

## Circuits from the Lab<sup>®</sup> Reference Designs

Circuits from the Lab<sup>®</sup> 参考设计是经过测试的参考设计, 有助于加速设计, 同时简化系统集成, 帮助并解决当今模拟、混合信号和 RF 设计挑战。如需更多信息和/或技术支持, 请访问: [www.analog.com/CN0548](http://www.analog.com/CN0548)。

### 连接/参考器件

|          |                                                            |
|----------|------------------------------------------------------------|
| LT1997-2 | 精密、宽电压范围、增益可选漏斗放大器                                         |
| AD8418A  | 双向、零漂移电流检测放大器                                              |
| AD7798   | 3 通道、低噪声、低功耗、16 位、 $\Sigma$ - $\Delta$ ADC, 内置片内仪表放大器      |
| LTM2886  | 集成固定 $\pm 5V$ 和可调 $5V$ 稳压电源的 SPI/ 数字或 I2C $\mu$ Module 隔离器 |
| LT6656   | 1 $\mu A$ 精密系列基准电压源                                        |
| LT6657   | 1.5ppm/ $^{\circ}C$ 漂移、低噪声、缓冲基准电压源                         |

## 隔离式高电压、高电流测量模块

### 评估和设计支持

- 电路评估板
  - CN-0548 电路评估板(EVAL-CN0548-ARDZ)
  - ADuCM3029 超低功耗 Cortex-M3 Arduino 尺寸开发板(EVAL-ADICUP3029)
- 设计和集成文件
  - 原理图、布局文件、物料清单、机械图、软件

### 电路功能与优势

在工业和通信环境中测试和评估电源系统通常需要进行多重电压和电流测量。各个电源可能以不同的接地作为基准, 可能具有正极或负极, 或者可能是浮动的, 与其他电源域没有明确的关系。在这些场景下, 需要使用单独的浮动万用表, 或者通道彼此隔离的多通道表, 这些计量表通常体积笨重, 价格昂贵。

图 1 所示的电路是一个完整的隔离电流和电压测量系统, 用于工业、电信、仪器仪表和自动化测试设备(ATE)应用。系统具有电气隔离特性, 主控制器和测量接地之间最高可容许  $\pm 250V$ 。该隔离设计包含数字数据和电源域信号; 无需从被测量的电路提供额外的电源。

电流输入范围为  $\pm 10A$ , 可选电压输入范围为  $16V$  至  $80V$ , 可以选择这些值之间的多个范围。电压和电流输入采用 16 位分辨率、可调的输出数据速率和信号带宽, 包括抑制  $50Hz$  和  $60Hz$  线路噪声的模式。

该电路兼容 Arduino 尺寸平台板, 支持  $1.8V$  至  $5V$  逻辑电压。与开源固件示例配对时, 应用软件能够使用 libiio 库, 通过 Linux 工业输入/输出(IIO)框架轻松与参考设计通信, 该库包括 C、C#、MATLAB、Python 和 LabVIEW 的绑定。

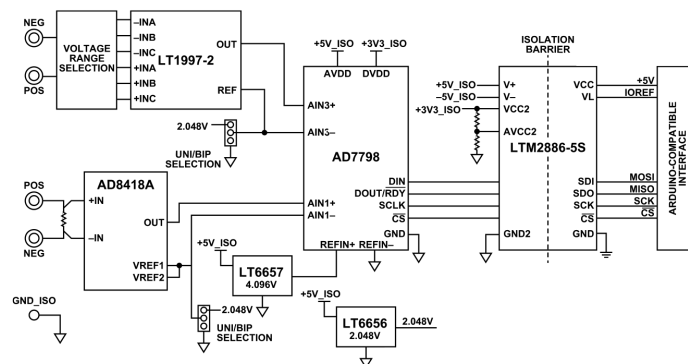


图 1. CN0548 功能框图

## 电路描述

## 电压和电流测量连接

可将CN0548配置为支持多种测量情况。电流检测输入可以将正极或负极电压输入端子，或两者之间的任何电压作为基准电压源，且测量接地与开发平台和所连接主机的接地隔离。

