

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/CN0365.

连接/参考器件

| | |
|--------|-----------------------------|
| AD7981 | 耐高温、16位、600 kSPS PulSAR ADC |
| AD8634 | 耐高温、低功耗、双通道运算放大器 |
| ADR225 | 耐高温、低功耗基准电压源 |

适合高温环境的16位、600 kSPS低功耗数据采集系统

评估和设计支持

评估板

[CN-0365电路评估板\(EVAL-CN0365-PMDZ\)](#)

[系统演示平台\(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

[PMOD/SDP转接板\(SDP-PMD-IB1Z\)](#)

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

越来越多的应用要求数据采集系统必须在极高环境温度下可靠地工作，例如井下油气钻探、航空和汽车应用等。图1所示电路是一个16位、600 kSPS逐次逼近型模数转换器(ADC)系统，其所用器件的额定温度、特性测试温度和性能保证温度为175°C。很多此类恶劣环境应用都采用电池供电，因此该信号链针对低功耗而设计，同时仍然保持高性能。

本电路使用低功耗(600 kSPS时为4.65 μ A)、耐高温PulSAR® ADC AD7981，它直接从耐高温、低功耗运算放大器AD8634驱动。AD7981 ADC需要2.4 V至5.1 V的外部基准电压源，本应用选择的基准电压源为低功耗2.5 V精密基准源ADR225，后者也通过了高温工作认证，并具有非常低的静态电流(210°C时最大值为60 μ A)。

本设计中的所有IC封装都是专门针对高温环境而设计，包括单金属线焊。此外，本设计说明了无源元件、印刷电路板(PCB)材料和建构技术的选择，以使其能在极端温度下工作，并且提供了完整的设计支持包，包括物料清单、原理图、装配和布局文件。

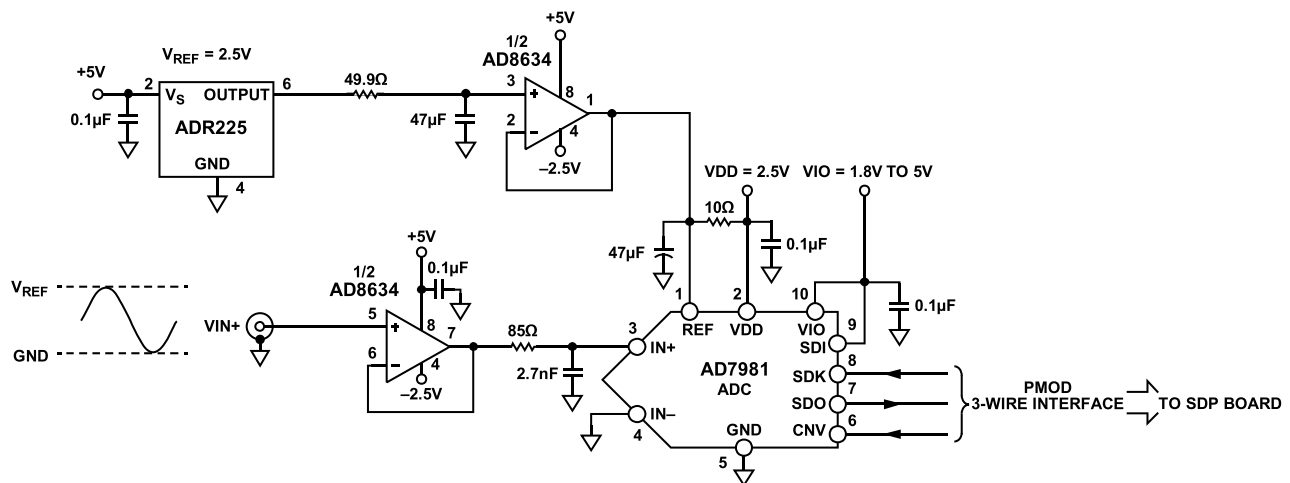


图1. 耐高温数据采集系统(原理示意图: 未显示去耦和所有连接)

