，TVS漏电流可能会影响电流输出精度；因此，选用此器件时，需关注一定环路电压和温度范围下的漏电流。

可使用外部耗尽型FET与AD5421搭配工作，提高环路电压最大值。

本电路具有保护功能，通过与环路输出相串联的一对二极管保护电路免受极性反转的影响。

铁氧体磁珠与环路串联，该串联部分与4700 pF电容一同提升系统的EMC性能。由于HART网络的规格限制，请勿在环路端点处使用更高数值的电容。

4.7 V低泄露齐纳二极管保护AD5421的片内50 Ω环路检测电阻免受AD5421的COM引脚和LOOP−引脚间意外的外部电压影响(例如当调试电路时)。

电源和电源管理

包括传感器驱动电流在内的完整现场仪表电路必须工作在4 mA至20 mA环路提供的限量电源下。这对所有环路供电现场仪器设计而言，都是一个普遍的难题。图1中的电路提供了低功耗以及高性能解决方案的一个实例。应用中用到的全部集成电路均针对低功耗而设计，并且电路依靠各自的集成特性提供灵活的电源管理结构和性能最优的环路供电解决方案。

AD5421采用4 mA至20 mA环路电压供电，为电路的其余部分提供经过调节的低电压。AD5421的REG_{OUT}电压可通过引脚在1.8 V至12 V范围内编程，具体电压值取决于电路要求。图1所示电路采用9 V电源电压选项。传感器端利用简单的推挽式DC-DC转换器与4-20 mA环路隔离。ADG5433由微控制器提供时钟，并产生9 V非重叠方波，以驱动一个变压器。变压器的工作电压比为2:1。副边上的4.5 V电压由ADP162整流和调节，产生AD7124-4所用的低噪声3.3 V电源。AD7124-4的3.3 V模拟和数字电源均由ADP162稳压器提供，但有一个滤波器(L1/R19)，防止数字电路产生的噪声进入模拟部分。

AD5421在环路侧提供3.3 V逻辑电源。此电源直接由微控制器和AD5700使用。

REG_{OUT} RC滤波器(10 µF/10 Ω/10 µF)有助于防止模拟电路受到来自环路的任何干扰的影响。它还能防止电路产生的任何干扰(尤其是控制器和数字电路产生的干扰)回流耦合至环路，这对于可靠的HART通信而言非常重要。

AD5700 HART调制解调器通过一个额外的RC滤波器供电(470 Ω/1 µF)。该滤波器在环路供电应用中的作用非常重要，因为它可防止AD5700的电流噪声与4 mA至20 mA环路输出进行耦合；若非如此，将影响HART通信。AD5700调制解调器使用外部晶振，通过将XTAL1和XTAL2上的8.2 pF电容接地，这是功耗最低的选项。

AD7124-4的主要优势之一是用户可灵活使用三种集成功率模式。功耗、输出数据速率范围和均方根噪声可通过所选功率模式进行定制。因此，对于4 mA至20 mA或便携式设备，低功耗或中功耗模式是最佳选择。针对功耗不是问题的过程控制系统，可使用全功率模式，以便降低噪声。对于此环路供电电路，使用中功耗模式。有关功率模式的更多信息，参见AD7124-4数据手册。

连接压力传感器时，AD7124-4的PSW接地开关引脚控制激励和电源。仪表上电时，开关默认为断开。这一默认设定允许在开启传感器之前对系统进行全面配置，包括适当的电源模式，从而最大程度降低4 mA至20 mA环路输出上可能存在的任何上电尖峰。

连接RTD传感器时，它由AD7124-4的可编程电流源供电，因此可通过软件全面控制其电源输入。类似地，对于热电偶传感器，偏置电压和绝对基准电压均嵌入AD7124-4中，因而可由软件控制。

软件

微控制器通过SPI接口与AD7124-4和AD5421对接，通过UART接口UART0与AD5700通信。软件通过微控制器上的另一个UART接口UART1下载到微控制器。

启动时，微控制器配置所有三个器件，AD7124-4针对T型热电偶进行配置。AD7124-4工作在连续转换模式。因此，其DOUT/$\overline{RDY}$引脚也连接到微控制器上的中断引脚。每次ADC提供转换结果时，就会在微控制器中产生一个中断，通知其可读取转换结果。然后，微控制器线性化并处理数据。结果送至AD5421 DAC以通过4 mA至20 mA环路传输。该软件支持本电路笔记提到的所有传感器类型。CN-0382设计支持包中包含用于演示本电路功能和性能的软件。关于如何修改软件以适应不同传感器类型的文档，以及关于下载软件到微控制器的详细信息，也包含在CN-0382设计支持包中。

代码示例包括基本HART从机命令响应，用于演示硬件的功能和特性。代码示例不包括HART通信的协议层。

常见变化

AD7124-4具有一个高性能且非常灵活的模拟前端，提供4个差分或7个伪差分模拟输入引脚，以及供基准电压源和低端功率开关使用的额外引脚。它允许与多个各类模拟传感器直接接口，比如任意的阻性桥式传感器、电阻式温度传感器或热电偶。由于可用于几乎所有的传感器现场仪表，这款现场仪表解决方案并不局限于本电路笔记所述的传感器类型。

AD7124-8可以代替AD7124-4。AD7124-4和AD7124-8具有相同的性能。不过，AD7124-8提供8个差分输入或15个伪差分输入，因而适合需要高通道数的应用。

AD5421可通过保护电路直接与环路相连。也可在AD5421和环路电源之间连接一个耗尽型N沟槽MOSFET，如图8所示。由于在本配置中使用额外MOSFET，因此可将AD5421上的电压降保持在12 V左右，降低AD5421封装的功耗，并增加4 mA至20 mA模拟输出精度。它还可将环路允许的最

大电压提升至MOSFET的额定电平值。额外的MOSFET对HART通信无影响。

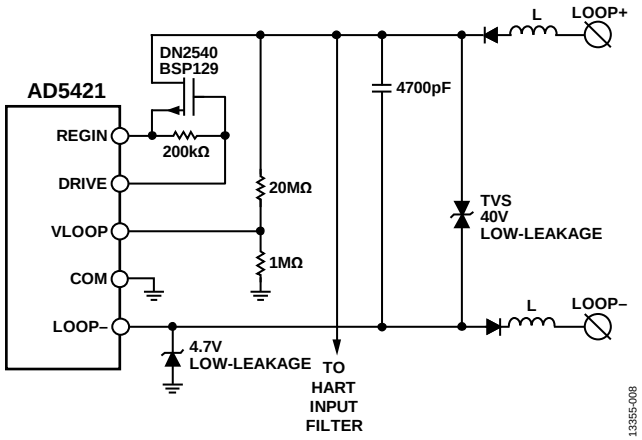


图8. MOSEFT连接至AD5421环路电源

本电路中，AD5700与3.6864 MHz晶振共同使用，形成具有最低功耗的配置。作为替代方案，AD5700-1可配合0.5%精度的集成式内部振荡器使用。与晶体振荡器相比，内部振荡器最多可提升225 µA调制解调器电源电流，但因为无需使用外部晶体，因此该方案同时节省了成本，降低了所需的电路板面积。

对于非环路供电的应用，AD5410、AD5420、AD5422或AD5755是很好的4 mA至20 mA DAC选择。

最后，有很多隔离器产品可以代替ADuM1441：ADuM1440、ADuM1442、ADuM1445、ADuM1446、ADuM1447、ADuM1240、ADuM1241、ADuM1245和ADuM1246。

电路评估与测试

电路硬件

图1中的电路基于图9中的DEMO-AD7124-DZ印刷电路板(PCB)构建。

DEMO-AD7124-DZ电路板具有一些额外的特性，方便进行系统评估。RTD、热电偶或压力传感器可以通过8引脚连接器J5连接。针对HART RTS和CD有测试点。通过4引脚连接器可将代码下载到微控制器。

CN-0382设计支持包还包括完整的用于3线/4线Pt100/Pt1000 RTD、热电偶和电压/电流激励压力传感器的现场仪表C语言代码示例，可用来对全部硬件模块和电路特性进行完整的验证与评估，并对HART接口的功能性提供一定程度的验证。有关HART接口规范和资源的详细信息，请联系HART通信基金会。

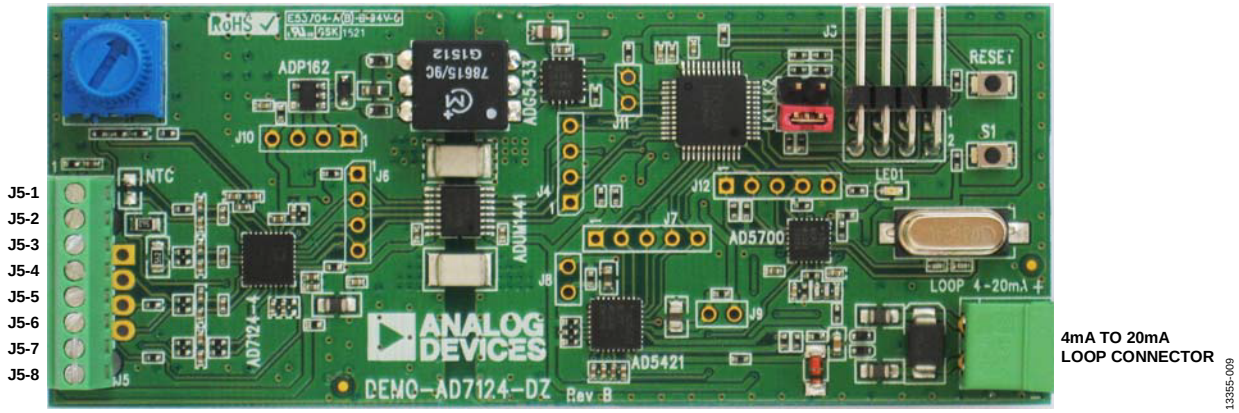


图9. DEMO-AD7124-DZ印刷电路板

电路功耗

为了方便在线测量，本电路有多个测试点可测量电流。AD5421的REG_{OUT}引脚和DV_{DD}引脚在其路径中包括一个10 Ω电阻。ADP162的输出在其路径中也有一个类似的10 Ω电阻。10 Ω电阻的每一端都有测试点。利用这种设置可以测量各电阻上的压降并计算电流，而无中断电源电流或干扰电路。

电路配置如下：

- 微控制器内核时钟 = 1 MHz
- AD7124-4和模拟电路工作在与传感器类型相适应的模式下
- AD5421以10 SPS的速率工作并更新环路输出电流
- HART通信，周期性响应主机请求以读取所有器件变量

表1. 电路功耗

模式	AD5421内部 (mA)	DVDD 3.3 V (mA)	REGOUT 9.0 V (mA)	环路总电流 (mA)	隔离3.3 V (mA)
仿真	0.28	0.63	0.82	1.73	0.48
RTD 4线	0.28	0.63	1.00	1.91	0.84
RTD 3线	0.28	0.63	1.12	2.03	1.08
TC	0.28	0.63	0.89	1.80	0.61
压力					
V模式	0.28	0.63	1.16	2.07	1.15
I模式	0.28	0.63	0.98	1.89	0.79

表1给出了各模块的电源电流：这些器件的电流之和便是电路本身(未添加其它电流器件以构成4 mA至20 mA输出)从环路消耗的总电流。AD5421本身(估计值，将AD5421放入最低环路电流中验证)、从DV_{DD} 3.3 V供电的电路(微控制器、HART调制解调器和SPI隔离的原边)以及隔离电源的9 V原边。隔离3.3 V栏是隔离3.3 V电源消耗的电流，其为传感器、AD7124-4和SPI的副边供电。

电路及所有相关模拟和数字模块(包括输入传感器)的功耗在最小4 mA环路输出电流的许可预算之内。

传感器输入性能

4线RTD

图10显示了系统连接一个4线RTD时的性能。使用B级Pt100传感器。AD7124-4配置如下：

- 功率模式：中功率模式
- 滤波器：后置滤波器，25 SPS
- 激励电流：AIN6上使能，设置为250 μA
- 增益 = 16
- 极性：单极性
- 基准电压缓冲器使能
- RTD连接到AIN4/AIN5通道
- 基准电压源：REFIN1，5.6 kΩ基准电阻连接在REFIN1引脚上
- AD7124-4内部失调和满量程校准在上电时执行

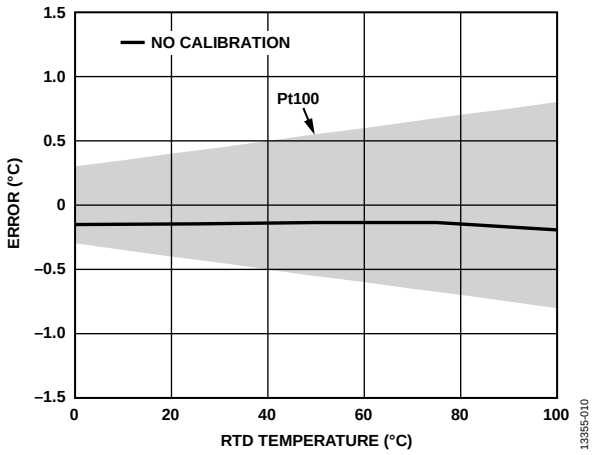


图10. 4线RTD测量

从ADC读取的转换结果在微控制器内线性化。作用于Pt100传感器的温度从0°C变化到100°C，而电路板保持25°C温度。图10显示了演示系统的精度。演示系统的测量精度在B级Pt100传感器的额定精度内。

3线RTD

图11显示了系统连接一个3线RTD时的性能。使用B级Pt100传感器。AD7124-4配置如下：

- 功率模式：中功率模式
- 滤波器：后置滤波器，25 SPS
- 激励电流IOUT0：AIN6上使能，设置为250 μA
- 激励电流IOUT1：AIN7上使能，设置为250 μA
- 增益 = 16
- 极性：单极性
- 基准电压缓冲器使能
- RTD连接到AIN4/AIN5通道
- 基准电压源：REFIN1，5.6 kΩ基准电阻连接在REFIN1引脚上
- AD7124-4内部失调和满量程校准在上电时执行

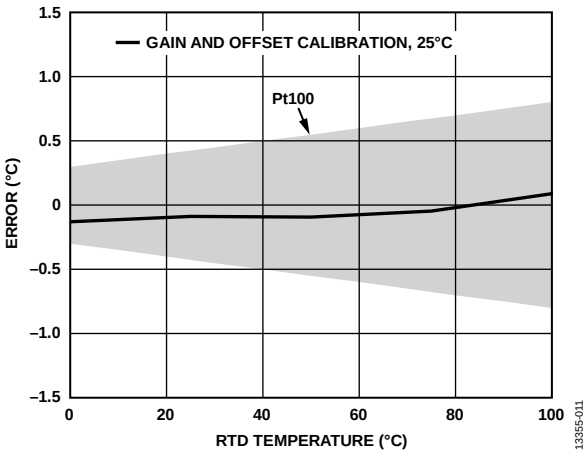


图11. 3线RTD测量

作用于Pt100传感器的温度从0°C变化到100°C，而电路板保持25°C温度。从ADC读取的转换结果在微控制器内线性化。施加温度与电路板实测温度之间的误差如图所示。在温度扫描之前，在25°C时进行内部失调和满量程校准。校准之后，3线Pt100完全位于B级Pt100允许的包络以内。图11显示了演示系统的精度。演示系统的测量精度在B级Pt100传感器的额定精度内。

