

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。有关更多信息和技术支持，请访问：www.analog.com/zh/CN0216。

连接/参考器件

AD7791	低功耗、缓冲式、24位 Σ - Δ 型ADC
ADA4528-1	精密、超低噪声、轨到轨输入/输出、零漂移运算放大器
ADP3301	高精度anyCAP® 100 mA低压差线性调节器

利用24位 Σ - Δ 型ADC AD7791和外部零漂移放大器ADA4528-1实现精密电子秤设计

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0216电路评估板\(EVAL-CN0216-SDPZ\)](#)

[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所示电路是一个精密电子秤信号调理系统，它使用一个低功耗缓冲式24位 Σ - Δ 型ADC AD7791和两个外部零漂移放大器ADA4528-1。该解决方案支持单电源供电，可提供高直流增益。

前端使用超低噪声、低失调电压、低漂移放大器，以便放大来自称重传感器的低电平信号。对于满量程输出为10 mV的称重传感器，该电路提供15.3位的无噪声码分辨率。

利用本电路可以非常灵活地设计定制低电平信号调理前端，用户可以轻松优化传感器-放大器-转换器组合电路的整体传递函数。在9.5 Hz至120 Hz的完整输出数据速率范围内，AD7791均能保持良好的性能，可用于以各种较低速度工作的电子秤应用。

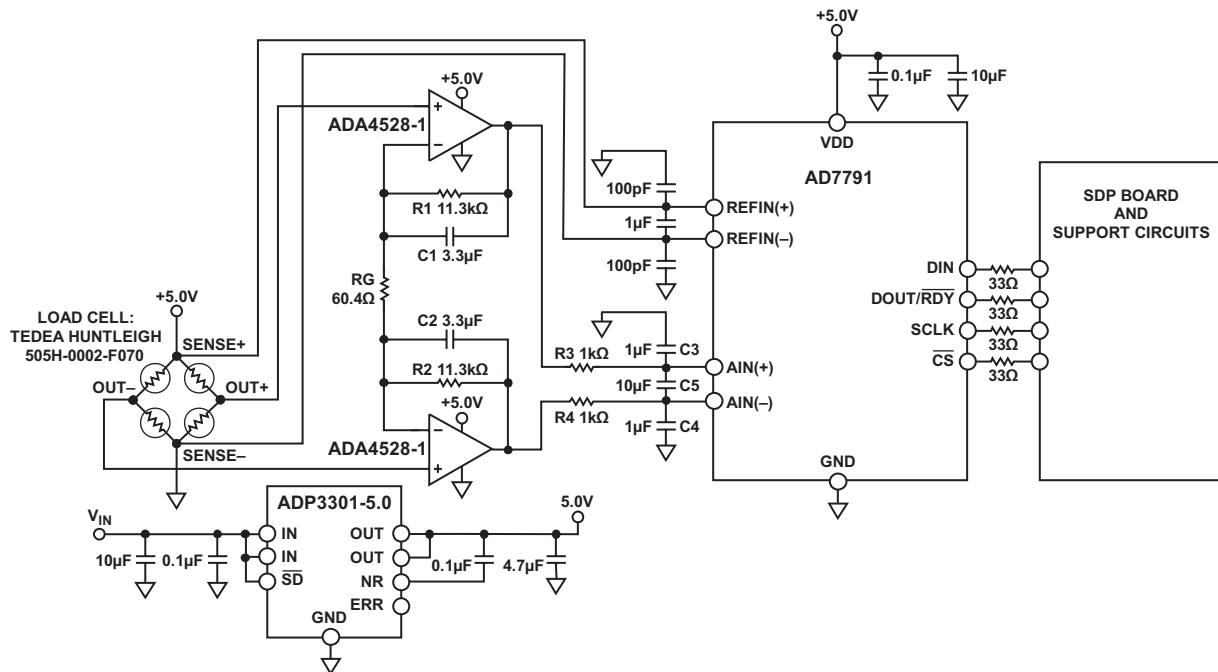


图1. 采用AD7791的电子秤系统（原理示意图：未显示去耦和所有连接）

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2所示为实际的测试设置。为进行测试，使用6线Tede-Huntleigh 505H-0002-F070称重传感器。