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 ©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

模数转换器

本电路的核心是16位、低功耗、单电源ADC **AD7981**，它采用逐次逼近架构，最高支持600 kSPS的采样速率。如图1所示，**AD7981**使用两个电源引脚：内核电源(VDD)和数字输入/输出接口电源(VIO)。VIO引脚可以与1.8 V至5.0 V的任何逻辑直接接口。VDD和VIO引脚也可以连在一起以节省系统所需的电源数量，并且它们与电源时序无关。

在两次转换之间，**AD7981**自动关断以节省功耗。因此，功耗与采样速率成线性比例关系，使得该ADC对高低采样速率(甚至低至数Hz)均适合，并且可实现非常低的功耗，支持电池供电系统。此外，可以使用过采样技术来提高低速信号的有效分辨率。

AD7981有一个伪差分模拟输入结构，可对IN+与IN-输入之间的真差分信号进行采样，并抑制这两个输入共有的信号。IN+输入支持0 V至 V_{REF} 的单极性、单端输入信号，IN-输入的范围受限，为GND至100 mV。**AD7981**的伪差分输入简化了ADC驱动器要求并降低了功耗。**AD7981**采用10引脚MSOP封装，额定温度为175°C。图2给出了连接示意图。

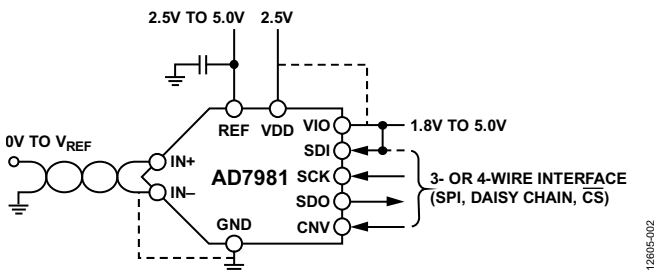


图2. **AD7981**连接图

ADC驱动器

AD7981的输入可直接从低阻抗信号源驱动；然而，高源阻抗会显著降低性能，尤其是总谐波失真(THD)。因此，推荐使用ADC驱动器或运算放大器(如**AD8634**)来驱动**AD7981**输入，如图3所示。在采集时间开始时，开关闭合，容性DAC在ADC输入端注入一个电压毛刺(反冲)。ADC驱动器帮助此反冲稳定下来，并将其与信号源相隔离。

低功耗(1.3 mA/放大器)双通道精密运算放大器**AD8634**适合此任务，因为其出色的直流和交流特性对传感器信号调理和信号链的其他部分非常有利。虽然**AD8634**具有轨到轨输出，但输入要求从正供电轨到负供电轨具有300 mV裕量。

此裕量要求使得负电源成为必要，所选负电源为-2.5 V。

AD8634提供额定温度为175°C的8引脚SOIC封装和额定温度为210°C的8引脚FLATPACK封装。

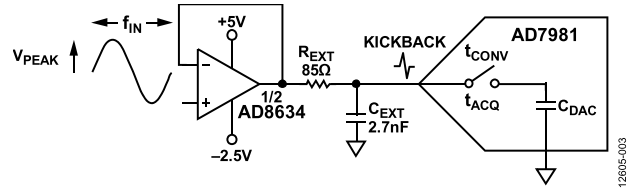


图3. SAR ADC前端放大器和RC滤波器

ADC驱动器与**AD7981**之间的RC滤波器衰减**AD7981**输入端注入的反冲，并限制进入此输入端的噪声带宽。不过，过大的限带可能会增加建立时间和失真。最佳RC值的计算主要基于输入频率和吞吐速率。对于所示实例， $R=85\ \Omega$ 且 $C=2.7\ \text{nF}$ 是最佳值，产生693 kHz的截止频率。详细计算参见Analog Dialogue文章：[精密SAR型模数转换器的前端放大器和RC滤波器设计](#)。

