

利用 ADI 公司产品进行电路设计  
放心运用这些配套产品迅速完成设计。  
欲获得更多信息和技术支持，请拨打 4006-100-006 或  
访问 [www.analog.com/zh/circuits](http://www.analog.com/zh/circuits)。

### 连接/参考器件

AD5292	10 位、1%电阻容差数字电位计
ADA4091-4	低功耗、过压保护(OVP)轨到轨运算放大器
ADR512	低噪声、1.2 V 精密基准电压源

## 利用数字电位计 AD5292 和运算放大器 ADA4091-4 构建可编程双向电流源

### 电路功能与优势

图 1 所示电路采用 digiPOT+ 系列数字电位计 AD5292、四通道运算放大器 ADA4091-4 和基准电压源 ADR512，提供一种可编程双向 Howland 电流源。该电路在  $\pm 18.4$  mA 输出电流范围内提供 10 位分辨率。AD5292 可以通过 SPI 兼容型串行接口编程。

AD5292 具有  $\pm 1\%$  电阻容差，因而可以与外部分压器电阻串联，如图 5 所示，以降低最大输出电流，而无需匹配电路中的电阻。缩小  $I_{OUT}$  范围可以起到提高输出电流灵敏度的作用。

AD5292 内置一个 20 次可编程存储器，可以在上电时自定义输出电流  $I_{OUT}$ 。本电路具有高精度、低噪声和低输出电压温度系数等特性，非常适合数字校准应用。

### 电路描述

本电路采用数字电位计 AD5292、基准电压源 ADR512 和运算放大器 ADA4091-4，提供一种 10 位、可编程双向电流源。本电路可保证单调性，微分非线性(DNL)为  $\pm 1$  LSB，积分非线性典型值为  $\pm 2$  LSB。

双极性高压稳压器由低压基准电压源与后接的同相放大器 and 反相放大器组成，放大器的增益分别由  $R_1$  与  $R_2$  的比值和  $R_3$  与  $R_4$  的比值决定。1.200 V 基准电压源 ADR512 具有低温度漂移、高精度和超低噪声性能。

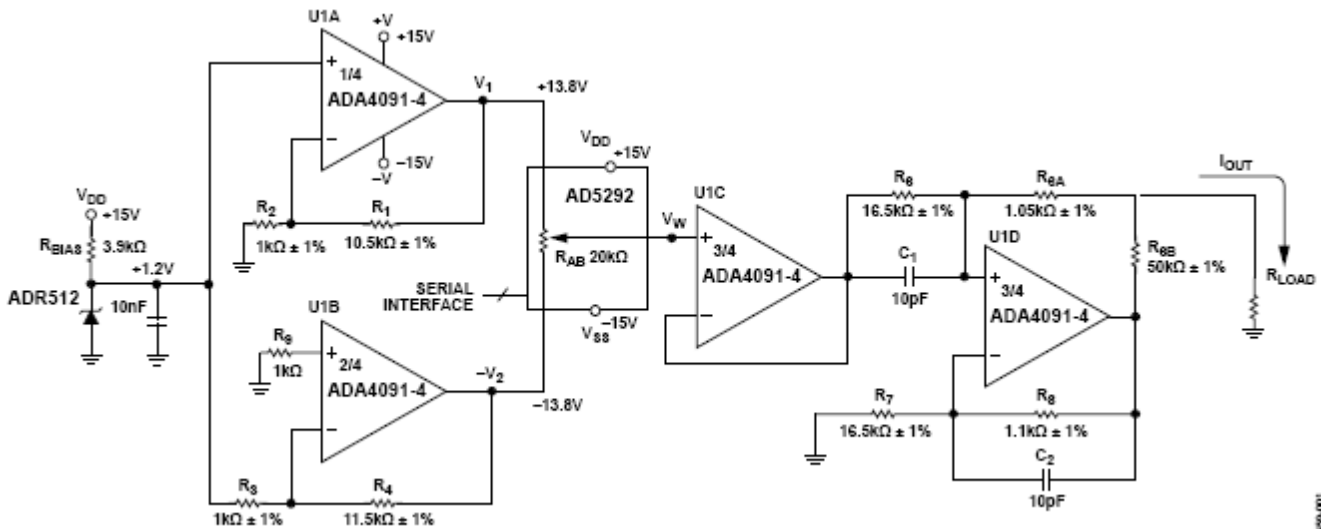


图 1. 可编程双向电流源 (原理示意图, 未显示去耦和所有连接)

