

ADI解决方案集锦和 参考电路

化学分析和环境监控



目录

ADI解决方案集锦

ADI双光束分光光度计演示系统和解决方案	3
ADI公司针对pH计和电导率仪的演示系统	7
基于NDIR和PID的ADI气体探测器解决方案和新产品	12

参考电路

CN-0363: 带可编程增益跨阻放大器和数字同步检波功能的双通道色度计.....	17
CN-0359: 全自动高性能电导率测量系统	25
CN-0357: 使用电化学传感器的低噪声、单电源有毒气体探测器，集成可编程增益TIA，可用于快速原型制作	35
CN-0346: 相对湿度测量系统	40
CN-0326: 带有温度补偿功能的隔离式低功耗pH监测仪	47

ADI解决方案集锦

简介

ADI解决方案集锦囊括一系列针对中国市场的信号链解决方案，能为客户提供设计便利性，并帮助他们简化系统集成。该集锦涉及各种应用，提供全面且使用灵活的信号链框图、系统设计元素、行业关键挑战的信息以及ADI价值主张，并配有产品推荐和ADI解决方案。

ADI双光束分光光度计演示系统和解决方案	3
ADI公司针对pH计和电导率仪的演示系统	7
基于NDIR和PID的ADI气体探测器解决方案和新产品	12

ADI双光束分光光度计演示系统和解决方案

方案编号: APM_SPECTRO_PHOTOMETER_2015

应用简介

这是第二篇有关分光光度计应用的文章。在第一篇文章中——[ADI双光束分光光度计解决方案](#)，我们讨论了应用、工作原理、电路架构和设计考虑因素。本文将介绍ADI公司的相关新演示系统和产品。

系统设计考虑因素

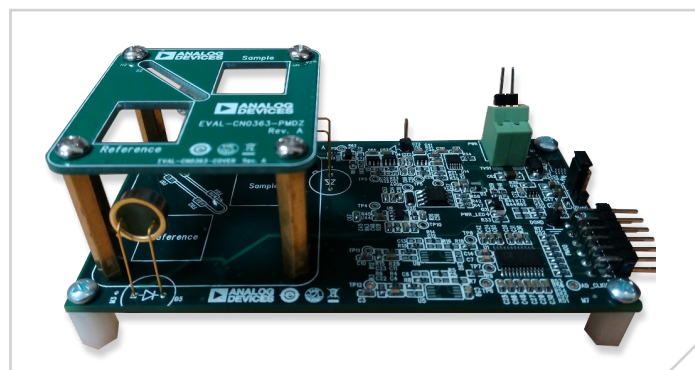
稳定性

在分光光度计的设计中，随时间和温度的漂移是非常重要的考虑因素。为了实现这一目标，需要低漂移的精确信号链，这正是ADI公司的长处。除元件外，双光束架构同样也是重要的因素。

ADI公司新演示系统

CN-0363：带可编程增益跨阻放大器和数字同步检波功能的双通道色度计

下图所示电路是一款双通道色度计，其具有一个调制光源发射器，各通道上有可编程增益跨阻放大器，后接一个噪声非常低的24位 Σ - Δ 型模数转换器(ADC)。ADC的输出连接到一个标准FPGA夹层卡。FPGA从ADC获得采样数据，实现一个同步检波算法。通过使用调制光和数字同步检波而非恒流(直流)源，系统可有力地抑制非调制频率的噪声源，提供出色的精度。

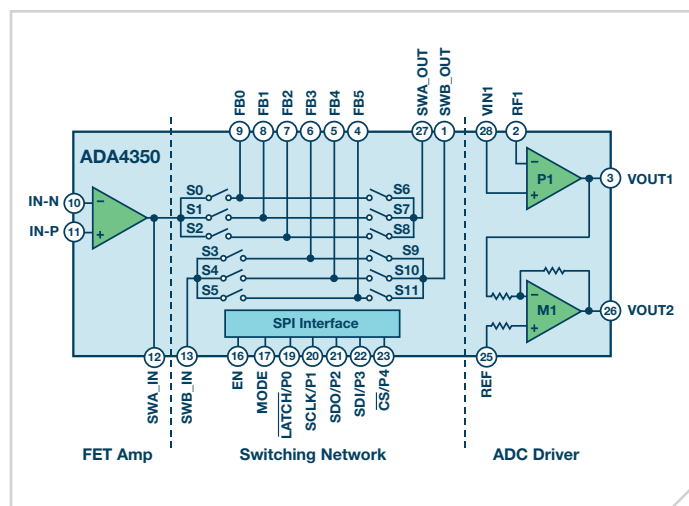


ADI公司新产品

ADA4350：带有ADC驱动器的FET输入模拟前端，适用于光电二极管应用中的电流检测

ADA4350是用于光电监测器或其它传感器的模拟前端，此传感器输出电流与检测的参数或电压输入成比例，系统要求用户在不同精密增益之间做出选择，从而使其动态范围达到最大。

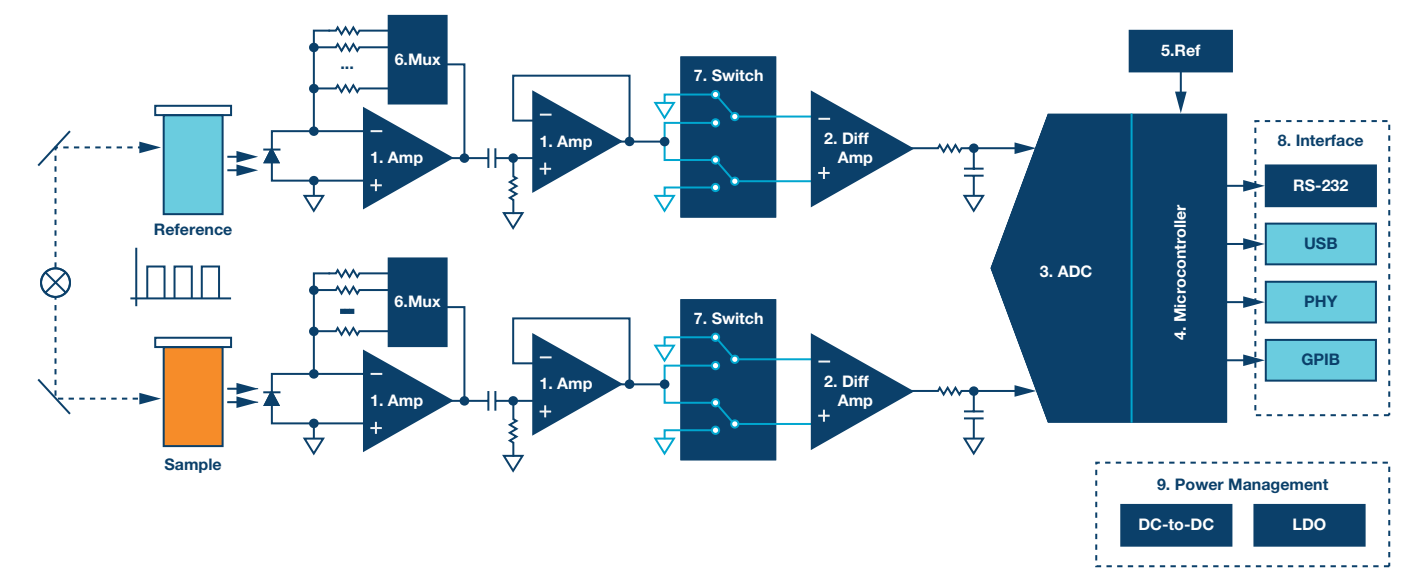
ADA4350集成了FET输入放大器、切换网络和ADC驱动器，所有功能均可通过串行外设接口(SPI)或并行控制逻辑控制，这些所有功能均在一个IC中。FET输入放大器具有极低的电压噪声和电流噪声，极其适合各种光电检测器、传感器或精密数据采集系统。



ADI公司解决方案

主信号链

1. 下面是通用分光光度计的系统框图，其中包括简化光学系统、样本室和参比室、双通道信号调理电路、微控制器(集成ADC)、通信接口和电源管理。



1. 放大器	2. 差动放大器	3. 模数转换器	4. 微控制器
ADA4350/AD8615/AD8605/AD8626	AD8271/AD8278	AD7175-2/AD7798/AD7799	ADuCM361/ADuC7061
5. 基准电压源	6. 多路复用器	7. 开关	8. 接口
ADR4525/ADR3425/ADR291	ADG704/ADG708/ADG1609	ADG733/ADG1636	ADM3251E
			9. 电源管理
			ADP2441/ADP2370/ADP160/ADP7102/ADP7182

主要产品

产品型号	描述	优势
放大器		
ADA4350	集成ADC驱动器和增益开关SPI或并联开关所有控制功能的模拟前端；输入偏置电流： $\pm 0.25\text{ pA}$ (典型值， 25°C)；GBP：175 MHz；电源高达12 V	针对分光光度计应用的模拟前端，具有高集成度和精度
AD8615	1 pA (最大值， 25°C 时)，低失调电压： $80\text{ }\mu\text{V}$ (典型值)，24 MHz带宽，12 V/ μs 压摆率，低噪声8 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ，5 V电源，轨到轨输入/输出	低偏置电流(室温)、高速、低噪声、低失调运算放大器
AD8605	1 pA (最大值， 25°C 时)，低失调电压： $65\text{ }\mu\text{V}$ (最大值)，10 MHz带宽，低噪声8 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ，轨到轨输入/输出	低偏置电流(室温)、高速、低噪声、低失调运算放大器
AD8626	0.25 pA偏置电流(典型值，室温)，小于2 pA偏置电流(典型值， 50°C)，低失调漂移 $2\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ，最高 $\pm 13\text{ V}$ 电源，高带宽5 MHz，轨到轨输出	较宽的电源范围，低偏置电流(0°C 至 50°C)，低失调漂移
差动放大器		
AD8271	增益 = $\frac{1}{2}$ 、1、2，增益漂移10 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ ，15 MHz和30 V/ μs 压摆率	低增益漂移和高速，适用于驱动ADC
AD8278	低功耗100 μA ， $G = \frac{1}{2}$ 或2，带宽1 MHz	低功耗，带宽充足
模数转换器		
AD7175-2	快速输出率：高达250 kSPS；24位无噪声分辨率(20 SPS)；17.2位无噪声分辨率(250 kSPS)；INL：FSR的 $\pm 1\text{ ppm}$	全球速度最快、最精确的 Σ - Δ 型ADC
AD7798	380 μA 静态电流，3通道、16位峰峰值分辨率，最高470 Hz输出更新速率	低功耗、高集成度 Σ - Δ 型ADC，高分辨率和高精度
AD7799	380 μA 静态电流，3通道、24位 Σ - Δ 型ADC，最高470 Hz输出更新速率	低功耗、高集成度 Σ - Δ 型ADC，高分辨率和高精度

产品型号	描述	优势
微控制器		
ADuCM361	精密模拟微控制器、ARM® Cortex®-M3 32位处理器、6个差分通道、单通道(24位) ADC、单通道12位DAC、功耗1.0 mA、290 μA/MHz、19引脚GPIO、128 kB Flash/EE存储器、8 kB SRAM；小型封装，低漂移内部基准电压源(5 ppm典型值)，集成可编程电流源	低功耗、高精度24位Σ-Δ型ADC，4 mA至20 mA环路应用，小型封装
ADuC7061	基于10 MHz ARM7的精密模拟微控制器，高精度双通道Σ-Δ型ADC前端，24位分辨率、16位ENOB、低于100 Hz输出速率；存储器包括32 kB Flash和4 kB SRAM；其它重要特性包括低于3 mA的工作电流(MCU内核工作在1 MHz)，适合4 mA至20 mA环路应用，12位DAC，5 mm x 5 mm 32引脚LFCSP小型封装	低功耗、低成本24位Σ-Δ型ADC，4 mA至20 mA环路应用，小型封装
基准电压源		
ADR4525	2.5 V 基准电压源，极低漂移：2 ppm/℃ (最大值)，低噪声：1.25 μV pp (0.1 Hz至10 Hz)，长期稳定性：25 ppm/√10000小时，迟滞：50 ppm	低漂移、超稳定、低噪声基准电压源，低迟滞，ADR45xx系列还提供许多其它输出电压选项
ADR3425	2.5 V基准电压源，低漂移8 ppm/℃ (最大值)，长期稳定性30 ppm/√10000小时，100 μA最大静态电流，小型SOT23-6封装	低漂移、稳定，ADR34xx系列还提供许多其它输出电压选项
ADR291	2.5 V基准电压源，12 μA静态电流	低功耗，非常好的漂移和稳定性
多路复用器		
ADG704	4通道多路复用器，低导通电阻2.5 Ω (典型值)，低漏电流10 pA (典型值)，低功耗1 μA	低漏电流和低导通电阻有助于构建高精度系统
ADG708	8通道多路复用器，低导通电阻3 Ω (典型值)，低漏电流10 pA (典型值)，低功耗1 μA	低漏电流和低导通电阻有助于构建高精度系统
ADG1609	4通道多路复用器，±8 V电源，低导通电阻4.5 Ω (典型值)，低漏电流20 pA (典型值)，低功耗1 μA	宽电源范围、低漏电流和低导通电阻有助于构建高精度系统
开关		
ADG733	双通道SPDT开关，低导通电阻2.5 Ω (典型值)，低漏电流10 pA (典型值)，低功耗1 μA	低漏电流和低导通电阻有助于构建高精度系统
ADG1636	双通道SPDT开关，±8 V电源，低导通电阻2.5 Ω (典型值)，低漏电流10 pA (典型值)，低功耗1 μA	宽电源范围、低漏电流和低导通电阻有助于构建高精度系统
接口		
ADM3251E	隔离式RS-232收发器，460 kbps数据速率，5 V或3.3 V工作电压，15 kV ESD保护，2.5 kV隔离	高集成度隔离式RS-232收发器
电源管理		
ADP2441	4.5 V至36 V输入降压调节器，1A输出电流，高效率(大于90%)，可调开关频率：300 KHz至1 MHz，限流保护，外部软启动，热关断	3 mm × 3 mm小型LFCSP封装，高效率
ADP2370	3.0 V至15 V输入降压调节器，800 mA输出电流，1.2 MHz或600 kHz PWM频率，低静态电流14 μA、效率高于90%，电流模式控制架构	小型3 mm × 3 mm LFCSP封装，只需极少的外围元件，小尺寸解决方案
ADP160	2.2 V至5.5 V输入LDO，150 mA最大输出电流，超低静态电流：10 μA (输出为10mA时)，多达15个固定输出电压选项：1.2 V至4.2 V	低功耗，集成输出放电电阻，小型封装只需两个1 μF外部电容
ADP7102	20 V输入LDO，300 mA输出电流，低噪声15 μV rms，7个固定输出电压版本和可调版本	高输入电压、低噪声LDO
ADP7182	-28 V输入LDO，200 mA输出电流，低噪声：18 μV rms	高输入电压、低噪声负LDO

设计资源

APM文章

- ▶ ADI双光束分光光度计解决方案 — www.analog.com/cn/apm/dbs.pdf

Circuits from the Lab®参考电路

- ▶ CN-0363: 带可编程增益跨阻放大器和数字同步检波器的双通道色度计—www.analog.com/cn/cn-0363
- ▶ CN-0312: 带可编程增益跨阻放大器和同步检波器的双通道色度计—www.analog.com/cn/cn-0312

应用笔记/文章

- ▶ 可编程增益跨阻放大器使光谱系统的动态范围达到最大—www.analog.com/cn/analogdialogue/47-05.pdf
- ▶ 使用同步检测进行精密低电平测量—www.analog.com/cn/ms-2698.pdf
- ▶ 精密光电二极管传感器电路优化设计—www.analog.com/cn/ms-2624.pdf
- ▶ 成功实现超低光信号转换的七个步骤—www.analog.com/cn/ms-2394.pdf

设计工具/论坛

- ▶ ADA4350视频—<http://bcove.me/9a2kxy3m>
- ▶ ADuCM361设计工具—<http://ftp.analog.com/pub/MicroConverter>
- ▶ 模拟光电二极管向导—www.analog.com/designtools/zh/photodiode
- ▶ ADI公司稳压器设计工具—www.analog.com/cn/adisimpower
- ▶ ADI中文技术论坛: 在线技术支持社区—ezchina.analog.com

欲查看有关气体探测器的其他资源、工具和产品信息, 请访问:

www.analog.com/cn/instrumentation

ADI公司针对PH计和电导率仪的演示系统

方案编号: APM_PH_METER_2015

应用简介

这是第二篇有关pH计和电导率仪应用的文章。在第一篇的水分析文章中, 我们讨论了应用、工作原理、电路架构和设计考虑因素。本文将介绍ADI公司的相关演示系统。如需阅读第一篇文章, 请参考文末系统方案精选链接。

系统设计考虑因素

稳定性

在pH计和电导率仪的设计中, 随时间和温度的漂移是非常重要的考虑因素。为了实现这一目标, 需要低漂移的精确信号链, 这正是ADI公司的长处。

分辨率

为了充分发挥传感器动态范围的优势, 信号链和电源设计需要考虑低噪声和高分辨率要求, 实验室仪器尤其如此。

低功耗

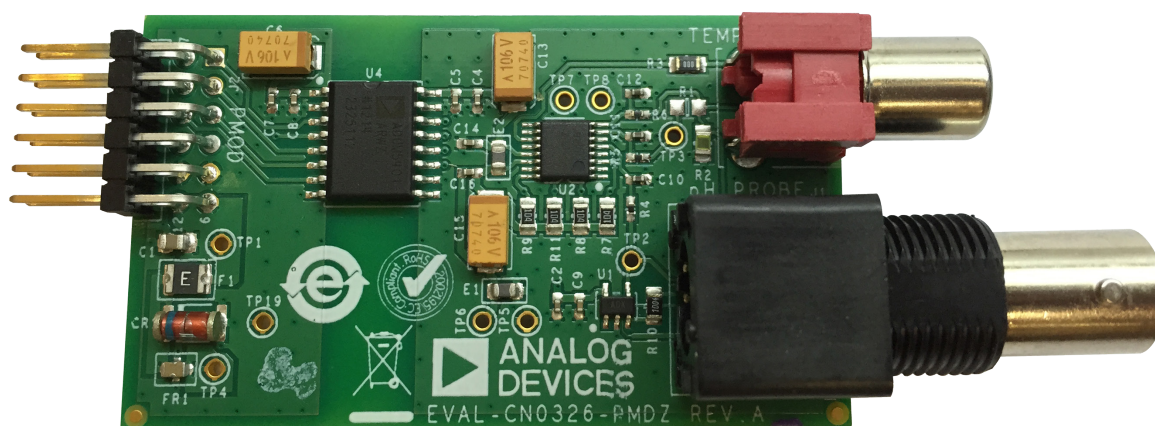
便携性是近年来仪器领域的一大趋势。pH计和电导率仪也有便携式版本, 应当能依靠有限的电池电源在室外长时间工作。这种情况下, 设计阶段就需要考虑低功耗要求。

ADI公司pH计演示系统

CN0326: 带有温度补偿功能的隔离式低功耗pH监测仪

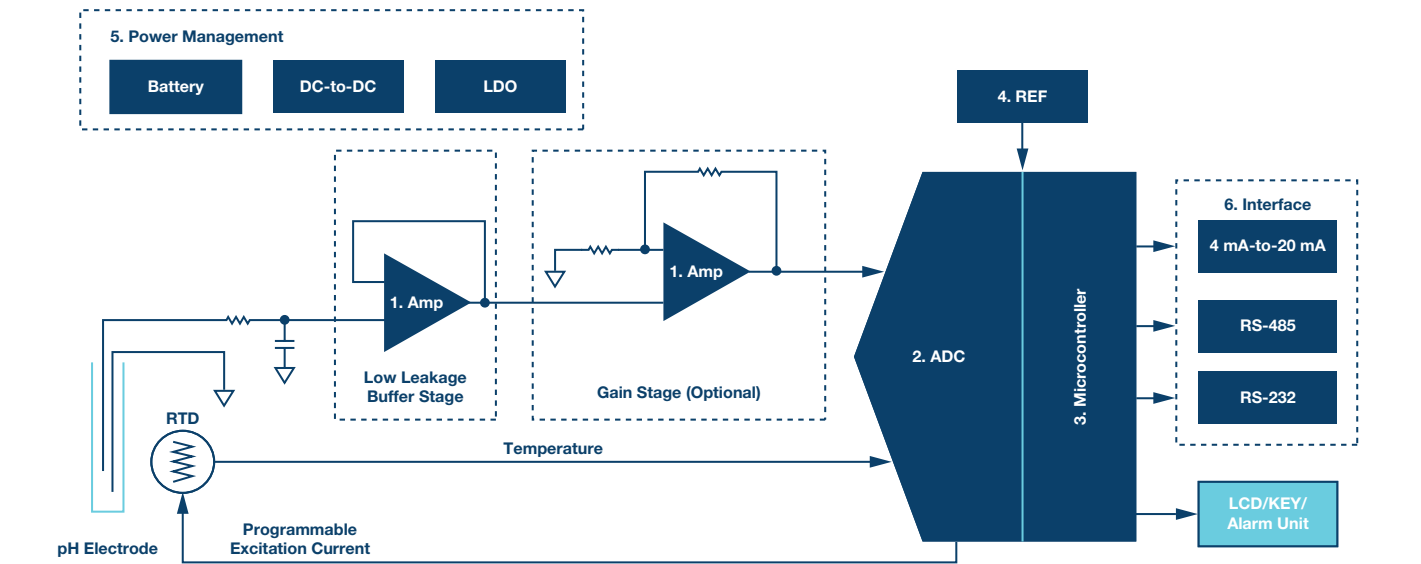
下图所示电路是一个完全隔离式低功耗pH传感器信号调理器和数字化仪, 并且带有自动温度补偿以实现高精度。

