

**Circuits from the Lab™**  
Reference Circuits

Circuit from the Lab™ 实验室电路是经过测试的电路设计，用于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/或技术支持，请访问：  
<http://www.analog.com/zh/CN0188>。

### 连接/参考器件

ADA4051-2	低功耗、零漂移、轨到轨输入和输出、双通道运算放大器
AD7171	低功耗、16 位 $\Sigma$ - $\Delta$ 型 ADC
ADR381	2.5 V、低噪声、高精度带隙基准电压源
ADuM5402	集成 DC/DC 转换器的四通道隔离器

## 用于负高压轨的隔离式低端电流监控器

### 评估和设计支持

电路评估板

[CN-0188 电路评估板 \(EVAL-CN0188-SDPZ\)](#)

[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 所示的完全隔离电路可监控 -48 V 独立通道的电流，精度优于 1%。负载电流流经位于电路外部的分流电阻。分流电阻值应当适当选择，使得在最大负载电流时分流电压约为 50 mV。

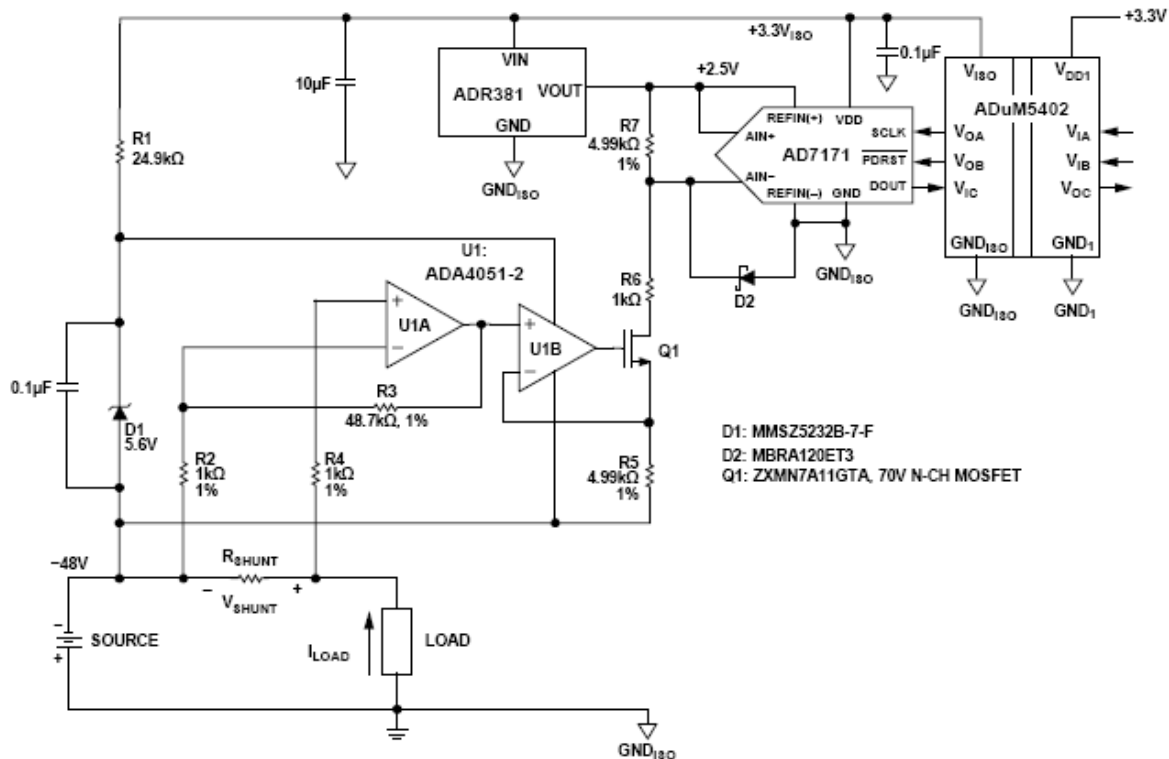


图 1. 用于负高压轨的低端电流监控器 (未显示去耦和所有连接)

