

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/CN0343.

连接/参考器件

ADuC7126	32 kB RAM、126 kB闪存ARM7TDMI处理器，提供灵活的外设选项
ADP3629	高速、双通道、2 A MOSFET驱动器
ADCMP670	双通道低功耗1.5%比较器，内置400 mV基准电压源
ADP1613	650 kHz/1.3 MHz升压PWM DC-DC开关转换器
AD8692	低成本、低噪声、双通道CMOS轨到轨输出运算放大器
AD8541	通用型CMOS轨到轨放大器
ADP7104	20 V、500 mA、低噪声、CMOS LDO
ADM3483	3.3 V、限摆率、半双工RS-485/RS-422收发器

超声测距

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0343电路评估板\(EVAL-CN0343-EB1Z\)](#)

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所示电路是一种完全自足的距离传感器，利用一个超声发射器、灵敏的模拟接收器配合一个精密模拟微控制器实现距离测量。与基于PLL的复杂接收器不同，图1所示传感器采用一种灵敏的窗口比较器电路，由此最大限度降低占用空间和成本。

其有效范围大致为50厘米至10米，分辨率为2厘米左右。温度补偿由微控制器中集成的温度传感器和模数转换器(ADC)提供。

在工业应用中，距离测量是一种常见的要求，比如，检测液位或固体间距离。在污水净化、化学处理等应用中，工业液体往往具有腐蚀性，或者含有固体或残渣。因此，超声技术具有明显的优势，因为传感器无需直接接触液体或物体，就如浮式传感器一样。

对于粘稠液体或泡沫水的液位检测，超声液位传感器优于电容式、舌簧式或浮式传感器。在粉尘或腐蚀严重的环境中，超声传感器是理想选择。

Rev. A

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)

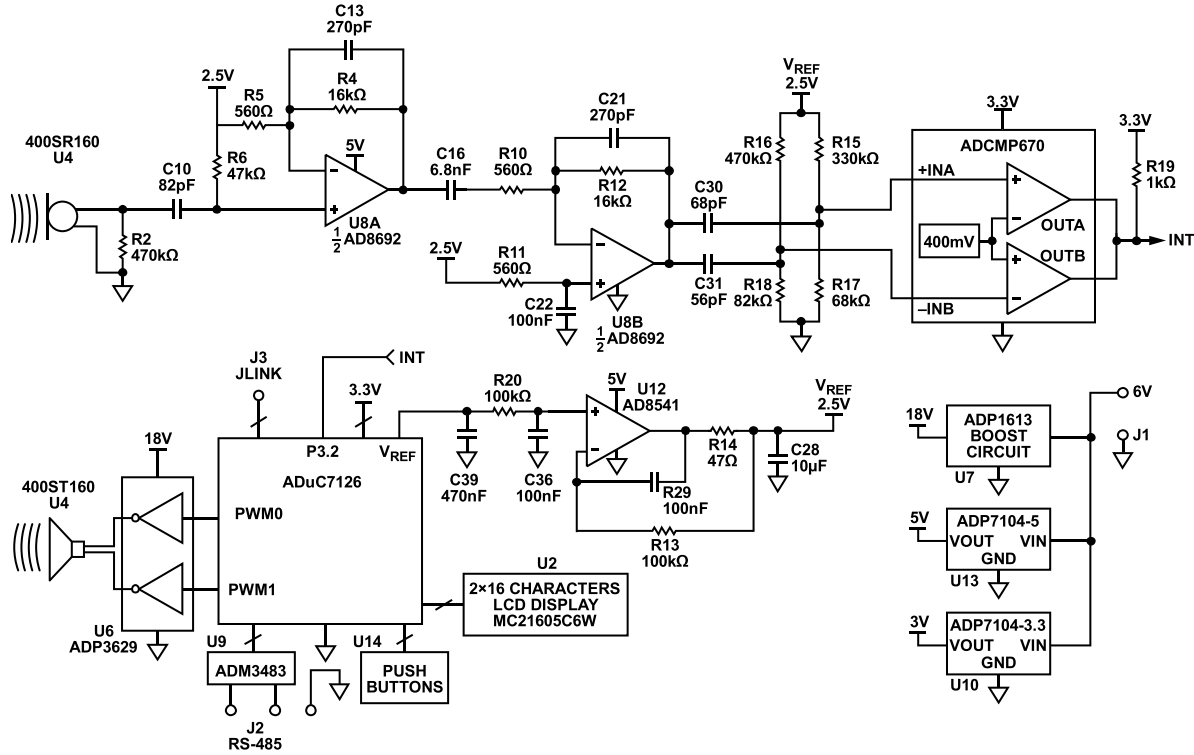


图1. 超声距离传感器(简化原理图: 未显示所有连接和去耦)

