

Circuit from the Lab™ 是经过测试的电路设计，旨在解决常见的设计挑战，方便设计人员轻松地实现系统集成。有关更多信息和技术支持，请访问：  
[www.analog.com/CN0177](http://www.analog.com/CN0177)。

连接/参考器件

AD5781	真 18 位电压输出 DAC
AD8676	超高精度、36 V、2.8 nV/√Hz 双路轨到轨输出运算放大器
ADR445	超低噪声 LDO XFET® 基准电压源

## 18 位、线性、低噪声、精密双极性±10 V 直流电压源

### 电路功能与优势

图 1 所示电路提供 18 位可编程电压，其输出范围为 -10 V 至 +10 V，同时积分非线性为 ±0.5 LSB、微分非线性为 ±0.5 LSB，并且具有低噪声特性。

该电路的数字输入采用串行输入，并与标准 SPI、QSPI、MICROWIRE® 和 DSP 接口标准兼容。对于高精度应用，通过结合使用 AD5781、ADR445 和 AD8676 等精密器件，该电路可以提供高精度和低噪声性能。

基准电压缓冲对于设计至关重要，因为 DAC 基准输入的输出

阻抗与码高度相关，如果 DAC 基准电压源未经充分缓冲，将导致线性误差。AD8676 开环增益高达 120 dB，经过验证和测试，符合本电路应用关于建立时间、失调电压和低阻抗驱动能力的要求。而 AD5781 经过表征和工厂校准，可使用双通道运算放大器 AD8676 对其电压基准输入进行缓冲，从而进一步增强配套器件的可靠性。

这一器件组合可以提供业界领先的 18 位分辨率、±0.5 LSB 积分非线性(INL)和 ±0.5 LSB 微分非线性(DNL)，可以确保单调性，并且具有低功耗、小尺寸 PCB 和高性价比等特性。

