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/CN0338.

连接/参考器件	
AD8629	零漂移、单电源、轨到轨输入/输出运算放大器
ADA4528-1	精密、超低噪声、轨到轨输入输出(RRIO)、零漂移运算放大器
ADP7105	20 V、500 MA低噪声LDO稳压器，具有软启动功能
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

NDIR基于热电堆的气体检测电路

评估和设计支持

电路评估板

CN-0338 电路评估板
(EVAL-CN0338-ARDZ 屏蔽)
Arduino兼容型平台板
(EVAL-ADICUP360)

设计和集成文件

原理图、布局文件、物料清单、源代码

电路功能与优势

图1中的电路是一个完整基于热电堆的气体传感器，利用了非分散红外(NDIR)原理。该电路针对CO2检测优化，而采用不同滤光器的热电堆之后亦可精确测量多种气体的浓度。

该电路板(PCB)采用Arduino屏蔽尺寸设计，并与EVAL-ADICUP360 Arduino兼容型平台板对接。信号调理由AD8629和低噪声放大器ADA4528-1，以及集成可编程增益放大器、双通道24位Σ-Δ型模数转换器(ADC)和ARM Cortex-M3处理器的精密模拟微控制器ADuCM360实现。

Rev. 0
Circuits from the Lab® reference designs from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113
©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

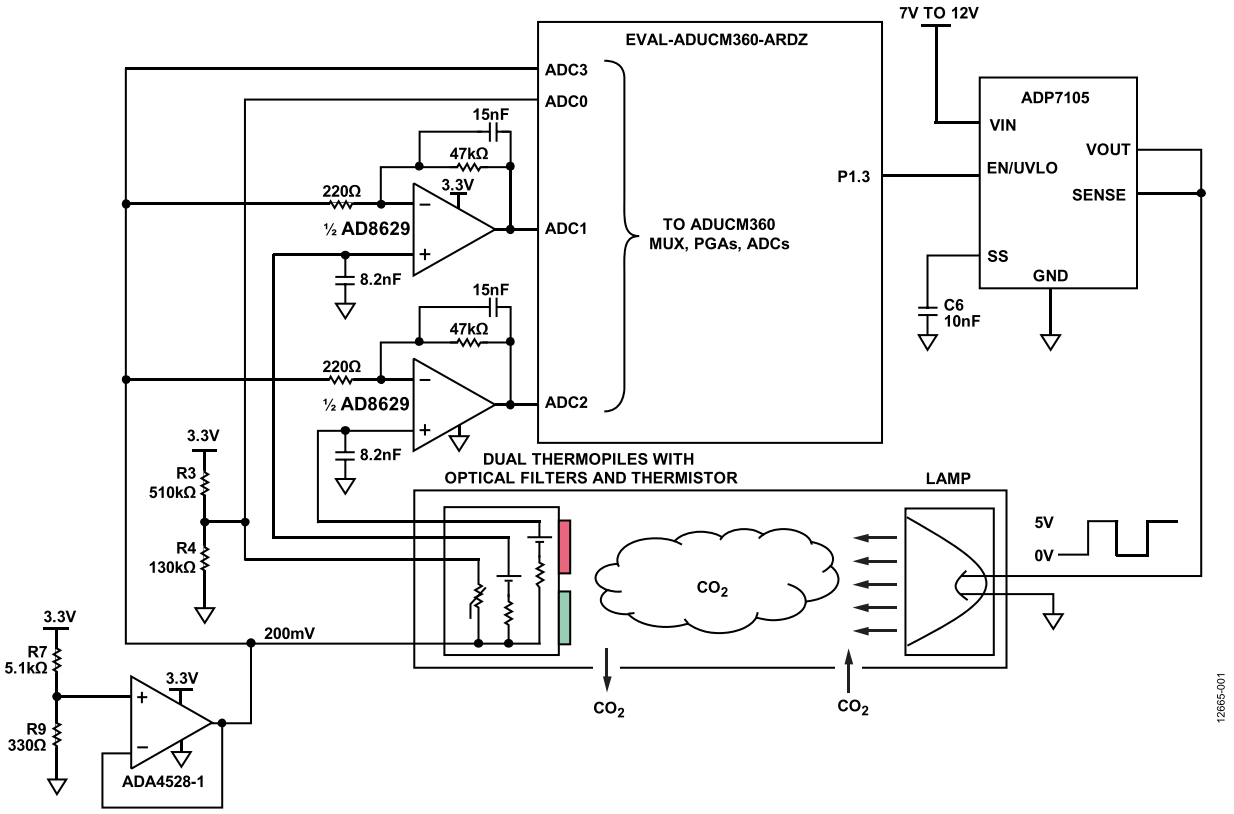

图1. NDIR气体检测电路(简化原理图： 未显示所有连接和去耦)

电路描述

热电堆传感器由通常串联(或偶尔并联)的大量热电偶组成。串联热电偶的输出电压取决于热电偶结与基准结之间的温度差。该原理称为塞贝克效应。

本电路使用AD8629运算放大器放大热电堆传感器输出信号。热电堆输出电压相对较小(从几百微伏到几毫伏)，需要高增益和极低的失调与漂移，以避免直流误差。热电堆的高阻抗(典型值为84 kΩ)要求低输入偏置电流以便最大程度减少误差，而AD8629的偏置电流仅为30 pA(典型值)。 该器件随时间和温度变化的漂移极低，只要校准温度测量便可消除额外误差。与ADC采样速率同步的脉冲光源最大程度减少低频漂移和闪烁噪声引起的误差。

AD8629在1 kHz下的电压噪声频谱密度仅为22 nV/√Hz，低于37 nV/√Hz的热电堆电压噪声密度。

此外，AD8629在10 Hz下的电流噪声频谱密度极低，典型值仅为5 fA/√Hz。该电流噪声流过84 kΩ热电堆，10 Hz时的噪声贡献仅为420 pV/√Hz。

