

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/CN0234](http://www.analog.com/CN0234).

**连接/参考器件**

ADA4505-2	低功耗、轨到轨I/O、双通道运算放大器
ADR291	低功耗、2.5 V基准电压源
ADP2503	2.5 MHz、降压/升压DC-DC转换器
AD7798	16位低功耗Σ-Δ型ADC

## 使用电化学传感器的单电源、低功耗有毒气体探测器

### 评估和设计支持

#### 电路评估板

[CN-0234电路评估板\(EVAL-CN234-SDPZ\)](#)

[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所示电路是使用电化学传感器的单电源、低功耗、电池供电、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(ppm)，所需工作电流极小，非常适合便携式电池供电的仪器。

图1所示电路使用双通道低功耗放大器ADA4505-2，该器件在室温下的最大输入偏置电流为2 pA，每个放大器的功耗仅为10 μA。此外，ADR291精密、低噪声、低功耗基准电压源的功耗仅为12 μA，可建立2.5 V共模伪地基准电压。

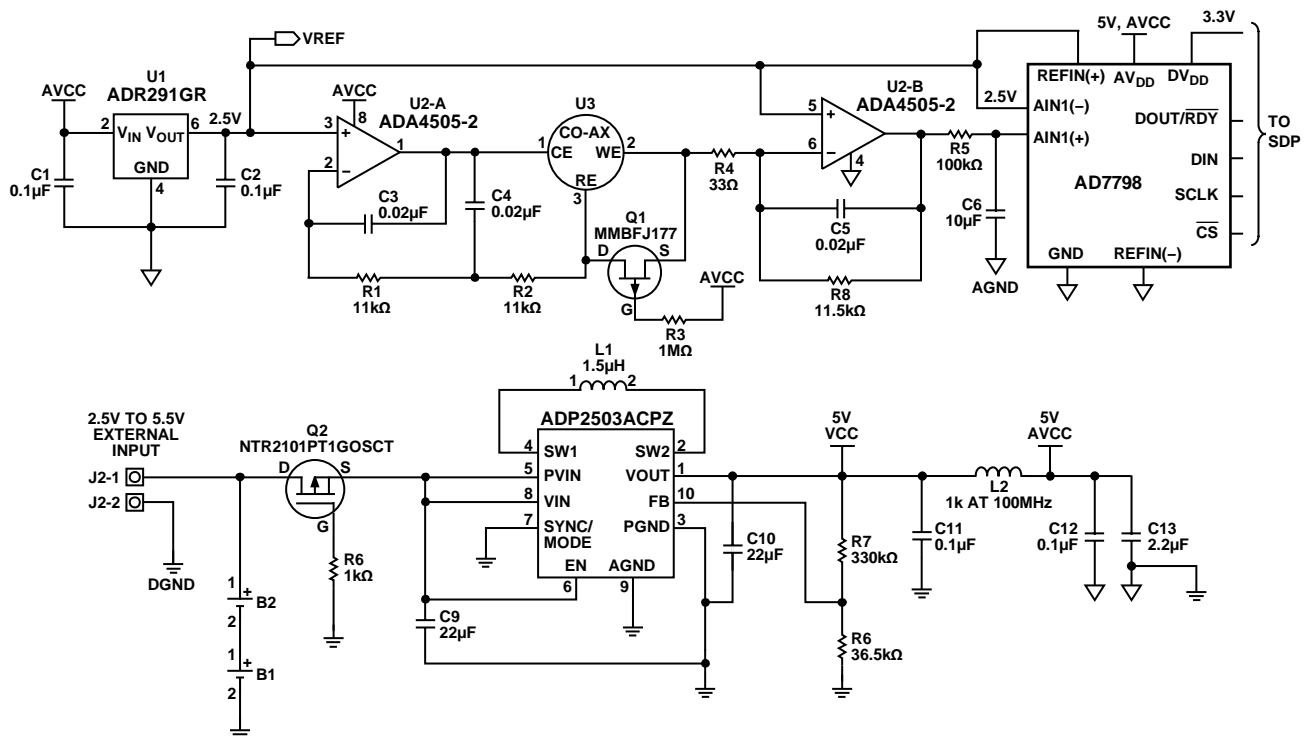


图1. 低功耗气体探测器电路

#### 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)

ADP2503高效率、降压/升压调节器支持两节AAA电池的电源供电，在节能模式下的功耗仅为38 μA。

图1所示电路(不包括AD7798 ADC)的总功耗在正常条件下(未检测到气体)约为110 μA，在最差条件下(探测到2000 ppm CO)约为460 μA。AD7798工作时的功耗约为180 μA(G = 1, 缓冲模式)，节能模式下仅为1 μA。