热电偶

图12显示了系统连接一个T型热电偶时的性能。AD7124-4配置如下：

- 功率模式：中功率模式
- 热电偶配置
  - 增益 = 128
  - 通道：AIN4/AIN5
  - 使能内部基准电压源
  - 滤波器：后置滤波器，25 SPS
  - 极性：双极性
- AD7124-4内部失调和满量程校准在上电时执行
- 冷结配置
  - 增益 = 1
  - 滤波器：快速建立Sinc^3，44.44 SPS
  - 通道：AIN2/AIN3
  - 选择内部基准电压源
  - 模拟输入缓冲器使能
  - 极性：单极性

AD7124-4的满量程误差经过工厂校准(增益为1时)，因而无需再执行校准。

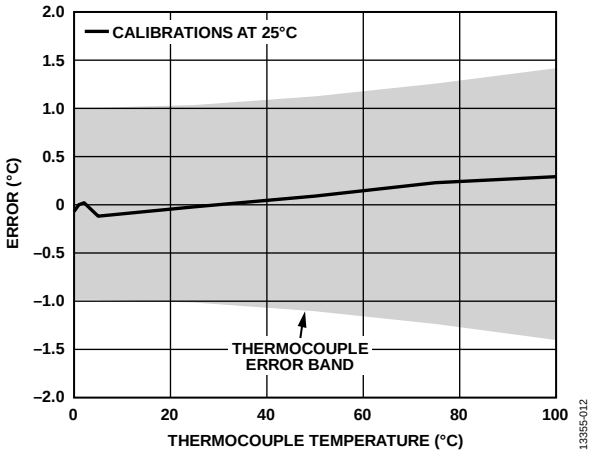


图12. T型热电偶测量(冷结为环境温度)

在图12中，冷结保持在25°C，热电偶从0°C扫描到100°C。从ADC读取的转换结果在微控制器内进行处理和线性化。

T型热电偶的精度为1°C或0.75%(以较大者为准)。热敏电阻也会增加一些误差。电路中使用的热敏电阻精度为1%或1°C(以较大者为准)。图12显示了施加温度与实测温度之间的差异。结果完全在热电偶/热敏电阻组合的规格以内。

重复进行测量，热电偶保持在25°C，冷结从0°C扫描到80°C(参见图13)。系统总精度为1.75°C，使用更精确的冷结(如Pt100传感器)可以提高精度。

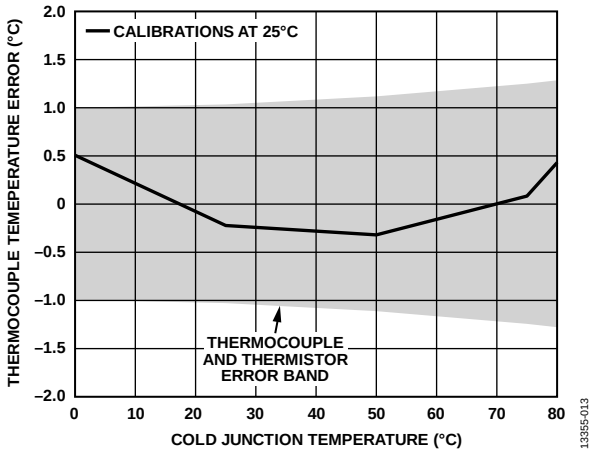


图13. T型热电偶测量(冷结扫描，热电偶保持环境温度)

压力

连接压力传感器后，执行噪声测试。噪声电平是模拟前端与板上其余电路交互所能影响的主要因素。因此，测试主要针对噪声以及相关的系统分辨率性能进行。

该演示配置为通过HART通信发送表示压力的数据，单位为kPa。捕获100个样本，完成基本数据分析以便量化性能。第一项测试是在连接标准压力传感器(Honeywell 24PCDFA6D)的情况下进行。第二项测试是在由短路输入产生输入信号的情况下进行。

执行测试时，传感器用一个电流源和一个电压激励。在电压模式下，AD7124-4配置如下：

- 功率模式：中功率模式
- 滤波器：后置滤波器，25 SPS
- 增益 = 16
- 极性：双极性
- 基准电压缓冲器使能
- 传感器连接到AIN4/AIN5通道
- 基准电压源：REFIN2，基准电压由压力传感器的检测电阻提供

在电流激励模式下，AD7124-4配置如下：

- 功率模式：中功率模式
- 滤波器：后置滤波器，25 SPS
- 激励电流：AIN6上的两个激励电流均使能并设置为100 µA，得到总计200 µA电流
- 增益 = 16
- 极性：双极性
- 基准电压缓冲器使能
- 传感器连接到AIN4/AIN5通道
- 基准电压源：REFIN1，5.6 kΩ基准电阻连接在REFIN1引脚上

性能总结见表2，图14至图17显示信号曲线图。

表2. 压力传感器：噪声和分辨率

	电压模式		电流模式		
参数	压力传感器	输入短路	压力传感器	输入短路	单位
满量程	391.47	391.47	438.45	438.45	kPa
均方根噪声	0.66	0.61	1.76	1.69	Pa
峰峰值噪声	3.5	3.2	11.1	9.8	Pa
有效(RMS)分辨率	19.2	19.3	17.9	18	位
无噪声(峰峰值)分辨率	16.8	16.9	15.3	15.4	位

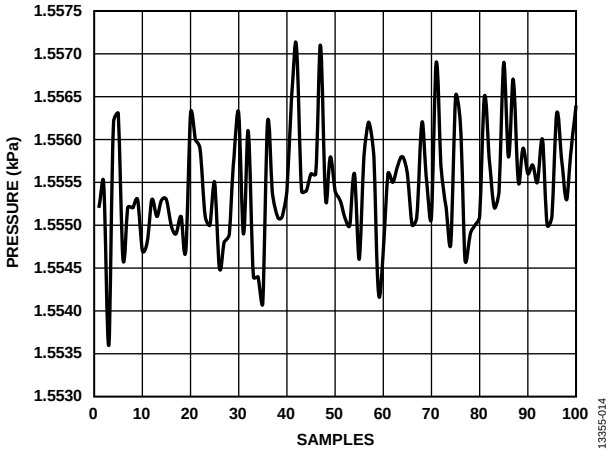


图14. 电压模式—压力传感器输入波形

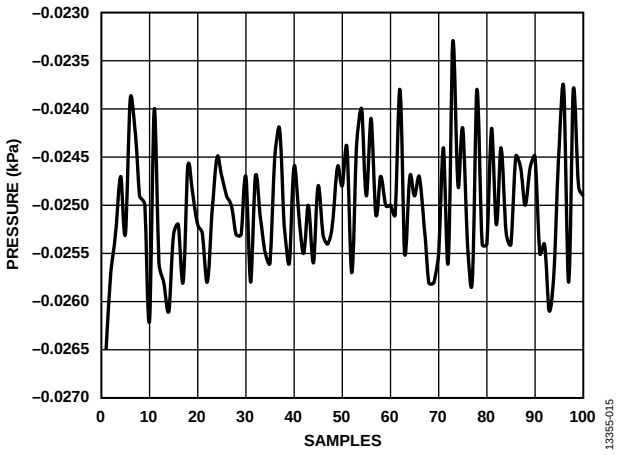


图15. 电压模式—输入短路波形

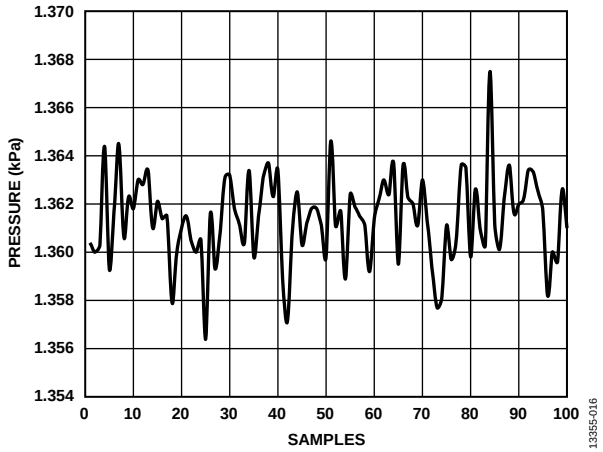


图16. 电流模式—压力传感器输入波形

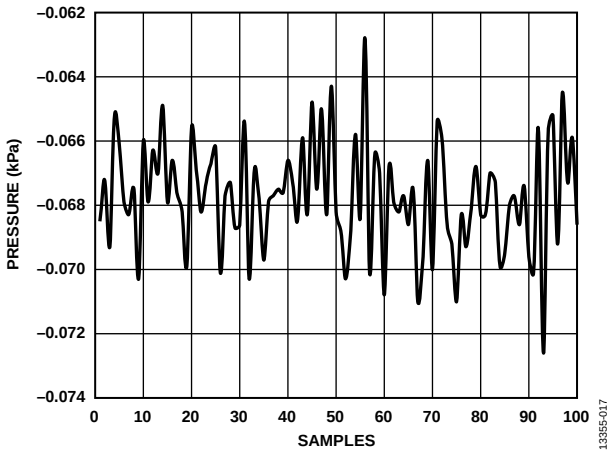


图17. 电流模式—输入短路波形

更多资料

CN-0382设计支持包：
www.analog.com/CN0382-DesignSupport

Matthew Duff和Joseph Towey，两种简单、精确、灵活的热电偶温度检测方法，Analog Dialogue 44-10，Analog Devices。

Mark Cantrell，AN-0971应用笔记，isoPower器件的辐射控制建议，Analog Devices。

Walt Kester，传感器信号调理第7章“温度传感器”，Analog Devices，1999年。

AN-615应用笔记，峰峰值分辨率与有效分辨率，Analog Devices。

AN-892应用笔记，温度测量原理及实用技术，Analog Devices。

AN-0970应用笔记，使用ADuC706x微控制器实现RTD接口和线性化，Analog Devices。

MS-2644技术文章，超低功耗开启高速隔离应用之门，Analog Devices。

MT-031指南，实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团，Analog Devices。

MT-101指南，去耦技术，Analog Devices。

电路笔记CN-0172，0.25°C精度的3通道热电偶温度测量系统，Analog Devices。

电路笔记CN-0206，漏电流小于500 µA的热电偶温度测量系统，Analog Devices。

Analog Devices.电路笔记CN-0209，适合过程控制应用的完全可编程通用模拟前端，Analog Devices。

电路笔记CN-0325，使用4引脚或6引脚端子板的PLC/DCS通用模拟输入，Analog Devices。

电路笔记CN-0376，适合PLC/DCS应用的通道间隔离温度输入(热电偶/RTD)，Analog Devices。

电路笔记CN-0381，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式4线RTD测量系统，Analog Devices。

电路笔记CN-0383，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式3线RTD测量系统，Analog Devices。

电路笔记CN-0384，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式热电偶测量系统，Analog Devices。

HART®通信基金会

数据手册和评估板

AD7124-4数据手册和评估板

AD5421数据手册和评估板

AD5700数据手册和评估板

ADG5433数据手册

ADuM1441数据手册

ADP162数据手册

修订历史

2015年7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.

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN13355sc-0-7/15(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0383。

连接/参考器件	
AD7124-4/ AD7124-8	集成PGA和基准电压源的4通道/8通道、低噪声、低功耗24位Σ-Δ型ADC
ADP1720	50 mA、高压、微功耗线性稳压器

采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式3线RTD测量系统

评估和设计支持

电路评估板

AD7124-4评估板(EVAL-AD7124-4SDZ)或AD7124-8评估板(EVAL-AD7124-8SDZ)

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所示电路是一个集成的3线式电阻温度检测器(RTD)系统，基于AD7124-4/AD7124-8低功耗、低噪声、24位Σ-Δ型模数转换器(ADC)，针对高精度测量应用而优化。采用两点校准和线性化，在−50°C至+200°C的温度范围内，3线系统的整体精度优于±1°C。在全功率模式、选择sinc⁴滤波器、输出数据速率为50 SPS的条件下，系统的典型无噪声码分辨率为17.9位；在低功耗模式、选择后置滤波器、输出数据速率为25 SPS的条件下，系统的典型无噪声码分辨率为16.8位。

AD7124-4可配置为4个差分或7个伪差分输入通道，而AD7124-8可配置为8个差分或15个伪差分输入通道。片内可编程增益阵列(PGA)确保ADC中可直接输入小信号。

AD7124-4/AD7124-8提供最高的信号链集成度，其中包括可编程低漂移激励电流源。片内集成了RTD测量系统需要的大部分构建模块，因而能够大大简化RTD系统设计。

AD7124-4/AD7124-8允许用户灵活地使用三种集成功耗模式中的一种，电流消耗、输出数据速率范围和均方根噪声与所选的功耗模式相对应。低功耗模式下，AD7124-4/AD7124-8的功耗仅255 µA，全功率模式下为930 µA。这些功耗选项使得该器件既适合功耗不重要的应用，如输入/输出模块，也适合低功耗应用，如环路供电智能变送器(整个变送器的功耗必须低于4 mA)。

该器件还具有关断选项。在关断模式下，整个ADC及其辅助功能均关断，器件的典型功耗降至1 µA。AD7124-4/AD7124-8还集成了丰富的诊断功能，作为全面特性组合的一部分。

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

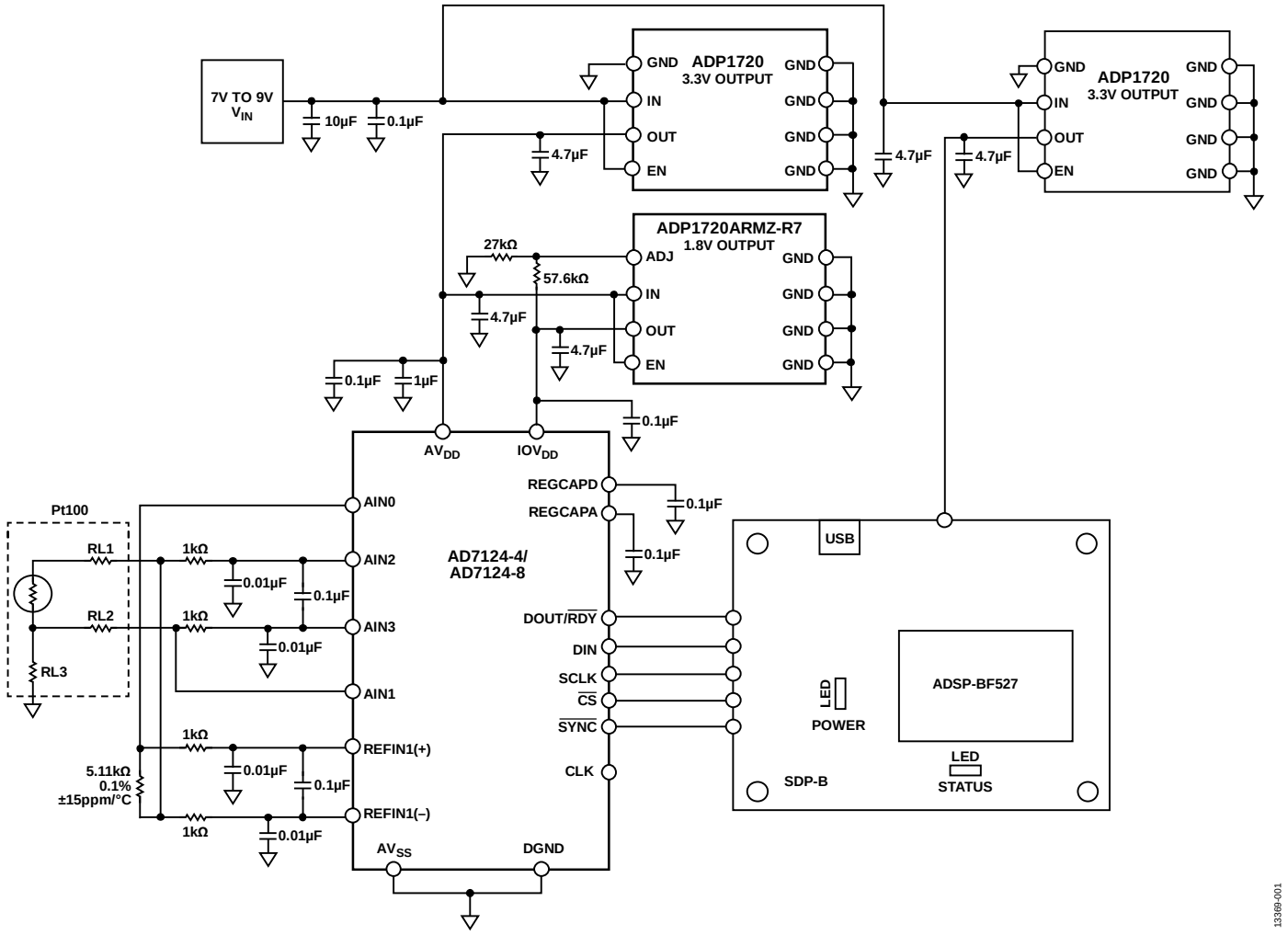


图1. 3线RTD测量配置

电路描述

RTD温度测量简介

RTD是工业应用中温度测量常用的传感器。RTD由纯金属(如铂、镍或铜)制成，其电阻随温度的变化是可预测的。最常用的RTD是铂Pt100和Pt1000。与其它类型的温度传感器相比，RTD具有高精度和良好的稳定性。长导线的电阻可利用3线连接来补偿。