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。



主信号链

1. 下面是pH计的系统框图，包括pH电极、低漏电流输入级、增益级(可选)、微控制器(集成ADC和基准电压源)、电源管理和通信接口。



pH计的系统框图和信号链。在具体设计中，模块的技术要求可能不同，但下表列出的产品代表了满足部分要求的ADI解决方案。

1. 放大器	2. 模数转换器	3. 微控制器	4. 基准源	5. 电源管理	6. 接口
AD8626/AD8641/ ADA4665-2/ADA4692-2/ AD8603	AD7792/AD7793	ADuCm361/ADuC7061	ADR4525/ADR3425/ ADR291	ADP2503/ADP2370/ ADP166/ADP7102/ ADP5310	AD5412/AD5422/ ADM2484E/ADM3251E/ ADuM5401

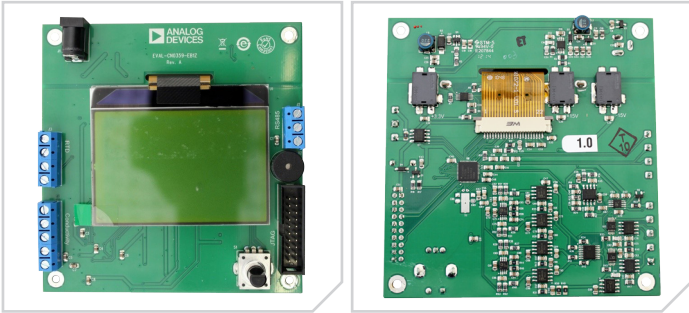
ADI公司电导率仪演示系统

CN0359：全自动高性能电导率测量系统

下图所示是一个完全独立自足、微处理器控制的高精度电导率仪。由于尺寸小且精度高，它不仅可用于便携式仪器仪表中，还能用于台式仪器中。它非常适合测量液体的离子含量，以及进行水质分析、工业质量控制和化学分析。

经过仔细选择的精密信号调理元件组合可在0.1 μ S至10 S (10 M Ω 至0.1 Ω)电导率范围内提供优于0.3%的精度，且无需校准。针对100 Ω

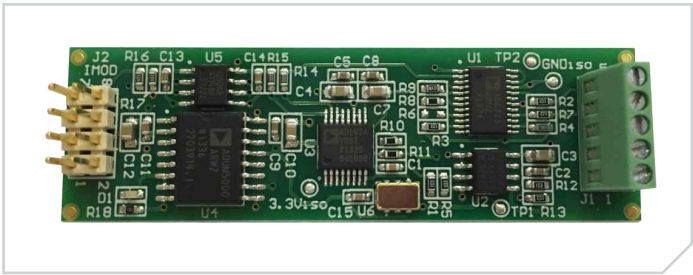
或1000 Ω 铂(Pt)电阻温度检测器(RTD)提供自动检测功能，允许以室温为参考测量电导率。



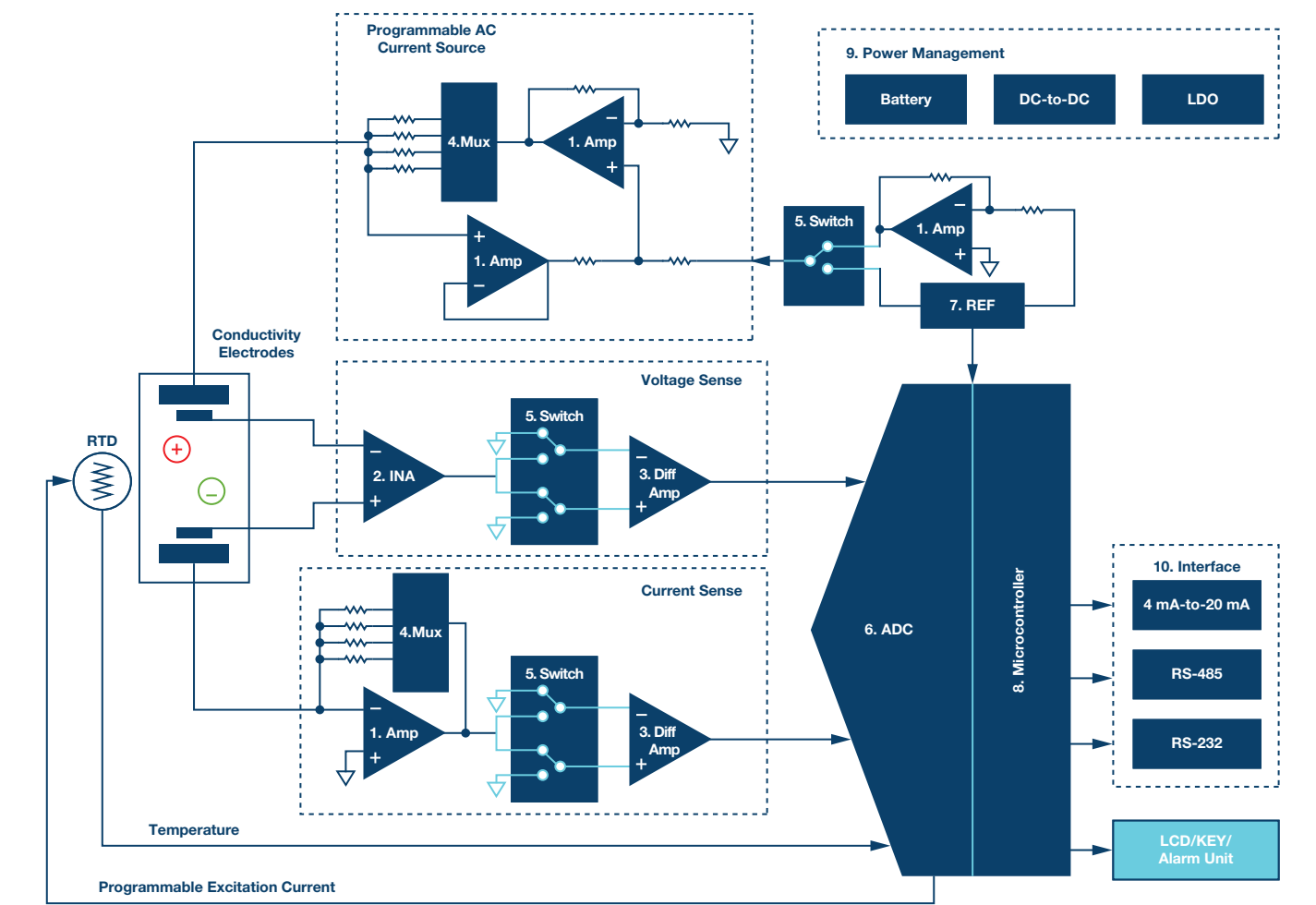
CN0349：完全隔离式电导率测量数据采集系统

下图中的电路是一款极为精确、隔离且高度集成的解决方案，可用于电导率仪。

该设计解决方案采用集成式模拟前端IC AD5934。校准后，该电路总误差小于1% FSR。所有器件均具有小尺寸，因此该电路非常适合注重印刷电路板(PCB)空间的应用。该电路的数字输出是完全隔离的；因此，该电路不存在接地环路干扰问题，非常适合在恶劣工业环境下使用。



2. 下面是电导率仪的通用系统框图，包括电导率电极、可编程交流电流源、电压检测、电流检测、微控制器(集成ADC和基准电压源)、电源管理和通信接口。



电导率仪的系统框图和信号链。在具体设计中，模块的技术要求可能不同，但下表列出的产品代表了满足部分要求的ADI解决方案。

1. 放大器	2. 仪表放大器	3. 差动放大器	4. 多路复用器	5. 开关
AD8626/ADA4692-2/ADA4627-1	AD8220/AD8422/AD8228/ AD8421/AD8253	AD8271/AD8278	ADG704/ADG708/ADG1609	ADG733/ADG1636
6. 模数转换器	7. 基准源	8. 微控制器	9. 电源管理	10. 接口
AD7792/AD7793	ADR4525/ADR3425/ADR291	ADuCm361/ADuC7061	ADP2503/ADP2370/ ADP160/ADP7102	AD5412/ADM2484E/ADuM5000/ ADuM1250

主要产品

产品型号	描述	优势
运算放大器		
AD8626	0.25 pA偏置电流(典型值, 室温), 小于2 pA偏置电流(典型值, 50°C), 低失调漂移2 μV/°C, 最高±13 V电源, 高带宽5 MHz, 轨到轨输出	较宽的电源范围, 低偏置电流(0°C至50°C), 低失调漂移, 适用于pH计, 高带宽适用于交流电流源
ADA4665-2	0.1 pA偏置电流(典型值, 室温), 0.2 pA偏置电流(典型值, 50°C), 低失调漂移3 μV/°C, 最高±8 V电源, 轨到轨输入/输出	较宽的电源范围, 低偏置电流(0°C至50°C), 低失调漂移, 适用于pH计
AD8603	1 pA(最大值, 25°C); 低功耗: 50 μA; 低失调电压: 50 μV(最大值); 轨到轨输入/输出	低偏置电流(室温)、低功耗、低失调运算放大器
仪表放大器		
AD8220	JFET输入, 低偏置电流10 pA(典型值), 高带宽1.5 MHz (G = 1), 增益范围1到1000	低偏置电流, 充足的带宽, 适用于电导率仪
AD8228	低偏置电流0.5 nA, 低增益漂移1 ppm/°C, 低噪声15 nV/√Hz	固定增益, 内置电阻, 节省成本并提高增益精度
差动放大器		
AD8271	增益 = ½、1、2, 增益漂移10 ppm/°C, 15 MHz和30 V/μs压摆率	低增益漂移和高速度, 适用于电导率应用中的驱动ADC
AD8278	低功耗100 μA, G = ½或2, 带宽1 MHz	低功耗, 充足的带宽, 适用于电导率仪
多路复用器		
ADG704	4通道多路复用器, 低导通电阻2.5 Ω(典型值), 低漏电流10 pA(典型值), 低功耗1 μA	低漏电流和低导通电阻有助于构建高精度系统
ADG1609	4通道多路复用器, ±8 V电源, 低导通电阻4.5 Ω(典型值), 低漏电流20 pA(典型值), 低功耗1 μA	宽电源范围、低漏电流和低导通电阻有助于构建高精度系统
开关		
ADG733	双通道SPDT开关, 低导通电阻2.5 Ω(典型值), 低漏电流10 pA(典型值), 低功耗1 μA	低漏电流和低导通电阻有助于构建高精度系统
ADG1636	双通道SPDT开关, ±8 V电源, 低导通电阻2.5 Ω(典型值), 低漏电流10 pA(典型值), 低功耗1 μA	宽电源范围、低漏电流和低导通电阻有助于构建高精度系统
模数转换器		
AD7792	400 μA静态电流, 3通道16位峰峰分辨率, 最高470 Hz输出更新速率, 片内基准电压源, 内部偏置电压, 内部电流激励	低功耗、高集成度Σ-Δ型ADC, 高分辨率和高精度, 适用于精密测量, 特别是温度测量
AD7793	400 μA静态电流, 3通道24位Σ-Δ型ADC, 最高470 Hz输出更新速率, 片内基准电压源, 内部偏置电压, 内部电流激励	低功耗、高集成度Σ-Δ型ADC, 高分辨率和高精度, 适用于精密测量, 特别是温度测量
基准源		
ADR4525	2.5 V基准电压源, 极低漂移: 2 ppm/°C(最大值), 低噪声: 1.25 μV pp(0.1至10Hz), 长期稳定性: 25 ppm/√1000小时, 迟滞: 50 ppm	低漂移、超稳定、低噪声基准电压源, 低迟滞, ADR45xx系列还提供许多其它输出电压选项
ADR3425	2.5 V基准电压源, 低漂移8 ppm/°C(最大值), 长期稳定性 30 ppm/√1000小时, 100 μA最大静态电流, 小型的6管脚SOT-23封装	低漂移、稳定, ADR34xx系列还提供许多其它输出电压选项
ADR291	2.5 V基准电压源, 12 μA静态电流	低功耗, 非常好的漂移和稳定性
微控制器		
ADuCM361	精密模拟微控制器, ARM Cortex™-M3 32位处理器、6个差分通道、单通道24位ADC、单通道12位DAC、功耗1.0mA、290 μA/MHz、19引脚GPIO、128 kB Flash/EE存储器、8 kB SRAM 小型封装, 低漂移内部基准电压源(5 ppm典型值), 集成可编程电流源。	低功耗、高精度24位Σ-Δ型ADC, 4 mA至20 mA环路应用, 小型封装
ADuC7061	基于10 MHz ARM7的精密模拟微控制器, 高精度双通道Σ-Δ型ADC前端, 24位分辨率、16位ENOB、低于100Hz输出速率; 存储器包括32 kB Flash和4 kB SRAM; 其它重要特性包括低于3 mA的工作电流(MCU内核工作在1 MHz), 适合4 mA至20 mA环路应用, 12位DAC, 5 mm × 5 mm 32引脚LFCSP小型封装。	低功耗、低成本24位Σ-Δ型ADC, 4 mA至20 mA环路应用, 小型封装
电源管理		
ADP2503	38 μA静态电流; 2.5 MHz降压-升压dc-dc转换器, 支持的输入电压可以大于、小于或等于调节输出电压	低功耗可延长电池寿命, 小型封装、少量外部器件只需较小的PCB空间
ADP166	2.2 V至5.5 V输入LDO, 150 mA最大输出电流, 超低静态电流: 10 μA(输出为10 mA时), 多达15个固定输出电压选项: 1.2 V至4.2 V	低功耗, 集成输出放电电阻, 小型封装只需两个1 μF外部电容
ADP7102	20 V输入LDO, 300 mA输出电流, 低噪声15 μV rms, 7个固定输出电压版本和可调版本	高输入电压、低噪声LDO
接口		
AD5422	电流输出范围: 0 mA至24 mA, 电压输出范围: 0 V至5 V、0 V至10 V、±5 V、±10 V, 16位分辨率, 0.01% FSR典型总不可调整误差; 3 ppm/°C典型输出漂移; 片内基准电压源(10 ppm/°C最大值)	16位分辨率和单调性, 支持HART通信
ADM2484E	全/半双工, 隔离式RS-485/RS-422收发器, 500 kbps数据速率, 256节点, 5 V或3.3 V工作电压, 15 kV ESD保护, 5 kV隔离	高集成度隔离式RS-485收发器
ADM3251E	隔离式RS-232收发器, 460 kbps数据速率, 5 V或3.3 V工作电压, 15 kV ESD保护, 2.5 kV隔离	高集成度隔离式RS-232收发器

设计资源

系统方案精选

- ▶ ADI公司针对pH计和电导率仪的水分析解决方案—www.analog.com/apm/adi-water-analysis-solution_cn.pdf

参考电路

- ▶ CN0326: 带有温度补偿功能的隔离式低功耗pH监测仪 — www.analog.com/cn/cn-0326
- ▶ CN0359: 全自动高性能电导率测量系统—www.analog.com/cn/cn-0359
- ▶ CN0349: 完全隔离式电导率测量数据采集系统 — www.analog.com/cn/cn-0349
- ▶ CN0312: 带可编程增益跨阻放大器的双通道色度计—www.analog.com/cn/cn-0312

应用笔记/文章

- ▶ 可编程增益跨阻放大器使光谱系统的动态范围达到最大—www.analog.com/cn/ad-47-05/pgtia_cn.pdf

设计工具/论坛

- ▶ ADuCM361设计工具—<ftp://ftp.analog.com/pub/MicroConverter>
- ▶ Analog Filter Wizard™: ADI公司有源滤波器设计工具—www.analog.com/designtools/cn/filterwizard
- ▶ ADIsimPower™: ADI公司稳压器设计工具—www.analog.com/cn/adisimpower
- ▶ ADI中文技术论坛: 在线技术支持社区—ezchina.analog.com

欲查看有关气体探测器的其他资源、工具和产品信息, 请访问:

www.analog.com/cn/instrumentation

基于NDIR和PID的ADI气体探测器解决方案和新产品

方案编号: APM_GAS_DETECTOR_2016

应用简介

这是关于NDIR (非色散红外)气体探测器解决方案和PID (光离子)气体探测器解决方案的第二篇文章。在第一篇文章中,我们讨论了应用、工作原理、电路架构和设计考虑因素。本文将介绍ADI公司的相关新演示系统和产品。如需阅读第一篇文章,请参考文末APM (每月应用)链接。

系统设计考虑因素

可靠性

精度、抗干扰能力以及良好的长期稳定性,这些都是NDIR和PID设计需要考虑的重要因素。为了实现这一目标,可靠的气体探测器需要低漂移的精确信号链。

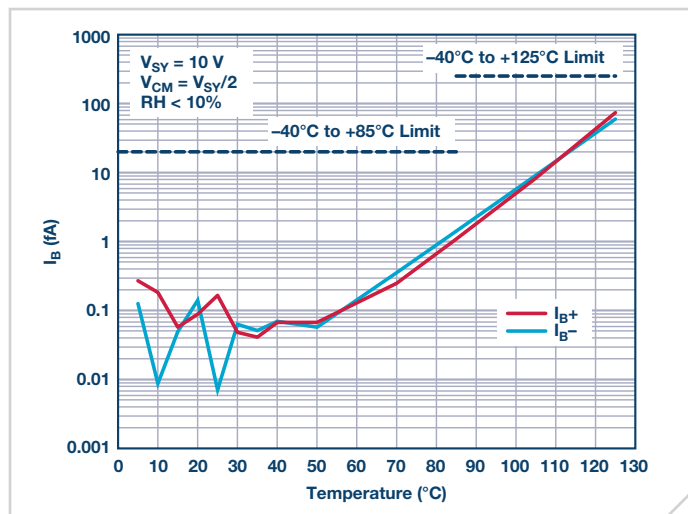
分辨率

为了充分发挥传感器动态范围的优势,NDIR和PID探测器的信号链和电源设计需要考虑低噪声和高分辨率要求。

ADI公司新产品

ADA4530-1: 飞安级输入偏置电流静电计放大器

ADA4530-1是一款飞安级(10 fA)输入偏置电流运算放大器,适合用作静电计,同时集成了防护缓冲器。它具有4.5 V至16 V的工作电压范围,使其能够在传统的5 V和10 V单电源系统以及 ± 2.5 V和 ± 5 V双电源系统中工作。



它具有超低输入偏置电流,在温度范围内经过生产测试,确保器件满足用户系统的性能目标。集成式防护缓冲器用于隔离印刷电路板(PCB)中的输入引脚防止泄漏,可减少电路板上的器件数量并简化系统设计。ADA4530-1采用工业标准8引脚SOIC表贴封装,独特的引脚排列经过优化可防止敏感输入引脚、电源和输出引脚之间的信号耦合,同时简化保护环走线布线。

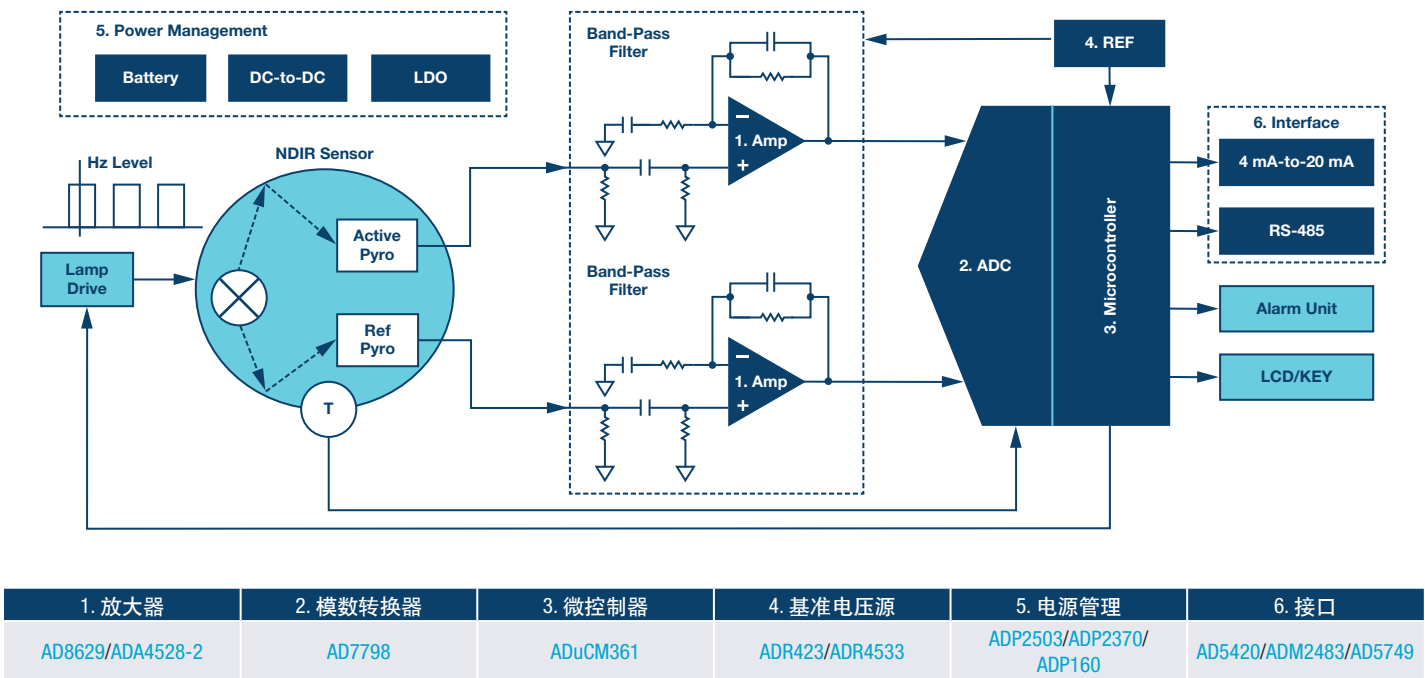
ADA4530-1还具有需要低泄漏应用所需的低失调电压、低失调偏移、低电压和电流噪声特性。为使系统的动态范围最大,ADA4530-1具有轨到轨输出级,在10 k Ω 负载下,其通常可驱动至供电轨的30 mV范围内。

ADA4530-1的额定温度范围为 -40°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 工业温度范围,提供8引脚SOIC封装。