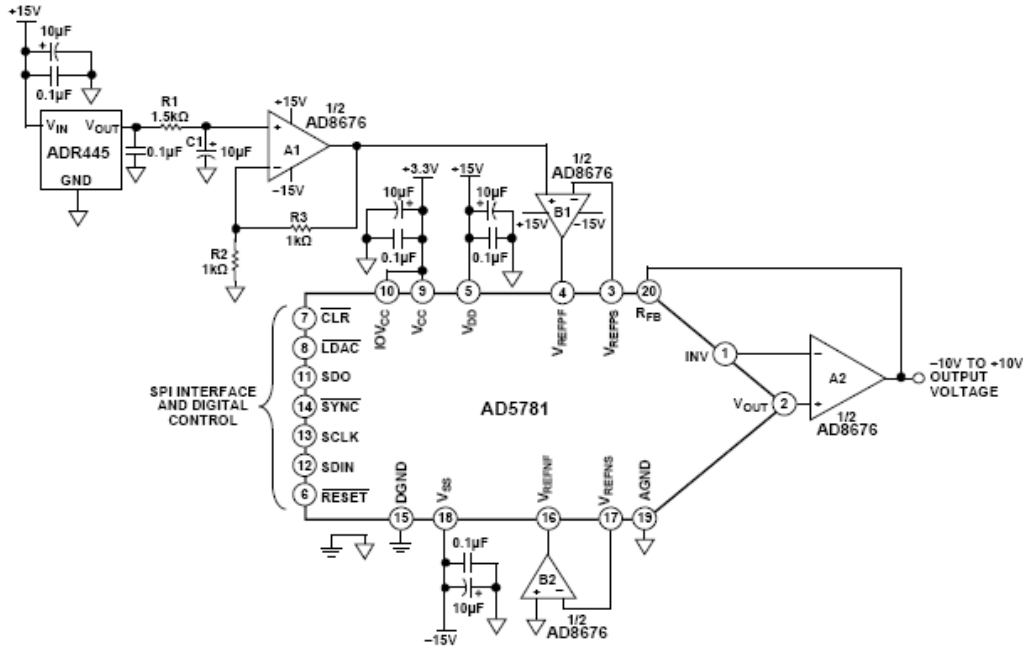


图 1. 18 位精密、±10 V 电压源（原理示意图：未显示去耦和所有连接）

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 所示数模转换器(DAC)为**AD5781**，这是一款SPI接口的 18 位高压转换器，提供 $\pm 0.5$  LSB INL、 $\pm 0.5$  LSB DNL和 7.5 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 噪声频谱密度。另外，**AD5781**还具有极低的温漂 (0.05 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ )特性。**AD5781**采用的精密架构要求强制检测缓冲其电压基准输入，从而确保达到规定的线性度。选择用于缓冲基准输入的放大器 (B1 和B2) 应具有低噪声、低温漂和低输入偏置电流特性。针对此功能推荐用**AD8676**放大器，这是一款超精密、36 V、2.8 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 双通道运算放大器，具有 0.6  $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 低失调漂移和 2 nA输入偏置电流。此外，**AD5781**经过表征和工厂校准，可使用该双通道运算放大器来缓冲其电压基准输入，从而进一步增强配套器件的可靠性。

在图 1 中，**AD5781**配置为增益为 2 的模式，这样便可以用单基准电压源来产生对称的双极性输出电压范围。此工作模式采用外部运算放大器(A2)和片内电阻 (参见**AD5781**数据手册) 来提供大小为 2 的增益。这些内部电阻相互之间以及与DAC梯形电阻之间均热匹配，因而可实现比率热跟踪。输出缓冲器同样采用**AD8676**，其具有低噪声和低温漂特性。该放大器(A1)还用于将低噪声**ADR445**的+5 V基准电压放大至+10 V。此增益电路中的R2 和R3 为精密金属薄片电阻，其容差和温度系数电阻分别为 0.01%和 0.6 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 。要在整个温度范围内达到最佳性能，R1 和R2 应处于单个封装内，如Vishay 300144 或VSR144 系列。R2 和R3 均选用 1 k $\Omega$ ，以便将系统噪声保持在较低水平。R1 和C1 构成低通滤波器，截止频率大约为 10 Hz。该滤波器用于衰减基准电压源噪声。

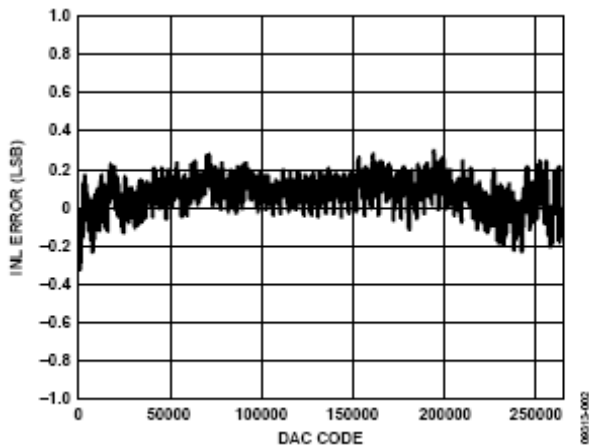


图 2. 积分非线性与 DAC 码的关系

## 线性度测量

图 1 所示电路的精密性能如图 2 和图 3 中的数据所示，这两幅图显示了积分非线性及微分非线性随 DAC 码的变化情况。从图中可以明显看出，这两种特性分别位于 $\pm 0.5$  LSB和 $\pm 0.5$  LSB的规格范围内。

该电路的总非调整误差由各种直流误差共同组成，即INL误差、失调误差和增益误差。图 4 所示为总非调整误差与 DAC 码的关系图。DAC 码为 0 和 262,143 时误差最大。这是预期结果，具体是由基准电压输出的绝对误差、外部电阻R2 和R3 (见图 1) 的不匹配以及**AD5781**内部电阻 $R_{\text{FB}}$ 和R1 (见图 5) 的不匹配引起的。