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/zh](http://www.analog.com/zh)  
Fax: 781.461.3113 ©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

AD7171的测量结果以数字码形式通过一个简单的 2 线SPI兼容型隔离串行接口提供。隔离由四通道隔离器ADuM5402提供。除了隔离输出数据以外，数字隔离器ADuM5402 还为电路提供隔离+3.3 V电源。

这一器件组合实现了一款精确的高压负供电轨电流检测解决方案，具有器件数量少、低成本、低功耗的特点。测量精度主要取决于电阻容差和带隙基准电压源的精度，典型值优于 1%。

### 电路描述

该电路针对最大负载电流  $I_{MAX}$  下 50 mV 的满量程分流电压而设计。因此，分流电阻值为  $R_{SHUNT} = (50 \text{ mV}) / (I_{MAX})$ 。

运算放大器级的“地”连接到共模源电压(-48 V)。运算放大器级的电压由“悬空”的 5.6 V 齐纳二极管提供，该二极管偏置到约 2 mA 的电流，这样便无需独立电源。在无修改的情况下，该电路的源电压范围为-60 V 至-10 V。

U1A将分流电压放大 49.7 倍，其中  $G = 1 + R3/R2$ 。零漂移放大器ADA4051-2的失调电压很低（最大值 15  $\mu\text{V}$ ），对测量的误差贡献不大。50 mV的满量程分流电压从U1A产生 2.485 V的满量程输出电压（参考共模源电压）。

U1B 的反馈环路中有一个具有大  $V_{DS}$  击穿电压(70 V)的 N 沟道 MOSFET 晶体管，它将 U1A 的输出电压施加于电阻 R5 两端，所产生的电流流经 R6 和 R7。来自 U1A 的 2.485 V 满量程电压产生 0.498 mA 的满量程电流，它在电阻 R7 两端产生 2.485 V 的满量程电压。R7 两端的电压施加于 ADC 的 AIN-。当 MOSFET 短路时，电阻 R6 和肖特基二极管 D2 为 AD7171 提供输入保护。注意，ADR381、AD7171 和悬空齐纳二极管的电源电压由四通道隔离器ADuM5402 的隔离电源输出(+3.3  $V_{ISO}$ )提供。

AD7171 的基准电压由精密带隙基准电压源 ADR381 提供。ADR381 的初始精度为 $\pm 0.24\%$ ，典型温度系数为 5 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 。

虽然 AD7171  $V_{DD}$  和  $REFIN(+)$  都可以采用 3.3 V 隔离电源，但使用独立的基准电压源可提供更高的精度。隔离电压下限为 3 V，因此必须使用 2.5 V 基准电压，以便提供充足的裕量。

AD7171 ADC的输入电压在ADC的输出端转换为偏移二进制码。ADuM5402 为 DOUT数据输出、SCLK输入和PDRST输入提供隔离。

经过隔离电路之后，代码在 PC 中利用 SDP 硬件板和 LabVIEW 软件进行处理。

图 2 中的曲线图显示，受测试的电路在整个输入电压范围 (0 mV 至 50 mV) 实现了 0.3% 的误差。另外还比较了 LabVIEW 记录的 ADC 输出代码与基于理想系统而计算的理想代码。