ADI公司解决方案

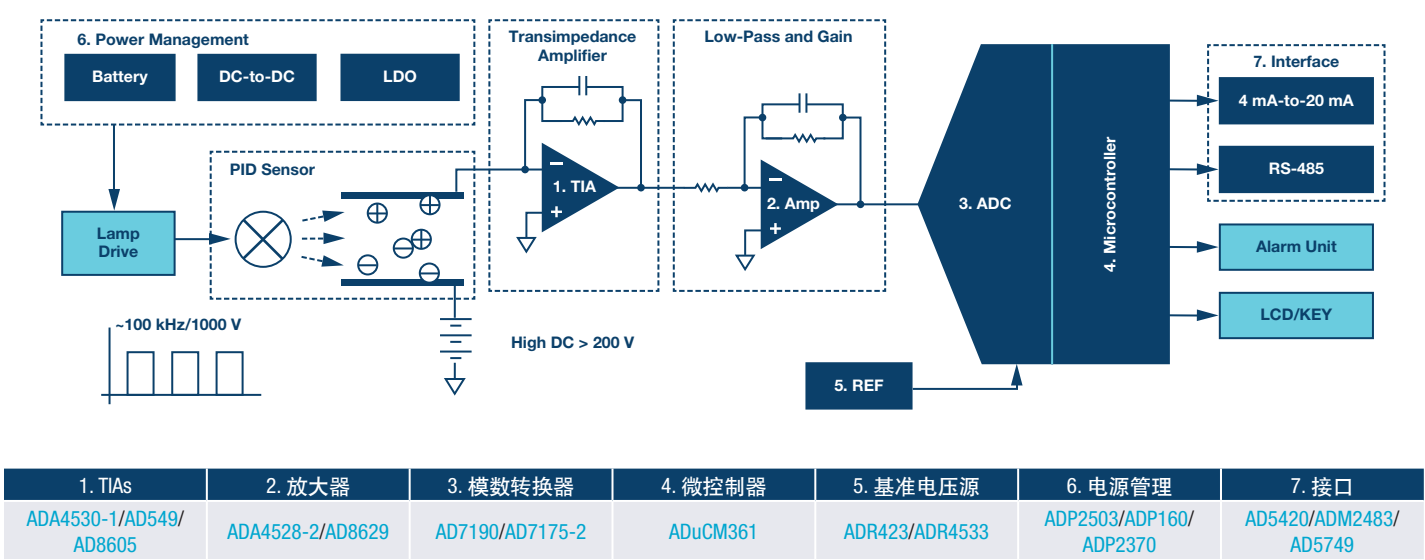
NDIR主信号链

下面是NDIR气体探测器的系统框图，包括NDIR传感器、带通滤波器、微控制器(集成ADC)、电源管理和通信接口。



PID主信号链

下面是PID气体探测器的系统框图，包括PID传感器、跨导放大器、低通滤波器、微控制器(集成ADC)、电源管理和通信接口。



主要产品

产品型号	描述	优势
放大器		
ADA4528-2	零漂移15 nV/°C (最大值)、超低噪声97 nV p-p (0.1至10Hz)	零漂移和低噪声有利于打造精度超高的系统；二合一封装有助于让不同通道保持一致
AD8629	零漂移20 nV/°C (最大值)、超低噪声0.5 μ V p-p (0.1至10Hz)，二合一封装	零漂移和低噪声有利于打造精度超高的系统；二合一封装有助于让不同通道保持一致
TIAs		
ADA4530-1	最大值： ± 20 fA ($-40^{\circ}\text{C} < T_A < +85^{\circ}\text{C}$)；最大值： ± 250 fA ($-40^{\circ}\text{C} < T_A < +125^{\circ}\text{C}$ ，在产品测试中保证)低失调电压：50 μ V，失调漂移：0.13 μ V/°C 典型值；低电压噪声密度：14 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (10 kHz时)；电源电压：4.5 V至16 V (± 2.25 V至 ± 8 V)；带宽宽：2 MHz	低偏置电流输入20fA适合极低电流测量应用，低噪声和低失调可带来高精度
AD549	超低偏置电流60 fA (最大值)、超低电流噪声0.16 fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$	在精密TIA测量领域享有盛誉
AD8605	低偏置电流1pA (最大值)、低电流噪声10 fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$	低成本TIA测量
模数转换器		
AD7798	140 μ A (最大静态电流)、输出更新速率最高达470 Hz；3通道16位峰峰值分辨率(任意输出数据速率)	低功耗 Σ - Δ 型ADC、高分辨率、高精度
AD7190	24位 Σ - Δ 型ADC、23位峰峰值分辨率(最大值)、可编程输出数据速率(4.7 Hz至4.8 kHz)，2个差分输入或4个伪差分输入	极高分辨率、极高精度
AD7175-2	快速输出率：最高可达250 kSPS；24位无噪声分辨率 (20 SPS)；17.2位无噪声分辨率(250 kSPS)；INL：FSR的 ± 1 ppm	至今全球速度最快、最精确的 Σ - Δ 型ADC
基准电压源		
ADR423	3 V基准电压源，极低漂移：3 ppm/°C (最大值)，低噪声：2 μ V p-p (0.1至10 Hz)，长期稳定性：50 ppm/ $\sqrt{1000}$ hr	低漂移、稳定、低噪声基准电压源，ADR42x系列还提供许多其它输出电压选项
ADR4533	3.3 V基准电压源，极低漂移：2 ppm/°C (最大值)，低噪声：2.1 μ V p-p (0.1至10 Hz)，长期稳定性：25 ppm/ $\sqrt{1000}$ hr	低漂移、超稳定、低噪声基准电压源，ADR45xx系列还提供许多其它输出电压选项
微控制器		
ADuCM361	精密模拟微控制器、ARM Cortex®-M3 32位处理器、6个差分通道、单通道24位ADC、单通道12位DAC、功耗1.0 mA、290 μ A/MHz、19引脚GPIO、128 kB Flash/EE存储器、8 kB SRAM	低功耗、超高精度24位 Σ - Δ 型ADC
电源管理		
ADP2503	38 μ A静态电流；2.5 MHz降压-升压DC-DC转换器，支持的输入电压可以大于、小于或等于调节输出电压	低功耗可延长电池寿命，小型封装、少量外部器件只需较小的PCB空间
ADP2370	3.0 V至15 V输入、800 mA、1.2 MHz或600 kHz PWM频率、低静态电流(14 μ A)、效率高于90%、电流模式控制架构	小型3 mm $\times$ 3 mm LFCSP封装，只需极少的外围元件
ADP160	2.2 V至5.5 V输入，150 mA最大输出电流，1%初始精度，多达15个固定输出电压选项：1.2 V至4.2 V；低静态电流：42 μ A	低功耗，集成输出放电电阻，小型封装只需两个1 μ F外部电容
接口		
AD5420	16位分辨率；电流输出范围：0 mA至24 mA，0.01% FSR典型总不可调整误差；3 ppm/°C典型输出漂移；片内基准电压源(10 ppm/°C最大值)	16位分辨率和单调性，支持HART通信
ADM2483	半双工，500 kbps数据速率，5 V或3 V工作电压，低功耗：2.5 mA (最大值)，2.5 kV隔离	低功耗、具竞争力的价格
AD5749	4 mA至20 mA驱动器，电流输出范围：0 mA至24 mA或4 mA至20 mA、0.03% FSR典型总不可调整误差(TUE)、5 ppm/°C典型输出漂移	低成本、精密4 mA至20 mA驱动器

设计资源

APM文章

- ▶ 基于NDIR和PID的ADI气体探测器解决方案—
www.analog.com/cn/apm/gas-detector-ndir-pid.pdf

应用笔记/文章

- ▶ AN-1373: ADA4530-1飞安级输入偏置电流测量—
www.analog.com/cn/an-1373.pdf

设计工具/论坛

- ▶ 视频: 集成保护环缓冲器的静电计运算放大器ADA4530-1—
www.analog.com/cn/video/ada430-1
- ▶ ADuCM361设计工具—<ftp://ftp.analog.com/pub/MicroConverter>
- ▶ Analog Filter Wizard™: ADI公司有源滤波器设计工具—
www.analog.com/designtools/cn/filterwizard
- ▶ ADIsimPower™: ADI公司稳压器设计工具—
www.analog.com/cn/adisimpower
- ▶ ADI中文技术论坛: 在线技术支持社区—ezchina.analog.com

参考文献

- ▶ 基于电化学传感器的ADI低功耗有毒气体探测器解决方案—
www.analog.com/cn/apm/gas-detector-electrochemical-sensors.pdf

欲查看有关气体探测器的其他资源、工具和产品
信息, 请访问:

www.analog.com/cn/instrumentation

参考电路

简介

参考电路经专家构建并测试，确保性能和功能。低成本硬件可实现多开发平台的评估和快速原型制作。完整的文档和设计文件简化应用知识，并最大程度减少系统集成方面的问题。

我们衷心希望这两款工具能满足您的工作需要，一如既往地助您优化化学分析和环境监控产品设计及创新。

CN-0363：带可编程增益跨阻放大器和数字同步检波功能的双通道色度计	17
CN-0359：全自动高性能电导率测量系统	25
CN-0357：使用电化学传感器的低噪声、单电源有毒气体探测器，集成可编程增益TIA，可用于快速原型制作	35
CN-0346：相对湿度测量系统	40
CN-0326：带有温度补偿功能的隔离式低功耗pH监测仪	47

参考电路 CN-0363

**Circuits
from the Lab®**
Reference Designs

Circuits from the Lab® reference designs are engineered and tested for quick and easy system integration to help solve today's analog, mixed-signal, and RF design challenges. For more information and/or support, visit www.analog.com/CN0363.

连接/参考器件	
AD7175-2	24位、250 kSPS Σ - Δ 型ADC，具有20 μ s建立时间，集成真轨到轨缓冲器
ADA4528-1	精密、超低噪声、轨到轨输入输出(RRIO)、零漂移运算放大器
AD8615	精密、20 MHz、CMOS、轨到轨输入/输出运算放大器
AD5201	33位数字电位计
ADA4805-1	0.2 μ V/°C失调漂移、105 MHz低功耗、低噪声、轨到轨运算放大器
ADG633	CMOS、 ± 5 V/+5 V/+3 V、三通道单刀双掷开关
ADG733	CMOS、2.5 Ω 低电压、三通道单刀双掷开关
ADG704	CMOS、低压、4 Ω 、4通道多路复用器
ADG819	0.5 Ω 、CMOS、1.8 V至5.5 V、2:1多路复用器/单刀双掷开关

带可编程增益跨阻放大器和数字同步检波功能的双通道色度计

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0363电路评估板\(EVAL-CN0363-PMDZ\)](#)

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所示电路是一款双通道色度计，其具有一个调制光源发射器，各通道上有可编程增益跨阻放大器，后接一个噪声非常低的24位 Σ - Δ 型模数转换器(ADC)。ADC的输出连接到一个标准FPGA夹层卡。FPGA从ADC获得采样数据，实现一个同步检波算法。

通过使用调制光和数字同步检波而非恒流(直流)源，系统可有力地抑制非调制频率的噪声源，提供出色的精度。

该双通道电路以三种不同的波长测量样本与参考容器中的液体的吸收光线之比。这种测量方法构成许多通过吸收光谱测量浓度和表征材料的化学分析和环境监控仪器仪表的基础。

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)

CN-0363

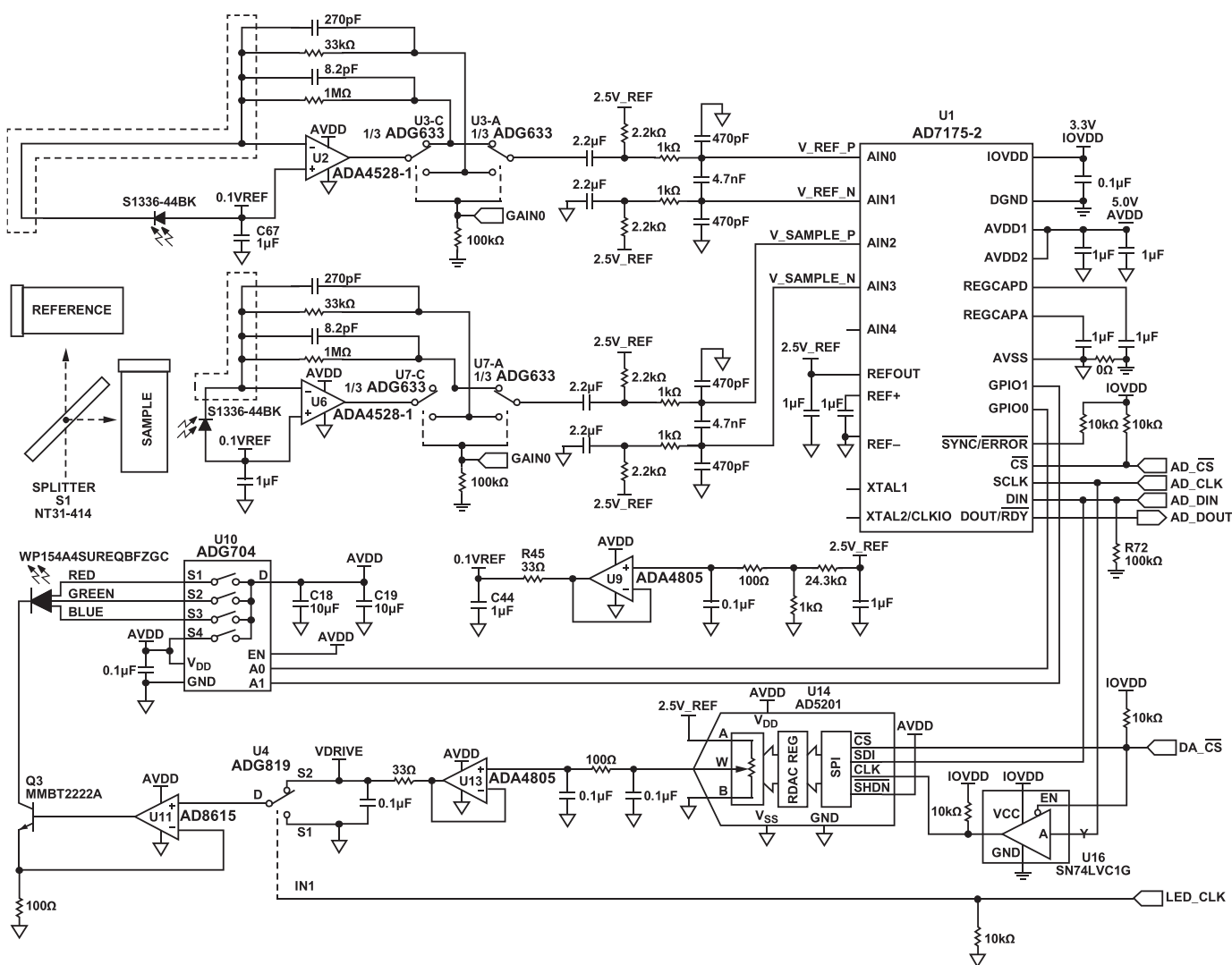


图1. 带可编程增益跨阻放大器和锁定放大器的双通道色度计
(原理示意图: 未显示所有连接和去耦)

电路描述

一个设置为用户可编程频率的时钟利用一个恒流驱动器调制三种LED颜色中的一种, 该恒流驱动器由运算放大器AD8615、开关ADG819和数字电位计AD5201构成。分光镜将一半光线通过样本容器发送, 另一半通过参考容器发送。配置为跨阻放大器的ADA4528-1随后将光电二极管电流转换为输出电压方波, 其幅度与从样本或参考容器透射出来的光线成正比。跨阻放大器利用单刀双掷(SPDT)开关ADG633选择两个跨阻增益中的一个。AD7175-2 Σ-Δ ADC对电压进行采样, 并将数字数据发送到FPGA进行数字解调。

FPGA首先将一个以数字方式生成的正弦波与LED时钟同步, 然后将此正弦波与ADC采样数据相乘, 从而实现同步解调。此外, 该正弦波的90°相移版本也与ADC数据相乘

以获得调制信号的正交分量。这些操作的结果是产生两个低频解调信号, 分别代表各通道接收光线的同相和正交分量。一个窄带FIR低通滤波器滤除所有其他频率成分, 这样便很容易计算光电二极管测得的信号的幅度和相移, 而与LED时钟不同的频率的光线或电气噪声则被抑制。多路复用器ADG704将供电轨连接至三种颜色LED中的一个, 用户可以通过2位地址选择测试波长。AD8615和NPN晶体管构成一个简单的电流源, LED电流由下式给出:

$$I_{LED} = V_{NON-INVERTING} / R_{EMITTER}$$

其中:

$V_{NON-INVERTING}$ 为AD8615同相输入端电压。

$R_{EMITTER}$ 为连接到晶体管Q3发射极的电阻值。

CN-0363

ADG819 SPDT开关连接到设定点电压和地,其控制引脚连接到参考时钟。当时钟在高低之间振荡时,电流源的设定从0 mA变为所需的输出电流,从而产生一个方波信号。

数字电位计AD5201充当2.5 V基准电压源的可编程电阻分压器,使得LED电流共有33种不同的电流输出设置。

样本和参考容器各接收LED光能的一半,吸收的光量取决于每个容器中介质的类型和浓度。每个容器另一侧的光电二极管产生少量电流,数量与接收到的光量成比例。

每个接收器通道的第一级包含ADA4528-1运算放大器,该运算放大器配置为跨阻放大器,可将光电二极管输出电流转换为电压。ADA4528-1是一款自稳零放大器,其所导致的失调可忽略不计,无1/f噪声,宽带噪声则非常低(5.9 nV/√Hz)。像所有自稳零放大器一样,在自稳零频率处会出现一个噪声尖峰。对于ADA4528-1,该频率约为200 kHz,但电路信号带宽早在此之前即发生滚降。

运算放大器输入偏置电流乘以输出端的反馈电阻值,作为失调电压。运算放大器的输入失调电压出现在输出端会被放大,其增益取决于反馈电阻和光电二极管分流电阻。此外,运算放大器的任何输入电压失调都会出现在光电二极管上,导致光电二极管暗电流增加。ADA4528-1的失调电压很低(2.5 μV),非常适合这种应用。

图2显示了一个带单反馈电阻的典型跨阻放大器及其理想传递函数。

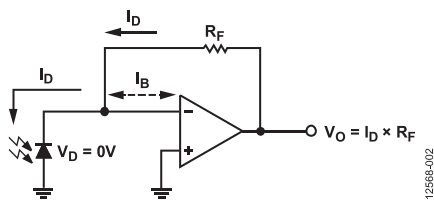


图2. 跨阻放大器传递函数

由于某些被测溶液可能具有非常强的吸收特性,因此有时需要使用大反馈电阻来测量光电二极管产生的极小电流,同时要能够测量与高度稀释溶液相对应的大电流。为了解决这一难题,图1中的光电二极管放大器含有两个不同的可选增益。其中一个增益设为33 kΩ,另一个设为1 MΩ。当单SPDT开关连接运算放大器的输出端以便开关反馈电阻时,ADG633的导通电阻会导致跨阻增益误差。为了避免这个问题,图3显示了一种较好的配置,在该配置中,反

馈环路内部的ADG633选择所需电阻,同时第二个开关将系统下一级与所选反馈环路相连。放大器输出端的电压为:

$$V_{TIA\ OUTPUT} = I_{PHOTODIODE} \times R_{FEEDBACK}$$

而不是

$$V_{TIA\ OUTPUT} = I_{PHOTODIODE} \times (R_{FEEDBACK} + R_{ON\ ADG633})$$

它表示增益误差。但是,由于其中一个ADG633位于反馈环路之外,该级的输出阻抗即为ADG633的导通电阻(通常52 Ω),而非闭环工作时与运算放大器输出有关的极低输出阻抗。ADG633漏电流(典型值5 pA)引起的误差可忽略不计。

哪怕诸如ADA4528-1这类最好的轨到轨输出放大器,其输出都无法完全摆动至供电轨。此外,ADA4528-1上的输入失调电压可以为负,虽然其数值非常小。运算放大器ADA4805-1不是通过一个负电源来保证放大器绝不削波,并且保证它能驱动至0.0 V,而是提供一个100 mV缓冲电压来偏置光电二极管阳极和ADA4528-1。ADA4805-1非常适合用作基准电压缓冲器,因为当驱动去耦用大容性负载时,它能保持单位增益稳定性。另外还使用第二个ADA4805-1来缓冲用以设置LED电流的数字电位计AD5201输出。

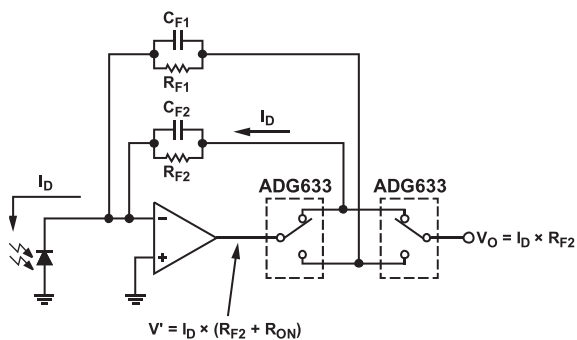


图3. 可编程增益跨阻放大器

光电二极管放大器输出电压可在0.1 V至5.0 V范围内摆动。对于33 kΩ范围而言,4.9 V输出范围对应148.5 μA的满量程光电二极管电流。对于1 MΩ范围,其对应4.9 μA的满量程光电二极管电流。使用1 MΩ的增益设置工作时,务必保护光电二极管不受外界光线影响,以防放大器饱和。虽然下文所述的同步检波方案能够有力地衰减任何不与LED时钟同步的频率,但若ADC返回饱和数据,检波方案将无法正常工作。