低噪声放大器ADA4528-1缓冲的共模电压为200 mV，因此NTC和热电堆信号输出满足ADuCM360缓冲模式输入的要求。ADuCM360 ADC缓冲模式输入为AGND + 0.1 V至大约AVDD – 0.1 V。CN-0338 Arduino屏蔽板只需采用单输入ADC即可兼容其它类型的Arduino兼容型平台板。

ADP7105低压差调节器生成稳定的5 V输出电压以驱动灯，并由ADuCM360开关。该电路的斩波频率范围为0.1 Hz至5 Hz，可通过软件选择。ADP7105具有软启动功能，冷启动灯时没有浪涌电流。

ADuCM360集成双通道、24位、Σ-Δ型ADC，在3.5 Hz至3.906 kHz的可编程速率范围内可同步采样双单元热电堆。NDIR系统的数据速率范围限制在3.5 Hz至483 Hz之间，以便具有最佳的噪声性能。

工作原理

为了理解热电堆，有必要回顾热电偶的基本理论。

如果在绝对零度以上的任意温度下连接两种不同的金属，则两种金属之间会产生电位差(热电EMF或接触电位)，此电位差是结温的函数(参见图2中的热电EMF电路)。该效应称为塞贝克效应，以其发现者Thomas Johann Seebeck命名。

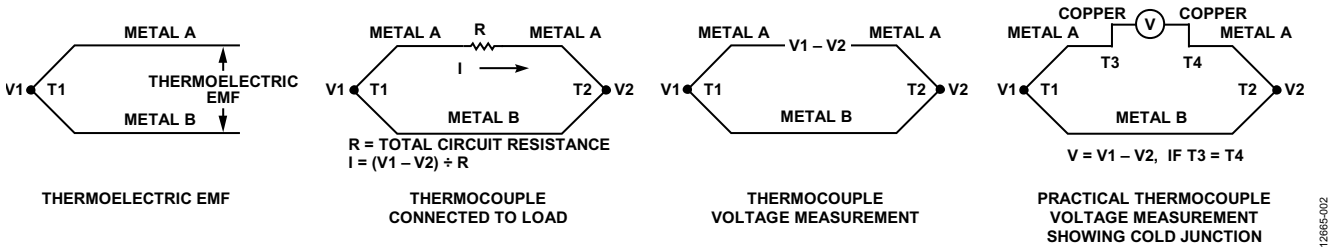

图2. 热电偶原理

如果两根导线在两处相连，则形成两个结点(参见图2中连接负载的热电偶)。如果两个结点的温度不同，则电路中产生净EMF，并有电流流过，电流由EMF和电路总电阻决定(参见图2)。如果其中一根导线断开，则断点处电压等于电路的净热电EMF；并且如果该电压可以测得，便可利用其计算两个结点之间的温度差(参见图2中的热电偶电压测量)。记住，热电偶测量两个结点之间的温度差，而非一个结点处的绝对温度。只有当另一个结点(通常称为基准结点或冷结)已知的情况下，测量结点处的温度才可测得。

但是，要测量热电偶产生的电压却很困难。假设电压表连接第一个热电偶测量电路(参见图2中显示冷结的实际热电偶电压测量)。连接电压表的导线在连接处形成了更多的热电偶。如果这些额外的结点温度相同(无论温度是多少)，则中间金属法则表明它们对系统的总EMF没有净贡献。如果它们的温度不同，则产生误差。由于每一对不同的接触金属都会产生热电EMF——包括铜片/焊点、柯伐/铜片(柯伐是一种用于IC引线框架的合金)和铝/柯伐(IC内的焊接)——在实际电路中，问题更为复杂，有必要极其谨慎地确保热电偶周边电路的所有结点对(除测量结点和基准结点本身)的温度相同。

热电堆由大量热电偶串联而成，如图3所示。与单个热电偶相比，热电堆产生的热电电压要高得多。

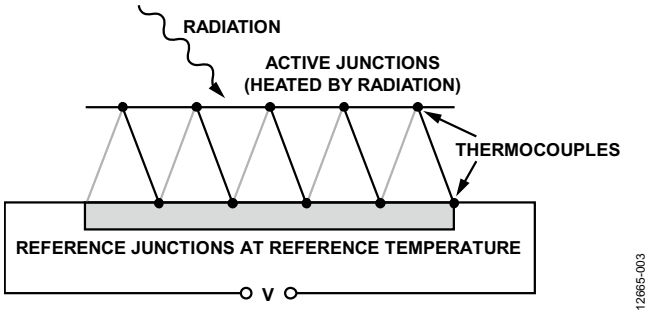

图3. 多个热电偶组成热电堆

在NDIR应用中，脉冲和滤波红外光施加于串联有源结点；因此，结点加热，产生较小的热电电压。基准结点的温度由热敏电阻测量。

针对正电荷和负电荷，很多气体都有永久或非永久分隔的中心。在红外频谱，气体可吸收特定频率，这种特性可以用来进行气体分析。当红外辐射射入气体中，并且当红外波长匹配分子的自然频率或谐振频率时，原子能态根据分子的离散步长变化而振动。

对于大部分红外气体检测应用而言，目标气体的身份是已知的，因此不需要气相色谱。然而，如果不同气体的吸收线重叠，那么应用就必须处理这些气体之间一定程度上的交叉灵敏度。

二氧化碳在4200 nm和4320 nm之间的吸收极强，如图4所示。

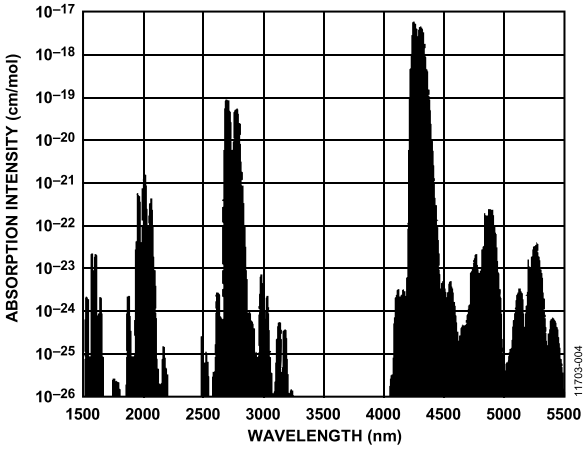

图4. 二氧化碳(CO2)的吸收频谱

红外光源的可用输出范围和水的吸收频谱同样决定了检测波长的选择。在3000 nm以下，以及4500 nm和8000 nm之间，水具有较强的吸收。如果目标气体中有湿气(湿度高)，则在这些范围内，检测气体频谱线的一切尝试都会受到较强的干扰影响。图5显示了二氧化碳吸收频谱与水的吸收频谱重叠。(所有吸收数据均来自HITRAN数据库。)