由于电路功耗极低，两节AAA电池便可提供合适的电源。当连接到ADC和微控制器或者内置ADC的微控制器时，电池寿命可从6个月以上到一年以上不等。

## 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)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发生的反应是氧化还是还原。在一氧化碳情况下发生的是氧化；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<sub>REF</sub>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。

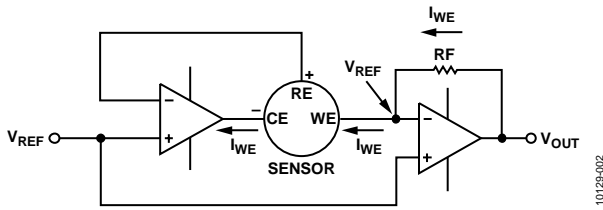


图2. 简化电化学传感器电路

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。ADA4505-2运算放大器在室温下具有最大输入偏置电流为2 pA的CMOS输入，因此很适合这种应用。

2.5 V ADR291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。

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U2-A的反相输入；因此其中无电流流动。这意味着电流从WE引脚流出，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。

此电路笔记选择的传感器是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	值
灵敏度	55 nA/ppm至100 nA/ppm (典型值, 65nA/ppm)
响应时间(t <sub>90</sub> , 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：

$$V_O = 2.5 \text{ V} + I_{WE} \times R_F \quad (1)$$

其中I<sub>WE</sub>是流入WE引脚的电流，R<sub>F</sub>是跨阻反馈电阻(图1中显示为R<sub>8</sub>)。

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。因此，最大输出电流为200 μA，最大输出电压由跨阻电阻决定，如公式2所示。

$$V_O = 2.5 \text{ V} + 2000 \text{ ppm} \times 100 \frac{\text{nA}}{\text{ppm}} \times R_F$$

$$V_O = 2.5 \text{ V} + 200 \mu\text{A} \times R_F \quad (2)$$

使用5 V电源为电路供电可在跨阻放大器U2-B的输出端产生2.5 V的可用范围。为跨阻反馈电阻选择11.5 kΩ电阻可提供4.8 V的最大输出电压，从而提供大约8%的超量程能力。

传感器使用65 nA/ppm的典型响应时，公式3显示与一氧化碳的ppm有函数关系的电路输出电压。

$$V_O = 2.5 \text{ V} + 748 \frac{\mu\text{V}}{\text{ppm}} \quad (3)$$

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。对于本例， $R4 = 33 \Omega$ ，由此可计算噪声增益等于349，如公式4所示。

$$NG = 1 + \frac{11.5 \text{ k}\Omega}{33 \Omega} = 349 \quad (4)$$

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，我们仅关注低频噪声，因为传感器工作频率极低。ADA4505-2的0.1 Hz至10 Hz输入电压噪声为 $2.95 \mu\text{V p-p}$ ；因此，输出端噪声为 $1.03 \text{ mV p-p}$ ，如公式5所示。

$$V_{\text{OUTPUTNOISE}} = 2.95 \mu\text{V} \times NG = 1.03 \text{ mV p-p} \quad (5)$$

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；因此可以利用这一点，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。

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。当暴露于目标气体浓度的中量程阶跃时，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2.5 V)以下时，P沟道JFET Q1将RE引脚与WE引脚短接。

两节AAA电池或2.3 V至5.5 V电源为此电路供电。Q2提供反向电压保护，ADP2503将输入电源调节至传感器供电所需的5 V电压。

### 常见变化

如果使用可编程变阻器(如AD5271)，而不是固定跨阻电阻(R8)，本电路就可以用于不同的气体传感器，而无需改变物料清单。AD5271提供 $20 \text{ k}\Omega$ 、 $50 \text{ k}\Omega$ 或 $100 \text{ k}\Omega$ 的标称电阻值。由于有256个跳变位置，因此 $100 \text{ k}\Omega$ 选项的阶跃为 $390.6 \Omega$ 。AD5271的电阻温度系数为 $5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ，优于大多数分立电阻；其电源电流为 $1 \mu\text{A}$ ，对系统功耗的影响极小。