本电路中，ADC驱动器为单位增益缓冲配置。增加ADC驱动器增益会降低驱动器带宽，延长建立时间。这种情况下可能需要降低ADC吞吐速率，或者在增益级之后再使用一个缓冲器作为驱动器。

基准电压源

ADR225 2.5 V基准电压源在时210°C仅消耗最大60 μA 的静态电流，并具有典型值40 ppm/°C的超低漂移特性，因而非常适合用于该低功耗数据采集电路。**ADR225**的初始精度为 $\pm 0.4\%$ ，可在3.3 V至16 V的宽电源范围内工作。

像其他SAR ADC一样，**AD7981**的基准电压输入具有动态输入阻抗，因此必须利用低阻抗源驱动，REF引脚与GND之间应有效去耦，如图4所示。除了ADC驱动器应用，**AD8634**同样适合用作基准电压缓冲器。

使用基准电压缓冲器的另一个好处是，基准电压输出端噪声可通过增加一个低通RC滤波器来进一步降低。在该电路中，49.9 Ω 电阻和47 μF 电容提供大约67 Hz的截止频率。

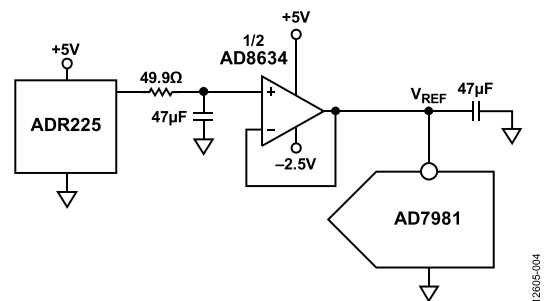


图4. SAR ADC基准电压缓冲器和RC滤波器

转换期间，AD7981基准电压输入端可能出现高达2.5 mA的电流尖峰。在尽可能靠近基准电压输入端的地方放置一个大容值储能电容，以便提供该电流并使基准电压输入端噪声保持较低水平。通常使用低ESR、10 μ F或更大的陶瓷电容，但对于高温应用，没有陶瓷电容可用。因此，选择一个低ESR、47 μ F钽电容，其对电路性能的影响极小。

数字接口

AD7981提供一个兼容SPI、QSPI和其他数字主机的灵活串行数字接口。该接口既可配置为简单的3线模式以实现最少的输入/输出数，也可配置为4线模式以提供菊花链回读和繁忙指示选项。4线模式还支持CNV(转换输入)的独立回读时序，使得多个转换器可实现同步采样。

本参考设计使用的PMOD接口实现了简单的3线模式，SDI接高电平VIO。VIO电压是由SDP-PMOD转接板从外部提供。

电源

本参考设计的+5 V和-2.5 V供电轨需要外部低噪声电源。AD7981是低功耗器件，可由基准电压缓冲器直接供电，如图5所示，因而无需额外的供电轨，节省功耗和板空间。

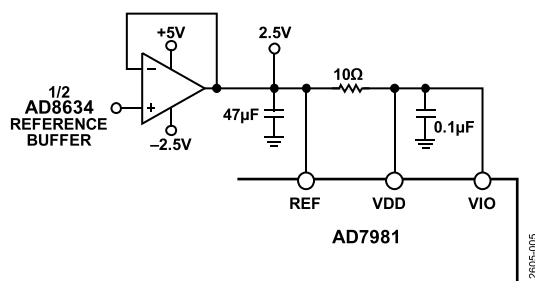


图5. 从基准电压缓冲器为ADC基准电压源供电

IC封装和可靠性

ADI公司高温系列中的器件要经历特殊的工艺流程，包括设计、特性测试、可靠性认证和生产测试。专门针对极端温度设计特殊封装是该流程的一部分。本电路中的175°C塑料封装采用一种特殊材料。

耐高温封装的一个主要失效机制是焊线与焊垫界面失效，尤其是金(Au)和铝(Al)混合时(塑料封装通常如此)。高温会加速AuAl金属间化合物的生长。正是这些金属间化合物引起焊接失效，如脆焊和空洞等，这些故障可能在几百小时之后就会发生，如图6所示。