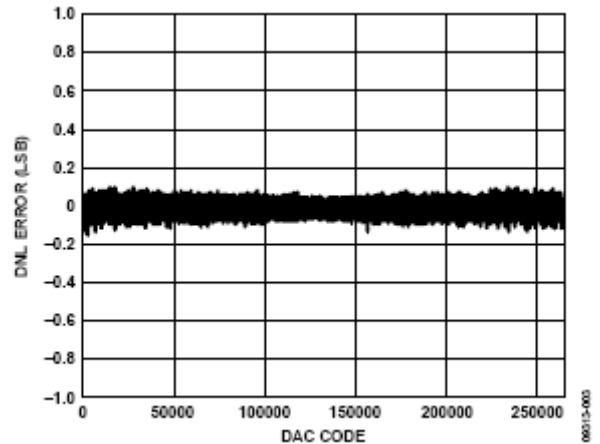


图 3. 偏置电压与 BST 电容和所产生天线响应的关系

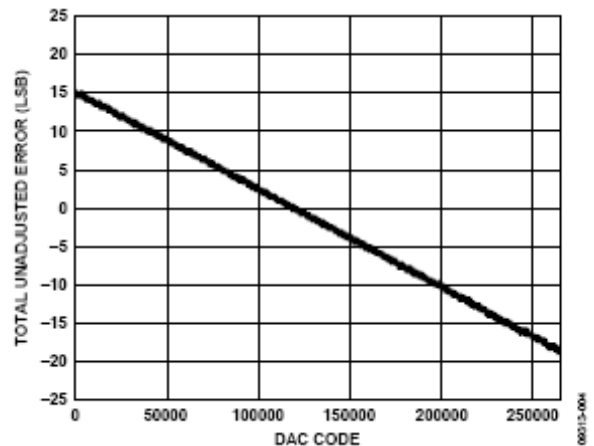


图 4. 总非调整误差与 DAC 码的关系

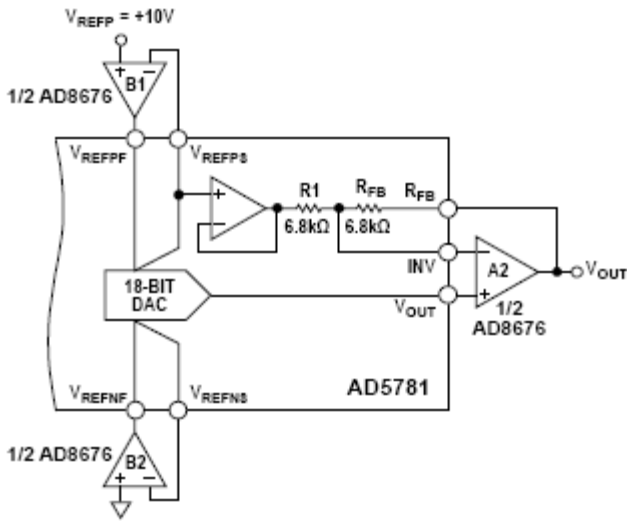


图5. 内部增益为2的电路（原理示意图）

基准电压绝对误差的额定值为 0.04%；本例中电阻R2 和R3 之间的不匹配度额定值为 0.02%；内部电阻R<sub>1</sub>和R<sub>FB</sub>之间的不匹配度额定值为 0.01%。因此，总增益误差为满量程范围的 0.07%，即 184 LSB。图4显示实测值为 20 LSB（即满量程范围的 0.007%），表明所有器件的性能都明显优于其额定容差。

**噪声测量**

要实现高精度，电路输出端的峰峰值噪声必须维持在 1 LSB 以下，对于 18 位分辨率和 20 V 峰峰值电压范围则为 76.29 μV。图6所示为 10 秒内在 0.1 Hz 至 10 Hz 带宽内测得的峰峰值噪声。三种条件下的峰峰值分别为 1.34 μV（中间电平输出）、12.92 μV（满量程输出）和 15.02 μV（零电平输出）。中间电平输出的噪声最低，此时噪声仅来自DAC内核。选择中间电平码时，DAC会衰减各基准电压路径的噪声贡献。