虽然两节AAA电池就能为图1所示电路供电数月之久，一些应用可能需要使用外部电源运行。实施双电源配置的最有效方式是使用内置开关且具有机械断开特性的电源插座，在将外部电源插头插入插座时可自动移除电池电源。

本文所述电路具有极低的功耗。使用两个ADA4528-1运算放大器代替ADA4505-2可大幅降低噪声，提高精度，但功耗也会增加。ADA4528-1具有实际为零的失调漂移和业界领先的低输入电压噪声。

同样，ADR3425可取代ADR291，从而获得极低温漂；但代价是功耗增加。

最后，图1所示电路适用于与12位ADC接口，例如大多数混合信号微控制器中的内置转换器。

对于必须测量气体浓度ppm比例的应用，使用ADA4528-1和ADR3425使得电路性能适合与16位ADC接口，例如AD7798或AD7171。

### 电路评估与测试

本电路使用EVAL-CN0234-SDPZ电路评估板和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板。此外，连接两个电路板需要EVAL-CN0234-SDPZ附带的小适配板。EVAL-CN0234-SDPZ包括AD7798 16位 $\Sigma$ - $\Delta$ 型ADC，用于对电路的输出电压进行数字化处理。

CN-0234评估软件与SDP板通信，以从EVAL-CN0234-SDPZ电路评估板捕捉数据。

### 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-CN0234-SDPZ电路评估板和适配板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP评估板
- CN0234评估软件
- 两节AAA电池
- 校准气体(建议使用低于250 ppm的CO)

## 开始使用

将CN0234评估软件光盘放入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3显示测试设置的功能框图。EVAL-CN0234-SDPZ-SCH PDF文件提供了完整电路原理图。此文件位于[CN0234设计支持包](#)中。

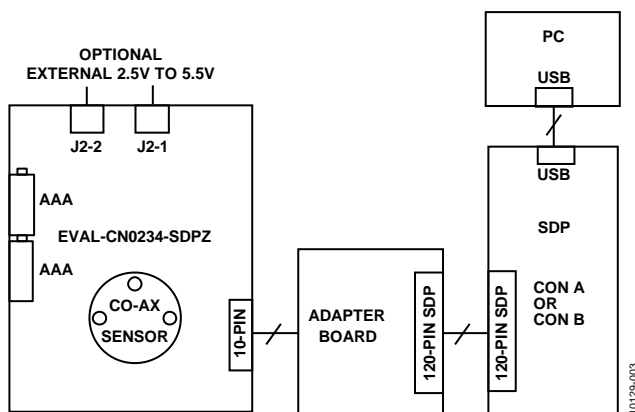


图3. 测试设置功能框图

## 设置

将EVAL-CN0234-SDPZ上的10引脚连接器连接到适配板，将适配板的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z SDP评估板上的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将适配板牢牢固定至SDP板。将电化学传感器连接到EVAL-CN0234-SDPZ电路评估板上的插口。

将电源开关滑动到关闭位置，将两节AAA电池插入电池座。

将SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口和SDP板。SDP板从PC的USB端口取电。

## 测试

将EVAL-CN0234-SDPZ电路板上的电源开关移动到打开位置，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-CN0234-SDPZ电路评估板的串行数据。

CN0234评估软件readme文件包含有关如何使用评估软件采集数据的详细信息。SDP用户指南包含有关SDP板的信息。

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。

要执行系统校准，首先请确认不存在一氧化碳。要开始采集数据，请单击“Start Acquisition(开始采集)”。从“Calibrate(校准)”菜单选择“Set Zero(设置0)”。如果满意ADC读数，请单击“OK(确定)”，当前ADC读数会被存储为0点。应用校准气体，当传感器输出完全建立后，从“Calibrate(校准)”菜单中选择“Set Span(设置范围)”。输入所用校准气体的浓度，单击“OK(确定)”。如此会存储系统范围。