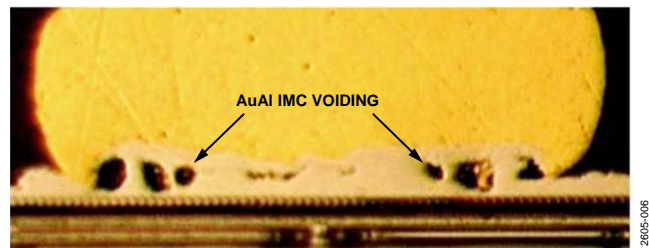


图6. 195°C时500小时后铝垫上的金球焊

为了避免失效，ADI公司利用焊盘金属化(OPM)工艺产生一个金焊垫表面以供金焊线连接。这种单金属系统不会形成金属间化合物，经过195°C、6000小时的浸泡式认证测试，已被证明非常可靠，如图7所示。

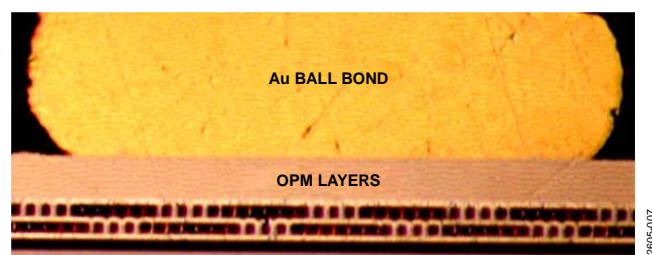


图7. 195°C时6000小时后OPM垫上的金球焊

虽然ADI公司已证明焊接在195°C时仍然可靠，但受限于塑料材料的玻璃转化温度，塑料封装的额定最高工作温度仅为175°C。

除了本电路所用的额定175°C产品，还有采用陶瓷FLATPACK封装的额定210°C型号可用。同时有已知良品裸片(KGD)可供需要定制封装的系统使用。

对于高温产品，ADI公司有一套全面的可靠性认证计划，包括器件在最高工作温度下偏置的高温工作寿命(HTOL)。数据手册规定，高温产品在最高额定温度下最少可工作1000小时。全面生产测试是保证每个器件性能的最后一步。ADI高温系列中的每个器件都在高温下进行生产测试，确保达到性能要求。

无源元件

必须选择耐高温的无源元件。本设计使用175°C以上的薄膜型低TCR电阻。COG/NPO电容用于低值滤波器和去耦应用，其温度系数非常平坦。耐高温钽电容有比陶瓷电容更大的容值，常用于电源滤波。本电路板所用SMA连接器的额定温度为165°C，因此，在高温下进行长时间测试时，必须将其移除。同样，0.1”接头连接器(J2和P3)上的绝缘材料在高温时只能持续较短时间，因而在长时间高温测试中也必须予以移除。

PCB布局和装配

在本电路的PCB设计中，模拟信号和数字接口位于ADC的相对两侧，IC之下或模拟信号路径附近无开关信号。这种设计可以最大程度地降低耦合到ADC芯片和辅助模拟信号链中的噪声。AD7981的所有模拟信号位于左侧，所有数字信号位于右侧，这种引脚排列可以简化设计。基准电压输入REF具有动态输入阻抗，必须用极小的寄生电感去耦，为此须将基准电压去耦电容放在尽量靠近REF和GND引脚的地方，并用低阻抗的宽走线连接该引脚。本电路板的元器件故意全都放在正面，以方便从背面加热进行温度测试。关于其他布局布线建议，参见AD7981数据手册。

针对高温电路，必须采用特殊电路材料和装配技术来确保可靠性。FR4是PCB叠层常用的材料，但商用FR4的典型玻璃转化温度约为140°C。超过140°C时，PCB便开始破裂、分层，并对元器件造成压力。高温装配广泛使用的替代材料是聚酰亚胺，其典型玻璃转化温度大于240°C。本设计使用4层聚酰亚胺PCB。