为了精确测定电阻，须利用一个恒定电流源在RTD上产生一个电压。AD7124-4/AD7124-8提供两个这样的激励电流源，可通过寄存器编程将其设置为50 µA到1 mA的值。将测量值折合为精密参考电阻两端的电压(由同一个电流驱动)，即可轻易消除电流源中的误差，从而产生比例测量结果。

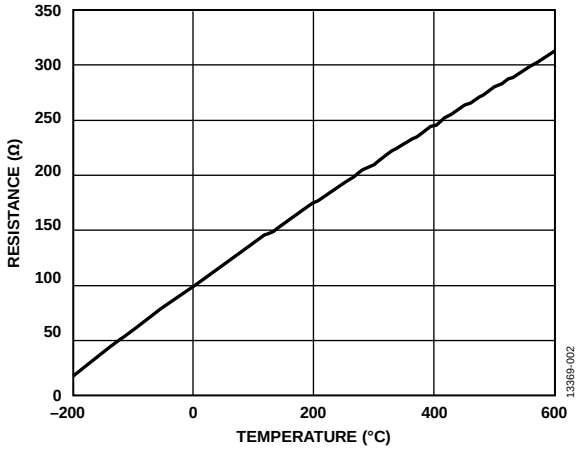


图2. RTD电阻与温度的关系

图1所示电路使用B类Pt100 RTD传感器。Pt100 RTD的温度测量范围是−200°C至+600°C。B类RTD在0°C时的电阻典型值为100 Ω，典型温度系数约为0.385 Ω/°C(参见图2)。利用此信息，根据所选的电流源很容易计算出Pt100 RTD两端产生的电压。

电路工作原理

AD7124-4/AD7124-8提供集成式RTD测量解决方案，可实现高分辨率、低非线性度误差和低噪声性能，以及极高的50 Hz/60 Hz抑制能力。AD7124-4/AD7124-8片内集成低噪声PGA，可放大RTD的小信号，增益编程范围为1到128，因而可以直接与传感器接口。增益级具有高输入阻抗，输入漏电流在全功率模式下不超过3.3 nA，在低功耗模式下为1 nA(典型值)。下面说明构成3线RTD温度测量系统的不同元件。

电源

AD7124-4/AD7124-8具有单独的模拟电源和数字电源。数字电源IOV_{DD}独立于模拟电源，可以为1.65 V至3.6 V范围内的值(以DGND为基准)。模拟电源AV_{DD}以AV_{SS}为基准，范围是2.7 V到3.6 V(中低功率模式)或2.9 V至3.6 V(全功率模式)。图1所示电路采用单电源供电，因此AV_{SS}与DGND相连，仅使用一个接地层。AV_{DD}和IOV_{DD}电压利用稳压器ADP1720分别产生。AV_{DD}电压设置为3.3 V，IOV_{DD}电压设置为1.8 V，采用ADP1720稳压器。使用单独的稳压器可确保噪声最低。

串行外设接口(SPI)

与AD7124-4/AD7124-8的SPI通信由EVAL-SDP-CB1Z板上的Blackfin® ADSP-BF527处理，如图1所示。为了访问AD7124-4/AD7124-8的寄存器，使用AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件。图3显示了该软件的主窗口。单击**3-WIRE RTD**(3线RTD)按钮以配置软件用于3线RTD测量。

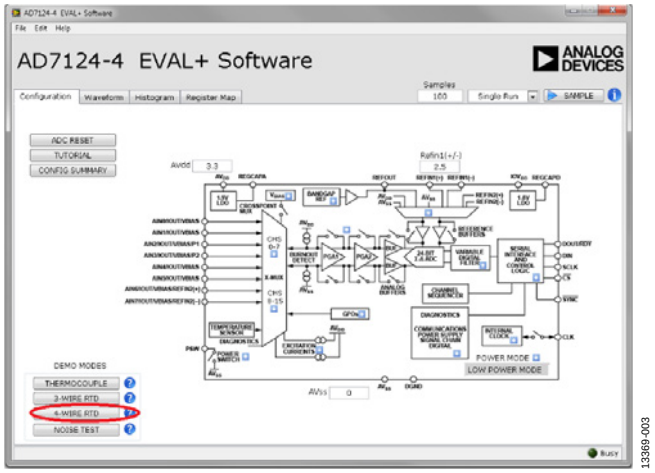


图3. AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件配置窗口

AD7124-4/AD7124-8的片内诊断功能可用来检测SPI通信故障。这些诊断包括检查SPI读写操作，确保仅访问有效寄存器。SCLK计数器确保使用正确数量的SCLK脉冲，而CRC功能检查传输期间位值有无变化。当任一SPI通信诊断功能使能且发生相关的错误时，错误寄存器中的对应标志就会置1。所有使能的标志进行或运算，以控制状态寄存器的ERR标志位。该功能在将状态位附加到ADC转换结果时特别有用。

模拟输入和基准电压源

AD7124-4可配置为4个差分或7个伪差分通道，而AD7124-8可配置为8个差分或15个伪差分通道。

AD7124-4/AD7124-8的片内诊断功能可用来检查模拟引脚上的电平是否在额定工作范围以内。正(AINP)和负(AINM)模拟输入可以单独检查是否发生过压和欠压，以及ADC是否饱和。当模拟输入上的电压超过AV_{DD}时，过压标志就会置1；当模拟输入上的电压低于AV_{SS}时，欠压标志就会置1。

图1所示电路利用4个模拟引脚实现3线测量：AIN0、AIN1、AIN2和AIN3。AIN2和AIN3配置为全差分输入通道，用于检测Pt100上的电压。用于激励RTD的激励电流源由AV_{DD}产生，并流向AIN0。一个相同的电流流向AIN1，并流经RL2引线电阻，从而产生一个电压，其抵消RL1引线电阻上的压降。图4详细显示了模拟引脚及其配置。

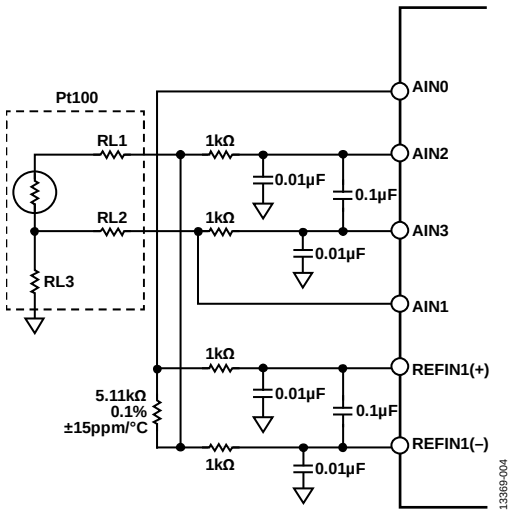


图4. 3线RTD测量的模拟输入

PGA使能时，模拟输入缓冲器自动使能。PGA允许输入引脚上的电压低至AV_{SS}，因此，模拟输入引脚不需要裕量电阻。基准电压缓冲器也使能。这些缓冲器需要裕量。基准电阻位于高端，其裕量要求得到满足，因而不需要其它裕量电阻。

对于图1所示电路，所用的基准输入为REFIN1(±)。流经Pt100的电流也会流过精密基准电阻，产生基准电压。此精密基准电阻上产生的电压与Pt100上的电压成比例，因此，激励电流波动所引起的误差会被消除。

数字和模拟滤波

差分滤波器(截止频率约为800 Hz)和共模滤波器(截止频率约为16 kHz)在模拟输入端和基准输入端实现。为了抑制调制器频率及其倍数处的干扰，必须使用这种滤波。

AD7124-4/AD7124-8在片内数字滤波方面拥有很大的灵活性。有多种滤波器选项可用，所选的滤波器会影响输出数据速率、建立时间和50 Hz/60 Hz抑制性能。对于此电路笔记，电路实现了sinc^{4}滤波器和后置滤波器。之所以使用sinc^{4}滤波器，是因为它在整个输出数据速率范围内具有出色的噪声性能，另外还有出色的50 Hz/60 Hz抑制性能。后置滤波器用于提供50 Hz和60 Hz同时抑制，建立时间为40 ms。

校准

AD7124-4/AD7124-8提供不同的校准模式，通过校准可消除失调和增益误差。对于本电路笔记，电路使用了内部零电平校准和内部满量程校准。注意，这些校准只能消除ADC增益和失调误差，而不能消除外部电路引起的增益和失调误差。

3线RTD配置

图1所示电路使用AD7124-4/AD7124-8进行精密3线RTD测量。3线RTD测量需要两个精密激励电流源，以便轻松消除RL1和RL2产生的引线电阻误差。注意，RL3引线电阻不会影响测量精度。对于图1所示3线RTD配置，基准电阻放在RTD的高端。对于此设置，一个激励电流流经基准电阻和RTD；另一个电流流经引线电阻RL2，其产生的电压抵消RL1上的压降。由于仅利用一个激励电流来产生基准电压REFIN1±和RTD上的电压，因此，该电流源的精度、失配和失配漂移对ADC传递函数的影响极小。

激励电流在Pt100 RTD上产生一个低电平电压。此低电平电压由AD7124-4/AD7124-8的片上PGA放大，然后通过24位Σ-Δ ADC转换为精密数字信号。对于此3线RTD配置，两个激励电流均设置为500 μA。对于最高600°C的RTD温度，采用500 μA激励电流时，RTD上产生的电压约为156.85 mV。

为确保使用AD7124-4/AD7124-8的最大范围，PGA增益设置为16，其将RTD传感器最大输出电压放大到2.5096 V。为确保此3线电路实现真正的比率式配置，ADC的基准电压利用外部精密电阻产生，所用的激励电流与Pt100情况相同。使用这种配置意味着，激励电流值的任何波动都会反映在Pt100和基准电阻上，因而不会改变系统的精度。

使用500 μA激励电流和ADC的放大电压，基准电阻值为：

$$V_{RTD\,MAX}/I_{EXC} = 2.51\ V/500\ \mu A = 5020\ \Omega$$

因此，选择5.11 kΩ电阻，其产生的基准电压为：

$$V_{REF} = R_{REF} \times I_{EXC} = 5.11\ k\Omega \times 500\ \mu A = 2.555\ V$$

利用AD7124-4/AD7124-8进行3线RTD测量时，还必须考虑激励电流源的输出顺从电压。输出顺从电压取决于所选的激励电流。本电路选择500 μA，其输出顺从电压为AV_{DD} − 0.37 V。本电路的AV_{DD}电源电压为3.3 V，因此，激励电流源的输出顺从电压必须低于2.93 V。从上述计算可知，电路满足这一要求，因为AIN0引脚的最大电压等于精密基准电阻上的电压加上RTD上的电压：

$$V_{REF} + V_{RTD} = 2.555\ V + 156.85\ mV = 2.71185\ V$$

针对3线RTD测量的AD7124-4/AD7124-8配置如下：

- 差分输入： AINP = AIN2，AINM = AIN3
- 激励电流： IOUT0 = AIN0 = 500 μA
- 激励电流： IOUT1 = AIN1 = 500 μA
- 增益 = 16
- 5.11 kΩ精密基准电阻
- 数字滤波(sinc^{4}和后置滤波器)

当ADC工作在双极性模式时，计算RTD电阻(R)的通用表达式如下所示：

$$R_{RTD} = \frac{(CODE - 2^{N-1}) \times R_{REF}}{G \times 2^{N-1}} \quad (1)$$

其中：

*CODE*为ADC码。

*N*为ADC的分辨率(本电路为24)。

R_{REF}为基准电阻。

*G*为所选增益。

根据B类RTD的规格，电阻变化约为0.385 Ω/°C。可利用此关系快速获得RTD的近似温度。由于RTD的温度系数在整

个温度范围内略有变化，因此上述方法不够精确，但可以利用它来快速检查温度。

使用公式2计算近似温度，RTD电阻在0°C时为100 Ω。

$$Temperature\ (°C) = \frac{R_{RTD} - 100}{0.385} \quad (2)$$

RTD传递函数即所谓Callender-Van Dusen公式，它由两个不同的多项式公式组成。公式3用于0°C以上的温度，公式4用于0°C以下的温度。

温度t ≤ 0°C时，公式为：

$$R_{RTD}(t) = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100°C)t^3] \quad (3)$$

温度t ≥ 0°C时，公式为：

$$R_{RTD}(t) = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (4)$$

其中：

t为RTD温度(°C)。

$R_{RTD}(t)$为RTD在温度(t)时的电阻(Ω)。

R_0为0°C时的RTD电阻(本例中R_0 = 100 Ω)。

$A = 3.9083 \times 10^{-3}$。

$B = -5.775 \times 10^{-7}$。

$C = -4.23225 \times 10^{-12}$。

结合公式3和公式4给出的传递函数，有多种方法可以确定作为RTD电阻函数的温度值。本电路笔记选择直接数学方法，因为其精度高。根据公式3可得出以下温度计算公式：

$$T_{RTD}\ (°C) = \frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B\left(1 - \frac{r}{R_0}\right)}}{2B} \quad (5)$$

其中r为RTD电阻，其它变量的定义如上所述。

此方法能够很好地处理大于或等于0°C的温度。计算0°C以下的RTD温度需要使用最佳拟合多项式表达式。本电路笔记使用的多项式为五阶多项式，如公式6所示。

$$T_{RTD}\ (°C) = -242.02 + 2.2228 \times r + (2.5859 \times 10^{-3})r^2 - (48260 \times 10^{-6})r^3 - (2.8183 \times 10^{-3})r^4 + (1.5243 \times 10^{-10})r^5 \quad (6)$$

举例来说，温度设置为25°C时，若从AD7124-4/AD7124-8读出的代码为11270065，则利用公式1将其转换为电阻值：

$$R_{RTD} = \frac{(11270065 - 2^{23}) \times R_{REF}}{G \times 2^{23}} = 109.704\ \Omega$$

利用公式5进行线性化，得出温度为24.921°C。

再举一例，温度设置为−25°C时，若从AD7124-4/AD7124-8读出的代码为10757779，则将其转换为电阻值：

$$R_{RTD} = \frac{(10757779 - 2^{23}) \times R_{REF}}{G \times 2^{23}} = 90.200\ \Omega$$