流经PCB走线的电流会产生IR压降，走线较长时，这种压降可能达到数毫伏或更大，引起相当大的误差。室温下，1英寸长、0.005英寸宽的1盎司铜走线的电阻约为100 mΩ。当负载电流为10 mA时，该走线可能引起1 mV的误差。

除激励、接地和两个输出连接外，6线式称重传感器还有两个检测引脚。这些检测引脚分别与惠斯登电桥的高端（激励引脚）和低端（地引脚）相连。尽管在线路电阻上存在一定的压降，但仍能精确测量该电桥上产生的电压。此外，AD7791接受差分模拟输入和差分基准电压。这两个检测引脚与AD7791基准电压输入端相连，构成一个比率式配置，不受电源激励电压的低频变化影响。因为是比率式连接，所以无需精密基准电压源。

与6线式称重传感器不同，4线式称重传感器不具有检测引脚，ADC差分基准电压引脚与激励电压和地直接相连。采用这种连接时，由于有线路电阻，ADC的激励引脚与基准电压引脚之间存在压差。另外，低端（地）上也有线路电阻引起的压差。这样，系统将不完全是比率式。

当激励电压为5 V时，Tede-Huntleigh 2 kg称重传感器的灵敏度为2 mV/V，满量程输出为10 mV。称重传感器也具有相关的失调电压或TARE。此外，称重传感器还具有增益误差。一些客户利用DAC来消除或抵消TARE。当AD7791采用5 V基准电压时，差分模拟输入范围等于±5 V或10 V p-p。图1所示电路将称重传感器输出放大375 ($1 + 2R1/RG$)倍，因此以称重传感器输出为基准的满量程输入范围为 $10 V/375 = 27 mV p-p$ 。相对于称重传感器的10 mV p-p满量程信号，AD7791的模拟输入范围较宽，这有利于确保称重传感器的失调电压和增益误差不会使ADC前端过载。

来自称重传感器的低电平幅度信号由两个零漂移放大器ADA4528-1放大。顾名思义，零漂移放大器的失调电压漂移接近为0。放大器连续自行校正任何直流误差，尽可能保持精确。除了低失调电压和漂移外，零漂移放大器也没有1/f噪声，这一重要特性有助于电子秤在直流或低频时进行精确测量。

两个运算放大器ADA4528-1配置为三运放仪表放大器的第一级。第三个运算放大器连接为差动放大器，一般用于第二级，但在图1所示电路中，AD7791的差分输入端执行此功能。

增益等于 $1 + 2R1/RG$ 。电容C1和C2置于运算放大器的反馈环路中，与R1和R2一起形成4.3 Hz截止频率的低通滤波器，用于限制进入Σ-Δ型ADC的噪声量。C5与R3和R4一起形成一个截止频率为8 Hz的差分滤波器，用以进一步限制噪声。C3和C4与R3和R4一起形成截止频率为159 Hz的共模滤波器。

低噪声调节器ADP3301为AD7791、ADA4528-1和称重传感器供电。除了去耦电容外，按照ADP3301数据手册的建议，在调节器输出端配有降噪电容。调节器必须为低噪声型，因为电源或地层的任何噪声都会在系统中引起噪声，导致电路性能下降。