电路描述

超声测量理论

图2所示为一种典型的超声距离测量系统。利用发送声音与接收声音之间的时间 t 来测量距离 d :

$$d = \frac{C_{AIR} \times t}{2}$$

其中, C_{AIR} 为音速。

在干燥空气中, 音速约为m/s

$$C_{AIR} = 20.0457\sqrt{273.15 + T} \text{ m/s}$$

其中, T 为温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

25 $^{\circ}\text{C}$ 时, $C_{AIR} = 346.13 \text{ m/s}$ 。超声距离测量必须进行温度补偿才能产生精确的结果, 因为对于每1 $^{\circ}\text{C}$ 温度测量误差, 速度变化造成的距离测量误差约为距离的0.18%。

媒介的声阻抗 Z 定义为

$$Z = \rho \times V$$

其中:

ρ 为媒介密度。

V 为音速。

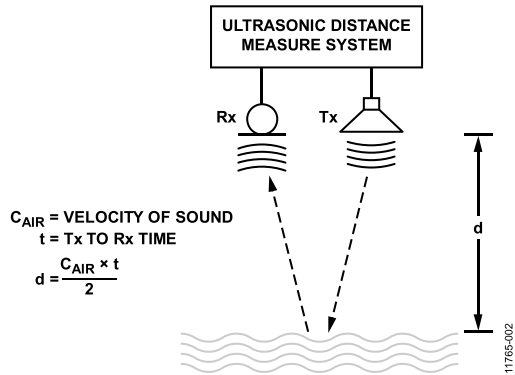


图2. 典型的超声距离测量系统

当声音接触到媒介时, 反射量由反射系数 R 定义:

$$R = \frac{Z2 - Z1}{Z2 + Z1}$$

其中:

$Z1$ 为空气的声阻抗。

$Z2$ 为媒介的声阻抗。

液体或固体的声阻抗远远高于空气声阻抗, 因此, $R \sim 1$, 大部分声音都会被反射。

在典型的系统中, 首先驱动超声发射器, 然后以发射器的谐振频率发射一个短脉冲。然后, 接收器监听回声。探测到回声时, 处理器测量时间间隔, 并计算距离。

在脉冲发射过程中，必须禁用接收器，直到脉冲衰减为止。这一时间称为消隐时间，可防止发射器对接收器造成影响。系统可以测量的最小距离 d_{MIN} 取决于消隐时间长度 t_{BLANK} 。

$$d_{MIN} = \frac{C_{AIR} \times t_{BLANK}}{2}$$

系统可以测量的最大距离取决于接收器电路的灵敏度。系统的分辨率取决于定时器的分辨率。

电路工作原理

超声陶瓷发射器是由Pro-Wave电子公司制造的400ST160。最大驱动电压为20 V rms (57 V p-p)，谐振频率为40 kHz。发射器由ADP3629双通道MOSFET驱动器驱动，后者连接到18 V ADP1613升压电源。这将产生一个36 V p-p差分驱动信号。ADP3629由ADuC7126精密模拟微控制器的PWM0和PWM1输出驱动。当脉冲宽度调制(PWM)输出被禁用时，输出为高电平，结果使ADP3629强制输出到地。

当用40 kHz脉冲序列驱动陶瓷发射器时，将以40 kHz的自谐振频率产生一个声波。当40 kHz驱动信号消失时，发射器停止谐振大约需要1 ms的时间。这就要求消隐间隔为2 ms左右，以防止接收器误触发。

ADuC7126精密模拟微控制器搭载ARM7TDMI内核，126 kB闪存和32 kB SRAM。ADuC7126也含有片上精密模拟外设，包括12位ADC、温度传感器、基准电压源和12位模数转换器(ADC)。对ADuC7126编程可控制时序功能和读数功能，并执行温度补偿。发射信号与接收信号之间的时间通过工作时钟频率为41 MHz的ADuC7126内部定时器来确定。

