

Circuits from the Lab™
Reference Circuits

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，方便设计人员轻松快捷地实现系统集成。有关更多信息和技术支持，请访问：
www.analog.com/CN0191。

连接/参考器件

AD5791	1 ppm、20 位、±1 LSB INL 电压输出 DAC
AD8675	单通道、超高精度、36 V、2.8 nV/√Hz 轨到轨输出运算放大器
AD8676	双通道、超高精度、36 V、2.8 nV/√Hz 轨到轨输出运算放大器

20 位、线性、低噪声、精密、双极性±10V 直流电压源

电路功能与优势

图 1 所示电路提供 20 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 ±1 LSB、微分非线性为 ±1LSB，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 AD5791、AD8675 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 基准输入的输入阻抗与码高度相关，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 AD5791 经过表征和工厂校准，可使用双通道运算放大器 AD8676 对其基准电压输入进行缓冲，从而进一步增强配套器件的可靠性。

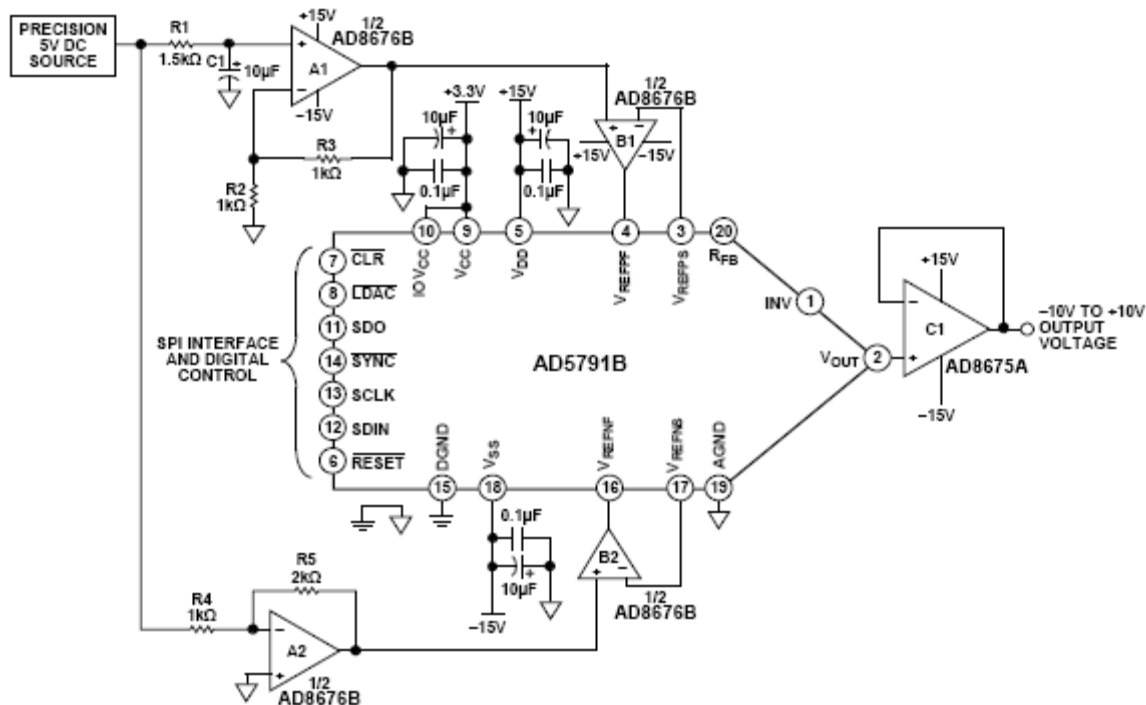


图 1. 20 位精密、±10 V 电压源（原理示意图：未显示去耦和所有连接）

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)

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 ©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

这一器件组合可以提供业界领先的 20 位分辨率、 ± 1 LSB 积分非线性(INL)和 ± 1 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。

电路描述

图 1 所示数模转换器(DAC)为 AD5791，这是一种具有 SPI 接口的 20 位高压转换器，提供 ± 1 LSB INL、 ± 1 LSB DNL 性能和 $7.5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 噪声频谱密度。另外，AD5791 还具有极低的温漂 ($0.05 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$)特性。AD5791 采用的精密架构要求强制检测缓冲其基准电压输入，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，这是一种超精密、 36 V 、 $2.8 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 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，AD5791 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。