图2显示用于测量一个具有15 V接地电源和接地负载的电路的连接。在负载的高端测量负载电流。

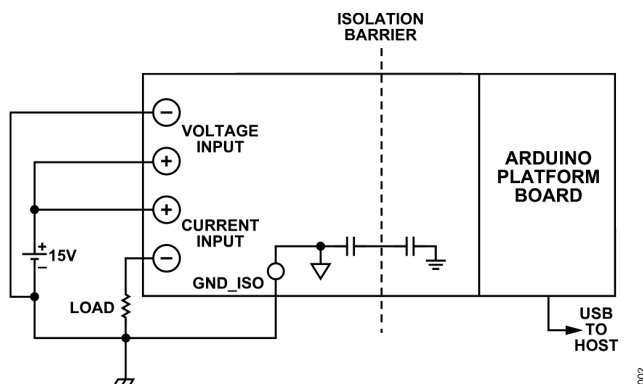


图2. +15 V 高端电流和电压测量

图3显示用于测量负载低端（接地回路）的负载电流的连接。

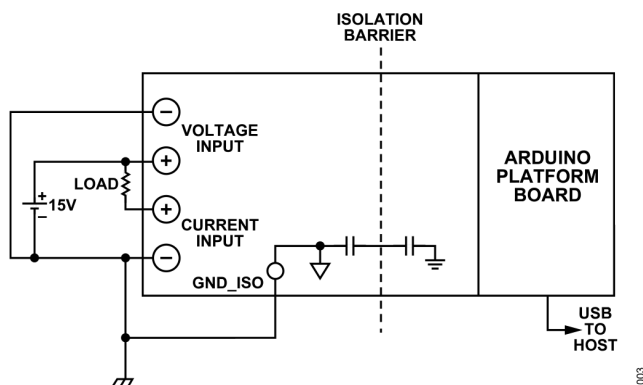


图3. +15 V 低端电流和电压测量

图4显示用于测量-48 V电源的连接，在负载的接地回路上测量电流。

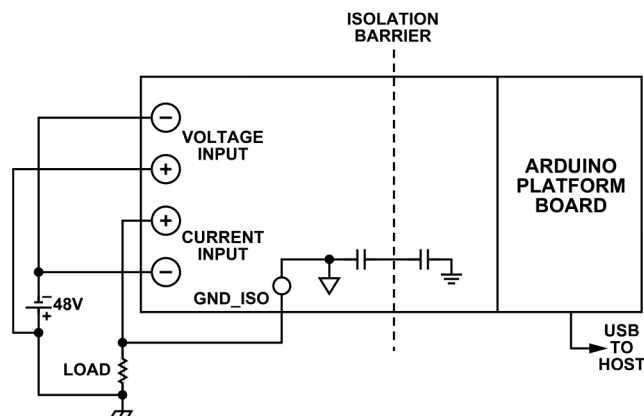


图4. -48 V 电压和电流测量

图5显示高端电流测量连接，电源电压高达250 V。电压测量通道的输入端可以容许高达 $\pm 250$  V的电压，而不造成损坏，输出将达到饱和，不会产生有效的测量。

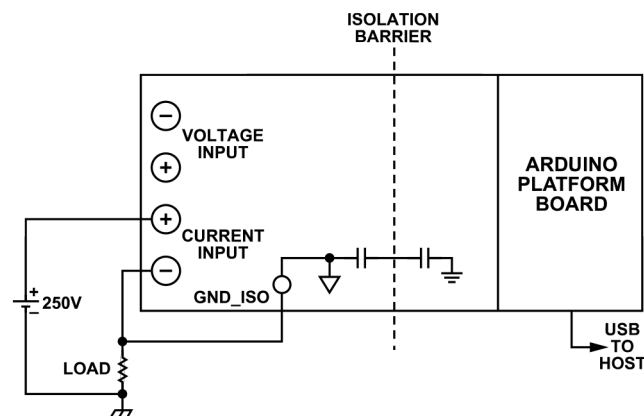


图5. +250 V 系统电流测量

## 电压输入

LT1997-2 精密高压漏斗放大器内置匹配的电阻网络，将输入电压调节到 ADC 的输入电压范围内。该器件的增益误差为 0.006%，增益漂移为 1 ppm/°C。可以通过对+INA、+INB、+INC、-INA、-INB 和 -INC 输入进行引脚短接来选择 38 个独有的衰减因数，通过 CN0548 上的跳线实现。表 1 列出了 5 种跳线设置，涵盖大部分应用和电路的允许输入电压。请参考 LT1997-2 数据手册查看衰减因数的综合列表。注意，应在将 CN0548 连接至带电电路之前配置增益设置跳线，在连接至带电电路时，不得移动跳线。

