

Circuits from the Lab™
Reference Circuits

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/CN0348.

连接/参考器件

AD5541A	串行输入、电压输出、无缓冲型16位DAC
ADA4500-2	轨到轨输入/输出、零输入交越失真放大器
ADR4550	超低噪声、高精度5 V基准电压源

16位单电源缓冲电压输出数模转换，积分和微分非线性误差小于±1 LSB

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0348电路评估板\(EVAL-CN0348-SDPZ\)](#)

[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所示电路是一款完整的单电源16位缓冲电压输出DAC，它利用一个CMOS DAC和一个无交越失真的创新放大器将积分和微分非线性误差保持在±1 LSB。

大多数轨到轨运算放大器都有交越非线性误差，其在16位系统中可能高达4到5个LSB，而本电路消除了这一误差。

这款业界先进的解决方案非常适合需要紧凑型、单电源、低成本、高线性度16位缓冲电压源的工业过程控制和仪器仪表应用。

采用6 V单电源供电时，三个有源器件的总功耗典型值小于25 mW。

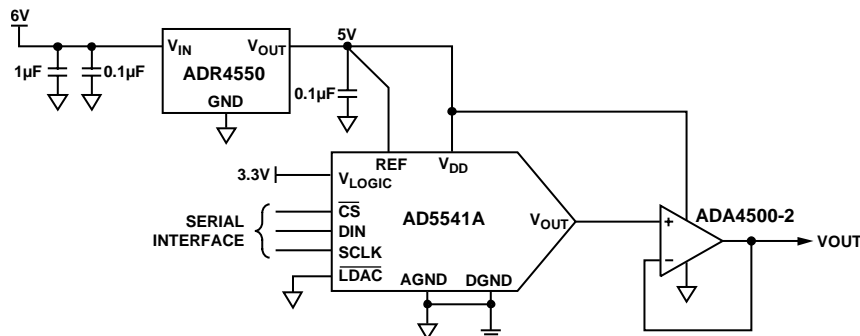


图1. ±1 LSB线性16位缓冲电压输出DAC(原理示意图，未显示去耦和所有连接)

Rev. 0

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)

电路描述

图1显示该单电源信号链由基准电压源、数模转换器(DAC)和DAC缓冲器组成。DAC的基准电压等于电源电压 V_{DD} ，以便最大程度地提高动态输出范围和信噪比。这种配置需要一个轨到轨输入和输出缓冲放大器。

DAC为AD5541A，它是一款16位、串行输入、电压输出、分段式R/2R CMOS DAC。DAC的输出电压与基准电压相关，如下式所示：

$$V_{OUT} = \frac{V_{REF} \times D}{2^N}$$

其中

D 为载入DAC寄存器的十进制数据字。

N 为位数。

对于5 V基准电压且 $N = 16$ ，上述公式可简化为下式：

$$V_{OUT} = \frac{5 \times D}{2^{16}} = \frac{5 \times D}{65,536}$$

这样，在中间电平 V_{OUT} 为2.5 V，在满量程时 V_{OUT} 为5 V。

LSB大小为 $5 \text{ V} / 65,536 = 76.3 \text{ } \mu\text{V}$ 。

16位时，1 LSB也相当于满量程的0.0015%，或者15 ppm FS。

ADR4550使用创新的内核拓扑结构来实现高精度，同时提供业界先进的温度稳定性和噪声性能。基准电压源ADR4550为DAC提供高精度、低噪声(2.8 μV p-p, 0.1 Hz至10 Hz)且稳定的基准电压。低输出电压温度系数(最大值2 ppm/ $^{\circ}\text{C}$)和低长期输出电压漂移也提高了系统在寿命和温度范围内的精度。

ADR4550B室温初始精度为 $\pm 0.02\%$ (最大值)，相当于16位时的约14 LSB。此初始误差可以通过系统校准消除。基准电压源驱动DAC的REF引脚，并且为DAC和输出缓冲器供电。因此，它必须提供最高3.9 mA的负载电流。ADR4550能以25 ppm/mA负载电流调整率驱动最高10 mA电流。