利用公式6进行线性化，得出温度为−24.982°C。

3线RTD测量和结果

对于图1所示电路，我们采集了AD7124-4/AD7124-8在不同数字滤波器和功耗模式配置下获得的数据，sinc⁴滤波器用于全功率模式，后置滤波器用于低功耗模式。

若选择sinc⁴滤波器、全功率模式和50 SPS输出数据速率的配置，则AD7124-4/AD7124-8可以最佳的速度和噪声性能工作。图5显示了室温下3线RTD按图1所示连接时的噪声分布。对应的均方根噪声典型值为199.37 nV rms，相当于约17.9位无噪声分辨率。选择相同的滤波器、增益和输出数据速率，但输入短路时，AD7124-4/AD7124-8的噪声性能典型值为100 nV rms，相当于18.7位无噪声分辨率。噪声的增加直接来自输入通道(AIN2、AIN3)上连接的RTD。

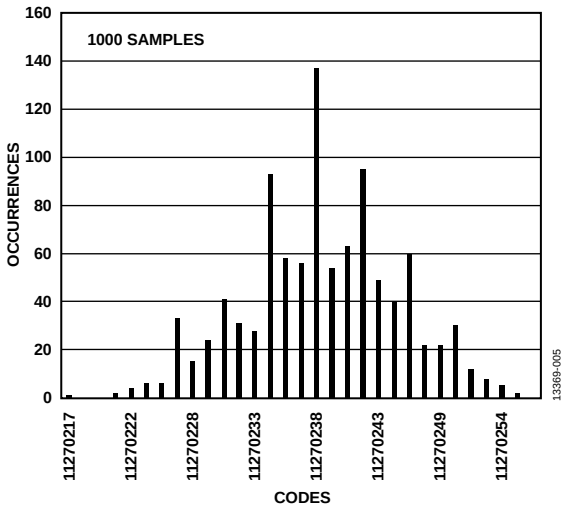


图5. 室温、Sinc⁴滤波器、全功率模式、50 SPS时的RTD码直方图

对于选择sinc⁴滤波器和全功率模式的3线RTD配置，将RTD温度从−50°C扫描至+200°C。对于每个温度，按照上述方法利用AD7124-4/AD7124-8测量RTD上的相应电压。然后将此电压转换为电阻，按照“3线RTD配置”部分所述进行线性化并转换为温度。图6显示了设定温度与线性化后RTD实测系统温度之间的误差。对于每个RTD温度设置，AD7124-4/AD7124-8保持25°C。如图6所示，RTD实测温度的误差在Pt100 B类RTD的误差窗口内。图6还显示了RTD误

差在不同AD7124-4/AD7124-8温度设置下的偏差。对于AD7124-4/AD7124-8的每个温度设置，执行内部零电平校准和满量程校准。如图6所示，对于AD7124-4/AD7124-8的所有温度设置，RTD误差在B类RTD的预期误差范围内。

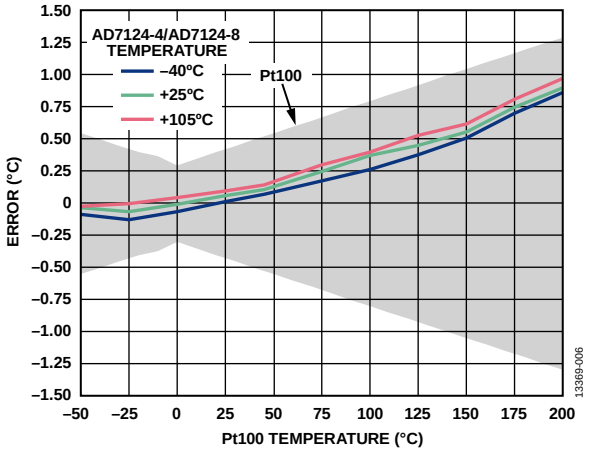


图6. 温度精度测量(Sinc⁴滤波器、全功率模式、50 SPS)

图7显示了在25°C执行一次性内部零电平和满量程校准后的RTD实测温度误差。该图显示，在25°C执行一次性校准与在各温度设置执行校准，AD7124-4/AD7124-8表现出相似的性能。

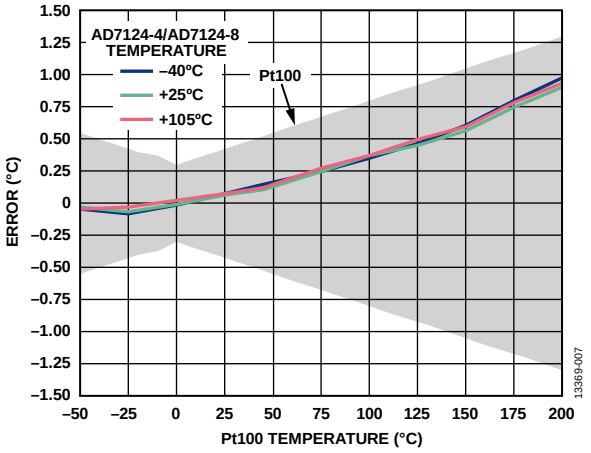


图7. 温度精度测量(Sinc⁴滤波器、全功率模式、50 SPS，仅执行25°C一次性校准)

测试的第二种AD7124-4/AD7124-8配置是低功耗模式，选择后置滤波器和25 SPS输出数据速率。25 SPS滤波器提供50 Hz和60 Hz同时抑制，并且允许用户用建立时间换取电源抑制性能。图8显示了室温下3线RTD按图1所示连接时的噪声分布。对应的均方根噪声典型值为774 nV rms，相当于约16.8位无噪声分辨率。使用相同的滤波器、增益、功耗模式和输出数据速率，但输入短路时，AD7124-4/AD7124-8的噪声性能典型值为360 nV rms，相当于17.3位无噪声分辨率。两次测量的噪声增加直接来自输入通道(AIN2、AIN3)上的RTD连接。

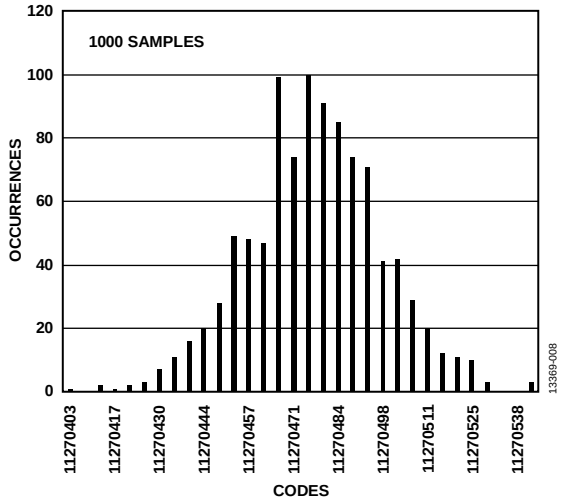


图8. 室温、后置滤波器、低功耗模式、25 SPS时的RTD码直方图

对于选择后置滤波器和低功耗模式的AD7124-4/AD7124-8配置，将RTD温度从−50°C扫描至+200°C。对于每个设定的RTD温度，按照上述方法利用AD7124-4/AD7124-8测量RTD上的相应电压。然后将此电压转换为电阻，按照“3线RTD配置”部分所述进行线性化并转换为温度。图9显示了设定温度与线性化后RTD实测温度之间的误差。对于每个RTD温度设置，AD7124-4/AD7124-8保持25°C。如图9所示，RTD实测温度的误差在Pt100 B类RTD的误差窗口内。图9还显示了RTD误差在不同AD7124-4/AD7124-8温度设置下的偏差。对于AD7124-4/AD7124-8的每个温度设置，执行内部零电平校准和满量程校准。图9显示，对于AD7124-4/AD7124-8的所有温度设置，RTD误差在B类RTD的预期误差范围内。

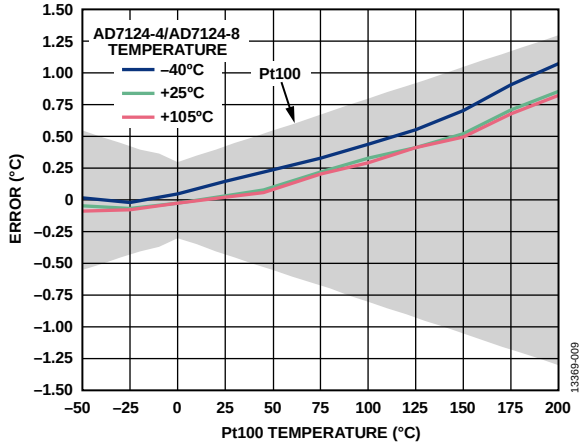


图9. 温度精度测量(后置滤波器、低功耗模式、25 SPS)

图10显示了在25°C执行一次性内部零电平和满量程校准后的RTD实测温度误差。该图显示，在25°C执行一次性校准与在各温度设置执行校准，AD7124-4/AD7124-8表现出相似的性能。

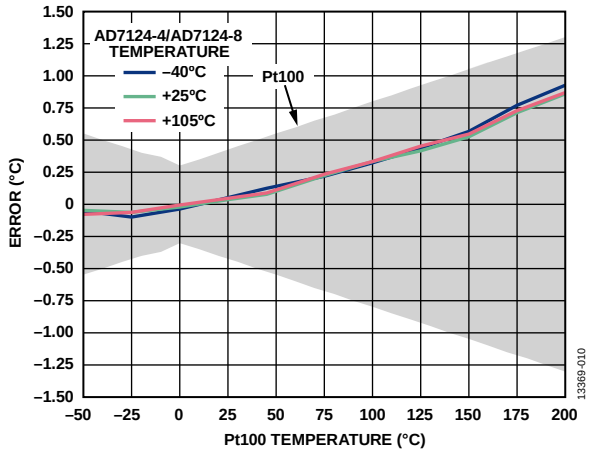


图10. 温度精度测量(后置滤波器、低功耗模式、25 SPS，仅执行25°C一次性校准)

常见变化

电流源失配和失配漂移

在图1所示电路中，精密基准电阻放置于高端。高端配置非常适合采用单个RTD的系统。使用多个RTD时，将精密电阻放在低端更好，因为仅需要一个基准电阻。基准电阻放在低端时，需要更高的激励电流匹配度。有两种技术可用来降低电流失配引起的误差：

- 激励电流斩波
- 通过测量激励电流来校准

激励电流斩波

利用AD7124-4/AD7124-8的交叉点多路复用器，很容易实现斩波配置。图11显示3线RTD配置的5.11 kΩ精密基准电阻连接到Pt100 RTD的低端。对于这种配置，必须考虑所用的电流源和增益。IOUT0和IOUT1均设置为250 µA。选择此电流可确保电路符合电流源的输出顺从要求，以及精密电阻上产生的基准电压要求。为确保利用ADC的全部范围，PGA增益设置为32。基准电阻低端需要一个电阻，因为基准电压缓冲器已使能且需要裕量(100 mV)。

为了对电流进行斩波，当IOUT0连接到AIN0且IOUT1连接到AIN1时，对RTD电压进行测量，如图11所示。交换电流后，即IOUT1连接到AIN0，IOUT1连接到AIN1时，再次测量RTD上的电压。然后利用这两次测量的平均值计算RTD电阻，再利用公式1到公式6计算温度。斩波方法可大大降低激励电流失配和失配漂移的影响。然而，由于需要两次测量，对吞吐速率会有影响。

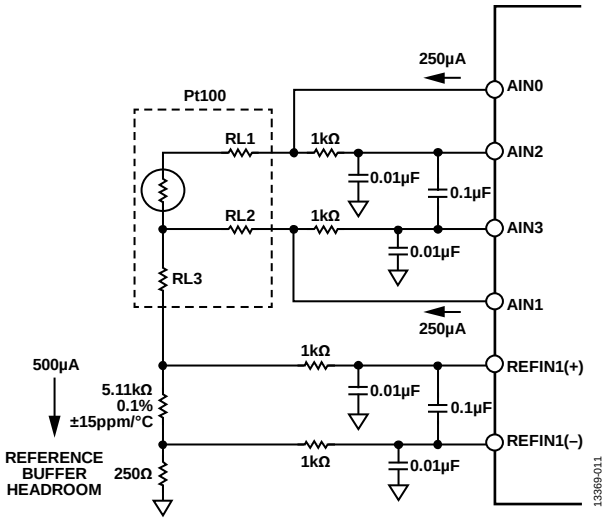


图11. AD7124-4/AD7124-8的3线RTD测量配置，采用电流斩波测量技术

收集采用激励电流斩波方法测得的数据，并记录对应的Pt100温度误差，如图12所示。在AD7124-4/AD7124-8的不同环境温度下，对于所有测量的RTD温度，温度误差都在Pt100 RTD的误差带内。这些结果表明，激励电流斩波所得到的结果可与高端精密基准电阻配置所获得的数据相比拟。

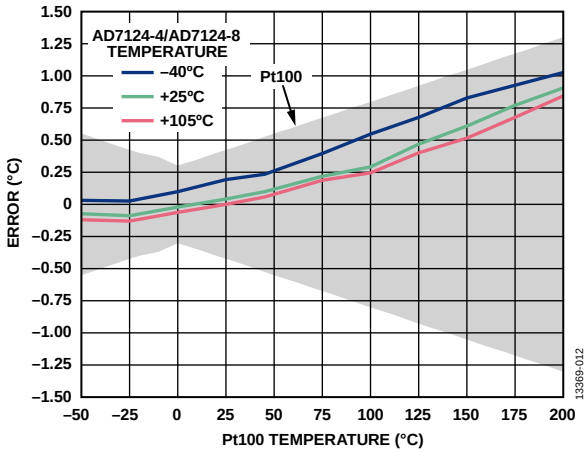


图12. 斩波配置温度精度测量(Sinc⁴滤波器、全功率模式、各温度下校准)

通过测量激励电流来校准

通过测量激励电流来校准3线系统的配置如图13所示。对于此配置，精密基准电阻连接到RTD的低端。该配置与电流斩波所用的配置相似，两个电流均设为250 µA，PGA增

益设为32，但主要区别在于需要一个附加差分输入通道。该附加输入通道用于测量两个激励电流。测量方法如下：分别使能各激励电流，相对于内部基准电压测量精密基准电阻上的压降。然后根据精密基准电阻值，将测得的电压转换为电流，并计算电流之比，用以校准失配。

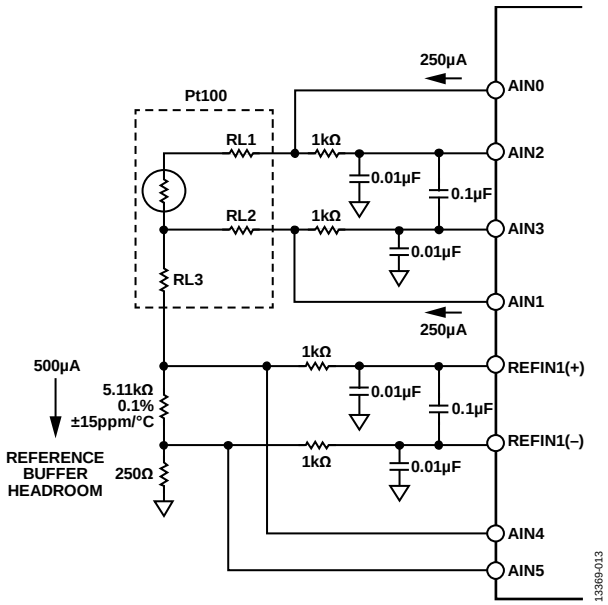


图13. AD7124-4/AD7124-8的3线RTD测量配置，通过测量激励电流来校准

图14显示了RTD测量的校准温度误差。结果表明，RTD误差在RTD的预期误差带内，测量误差接近RTD本身的误差曲线。为确保结果精确，必须定期校准电流。

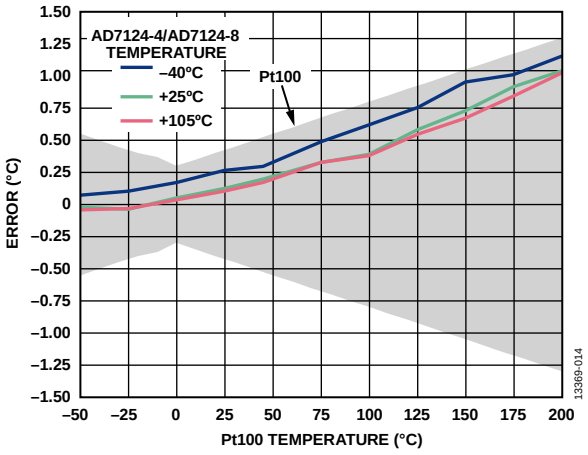


图14. 用于激励电流校准的温度精度测量 (Sinc⁴滤波器、全功率模式、各温度下校准)