PCB表面也需要注意，特别是配合含锡的焊料使用时，因为这种焊料易于与铜走线形成金属间化合物。常常采用镀金表面处理，其中镍提供一个壁垒，金则为接头焊接提供一个良好的表面。此外，必须使用高熔点焊料，熔点与系统最高工作温度之间应有合适的裕量。本装配选择SAC305无铅焊料，其熔点为217°C，相对于175°C的最高工作温度有42°C的裕量。

性能预期

采用1 kHz输入信号音和5 V基准电压时，AD7981的额定SNR典型值为91 dB。然而，当使用较低基准电压时(低功耗/低电压系统常常如此)，SNR性能会有所下降。根据AD7981数据手册中的性能曲线，在室温和2.5 V基准电压时，预期SNR约为86 dB。该SNR值与室温时测试本电路所实现的性能(约86 dB SNR)符合得很好，如图8所示。

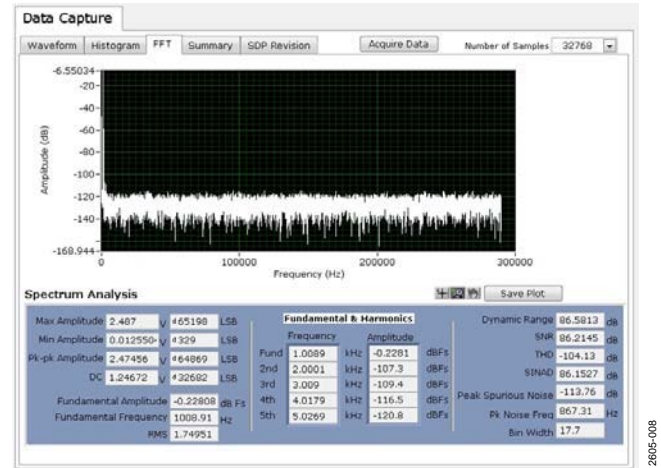


图8. 1 kHz输入信号音、580 kSPS、25°C时的交流性能

当温度升高至175°C时，SNR性能仅降低至约84 dB，如图9所示。THD仍然优于-100 dB，如图10所示。本电路在175°C时的FFT摘要如图11所示。

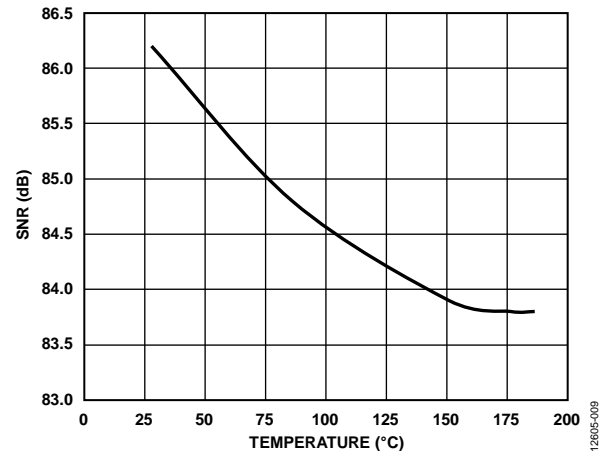


图9. SNR随温度的变化(1 kHz输入信号音、580 kSPS)

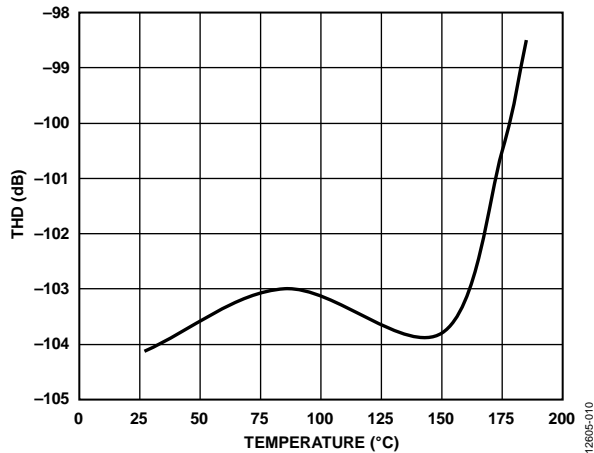


图10. THD随温度的变化(1 kHz输入信号音、580 kSPS)

