

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	5.0V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	低功耗、0.1%精度、1.2V基准电压源
AD8500	低功耗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、低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。

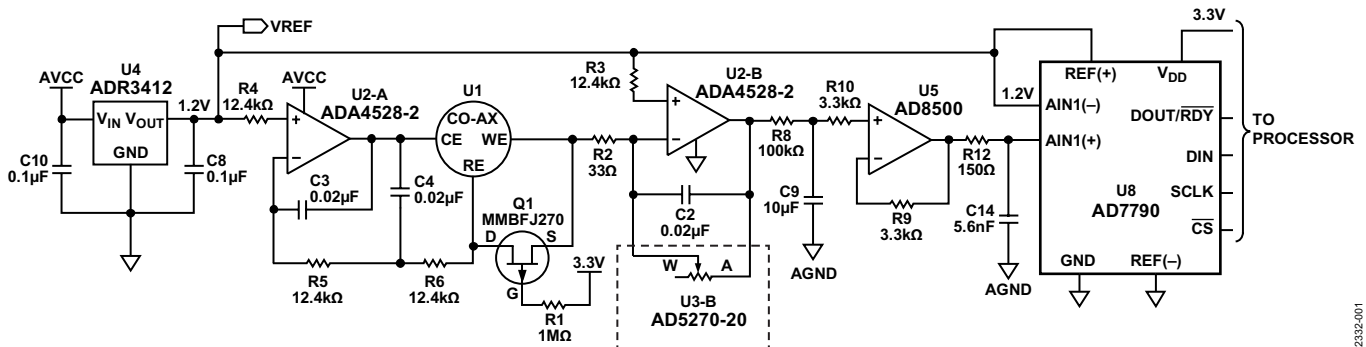


图1. 低噪声气体探测器电路(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

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)

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。

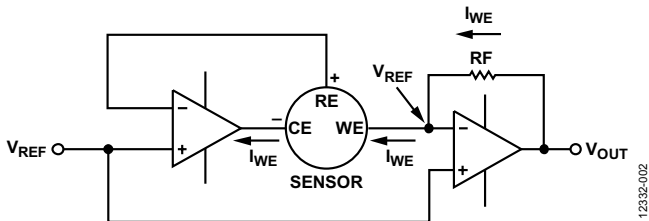


图2. 简化电化学传感器电路

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 μ A)。

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0 V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) 范围(ppm CO, 保证性能)	<30秒 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：

$$V_O = 1.2 \text{ V} + I_{WE} \times R_F \tag{1}$$

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，最大输出电压为200 μ A，最大输出电压由跨阻电阻决定，如公式2所示。

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

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

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。

$$V_O = 1.2 \text{ V} + 390 \frac{\mu\text{V}}{\text{ppm}} \tag{3}$$

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/ $^{\circ}$ C，优于大多数分立电阻；其电源电流为1 μ A，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，R4=33 Ω ，由此可计算噪声增益等于183。

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

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。

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

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：

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

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。

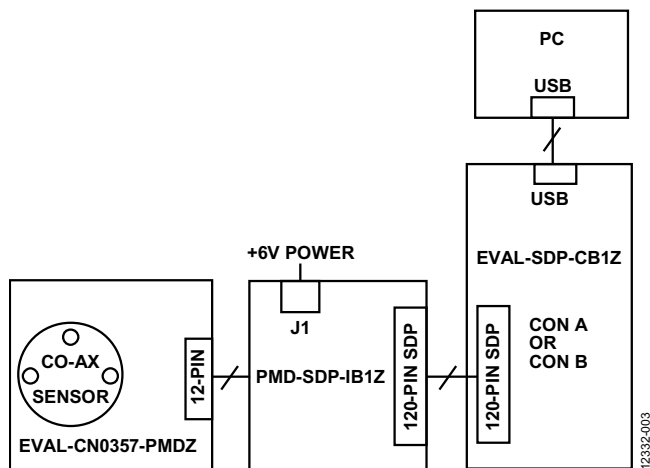


图3. 测试设置功能框图

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。

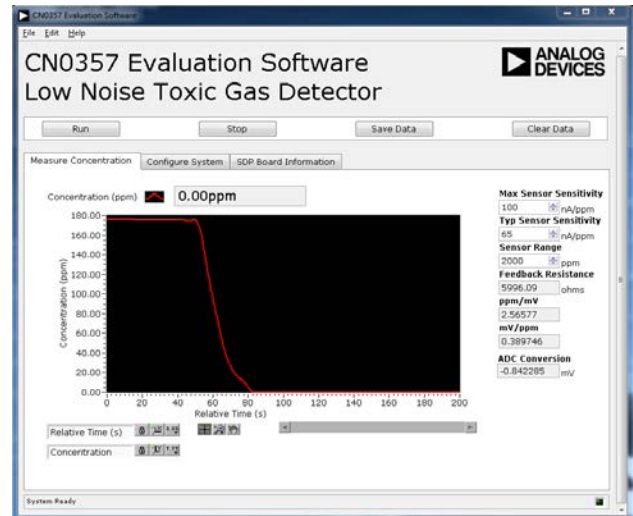


图4. 对175 ppm至0 ppm一氧化碳阶跃的响应

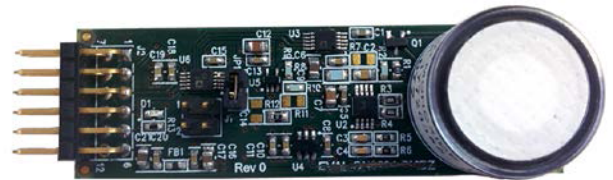


图5. EVAL-CN0357-PMDZ评估板

了解详情

CN-0357 Design Support Package:

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

AN-1114, *Lowest Noise Zero-Drift Amplifier Has 5.6 nV/√Hz Voltage Noise Density*, Analog Devices.

MS-2066 Article, *Low Noise Signal Conditioning for Sensor-Based Circuits*, Analog Devices.

MT-035 Tutorial, *Op Amp Inputs, Outputs, Single-Supply, and Rail-to-Rail Issues*, Analog Devices.

CN-0234 Circuit Note, *Single Supply, Micropower Toxic Gas Detector Using an Electrochemical Sensor*, Analog Devices.

Alphasense Application Note AAN-105-03, *Designing a Potentiostatic Circuit*, Alphasense Limited.

数据手册和评估板

CN-0357 Circuit Evaluation Board (EVAL-CN0357-PMDZ)
System Demonstration Platform (EVAL-SDP-CB1Z)

ADA4528-2 Data Sheet

AD5270-20 Data Sheet

ADR3412 Data Sheet

AD8500 Data Sheet

AD7790 Data Sheet

修订历史

2014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.

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN12332sc-0-7/14(0)