接收器包括一个Pro-Wave 400SR160接收器，其后是一个双级放大器和一个窗口比较器。整个电路充当一个40 kHz带通滤波器，其中，C10/R6、C16/R10、C30/R15||R17和C31/R16||R18为高通部分，U8A (C13/R4)和U8B (C21/R12)为低通部分。每级均针对40 kHz的-3 dB带宽而调谐过。每级在40 kHz时算出的增益如下：

- C10/R6, HPF: 0.696
- U8A, LPF: 20.4
- C16/R10, HPF: 0.691
- U8B, LPF: -19.4
- C30/R15||R17: 0.694, C31/R16||R18: 0.701

40 kHz时，从接收器传感器到比较器级输入端的总增益为上述值之积，约为132或42.4 dB。

U8B增益级的输出驱动一个配置为窗口比较器的ADCMP670双通道比较器。用于设定窗口电压上下限的偏置电压由分频器R15/R17和R16/R18决定。+INA和-INB下的标称窗口电压分别为427.1 mV和371.4 mV。相应的窗口宽度为55.7 mV。窗口的阈值电压由ADCMP670的400 mV内部基准电压设定。当比较器输入信号在任一方向超过窗口阈值时，输出INT信号变低。任一方向若发生25 mV的变化，将触发INT，相当于约25 mV/132 = 189 μ V的输入变化。

电路工作方式如下：

1. 微处理器使能中断输入。
2. 生成40 kHz PWM传输脉冲序列。
3. 接收器检测到传输，INT变低。
4. ADuC7126内部定时器捕捉到中断时间。
5. 发射脉冲停止。
6. 中断输入在2 ms的消隐周期内禁用。
7. 中断输入使能。
8. 检测到回声信号时，INT变低。
9. 定时器捕捉到中断时间。
10. 用中断时间差计算距离。
11. 用片内ADC对内部温度传感器的输出进行数字化，实施温度补偿。
12. 结果显示在液晶显示屏上。

来自窗口比较器的中断信号不会由微处理器处理，但由ADuC7126内部定时器捕捉。这样可最大限度地减少软件延迟，而且41.77 MHz定时器可提供23.9 ns的分辨率。

ADuC7126有一个经过校准的片内温度传感器和12位ADC，可以用于温度补偿。另外，ADuC7126有一个由AD8541缓冲的片内高精度基准电压源，用于生成高精度窗口比较器阈值电压和AD8692增益级的共模电压。

窗口比较器设计

有些超声接收器利用由可变增益放大器(VGA)驱动的PLL来检测回声，图1所示接收器则用一个高增益双级放大器和一个窗口比较器，把40 kHz正弦发射信号以及随后接收到回声信号转换成数字中断。

ADCMP670是一款精密双通道比较器，搭载一个400 mV基准电压源，有一个反相输入和一个同相输入，适合用作窗口比较器。窗口比较器为回声信号的上升沿和下降产生中断。

在25°C的标准大气中，空气中的40 kHz超声波长为

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{346.13 \text{ m/s}}{40 \text{ kHz}} = 8.65 \text{ mm}$$

如果40 kHz回声探测误差为1周期，则相应的距离误差约为8.65 mm/2 = 4.32 mm。

选择正确的阈值电压对于电路的正常运行至关重要。如果窗口电压差太大，则灵敏度下降。另一方面，如果窗口电压太小，则电路可能因噪声产生错误中断。

ADCMP670双通道比较器(3.3 V电源；0°C至+70°C)的+INA阈值必须大于409 mV，-INB阈值必须小于383.5 mV。在最差条件下，如果不能满足这些条件，则窗口比较器将无法正常工作。

因此，在选择+INA和-INB偏置电压和对应的分频器电阻R15、R16、R17和R18时必须考虑下列因素：

1. ADuC7126 2.5 V基准电压源的初始精度(2.5 V ±5 mV)和温度变化(15 ppm/°C)
2. AD8541在温度范围内的最大失调电压(7 mV)
3. 偏置电阻R15、R16、R17和R18的初始容差(1%)和温度系数(100 ppm/°C)。