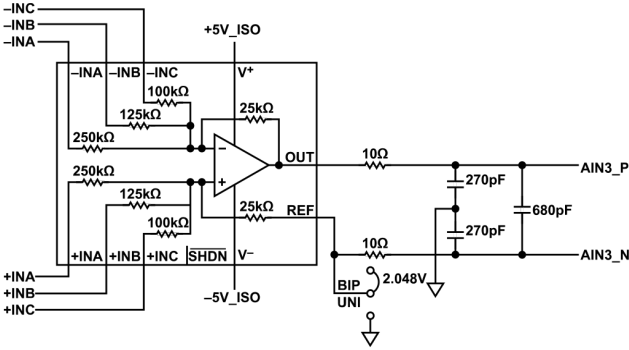


图6. 电压范围和极性电路

表1. 电压范围跳线配置

| 输入范围 | 衰减   | +INA | +INB | +INC | -INA | -INB | -INC |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 80V  | 20   | 断开   | -VIN | +VIN | 断开   | +VIN | -VIN |
| 40V  | 10   | +VIN | 断开   | 断开   | -VIN | 断开   | 断开   |
| 27V  | 6.67 | -VIN | 断开   | +VIN | +VIN | 断开   | -VIN |
| 20V  | 5    | 断开   | +VIN | 断开   | 断开   | -VIN | 断开   |
| 16V  | 4    | 断开   | 断开   | +VIN | 断开   | 断开   | -VIN |

通过如表2所示配置LT1997-2 REF引脚和AD7798 AIN3引脚电压，可以将CN0548电压输入设置为单极或双极输入范围。

表2. 单极/双极电压配置

| 测量模式 | LT1997-2 REF | AD7798 AIN3- | 输入范围<br>(80V范围) |
|------|--------------|--------------|-----------------|
| 单极性  | GND          | GND          | 0V至80V          |
| 双极性  | 2.048V       | 2.048V       | -40V至+40V       |

## 电流输入

AD8418A是一款双向高压零漂移电流检测放大器。其固定增益为20 V/V，具有10 kHz带宽，在整个工作温度范围内的最大增益误差为±0.15%。放大器的输出电压直接连接至ADC的通道1、AIN1-和AIN1+。AD8418A提供出色的输入共模抑制，范围为-2 V至+70 V。如表3所示，AD8418A通过ISENSE输入端子之间的10 mΩ、2 W电流检测电阻执行双向电流测量。在双极性模式下，最大输入电流为±10 A。单极输入范围为0 A至高达14 A，受到检测电阻的功耗限制。AD8418A输出要求与GND之间具有32 mV裕量；请参阅单极和双极电流测量测试结果。

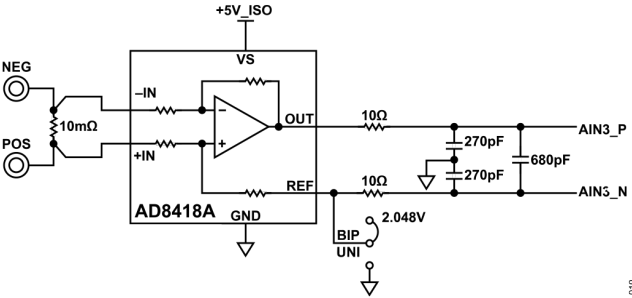


图7. 电流输入信号调理和极性电路

表3. 单极/双极电流配置

| 测量模式 | AD8418A REF | AD7798 AIN1- | 输入范围        |
|------|-------------|--------------|-------------|
| 单向   | GND         | GND          | 0至14 A      |
| 双向   | 2.048 V     | 2.048 V      | -10 A至+10 A |