引线电阻补偿

对于3线RTD测量，引线电阻补偿的精度取决于各引线的电阻是否相等(即RL1 = RL2)。RL3上的压降不影响RTD元件上测得的电压，因此，RL3不会给本电路笔记所述电路的测量带来误差。

24 AWG铜线的标称电阻为每英尺0.026 Ω。50英尺长具有1.3 Ω引线电阻。假设补偿和激励电流完全匹配，10%的引线电阻匹配误差将在RTD测量中产生0.13 Ω误差。RTD温度系数约为0.385 Ω/°C，因此，0.13 Ω引线电阻失配测量误差相当于约(0.13 Ω) ÷ (0.385 Ω/°C) = 0.337°C误差。故而，对于精密3线测量，必须精确知道连接电缆的匹配特性。

假设引线电阻完全匹配，激励电流(IOUT0和IOUT1)失配产生的误差与总引线电阻成比例。例如，0.5%的激励电流失配(AD7124-4/AD7124-8的典型规格)将在RTD电阻测量中产生0.5%误差。Pt100 RTD电阻标称温度系数为0.385 Ω/°C，相当于2.6°C/Ω的温度变化。0.5%的电阻测量误差产生的RTD测量误差为0.005 × 2.6°C/Ω = 0.013°C/Ω。对于10 Ω的引线电阻(约400英尺24 AWG铜线)，电流失配引起的误差仅为0.13°C。

上面的讨论说明，在大多数实际应用中，引线电阻失配引起的误差远大于0.5%的激励电流失配所致误差。如上所述，激励电流的失配误差可通过斩波模式或测量各激励电流来降至最小。

电路评估与测试

设备要求

3线RTD测量系统需要如下设备：

- EVAL–AD7124-4SDZ或EVAL-AD7124-8SDZ评估板
- EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)
- AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件
- 电源：7 V或9 V壁式电源适配器
- B类Pt100 3线RTD
- 运行Windows® XP (SP2)、Windows Vista或Windows 7(32位或64位)的PC

软件安装

AD7124-4/AD7124-8和SDP板的完整软件用户指南参见EVAL-AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ用户指南和SDP用户指南。

软件需要与硬件接口。此软件可从ftp://ftp.analog.com/pub/evalcd/AD7124下载。如果安装文件未自动运行，请双击**setup.exe**文件。请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

完成评估软件安装后，将SDP板(通过连接器A)连接到EVAL-AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ，然后利用附送的电缆将SDP板连接到PC的USB端口。检测到评估系统后，确认出现的所有对话框，完成安装。

设置与测试

图15所示为3线RTD配置的测试设置功能框图。

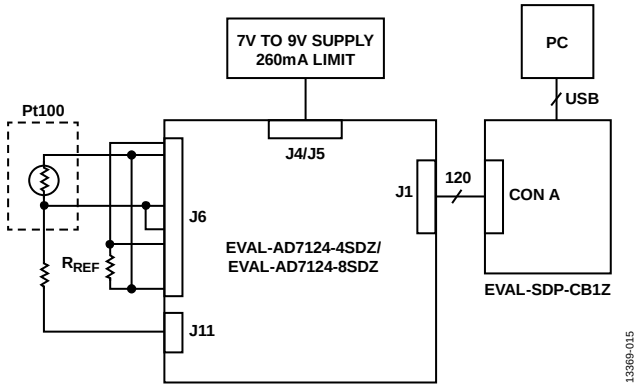


图15. 测试设置功能框图

测试该电路需要EVAL-AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ评估板。此外还需要下列传感器和电阻以确保电路正常工作：

- B类3线Pt100 RTD
- 5.11 kΩ精密电阻
- 用于缓冲器裕量的250 Ω电阻(本配置不需要，但若在增益为1时使用Pt1000 RTD，则可能需要)

配置硬件，请执行如下步骤：

- 将EVAL-AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ评估板上的所有链接设为默认位置，如EVAL-AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ用户指南所述。
- 利用连接到J5的7 V或9 V电源为评估板上电。
- 连接RTD、精密基准电阻和裕量电阻，如图16所示。

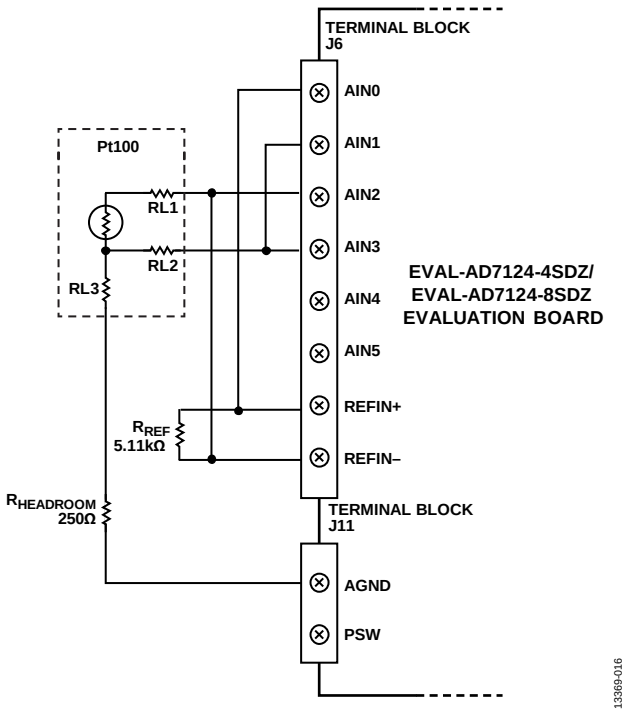


图16. 用于3线RTD测量的EVAL-AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ评估板

运行AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件。图17所示为软件主窗口的截图。

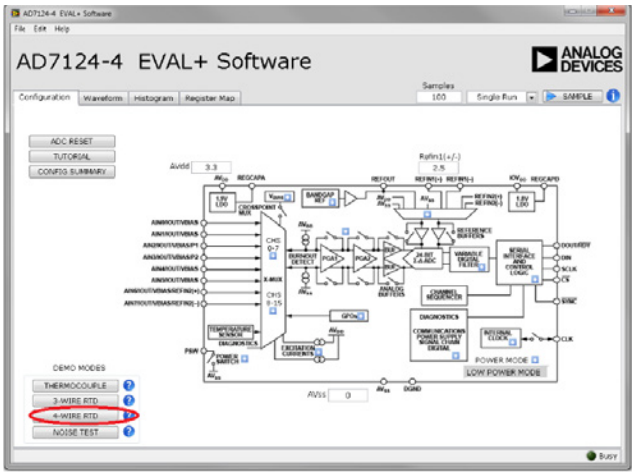


图17. AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件主窗口

为了配置AD7124-4/AD7124-8进行3线RTD测量，单击**3-WIRE RTD**(3线RTD)演示模式按钮(参见图17)。单击此按钮配置ADC软件以获得最佳性能。一些寄存器设置如下：

1. Channel_0
   a. AINP_0 = AIN2
   b. AINM_0 = AIN3
   c. Setup0
   d. Enabled = TRUE
2. Setup_0
   a. PGA_0 = 16
   b. AIN_BUFP、AIN_BUFM均为ENABLED
   c. BIPOLAR = ENABLED
   d. FS_0 = 384
   e. FILTER_MODE_0 = SINC4
3. ADC_Control
   a. MODE = Continuous Conversion
   b. POWER_MODE = FULL
4. IO_CONTROL_1
   a. IOUT0 Channel Enable = AIN0
   b. IOUT0 Select = 500 µA
   c. IOUT1 Channel Enable = AIN1
   d. IOUT1 Select = 500 µA

AD7124-4/AD7124-8的内部满量程和零电平校准。将AD7124-4/AD7124-8配置为3线RTD测量之前，还需要一项额外的设置：此校准可通过**Register Map**(**寄存器映射**)选项卡执行，如图18所示。

1. 从寄存器树中选择**ADC_Control**寄存器。
2. 选择**Low Power**(**低功耗**)模式。
3. 执行内部满量程校准。
   a. 单击ADC控制寄存器的**Mode**(**模式**)位域。
   b. 在**Mode**位域中，选择内部满量程校准选项。
   c. 选择寄存器树中的**Gain0**寄存器，检查校准是否已执行，并且系数是否改变。
4. 执行内部零电平校准。
   a. 单击ADC控制寄存器的**Mode**(**模式**)位域。
   b. 在**Mode**位域中，选择内部零电平校准选项。
   c. 选择寄存器树中的**Offset0**寄存器，检查校准是否已执行，并且系数是否改变。
5. 校准完成后，将功耗模式改变为所需的工作模式，并从**ADC_Control**寄存器的**Mode**位域下拉框选择**Continuous**(**连续**)，以确保将ADC设置为连续转换模式。

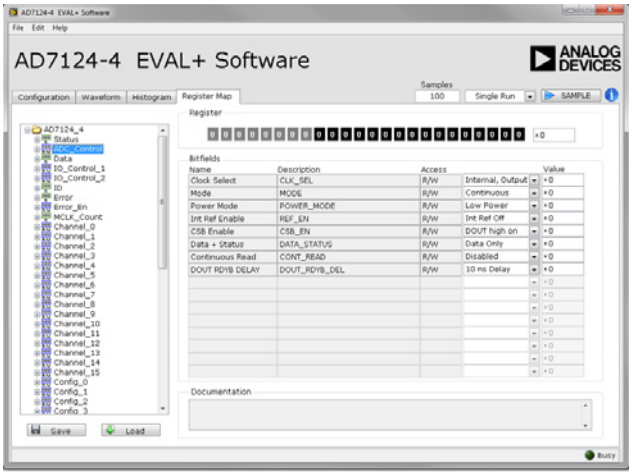


图18. 寄存器映射内部满量程和零电平校准

现在，评估板和器件已完成3线RTD测量配置。单击**SAMPLE**(**采样**)以启动AD7124-4/AD7124-8采样。**Waveform**(**波形**)和**Histogram**(**直方图**)选项卡显示从AD7124-4/AD7124-8采集到的数据。

更多资料

CN-0383设计支持包：
www.analog.com/CN0383-DesignSupport

SDP用户指南

EVAL-AD7124-4用户指南(UG-855)

EVAL-AD7124-8用户指南(UG-856)

AN-892应用笔记，温度测量原理及实用技术，Analog Devices

Walt Kester，《传感器信号调理》第7章“温度传感器”，Analog Devices，1999年

Mary McCarthy，应用笔记AN-615，峰峰值分辨率与有效分辨率，Analog Devices

MT-031指南，实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团，Analog Devices

MT-101指南，去耦技术，Analog Devices

电路笔记CN-0376，适合PLC/DCS应用的通道间隔离温度输入(热电偶/RTD)，Analog Devices

电路笔记CN-0381，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式4线RTD测量系统，Analog Devices

电路笔记CN-0382，超低功耗工业温度和压力、4 mA至20mA/HART变送器，Analog Devices

电路笔记CN-0384，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式热电偶测量系统，Analog Devices

数据手册和评估板

EVAL-AD7124-4SDZ

EVAL-AD7124-8SDZ

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD7124-4数据手册

AD7124-8数据手册

ADP1720数据手册

修订历史

2015年7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.

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN13369sc-0-7/15(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

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/CN0384。

连接/参考器件	
AD7124-4/ AD7124-8	集成PGA和基准电压源的4通道/8通道、低噪声、低功耗24位Σ-Δ型ADC
ADP1720	50 mA、高压、微功耗线性稳压器

采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式热电偶测量系统

评估和设计支持

电路评估板

AD7124-4评估板(EVAL-AD7124-4SDZ)或AD7124-8评估板(EVAL-AD7124-8SDZ)

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所示电路是一个集成的热电偶测量系统，基于AD7124-4/AD7124-8低功耗、低噪声、24位Σ-Δ型模数转换器(ADC)，针对高精度测量应用而优化。使用该系统的热电偶测量在−50°C至+200°C的测量温度范围内具有±1°C的整体系统精度。系统的典型无噪声码分辨率约为15位。

AD7124-4可配置为4个差分或7个伪差分输入通道，而AD7124-8可配置为8个差分或15个伪差分输入通道。片内低噪声可编程增益阵列(PGA)确保ADC中可直接输入小信号。

AD7124-4/AD7124-8提供最高的信号链集成度，其中包括可编程低漂移激励电流源、偏置电压发生器和内部基准电压源。片内集成了系统需要的大部分构建模块，因而能够简化热电偶系统设计。

AD7124-4/AD7124-8允许用户灵活地使用三种集成功耗模式中的一种，电流消耗、输出数据速率范围和均方根噪声与所选的功耗模式相对应。低功耗模式下，AD7124-4/AD7124-8的功耗仅255 μA，全功率模式下为930 μA。这些功耗选项使得该器件既适合功耗不重要的应用，如输入/输出模块，也适合低功耗应用，如环路供电智能变送器(整个变送器的功耗必须低于4 mA)。

该器件还具有关断选项。在关断模式下，整个ADC及其辅助功能均关断，器件的典型功耗降至1 μA。AD7124-4/AD7124-8还集成了丰富的诊断功能，作为全面特性组合的一部分。

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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com.cn
Fax: 781.461.3113
©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