Rev.A

“Circuits from the Lab” 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 “Circuit from the Lab”. (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](http://www.analog.com)  
Fax: 781.461.3113

©2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

确保 ADR512 最小工作电流的最大电阻值由公式 1 确定。

$$R_{BIAS} = \frac{V_{DD} - 1.2 \text{ V}}{1.5 \text{ mA}} \quad (1)$$

如图 1 所示， $R_{BIAS}$  电阻为 3.9 k $\Omega$ ，可将 ADR512 的偏置电流设置为 3.5 mA。

ADA4091-4 是一款运算放大器，具有低失调电压和轨到轨输出。ADR512 与 ADA4091 配合使用，可提供低温度系数和低噪声输出电压。

电阻  $R_1$  和  $R_2$  用来调整同相放大器 U1A 的增益。输出电压  $V_1$  决定最大正输出电流范围。可以用公式 2 和公式 3 计算电阻值。

$$V_1 \approx \frac{I_{OUT}}{1.33 \times 10^{-3}} \quad (2)$$

$$V_1 = 1.2 \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (3)$$

最大负输出电流范围由  $R_3$  和  $R_4$  调整，这两个电阻决定反相放大器 U1B 的输出电压  $V_2$ 。可以用公式 4 和公式 5 计算电阻值。

$$V_2 \approx \frac{I_{OUT}}{1.33 \times 10^{-3}} \quad (4)$$

$$V_2 = 1.2 \times \left(-\frac{R_1}{R_2}\right) \quad (5)$$

如图 1 所示，所选电阻使同相放大器和反相放大器分别提供 +11.5 和 -11.5 的增益，由此可提供  $\pm 13.8 \text{ V}$  的双极性调节电压。可以用这些电压为其它电路供电，最大输出电流为 +17 mA。

公式 6 和公式 7 可计算 Howland 电流源的输出电流，图 2 显示最大输出电流  $I_{OUT}$  与码的关系。

$$I_{OUT} = \frac{R_{6A} + R_{6B}}{R_7 \times R_{6B}} \times V_W = \frac{(1.05 \text{ k}\Omega + 50 \Omega) \times V_W}{16.5 \text{ k}\Omega \times 50 \Omega} = 1.33 \times 10^{-3} \times V_W \quad (6)$$

$$V_W = \frac{D \times (V_1 - V_2)}{1024} + V_2 = \frac{D \times 27.6}{1024} - 13.8 \quad (7)$$