基准电压源ADR4550尽可能靠近DAC的REF引脚，使输出走线的长度最短，从而使压降所致误差最小。流经PCB走线的电流会产生IR压降，走线较长时，这种压降可能达到数毫伏或更大，引起相当大的误差。室温下，1英寸长、0.005英寸宽的1盎司铜走线的电阻约为100 m Ω 。当负载电流为10 mA时，该走线可能引起1 mV的误差。

输出缓冲器选用ADA4500-2。该器件是一款高精度放大器，最大失调电压为120 μV ，失调漂移小于5.5 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ，0.1 Hz至10 Hz噪声为2 μV p-p，最大输入偏置电流为2 pA。其重要特性是轨到轨输入和输出摆幅以及零交越失真，因此适合用作DAC缓冲器。

ADA4500-2的详细工作原理请参见ADA4500-2数据手册。典型的轨到轨输入放大器采用两个差分对来实现轨到轨输入摆幅(参见指南MT-035)。一个差分对在输入共模电压范围的上部活跃，另一个差分对在该范围的下部活跃。这种经典双差分对拓扑结构在一个差分对与另一个差分对交接时会产生交越失真。将该放大器用作DAC缓冲器时，失调电压的变化会引起非线性误差。ADA4500-2利用其输入结构中的集成电荷泵来实现轨到轨输入摆幅，无需第二差分对。因此，它不存在交越失真。在这种单电源系统中使用零交越失真放大器，不仅可在输入共模/输入数字码范围内保持高线性度，而且可提供宽动态输出范围。

DAC的输出阻抗是恒定的(典型值6.25 k Ω)，与输出码无关。但是，输出缓冲器应具有高输入阻抗(低输入偏置电流)以使误差最小。ADA4500-2是一款合适的器件，具有高输入阻抗，室温下的输入偏置电流最大值为2 pA，全温度范围内的输入偏置电流最大值为190 pA。最差情况下，输入偏置电流引起的误差为1.2 μV ，远小于1 LSB。

AD5541A采用10引脚MSOP或10引脚LFCSP封装。ADR4550采用8引脚SOIC封装，ADA4500-2采用8引脚MSOP或8引脚LFCSP封装。

测量结果表明，ADR4550A、ADR4550和ADA4500-2的组合是高精度、低噪声应用的出色解决方案。ADA4500-2无交越失真，可维持DAC的线性度。

积分非线性(INL)和微分非线性(DNL)测量

积分非线性(INL)误差指实际DAC传递函数与理想传递函数的偏差，用LSB表示。差分非线性(DNL)误差指实际步进大小与1 LSB的理想值之间的差异。该系统解决方案提供16位分辨率，DNL和INL均为 ± 1 LSB。图2和图3显示了该电路的DNL和INL性能。

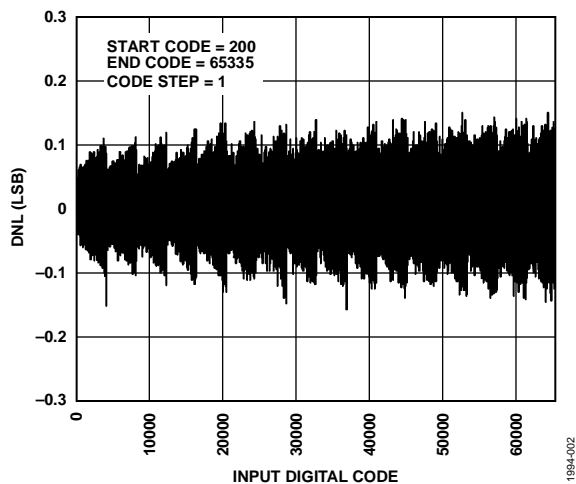


图2. 微分非线性(DNL)