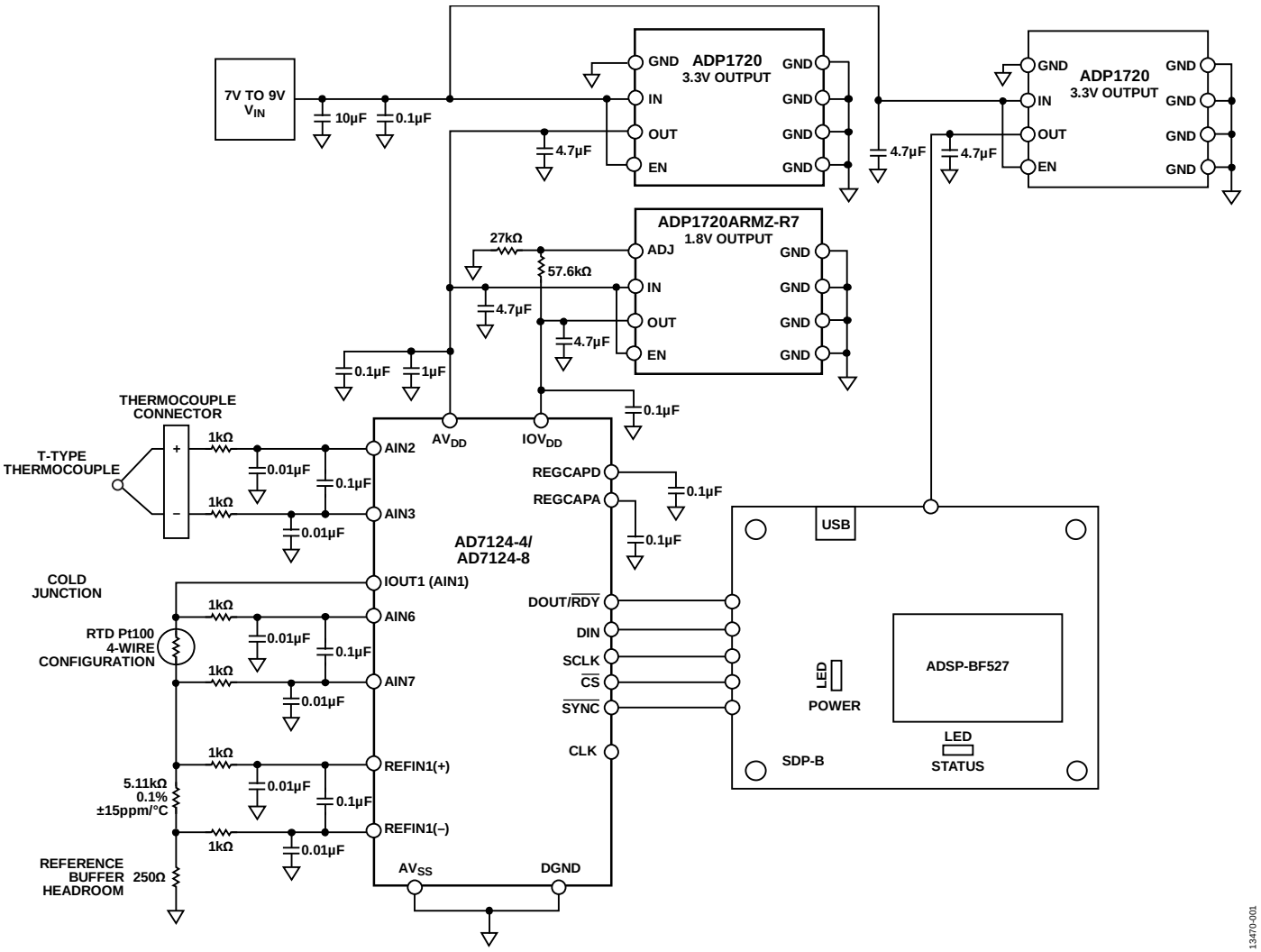


图1. AD7124-4/AD7124-8热电偶测量配置，包括RTD冷结补偿

电路描述

温度测量简介

热电偶是工业应用中最常用的温度测量传感器之一，其成本低，坚固耐用，可重复性好，并具有很宽的工作温度范围和快速响应时间。热电偶特别适合高温测量(C型热电偶最高可测量2300°C的温度)。

热电偶由两条不同金属线连接而成，如图2所示。

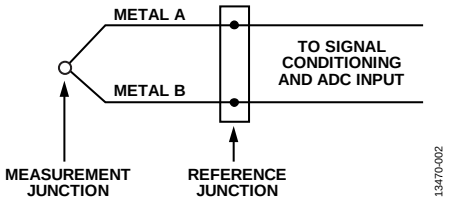


图2. 包括测量结和参考结的热电偶连接

一端放置在需要进行温度测量的地方，称为测量结。热电偶的另一端连接精密电压测量单元，该连接称为参考结，或者称为冷结。测量结和冷结之间的温差产生一个电压，其值与两个结点之间的温差成比例。该温差产生的信号通常为数微伏至数十毫伏不等，具体取决于温度差值。图1所示电路采用T型热电偶。T型热电偶可测量−200°C至+400°C的温度，输出范围约−8.6 mV至+17.2 mV。对于信号链而言，重要的是对热电偶保持较高的阻抗和较低的漏电流，以便实现最高精度。

T型热电偶的灵敏度约为40 µV/°C。因此，利用AD7124-4/AD7124-8的集成PGA，可以轻松检测热电偶的小电压并将

其精确转换为数字信号。在一个较小范围(0°C至60°C)内，热电偶响应接近线性，如图3所示。为了在宽温度范围内实现精确测量，必须对实测值应用线性化处理，确保获得准确的温度值。

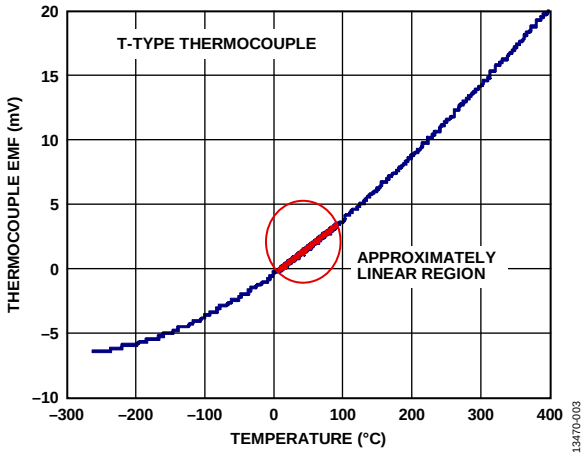


图3. T型热电偶输出电压与温度的关系

T型热电偶由铜和康铜连接而成。其它金属组合形成范围和灵敏度不同的其它类型热电偶。例如，J型热电偶由铁和康铜连接而成，测量范围为0°C至760°C，灵敏度为55 µV/°C。K型热电偶由铬镍和铝镍连接而成，测量范围为−200°C至+1260°C，灵敏度为39 µV/°C。

冷结补偿(CJC)

必须将热电偶产生的电压转换为温度。将测得的电压转换为精确的温度是很困难的，因为热电偶电压很小，温度与电压不是线性关系，而且还必须准确测量冷结温度。

热电偶输出电压代表热电偶与冷结的温差。为确保从热电偶获得精确的绝对温度读数，必须知道冷结温度。冷结温度使用另一种温度敏感器件来测量，一般为热敏电阻、二极管、RTD(电阻温度检测器)或半导体温度传感器。本电路使用的温度检测器件为一个4线RTD。冷结温度误差直接产生绝对温度误差，因此需要对冷结温度进行高精度测量。测量并补偿冷结温度的技术称为冷结补偿或CJC。

电路工作原理

AD7124-4/AD7124-8提供集成式热电偶测量解决方案，可实现高分辨率、低非线性度误差和低噪声性能，以及极高的50 Hz/60 Hz抑制能力。该器件片内集成低噪声PGA，可放大热电偶的小信号，增益编程范围为1到128，因而可以直接与传感器接口。增益级具有高输入阻抗，输入漏电流在全功率模式下不超过3.3 nA，在低功耗模式下为1 nA(典型值)。下面说明基于AD7124-4/AD7124-8开发热电偶温度测量系统所用的不同元件。

电源

AD7124-4/AD7124-8具有单独的模拟电源和数字电源。数字电源IOV_{DD}独立于模拟电源，可以为1.65 V至3.6 V范围内的值(以DGND为基准)。模拟电源AV_{DD}以AV_{SS}为基准，范围是2.7 V到3.6 V(低功耗模式和中功率模式)或2.9 V至3.6 V(全功率模式)。图1所示电路采用单电源供电，因此AV_{SS}与DGND相连，仅使用一个接地层。AV_{DD}和IOV_{DD}电压利用低压差稳压器ADP1720分别产生。AV_{DD}电压设置为3.3 V，IOV_{DD}电压设置为1.8 V，采用ADP1720稳压器。使用单独的稳压器可确保噪声最低。

串行外设接口(SPI)

与AD7124-4/AD7124-8的SPI通信由EVAL-SDP-CB1Z板上的Blackfin® ADSP-BF527处理，如图1所示。为了访问AD7124-4/AD7124-8的寄存器，使用AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件。图4显示了该软件的主窗口。单击**THERMOCOUPLE(热电偶)**以配置软件用于T型热电偶测量。

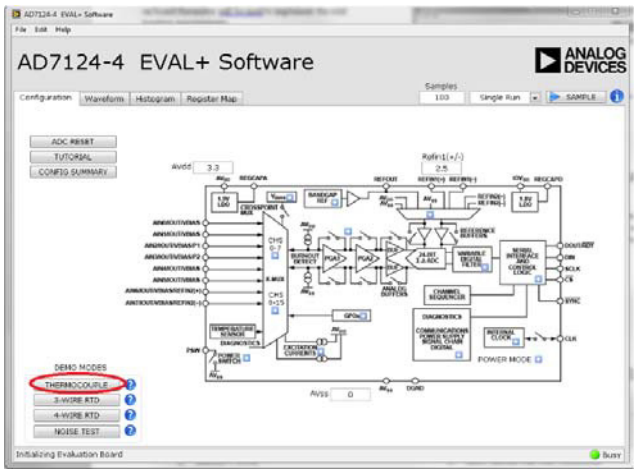


图4. AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件配置窗口

AD7124-4/AD7124-8的片内诊断功能可用来检测SPI通信故障。这些诊断包括检查SPI读写操作，确保仅访问有效寄存器。SCLK计数器确保使用正确数量的SCLK脉冲，而CRC功能检查传输期间位值有无变化。当任一SPI通信诊断功能使能且发生相关的错误时，错误寄存器中的对应标志就会置1。所有使能的标志进行“或”运算，以控制状态寄存器的ERR标志位。该功能在将状态位附加到ADC转换结果时特别有用。

模拟输入

AD7124-4可配置为4个差分或7个伪差分输入通道，而AD7124-8可配置为8个差分或15个伪差分输入通道。

AD7124-4/AD7124-8的片内诊断功能可用来检查模拟引脚上的电平是否在额定工作范围以内。正(AINP)和负(AINM)模拟输入可以单独检查是否发生过压和欠压，以及ADC是否饱和。当模拟输入上的电压超过AV_{DD}时，过压标志就会置1；当模拟输入上的电压低于AV_{SS}时，欠压标志就会置1。

对于图1所示电路，使用两个模拟输入引脚来连接热电偶(AIN2、AIN3)，需要三个模拟引脚来进行冷结补偿(AIN1、AIN6、AIN7)。AIN2和AIN3配置为全差分输入通道，用于测量热电偶产生的电压。对于本电路，如图1所示，热电偶是浮空的。要将热电偶偏置到已知电平，AIN2上使能V_{BIAS}电压发生器，使热电偶偏置到以下值：

$$V_{BIAS} = AV_{SS} + \left(\frac{AV_{DD} - AV_{SS}}{2}\right)$$

热电偶测量是绝对测量，因而需要一个基准电压源，使用AD7124-4/AD7124-8内置2.5 V基准电压源。

针对冷结补偿，一个激励电流源用于激励RTD。此电流从AV_{DD}产生，流向AIN1。图5详细显示了模拟引脚及其配置。

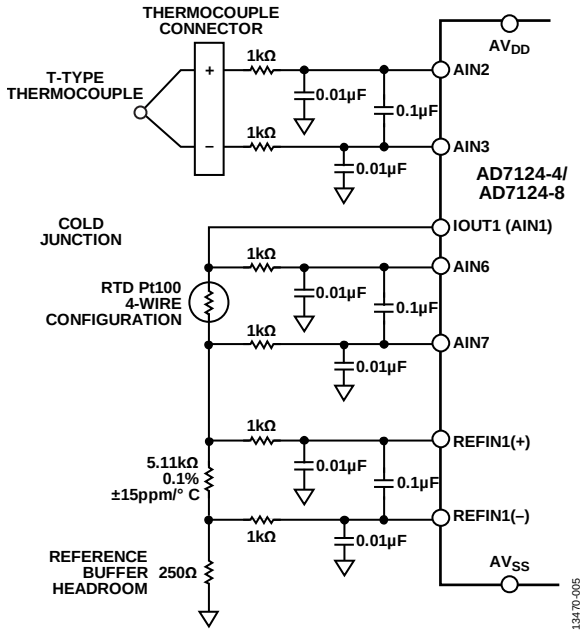


图5. 热电偶测量的模拟输入配置，采用4线RTD进行冷结补偿

对于本电路，冷结电路采用基准输入REFIN1(±)。流经4线RTD(用于冷结测量)的电流也会流过精密基准电阻，产生基准电压。此精密基准电阻上产生的电压与RTD上的电压成比例，因此，激励电流的波动会被消除。由于基准电压缓冲器已使能，务必满足正常工作所需的裕量(AV_{DD} – 0.1 V和AV_{SS} + 0.1 V)。0.125 V (500 µA × 250 Ω)的裕量由250 Ω接地电阻提供，如图5所示。

数字和模拟滤波

差分滤波器(截止频率约为800 Hz)和共模滤波器(截止频率约为16 kHz)在模拟输入端和基准输入端实现。为了抑制调制器频率及其倍数处的干扰，必须使用这种滤波。

AD7124-4/AD7124-8在片内数字滤波方面拥有很大的灵活性。有多种滤波器选项可用，所选的滤波器会影响输出数据速率、建立时间和50 Hz/60 Hz抑制性能。对于此电路笔记，电路实现了$sinc^4$滤波器和后置滤波器。之所以使用$sinc^4$滤波器，是因为它在整个输出数据速率范围内具有出色的噪声性能，另外还有出色的50 Hz/60 Hz抑制性能。后置滤波器用于提供50 Hz和60 Hz同时抑制，建立时间为40 ms。

校准

AD7124-4/AD7124-8提供不同的校准模式，通过校准可消除失调和增益误差。对于本电路笔记，电路使用了内部零电平校准和内部满量程校准。

热电偶配置

图1所示电路使用AD7124-4/AD7124-8进行精密T型热电偶测量。热电偶测量要求冷结补偿。如图1所示，一个4线Pt100 RTD用于此目的。采用图1所示配置，作为冷结补偿测量的一部分，需要一个精密激励电流源来激励RTD。该RTD连接到模拟输入AIN6、AIN7。RTD的底端连接到一个精密基准电阻，后置将一个外部基准电压施加于器件。该精密基准电阻连接在基准输入引脚REFIN1(±)之间。此配置代表一个比率式配置，激励电流的任何偏差都会同时作用于RTD和基准电阻，因而不会出现在测量结果中。

热电偶本身连接到模拟输入AIN2、AIN3。其中一个输入利用ADC的内部偏置电压发生器偏置。热电偶电压在−8 mV到+17.2 mV范围内，代表的温度范围为−200°C至+400°C。此低电平电压由AD7124-4/AD7124-8的片上PGA放大，然后通过24位Σ-Δ ADC转换为精密数字信号。为确保利用ADC的全部范围，PGA增益设置为128。此热电偶测量相对于内部低漂移2.5 V基准电压源执行。

一个4线Pt100 B类RTD用于冷结测量。Pt100 RTD的激励电流设置为500 μA。

选择适当的外部精密电阻值，使RTD上产生的最大电压等于基准电压除以所选增益。电路笔记CN-0381详细讨论了下列必需步骤：

- 选择精密基准电阻
- 为RTD测量选择适当的PGA增益
- 裕量电阻选择
- 激励电流输出顺从电压

针对热电偶测量的AD7124-4/AD7124-8全系统配置如下：

- 热电偶测量(T型)
  - 差分输入(AINP = AIN2，AINM = AIN3)
  - 增益 = 128
  - 2.5 V内部基准电压源
  - 数字滤波(sinc^{4}和后置滤波器)
- 冷结补偿测量(4线RTD)
  - 差分输入(AINP = AIN6，AINM = AIN7)
  - 激励电流：IOUT1 = AIN1= 500 μA
  - 增益 = 16
  - 5.11 kΩ精密基准电阻
  - 数字滤波(sinc^{4}和后置滤波器)