各通道的增益设置可通过FPGA板独立选择。

CN-0363

ADC采样速率和调制频率选择

AD7175-2 ADC配置有sinc5+sinc1滤波器，输出数据速率为250 kSPS，可采样单周期建立对两个通道采样。这种配置使得各通道的有效采样速率为25 kSPS(各通道每隔40 μs输出数据)。任何高于12.5 kHz的频率(例如方波调制的奇数谐波)都会混叠回到ADC通带中，只要其不是刚好位于调制频率之上，同步解调级就会抑制这些频率。为了防止调制波形的混叠频率折回到基频，应根据以下关系选择调制频率：

$$F_{MODULATION} = \frac{F_{SAMPLE}}{2 \times n + 0.5}$$

其中：
 $F_{MODULATION}$ 为调制频率。
 F_{SAMPLE} 为ADC有效输出数据速率。
 n 为整数(对应于调制频率的谐波)。

例如在本系统中，有效输出数据速率为25 kSPS，因此，如果需要1 kHz左右的调制频率，该频率必须是1020 Hz ($n = 12$) 或943 Hz ($n = 13$)以避免混叠问题。采样这种方法选择调制频率，前端即无需使用陡峭的抗混叠滤波器。

数字同步检波

本电路不是在硬件中实现同步检波(参见电路笔记CN-0312)，而是获得时间采样数据并利用FPGA实现数字同步检波。图4是FPGA中实现的数字同步检波模块的示意图。FPGA产生交流激励信号驱动LED，以数字方式产生的正弦波在数字锁相环中锁定该信号。输入信号与数字正弦波和90°相移版本相乘，产生两个低频解调信号，其分别与输入信号在调制频率的同相和正交分量成正比。如图4所示，幅度为这两个分量的平方和之根。有关该解调技术的更多信息，请参阅“了解详情”部分。

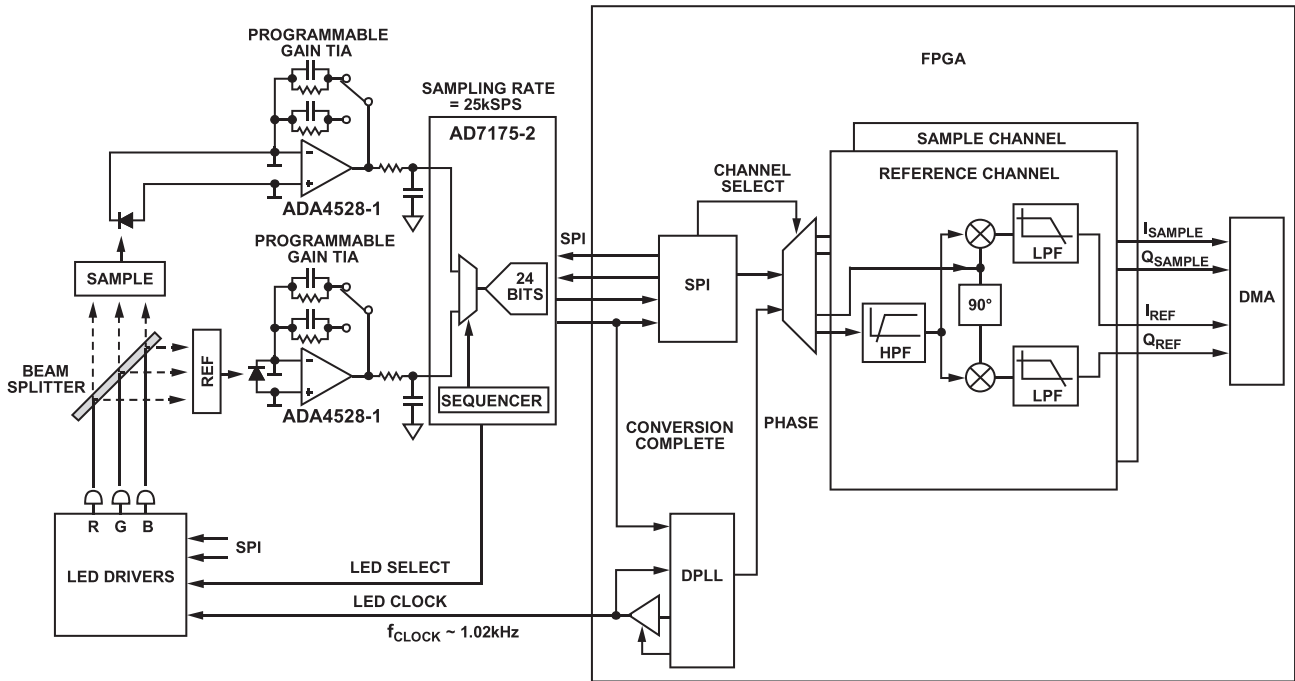


图4. 包括FPGA同步检波器的系统框图

12568-004

CN-0363

电源

EVAL-CN0363-PMDZ板由外部6 V至12 V直流电源供电。电路的模拟部分由来自低压差稳压器ADP7102的AVDD = 5 V供电。电路的数字部分由低压差稳压器ADP1720产生的IOVDD = 3.3 V供电。或者，IOVDD也可以通过链路选项由PMOD连接器VCC提供。

2.5 V基准电压由AD7175-2 ADC的内部2.5 V基准源提供。

电路性能测量

为了验证系统的噪声性能，应在禁用所有LED的情况下获取数据。同步检波器依然工作在LED时钟频率，但不会检测到任何与该时钟同步的光信号，因此，它会消除所有直流和交流信号。表1所示为无噪声位性能。

表1. 无噪声位性能¹

增益	ADC输出		最终滤波输出	
	参考通道ADC	样本通道ADC	参考通道输出	样本通道输出
1 MΩ	12.46	12.85	15.91	15.50
33 kΩ	15.58	15.59	18.77	18.85

¹ 采样速率 = 25 kSPS，激励频率 = 1020 Hz，输出滤波器带宽 = 100 Hz。

常见变化

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

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

由于LED的光输出随温度变化而改变，系统以样本和参考通道的比例进行测量。光电二极管的增益容差最大值为±11%；因此，由于LED输出随时间和温度的变化而改变，比例的变动在一定程度上存在漂移。增加光反馈网络来控制LED光输出可降低其随温度的变化，使精确的单端测量成为可能。

可以不使用方波来调制LED，而用FPGA中的DDS或PWM来产生正弦波调制。正弦波调制可减少信号的谐波成分，使滤波更简单，并降低噪声。

电路评估与测试

EVAL-CN0363-PMDZ板的完整文档，包括原理图、布局图、Gerber文件和物料清单，可在CN-0363设计支持包中找到，网址：www.analog.com/CN0363-DesignSupport。

CN-0363评估软件与FPGA开发板通信，以从EVAL-CN0363-PMDZ电路板捕捉数据并进行分析。

设备要求

- EVAL-CN0363-PMDZ电路评估板
- 6 V至12 V、500 mA直流电源或壁式电源适配器
- FPGA开发板(如ZedBoard)和12 V电源
- 8 GB SD卡，随同EVAL-CN0363-PMDZ提供
- USB键盘和鼠标组合
- HDMI监视器(仅HD)
- CN-0363评估软件(参见CN-0363用户指南)
- 蒸馏水和测试液体样本

开始使用

有关评估硬件和软件的操作详情，请参阅CN-0363用户指南。

HDL软件和驱动在软件链接中提供，支持各种FPGA开发板，例如Avnet ZedBoard。

开发平台需要一个SD卡，其已随同CN-0363硬件提供。SD卡已经过适当分区，但必须用最新镜像予以更新。程序参见CN-0363用户指南。

功能框图

图5所示为测试设置的功能框图。

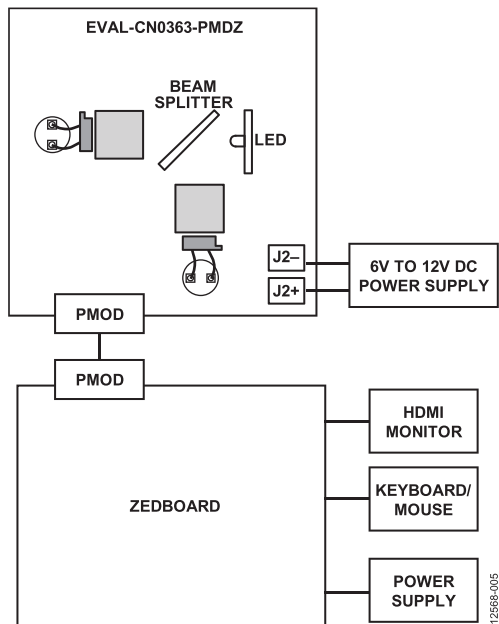


图5. 评估系统功能框图

CN-0363

设置

按照如下方式设置系统：

- 1. 用PMOD电缆连接EVAL-CN0363-PMDZ和ZedBoard，并将一个6 V至12 V直流电源连接到J2电源连接器。此时不要接通电源。
- 2. 将USB键盘/鼠标、HDMI监视器和电源连接到ZedBoard。此时不要接通电源。

测试

按照如下方式初始化系统：

- 1. 接通EVAL-CN0363-PMDZ板的电源。
- 2. 接通ZedBoard的电源。
- 3. 让系统开始引导。
- 4. 若需要，输入CN-0363用户指南所述的适当键盘命令。

校准

系统需进行一次初始校准，以便补偿波束分离器与光电二极管之间的对齐误差，以及补偿光电二极管的所有响应失配。若要校准系统，以蒸馏水填充两个容器，然后插入PCB的方孔中。在校准过程中，建议将光电二极管屏蔽起来，防止环境光线照射。

在软件中启动自动校准程序：从Menu(菜单)栏打开Calibration(校准)对话框，然后单击Calibrate(校准)。完成全部校准程序需要几秒钟时间，进度条会指示当前步骤。校准完成时，校准值会更新。校准会消除零点失调，并设置各通道的正确增益。校准数据还包括一个乘法系数K，其表示满量程激励下参考通道值和样本通道值的相对关系。

针对每种LED颜色，软件都会计算系数K，因此有：

$$\frac{V_{REFERENCE_CHANNEL}}{V_{SAMPLE_CHANNEL}} K = 1$$

其中，K表示经计算得出的校准常数。

完成校准后，软件在后续测量中均使用这些校准常数。

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

$$Absorbance = \log_{10} \left(\frac{V_{REFERENCE} K}{V_{SAMPLE}} \right)$$

无需使用有害化学物质即可验证该理论的简单方法，是测量食用色素的染料浓度。图6显示采用EVAL-CN0363-PMDZ进行测量时，黄色5号染料不同浓度的实验结果。

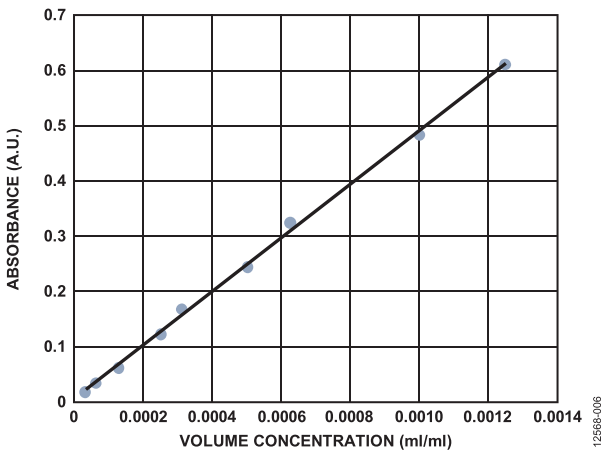


图6. 465 nm(主波长)光下黄色5号染料的吸光度直线

黄色溶液可强烈吸收蓝光；因此，测量采用蓝光(465 nm主波长)LED作为光源。x轴表示体积浓度(每毫升水中染料的毫升数，因此x轴没有单位)，y轴表示吸光度。根据比尔朗伯特定律的预测，吸光度随浓度呈线性变化。

分析样本

单击Automated Data Collection(自动收集数据)选项卡中的Analyze Sample(分析样本)按钮(参见图7)以自动分析样本，循环处理所有三种颜色，并计算每种颜色的吸光度。完成分析需要几秒钟时间，进度条会更新以指示当前步骤。分析完成时会显示吸光度值。然后便可将该样本与样本库中的现有样本进行比对，或将其保存到样本库中供将来使用。

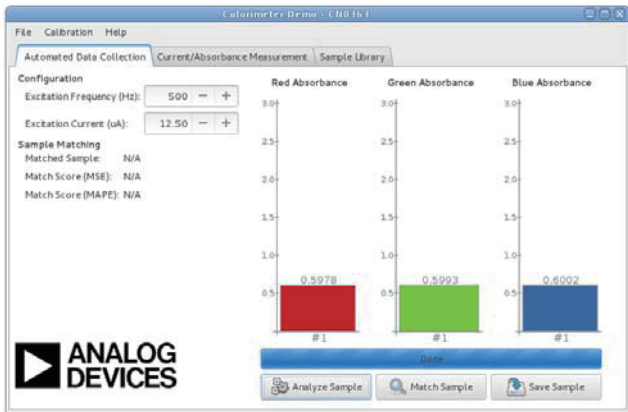


图7. Automated Data Collection(自动收集数据)选项卡视图

CN-0363

电流/吸光度测量和手动设置

通过Current/Absorbance Measurement(电流/吸光度测量)选项卡, 用户可以直接手动控制LED和增益, 以及查看原始数据(参见图8)。下列参数可供设置: Excitation Frequency(激励频率)、Excitation Current(激励电流)、LED(红光、绿光或蓝光)、Reference Channel Gain(参考通道增益)和Sample Channel Gain(样本通道增益)。

更改这些值后, 运行自动校准程序可以恢复初始默认值。



图8. Current/Absorbance Measurement(电流/吸光度测量)选项卡视图

样本库

利用Sample Library(样本库)选项卡(参见图9), 用户可以管理和比较以前保存的样本数据。左侧是所有样本的列表。右侧是当前所选样本的吸光度值。

按住CTRL键可以选择多个样本。利用此功能可以直接比较

多个样本的吸光度。选择样本, 然后单击Remove(删除), 可以将样本从库中删除。从库中删除的样本无法恢复。

EVAL-CN0363-PMDZ板的照片如图10所示。



图9. Sample Library(样本库)选项卡视图

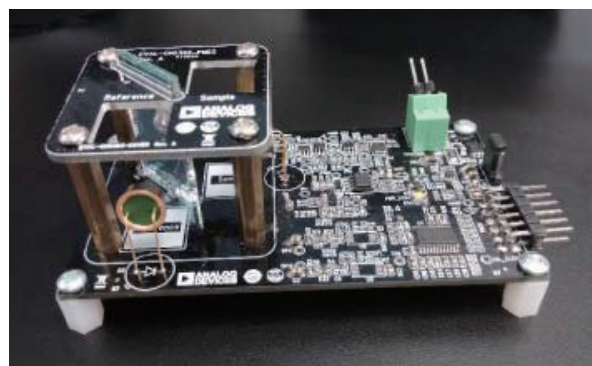


图10. EVAL-CN0363-PMDZ照片

CN-0363

了解详情

CN-0363设计支持包:

www.analog.com/CN0363-DesignSupport

Luis Orozco。“同步检波器助力精密低电平测量”。Analog Dialogue 48-11, 2014年11月。

Luis Orozco。“可编程增益跨阻放大器使光谱系统的动态范围达到最大”。Analog Dialogue 47-05, 2013年5月。

Walt Kester、Scott Wurcer和Chuck Kitchin。高阻抗传感器，传感器信号调理实用设计技术，第5部分。1999年。

Douglas A. Skoog、Holler F. James和Stanley R. Crouch。“光谱测定方法入门”。Instrumental Analysis。美国：Brooks/Cole, Cengage Learning, 2007年。

数据手册和评估板

[AD7175-2数据手册](#)

[ADA4528-1数据手册](#)

[AD8615数据手册](#)

[AD5201数据手册](#)

[ADA4805-1数据手册](#)

[ADG633数据手册](#)

[ADG733数据手册](#)

[ADG704数据手册](#)

[ADG819数据手册](#)

修订历史

2015年5月—修订版0：初始版

参考电路 CN-0359

**Circuits
from the Lab®**
Reference Designs

Circuits from the Lab® reference designs are engineered and tested for quick and easy system integration to help solve today's analog, mixed-signal, and RF design challenges. For more information and/or support, visit www.analog.com/CN0359.

连接/参考器件

AD8253	10 MHz、20 V/μs、G = 1、10、100、1000、iCMOS可编程增益仪表放大器	ADuCM360	集成双通道Σ-Δ型ADC和ARM Cortex-M3的低功耗精密模拟微控制器
ADA4627-1	30 V、高速、低噪声、低偏置电流JFET运算放大器	AD8542	CMOS轨到轨通用放大器
ADA4000-1	低成本、精密JFET输入运算放大器	ADP2300	1.2 A、20 V、700 kHz/1.4 MHz异步降压型稳压器
ADA4638-1	30 V、零漂移、轨到轨输出精密放大器	ADP1613	650 kHz/1.3 MHz升压PWM DC-DC开关转换器
ADA4528-2	精密、超低噪声、RRIO、双通道、零漂移运算放大器	ADG1211	低电容、低电荷注入、±15 V/+12 V iCMOS四通道单刀单掷开关
ADA4077-2	4 MHz、7 nV/√Hz、低失调和漂移、高精度放大器	ADG1419	2.1 Ω导通电阻、±15 V/+12 V/±5 V、iCMOS单刀双掷开关
AD8592	CMOS、单电源、轨到轨输入/输出运算放大器，具有关断功能	ADM3483	3.3 V限摆率、半双工、RS-485/RS-422收发器

全自动高性能电导率测量系统

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0359电路评估板\(EVAL-CN0359-EB1Z\)](#)

设计和集成文件

[原理图、源代码、布局文件、物料清单](#)

电路功能与优势

图1中的电路是一个完全独立自足、微处理器控制的高精度电导率测量系统，适用于测量液体的离子含量、水质分析、工业质量控制以及化学分析。

经过仔细选择的精密信号调理元件组合可在0.1 μS至10 S (10 MΩ至0.1 Ω)电导率范围内提供优于0.3%的精度，且无需校准。

针对100 Ω或1000 Ω铂(Pt)电阻温度检测器(RTD)提供自动检测功能，允许以室温为参考测量电导率。

系统支持双线式或四线式电导池以及双线式、三线式或四线式RTD，以提高精度和灵活性。

该电路能以极小的直流失调产生精确交流激励电压，从而避免电导率电极上的极化电压受损。交流激励的幅度和频率为用户可编程。

创新的同步采样技术可将激励电压和电流的峰峰值幅度转化为直流值，这样不仅提升了精度，同时简化了内置于精密模拟微控制器的双通道24位Σ-Δ型ADC对于信号的处理。

采用LCD显示器和编码器按钮实现直观的用户界面。该电路可以按需使用RS-485接口实现与PC的通信，并采用4 V至7 V单电源供电。

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 designs. (Continued on last page)

CN-0359

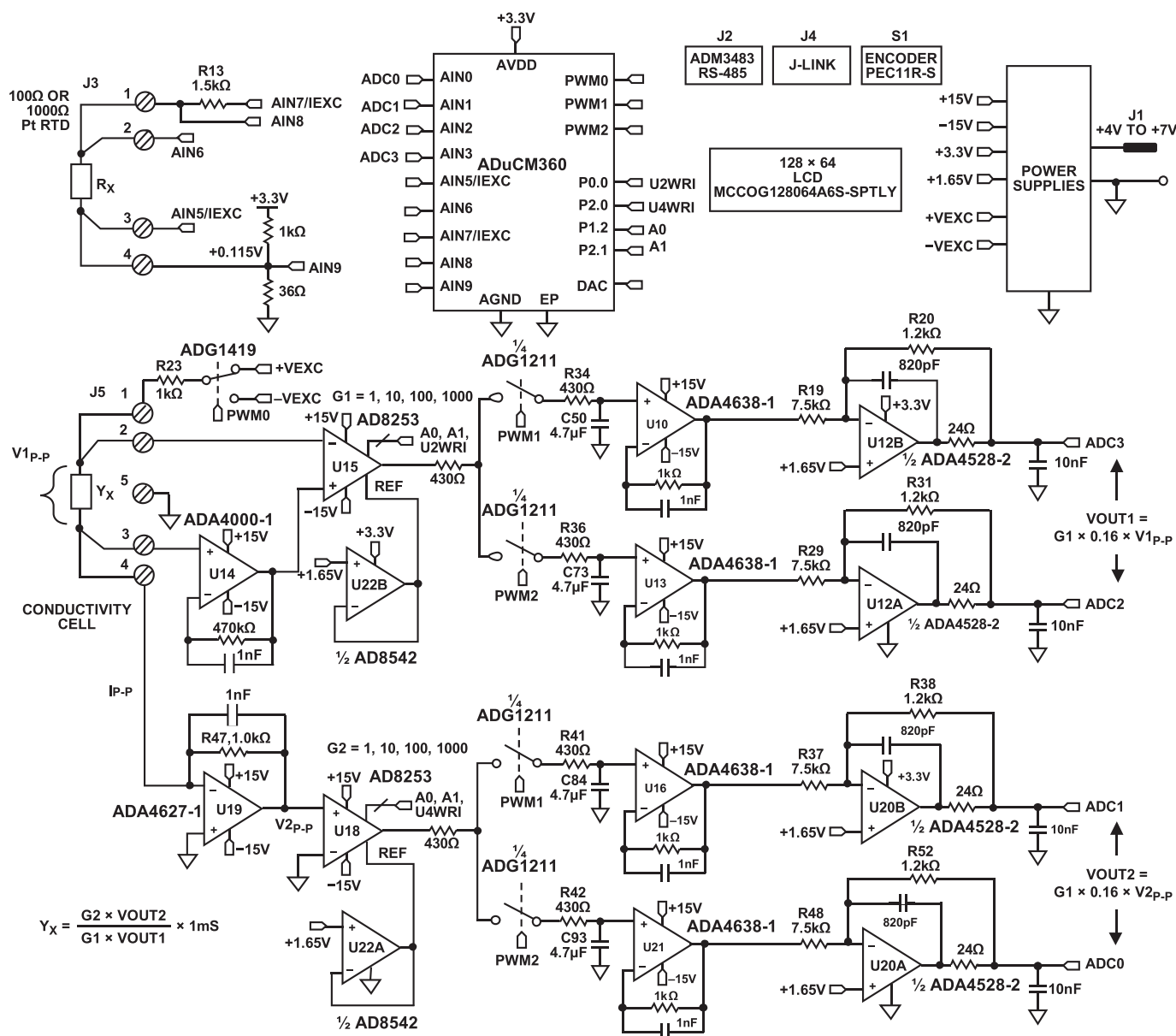


图1. 高性能电导率测量系统(原理示意图: 未显示所有连接和去耦)