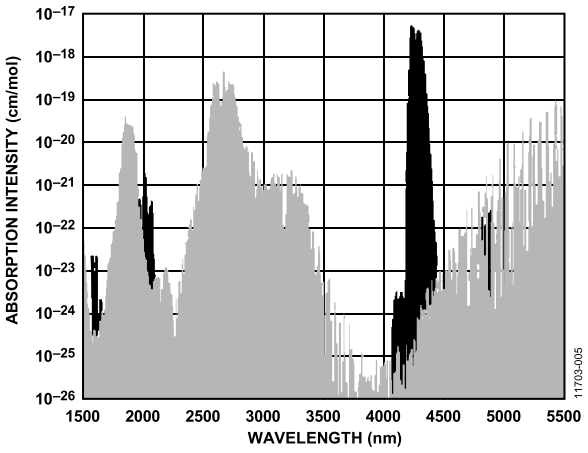

图5. 二氧化碳与水的吸收频谱重叠

如果将红外光施加在双热电堆检测器上，并安装一对滤光器，使其中一个滤光器聚焦在4260 nm，而另一个聚焦在3910 nm，则通过两个热电堆的电压之比即可测得二氧化碳浓度。吸收通道中的滤光器用作检测通道，吸收频谱外的滤光器用作基准通道。 使用基准通道后，可消除灰尘或辐射强度递减引起的测量误差。在3910 nm下方没有吸收线，注意这一点很重要；这使得该区域成为基准通道的理想地点。

NDIR检测中使用的热电堆具有相对较高的内部电阻，而50 Hz/60 Hz电源线噪声会耦合进入信号路径。热电堆的源阻抗可能为100 kΩ左右，导致热噪声成为系统内的主要噪声。例如，图1系统中选用的热电堆检测器电压噪声密度为37 nV/√Hz。使来自检测器的信号量最大化，并在电路中使用较低增益，便有可能确保气体测量系统具有最佳性能。

使来自热电堆检测器的信号最大化的最佳方法是使用具有高反射属性的采样腔，这样做可以确保检测器吸收信号源的辐射，而不吸收腔室本身的辐射。使用反射腔室来减少腔室吸收辐射量还可降低系统功耗，因为这样可以使用较小的辐射源。

NDIR气体吸收的比尔-朗伯定律

有源检测器的红外密度以指数关系递减，此关系称为比尔-朗伯定律：

$$I = I_0 e^{-klx}$$

其中：

I表示目标气体的密度。

I_0表示零气体的密度。

k表示特定气体和滤光器组合的吸收系数。

l表示灯与检测器之间的等效光学路径长度。

x表示气体浓度。

对于有源检测器输出，存在相应的输出电压变化$V_0 - V$：

$$FA = \frac{(V_0 - V)}{V_0} = \frac{(I_0 - I)}{I_0} = 1 - \frac{I}{I_0}$$

其中：

FA表示小数吸收。

V_0表示零气体的输出。

V表示目标气体的输出。

整理公式，并结合前面两个公式，可得：

$$FA = 1 - e^{-klx}$$

如果k和l保持不变，FA可相对于x轴进行描绘，如图6所示(其中，kl = 115、50、25、10和4.5)。FA值随c增加，但最终在高气体浓度下饱和。

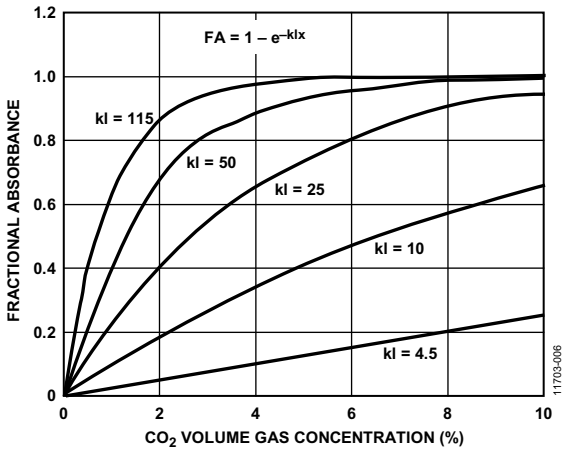

图6. 典型小数吸收(kl = 4.5、10、25、50、115)

这一关系表明，对于任意固定的设置，低浓度时气体等级变化的解析能力要优于高浓度；但是，可以调节k和l，以便针对所需的气体浓度范围提供最佳吸收。这意味着较长的光学路径更适合于低气体浓度，而较短的光学路径更适合于高气体浓度。

下文描述了两点校准步骤，这在使用理想比尔-朗伯公式确定kl常数的情况下是必需的。如果b = kl，则

$$FA = 1 - \left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$FA = 1 - e^{-bx}$$

第一部分校准要求对传感器组件施加低浓度CO_2气体(或纯氮气，即0% vol.)。

- ACT_{LOW}表示低浓度气体中有源检测器的峰峰值输出。
- REF_{LOW}表示低浓度气体中基准检测器的峰峰值输出。
- T_{LOW}表示低浓度气体的温度。

第二部分校准要求将已知浓度(x_{CAL})的二氧化碳气体施加到组件上。通常，x_{CAL}浓度水平选择浓度范围内的最大值(比如针对工业空气质量范围，选择0.5% vol.)。