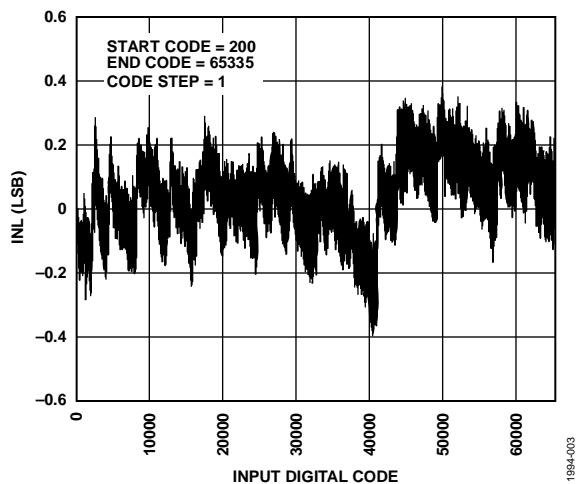


图3. 积分非线性(INL)

注意，DNL和INL测量排除了从范围任一端开始的200个代码(约15 mV)。这是因为，轨到轨输出级在该区间内会变为非线性，如指南MT-035所述。

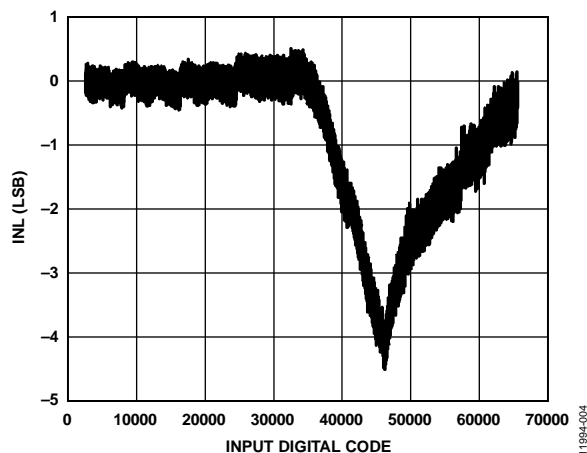


图4. 采用具有传统轨到轨输入级的运算放大器缓冲器时的DAC非线性误差

图4显示了采用具有传统轨到轨输入级的运算放大器所引起的非线性误差。注意，当共模电压与+5 V电源轨相差大约1.7 V时，出现大约4 LSB的峰值误差。

电路板布局考量

应当精心考虑电路板上的电源和接地回路布局。印刷电路板应将模拟部分与数字部分分离。如果该电路所在系统有多个器件要求模拟地至数字地连接，则只能在一个点上进行治疗连接。所有器件的电源都应通过至少0.1μF的电容旁路。这些旁路电容应尽可能靠近器件，电容最好正对着器件。所选0.1 μF电容应当具有低有效串联电阻(ESR)和低有效串联电感(ESL)，例如陶瓷型电容。0.1μF电容为瞬变电流提供低阻抗接地路径。电源走线应尽可能宽，以提供低阻抗供电电路。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术(请参考指南MT-031——“实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团”，以及指南MT-101——“去耦技术”)。

常见变化

ADA4505系列是低功耗、零交越失真、低输入偏置电流放大器。如要求功耗更低的解决方案(速度较低)，请使用ADA4505-1/ADA4505-2/ADA4505-4作为输出缓冲器。

ADR425、ADR435和ADR445是提供5 V基准电压的合适器件。它们具有高精度和低噪声特性，支持最高18 V的输入电压。

如需双极性输出摆幅，请使用AD5512A/AD5542A。它们是单通道、12/16位、无缓冲电压输出数模转换器(DAC)，支持双极性工作模式。

避免交越失真的另一种解决方案是使用较低的基准电压，例如2.5 V ADR4525，电源电压仍为5 V，不过输出范围会缩小。这样可确保典型轨到轨输入放大器(采用双差分对拓扑)的交越点不在输入数字码范围内。

电路笔记CN-0181和CN-0169也说明了采用AD5541A的其它数模转换方案。

CN-0348

电路评估与测试

本电路使用EVAL-CN0348-SDPZ评估板和EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP)评估板。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-CN0348-SDPZ板包含要评估的电路，如本笔记所述。SDP评估板与CN-0348评估软件一起使用，可从EVAL-CN0348-SDPZ电路板获取数据。

设备要求

- 带USB端口和Windows XP、Windows Vista(32位)或Windows 7(32位)的PC
- EVAL-CN0348-SDPZ电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP评估板
- CN-0348评估软件
- 电源：6 V至18 V，或6 V壁式电源适配器
- Agilent 3458A万用表(或等效设备)
- GPIB转USB电缆(仅在捕捉DAC模拟数据并将其传送到PC时才需要)