电路描述

电导池的激励方波通过使用ADuCM360微控制器的PWM输出在+VEXC和-VEXC电压之间切换ADG1419产生。方波必须具有精确的50%占空比和极低直流失调。哪怕很小的直流失调都会在一时间之后损坏电导池。

+VEXC和-VEXC电压由ADA4077-2运算放大器(U9A和U9B)产生, 这两个电压的幅度由ADuCM360的DAC输出控制, 如图2所示。

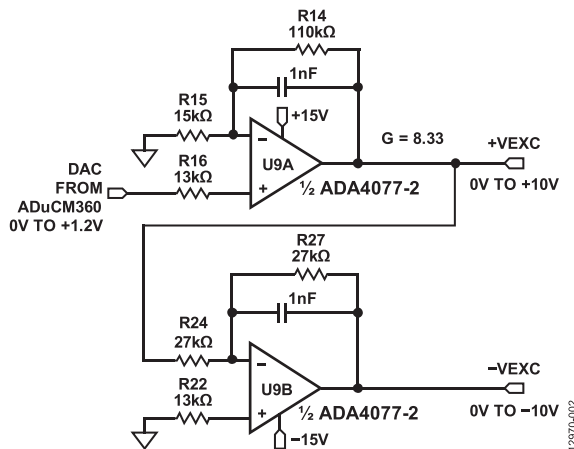


图2. 激励电压源

CN-0359

ADA4077-2失调电压典型值为 $15\mu\text{V}$ (A级), 偏置电流为 0.4nA , 失调电流为 0.1nA , 输出电流最高为 $\pm 10\text{mA}$, 压差低于 1.2V 。**U9A**运算放大器的闭环增益为 8.33 , 可将**ADuCM360**内部DAC输出(0V 至 1.2V)转换为 0V 至 10V 范围的+VEXC电压。**U9B**运算放大器反转+VEXC, 产生-VEXC电压。选择R22, 使得 $R22 = R24 \parallel R27$, 以便消除一阶偏置电流。由**U9A**的 $15\mu\text{V}$ 失调电压产生的误差约为 $(2 \times 15\mu\text{V}) \div 10\text{V} = 3\text{ppm}$ 。因此, 反相级产生的主要误差是R24和R27之间的电阻匹配误差。

ADG1419是一个 2.1Ω 导通电阻单刀双掷模拟开关, 在 $\pm 10\text{V}$ 范围内的导通电阻平坦度为 $50\text{m}\Omega$, 非常适合从 $\pm\text{VEXC}$ 电压产生对称方波信号。电阻R23将通过传感器的最大电流限制为 $10\text{V}/1\text{k}\Omega = 10\text{mA}$ 。**ADG1419**导致的对称误差通常为 $50\text{m}\Omega \div 1\text{k}\Omega = 50\text{ppm}$ 。

施加到电导池上的电压V1采用**AD8253**仪表放大器(**U15**)进行测量。**U15**正输入由**ADA4000-1**(**U14**)缓冲。选择**ADA4000-1**是因为它具有 5pA 低偏置电流, 可最大程度减少低电导率相关的低电流测量误差。**AD8253**的负输入不需要缓冲。

同步采样级可以消除**U14**和**U15**的失调电压, 从而不影响测量精度。

U15和**U18**采用**AD8253** 10MHz 、 $20\text{V}/\mu\text{s}$ 、可编程增益($G=1$ 、 10 、 100 、 1000)仪表放大器, 增益误差低于 0.04% 。**AD8253**压摆率为 $20\text{V}/\mu\text{s}$, 0.001% 建立时间为 $1.8\mu\text{s}$ ($G=1000$)。其共模抑制典型值为 120dB 。

U19(**ADA4627-1**)级是一个精密电流-电压转换器, 可将流过传感器的电流转换为电压。这款器件的低偏置电流和低失调电压性能使其成为该级的理想选择。 $120\mu\text{V}$ 失调误差产生的对称误差仅为 $120\mu\text{V}/10\text{V} = 12\text{ppm}$ 。**ADA4627-1**失调电压为 $120\mu\text{V}$ (典型值, A级), 偏置电流为 1pA (典型值), 压摆率为 $40\text{V}/\mu\text{s}$, 0.01% 建立时间为 550ns 。

U22A和**U22B**(**AD8542**)缓冲器分别为**U18**和**U15**仪表放大器提供 1.65V 基准电压。

下面介绍电压通道信号路径上的其余器件(**U17A**、**U17B**、**U10**、**U13**、**U12A**和**U12B**)。电流通道(**U17C**、**U17D**、**U16**、**U21**、**U20A**和**U20B**)的工作情况相同。

ADuCM360能产生PWM0方波开关信号以供**ADG1419**开关使用, 并且还能产生PWM1和PWM2同步信号供同步采样级使用。电导池的电压和三个时序波形如图3所示。

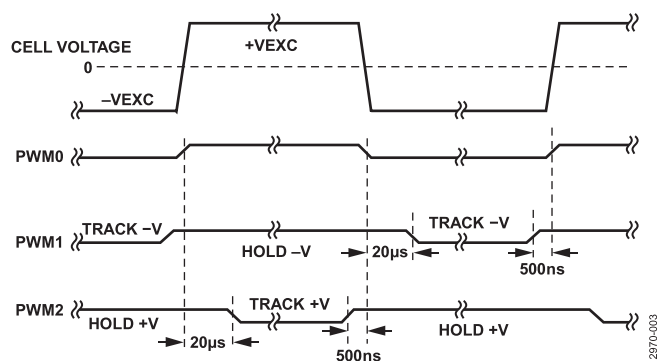


图3. 电导池电压和采样保持时序信号

AD8253仪表放大器(**U15**)输出驱动两个并行的采样保持电路; 这两个电路由**ADG1211**开关(**U17A**/**U17B**)、串联电阻(R34/R36)、保持电容(C50/C73)以及单位增益缓冲器(**U10**/**U13**)组成。

ADG1211是一个低电荷注入、四通道单刀单掷模拟开关, 工作电源电压为 $\pm 15\text{V}$, 输入信号最高可达 $\pm 10\text{V}$ 。开关导致的最大电荷注入为 4pC , 产生的电压误差仅为 $4\text{pC} \div 4.7\mu\text{F} = 0.9\mu\text{V}$ 。

PWM1信号使**U10**采样保持缓冲器可在传感器电压的负周期采样, 然后保持直至下一个采样周期。因此, **U10**采样保持缓冲器输出等于传感器电压方波负幅度对应的直流电平。

类似地, PWM2信号使**U13**采样保持缓冲器可在传感器电压的正周期采样, 然后保持直至下一个采样周期。因此, **U13**采样保持缓冲器输出等于传感器电压方波正幅度对应的直流电平。

采样保持缓冲器(**ADA4638-1**)的偏置电流典型值为 45pA , 而**ADG1211**开关的漏电流典型值为 20pA 。因此, $4.7\mu\text{F}$ 保持电容的最差情况漏电流为 65pA 。对于 100Hz 激励频率而言, 周期为 10ms 。由于 65pA 漏电流而导致的半周期(5ms)内压降为 $(65\text{pA} \times 5\text{ms}) \div 4.7\mu\text{F} = 0.07\mu\text{V}$ 。

ADA4638-1零漂移放大器的失调电压典型值仅为 $0.5\mu\text{V}$, 其误差贡献可以忽略不计。

信号链上位于ADC前面的最后一级是**ADA4528-2**反相衰减器(**U12A**和**U12B**), 其增益为 -0.16 , 共模输出电压为 $+1.65\text{V}$ 。**ADA4528-2**失调电压典型值为 $0.3\mu\text{V}$, 因此误差贡献可以忽略不计。

CN-0359

衰减器级可将±10 V最大信号降低为±1.6 V，共模电压为+1.65 V。该范围与ADuCM360 ADC输入范围相当，即采用3.3 V AVDD电源时为0 V至3.3 V ($1.65 \text{ V} \pm 1.65 \text{ V}$)。

衰减器级同样提供噪声过滤功能，其-3 dB频率约为198 kHz。

电压通道VOUT1的差分输出施加到ADuCM360的AIN2和AIN3输入端。电流通道VOUT2的差分输出施加到ADuCM360的AIN0和AIN1输入端。

计算输出的两个等式如下所示：

$$VOUT1 = G1 \times 0.16 \times VI_{P-P} \quad (1)$$

$$VOUT2 = G2 \times 0.16 \times V2_{P-P} \quad (2)$$

电导池电流由下式确定：

$$I_{P-P} = VI_{P-P} \times Y_X \quad (3)$$

V2_{P-P}电压由下式确定：

$$V2_{P-P} = I_{P-P} \times R47 \quad (4)$$

求解等式4的I_{P-P}，然后代入等式3，求得Y_X：

$$Y_X = \frac{V2_{P-P}}{VI_{P-P} \times R47} \quad (5)$$

求解等式1和等式2的V1_{P-P}和V2_{P-P}，然后代入等式5，求得：

$$Y_X = \frac{G2 \times VOUT2}{G1 \times VOUT1 \times R47} \quad (6)$$

$$Y_X = \frac{G2 \times VOUT2}{G1 \times VOUT1} \times 1 \text{ mS} \quad (7)$$

等式7显示电导率测量取决于G1、G2和R47，以及VOUT2和VOUT1的比值。因此，ADuCM360内置的ADC无需使用精密基准电压源。

AD8253增益误差(G1和G2)最大值为0.04%，并且R47选择0.1%容差的电阻。

从该点开始，VOUT1和VOUT2信号链的电阻便决定了总系统精度。

软件将每个AD8253的增益按如下所述进行设置：

- 如果ADC代码超过满量程的93.2%，则AD8253增益在下一个样本减少10倍。
- 如果ADC代码低于满量程的9.13%，则AD8253增益在下一个样本增加10倍。

系统精度测量

下列4个电阻影响VOUT1电压通道的精度：R19、R20、R29和R31。

下列5个电阻影响VOUT2电流通道的精度：R47、R37、R38、R48和R52。

假设所有9个电阻均为0.1%容差并包括AD8253的0.04%增益误差，则最差情况下的误差分析表明误差约为0.6%。分析内容在CN-0359设计支持包中。

在实际应用中，电阻更有可能采取RSS方式进行组合，且正或负信号链上的电阻容差导致的RSS误差为 $\sqrt{5} \times 0.1\% = 0.22\%$ 。

使用1 Ω至1 MΩ(1 S至1 μS)精密电阻进行精度测量，以仿真电导池。图4显示了结果，最大误差不到0.1%。

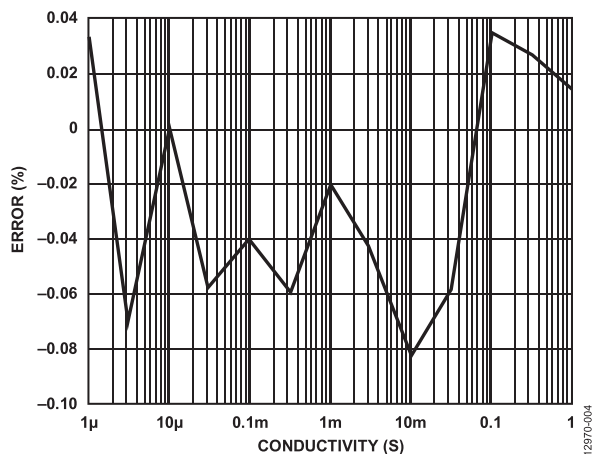


图4. 系统误差(%)与电导率(1 μS至1 S)的关系

RTD测量

电导率测量系统精度只有经过温度补偿才能达到最佳。由于常见溶液温度系数在1%/°C至3%/°C或更高值之间变化，因此必须使用带有可调温度补偿的测量仪器。溶液温度系数在某种程度上是非线性的，通常还随着实际电导率变化。因此，在实际测量温度下进行校准可以达到最佳精度。

ADuCM360内置两个匹配的软件可配置激励电流源。它们可单独配置，提供10 μA至1 mA电流输出，匹配优于0.5%。电流源允许ADuCM360针对Pt100或Pt1000 RTD轻松执行双线式、三线式或四线式测量。在设置过程中，软件还能自动检测RTD是否为Pt100或Pt1000。

下文给出了不同RTD配置如何工作的简化原理图。所有模式切换均通过软件实现，无需改变外部跳线设置。

CN-0359

图5显示了四线式RTD配置。

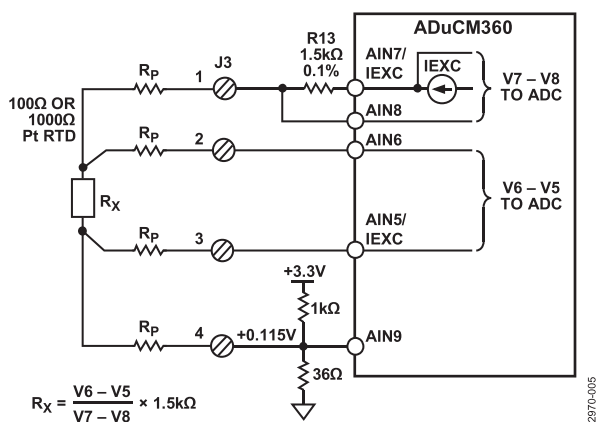


图5. 四线式RTD连接配置

每个连接远程RTD的引脚寄生电阻以 R_p 表示。激励电流(IEXC)流过1.5kΩ精密电阻和RTD。片上ADC测量电阻(V7-V8)两端的电压。

选择R13电阻和IEXC激励电流值,使得AIN7上的ADuCM360最大输入电压不超过AVDD-1.1V很重要;否则,IEXC电流源会工作异常。

RTD电压可以使用两个连接AIN6和AIN5的检测引脚进行精确测量。输入阻抗约为2MΩ(无缓冲模式,PGA增益=1),并且流过检测引脚电阻的电流引起的误差极小。然后,ADC测量RTD电压(V6-V5)。

随后便可如下所示计算RTD电阻:

$$R_X = \frac{V6 - V5}{V7 - V8} \times 1.5 \text{ k}\Omega \quad (8)$$

测量值是一个比例值,且与精确的外部基准电压无关,而仅与1.5kΩ电阻容差有关。此外,四线式配置可消除引脚电阻相关的误差。

ADuCM360提供带缓冲与不带缓冲的输入选项。如果激活内部缓冲器,则输入电压必须大于100mV。1kΩ/36Ω电阻分压器能为RTD提供115mV偏置电压,允许以缓冲方式工作。在无缓冲模式下,J3端点4可以接地,并连接接地屏蔽,以减少噪声。

三线式连接是另一种使用广泛的RTD配置,可消除引脚电阻误差,如图6所示。

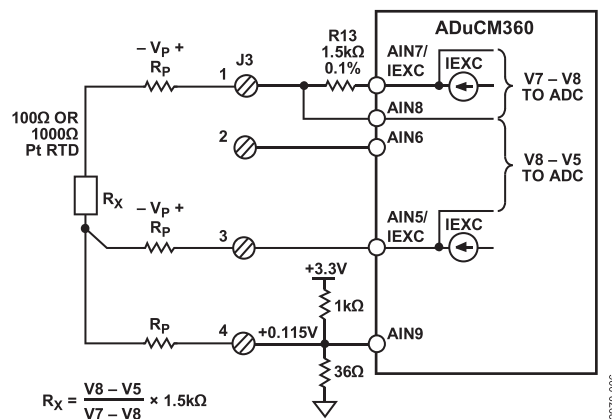


图6. 三线式RTD连接配置

第二个匹配的IEXC电流源(AIN5/IEXC)在引脚电阻上形成一个电压,并与端点3串联,消除与端点1串联的引脚电阻上的压降。因此,测得的V8-V5电压不存在引脚电阻误差。

图7显示了双线式RTD配置,无引脚电阻补偿。

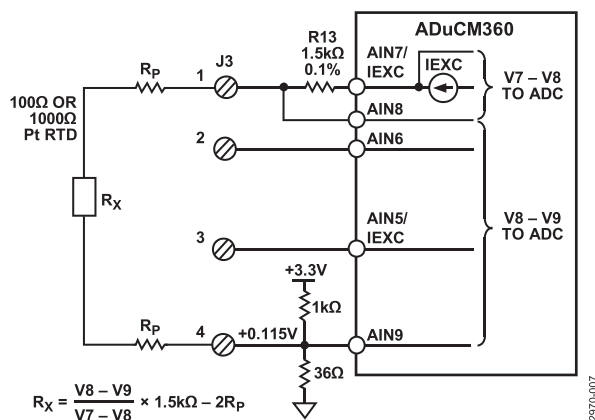


图7. 双线式RTD连接配置

双线式配置是成本最低的电路,适用于非关键型应用、短路RTD连接以及较高电阻RTD(比如Pt1000)等。

CN-0359

电导率理论

材料或液体的电阻率 ρ 定义为：当立方体形状的材料反面完全导电接触时，该材料的电阻。其他形状材料的电阻 R 可按以下方式计算：

$$R = \rho L / A \tag{9}$$

其中：
 L 是接触距离。
 A 是接触面积。

电阻率的测量单位为 $\Omega\text{ cm}$ 。当接触 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 立方体的反面时， $1\text{ }\Omega\text{ cm}$ 材料的电阻为 $1\text{ }\Omega$ 。

电导是电阻的倒数，电导率是电阻率的倒数。电导的测量单位为西门子(S)，电导率的测量单位为 S/cm 、 mS/cm 或 $\mu\text{S/cm}$ 。

所有水溶液都在一定程度上导电。向纯水中添加电解质，例如盐、酸或碱，可以提高电导率并降低电阻率。

在此电路笔记中， Y 为电导率的通用符号，测量单位为 S/cm 、 mS/cm 或 $\mu\text{S/cm}$ 。但在很多情况下，为了方便起见，我们会省略距离项，电导率仅表示为 S 、 mS 或 μS 。

电导率系统通过电子元件连接到沉浸在溶液中的传感器(称为电导池)来测量电导率，如图8所示。

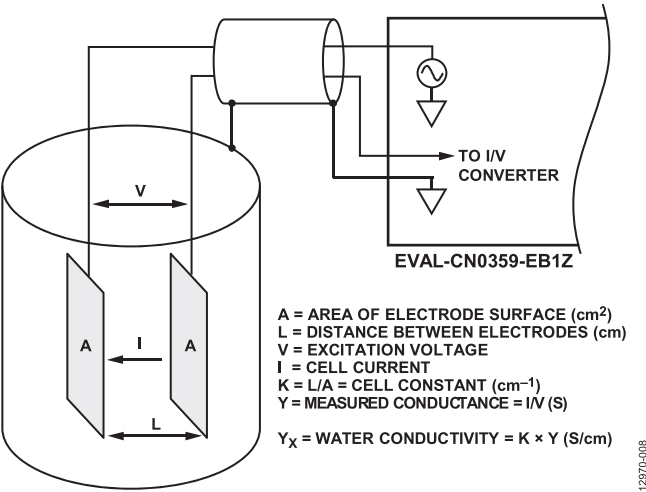


图8. 电导池与EVAL-CN0359-EB1Z实现对接

电子电路对传感器施加交流电压，并测量产生的电流大小，电流与电导率相关。由于电导率具有很大温度系数(最高达到 $4\%/^{\circ}\text{C}$)，因此电路中集成了必需的温度传感器，用于将读数调整为标准温度，通常为 25°C (77°F)。对溶液进行测量时，必须考虑水本身的电导率的温度系数。为了精确地补偿温度，必须使用第二个温度传感器和补偿网络。

接触型传感器通常包括相互绝缘的两个电极。电极通常为316型不锈钢、钛钽合金或石墨，具有特定的大小和间距，以提供已知的电导池常数。从理论上说， $1.0/\text{cm}$ 的电导池常数表示两个电极，每个电极面积为 1 cm^2 ，间距为 1 cm 。对于特定的工作范围，电导池常数必须与测量系统相匹配。例如，如果在电导率为 $1\text{ }\mu\text{S/cm}$ 的纯水中使用电导池常数为 $1.0/\text{cm}$ 的传感器，则电导池的电阻为 $1\text{ M}\Omega$ 。相反，相同电导池在海水中的电阻为 $30\text{ }\Omega$ ，由于电阻比过大，普通仪器很难在仅有一个电导池常数情况下精确测量此类极端情况。

对 $1\text{ }\mu\text{S/cm}$ 溶液进行测量时，电导池配置了大面积电极，相距很小的间距。例如，对于电导池常数为 $0.01/\text{cm}$ 的电导池，其电导池电阻测量值约为 $10,000\text{ }\Omega$ ，而非 $1\text{ M}\Omega$ 。精确测量 $10,000\text{ }\Omega$ (而非 $1\text{ M}\Omega$)比较容易；因此，对于超纯水和高电导率海水，使用具有不同电导池常数的电导池，测量仪表可在相同的电导池电阻范围内工作。

电导池常数 K 定义为电极之间距离 L 与电极面积 A 的比值：

$$K = L / A \tag{10}$$

然后，仪器测量电导池电导 Y ：

$$Y = I / V \tag{11}$$

液体电导率 Y_x 可计算如下：

$$Y_x = K \times Y \tag{12}$$

有两类电导池：一类采用两个电极，另一类采用四个电极，如图9所示。电极通常称为极点。

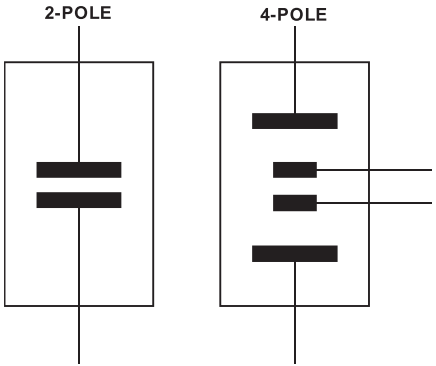


图9. 双极点和四极点电导池

双极点传感器比较适合低电导率测量时使用，比如纯净水和各种生物与医药液体。四极点传感器更适合高电导率测量，比如废水和海水分析。

CN-0359

双极点电导池的电导池常数范围大致是从0.1/cm到1/cm，而四极点电导池的电导池常数范围是从1/cm到10/cm。

四极点电导池可以消除电极极化和场效应引起的误差；这些误差可能会干扰测量。

电极的实际配置可以是平行环、同轴导体等，而不会是如图8所示的简单平行板。

无论电导池为何种类型，都不可在电极上施加直流电压，因为液体中的离子会在电极表面聚集，从而导致极化效应并产生测量误差，更有可能损坏电极。

若采用同轴传感器，则应当密切关注传感器屏蔽。屏蔽必须连接与盛放液体的金属容器相同的电位。如果容器接地，则屏蔽必须连接电路板的接地端(J5的引脚5)。

CN-0359电路允许的可编程激励电压范围为100 mV至10 V，并且R23 (1 k Ω)串联电阻将最大电导池电流限制为10 mA。最根本的预防措施是不要超过电导池激励电压或激励电流的额定值。