假设温度范围为25°C ±50°，则最低和最高基准电压为

$$\begin{aligned} V_{REFMAX} &= 2.5 \text{ V} + V_{OS(ADuC7126)} + 2.5 \text{ V}(TCV_{OS(ADuC7126)} \times \Delta T) \\ &= 2.5 \text{ V} + 5 \text{ mV} + 7 \text{ mV} + 2.5 \text{ V} \times 15 \text{ ppm/}^\circ\text{C} \times 50^\circ\text{C} \\ &= 2.5138 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{REFMIN} &= 2.5 \text{ V} - V_{OS(ADuC7126)} - 2.5 \text{ V}(TCV_{OS(ADuC7126)} \times \Delta T) \\ &= 2.5 \text{ V} - 5 \text{ mV} - 7 \text{ mV} - 2.5 \text{ V} \times 15 \text{ ppm/}^\circ\text{C} \times 50^\circ\text{C} \\ &= 2.4861 \text{ V} \end{aligned}$$

为了防止窗口比较器出现杂散触发问题，ADCMP670输入偏置电压必须符合下列条件：

$$V_{+INA} > 409 \text{ mV when } V_{REF} = 2.4861 \text{ V}$$

$$V_{-INB} < 383.5 \text{ mV when } V_{REF} = 2.5138 \text{ V}$$

为了降低系统成本，R15、R16、R17和R18要选择1%、100 ppm/°C的E24型电阻。

在50°C的温度范围内，1%的电阻值还可以变化0.5%。因此，R15:R17和R16:R18两个比值可能比最差条件下的标称值高或低3%。

对于ADCMP670的 V_{+INA} 引脚，

$$\frac{R15}{R17} < \frac{2.4861 \text{ V} - 409 \text{ mV}}{409 \text{ mV}} \times 0.97 = 4.926$$

选择R15 = 330 kΩ，R17 = 68 kΩ，则

$$\frac{R15}{R17} = 4.853 < 4.926$$

对于ADCMP670的 V_{-INB} 引脚，

$$\frac{R16}{R18} > \frac{2.5138 \text{ V} - 383.5 \text{ mV}}{383.5 \text{ mV}} \times 1.03 = 5.722$$

选择R16 = 470kΩ，R18 = 82kΩ，则

$$\frac{R16}{R18} = 5.732 > 5.722$$

假设电阻和基准电压均为标称值， $V_{+INA} = 427.1 \text{ mV}$ ， $V_{-INB} = 371.4 \text{ mV}$ ，则窗口电压约为55.7 mV。

选择C30和C31的值时，需使它们分别与R15||R17和R16||R18形成40 kHz高通滤波器。

基准电压缓冲器电路

ADuC7126的基准输出只拥有5 μA的驱动能力，因此必须进行缓冲才能用在电路中。选择AD8541的原因在于功耗低(45 μA)，并且支持单电源供电。

AD8541驱动一个用于存储电荷和抵制瞬变的10 μF大去耦电容。因此，必须正确补偿运算放大器以维持稳定性。在驱动容性负载时，多数轨到轨输出运算放大器都要求进行某种补偿，因为其输出级的阻抗一般高于传统的发射极跟随器级或源跟随器级。

电路中使用的补偿网络由R13、R14和C29构成。关于选择正确器件值的方法详见下列参考资料：[运算放大器驱动容性负载\(应用工程师问答—25\)](#)，《模拟对话》31-2，ADI公司和[避免因容性负载而出现不稳定的实用技术\(应用工程师问答—32\)](#)，《模拟对话》38-2，ADI公司。

电源电路

图1中的电路采用+6 V外部单电源或壁式电源适配器供电。5 V和3.3 V电源分别在ADP7104-5和ADP7104-3.3低压差调节器(LDO)的基础上开发而来。

ADP3629超声发射器驱动器需要的18 V电源由图3所示ADP1613升压电路提供。该设计基于可下载的ADP161x升压稳压器设计工具，该工具是ADIsimPower提供的多种实用电源管理设计工具之一。

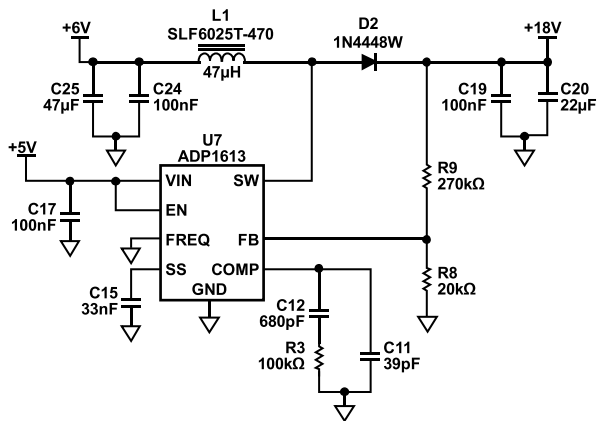


图3. ADP1613升压稳压器电路

印刷电路板(PCB)布局考量

受ADuC7126的时钟速率以及接收器电路高灵敏度的影响，必须采用优秀的PCB布局、接地和去耦技术。有关接地和去耦的详细情况，请参阅指南MT-031和指南MT-101。