开始使用

将CN0348评估软件光盘放进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。

功能框图

图5所示为测试设置的功能框图。

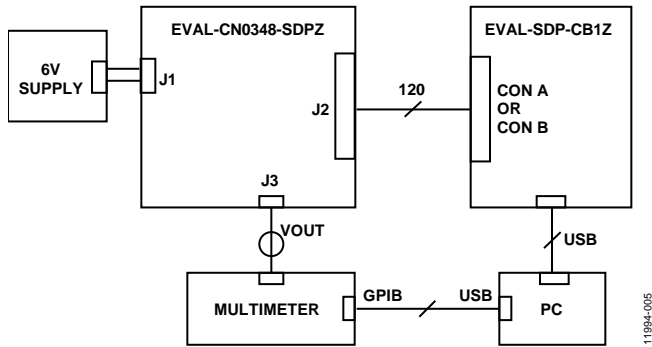


图5. 测试设置功能框图

设置

EVAL-CN0348-SDPZ电路板上的120引脚连接器连接到EVAL-SDP-CB1Z (SDP)评估板上标有CON A的连接器的。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。

在断电情况下，将一个+6 V(最高+18 V)电源连接到板上标有V+和AGND的引脚(J1)。SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。此时请勿将该USB电缆连接到SDP板上的微型USB连接器。

测试

为连接到EVAL-CN0348-SDPZ电路板的V+电源通电。通过USB电缆将PC连接到SDP板上的微型USB连接器，并启动评估软件。如果“Device Manager(设备管理器)”中出现“Analog Devices System Development Platform(ADI系统开发平台)”驱动程序，软件便能与SDP板通信。

USB通信建立后，就可以使用SDP板来发送、接收、捕捉来自EVAL-CN0348-SDPZ板的串行数据。

图6为EVAL-CN0348-SDPZ评估板的照片。

有关测试设置以及如何使用评估软件来捕捉数据的详细信息，请参阅CN-0348软件用户指南。

有关SDP板的信息，请参阅SDP用户指南。

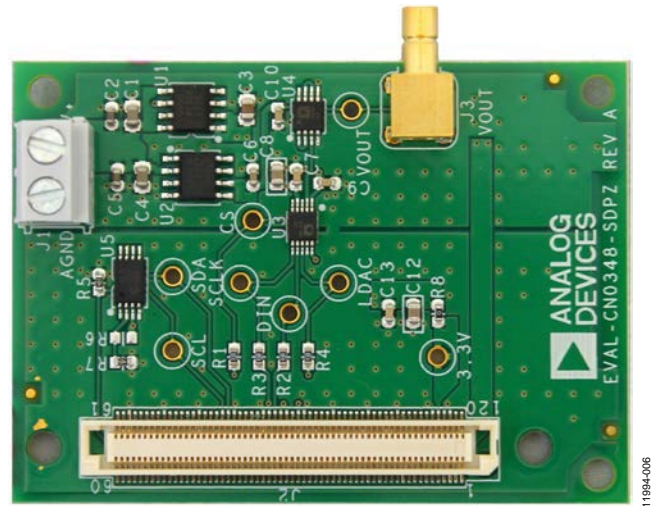


图6. EVAL-CN0348-SDPZ评估板

了解详情

CN-0348 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0348-DesignSupport>

Kester, Walt. *The Data Conversion Handbook*, Chapters 3 and 7, Analog Devices. 2005.

MT-015 Tutorial, *Basic DAC Architectures II: Binary DACs*. Analog Devices.

MT-016 Tutorial, *Basic DAC Architectures III: Segmented DACs*, Analog Devices.

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

MT-035 Tutorial, *Op Amp Inputs, Outputs, Single-Supply, and Rail-to-Rail Issues*, Analog Devices.

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

数据手册和评估板

AD5541A Data sheet

ADA4500-2 Data sheet

ADR4550 Data sheet

修订历史

2014年1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.

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11994sc-0-1/14(0)