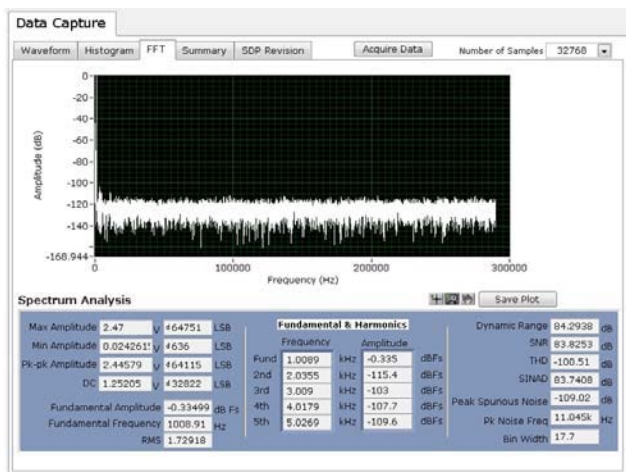


图11. 1 kHz输入信号音、580 kSPS、175°C时的交流性能

电路评估与测试

本电路采用EVAL-CN0365-PMDZ电路板、SDP-PMD-IB1Z转接板和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)板。转接板和SDP板采用120引脚对接连接器。转接板和EVAL-CN0365-PMDZ板采用12引脚PMOD对接连接器，可快速进行设置和评估电路性能。EVAL-CN0365-PMDZ板包含要评估的电路(如CN-0365所述)，SDP评估板与CN-0365评估软件配合使用。

设备要求

需要以下设备：

- EVAL-CN0365-PMDZ板
- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- PMOD/SDP转接板(SDP-PMD-IB1Z)
- CN-0365评估软件
- 函数发生器/信号源，例如这些测试中使用的Audio Precision SYS-2522
- 电源：+5 V和-2.5 V
- 电源：+6 V壁式电源适配器(EVAL-CFTL-6V-PWRZ)
- 带USB端口和USB线缆的PC，运行Windows® XP (SP2)、Windows Vista或Windows 7 Business/Enterprise/Ultimate版(32位或64位)

开始使用

要开始使用，请执行以下步骤：

1. 从<ftp://ftp.analog.com/pub/cftl/CN0365>下载CN-0365评估软件到PC。
2. 先安装该软件，再将SDP板连接到PC的USB端口，确保PC正确识别SDP板。
3. 解压缩下载的文件。
4. 运行setup.exe文件。
5. 按照屏幕提示操作，完成安装。建议将所有软件安装在默认位置。

CN-0365

功能框图

图12所示为测试设置的功能框图。

设置

设置电路的步骤如下：

1. 通过直流管式插孔将EVAL-CFTL-6V-PWRZ(+6 V直流电源)连接到SDP-PMD-IBIZ转接板。
2. 通过120引脚CON A连接器将SDP-PMD-IBIZ转接板连接到EVAL-SDP-CBIZ SDP板。
3. 通过USB电缆将EVAL-SDP-CBIZ SDP板连接到PC。
4. 通过12引脚接头PMOD连接器将EVAL-CN0365-PMDZ评估板连接到SDP-PMD-IBIZ转接板。
5. 将+5 V (V_{S+})和-2.5 V (V_{S-})电源连接到EVAL-CN0365-PMDZ P3接头。默认配置中，VDD电压(2.5 V)不需要外部连接，因为它是在板上产生。
6. 通过SMA连接器将信号源连接到EVAL-CN0365-PMDZ。
7. 将Audio Precision SYS-2522(或同等信号发生器)设置为1 kHz频率和2.5 V p-p正弦波，并具有1.25 V直流偏移。