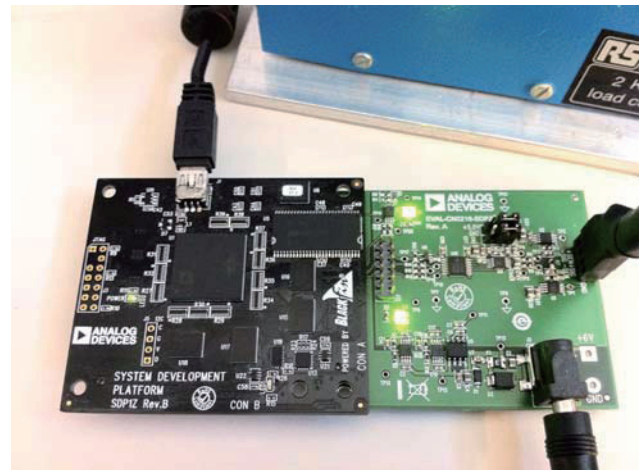


图2. 采用AD7791的电子秤系统设置

24位Σ-Δ型ADC AD7791转换来自称重传感器的经放大的信号。AD7791配置为缓冲工作模式，以适应模拟输入引脚上的R-C滤波器网络的阻抗。

图3显示AD7791在不同输出数据速率下的均方根噪声。此图显示，均方根噪声随着输出数据速率增加而增加。不过，在整个输出数据速率范围内，该器件均能保持良好的噪声性能。

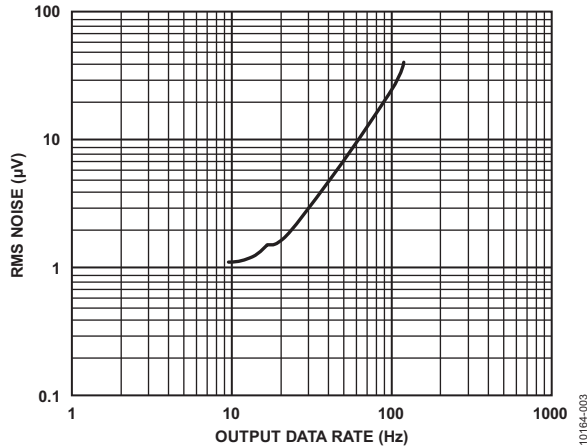


图3. AD7791在不同输出数据速率下的均方根噪声，采用2.5 V基准电压（5 V p-p输入范围），缓冲器开启

在9.5 Hz输出数据速率和2.5 V基准电压下，AD7791的均方根噪声为1.1 µV，因而无噪声码数为

$$\frac{V}{6.6 \times 1.1 \mu\text{V}} = 688,705$$

其中系数6.6用来将均方根电压转换为峰峰值电压。

因此，相应的无噪声码分辨率等于：

$$\log_2(688,705) = \frac{\log_{10}(688,705)}{\log_{10}(2)} = 19.5 \text{ bits}$$

注意，这是AD7791在不连接称重传感器或输入放大器情况下的性能。

ADA4528-1具有5.9 nV/√Hz的电压噪声密度，因此，输入放大器和电阻会增加系统的噪声。此外，称重传感器本身也会增加噪声。

图1所示电路使用5 V基准电压，峰峰值输入范围为10 V，因此LSB等于：

$$1\text{LSB} = \frac{10 \text{ V}}{2^{24}} = 0.596 \mu\text{V}$$

来自称重传感器的10 mV p-p满量程信号在ADC中产生3.75 V p-p信号，约为ADC量程的38%。

在连接称重传感器（无负载）的情况下，获取7个样本集，每个样本集包含500个样本。计算每个样本集的峰峰值代码分布，然后求平均值以产生159个采样点的代码分布。基于ADC的3.75 V p-p满量程输入，这相当于159 × 0.596 µV = 94.8 µV p-p噪声。