## 模数转换

AD7798是一款16位低功耗高精度Σ-Δ模数转换器(ADC)，用于测量宽动态范围、低频率信号，例如压力传感器、称重和精密测量应用中的信号。AD7798具有三个缓冲差分输入，带有可编程仪表放大器和片内数字滤波。100 mV至5.25 V外部基准电压决定满量程输入范围。AD7798的输出数据速率可由用户编程，范围为4.17至470 sps；测量带宽以及噪声灵敏性与输出数据速率成正比。大多数电源测量应用不需要高采样率，可以利用较低输出数据速率模式提供的窄带宽。此外，16.7 sps和更低的采样率可以提供对50 Hz和60 Hz线路噪声的同步抑制。AD7798根据输出数据速率使用稍微不同的滤波器类型，以尽可能降低内部噪声源造成的影响。图8显示16.7 Hz模式下的滤波器响应。请参阅AD7798数据手册，查看关于所有滤波器模式的完整详细说明。

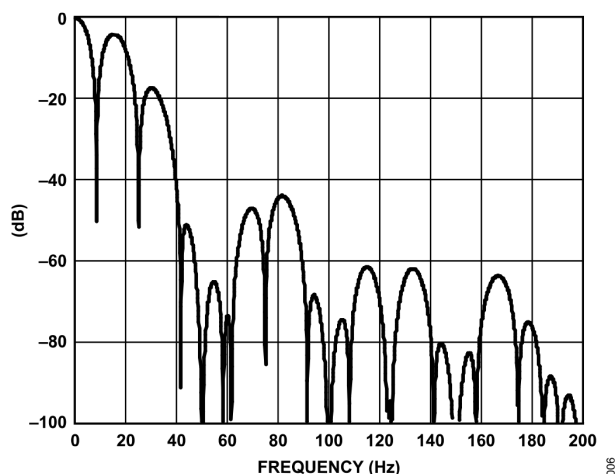


图 8. AD7798 滤波器响应, 16.7 Hz 更新速率模式

AD7798 的模拟输入是全差分输入, 输入范围为  $\frac{\pm V_{REF}}{in\_amp \times gain}$ 。当输入电压处于无缓冲模式且仪表放大器闲置时, 绝对电压可以扩展到任一供电轨, 这是 CN0548 默认使用的配置。

CN0548 向 AD7798 提供高电平缓冲信号, 因此可以将增益设置为 1 并禁用缓冲器, 以尽可能扩大输入范围。4.096 V 基准电压产生的输入范围为  $\pm 4.096$  V, 甚至在 ADC 输入等于或稍低于接地值时, 读数也是有效的。

### 基准电压

CN0548 板上使用两个基准电压。A 级 LT6657 (如图 9 所示) 为 AD7798 提供 4.096 V 基准电压。此器件为带隙基准电压源提供非常低的噪声, 在 0.1 Hz 至 10 Hz 带宽内, 仅提供 0.5 ppmP-P, 或者平均值为 1.24  $\mu$ Vp-p。它采用大型输出电容保持稳定, 该电容用于降低高频噪声, 并为 AD7798 的动态采样电流提供低阻抗。LT6657 对 4.096 V 输出基准电压源的电压调整率通常低于 1 ppm/V。负载调整率也低于 2  $\mu$ V/mA。负载电流中 5 mA 的变化仅使输出电压偏移 10  $\mu$ V。

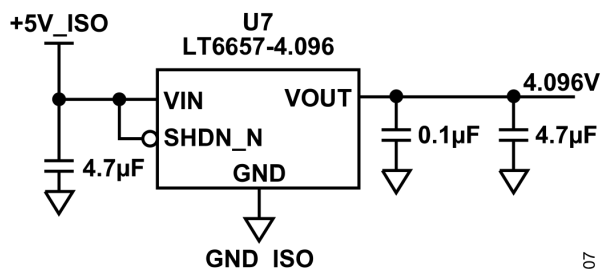


图 9. 4.096 V ADC 基准电压源

LT6656 为  $V_{SENSE}$  放大器、 $I_{SENSE}$  放大器和 ADC 负输入提供 2.048 V 偏置电压, 使输入端口能够支持双极范围。