图 1 显示 AD5791 配置有独立的正和负基准电压，因此输出电压范围是从负基准电压到正基准电压，本例中为 -10 V 到 $+10 \text{ V}$ 。输出缓冲器为 AD8675，它是 AD8676 的单通道版本，具有低噪声和低漂移特性。同时使用放大器 AD8676(A1 和 A2)，将 $+5 \text{ V}$ 基准电压放大为 $+10 \text{ V}$ 和 -10 V 。这些放大电路中的 R2、R3、R4 和 R5 是精密金属薄膜电阻，容差为 0.01% ，温度系数为 $0.6 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。为实现整个温度范围内的最佳性能，可以使用 Vishay 300144 或 VSR144 系列等电阻网络。所选电阻值较低 ($1 \text{ k}\Omega$ 和 $2 \text{ k}\Omega$)，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。

线性度测量

下列数据进一步证明了图 1 所示电路的精密性能。图 2 和图 3 显示积分非线性和微分非线性与 DAC 码的函数关系。从图中可以明显看出，这两种特性分别位于 ± 1 LSB 和 ± 1 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、零电平误差和满量程误差。图 4 所示为总非调整误差与 DAC 码的关系图。最大误差出现在 DAC 码为 0 (零电平误差) 和 1,048,575 (满量程误差) 处。这与预期相符，是由电阻对 R2 和 R3、R4 和 R5 的不匹配以及放大器 A1、A2、B1 和 B2 的失调误差 (见图 1) 引起的。

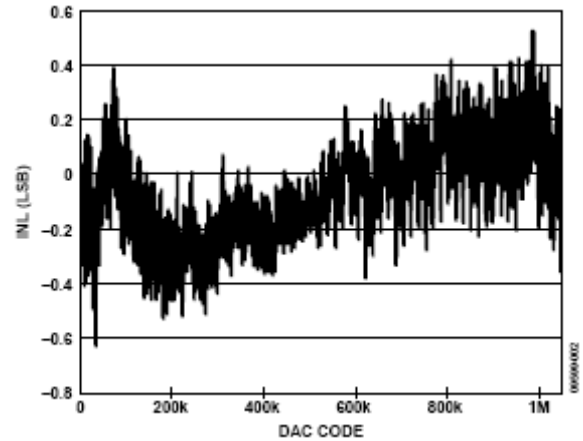


图 2. 积分非线性与 DAC 码的关系

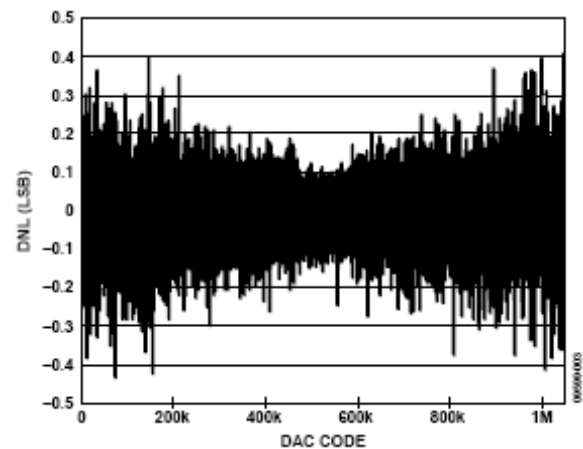


图 3. 微分非线性与 DAC 码的关系

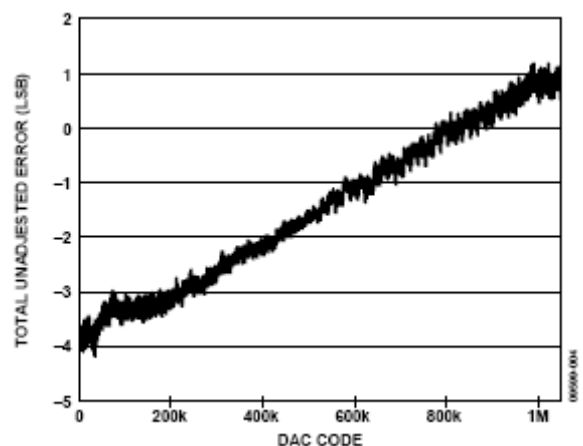


图 4. 总非调整误差与 DAC 码的关系

本例中，电阻对的额定不匹配最大值为 0.02%（典型值远低于此）。放大器失调误差为 75 μV （最大值）或满量程范围的 0.000375%，相对于电阻不匹配所导致的误差可忽略不计。因此，预期的满量程和零电平误差最大值约为 0.02%或 210 LSB。图 4 显示实测满量程误差为 1 LSB，实测零电平误差为 4 LSB 或满量程范围的 0.0003%，表明所有器件的性能都明显优于其额定最大容差。