因此，无噪声采样数等于：

$$\frac{3.75 \text{ V}}{94.8 \mu\text{V}} = 39,557$$

整体系统的相应无噪声码分辨率等于：

$$\log_2(39,557) = \frac{\log_{10}(39,557)}{\log_{10}(2)} = 15.3 \text{ bits}$$

图4显示了500个样本的ADC代码图（52.6秒、9.5 Hz数据速率）。注意，峰峰值分布约为160个代码。

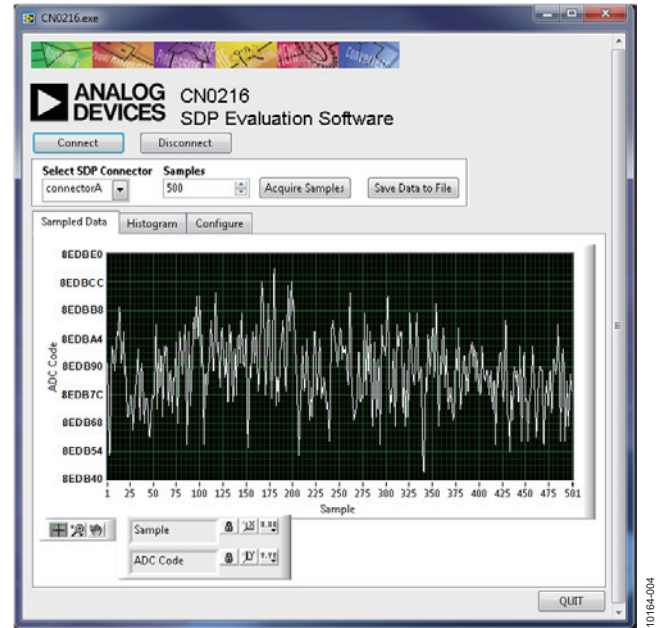


图4. 500次采样所测得的输出码，体现出噪声的影响

图5以直方图形式显示了同样的数据。图4和图5显示从AD7791回读的实际（原始）转换结果。在实际操作中，电子秤系统通常会采用数字后置滤波器。在后置滤波器中另外执行均值计算会进一步提高无噪声采样数，但数据速率会降低。

用克表示的系统分辨率计算如下：

$$\frac{2 \text{ kg}}{39,557} = 0.05 \text{ g}$$

与其它高精度电路一样，必须采用适当的布局、接地和去耦技术。欲了解更多信息，请参考指南MT-031—“实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团”，以及指南MT-101—“去耦技术”。有关本电路笔记的完整设计支持包，请参阅www.analog.com/CN0216-DesignSupport。

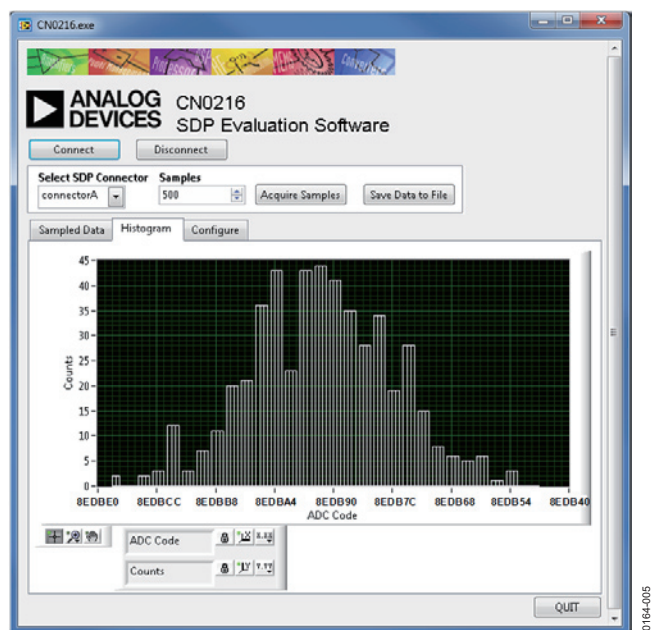


图5. 500次采样所测得的直方图，体现出噪声的影响

常见变化

下列应用笔记讨论了其它适合电子秤应用的ADC和电路：[CN-0102 \(AD7190\)](#)、[CN-0107 \(AD7780\)](#)、[CN-0108 \(AD7781\)](#)、[CN-0118 \(AD7191\)](#)、[CN-0119 \(AD7192\)](#)和[CN-0155 \(AD7195\)](#)。

[AD7171](#)是一款16位 Σ - Δ 型ADC。

针对低功耗解决方案，请使用[ADA4051-2](#)。[ADA4051-2](#)是一款双通道、低功耗、零漂移放大器，每个放大器的电源电流仅为20 μ A。

电路评估与测试

本电路使用[EVAL-CN0216-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-CN0216-SDPZ](#)板包含要评估的电路，如本笔记所述。SDP评估板与[CN-0216](#)评估软件一起使用，可从[EVAL-CN0216-SDPZ](#)电路板获取数据。