- ACT_{CAL}表示校准气体浓度为x_{CAL}时，有源检测器的峰峰值输出。
- REF_{CAL}表示校准气体浓度为x_{CAL}时，基准检测器的峰峰值输出。

$$I_{LOW} = I_0 e^{-b(x_{LOW})}$$

$$I_{CAL} = I_0 e^{-b(x_{CAL})}$$

以下含有两个未知数(I_0和b)的联立方程可以写为：

$$I_0 = ZERO = \frac{ACT_{LOW}}{REF_{LOW}} \times \left(\frac{ACT_{LOW}}{REF_{LOW}} \times \frac{REF_{CAL}}{ACT_{CAL}}\right)^{\frac{x_{LOW}}{x_{CAL} - x_{LOW}}}$$

$$b = \left[\frac{\ln\left(\frac{ACT_{LOW}}{REF_{LOW}} \times \frac{REF_{CAL}}{ACT_{CAL}}\right)}{x_{CAL} - x_{LOW}}\right]$$

然后，对于未知浓度(x)的气体有：

- ACT表示未知气体中有源检测器的峰峰值输出。
- REF表示未知气体中基准检测器的峰峰值输出。
- T表示未知气体的温度，单位为K。

$$FA = 1 - \left(\frac{I}{I_0}\right) = 1 - \frac{ACT}{REF \times ZERO}$$

$$x = \frac{T}{T_{LOW}}\left[\frac{\ln(1 - FA)}{-b}\right]$$

$$x = \frac{T}{T_{LOW}}\left[\frac{\ln\left(\frac{ACT}{REF \times ZERO}\right)}{-b}\right]$$

系数T/T_{LOW}补偿浓度随温度的变化(因为使用了理想气体定律)。

修正比尔-朗伯定律

出于实际考虑，在使用NDIR时，需要修改比尔-朗伯定律以得到精确的读数，如下所示：

$$FA = SPAN(1 - e^{-bx^c})$$

因为并非所有受到有源热电堆冲击的红外辐射都会被气体所吸收(哪怕气体浓度较高)，因而引入SPAN系数。由于滤光器带宽和吸收频谱的精细结构，SPAN小于1。

光学路径长度的变化和光的散射要求增加功率项c，以便使方程精确吻合实际吸收数据。

b和SPAN常数值同样取决于测量的浓度范围。典型浓度范围如下所示：

工业空气质量(IAQ)：0至0.5% vol. (5000 ppm)。 注意，环境空气中的二氧化碳浓度约为0.04% vol.，或400 ppm。

- 工业空气质量(IAQ)：0至0.5% vol. (5000 ppm)。 注意，环境空气中的二氧化碳浓度约为0.04% vol.，或400 ppm。
- 安全值：0至5% vol.。
- 燃烧：0至20% vol.。
- 过程控制：0至100% vol.。

特定系统的b和c实际值通常确定如下：取FA与浓度x的关系曲线上的一个数据点，然后使用曲线拟合程序。

对于b和c常数已确定的给定系统，ZERO和SPAN的数值可以使用两点校准法计算得到。

此过程的第一步是应用低气体浓度x_{LOW}，并记录：

- ACT_{LOW}： 低浓度气体中有源检测器的峰峰值输出。
- REF_{LOW}： 低浓度气体中基准检测器的峰峰值输出。
- T_{LOW}： 低浓度气体的温度，单位为K。

第二部分校准要求将已知浓度(x_{CAL})的二氧化碳气体施加到组件上。通常，x_{CAL}浓度水平选择浓度范围内的最大值(比如针对工业空气质量范围，选择0.5% vol.)。记录以下内容：

- ACT_{CAL}：校准气体浓度为xCAL时，有源检测器的峰峰值输出。
- REF_{CAL}：校准气体浓度为xCAL时，基准检测器的峰峰值输出。

以下含有两个未知数(I_0和SPAN)的联立方程可以写为：

$$1-\frac{I_{LOW}}{I_0}=SPAN\left(1-e^{-b\left(x_{LOW}{}^{c}\right)}\right)$$

$$1-\frac{I_{CAL}}{I_0}=SPAN\left(1-e^{-b\left(x_{CAL}{}^{c}\right)}\right)$$

求解两个方程中的ZERO和SPAN：

$$I_0=ZERO=\frac{ACT_{LOW}\left(e^{-b\left(x_{CAL}{}^{c}\right)}-1\right)REF_{CAL}+ACT_{CAL}\left(1-e^{-b\left(x_{LOW}{}^{c}\right)}\right)REF_{LOW}}{\left(e^{-b\left(x_{CAL}{}^{c}\right)}-e^{-b\left(x_{LOW}{}^{c}\right)}\right)\times REF_{CAL}\times REF_{LOW}}$$

$$SPAN=\frac{ACT_{CAL}\times REF_{lOW}-ACT_{LOW}\times REF_{CAL}}{ACT_{LOW}\left(e^{-b\left(x_{CAL}{}^{c}\right)}-1\right)REF_{CAL}+ACT_{CAL}\left(1-e^{-b\left(x_{LOW}{}^{c}\right)}\right)REF_{LOW}}$$

然后，对于未知浓度(x)的气体有：

- ACT表示未知气体中有源检测器的峰峰值输出。
- REF表示未知气体中基准检测器的峰峰值输出。
- T表示未知气体的温度，单位为K。

$$FA=SPAN(1-e^{-bx^{c}})$$

$$FA=1-\frac{ACT}{REF\times ZERO}$$

$$x=\frac{T}{T_{LOW}}\left[\frac{\ln\left(1-\frac{FA}{SPAN}\right)}{-b}\right]^{\frac{1}{c}}$$