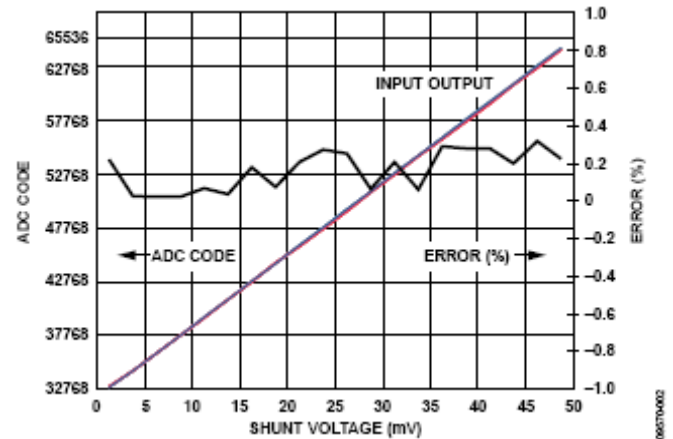


图 2. 输出和误差与分流电压的关系图

为了计算这个理想代码，必须就系统性能做出几项假设。首先，运算放大器级必须准确地将输入信号放大 49.7 倍。根据电阻容差(1%)不同，最差情况下此值的变化幅度为 2%。其次，假设吸电流电阻(R5)与 ADC 输入电阻(R7)完全相同。本电路中，这些电阻的容差为 1%。由于它们具有相同值，因此匹配精度可能优于 1%。也可以使用容差更低的电阻，这将提高电路的精度和成本。

PCB 上还安装了其它几项元件，它们对于电路的功能或性能并不重要，但为了确保用户和硬件的安全必须使用。例如，如果 Q1 击穿或短路，ADC、SDP 板和用户 PC 都可能受到较大负电压的破坏。安全元件包括无源元件 R6 和 D2，用于保护 AD7171，以及四通道数字隔离器 ADuM5402，用于保护 SDP 板上的电路和用户 PC。

### PCB 布局布线考虑

在任何注重精度的电路中，必须仔细考虑电路板上的电源和接地回路布局。PCB应尽可能隔离数字部分和模拟部分。本PCB采用四层板堆叠而成，具有较大面积的接地层和电源层多边形。有关布局布线和接地的详细论述，请参考教程MT-031；有关去耦技术的信息，请参考教程MT-101。

AD7171 和 ADuM5402 的电源应当用 10  $\mu$ F 和 0.1  $\mu$ F 电容去耦，以适当地抑制噪声并减小纹波。这些电容应尽可能靠近相应器件，0.1  $\mu$ F 电容应具有低 ESR 值。对于所有高频去耦，建议使用陶瓷电容。

应仔细考虑 ADuM5402 原边和副边之间的隔离间隙。EVAL-CN0188-SDPZ 电路板通过拉回顶层上的多边形或器件，并将其与 ADuM5402 上的引脚对齐来使该距离最大。

电源走线应尽可能宽，以提供低阻抗抗路径，并减小电源线路上的毛刺效应。时钟和其它快速开关的数字信号应通过数字地将其与电路板上的其它器件屏蔽开。

有关本电路笔记的完整设计支持包，包括电路板布局布线，请参阅<http://www.analog.com/CN0188-DesignSupport>

### 常见变化

关于正电源的高端检测，目前有多种解决方案可用，包括使用检测放大器、差动放大器或二者某种组合的 IC 解决方案。

“[高端电流检测：差动放大器与电流检测放大器](#)”一文（[模拟对话](#)，2008 年 1 月）介绍了电流检测放大器和差动放大器的使用。文章可从以下网址获取：[www.analog.com/HighSide\\_CurrentSensing](http://www.analog.com/HighSide_CurrentSensing)。

下列 ADI 公司产品的 URL 链接有助于解决电流检测问题：

电流检测放大器：[www.analog.com/CurrentSenseAmps](http://www.analog.com/CurrentSenseAmps)

差动放大器：[www.analog.com/DifferenceAmps](http://www.analog.com/DifferenceAmps)

仪表放大器：[www.analog.com/InstrumentationAmps](http://www.analog.com/InstrumentationAmps)

### 电路评估与测试

本电路使用 EVAL-CN0188-SDPZ 电路板和 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-CN0188-SDPZ 板包含要评估的电路，如本笔记所述。SDP 评估板与 CN0188 评估软件一起使用，可从 EVAL-CN0188-SDPZ 电路板获取数据。