电源电路

为了简化系统要求，所有必需的电压(± 15 V和+3.3 V)均由4 V至7 V单电源产生，如图10所示。

ADP2300降压调节器产生电路板所需的3.3 V电源电压。该设计基于可供下载的[ADP230x降压调节器设计工具](#)。

ADP1613升压调节器产生+15 V调节电源电压以及-15 V未调节电源电压。-15 V电源电压采用电荷泵产生。该设计基于[ADP161x升压调节器设计工具](#)。

有关电源的选择与设计详情请参阅www.analog.com/ADIsimPower。

采用正确的布局和接地技术以避免开关调节器噪声耦合至模拟电路。更多详情，请参考[线性电路设计手册](#)、[数据转换手册](#)、[指南MT-031](#)和[指南MT-101](#)。

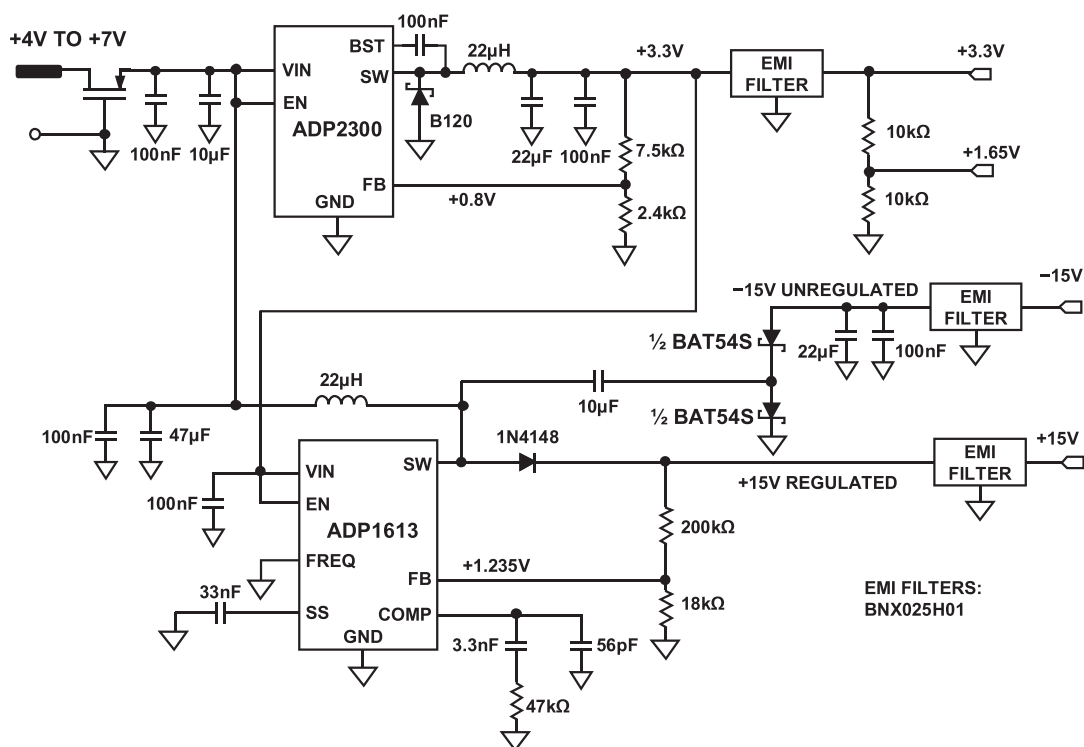


图10. 电源电路

CN-0359

图11显示LCD背光驱动器电路。

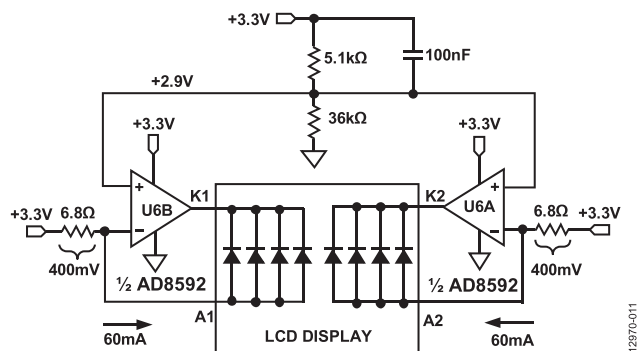


图11. LCD背光驱动器

每半个AD8592运算放大器均用作60mA电流源，为LCD背光电流供电。AD8592的源电流和吸电流最大值为250mA，内置100nF电容以确保软启动。

软件操作和用户界面

EVAL-CN0359-EB1Z预加载了进行电导率测量所需的代码。代码在CN-0359设计支持包的CN0359-SourceCode.zip文件中。

CN-0359具有直观且易于使用的用户界面。所有用户输入均来自双功能按钮/旋转编码器旋钮。编码器旋钮可顺时针旋转或逆时针旋转（无机械停止），也可用作按钮。

图12是EVAL-CN0359-EB1Z板的照片，显示了LCD显示器和编码器旋钮位置。



图12. EVAL-CN0359-EB1Z板照片，显示测量模式下的主画面

连线后，板上的电导池和RTD上电。LCD屏幕如图12所示。

按下编码器旋钮可进入设置菜单，然后输入EXC Voltage (EXC电压)、EXC Frequency (EXC频率)、TEMP Coefficient (温度系数)以及Cell Constant (电导池常数)，如图13所示。

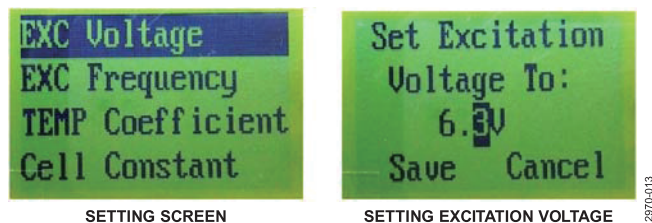


图13. LCD显示屏

旋转旋钮可上下移动光标，选定各种参数。

将光标定位在EXC Voltage (EXC电压)，然后按下旋钮，直至点击打开菜单。旋转旋钮，将光标定位到待设置数字的第一位数。按下按钮，光标闪烁。旋转旋钮改变数字，待出现所需数字时按下按钮。完成所有数字位数的设置后，将光标定位到Save (保存)，然后按下按钮保存设置。

继续执行这些操作步骤，设置EXC Frequency (EXC频率)、TEMP Coefficient (温度系数)和Cell Constant (电导池常数)。

完成全部常数的设置后，选择RETURN TO HOME (返回主屏幕)，然后按下按钮。至此，系统准备就绪，可进行测量。

如果输入允许范围外的数字，则蜂鸣器鸣响。

如果未正确连接电导池，则屏幕显示Sensor Incorrect (传感器不正确)。

如果未正确连接RTD，则屏幕显示RTD Incorrect use 25°C (RTD不正确，使用25°C)；此时系统依然可以在不连接RTD的情况下执行测量，但使用25°C作为补偿温度。

确保在施加电源之前RTD处于连接状态，以便系统可以检测RTD电阻(Pt100或Pt1000)和配置(双线式、三线式、四线式)。

常见变化

CN-0359中的系统采用ADuCM360精密模拟微控制器，实现高度集成的电导率测量。

如果用户希望采用分立式ADC，则AD7794 24位Σ-Δ型ADC是一个不错的选择。

CN-0359

电路评估与测试

本电路采用EVAL-CN0359-EB1Z评估板、外部电源、电导池和RTD。

设备要求

需要以下设备：

- EVAL-CN0359-EB1Z电路板
- 6 V电源或壁式电源适配器(EVAL-CFTL-6V-PWRZ)
- 电导池
- Pt100或Pt1000双线式、三线式或四线式RTD(如果未连接RTD, 则电导率测量以25°C为基准)

设置

执行下列步骤, 设置待评估电路:

- 按下列要求连接电导池:
 - 四线式电导池: 将外部电流电极连接至J5引脚1; 将最近的内部电压电极连接至J5引脚2。将第二个外部电流电极连接至J5引脚4; 将最近的内部电压电极连接至引脚2。
 - 双线式电导池: 将一个电极连接至J5引脚1和引脚2; 将第二个电极连接至J5引脚3和引脚4。
 - 如果电导池具有屏蔽, 则将其连接至J5引脚5。
- 按下列要求连接RTD(若使用):
 - 四线式RTD(参见图5): 将正电流激励导线连接至J3引脚1; 将正电压检测导线连接至J3引脚2。将负电流激励导线连接至J3引脚4; 将负电压检测导线连接至J3引脚3。
 - 三线式RTD(参见图6): 将正电流激励导线连接至J3引脚1; 将负电流激励导线连接至J3引脚4。将负电压检测导线连接至J3引脚3。
 - 双线式RTD(参见图7): 将RTD导线连接至J3引脚1; 将其他导线连接至J3引脚4。
 - 如果RTD导线具有屏蔽, 则将屏蔽连接至J5引脚5。

- 将6 V电源(EVAL-CFTL-6V-PWRZ)连接至EVAL-CN0359-EB1Z电路板的J1。
- 连接EVAL-CFTL-6V-PWRZ, 然后按下EVAL-CN0359-EB1Z电路板上的按钮, 以便上电。
- 遵循前文“软件操作和用户界面”部分的操作步骤, 输入下列参数: EXC Voltage(EXC电压)、EXC Frequency(EXC频率)、TEMP Coefficient(温度系数)和Cell Constant(电导池常数)。
- 返回主屏幕, 等待ADuCM360刷新缓冲器并显示电导率和温度。如果屏幕显示错误信息且蜂鸣器鸣响20次以上, 则检查传感器连接。

针对原型开发的连接

根据设计, EVAL-CN0359-EB1Z需采用EVAL-CFTL-6V-PWRZ 6 V电源供电。EVAL-CN0359-EB1Z仅需电源、外部电导池和RTD即可工作。

EVAL-CN0359-EB1Z还提供RS-485连接器J2, 允许外部PC与此板实现接口。连接器J4是一个JTAG接口, 可用来编程和调试ADuCM360。

图14为典型PC连接示意图, 显示RS-485至RS-232适配器。

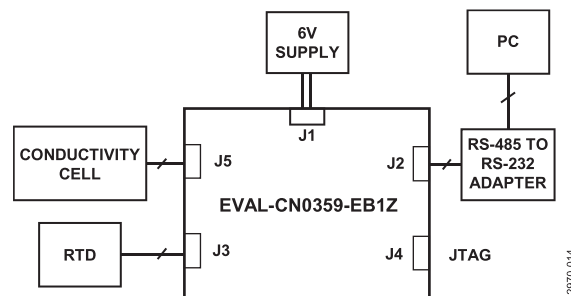


图14. 测试设置功能框图

12970-014

CN-0359

了解详情

CN-0359设计支持包：
www.analog.com/CN0359-DesignSupport

ADIsimPower设计工具，ADI公司。

线性电路设计手册，ADI/Elsevier公司。

运算放大器应用手册，ADI/Elsevier公司。

数据转换手册，ADI/Elsevier公司。

仪表放大器应用工程师指南(第三版)，ADI公司。

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

指南MT-101：去耦技术，ADI公司。

传感器信号调理 - 第7部分：温度传感器，ADI公司。

数据手册和评估板

AD8253数据手册

ADA4627-1数据手册

ADA4000-1数据手册

ADA4638-1数据手册

ADA4528-2数据手册

ADA4077-2数据手册

AD8592数据手册

AD8542数据手册

ADuCM360数据手册

ADP2300数据手册

ADP1613数据手册

ADG1211数据手册

ADG1419数据手册

ADM3483数据手册

修订历史

2015年1月—修订版0：初始版

参考电路 CN-0357

**Circuits
from the Lab®**
Reference Designs

Circuits from the Lab® reference designs are engineered and tested for quick and easy system integration to help solve today's analog, mixed-signal, and RF design challenges. For more information and/or support, visit www.analog.com/CN0357.

连接/参考器件	
ADA4528-2	5.0 V超低噪声、零漂移、RRIO双通道运算放大器
AD5270-20	1024位、1%电阻容差误差、50-TP存储器数字变阻器
ADR3412	微功耗、0.1%精度、1.2 V基准电压源
AD8500	微功耗RRIO运算放大器
AD7790	低功耗、16位Σ-Δ型ADC

使用电化学传感器的低噪声、单电源有毒气体探测器， 集成可编程增益TIA，可用于快速原型制作

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0357电路评估板\(EVAL-CN0357-PMDZ\)](#)

[SDP到Pmod转接板\(PMD-SDP-IB1Z\)](#)

[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所示电路是使用电化学传感器的单电源、低噪声、便携式气体探测器。本示例中使用Alphasense CO-AX一氧化碳传感器。

对于检测或测量多种有毒气体浓度的仪器，电化学传感器能够提供多项优势。大多数传感器都是针对特定气体而设计，可用分辨率小于气体浓度的百万分之一(1 ppm)。

图1中的电路采用ADA4528-2，它是一款双通道自稳零型放大器，室温下的最大失调电压为2.5 μV，具有业界领先的5.6 μV/√Hz电压噪声密度性能。此外，采用AD5270-20可编程变阻器而非固定跨阻电阻，允许针对不同的气体传感器系统进行快速原型制作，无需更改物料清单。

ADR3412精密、低噪声、微功耗基准电压源能以0.1%精度和8 ppm/°C漂移建立1.2 V共模、伪地基准电压。

对于必须测量气体浓度ppm比例的应用，使用ADA4528-2和ADR3412使得电路性能适合与16位ADC接口，例如AD7790。

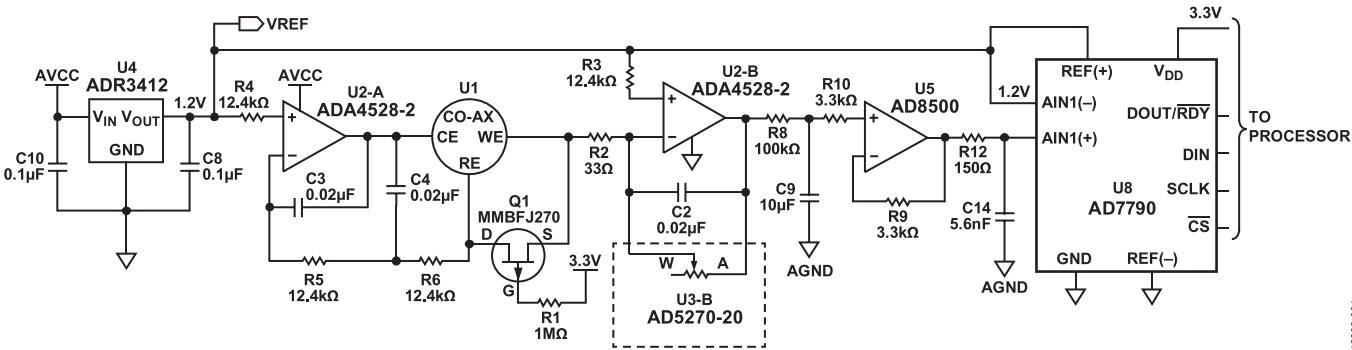


图1. 低噪声气体探测器电路(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

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)

CN-0357

电路描述

图2显示电化学传感器测量电路的原理示意图。电化学传感器的工作原理是允许气体通过薄膜扩散到传感器内，并与工作电极(WE)相互作用。传感器参考电极(RE)向放大器U2-A提供反馈，以便通过改变反电极(CE)上的电压保持WE引脚的恒定电位。WE引脚上的电流方向取决于传感器内发生的反应是氧化还是还原。对于一氧化碳传感器而言，发生的是氧化；因此，电流会流入工作电极，这要求反电极相对于工作电极处于负电压(通常为300 mV至400 mV)。驱动CE引脚的运算放大器相对于 V_{REF} 应具有 ± 1 V的输出电压范围，以便为不同类型的传感器(Alphasense应用笔记AAN-105-03，设计恒电位电路，Alphasense公司)提供充足裕量。

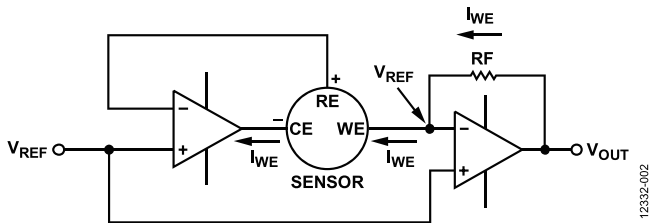


图2. 简化电化学传感器电路

流入WE引脚的电流对于每ppm气体浓度低于100 nA，因此将此电流转换为输出电压需要具有极低输入偏置电流的跨阻放大器。ADA4528-2运算放大器在室温下具有最大输入偏置电流为220 pA的CMOS输入，因此很适合这种应用。

ADR3412为电路建立伪地基准电压，因此支持单电源供电同时消耗极低的静态电流(最大值为100 μA)。

放大器U2-A从CE引脚吸取足够的电流,以便在传感器的WE和RE引脚间保持0V电位。RE引脚连接到放大器U2-A的反相输入;因此其中无电流流动。这意味着从WE引脚来的电流,随气体浓度呈现线性变化。跨阻放大器U2-B将传感器电流转换为与气体浓度成正比的电压。

此电路选择的传感器是Alphasense CO-AX一氧化碳传感器。表1显示与此常见类型的一氧化碳传感器相关的典型规格。

警告：一氧化碳是有毒气体，一旦浓度高于250 ppm便有危险；测试本电路时应格外小心。

表1. 典型一氧化碳传感器规格

参数	数值
灵敏度	55 nA/ppm至 100 nA/ppm (典型值为 65 nA/ppm)
响应时间(t_{90} , 0 ppm至400 ppm CO)	<30秒
范围(ppm CO, 保证性能)	0 ppm至 2,000 ppm
超量程限制(不保证规格)	4,000 ppm

跨阻放大器的输出电压为:

$$V_O = 1.2 \text{ V} + I_{WE} \times R_F \quad (1)$$

其中 I_{WE} 是流入WE引脚的电流, R_F 是跨阻反馈电阻(图1中显示为AD5270-20 U3-B变阻器)。

CO-AX传感器的最大响应是100 nA/ppm，其最大输入范围为2000 ppm的一氧化碳。根据这些数值可知，最大输出电流为200 μ A，最大输出电压由跨阻电阻决定，如公式2所示。

$$V_O = 1.2 \text{ V} + 2000 \text{ ppm} \times 100 \frac{\text{nA}}{\text{ppm}} \times R_F$$

$$V_O = 1.2 \text{ V} + 200 \text{ } \mu\text{A} \times R_F \quad (2)$$

将1.2 V电压施加到AD7790的 V_{REF} ，可让跨阻放大器U2-B的输出端具有 ± 1.2 V可用电压。为跨阻反馈电阻选择6.0 k Ω 电阻可提供2.4 V的最大输出电压。

公式3显示使用65 nA/ppm的传感器典型响应时, 与一氧化碳的ppm呈函数关系的电路输出电压。

$$V_o = 1.2 \text{ V} + 390 \frac{\mu\text{V}}{\text{ppm}} \quad (3)$$

AD5270-20标称电阻值为20 k Ω 。由于有1024个电阻位置，因此电阻阶跃为19.5 Ω 。**AD5270-20**的电阻温度系数为5 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ ，优于大多数分立电阻；其电源电流为1 μA ，对系统总功耗的影响极小。

电阻R4将噪声增益保持在合理水平。选择此电阻的值需权衡两个因素决定：噪声增益的幅度和暴露于高浓度气体时传感器的建立时间误差。对于公式4中的示例而言， $R_4 = 33\ \Omega$ ，由此可计算噪声增益等于183。

$$NG = 1 + \frac{6.0 \text{ k}\Omega}{33 \text{ }\Omega} = 183 \quad (4)$$

CN-0357

ADA4528-2的0.1 Hz至10 Hz输入电压噪声为97 $\mu\text{V p-p}$ ；因此，输出端噪声为18 $\mu\text{V p-p}$ ，如公式5所示。跨阻放大器的输入噪声在输出端表现为由噪声增益放大。对于本电路，只需关注低频噪声，因为传感器工作频率极低。

$$V_{\text{OUTPUTNOISE}} = 97 \text{ nV} \times NG = 18 \text{ } \mu\text{V p-p} \quad (5)$$

由于这是极低频1/f噪声，所以很难滤除。然而，传感器响应也极低；因此可以使用截止频率为0.16 Hz的极低频率低通滤波器(R5和C6)。即使是这样的低频滤波器，与30秒的传感器响应时间相比，它对传感器响应时间的影响也可忽略。

系统无噪声码由峰峰值输出噪声确定。ADA4528-2的最大输出电压为2.4 V，因此无噪声数为：

$$\text{总无噪声数} = \frac{2.4 \text{ V}}{18 \text{ } \mu\text{V p-p}} = 64,865 \quad (6)$$

无噪声码分辨率等于：

$$\text{无噪声码分辨率} = \log_2(64,865) = 15.9 \text{ 位} \quad (7)$$

为了利用全部ADC范围($\pm 1.2 \text{ V}$)，选择AD8500低功耗、轨到轨输入/输出放大器来驱动AD7790的输入。如果不需要用到整个范围，那么可以移除AD8500，代之以AD7790内部缓冲器。