### 噪声性能

LT1997-2 的最高输出噪声电压按 4 衰减, 约为 1  $\mu$ Vp-p。LT6657 提供约 2  $\mu$ Vp-p 输出噪声。总值 (和的平方根) 为 1  $\mu$ Vp-p 和 2.0  $\mu$ Vp-p, 或 1.7  $\mu$ Vp-p。AD7798 的量化噪声为 62.5  $\mu$ V, 因此将是电压测量中的主要噪声源。在 80 V 输入范围内, 折合为输入的噪声约为 1.2 mV。

在电流测量模式下, AD8418A 的输入噪声电压为 2.3  $\mu$ Vp-p, 范围为 0.1 Hz 至 10 Hz。增益为 20 时, 输出端的反射噪声电压为  $20 \times 2.3$   $\mu$ Vp-p, 或 46  $\mu$ Vp-p。这仍然略低于 AD7798 的量化噪声。虽然固定、无噪声输入可能产生几个闪烁码, 仍然可将 AD7798 视为主要的噪声源。

### 电源与 SPI 隔离

LTM2886  $\mu$ Module 的 5 V 串行外设接口 (SPI) 版本提供隔离型  $\pm 5$  V 电源和隔离型 SPI 通信。无需使用外部组件, 解耦电容集成在模块中。LTM2886 对接地层之间的共模瞬态具有极高的耐受度; 通过大于 30 kV/us 的共模事件保持无误差运行。LTM2886 包含一个独立的逻辑电源引脚, 允许主机侧的逻辑电平电压为 1.62 V 和 5.5 V 之间的任何电压。

### 电路板隔离

图 10 和图 11 显示的是电路板隔离栅。该板用于在接地之间提供最大爬电距离, 串联采用 2 个额定值为 250 V 的安全型 Y2 电容, 以降低来自 LTM2886 的内部开关稳压器的传导噪声。

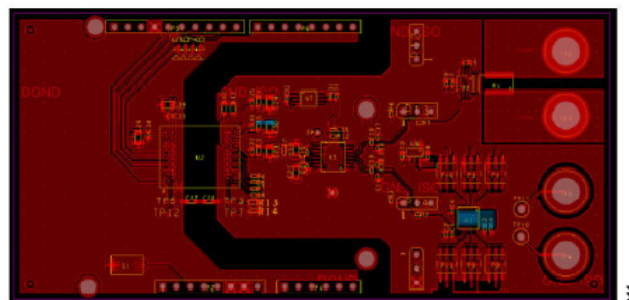


图 10. 顶层 PCB 隔离

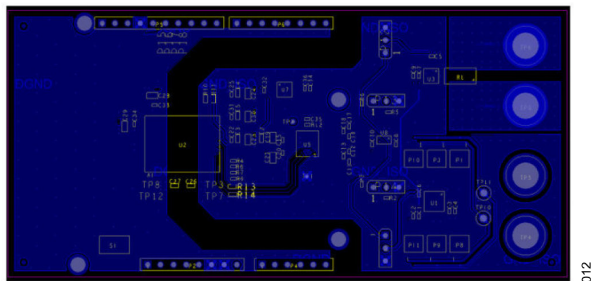


图 11. 底层 PCB 隔离

### 常见变化

要实现更高分辨率的 ADC，可以使用 [AD7799](#) 24 位  $\Sigma$ - $\Delta$  ADC 作为替代选项。如果 AD7798/AD7799 需要 2.5 V 基准电压源，建议使用 [ADR381](#) 或 [ADR391](#) 低噪声低功耗基准电压源。

对于更低满量程电流应用，[AD8417](#) 是双向、零漂移、电流检测放大器，具有 60 V/V 增益。

在需要信号输入衰减和放大的应用中，[LT1997-3](#) 是一种可选放大器。LT1997-3 将精密运算放大器与高度匹配的电阻相结合，构成可以准确放大电压的单芯片解决方案。在不使用外部组件的情况下，可以实现高达 0.0714 的衰减，高达 +14、精度为 0.006% (60ppm) 的增益。