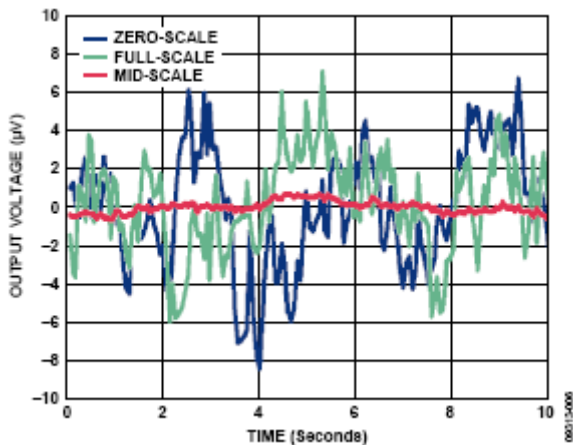


图6. 电压噪声（0.1 Hz 至 10 Hz 带宽）

不过，实际应用中不会在 0.1 Hz 处有高通截止频率来衰减 1/f 噪声，但会在其通带中包含低至DC的频率；因此，测得的峰峰值噪声更为实际，如图7所示。本例中，电路输出端的噪声是 100 秒内测得的，测量充分涵盖低至 0.01 Hz 的频率。截止频率上限大约为 14 Hz 并受限于测量设置。对于图7所示的三种条件，对应峰峰值分别为 1.61 μV（中间电平输出）、43.33 μV（满量程输出）和 36.89 μV（零电平输出）。最差情况下的峰峰值（43.33 μV）大致相当于 1/2 LSB。

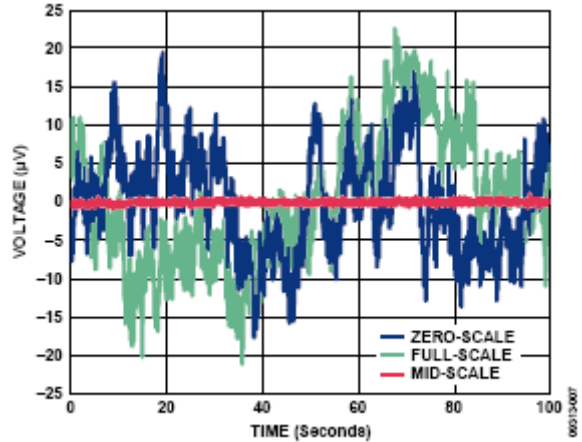


图7. 100 秒内测得的电压噪声

随着测量时间变长，将包括较低频率，而峰峰值将变大。频率较低时，温度漂移和热电偶效应会变成误差源。通过选择热系数较小的器件可以将上述效应降至最小。在此电路中，低频 1/f 噪声的主要来源是基准电压源。另外，基准电压源的温度系数数值也是电路中最大的，为 3 ppm/°C。

**常见变化**

AD5781支持各种不同的输出范围，从 0 V 至 +5 V、最高 ±10 V 以及该范围内的任意值。如果需要对称输出范围，则可以使用增益为 2 的配置，如图1所示。通过将AD5781内部控制寄存器的RBUF位设为逻辑 0，即可选中此模式。如果需要非对称范围，则可以在V<sub>REFPP</sub>和V<sub>REFNF</sub>上施加单独的基准电压源；而输出缓冲器应该如AD5781数据手册中所述配置为提供单位增益。这可以通过将AD5781内部控制寄存器的RBUF位设为逻辑 1 来实现。

**电路评估和测试**

图1所示电路在经过修改的AD5781评估板上构建。有关AD5781评估板和测试方法的详细信息，请参见“评估板用户指南UG-184”。

## 进一步阅读

Egan, Maurice. "The 20-Bit DAC Is the Easiest Part of a 1-ppm-Accurate Precision Voltage Source," *Analog Dialogue*, Vol. 44, April 2010.

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

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.

Voltage Reference Wizard Design Tool.

## 数据手册和评估板

[AD5781 Data Sheet](#)

[AD5781 Evaluation Board](#)

[AD8676 Data Sheet](#)

[ADR445 Data Sheet](#)

## 修订历史

1/11—Revision 0: Initial Version

(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" 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.

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.  
CN09313sc-0-1/11(0)



www.analog.com