有关EVAL-CN0343-EB1Z评估板的完整原理图、布局文件、Gerber文件和物料清单可在CN0343设计支持包中找到，网址：www.analog.com/CN0343-DesignSupport。

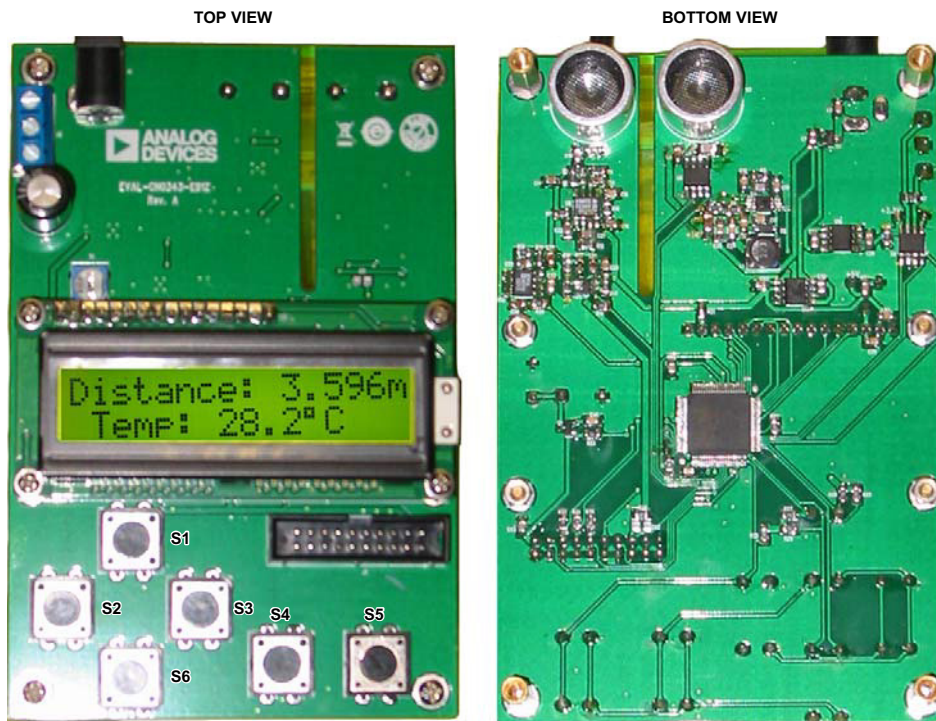


图4. EVAL-CN0343-EB1Z PCB的顶视图和底视图



图5. LCD读数示例

软件操作

EVAL-CN0343-EB1Z预加载了进行距离测量需要的代码。代码在CN-0343设计支持包的CN0343-SourceCode.zip中，网址：www.analog.com/CN0343-DesignSupport。

用户界面由6个按键构成，如图4所示。

这些按钮的默认功能如下：

- S1: 上
- S2: 左
- S3: 右
- S6: 下
- S4: 确定
- S5: 取消

上电后，液晶显示屏会显示欢迎画面，约持续3秒：

ADI公司
EVAL-CN0343-EB1Z

在欢迎画面以后，电路进入工作模式，显示主页画面，其中显示目标距离和温度。显示的温度是ADuC7126测量的温度。针对测得的温度对距离测量值进行校正。

距离: X.XXX m
温度: YY.Y°C

按**确定**键，使处理器进入菜单状态。上、下、左和右四个键各自显示不同的菜单项，分别为“校准温度”(Calibrate Temperature)、“RS-485接口波特率”(RS-485 Interface Baud Rate)和“RS-485接口地址”(RS-485 Interface Address)。

要显示需要的菜单项，比如“校准温度”：

校准
温度?