CN0548 接地之间的最大电位差为  $\pm 250$  V，受 470 pF 旁路电容限制。更高电压的应用要求修改或移除旁路电容；LTM2886 本身可以承受接地之间的 2500 VRMS，持续 1 分钟。

对于要求在隔离侧提供更高电压的应用，可以选择使用 [LTM2883](#) 器件。LTM2883 是一款完整的 6 通道数字  $\mu$ Module<sup>®</sup> (微模块) 电气隔离器。隔离侧包含  $\pm 12.5$  V 和 5 V 标称电源，每个电源可以提供超过 20 mA 负载电流。每个电源可以使用单个外部电阻来调节其标称值。

### 电路评估与测试

[EVAL-CN0548-ARDZ](#) 通过 EVAL-ADICUP3029 超低功耗 Cortex-M3 Arduino 尺寸开发板进行测试。有关完整设置详情和其他重要信息，请访问 [CN0548 用户指南](#)。

### 设备要求

- ▶ 万用表
- ▶ EVAL-ADICUP3029
- ▶ EVAL-CN0548-ARDZ
- ▶ 台式可变电源（例如 Agilent e3631）

- ▶ micro USB 电缆 B 型至 A 型
- ▶ 2 片式香蕉形插座
- ▶ Windows、Linux 或 Mac 电脑，具有串行端子，装有 Python 3.6 或更高版本

### 开始使用

要设置 EVAL-CN0548-ARDZ 和相关软件，请使用以下步骤：

1. 如图 12 所示，连接 EVAL-ADICUP3029 平台板顶部的 EVAL-CN0548-ARDZ。
2. 利用附带的 micro USB 电缆将 EVAL-ADICUP3029 连接到 PC。
3. 在 PC 中，将预先生成的 .hex 文件拖放到 DAPLINK 驱动器中。参考用户指南查看最新的 hex 文件。
4. 按 3029\_RESET 按钮，或先拔出再重新插入 USB 电缆来重置 ADICUP3029。
5. 通过设备管理器(Windows)或 TTY 设备文件(Linux)来确定 EVAL-ADICUP3029 COM 端口。
6. 打开 CN0548\_simple\_plot.py 示例 Python 脚本。（请参考用户指南获取脚本位置。）根据提示设置跳线和输入 COM（或 tty）端口编号。
7. 为了进行电压检测测量，如图 13 和图 14 所示连接主直流源的香蕉接头。将输出电压设置为 5.99V 至 6V，限流值设置为 3.9A 至 4A。
8. 为了进行电流检测测量，如图 17 和图 18 所示连接主直流源的香蕉接头。

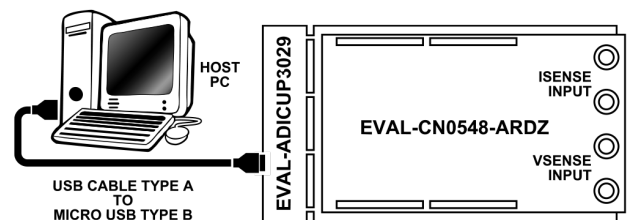


图 12. 主机连接

### 电压测量测试设置

EVAL-CN0548-ARDZ 是在单极和双极模式下测试的，按照 100 mV 步长，分别扫描 0-40V 和 -40 至 +40V 输入电压。如图 13 和图 14 所示，比较 EVAL-CN0548-ARDZ 板的读数和 Keithley DMM7510 7-1/2 数字万用表的读数。LT1997-2 的衰减值设置为 20，并且 AD7798 和 LT1997-2 的基准电压在单极测量模式下设置为 0V，在双极测量模式下设置为 2.048V。

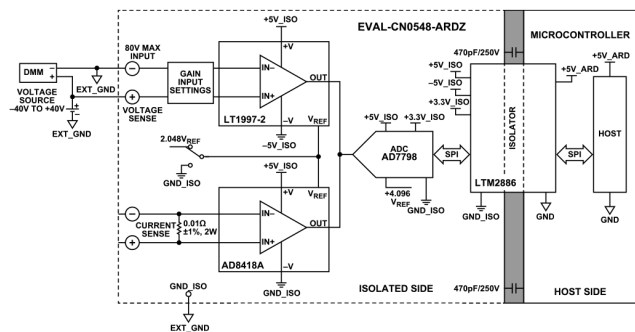


图 13. 电压输入测试设置



图 14. 电压输入测试设置图片

## 单极和双极电压测试结果

图 15 和图 16 显示 3 个独立的 CN0548 板的未校正输出。结果符合 LT1997-2、LT6657 和 AD7798 精度规格要求。转换函数中的非线性“步长”是 LT1997-2 进入“over-the-top”模式的点。