热电偶温度计算

实现上述程序之后，下一步便是解决热电偶和冷结计算。线性化和补偿可使用不同的方法，包括：

- 查找表：需要存储器来存储，但也提供快速、准确的计算。
- 软件线性近似法：只需存储转换多项式系数，不需要其它存储器。需要处理时间来求解多阶多项式。但是，它也能产生非常精确的结果。这是本电路采用的方法。

软件线性近似法需要两个输入：热电偶上测得的电压和冷结温度。

模拟输入通道(AIN2、AIN3)用于测量热电偶上的电压。公式1用于将代码转换为电压，它假设ADC为双极性配置。AD7124-4/AD7124-8软件根据所实现的配置自动将代码转换为电压。

$$V_{TC} = \frac{(CODE_{TC} - 2^{N-1}) \times V_{REF}}{2^{N-1} \times Gain} \quad (1)$$

其中：

V_{TC}为热电偶(TC)电压。

$CODE_{TC}$为热电偶(TC)代码。

N为ADC的分辨率(24位)。

V_{REF}为测量所用的基准电压。对于本电路，内部基准电压用于热电偶测量。

$Gain$为针对TC模式选择的增益(128)。

用于冷结的4线RTD需要自行线性化。当ADC工作在双极性模式时，计算RTD电阻(R)的通用表达式如下所示：

$$R_{RTD} = \frac{(CODE - 2^{N-1}) \times R_{REF}}{G \times 2^{N-1}} \quad (2)$$

其中：

R_{RTD}为RTD的电阻。

$CODE$为ADC码。

N为ADC的分辨率(24位)。

R_{REF}为基准电阻。

G为所选增益(16)。

将RTD电压转换为温度以及线性化所涉及到的步骤参见电路笔记CN-0381。

计算热电偶温度需要下列步骤：

- 将冷结温度转换为电压
- 计算热电电压
- 将热电电压转换为温度表示。冷结温度必须转换为电压。

冷结温度利用国家标准技术研究院(NIST)提供的多项式进行转换，如公式3所示。

$$V_{CJ} = a_0 + a_1T + a_2T^2 + \ldots + a_nT^n \quad (3)$$

其中：

V_{CJ}为热电电压。

a_x为与热电偶类型相关的多项式系数。

T为冷结温度(°C)。

n为多项式阶数。

增加多项式的阶数可提高冷结温度转电压的转换精度。然而，阶数越高，所需的处理越多。因此，执行此转换时需要权衡。本电路的计算采用八阶多项式。

冷结温度电压必须加到热电偶上测得的差分电压上。最终电压是热电偶温度检测结点产生的热电电压近似值。

然后便可利用该热电电压计算热电偶整体温度。这一步涉及到公式4给出的幂级数多项式。本电路采用六阶多项式，T型热电偶的多项式系数从NIST网站获得。

$$T = a_0 + a_1V + a_2V^2 + a_3V^3 + \ldots + a_nV^n \quad (4)$$

其中：

V为热电电压(μV)。

a_x为与热电偶类型相关的多项式系数。

T为温度(°C)。

n为多项式阶数。

热电偶测量和结果

对于图1所示电路，我们收集了AD7124-4/AD7124-8在不同数字滤波器和功耗模式配置下的数据。

第一种配置是采用sinc⁴滤波器、全功耗模式和50 SPS的输出数据速率。在这些条件下，AD7124-4/AD7124-8具有最佳的速度和噪声性能。图6显示了室温下热电偶按图1所示连接在AIN2、AIN3输入通道之间时的噪声分布。对应的均方根噪声典型值为70 nV，相当于约16.4位无噪声分辨率。在相同条件下，输入短路时AD7124-4/AD7124-8的噪声性能典型值为48 nV rms，相当于17位无噪声分辨率。噪声的增加直接来自输入通道(AIN2、AIN3)上连接的热电偶。

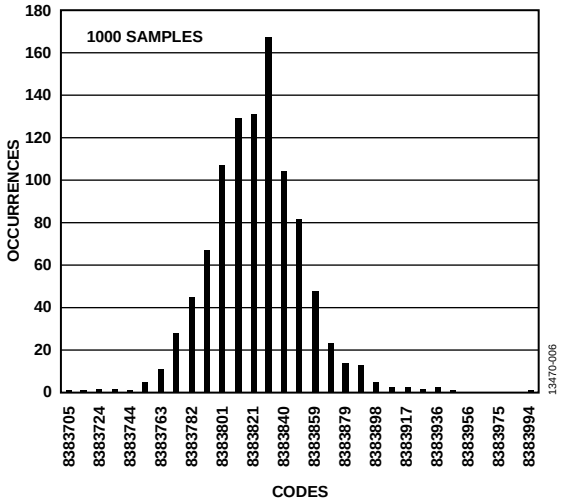


图6. 室温、Sinc⁴滤波器、全功率模式、50 SPS时的热电偶码直方图

对于选择sinc⁴滤波器和全功率模式的热电偶配置，将热电偶温度从−50°C扫描至+200°C，而冷结保持在−40°C、+25°C和+105°C。对于每个设定的热电偶温度，按照上述方法利用AD7124-4/AD7124-8测量热电偶上的相应电压。另外还记录了使用4线RTD测得的冷结温度。利用热电偶电压和冷结温度的电压表示来计算热电偶的温度。图7显示了冷结温度为−40°C、+25°C和+105°C时，设定温度值与线性化后热电偶实测温度之间的误差。在每个冷结温度执行内部零电平和满量程校准。如图7所示，计算得到的温度与热电偶设定温度之间的误差在T型热电偶和Pt100 RTD的均方根合并误差窗口内。T型热电偶的最大误差为1°C或0.75%；根据IEC751标准，Pt100误差为±(0.3 + 0.005 × |T|)。

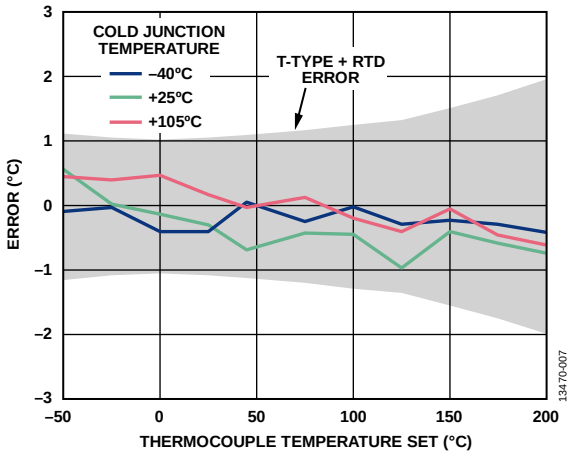


图7. 热电偶温度精度测量(Sinc⁴滤波器、全功率模式、50 SPS)

测试的第二种配置采用后置滤波器、低功耗模式和25 SPS输出数据速率，其提供50 Hz和60 Hz同时抑制，并且允许用户用建立时间换取抑制性能。图8显示了室温下热电偶按图1所示连接在AIN2、AIN3输入通道之间时的噪声分布。对应的均方根噪声典型值为220 nV rms，相当于约14.7位无噪声分辨率。选择相同的滤波器、增益和输出数据速率，但输入短路时，AD7124-4/AD7124-8的噪声性能典型值为170 nV rms，相当于15.1位无噪声分辨率。噪声的增加直接来自输入通道(AIN2、AIN3)上连接的热电偶。

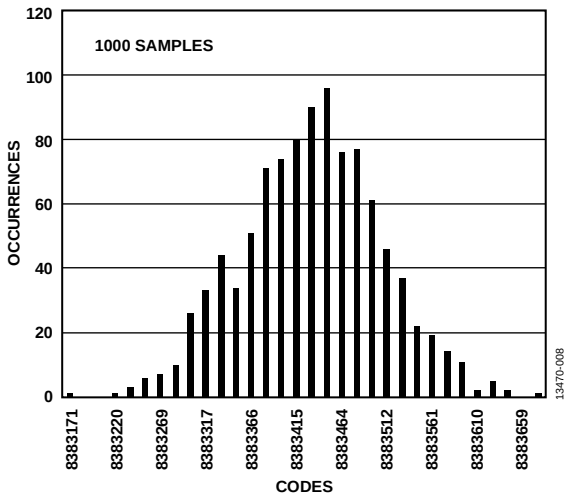


图8. 室温、后置滤波器、低功耗模式、25 SPS时的热电偶和冷结温度的码直方图

对于选择后置滤波器和低功耗模式的AD7124-4/AD7124-8配置，将RTD温度从−50°C扫描至+200°C。对于每个设定的热电偶温度，按照上述方法利用AD7124-4/AD7124-8测量热电偶上的相应电压。另外还记录了使用4线RTD测得的冷结温度。利用热电偶电压和冷结温度的电压表示来计算热电偶的温度。

图9显示了冷结温度为−40°C、+25°C和+105°C时，设定温度与线性化后热电偶实测温度之间的误差。如图9所示，计算得到的温度与热电偶设定温度之间的误差在T型热电偶和Pt100 RTD的均方根合并误差窗口内。T型热电偶的最大误差为1°C或0.75%；根据IEC751标准，Pt100误差为±(0.3 + 0.005 × |T|)。

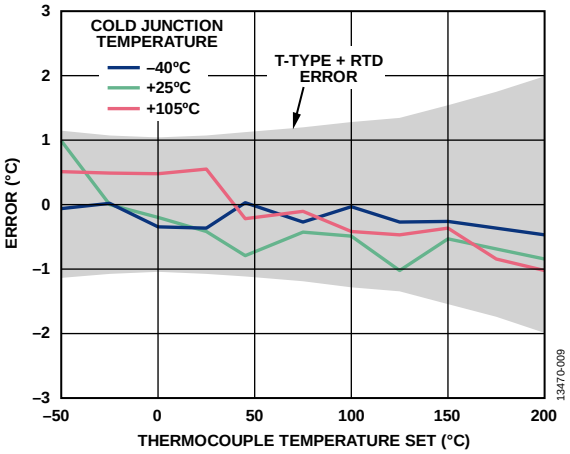


图9. 热电偶温度精度测量(后置滤波器、低功耗模式、25 SPS)

常见变化

冷结测量替代方法

EVAL–AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ评估板上有一个热敏电阻，其是评估板整体设计的一部分。该热敏电阻为KTY81/110型，+25°C时典型电阻值为1 kΩ，−40°C时为500 Ω，+105°C时为1.7 kΩ。该热敏电阻可用于测量冷结温度。热敏电阻比4线RTD便宜，但精度不如后者。采用热敏电阻测量冷结温度时，务必确保冷结测量符合预期。下列步骤列出了需要考虑的一些决策：

1. 选择精密基准电阻值。
2. 选择适当的增益。
3. 选择激励电流。
4. 检查激励电流的输出电压顺从范围。
5. 检查不同冷结温度下的热敏电阻值。

考虑所有这些步骤，当利用此热敏电阻测量冷结温度时，整个温度测量系统要求进行如下寄存器配置：

- 热电偶测量设置如上所示(T型)
  - 差分输入(AINP = AIN2，AINM = AIN3)
  - 增益 = 128
  - 2.5 V内部基准电压源
  - 数字滤波(sinc⁴和后置滤波器)
- 冷结补偿测量(热敏电阻)
  - 差分输入(AINP = AIN4，AINM = AIN5)
  - 激励电流：
  - 增益 = 1
  - 2 kΩ精密基准电阻(热敏电阻值在500 Ω(−40°C时)到1.7 kΩ(+105°C)之间变化；还需要利用此电阻评估裕量)

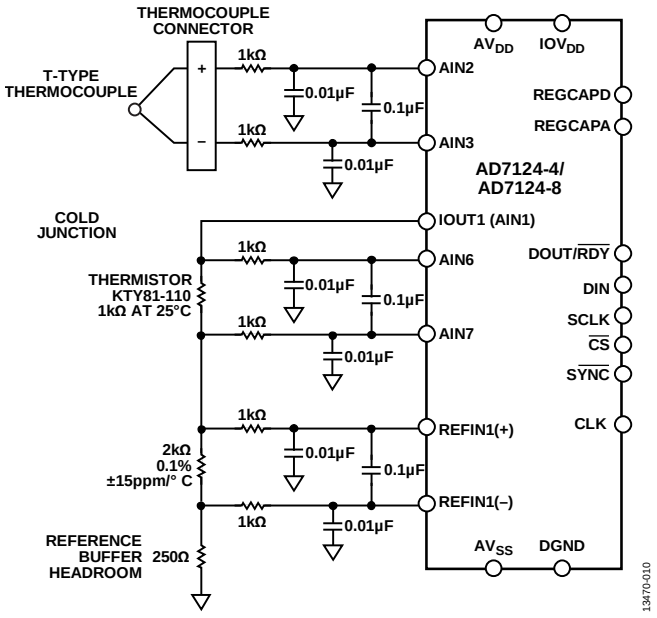


图10. 热电偶测量的热敏电阻冷结配置

使用图10所示的配置，AD7124-4/AD7124-8的基准电压始终在1 V左右(基于500 µA电流和2 kΩ精密基准电阻)。热敏电阻用于冷结补偿时，记录系统的性能，冷结保持在25°C，热电偶温度从−50°C扫描到+200°C。使用全功率模式的sinc⁴滤波器和低功耗模式的后置滤波器。图11显示了记录到的热电偶设定温度与计算温度(利用线性化技术，两类滤波器和两种功耗模式下)之间的最大误差。记录到的最大误差为±1°C。

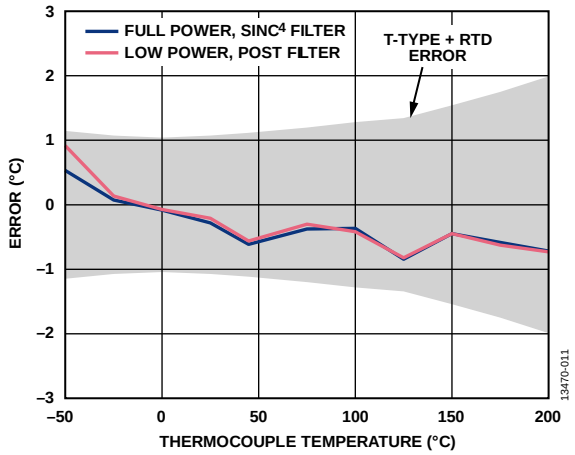


图11. 热电偶温度精度测量，利用热敏电阻进行冷结补偿(25°C)

偏置电压

图1中，内部V_{BIAS}电压通过AINP或AINM引脚提供给热电偶。当利用图1所示元件值实现抗混叠滤波器时，这种V_{BIAS}电压配置能够很好地工作。如果滤波器使用非常大的R值和C值(例如用于EMC滤波器)，V_{BIAS}必须从单独的专用引脚获得，然后从外部施加于热电偶。这样可以消除潜在共模噪声(可转换为差模噪声)引起的测量误差。

