

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/CN0346.

连接/参考器件

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

相对湿度测量系统

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0346电路评估板\(EVAL-CN0346-PMDZ\)](#)

[SDP-I-PMOD转接板\(SDP-PMD-IB1Z\)](#)

[系统演示平台, SDP-B \(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

设计和集成文件

[原理图、布局文件、物料清单](#)

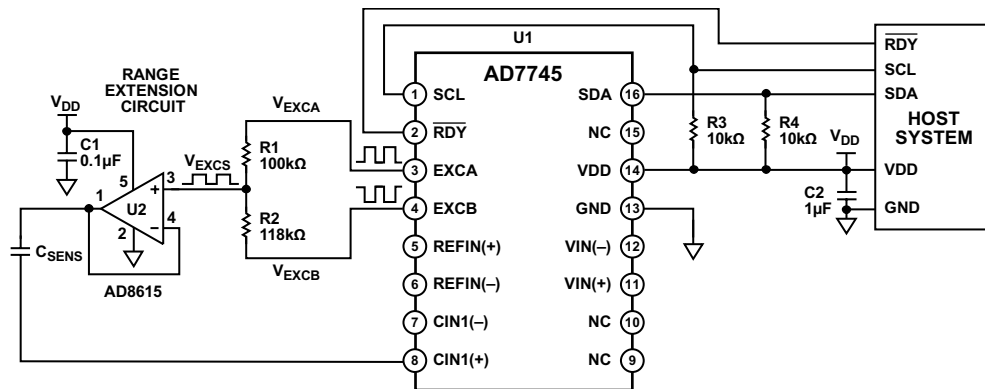
电路功能与优势

图1所示双芯片电路是一款非接触式、基于电容的相对湿度(RH)测量解决方案,该方案具有2%相对湿度精度(0% RH至100% RH),并可替代体积庞大、基于湿度计的解决方案。该电路适合精度、温度控制、非接触式湿度测量至关重要的应用,比如HVAC、电信机柜、婴儿保温箱以及其他工业或医疗应用。

潮湿导致容性传感器的介电常数随周围环境的相对湿度而改变。例如,本电路中使用的Innovative Sensor Technology P14-W容性传感器由顶部电极、聚酰亚胺层和底部电极组成,灵敏度为0.25 pF/% RH,线性度为1.5% RH。

湿度传感器输出经24位、 Σ - Δ 型电容数字转换器(CDC)AD7745数字化处理。双线式I²C兼容接口允许访问内部配置寄存器,同时执行数据转换。

轨到轨放大器AD8615具有极低的失调电压(65 μ V)和宽信号带宽(>20 MHz)性能,可用作单位增益缓冲器,并为传感器提供适当的驱动信号。



NOTES
1. NC = NO CONNECT.
2. V_{DD} = 2.7V TO 3.6V, OR 4.75V TO 5.25V.

图1. 基于容性检测的湿度测量系统(原理示意图: 未显示去耦和所有连接)

11782-001

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

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、线性和迟滞。

传感器的典型电容较大为150 pF ± 50 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。

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

P14-W的典型灵敏度为0.25 pF/% RH。

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

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)：

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

其中：

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

$$\% RH = 42\%$$

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

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

$$B3 = -0.0317$$

$$B4 = -3.0876\% RH$$

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

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±1.5% 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 pF (T = 23°C)，若理想特性如下：

- 电容 = 150 pF (30% RH)
- $T_{DEPEND} = -0.0191\% RH$
- 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：

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

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

$$RH = 30\% RH + 12\% RH - 0.0191\% RH$$

$$RH = 41.809\% RH$$

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。

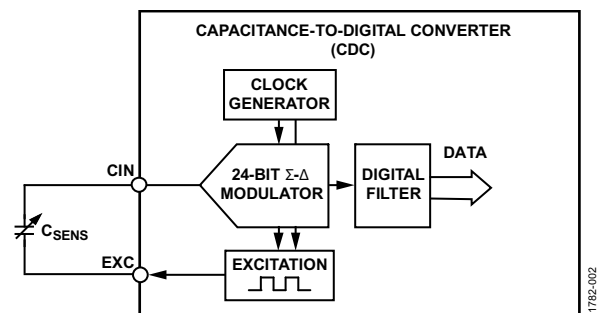


图2. 单端容性传感器部署

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 $\pm$ 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 $V_{\text{DD}}/2$ 。**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 $\pm$ 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：