要应用系统校准数据，请选中前面板上的“Display Calibrated Data(显示校准数据)”复选框。

如果未选中“Display Calibrated Data(显示校准数据)”复选框，程序采用默认比例值运行，即假定标称传感器响应为65 nA/ppm，无失调误差。

要将校准数据保存到文件，请从“File(文件)”菜单中选择“Save Calibration Constants to File(将校准常数保存到文件)”。同样，选择“Load Calibration Constants from File(从文件加载校准常数)”可使用先前保存的校准数据。

图4显示电路对50 ppm一氧化碳阶跃的响应。传感器响应缩短了初始上升时间，而长尾现象与测试室成函数关系。

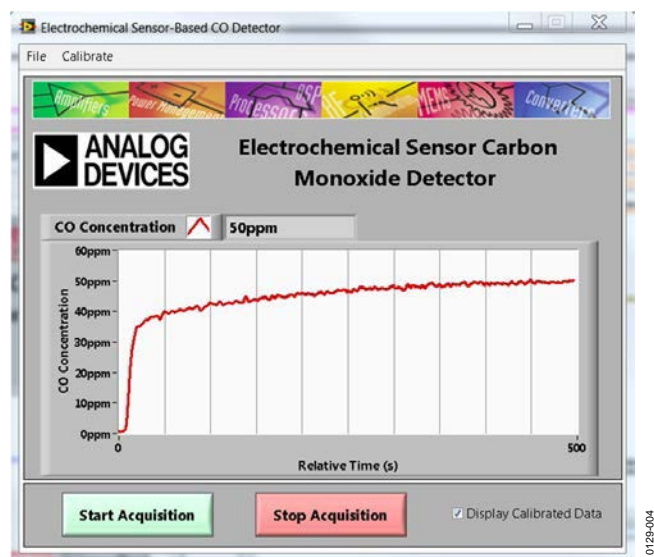


图4. 对0 ppm至50 ppm一氧化碳阶跃的响应



图5显示从50 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。

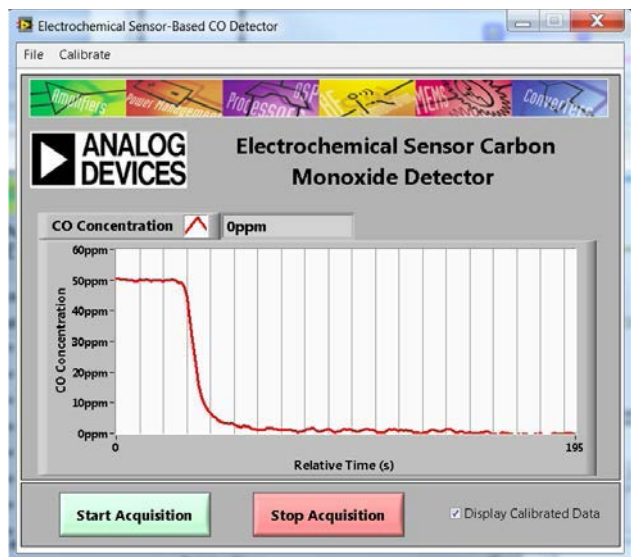


图5. 对50 ppm至0 ppm一氧化碳阶跃的响应

**了解详情**

- CN-0234 Design Support Package:  
<http://www.analog.com/CN0234-DesignSupport>
- MT-035 Tutorial, *Op Amp Inputs, Outputs, Single-Supply, and Rail-to-Rail Issues*, Analog Devices.
- ADIsimPower Design Tool, Analog Devices:  
<http://www.analog.com/ADIsimPower>
- Alphasense Application Note AAN-105-03, *Designing a Potentiostatic Circuit*, Alphasense Limited.

**数据手册和评估板**

- CN0234 Circuit Evaluation Board (EVAL-CN0234-SDPZ)
- System Demonstration Platform (EVAL-SDP-CB1Z)
- ADA4505-2 Data Sheet.
- ADR291 Data Sheet.
- ADP2503 Data Sheet.
- AD7798 Data Sheet

**修订历史**

**2012年1月—修订版0至修订版A**

更改图1 .....	1
更改图3 .....	4

**2012年3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.