多热电偶测量系统

AD7124-4和AD7124-8可用于多热电偶测量。热电偶测量要求

- 两个模拟引脚配置为差分形式以测量热电偶上的电压
- 两个模拟引脚配置为差分形式以测量冷结端子上的电压
- 一个模拟引脚将激励电流导向冷结补偿电路

利用此信息，AD7124-4允许连接两个热电偶并相对于同一冷结进行测量，如图12所示。AD7124-8允许六个热电偶相对于同一冷结进行测量，如图13所示。

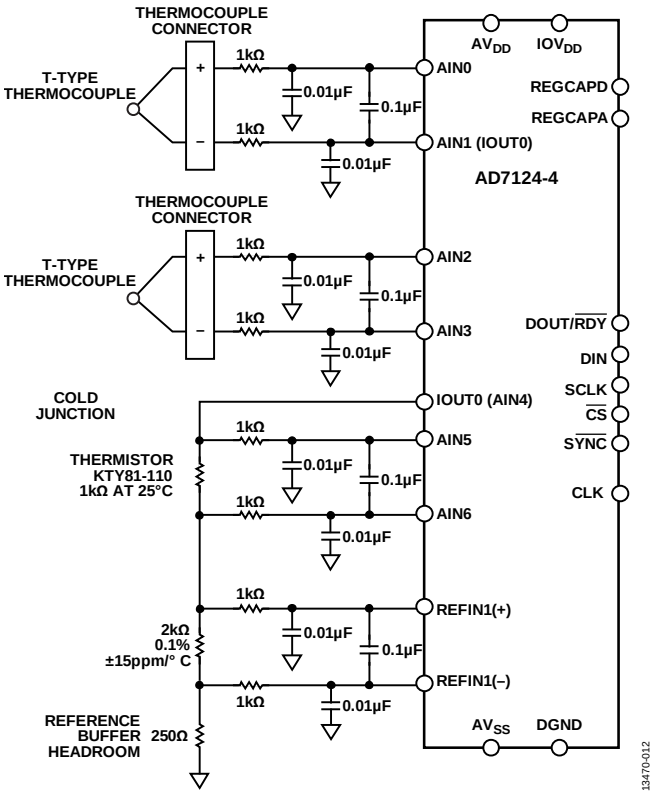


图12. AD7124-4—二热电偶测量系统，包括冷结补偿

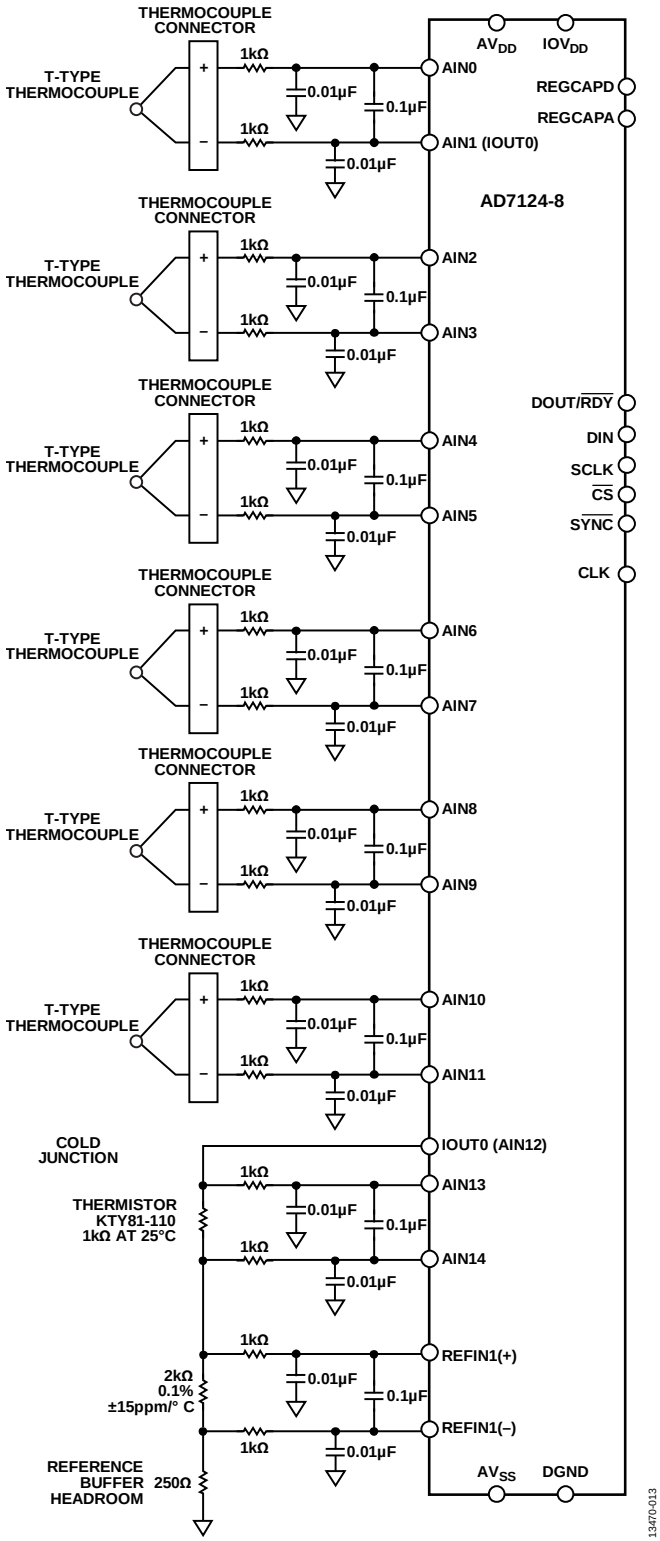


图13. AD7124-8—六热电偶测量系统，包括冷结补偿

电路评估与测试

设备要求

热电偶测量系统需要如下设备：

- EVAL–AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ评估板
- EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)
- AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件
- 电源：7 V或9V壁式电源适配器
- T型热电偶
- 运行Windows® XP (SP2)、Windows Vista或Windows 7(32位或64位)的PC

软件安装

EVAL–AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ和SDP板的完整软件用户指南分别参见EVAL–AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ用户指南和SDP用户指南。

需要软件来与硬件接口，此软件可从ftp://ftp.analog.com/pub/evalcd/AD7124下载。如果安装文件未自动运行，请双击**setup.exe**文件。请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

完成评估软件安装后，将SDP板(通过连接器A)连接到评估板，然后利用附送的电缆将评估板连接到PC的USB端口。检测到评估系统后，确认出现的所有对话框，完成安装。

设置与测试

图14所示为测试设置的功能框图。为了快速设置热电偶测量，使用板上热敏电阻来实现冷结测量。

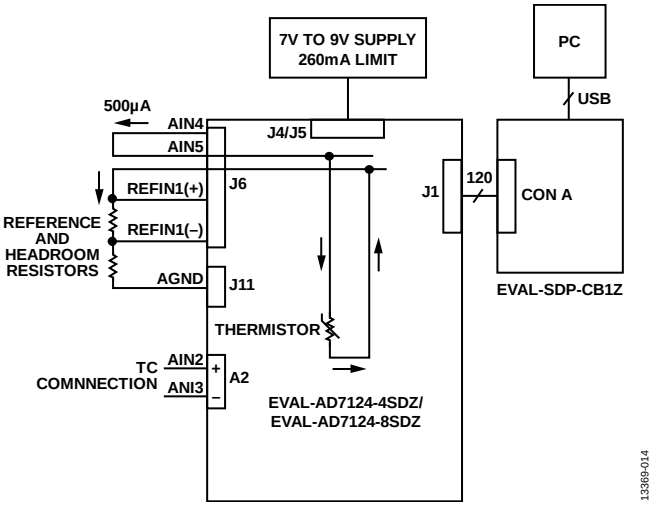


图14. 测试设置功能框图

测试该电路需要EVAL–AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ评估板。此外还需要下列传感器和电阻以确保电路正常工作：

- T型热电偶
- 2 kΩ精密电阻
- 缓冲器裕量所需的250 Ω电阻

配置硬件

按照下述步骤配置硬件：

- 将EVAL–AD7124-4SDZ/EVAL-AD7124-8SDZ评估板上的所有链接设为默认位置，如评估板用户指南所述。
- 利用连接到J5的7 V或9 V电源为评估板上电。
- 连接热电偶、精密基准电阻和裕量电阻，如图15所示。

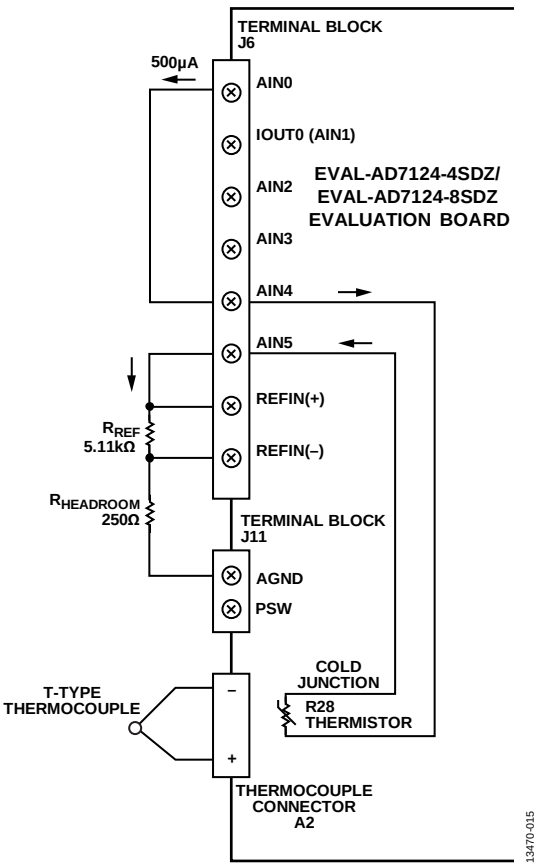


图15. 用于热电偶测量的评估板连接器

配置软件

运行AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件。图16显示了该软件的主窗口截图。

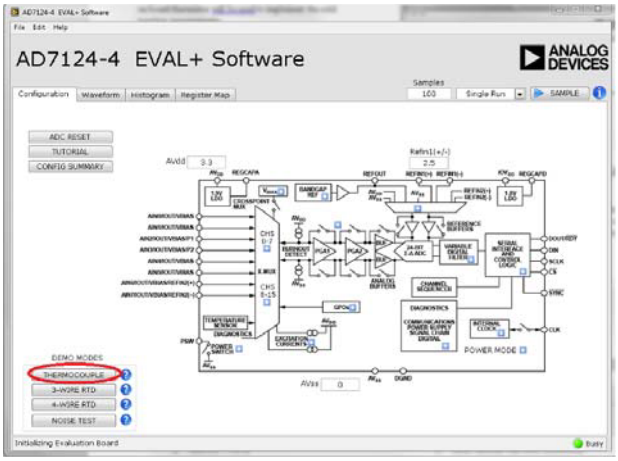


图16. AD7124-4/AD7124-8 EVAL+软件主窗口

为了配置AD7124-4/AD7124-8进行热电偶测量，单击主窗口中的**THERMOCOUPLE(热电偶)**演示模式按钮(参见图16)。单击此按钮配置ADC软件以获得最佳性能。一些寄存器设置如下：

- Channel_0(热电偶)
  - AINP_0 = AIN2
  - AINM_0 = AIN3
  - Setup = Setup0
  - Enabled = TRUE
- Channel_1(热敏电阻冷结测量)
  - AINP_1 = AIN4
  - AINM_0 = AIN5
  - Setup = Setup1
  - Enabled = TRUE
- CONFIG_0(热电偶)
  - PGA_0 = 128
  - AIN_BUFP、AIN_BUFM均为ENABLED
  - BIPOLAR = ENABLED
  - REF_SEL = Internal Reference
- CONFIG_1(热敏电阻冷结测量)
  - PGA_0 = 1
  - AIN_BUFP、AIN_BUFM均为ENABLED
  - BIPOLAR = ENABLED
  - REF_SEL = External Reference
- FILTER_0(热电偶)
  - Filter = Sinc4
  - FS_0 = 384
- FILTER_1(热敏电阻冷结)
  - Filter = Sinc4
  - FS_0 = 384
- ADC_Control
  - MODE = Continuous Conversion
  - POWER_MODE = FULL POWER
  - REF_EN = Enabled
- IO_CONTROL_1 (excitation for RTD)
  - IOUT1 Channel Enable = AIN1
  - IOUT1 Select = 500 µA
- IO_CONTROL_2(偏置热电偶)
  - VBIAS2 = True

将AD7124-4/AD7124-8配置为热电偶测量之前，还需要一项额外的设置：热电偶通道需要执行AD7124-4/AD7124-8的内部满量程和零电平校准。此校准可通过**Register Map(寄存器映射)**选项卡执行，如图17所示。

1. 从寄存器树中选择**ADC_Control**寄存器。
2. 仅使能通道0。
3. 选择Low Power(低功耗)模式。
4. 执行内部满量程校准。
   a. 单击ADC控制寄存器的**Mode(模式)**位域。
   b. 选择内部满量程校准。
   c. 选择寄存器树中的**Gain0**寄存器，检查校准是否已执行，并且系数是否改变。
5. 执行内部零电平校准。
   a. 单击ADC控制寄存器的**Mode(模式)**位域。
   b. 选择内部零电平校准。
   c. 选择寄存器树中的**Offset0**寄存器，检查校准是否已执行，并且系数是否改变。

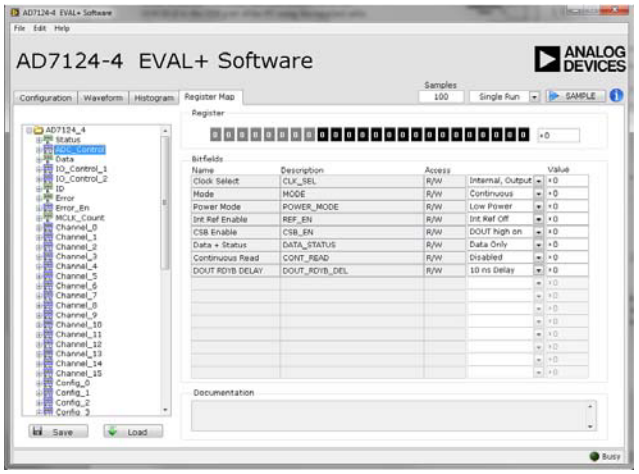


图17. 寄存器映射内部满量程和零电平校准

热敏电阻通道不需要校准，因为增益为1时的增益误差经过工厂校准。

现在，评估板和器件已完成热电偶测量配置，包括使用评估板上的热敏电阻进行冷结测量。单击**SAMPLE(采样)**以启动AD7124-4/AD7124-8采样。**Waveform(波形)**和**Histogram(直方图)**选项卡显示从AD7124-4/AD7124-8采集到的数据。

要实现更精确的冷结测量，可连接一个4线RTD，如上文所述。使用4线RTD时，来自AIN1的电流必须与热敏电阻断开，而连接到4线RTD，如图1所示。

更多资料

CN-0384设计支持包：
www.analog.com/CN0384-DesignSupport

SDP用户指南

EVAL-AD7124-4用户指南(UG-855)

EVAL-AD7124-8用户指南(UG-856)

AN-892应用笔记，温度测量原理及实用技术，Analog Devices

Walt Kester，《传感器信号调理》第7章“温度传感器”，Analog Devices，1999年

Mary McCarthy，应用笔记AN-615，峰峰值分辨率与有效分辨率，Analog Devices

MT-031指南，实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团，Analog Devices

MT-101指南，去耦技术，Analog Devices

CN-0376电路笔记，适合PLC/DCS应用的通道间隔离温度输入(热电偶/RTD)，Analog Devices

CN-0381电路笔记，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式4线RTD测量系统，Analog Devices

CN-0382电路笔记，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的隔离式4 mA至20 mA/HART温度和压力工业变送器，Analog Devices

CN-0383电路笔记，采用低功耗、精密、24位Σ-Δ型ADC的全集成式3线RTD测量系统，Analog Devices

数据手册和评估板

EVAL-AD7124-4SDZ

EVAL-AD7124-8SDZ

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD7124-4数据手册

AD7124-8数据手册

ADP1720数据手册

修订历史

2015年7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.

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN13470sc-0-7/15(0)

ANALOG DEVICES

www.analog.com/cn