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

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。

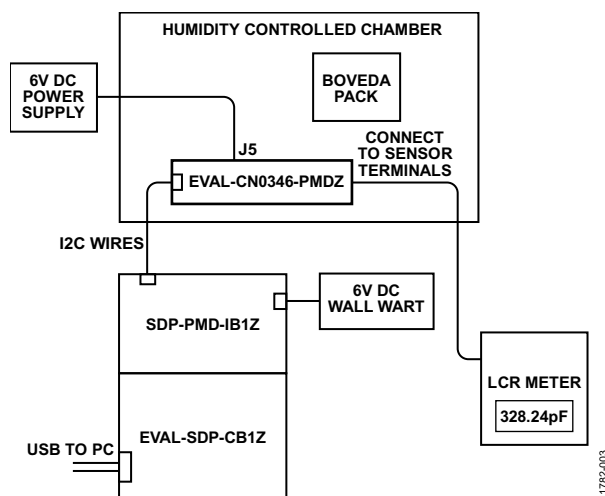


图3. 基准测试框图

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。

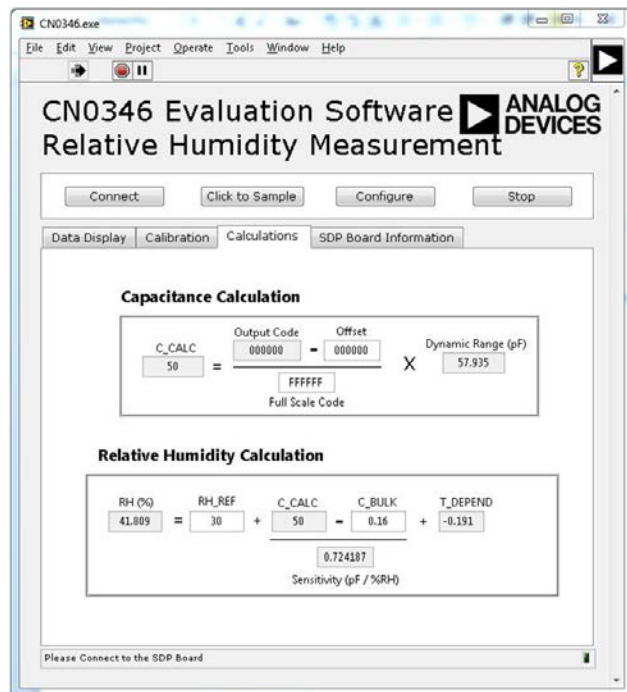


图4. CN-0346评估软件的Calculations选项卡屏幕截图

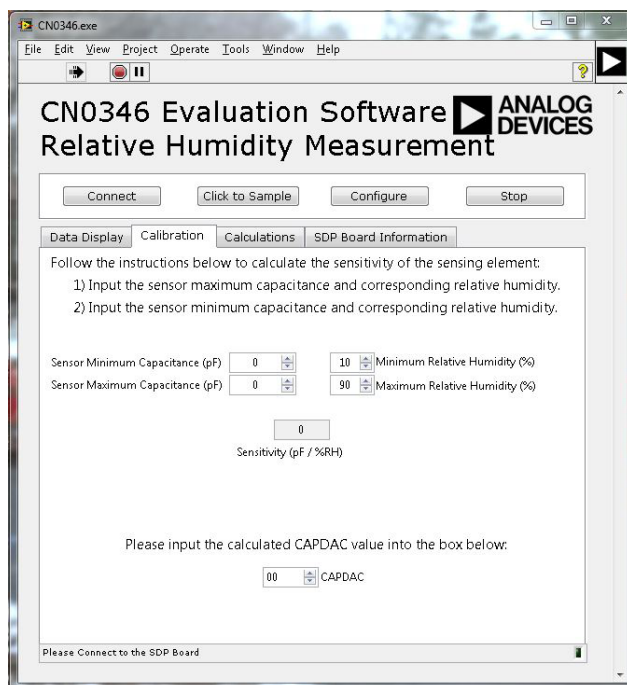


图5. CN-0346评估软件的Calibration选项卡屏幕截图

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。

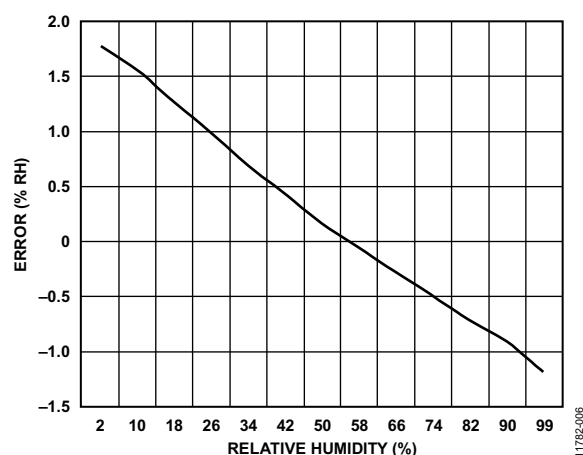


图7. 相对湿度测量误差

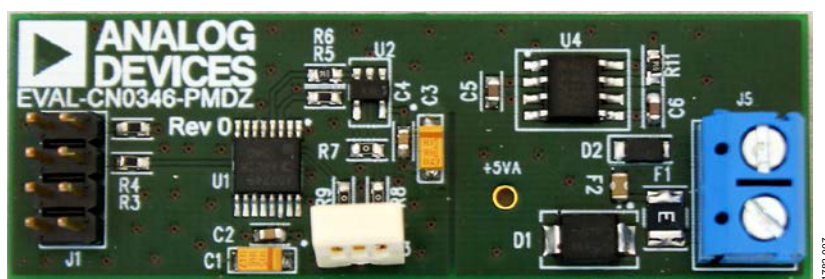


图8. EVAL-CN0346-PMDZ PCB照片

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。

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 Design Support Package:

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

MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of AGND and DGND*, Analog Devices.

MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques*, Analog Devices.

数据手册和评估板

CN-0346 Circuit Evaluation Board (EVAL-CN0346-PMDZ)

System Demonstration Platform (EVAL-SDP-CB1Z)

AD7745 Data Sheet

AD8615 Data Sheet

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)