此方程假定$T_{LOW}=T_{CAL}$。

环境温度的影响

热电堆检测器通过吸收辐射来检测温度，但也会对环境温度变化作出响应，导致杂散和干扰信号增加。由于这个原因，很多热电堆都在封装内集成了热敏电阻。

辐射吸收与腔室中的目标分子数量有关，而非目标气体的绝对百分比。因此，吸收采用标准大气压力下的理想气体定律表述。

有必要同时记录校准状态和测量状态下的温度数据：

$$x_T=\frac{T}{T_{LOW}}x$$

其中：

x表示无温度补偿时的气体浓度。

T_{LOW}表示低和高气体浓度时的温度，单位为K。

T表示采样时的温度，单位为K。

x_T表示温度为T时的气体浓度。

理想气体定律下除了浓度会随温度而变之外，SPAN和FA也会随温度而产生轻微变化，并且进行精度极高的浓度测量时可能需要校正。

本电路笔记不涉及SPAN和FA温度校正；但是可以从SGX Sensortech(2 Hanbury Road，Chelmsford，UK)的应用笔记1、应用笔记2、应用笔记3、应用笔记4和应用笔记5，以及Alphasense Limited(Sensor Technology House，300 Avenue West，Skyline 120，Great Notley Essex，UK)的应用笔记AAN-201、AAN-202、AAN-203、AAN-204和AAN-205中获取详情。

热电堆驱动器

HTS-E21-F3.91/F4.26热电堆(Heimann Sensor，GmbH)的每一条通道都配备了84 kΩ内部电阻。热电偶其中一条通道的驱动器等效电路如图7所示。内部84 kΩ热电堆电阻和外部8.2 nF电容组成RC低通噪声滤波器，−3 dB截止频率为：

改变不同热电堆的C11和C15也就改变了噪声性能和响应时间。

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2 \times \pi \times 84\,k\Omega \times 8.2\,nF} \approx 231\,Hz$$

改变不同热电堆的C11和C15也就改变了噪声性能和响应时间。

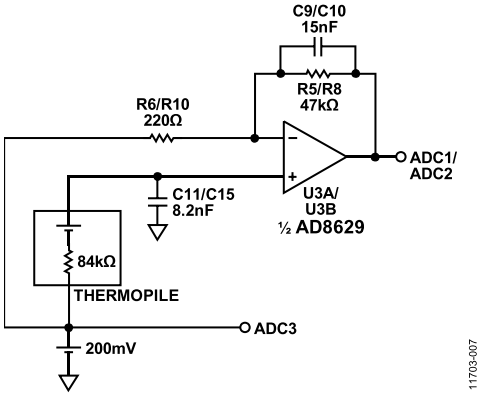

图7. 热电堆驱动器等效电路，G = 214.6

84 kΩ/8.2 nF滤波器的22位阶跃函数建立时间约为：

$$\tau = 84\,k\Omega \times 8.2\,nF \times \ln 2^{22} \approx 10.5\,ms$$

AD8629同相放大器增益设置为214.6，−3 dB截止频率为：

$$f_{-3dB} \approx \frac{1}{2 \times \pi \times 47\,k\Omega \times 15\,nF} \approx 225.75\,Hz$$

22位建立时间约为：

$$\tau = 47\,k\Omega \times 15\,nF \times \ln 2^{22} \approx 10.75\,ms$$

NDIR最大斩波频率为5 Hz，因此半周期脉冲宽度最小值为100 ms。22位建立时间约为0.1乘以最小斩波脉冲宽度。

AD8629的0.1 Hz至10 Hz输入电压噪声为0.5 μV p-p。忽略传感器电压噪声和AD8629电流噪声，则热电堆的1 mV p-p信号输出具有如下信噪比(SNR)：

$$SNR = 20\log\frac{1\,mV}{0.5\,\mu V} \approx 66\,dB$$

其中一个热电堆以伪差分输入方式连接ADuCM360 ADC1/ADC3对，第二个连接ADC2/ADC3对。ADC3输入连接200 mV共模电压，由ADA4528-1低噪声放大器驱动。ADA4528-1的0.1 Hz至10 Hz输入电压噪声为99 nV p-p。若要使ADC输入引脚保持在0.1 V以上，则需使用200 mV共模电压。

AD8629增益级为214.6，ADuCM360内部PGA增益通过软件自动设定，范围为1至128，确保输入信号匹配ADC输入的满量程范围(即±1.2 V)。来自热电堆的峰峰值信号范围为几百微伏至几毫伏。例如，假设满量程热电堆信号为1 mV p-p，则PGA增益4可产生860 mV p-p的ADC输入信号。

不同灵敏度的热电堆可能会要求AD8629级具有不同增益。如需将CN-0338 Arduino屏蔽板与其它Arduino兼容型平台对接，并且如果该平台采用的ADC没有内置PGA，则可能需要更高的增益。

改变AD8629增益的最简单方法是改变R6和R10；这样不会影响由R5/R8和C9/C10决定的主极点频率。

可通过软件选择热电堆输出数据处理算法。用户可以在峰峰值算法和均值算法之间作出选择。

更多有关信号采集、灯脉冲定时以及温度补偿处理算法的详细信息，请参阅CN-0338设计支持包中的CN-0338源代码和CN-0338用户指南。

NTC热敏电阻驱动器

热电堆中的集成式NTC温度传感器特性如下：

R_{TH} = 100 kΩ

β = 3940

热敏电阻驱动器的戴维宁等效电路如图8所示。R3和R4分压器电阻提供670.3 mV电压源，并与103.6 kΩ电阻串联。驱动电压为670.3 mV − 200 mV = 470.3 mV。

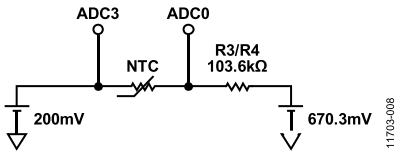

图8. NTC热敏电阻驱动器等效电路

当R_{TH} = 100 kΩ时(25°C)，热敏电阻上的电压为231 mV，因此测量时，将PGA增益设为4。

ADuCM360中的灵活输入多路复用器和双通道ADC支持热电堆信号和温度传感器信号的同时采样，以补偿漂移。

红外光源驱动器

选用International Light Technologies MR3-1089作为灯丝光

源，它具有抛光铝反射器，150 mA时所需驱动电压为5.0 V，以便使红外辐射最大化，并获得最佳系统性能。来自灯的热量使光反射器的温度保持在环境温度以上，有助于防止潮湿环境中出现冷凝。