设备要求

- 带USB端口和Windows XP、Windows Vista (32位) 或 Windows 7 (32位) 的PC
- [EVAL-CN0216-SDPZ](#)电路评估板
- [EVAL-SDP-CB1Z](#) SDP评估板
- CN0216评估软件
- Tedea-Huntleigh 505H-0002-F070称重传感器或等效器件
- 电源：+6 V或+6 V壁式电源适配器

开始使用

将CN0216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PDF文件“EVAL-CN0216-SDPZ-SCH”。此文件位于[CN0216设计支持包](#)中。

设置

将[EVAL-CN0216-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”的连接器的。应使用尼龙五金配件，通过120引脚连接器两端的孔牢固固定这两片板。称重传感器连接到[EVAL-CN0216-SDPZ](#)板。

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插孔连接器，代替+6 V电源。SDP板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。注：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-CN0216-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。如果设备管理器中列出了Analog Devices System Development Platform驱动器，软件将能与SDP板通信。

一旦USB通信建立，就可以使用SDP板来发送、接收、捕捉来自[EVAL-CN0216-SDPZ](#)板的串行数据。

有关如何使用评估软件来捕捉数据的详细信息，请参阅CN0216评估软件Readme文件。

有关SDP板的信息，请参阅[SDP用户指南](#)。

分析数据

至少应采集ADC输出数据的500个样本。一旦将样本集导出到Excel等电子表格程序，就可以对样本进行分析。假设噪声为高斯分布，则样本的标准差约等于均方根噪声。峰峰值噪声约为均方根噪声的6.6倍。

峰峰值噪声也可以直接从样本集获得，只需将最大样本减去最小样本。实际上，利用这种方法获得的结果与将均方根值乘以6.6获得的值大致相同。

从样本获得的值的单位是LSB，因此必须将其转换为电压，对于5 V基准电压，1 LSB = 0.596 μ V。

需要时，可以对多个样本集的结果求平均值，以获得更精确的测量结果。

无噪声码分辨率根据峰峰值噪声计算，方法如上文所述。

进一步阅读

Kester, Walt. 1999. *Sensor Signal Conditioning*. Section 2. Analog Devices.

Kester, Walt. 1999. *Sensor Signal Conditioning*. Section 3. Analog Devices.

Kester, Walt. 1999. *Sensor Signal Conditioning*. Section 4. Analog Devices.

MT-004 Tutorial, *The Good, the Bad, and the Ugly Aspects of ADC Input Noise—Is No Noise Good Noise?* Analog Devices.

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-063 Tutorial, *Basic Three Op Amp In-Amp Configuration*, Analog Devices.

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

Wong, Vicky, AN-1114 Application Note, *Lowest Noise Zero-Drift Amplifier Has 5.6 nV/ \sqrt Hz Voltage Noise Density*, Analog Devices.

CN-0102 Circuit Note, *Precision Weigh Scale Design Using the AD7190 24-Bit Sigma-Delta ADC with Internal PGA*, Analog Devices.

CN-0107 Circuit Note, *Weigh Scale Design Using the AD7780 24-Bit Sigma-Delta ADC with Internal PGA*, Analog Devices.

CN-0108 Circuit Note, *Weigh Scale Design Using the AD7781 20-Bit Sigma-Delta ADC with Internal PGA*, Analog Devices.

CN-0118 Circuit Note, *Precision Weigh Scale Design Using the AD7191 24-Bit Sigma-Delta ADC with Internal PGA*, Analog Devices.

CN-0119 Circuit Note, *Precision Weigh Scale Design Using the AD7192 24-Bit Sigma-Delta ADC with Internal PGA*, Analog Devices.

CN-0155 Circuit Note, *Precision Weigh Scale Design Using a 24-Bit Sigma-Delta ADC with Internal PGA and AC Excitation*, Analog Devices.

数据手册和评估板

AD7791 Data Sheet

ADA4528-1 Data Sheet

ADP3301 Data Sheet

CN-0216 Circuit Evaluation Board (EVAL-CN0216-SDPZ)

System Demonstration Platform (EVAL-SDP-CB1Z)

修订历史

9/11—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.