其中 D 为载入该数字电位计的码。

$$R_{6A} + R_{6B} = R_3 \quad (8)$$

$$R_5 = R_7 \quad (9)$$

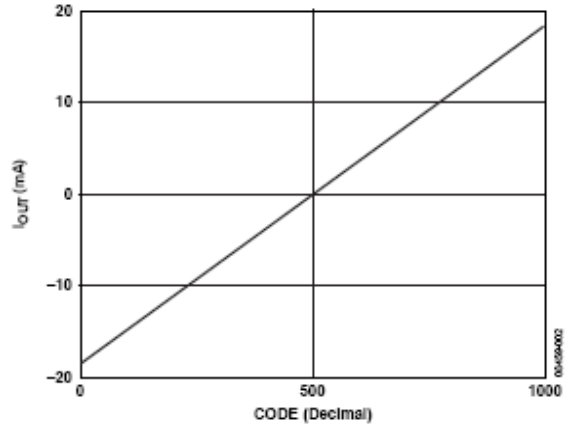


图 2. 最大输出电流与十进制码的关系

图 3 和图 4 分别显示典型的积分非线性 (INL) 和微分非线性 (DNL) 曲线。

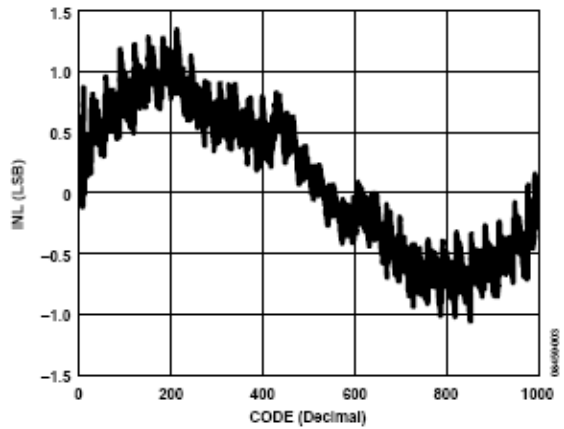


图 3. INL 与十进制码的关系

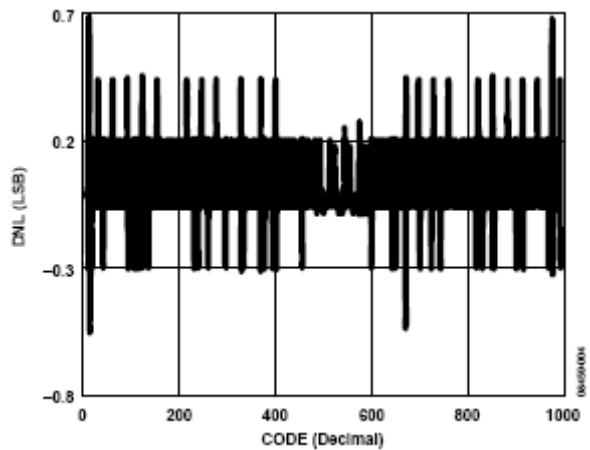


图 4. DNL 与十进制码的关系

如图 1 所示，双向电流源在±18.4 mA 的最大输出范围内工作。为提高电路精度，应重新计算运算放大器 U1C 和 U1D 中的电阻值，或者降低 AD5292 上的基准电压，以减小最大输出电流 I<sub>OUT</sub>。这样便可在有限的输出电流范围内提供全部 10 位分辨率。

运算放大器 U1C 和 U1D 中的电阻可以利用公式 6 和 7 重新计算，但应注意，根据计算值选择标准电阻值时，必须使误差最小。重新计算双极性输出稳压器以及 U1A、U1B 的输出电压，或者使用两个外部电阻，如图 5 所示，可以降低 AD5292 的基准电压 V<sub>1</sub> 和 V<sub>2</sub>。

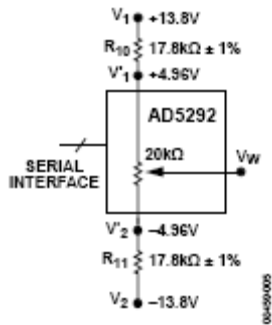


图 5. 使用较小基准电压提高精度（原理示意图，未显示去耦和所有连接）

当基准电压源 V<sub>1</sub> 和 V<sub>2</sub> 是主系统电源时，与 AD5292 串联的电阻就很有用。数字电位计通常具有±20% 的端到端电阻容差误差，由于数字电位计与外部电阻之间存在失配误差，因此会影响电路精度。AD5292 则具有业界领先的±1% 电阻容差性能，有助于克服失配电阻误差问题。

AD5292 具有一个 20 次可编程存储器，可以在上电时将电路输出电流预设为特定值。

为了使本文所讨论的电路达到理想的性能，必须采用出色的布局、接地和去耦技术（请参考教程 MT-031 和教程 MT-101）。至少应采用四层 PCB：一层为接地层，一层为电源层，另两层为信号层。

常见变化

AD5291（8 位、内置 20 次可编程上电存储器）和 AD5293（10 位、无上电存储器）均为±1% 容差数字电位计，同样适合本应用。

不需要基准电压源 V<sub>1</sub> 和 V<sub>2</sub> 时，可以使用双通道运算放大器 ADA4091-2。

进一步阅读

- MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND."* Analog Devices.
- MT-032 Tutorial, *Ideal Voltage Feedback (VFB) Op Amp*, Analog Devices.
- MT-087 Tutorial, *Voltage References*, Analog Devices.
- MT-091 Tutorial, *Digital Potentiometers*, Analog Devices.
- MT-095 Tutorial, *EMI, RFI, and Shielding Concepts*. Analog Devices.
- MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques*. Analog Devices.

数据手册和评估板

- AD5292
- AD5291
- AD5293
- ADR512
- ADA4091-2
- ADA4091-4

修订历史

- 3/10—Rev. 0 to Rev. A
- Changes to Circuit Function and Benefits Section ..... 1
- 09/09—Revision 0: Initial Version

(Continued from first page) "Circuits from the Lab" 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" 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". 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" at any time without notice, but is under no obligation to do so. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.