温度较低(关灯)时，灯丝灯具有较低的电阻，这使其在开灯瞬间产生电流浪涌。带有软启动功能的调节器对于解决这个问题很有用。

ADP7105低压差稳压器具有可编程使能引脚，能与ADuCM360的通用输入/输出引脚一同使用，从而使能/禁用灯的电压。10 nF软启动电容C6具有12.2 ms的软启动时间，这约等于100 ms最小斩波阶跃时间的0.125倍。

灯的导通电流(~150 mA)较大，因此须仔细进行电路设计与布局，防止灯的开关脉冲耦合至较小的热电堆输出电压。

仔细确保灯的返回路径不会流经敏感的热电堆检测器接地返回路径。灯的电流不可以使用和处理器一样的返回路径，否则可能会产生电压失调误差。强烈建议针对灯的驱动以及系统的信号调理部分采用单独的稳压器。

ADP7105灯驱动器直接采用连接EVAL-ADICUP360板的外部电源供电。

软件考虑因素

同步斩波和采样

ADuCM360集成两个24位、Σ-Δ型ADC，这些ADC工作在连续采样模式下。如需测量气体浓度，就必须对基准和有源通道中的峰峰值信号值进行采样。ADC由可编程增益放大器驱动，增益选项为1、2、4、8、16、32、64和128。

默认斩波频率设为0.25 Hz，默认采样速率设为10 Hz。但是，可以在软件中设置斩波频率，设置范围为0.1 Hz至5 Hz；还可以设置ADC采样速率，设置范围为3.5 Hz至483 Hz。软件保证采样速率至少是斩波频率的30倍。

对于0.25 Hz的默认斩波频率而言，热电堆数据在2秒半周期的最后1.5秒内以10 Hz速率获得，保证信号建立。忽略前500 ms的数据(闪烁时间)。消隐时间也可以在软件中设置，上升沿和下降沿均可。注意，NTC热敏电阻数据在消隐期间获得。

校准程序：理想比尔-朗伯方程

由于灯和热电堆的特性不同，刚开始以及改变热电堆或灯时必须校准电路。

建议将整个组件放置在密封腔室中，并可向其中注入已知浓度的二氧化碳气体，直到腔室中一切原有气体均被排出。稳定数分钟后，便可开始进行测量。

理想比尔-朗伯方程的校准方式和算法如以下步骤所示：

1. 输入下列命令：**sbllcalibrate**(标准比尔-朗伯校准)。
2. 注入低浓度(x_{LOW})或零气体(氮气)，并让腔室稳定。
3. 在终端输入二氧化碳浓度。
4. 系统测量ACT_{LOW}，它表示低浓度气体中有源检测器的峰峰值输出。
5. 系统测量REF_{LOW}，它表示低浓度气体中基准检测器的峰峰值输出。
6. 系统测量低浓度气体的温度T_{LOW}。
7. 向腔室中注入浓度为x_{CAL}的高浓度二氧化碳。
8. 在终端输入二氧化碳浓度。
9. 系统测量ACT_{CAL}、REF_{CAL}和校准温度T_{CAL}。
10. 系统计算ZERO和b值：

$$ZERO = \frac{ACT_{LOW}}{REF_{LOW}} \times \left(\frac{ACT_{LOW}}{REF_{LOW}} \times \frac{REF_{CAL}}{ACT_{CAL}} \right)^{\frac{x_{LOW}}{x_{CAL} - x_{LOW}}}$$

$$b = \left[\frac{\ln\left(\frac{ACT_{LOW}}{REF_{LOW}} \times \frac{REF_{CAL}}{ACT_{CAL}} \right)}{x_{CAL} - x_{LOW}} \right]$$

如需利用理想比尔-朗伯方程测量未知浓度的二氧化碳气体，则请按下述步骤操作：

1. 向腔室注入未知浓度气体并使其稳定。
2. 测量ACT，它表示有源检测器的峰峰值输出。
3. 测量REF，它表示基准检测器的峰峰值输出。
4. 测量温度T，单位K。
5. 使用校准后的ZERO值。
6. 使用校准后的b值。
7. 计算小数吸收：

$$FA = 1 - \frac{ACT}{REF \times ZERO}$$

8. 计算浓度，应用理想气体定律下的温度补偿：

$$x = \frac{T}{T_{LOW}} \left[\frac{\ln\left(\frac{ACT}{REF \times ZERO} \right)}{-b} \right]$$

此步假定$T_{LOW} = T_{CAL}$。

校准程序：修正比尔-朗伯方程

如果通过测量得到了常数b和c的值，则使用下列步骤。

1. 输入下列命令： mbllcalibrate(修正后的比尔-朗伯校准)。
2. 输入b和c常数。
3. 注入低浓度(x_{LOW})二氧化碳气体(氮气)，并让腔室稳定。
4. 在终端输入二氧化碳浓度。
5. 系统测量ACT_{LOW}，它表示低浓度气体中有源检测器的峰峰值输出。
6. 系统测量REF_{LOW}，它表示低浓度气体中基准检测器的峰峰值输出。
7. 系统测量温度T_{LOW}。
8. 向腔室中注入浓度为x_{CAL}的高浓度二氧化碳。
9. 在终端输入二氧化碳浓度。
10. 系统测量ACT_{CAL}、REF_{CAL}和校准温度T_{CAL}。
11. 系统计算ZERO和SPAN：

$$ZERO = \frac{ACT_{LOW}\left(e^{-b\left(x_{CAL}{}^{c}\right)}-1\right)REF_{CAL}+ACT_{CAL}\left(1-{}^{-b\left(x_{LOW}{}^{c}\right)}\right)REF_{LOW}}{\left(e^{-b\left(x_{CAL}{}^{c}\right)}-{}^{-b\left(x_{LOW}{}^{c}\right)}\right)\times REF_{CAL}\times REF_{LOW}}$$

$$SPAN = \frac{ACT_{CAL}\times REF_{lOW}-ACT_{LOW}\times REF_{CAL}}{ACT_{LOW}\left(e^{-b\left(x_{CAL}{}^{c}\right)}-1\right)REF_{CAL}+ACT_{CAL}\left(1-e^{-b\left(x_{LOW}{}^{c}\right)}\right)REF_{LOW}}$$