### 设备要求

- 带 USB 端口的 Windows<sup>®</sup> XP、Windows Vista<sup>®</sup>（32 位）或 Windows<sup>®</sup> 7（32 位）PC
- EVAL-CN0188-SDPZ 电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP 评估板
- CN0188 评估软件
- 电源：+6 V 或+6 V 壁式电源适配器
- 最大负载电流下最大电压为 50 mV 的分流电阻
- 电子负载

### 开始使用

将 CN0188 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，打开 Readme 文件。按照 Readme 文件中的说明安装和使用评估软件。

### 功能框图

电路框图参见本电路笔记的图 1，电路原理图参见“EVAL-CN0188-SDPZ-SCH”pdf文件。此文件位于[CN0188 设计支持包](#)中。

### 设置

EVAL-CN0188-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。应使用尼龙五金配件，通过 120 引脚连接器两端的孔牢牢固定这两片板。

将一个分流电阻( $R_{SHUNT}$ )跨接在输入引脚上，一个负载接地，如图 1 所示。在断电情况下，将一个+6 V 电源连接到板上标有+6 V 和 GND 的引脚。如果有+6 V 壁式电源适配器，可以将它连接到板上的管式连接器，代替+6 V 电源。SDP 板附带的 USB 电缆连接到 PC 上的 USB 端口。注意：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-CN0188-SDPZ 电路板的+6 V 电源（或壁式电源适配器）通电。启动评估软件，并通过 USB 电缆将 PC 连接到 SDP 板上的微型 USB 连接器。

一旦 USB 通信建立，就可以使用 SDP 板来发送、接收、捕捉来自 EVAL-CN0188-SDPZ 板的串行数据。随着电子负载的逐级调整，可以记录不同负载电流值下的数据。

有关如何使用评估软件来捕捉数据的详细信息，请参阅 CN0188 评估软件 Readme 文件。

有关SDP板的信息，请参阅SDP用户指南。

### 进一步阅读

CN0188 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0188-DesignSupport>

Sino, Henri. "High-Side Current Sensing: Difference Amplifier vs. Current-Sense Amplifier," *Analog Dialogue* 42-01, January (2008).

Cantrell, Mark. Application Note AN-0971, *Recommendations for Control of Radiated Emissions with isoPower Devices*. Analog Devices.

Chen, Baoxing, John Wynne, and Ronn Kliger. *High Speed Digital Isolators Using Microscale On-Chip Transformers*, Analog Devices, 2003.

Chen, Baoxing. *iCoupler® Products with isoPower™ Technology: Signal and Power Transfer Across Isolation Barrier Using Microtransformers*, Analog Devices, 2006

Chen, Baoxing. "Microtransformer Isolation Benefits Digital Control." *Power Electronics Technology*. October 2008.

Ghiorse, Rich. Application Note AN-825, *Power Supply Considerations in iCoupler® Isolation Products*, Analog Devices.

Krakauer, David. "Digital Isolation Offers Compact, Low-Cost Solutions to Challenging Design Problems." *Analog Dialogue*. Volume 40, December 2006.

MT-022 Tutorial, *ADC Architectures III: Sigma-Delta ADC Basics*, Analog Devices.

MT-023 Tutorial, *ADC Architectures IV: Sigma-Delta ADC Advanced Concepts and Applications*, Analog Devices.

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

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

Wayne, Scott. "iCoupler® Digital Isolators Protect RS-232, RS-485, and CAN Buses in Industrial, Instrumentation, and Computer Applications." *Analog Dialogue*. Volume 39, October 2005.

### 数据手册和评估板

CN0188 Circuit Evaluation Board (EVAL-CN0188-SDPZ)

System Demonstration Platform (EVAL-SDP-CB1Z)

ADA4051-2 Data Sheet

ADA4051-2 Evaluation Board

AD7171 Data Sheet

AD7171 Evaluation Board

ADR381 Data Sheet

ADuM5402 Data Sheet

ADuM5402 Evaluation Board

### 修订历史

4/11—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.