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 20 位分辨率和 20 V 峰峰值电压范围则为 19.07 μV 。图 5 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 1.48 μV （中间电平输出）、4.66 μV （满量程输出）和 5.45 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。

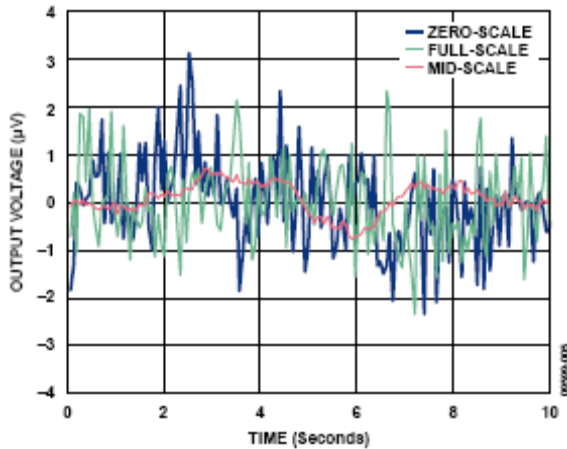


图 5. 电压噪声 (0.1 Hz 至 10 Hz 带宽)

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 6 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 6 所示的三种条件，对应峰峰值分别为 4.07 μV （中间电平输出）、11.85 μV （满量程输出）和 15.37 μV （零电平输出）。最差情况下的峰峰值 (15.37 μV) 大致相当于 0.8 LSB。

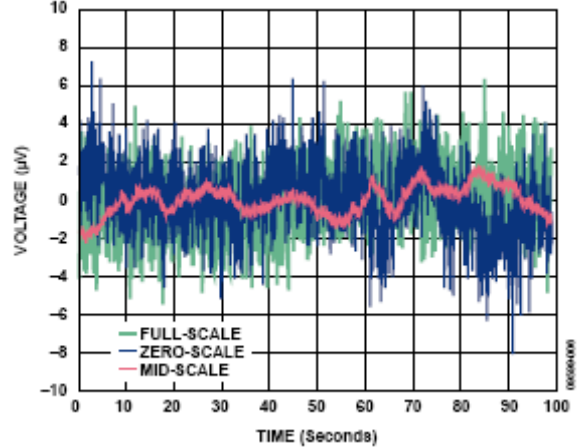


图 6. 100 秒内测得的电压噪声

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 AD5791、AD8675 和 AD8676 等热系数较低的器件，并仔细考虑电路结构，可以将这些效应降至最低，请参阅“了解更多信息”部分中的链接文档。

常见变化

AD5791 支持各种不同的输出范围，从 0 V 至 +5 V、最高 $\pm 10\text{ V}$ 以及该范围内的任意值。根据需要，图 1 所示的配置可以用来产生对称或非对称范围。基准电压分别加在 V_{REFP} 和 V_{REFN} ，输出缓冲器应按照 AD5791 数据手册所述配置为单位增益，将 AD5791 内部控制寄存器的 RBUF 位设置为逻辑 1。

AD5791 还提供增益为 2 的工作模式，可以从一个正基准电压产生对称的双极性输出范围，如 AD5791 数据手册所述，从而无需产生负基准电压。然而，这种模式会引起较大的满量程和零电平误差。将 AD5791 内部控制寄存器的 RBUF 位设为逻辑 0，便可选择这种模式。

电路评估与测试

图 1 所示电路在经过修改的 AD5791 评估板上构建。有关 AD5791 评估板和测试方法的详细信息，参见评估板用户指南 UG-185。

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.

数据手册和评估板

[AD5791 Data Sheet](#)

[AD5791 Evaluation Board](#)

[AD8676 Data Sheet](#)

[AD8675 Data Sheet](#)

修订历史

3/11—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.
CN09599sc-0-3/11(0)



www.analog.com