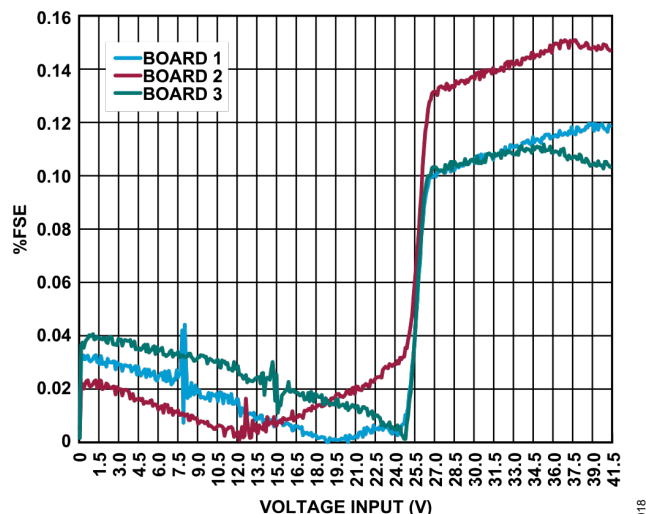


图 15. 单极精度（未校准）

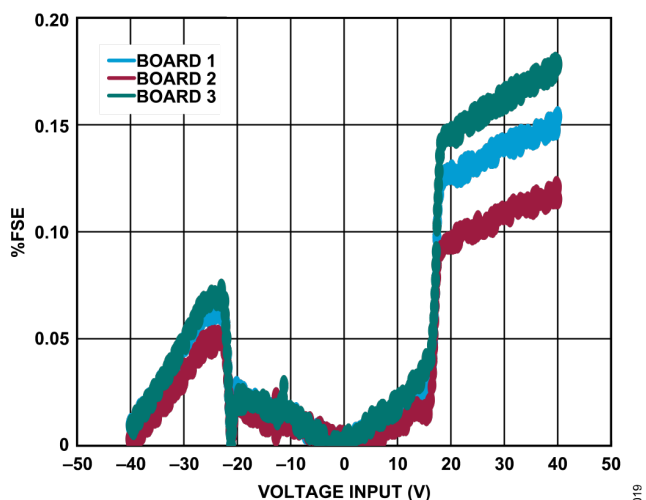


图 16. 双极精度（未校准）

## 电流测量测试设置

EVAL-CN0548-ARDZ 是在单极和双极模式下测试的，按照 100mA 步长，分别扫描 0 A 至 9 A 和 -9 A 至 +9 A 输入电流。如图 17 和图 18 所示，比较 EVAL-CN0548-ARDZ 板的读数 和 Keithley DMM7510 高分辨率 7½ 数字万用表的读数。