电化学传感器的一个重要特性是极长的时间常数。首次上电时，输出建立最终值可能需要几分钟。当暴露于目标气体中，浓度阶跃为量程的一半时，传感器输出达到最终值的90%所需的时间可在25秒至40秒之间。如果RE与WE引脚间的电压产生剧烈幅度变化，传感器输出电流建立最终值可能需要几分钟。这个较长的时间常数也同样适用于传感器周期供电的情况。为避免启动时间过长，当电源电压降至JFET的栅极-源极阈值电压(约2.0 V)以下时，P沟道JFET Q1将RE引脚与WE引脚短接。

常见变化

电化学传感器工作电流极小，非常适合便携式电池供电的仪器。如要求更低功耗，则ADA4505-2放大器的最大输入偏置电流为2 pA，每放大器功耗仅10 μA 。但是，ADA4505-2的噪声大于ADA4528-2。

ADR291精密基准电压源功耗仅12 μA ，要求更低功耗时可代替ADR3412。

更多信息，请参考电路笔记CN-0234。

电路评估与测试

图1中的电路采用EVAL-CN0357-PMDZ电路评估板、PMD-SDP-IB1Z转接板和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP-B)控制器板。此外，EVAL-CN0357-PMDZ采用Pmod尺寸，因此能连接任意Pmod控制器板，从而实现快速原型制作。

CN-0357评估软件与SDP板通信，以便从EVAL-CN0357-PMDZ电路评估板捕捉数据。

设备要求

评估CN-0357电路需要下列设备：

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista(32位)或Windows 7(32位)PC
- EVAL-CN0357-PMDZ评估板
- PMD-SDP-IB1Z转接板
- EVAL-SDP-CB1Z控制器板
- CN-0357评估软件
- 校准气体(低于250 ppm)
- EVAL-CFTL-6V-PWRZ或同等6 VDC电源

开始使用

将CN-0357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，运行setup.exe文件，按照屏幕说明安装和使用评估软件。

功能框图

图3显示测试设置的功能框图。CN-0357设计支持包内含有完整的评估板原理图，包括gerber文件以及物料清单。

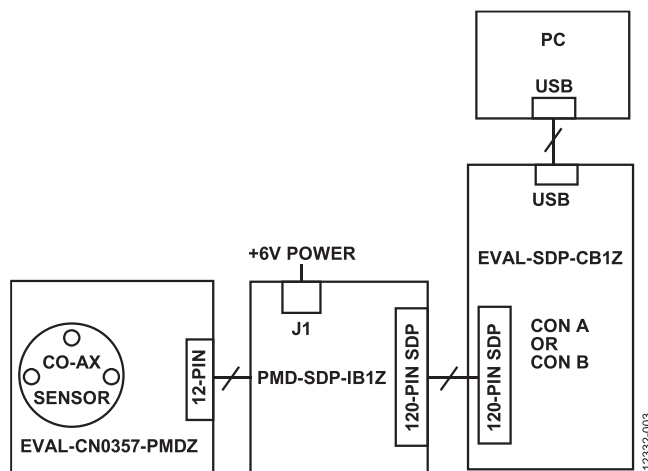


图3. 测试设置功能框图

CN-0357

设置

将电化学传感器连接到EVAL-CN0357-PMDZ电路评估板上的插口。

将EVAL-CN0357-PMDZ与转接板相连，并确保转接板上的跳线配置为+3.3 V。然后，将SDP-B板连接到转接板，并通过直流管式插孔为转接板上电。

将SDP-B板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口和SDP-B板。

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、采集来自EVAL-CN0357-PMDZ电路评估板的串行数据。

测试

浏览至CN-0357评估软件的安装目录，然后打开CN0357.exe文件。(文件应当位于操作系统开始菜单中名为Analog Devices的文件夹中)

应用程序启动后，软件将自动连接SDP-B板。如果连接了多个SDP-B控制器板，则所选电路板上的发光二极管(LED)将闪烁。

CN-0357评估软件用户指南包含有关如何使用评估软件采集数据的详细信息。

该电路板的输入信号是气体浓度；因此需要校准气体源。使用一氧化碳进行测试时，最大短间接触限值为250 ppm。

该软件设计用于任意电化学传感器，因此输入所选传感器的正确规格很重要。

计算并设置AD5270-20数字变阻器的电阻时，需要用到最大传感器灵敏度和传感器范围。该值是一个带符号值。正值表示传感器吸取电流，负值表示传感器提供电流。

典型传感器灵敏度用来计算系统转换系数，单位为ppm/mV。

点击“Run(运行)”按钮即可开始收集浓度数据，间隔为1秒。

图4显示从175 ppm CO环境迅速移除传感器后的电路响应，它可以更好地衡量电路性能。

EVAL-CN0357-PMDZ板照片如图5所示。

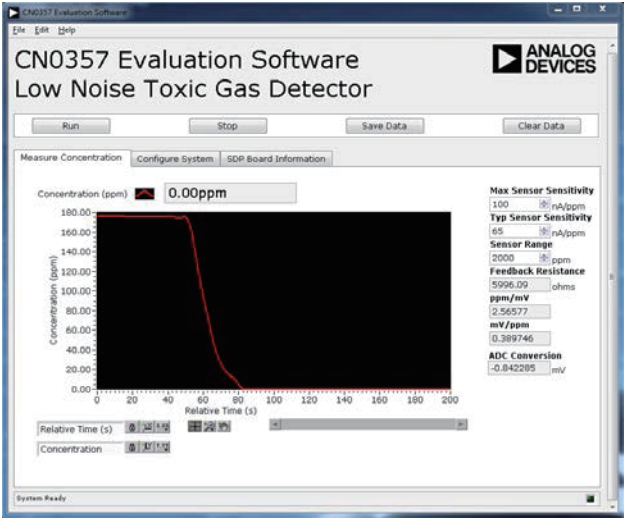


图4. 对175 ppm至0 ppm一氧化碳阶跃的响应

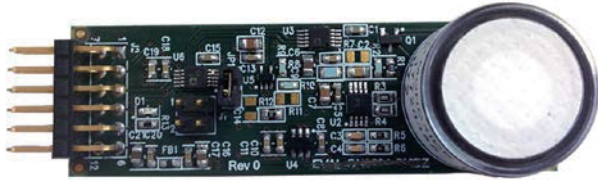


图5. EVAL-CN0357-PMDZ评估板

CN-0357**了解详情**

CN-0357设计支持包:

<http://www.analog.com/CN0357-DesignSupport>

AN-1114: 最低噪声的零漂移放大器提供5.6 nV/√Hz电压噪声密度, ADI公司

MS-2066文章: 传感器电路的低噪声信号调理, ADI公司

MT-035指南: 运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题, ADI公司

CN-0234电路笔记: 使用电化学传感器的单电源、微功耗有毒气体探测器, ADI公司

Alphasense应用笔记AAN-105-03: 设计恒电位电路, Alphasense公司

修订历史

2014年7月—修订版0: 初始版

数据手册和评估板

CN-0357电路评估板(EVAL-CN0357-PMDZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

ADA4528-2数据手册

AD5270-20数据手册

ADR3412数据手册

AD8500数据手册

AD7790数据手册

(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.

AD7745	内置温度传感器的24位电容数字转换器
AD8615	精密、轨到轨输入/输出CMOS运算放大器

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

CN-0346

电路描述

RH是空气中水蒸气的含量，以某一温度下空气中最大承受量的百分比表示。相对湿度是一个重要的指标，因为它将温度和压力的效应纳入考虑范围。

湿度计是传统的RH测量设备，多年来采用了多种形式，包括金属纸卷、人的头发以及双温度计部署。现代电子部署中采用容性元件，可抵抗老化效应、冷凝和快速温度波动。

当聚合物或金属氧化层受不同量的水分影响时，容性传感器的介电常数也会发生变化。大部分容性传感器需要经数秒才会对湿度变化做出响应。

湿度传感器特性

图1中的电路使用Innovative Sensor Technology P14-W系列容性传感器。传感器的重要规格包括电容、灵敏度、温度、线性度和迟滞。

传感器的典型电容较大为150 pF (30% RH时)。该共模电容不影响相对湿度读数，但需要特殊电路才能与电容数字转换器实现接口。

容性元件的灵敏度决定了相对湿度读数。灵敏度是相对湿度改变1%时，电容的变化量；通过测量两个独特相对湿度点的电容，并除以RH百分比的变化即可计算得到灵敏度。

$$\text{灵敏度} = \Delta C / \Delta \% \text{ RH}$$

P14-W的典型灵敏度为0.25 pF/% RH。

$$\text{灵敏度} = \frac{C_{95\% \text{ RH}} - C_{10\% \text{ RH}}}{90\% - 15\%}$$

若要计算特定相对湿度条件下的传感器温度依赖性，可使用下列公式和系数(数据来自Innovative Sensor Technology P14-W数据手册)：

$$T_{\text{DEPEND}} = (B1 \times \% \text{ RH} + B2) \times T [^{\circ}\text{C}] + (B3 \times \% \text{ RH} + B4)$$

其中：

$$B1 = 0.0014/^{\circ}\text{C}$$

$$\% \text{ RH} = 42\%$$

$$B2 = 0.1325\% \text{ RH}/^{\circ}\text{C}$$

$$T = 23^{\circ}\text{C}$$

$$B3 = -0.0317$$

$$B4 = -3.0876\% \text{ RH}$$

$$T_{\text{DEPEND}} = -0.0191\% \text{ RH}$$

若温度为23°C，则42% RH计算值将改变-0.0191% RH。将此数值加入% RH计算值可校正传感器的温度依赖性。

Innovative Sensor Technology P14-W系列的线性度和迟滞为 $\pm 1.5\% \text{ RH}$ 。

计算相对湿度

相对湿度可由电容C和温度T算得，计算步骤如下：

1. 从电容读数中减去电容。
2. 除以灵敏度。
3. 在计算值中加入参考湿度。
4. 计算温度依赖性 T_{DEPEND} 。
5. 在步骤3的结果中加入 T_{DEPEND} 。

例如，假设容性传感器读数为 $C = 153 \text{ pF}$ ($T = 23^{\circ}\text{C}$)，若理想特性如下：

- 电容 = 150 pF (30% RH)
- $T_{\text{DEPEND}} = -0.0191\% \text{ RH}$
- 灵敏度 = 0.25 pF/% RH
- 参考点 = 30% RH (23°C)

根据上文说明以及下文公式，计算相对湿度：

$$RH = RH_{\text{REF}} + \left(\frac{C - C_{\text{BULK}}}{\text{灵敏度}} \right) + T_{\text{DEPEND}}$$

$$RH = 30\% \text{ RH} + \left(\frac{153 \text{ pF} - 150 \text{ pF}}{0.25 \text{ pF}/\% \text{ RH}} \right) - 0.0191\% \text{ RH}$$

$$RH = 30\% \text{ RH} + 12\% \text{ RH} - 0.0191\% \text{ RH}$$

$$RH = 41.809\% \text{ RH}$$

计算相对湿度测量的温度依赖性方法与所选特定湿度传感器有关；因此，必须始终参考数据手册来确定正确公式。

电容数字转换器(CDC)

24位AD7745 CDC使用开关电容充电平衡电路测量电容，如图2所示。吞吐速率为10 Hz至90 Hz。

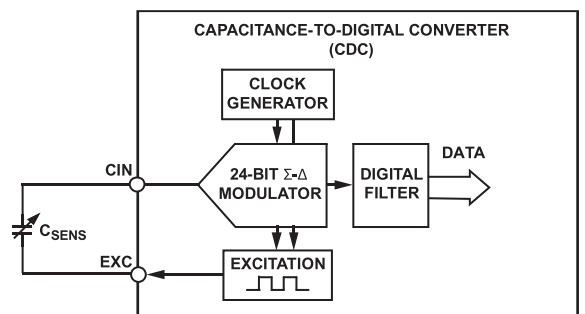


图2. 单端容性传感器部署

电荷与电压和电容的乘积 $Q = V \times C$ 成正比，转换结果表示输入传感器电容 C_{SENS} 与内部参考电容 C_{REF} 之比。激励电压(EXC)和内部基准电压(V_{REF})具有固定的已知值。

待测 C_{SENS} 连接激励源和 Σ - Δ 型调制器输入。转换期间在 C_{SENS} 上施加32 kHz方波激励信号，而调制器会对流过 C_{SENS} 的电荷进行连续采样。数字滤波器处理调制器输出，该输出为0和1位流。转换值包含在位流的1密度中。来自滤波器的数据经过调节并经过校准，结果通过串行接口读取。

输入范围调节

AD7745测量输入电容时有两个限制。首先，其动态范围为 ± 4.096 pF，但很多基于电容的湿度传感器具有更大的动态范围。其次，CDC的最大共模电容为21 pF。很多湿度传感器具有更大的电容。

AD7745具有偏置输入共模范围的能力，方法是编程设置内部7位电容DAC (CAPDAC)寄存器。CAPDAC用作负电容，通过内部连接至CIN1±引脚。这允许高达21 pF典型值的共模电容。

加入图1所示的范围扩展电路，确保在 C_{SENS} 中传输的电荷保持在**AD7745**的输入范围内。为此，激励电压减小F倍，以使传感器电容增加F倍。

计算范围扩展系数

若要计算范围扩展系数，必须编程设置**AD7745**的两个独立激励源(EXCA和EXCB)，以使EXCB等于EXCA的倒数。电阻R1和R2的连接如图1所示，由此获得的范围扩展系数F等于**AD7745**差分激励电压($V_{\text{EXCA}}/V_{\text{EXCB}}$ ，位于EXCA与EXCB之间)与运算放大器**AD8515**正输入端的衰减激励信号(V_{EXCS})的比值。范围扩展系数计算如下：

$$F = \frac{V_{\text{EXCA}}/V_{\text{EXCB}}}{V_{\text{EXCS}}} = \left| \frac{R1 + R2}{R1 - R2} \right|$$

衰减后的激励电压 V_{EXCS} 的平均电压为VDD/2。**AD8515**运算放大器用作低阻抗缓冲器，确保**AD7745**开始采样时， C_{SENS} 处于完全充电的状态。

传感器电容可能高达200 pF，且**AD7745**共模电容的最小值为17 pF，因此所需范围扩展系数(F_{CM})为：

$$F_{\text{CM}} = 200 \text{ pF} / 17 \text{ pF} = 11.76$$

传感器动态范围计算如下：

$$C_{\text{DYN}} = (0.25 \text{ pF} / \% \text{ RH}) \times 100\% \text{ RH} = 25 \text{ pF}$$

动态范围所需的范围扩展系数(F_{DYN})计算如下：

$$F_{\text{DYN}} = 25 \text{ pF} / 8.192 \text{ pF} = 3.05$$

计算表明，决定范围扩展系数的参数是传感器电容；因此，后续计算将使用 $F = 11.76$ 。

选择电阻值

选择R1和R2值，部署所需的范围扩展系数。选择R1值为100 k Ω 。然后计算R2的电阻值，并将其向下舍入为标准E96系列中的下一值：

$$R2 = \frac{R1 \times (F + 1)}{F - 1}$$

其中：

$$R1 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$F = 11.76$$

$$R2 = 118.58 \text{ k}\Omega。$$

使用容差为1%或更低的电阻。任一电阻(R1或R2)值的小幅变化都可导致范围扩展系数的大幅变化。若R1电阻值为100 k Ω ，R2电阻值为118 k Ω ，则范围扩展系数为：

$$F = \left| \frac{R1 + R2}{R1 - R2} \right| = \left| \frac{100 + 118}{100 - 118} \right| = 12.11$$

使用CAPDAC移除共模电容

AD7745容性输入经过出厂校准，因此输入范围为0 pF至4.096 pF(单端模式)，以及 ± 4.096 pF(差分模式)。**AD7745**集成内部CAPDAC，允许调节输入共模电容。

CAPDAC用作负电容，通过内部连接至CIN1±引脚。有两个独立的CAPDAC，一个连接到CIN1(+)，另一个连接到CIN1(-)。

CAPDAC具有7位分辨率，满量程值为 $21 \text{ pF} \pm 20\%$ 。

计算图1示例中单端湿度检测元件所需的CAPDAC设置时，可将针对下列十进制代码值对应的17 pF共模电容设置CAPDAC：

$$\text{CAPDAC}_{\text{CODE}} = \frac{17 \text{ pF}}{21 \text{ pF}} \times 127 = 103，\text{或者} 0x67$$

CN-0346

测试设置

CN-0346系统未正确设置并校准前,无法收集测试数据。首先,将EVAL-CN0346-PMDZ印刷电路板(PCB)放置在一个湿度受控的空间内,并连接精密电感电容电阻(LCR)计量仪(HP4284A)。LCR计量仪将任何电容计算与传感器的实际电容值关联起来。两组导线从每一个PCB的密闭容器中伸出去。第一组导线专用于I²C数字通信。第二组导线允许通过LCR计量仪直接测量传感器电容;只有在EVAL-CN0346-PMDZ PCB未连接电源时才可执行此测量。

图3显示用于基准测试设置中数据采集的框图。

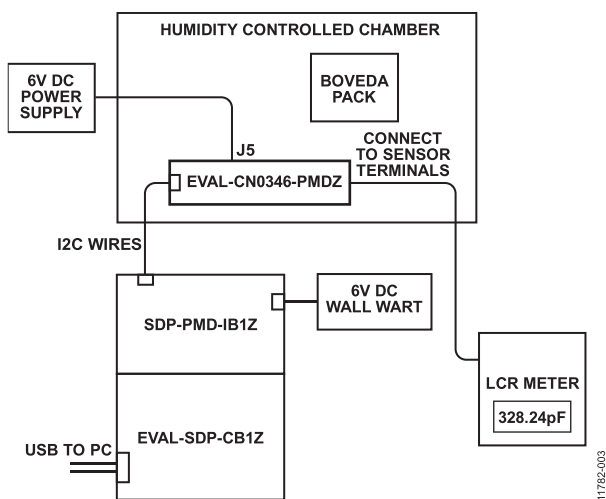


图3. 基准测试框图

其次,对于两个特定的湿度水平(5% RH和95% RH),使用AD7745测量外壳的温度,并使用LCR计量仪测量传感器电容。使用这两个校准点来计算传感器的灵敏度。

$$\text{灵敏度} = \frac{C_{95\%RH} - C_{10\%RH}}{95\% - 10\%}$$

将灵敏度输入Calculations选项卡中的Relative Humidity Calculation字段(图4)。使用10% RH校准点填充C_BULK字段和RH_REF (%)字段。

最后,计算所需CAPDAC共模值,并将其输入CAPDAC字段,如图5所示。

至此,CN-0346系统准备就绪并完成计算。Click to Sample可将传感器电容值以C_CALC形式显示在Capacitance Calculation窗口中。收集样本时,改变湿度,观察相对湿度计算的变化。

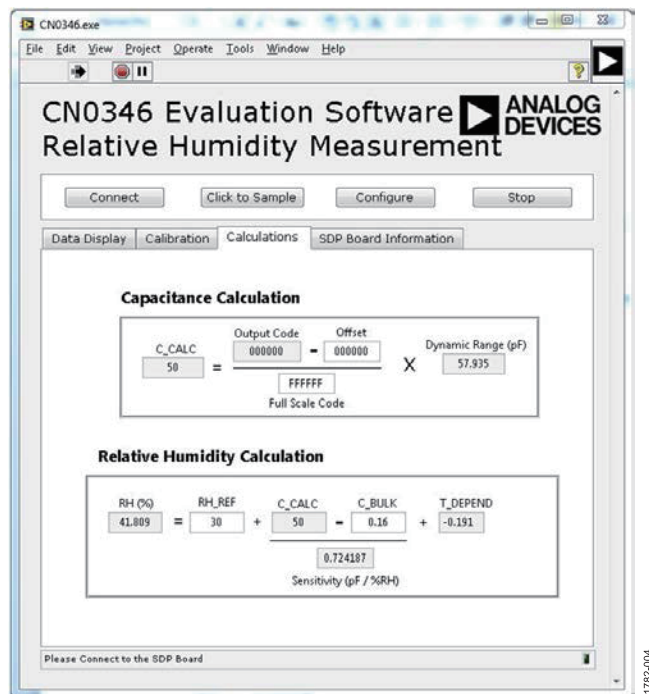


图4. CN-0346评估软件的Calculations选项卡屏幕截图

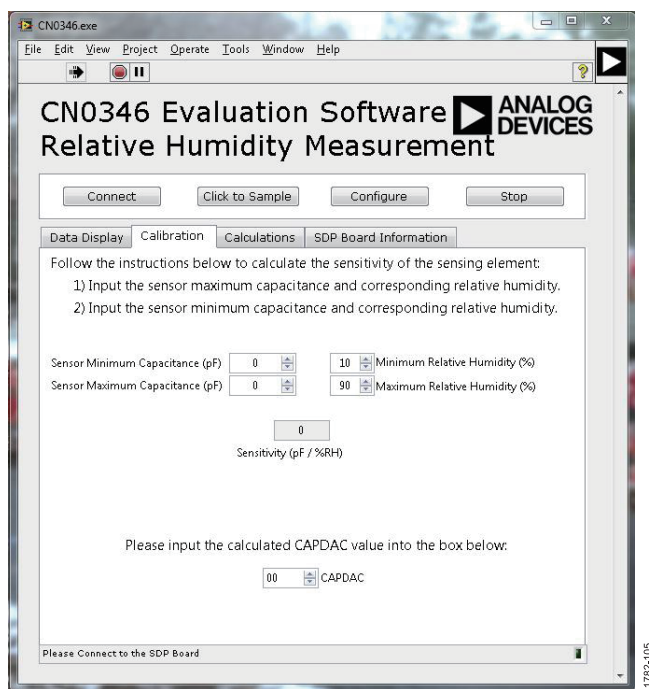


图5. CN-0346评估软件的Calibration选项卡屏幕截图

测试结果

所有测试数据均来自放入密闭容器的Boveda包(Boveda, Inc.)以及三个EVAL-CN0346-PMDZ PCB, 如图6所示。Boveda包内含有经特殊处理的纯净水和盐溶液, 设计用于控制密闭容器内的湿度, 使其保持 $\pm 2.5\%$ 的特定预设相对湿度值。