如需利用修正后的比尔-朗伯方程测量未知浓度的二氧化碳气体，则请按下述步骤操作：

1. 向腔室注入未知浓度气体并使其稳定。
2. 测量ACT，它表示有源检测器的峰峰值输出。
3. 测量REF，它表示基准检测器的峰峰值输出。
4. 测量温度T，单位K。
5. 使用校准后的ZERO和SPAN值。
6. 使用之前确定的b和c值。
7. 计算小数吸收：

$$FA = 1-\frac{ACT}{REF\times ZERO}$$

8. 计算浓度，应用理想气体定律下的温度补偿：

$$x = \frac{T}{T_{LOW}}\left[\frac{\ln\left(1-\frac{FA}{SPAN}\right)}{-b}\right]^{\frac{1}{c}}$$

此步假定$T_{LOW} = T_{CAL}$。

NTC热敏电阻算法与计算

NTC热敏电阻等效电路如图9所示。

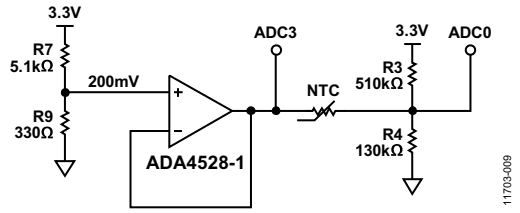

图9. NTC热敏电阻电路

热敏电阻上的电压为：

$$V_{NTC} = \frac{(R4\times R7 - R3\times R9)\times R_{NTC}\times VCC}{(R7+R9)[R4\times R_{NTC}+R3(R4+R_{NTC})]}$$

其中：

*VCC*为3.3 V。

R_{NTC}表示热敏电阻值。

NTC热敏电阻值可以表示为：

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0}+\frac{1}{\beta}\times\ln\frac{R_{NTC}}{R_{TH}}$$

其中：

R_{TH}表示温度为T_0时的热敏电阻值。

β是NTC热敏电阻数据手册中的参数。

R_{NTC}表示温度T时的热敏电阻值。

合并以上两个方程可得：

$$T = \frac{T_0\times\beta}{\beta+T_0\times\ln\left[\frac{R3\times R4\times(R7+R9)\times V_{NTC}}{(R4\times R7-R3\times R9)\times R_{TH}\times VCC-(R3+R4)\times(R7+R9)\times R_{TH}\times V_{NTC}}\right]}$$

在每个灯的斩波时间间隔内，ADC切换至NTC采样，如图10所示。

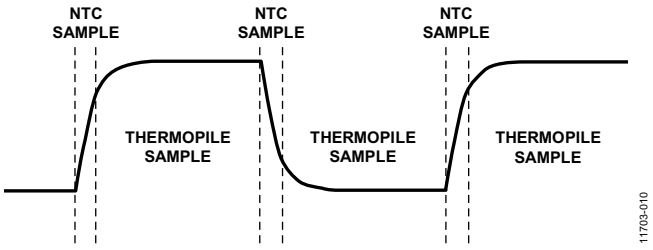

图10. NTC和热电堆采样时序，以及灯的斩波

人机界面

该板用作虚拟COM器件，而默认的COM端口设置为：115200 Hz、1个启动位、8个数据位、无奇偶校验位和2个停止位。如果波特率设置不正确，则电路不响应。用户可以通过按下EVAL-ADICUP360板上的RESET按钮，将波特率复位至默认值。注意，EVAL-ADICUP360复位仅复位波特率数值，CN-0338其它设置保持不变。如需将所有这些参数复位至默认值，可以使用**resetTodefault**命令。

任意类型的串行端口终端均可与EVAL-ADICUP360板交互，用于开发和调试。在本地设置终端或无回波类特性，因为EVAL-ADICUP360回波返回来自PC的所有特性。

CN-0338软件使用ADuCM360的P0.1和P0.2端口作为UART通信引脚。

根据连接PC的USB端口设置EVAL-ADICUP360跳线。请参考EVAL-ADICUP360产品页面了解更多详情。

成功连接后，根据终端方向操作EVAL-CN0338-ARDZ板。

图11显示了典型EVAL-CN0338-ARDZ板的小数吸收(FA)与二氧化碳浓度的函数关系。

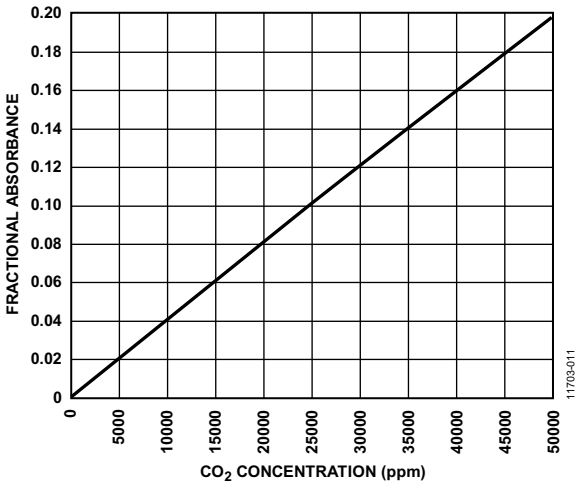

图11. 典型CN-0338板的小数吸收与二氧化碳浓度的关系

EVAL-CN0338-ARDZ板的完整设计支持包包括布局文件、物料清单、原理图和源代码，请参阅www.analog.com/CN0338-DesignSupport。

常见变化

EVAL-CN0338-ARDZ板属于Arduino屏蔽板，可兼容其它Arduino平台。但是，如果目标Arduino兼容型平台的电路板上没有高精度ADC，则用户必须调节AD8629的增益，使信号为ADC所接受，方法是改变R6和R10。设置R7和R9同样会改变共模电压。

电路评估与测试

本电路使用EVAL-CN0338-ARDZ屏蔽电路板、外部电源、带串行端口终端程序的PC，以及EVAL-ADICUP360 Arduino兼容型平台板。如需获取平台板的用户指南，请访问：www.analog.com/EVAL-ADICUP360_User_Guide。