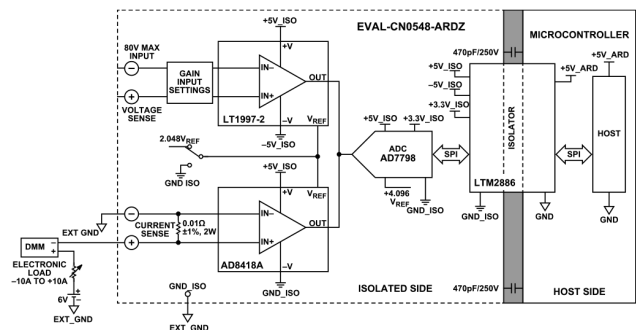


图 17. 电流输入测试设置

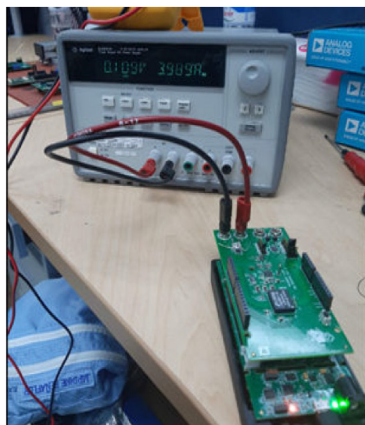


图 18. 电流输入测试设置图片

## 单极和双极电流测量测试结果

图 19 和图 20 显示 3 个单独的 CN0548 板的未校准精度。增益误差主要取决于 $\pm 1\%$ 公差电流检测电阻。

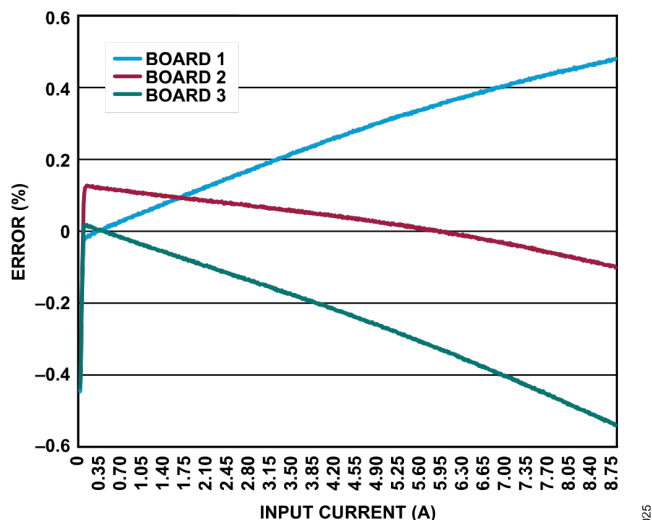


图 19. 单极电流测量误差

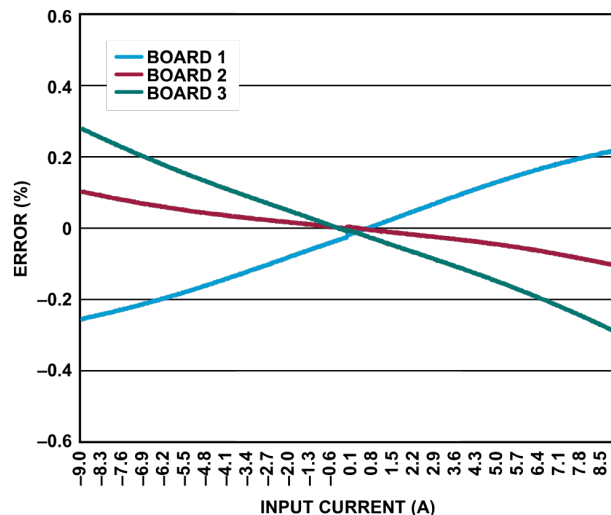


图 20. 双极电流测量误差

## 了解更多

- ▶ CN0548 设计支持包
- ▶ CN0548 用户指南
- ▶ 教程 MT-031: 实现数据转换器的接地并解开“AGND”和“DGND”的谜团, ADI 公司。
- ▶ 教程 MT-035: 运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题。ADI 公司。
- ▶ Cantrell, Mark。应用笔记 AN-0971: isoPower 器件的辐射控制建议。ADI 公司。

## 数据手册和评估板

[LT1997-2数据手册](#)[LT1997-2评估板](#)[AD8418A数据手册](#)[AD8418A评估板](#)[AD7798数据手册](#)[AD7798评估板](#)[LTM2886数据手册](#)[LTM2886评估板](#)[LT6656数据手册](#)[LT6657数据手册](#)

## 修订历史

**2021年11月—修订版0 0: 初始版****ESD 警告**

**ESD (静电放电) 敏感器件。**带电器件和电路板可能会在没有察觉的情况下放电。尽管本产品具有专利或专有保护电路,但在遇到高能量 ESD 时,器件可能会损坏。因此,应当采取适当的 ESD 防范措施,以避免器件性能下降或功能丧失。



(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.



Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.  
One Analog Way, Wilmington, MA 01887-2356, U.S.A.

**Rev. 0 | 8 of 8**