测试

启动评估软件。如果Windows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。USB通信建立之后，便可使用评估软件测试、查看、保存电路性能指标。

关于软件操作的详细信息，请参阅UG-340和评估8/10引脚PulSAR®系列14/16/18位ADC wiki页面。

在环境室中进行温度测试时，可使用延长线(未提供)连接模拟输入、电源和PMOD。这些延长线必须尽可能短，并且必须采用最佳做法以避免噪声。本电路板所用SMA连接器的额定温度为165°C，因此，在高温下进行长时间测试时，必须将其移除。同样，0.1”接头连接器(J2和P3)上的绝缘材料在高温时只能持续较短时间，因而在长时间高温测试中也必须予以移除。

EVAL-CN0365-PMDZ板照片如图13所示。

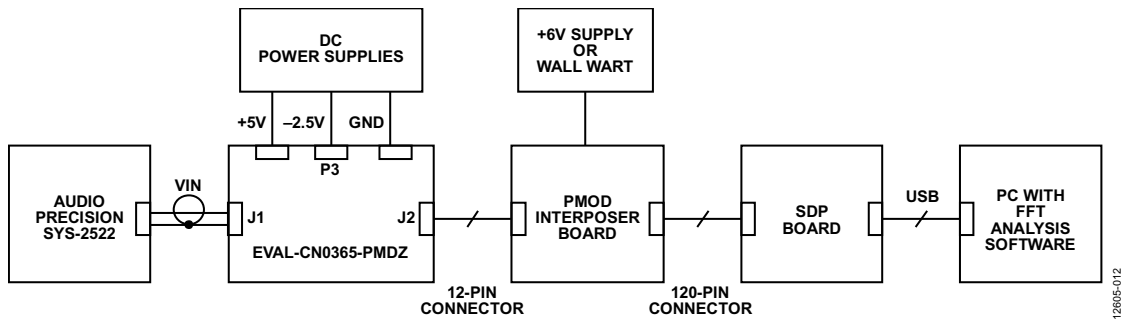


图12. 用于测量交流性能的电测试设置

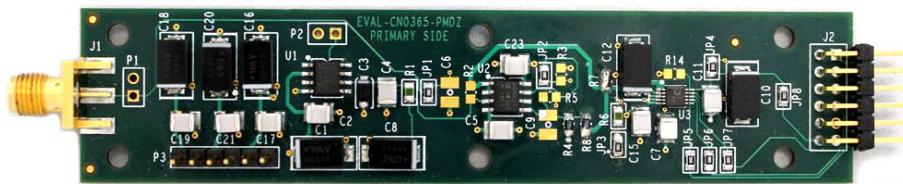


图13. EVAL-CN0365-PMDZ电路板的照片

了解详情

CN-0365设计支持包:

www.analog.com/CN0365-DesignSupport

系统演示平台(SDP)

UG-340用户指南

评估8/10引脚PulSAR®系列14/16/18位ADC - Wiki页面

ADI公司耐高温产品

Jeff Watson和Gustavo Castro, “高温电子器件的设计和可靠性挑战”, 模拟对话, 第46卷, 2012年4月。

Jeff Watson和Maithil Pachchigar, “征服恶劣环境——适合极端温度应用的低功耗、精密、耐高温器件”, MS-2707, ADI公司。

Alan Walsh, “精密SAR模数转换器的前端放大器和RC滤波器设计”, Analog Dialogue, 第46卷, 2012年12月。

Alan Walsh, “精密逐次逼近型ADC的基准电压源设计”, Analog Dialogue, 第47卷, 2013年6月。

指南MT-021, 逐次逼近型ADC, 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。

数据手册和评估板

CN-0365电路评估板(EVAL-CN0365-PMDZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

SDP-PMOD转接板(SDP-PMD-IB1Z)

AD7981数据手册

AD8634数据手册

ADR225数据手册

修订历史

2015年6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.

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN12605sc-0-6/15(0)