图6. 数据采集基准测试设置

图7显示整个相对湿度范围内的相对湿度误差。

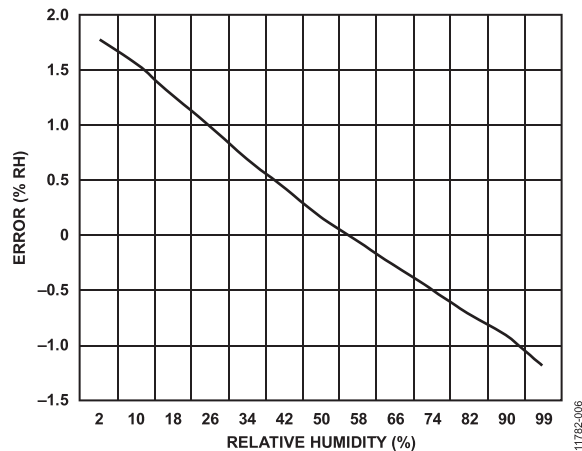


图7. 相对湿度测量误差

PCB布局考虑

在任何注重精度的电路中, 应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。

所有IC的电源应当用 $1\mu\text{F}$ 和 $0.1\mu\text{F}$ 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。将时钟和其他快速开关数字信号连接至数字地, 以便它们和电路板上的其他器件相屏蔽。PCB如图8所示。

欲获得有关本电路笔记的完整设计支持包, 请访问www.analog.com/CN0346-DesignSupport。

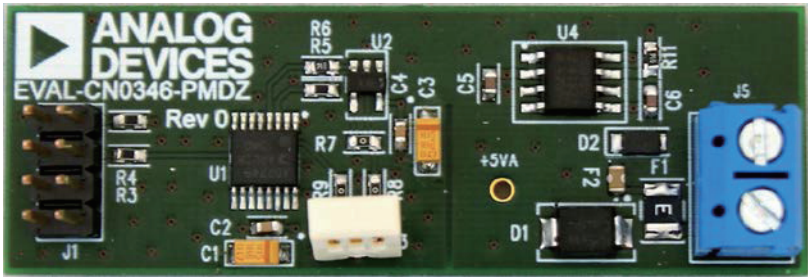


图8. EVAL-CN0346-PMDZ PCB照片

CN-0346

常见变化

[AD7745](#)片内集成激励源，该激励源连接传感器的发送器走线。还可使用容性检测，实现近距离传感器。基本近距离传感器包括一个接收器和一个发射器，每个都是由PCB层上的金属走线组成。接收器与发送器走线之间产生电场。这个电场大部分集中在传感器PCB的两层之间。不过，边缘电场从发射器扩展到PCB之外，并终止回到接收器。通过片内 Σ - Δ 型CDC在接收器处测量电场强度。当人手进入边缘电场时，电场环境会发生变化，一部分电场被分流到地而不是终止于接收器。电容值因而减小，并由转换器检测到，与皮法量级的电场相比其变化量为飞法量级。

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-CN0346-PMDZ](#)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-CN0346-PMDZ](#)包含待评估电路，如本电路笔记所述。[EVAL-SDP-CB1Z](#)与[CN-0346评估软件](#)一同使用，收集[EVAL-CN0346-PMDZ](#)的数据。SDP/PMD转接板([SDP-PMD-IB1Z](#))用来将[EVAL-CN0346-PMDZ](#)板与[EVAL-SDP-CB1Z](#)板相连，如图3所示。

设备要求

需要以下设备：

- [EVAL-CN0346-PMDZ](#)评估板
- [EVAL-SDP-CB1Z](#)评估板
- SDP/PMD转接板([SDP-PMD-IB1Z](#))
- [CN-0346评估软件](#)
- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista®(32位)或Windows® 7(32位)PC
- 容性湿度传感器、Innovative Sensor Technology P14-W([EVAL-CN0346-PMDZ](#)板上集成)
- 6 V、100 mA电源
- 6 V壁式电源适配器
- 一个湿度受控的样品室

开始使用

将[CN-0346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

测试设置框图参见图3，电路原理图参见[EVAL-CN0346-SDPZ-SCH-RevX.pdf](#)文件。此文件位于[CN-0346设计支持包](#)中。

设置

将[EVAL-SDP-CB1Z](#)上的120引脚连接器连接到[SDP-PMD-IB1Z](#)板上。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-CN0346-PMDZ](#)连接到[SDP-PMD-IB1Z](#)板上的连接器J2。

在断电情况下，将一个6.0 V直流管式插孔连接到[SDP-PMD-IB1Z](#)板上的连接器J1。将[EVAL-SDP-CB1Z](#)附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。在断电情况下，将6 V电源连接到[EVAL-CN0346-PMDZ](#)评估板上的连接器J5。此时请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

将整个系统放入带有湿度控制的密封样品室内。另外，如果有必要的话，还可在目标环境中仅放置检测元件。外部湿度计或其他经过校准的湿度传感器可用作校准或验证来自[CN-0346评估软件](#)输出数据的参照点。

测试

将电源施加到[SDP-PMD-IB1Z](#)板连接器J1的直流管式插孔上。将电源施加到[EVAL-CN0346-PMDZ](#)板的连接器J5上。启动[CN-0346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-CN0346-PMDZ](#)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-0346软件用户指南](#)。

了解详情

CN0346设计支持包:

<http://www.analog.com/CN0346-DesignSupport>

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

指南MT-101，去耦技术，ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0346电路评估板(EVAL-CN0346-PMDZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

AD7745数据手册

AD8615数据手册

修订历史

2014年9月—修订版0：初始版

I²C指最初由Philips Semiconductors(现为NXP Semiconductors)开发的一种通信协议。

(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.
CN11782sc-0-9/14(0)



参考电路 CN-0326

**Circuits
from the Lab™**
Reference Circuits

Circuits from the Lab™ reference circuits are engineered and tested for quick and easy system integration to help solve today's analog, mixed-signal, and RF design challenges. For more information and/or support, visit www.analog.com/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。

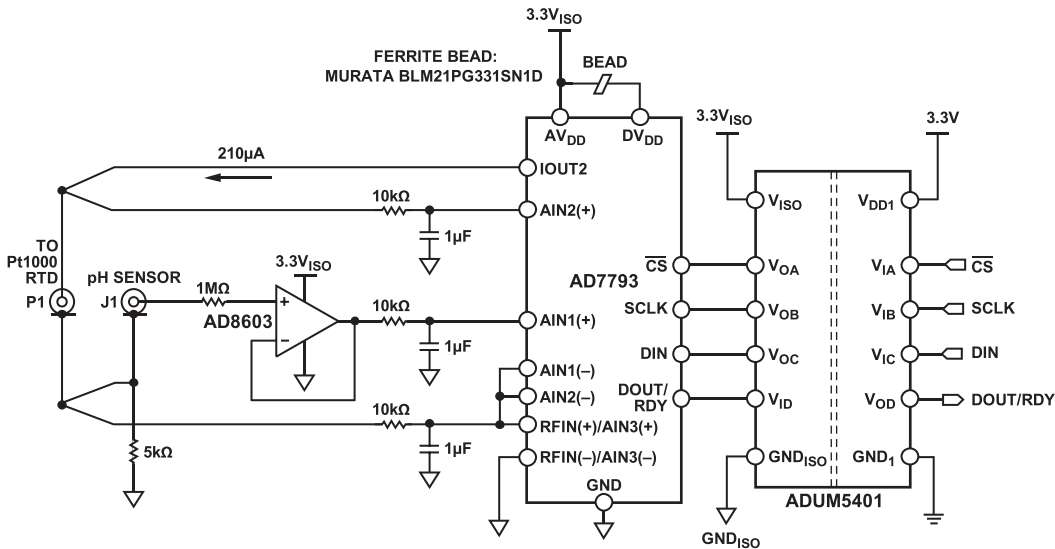


图1. pH传感器电路图(简化原理图: 未显示所有连接和去耦)

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)

CN-0326

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，用能斯特方程表示为：

$$E = a - \frac{2.303 R(T + 273.1)}{nF} \times (pH - pH_{ISO})$$

其中：

E = 氢电极电压，活性未知

$\alpha = \pm 30$ 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，是一款精密低功耗(最大值50µA)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iCoupler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。

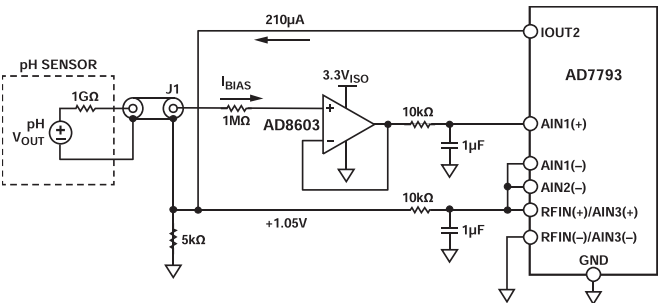


图2. 连接ADC的pH传感器和缓冲器接口
(简化原理图：未显示所有连接、RTD和去耦。)

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。

CN-0326

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 $f = 1/2\pi RC$, 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。基于能斯特方程, 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值精度	pH 7.00 ± 0.25 pH 0.05, 温度范围: 20°C至25°C
分辨率	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 $\pm V_{REF}/G = \pm 1.05\text{ V}$, 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:

$$RTD \text{ 电阻} = RTD_0 (1 + T \alpha)$$

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

$\alpha = 0.00385\text{ }\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$, 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 $\pm 1.05\text{ V} (\pm V_{REF}/G)$ 。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。

CN-0326

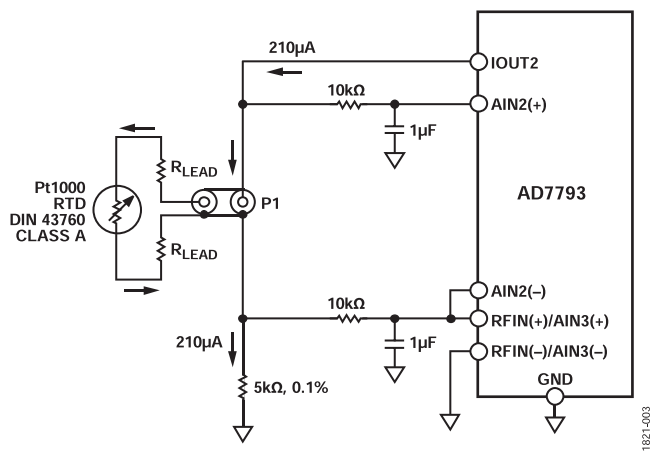


图3. 2线铂RTD连接(简化原理图:
未显示所有连接和去耦)

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：[iCoupler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。

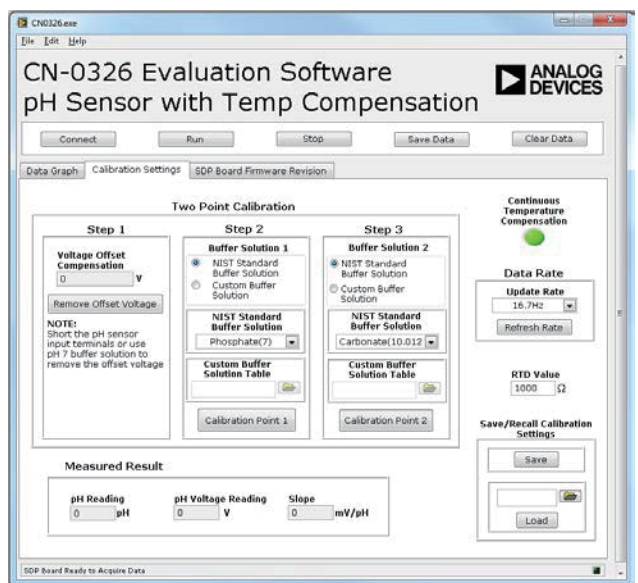


图4. 评估软件校准设置窗口

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使用其他RTD电阻值的选项，但其默认值设为1000 Ω。

CN-0326

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:

$$6.6 \times \text{RMS 噪声} = 6.6 \times 1.96 \mu\text{V} = 12.936 \mu\text{V}$$

如果pH计的灵敏度为59 mV/pH, 则pH计能测量的无噪声分辨率pH水平为

$$12.936 \mu\text{V} / (59 \text{ mV/pH}) = 0.000219 \text{ pH}$$

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。

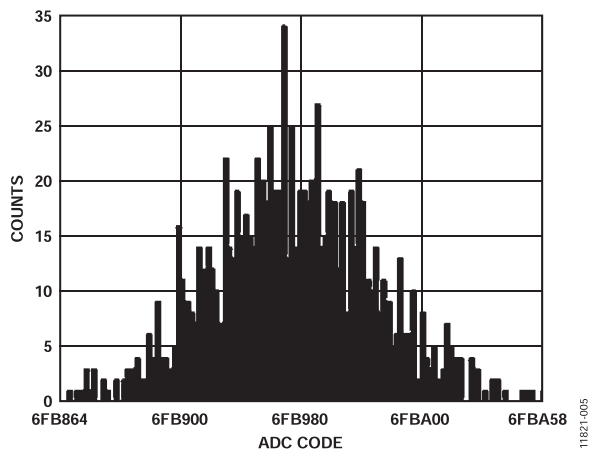


图5. 输出代码分布直方图
(AD7793输入引脚短接在一起)

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 M Ω 的pH探针阻抗, 线性误差小于0.5%。

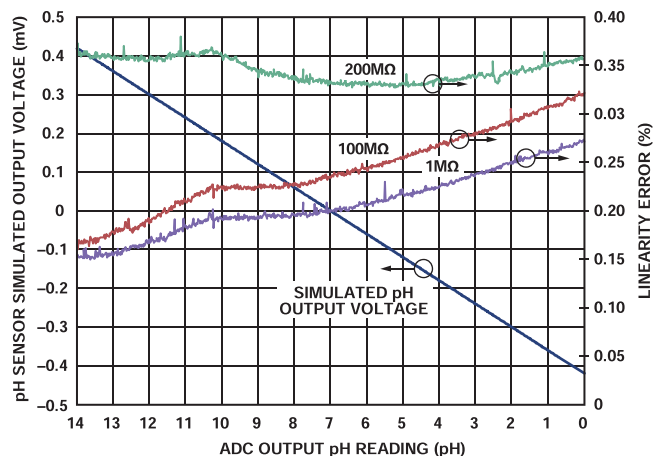


图6. pH传感器仿真输出电压(及关联线性误差图)与ADC输出pH读数的关系(所示探针电阻为1 M Ω 、100 M Ω 和200 M Ω)

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。这是一款双通道低功耗轨到轨输入/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。

CN-0326

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。

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。

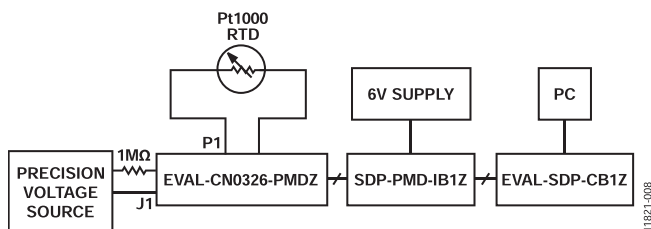


图8. pH传感器测试设置功能框图

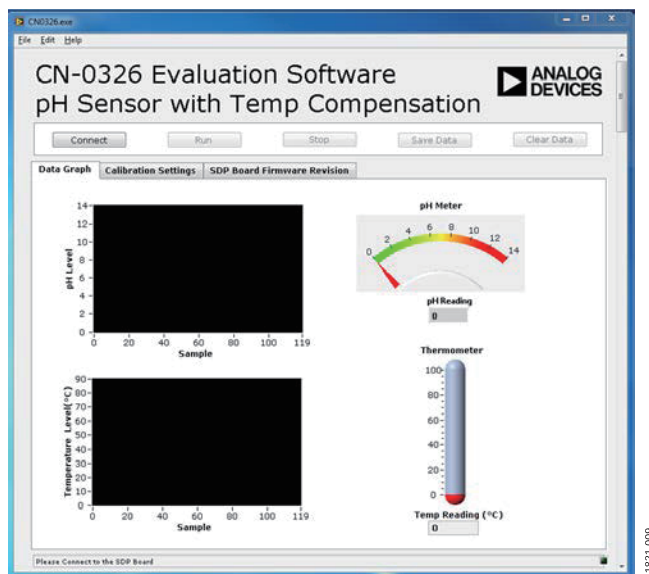


图9. 评估软件主窗口

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。

CN-0326

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。

了解详情

CN-0326设计支持包:

www.analog.com/CN0326-DesignSupport

MT-004教程，输入噪声面面观——噪声是利还是弊？ADI公司。

MT-022教程，ADC架构III： Σ - Δ 型ADC基础，ADI公司。

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

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

MT-035教程，运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题，ADI公司。

MT-037教程，运算放大器输入失调电压。

MT-038教程，运算放大器输入偏置电流

MT-040教程，运算放大器输入阻抗

MT-095教程，EMI、RFI和屏蔽概念

MT-101教程，去耦技术，ADI公司

Kester, Walt. 1999. 高阻抗传感器. 第5节，ADI公司。

Kester, Walt. 1999. 温度传感器. 第7节，ADI公司。

Chen, Baoxing. 2006. 采用isoPoweri®技术的Coupler®产品：利用微变压器跨越隔离栅实现信号和功率传输，ADI公司。

Wayne, Scott. 2005. iCoupler® 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(10月)。

Brian Kennedy和Mark Cantrell, iCoupler器件的辐射控制建议，应用笔记AN-1109，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.

亚洲技术支持中心

亚洲技术支持中心 www.analog.com/cn/cic 为您提供丰富的中文技术资料：



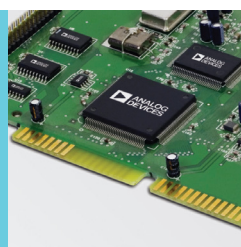
- | | | |
|----------|---------|----------|
| ✓ 示例代码 | ✓ 数据手册 | ✓ 应用笔记 |
| ✓ 技术指南 | ✓ 技术文章 | ✓ 选型手册 |
| ✓ 参考设计 | ✓ 视频教程 | ✓ 系统方案精选 |
| ✓ 模拟对话杂志 | ✓ 在线研讨会 | ✓ 问题解答 |

申请样片

ADI公司乐意为其全球认证客户提供相应的免费样片。库房将在最短时间内安排样片的发送。

申请网址：www.analog.com/cn/sample

在申请过程中遇到任何问题请致电ADI亚洲技术支持中心4006-100-006。



注册

您可以接收产品更新和电路通知；
获取用户新闻和技术信息；
保存收藏夹产品、参考电路、工具、书签
请访问：www.analog.com/cn/myanalog

myAnalog

在线购买

选择ADI，加速您的设计

欢迎前往www.analog.com/cn/buy官方网站订购ADI产品及评估板

- | | |
|------------------|--------------------|
| ▶ 原厂型号齐全 | ▶ 部分产品一片起订，无最低金额要求 |
| ▶ 提供配套评估板及开发套件购买 | ▶ 全球供货，快速送达 |



快速查询

- ▶ 亚洲技术支持中心：4006-100-006
- ▶ 模拟与其他线性产品：china.support@analog.com
- ▶ 嵌入式处理与DSP产品：processor.china@analog.com
- ▶ ADI在线技术论坛：ezchina.analog.com
- ▶ 网址：www.analog.com/cn/cic

官方微信



官方微信

www.analog.com/cn/cic

ANALOG DEVICES
超越一切可能™

ADI中国授权分销商

上海授权代理商

艾睿电子

上海市裕通路100号
宝矿洲际商务中心11楼
Tel: (86 21) 2215 2180

安富利电子

上海市虹梅路1801号
凯科国际大厦12楼/15楼
Tel: (86 21) 3367 8988

世健

上海市普陀区岚皋路567号
品尊国际中心B座20楼
Tel: (86 21) 2220 3188

大联大商贸

上海市嘉定区金沙江西路1555弄
37号D栋8楼
Tel: (86 21) 2309 9388

睿查森电子贸易(中国)有限公司

上海市仙霞路317号
远东国际广场B幢602室
Tel: (86 21) 6235 1788

深圳授权代理商

艾睿电子

深圳市福田区保税区红花路99号
长平商务大厦3楼
Tel: (86 755) 8250 5378

安富利电子

深圳市南山区高新科技园
科发路8号金融基地2栋8楼
Tel: (86 755) 8378 1597

世健

深圳市深南东路4003号
世界金融中心A座21楼A室
Tel: (86 755) 8364 0166-883

大联大商贸

深圳市南山区西丽镇同沙路凯达尔
大厦2号楼12楼
Tel: (86 755) 2671 1655

睿查森电子贸易(中国)有限公司

深圳市福田区益田路江苏大厦
A-2905室101信箱
Tel: (86 755) 8294 3736

北京授权代理商

艾睿电子

北京市朝阳区东三环北路38号院
1号楼泰康金融大厦28楼
Tel: (86 10) 5606 4275

安富利电子

北京朝阳区望京东路6号
望京国际研发园二期E座三层
Tel: (86 10) 8414 8171

世健

北京市朝阳区门外大街19号
华普国际大厦0823室
Tel: (86 10) 6580 2113

大联大商贸

北京市朝阳区高碑店乡西店村1131
号君天大厦301室
Tel: (86 10) 5783 5658

睿查森电子贸易(中国)有限公司

北京市朝阳区朝阳门外大街20号
联合大厦1118室
Tel: (86 10) 6588 5548

查询代理商更多地址和联系方式, 请登录 www.analog.com/cn/distributor



官方微信

www.analog.com/cn/cic



超越一切可能™

亚洲技术支持中心

4006-100-006

模拟与其他线性产品

china.support@analog.com

嵌入式处理与DSP产品

processor.china@analog.com

免费样片申请

www.analog.com/cn/sample

在线购买

www.analog.com/cn/buy

ADI在线技术论坛

ezchina.analog.com

网址

www.analog.com/cn/cic



关注ADI官方微信

全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区
上地东路 5-2 号
京蒙高科大厦 5 层
邮编: 100085
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. BRL10002sc-0-3/16

analog.com/cn