如需获取EVAL-CN0338-ARDZ板的用户指南，请访问：www.analog.com/CN0338-UserGuide。

设备要求

需要以下设备：

- EVAL-CN0338-ARDZ电路板。
- EVAL-ADICUP360 Arduino兼容型平台，加载CN-0338固件。
- 带USB端口的PC以及64位Linux发布版操作系统，内核版本v4.2.0-amd64或更高，带终端程序。
- 7 V至12 V/1 A直流电源，或7 V至12 V/1 A等效台式电源。
- 0 ppm至100 ppm二氧化碳浓度的校准气体(比如氮气)。
- 5,000 ppm (0.5% vol.)二氧化碳浓度的最大浓度校准气体。其它值可根据应用选择最大浓度。

测试设置功能框图

测试配置的功能框图如图12所示。

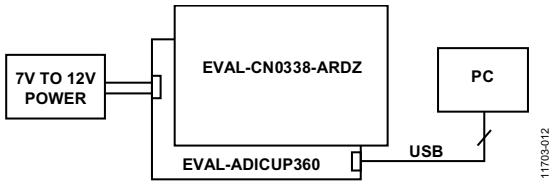

图12. 测试设置功能框图

设置

执行下列步骤，设置待评估电路：

1. 将EVAL-CN0338-ARDZ屏蔽板插入EVAL-ADICUP360平台板。
2. 按照EVAL-ADICUP360用户指南中的说明，将EVAL-ADICUP360虚拟COM USB端口连接至PC。
3. 按照EVAL-ADICUP360用户指南中的说明，采用7 V至12 V/1 A直流电源为EVAL-ADICUP360上电。
4. 使用115200 Hz波特率和正确的虚拟COM端口设置终端软件。
5. 如果系统的波特率设置不正确，则按下EVAL-ADICUP360板上的RESET按钮设置默认值。
6. 按照提示启动CN-0338，为第一次使用或硬件更改执行系统校准例程。
7. 校准例程针对sbllcalibrate命令采用标准(理想)比尔-朗伯定律，针对mbllcalibrate命令采用修正后的比尔-朗伯定律。若采用修正后的比尔-朗伯定律，则用户必须输入b和c常数。
8. 应用低浓度气体，然后输入百分比浓度x_{LOW}。
9. 应用最大浓度校准气体，然后输入浓度水平x_{CAL}。程序计算所需系数。常数保存在非易失性存储器中，直到执行其它校准例程。
10. 如果跳过校准例程，则在理想比尔-朗伯方程计算中采用ZERO、b和T_{LOW}的默认值。
11. 输入run命令，然后程序便可持续显示二氧化碳浓度。更多详情请参考CN-0338用户指南。

EVAL-CN0338-ARDZ Arduino屏蔽板的照片如图13所示。

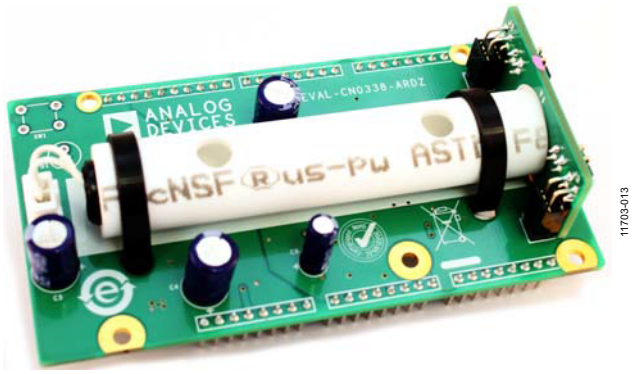

图13. EVAL-CN0338-ARDZ板照片

更多资料

CN-0338设计支持包：
www.analog.com/CN0338-DesignSupport

指南MT-004：ADC输入噪声面面观——噪声是利还是弊？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-035：运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题，ADI公司。

指南MT-037：运算放大器输入失调电压，ADI公司。

指南MT-101：去耦技术，ADI公司。

A Background to Gas Sensing by Non-Dispersive Infrared, Application Note 1, SGX Sensortech, 2 Hanbury Road, Chelmsford, UK.

Signal Processing for Infrared Gas Sensors, Application Note 2, SGX Sensortech, 2 Hanbury Road, Chelmsford, UK.

Design of Microcontroller Software for Infrared Gas Sensors, Application Note 3, SGX Sensortech, 2 Hanbury Road, Chelmsford, UK.

Design of Electronics for Infrared Gas Sensors, Application Note 4, SGX Sensortech, 2 Hanbury Road, Chelmsford, UK.

Determining Coefficients for Linearisation and Temperature Compensation, Application Note 5, SGX Sensortech, 2 Hanbury Road, Chelmsford, UK.

NDIR: Gas Concentration Calculation Overview, Application Note AAN-201, Alphasense Limited, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley Essex, UK.

NDIR: Electronic Interface and Signal Extraction, Application Note AAN-202, Alphasense Limited, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley Essex, UK.

NDIR: Determination of Linearisation and Temperature Correction Coefficients, Application Note AAN-203, Alphasense Limited, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley Essex, UK.

NDIR: Origin of Non-Linearity and SPAN, Application Note AAN-204, Alphasense Limited, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley Essex, UK.

NDIR: Running the IRC-A1 at Reduced Lamp Voltages, Application Note AAN-205, Alphasense Limited, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley Essex, UK.

HITRAN Catalog, hitran.iao.ru.

Micro-Hybrid, *Construction and Function of Thermopiles*.

数据手册和评估板

ADP7105数据手册

ADuCM360数据手册

EVAL-CN0338-ARDZ Arduino屏蔽板

EVAL-ADICUP360 Arduino兼容型平台板

修订历史

2016年2月—修订版0： 初始版

(Continued from first page) Circuits from the Lab reference designs are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the Circuits from the Lab reference designs in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the Circuits from the Lab reference designs. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab reference designs are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any Circuits from the Lab reference designs at any time without notice but is under no obligation to do so.

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11703sc-0-2/16(0)