按**确定**键，将显示下列内容：

传感器: XX.X°C
设为: YY.Y°C

设定温度值(最高±50°C)通过下列方式设置：用**左**和**右**键选择数字，然后用上和下键加大或减小该数字。对各温度数重复此过程。

通过设定温度功能，用户可以对ADuC7126内部传感器测量到的温度值进行补偿，使其与实际测得的空气温度保持一致，以提高测量精度。

输入所需温度偏移量以后，按**确定**键。

注意，随时按**取消**键都可取消当前操作，并返回上一屏幕。

RS-485波特率设置范围为75 Hz至250 kHz，RS-485地址范围为1至255。

默认系统设置为：温度偏移量：0°C；RS-485波特率：115200；RS-485地址：1。

有关ADuC7176实际源代码的更多信息可在CN0343设计支持包中找到，网址：www.analog.com/CN0343-DesignSupport。

常见变化

尽管ADP3629的最大驱动电压为18 V，通过使用较高的驱动电压和电压更高的模拟开关(如ADG5436)，也可实现更大的发射器声级。对于20 V以上的输出电压，可以改装ADP1613升压电路，添加一个外部MOSFET开关，详见[可下载的ADP161x升压稳压器设计工具](#)，该工具是ADIsimPower提供的多种实用电源管理设计工具之一。

电路评估与测试

该电路采用EVAL-CN0343-EB1Z电路板。

设备要求

需要以下设备：

- EVAL-CN0343-EB1Z电路板
- 6 V电源或壁式电源适配器(EVAL-CFTL-6V-PWRZ)
- CN0343源代码：www.analog.com/CN0343-DesignSupport

设置

把6 V电源(EVAL-CFTL-6V-PWRZ)连接到EVAL-CN0343-EB1Z电路板J1。

连接EVAL-CFTL-6V-PWRZ以打开电源，把EVAL-CN0343-EB1Z板放在目标前方，距离为50厘米至10米，确保超声传感器U3和U4面对目标。目标的表面必须较大、光滑且不吸声。

确保在传感器约60°的圆锥角范围内无物体。目标表面必须与传感器垂直。

要在独立模式下使用EVAL-CN0343-EB1Z，只需连接电源即可。要在网络模式下使用评估板，把带RS-485接口的PC连接到J2。引脚1(靠近J1)为信号B，引脚2为GND，引脚3为信号A。

把EVAL-CN0343-EB1Z和PC设为相同的RS-485波特率以后，用PC发送xxx查询\r\n，其中，命令xxx为CN0343十进制地址，\r\n为回车符。CN0343将以地址、温度和距离信息回复该命令。

针对原型开发的连接

根据设计，EVAL-CN0343-EB1Z需用EVAL-CFTL-6V-PWRZ 6 V壁式电源适配器电源供电。在独立工作模式中，只需要连接电源。

在网络模式下，带RS-485接口的任意器件都可从EVAL-CN0343-EB1Z读取结果。允许的最大数字地址为255。

图6所示为典型的PC连接示意图，其中采用的是RS-485至RS-232适配器。

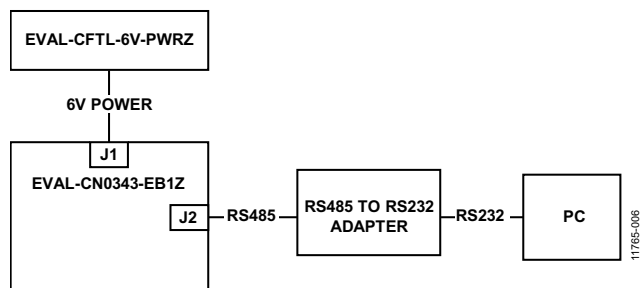


图6. 在网络模式下使用EVAL-CN0343-EB1Z时的连接示意图

了解详情

CN0343设计支持包：

www.analog.com/CN0343-DesignSupport。

400ST160超声发射器和400SR160超声接收器，Pro-Wave电子公司。

运算放大器驱动容性负载(应用工程师问答——25)，《模拟对话》31-2，ADI公司。

避免因容性负载而出现不稳定的实用技术(应用工程师问答——32)，《模拟对话》38-2，ADI公司。

线性电路设计手册，ADI公司。

运算放大器应用手册，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。

数据手册和评估板

ADuC7126数据手册。

ADP3629数据手册。

ADCMP670数据手册。

ADP1613数据手册。

AD8692数据手册。

AD8541数据手册。

ADP7104数据手册。

ADM3483数据手册。

修订历史

2015年8月—修订版A至修订版B

设置部分中的查询xxx\r\n更改为xxx查询\r\n6

2014年4月—版本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.

©2014–2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11765sc-0-8/15(A)

