

Circuits from the Lab™
Reference Circuits

Circuits from the Lab™ reference circuits are engineered and tested for quick and easy system integration to help solve today's analog, mixed-signal, and RF design challenges. For more information and/or support, visit www.analog.com/CN0185.

连接/参考器件

AD7400A	隔离式Σ-Δ型调制器
ADuM5000	隔离式DC-DC转换器
AD8646	双通道、24 MHz轨到轨输入/输出运算放大器
ADP121	150 mA、低静态电流、CMOS线性稳压器
ADP3301	高精度、100 mA、低压差线性稳压器
ADG849	3 V/5 V、CMOS、0.5 Ω、单刀双掷开关/2:1多路复用器, 采用SC70封装
ADR443	超低噪声LDO XFET® 3.0 V基准电压源

采用隔离式Σ-Δ型调制器、隔离式DC-DC转换器和有源滤波器的新型模拟/模拟隔离器

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0185电路评估板\(EVAL-CN0185-EB1Z\)](#)

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所示电路是一种完整的低成本模拟/模拟隔离器解决方案, 它提供2500 V rms的隔离值(1分钟, 符合UL 1577标准)。

该电路基于AD7400A——一款二阶Σ-Δ型调制器, 提供数字隔离的1位数据流输出。隔离模拟信号利用一个基于双通道、低噪声、轨到轨运算放大器AD8646的四阶有源滤波器恢复。ADuM5000用作隔离端的电源, 两端完全隔离, 系统仅使用一个电源。该电路具有0.05%的线性度, 并能获益于调制器AD7400A和模拟滤波器提供的噪声整形。该电路的应用包括电机控制和电流监控, 同时它还能有效替代基于光隔离器的隔离系统。

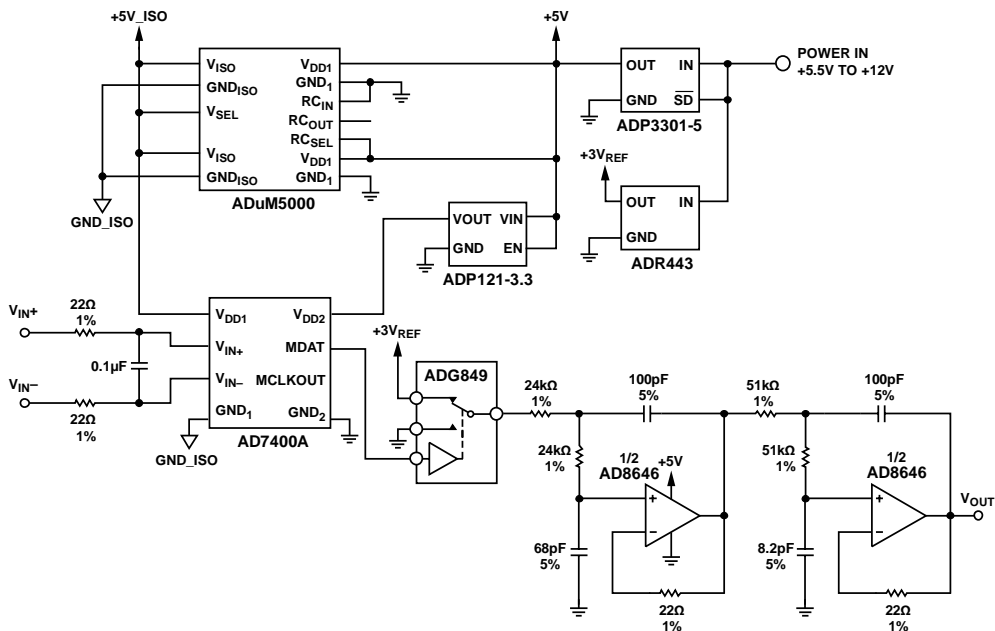


图1. 采用AD7400A的模拟隔离器(原理示意图: 未显示所有连接和去耦)

Rev. B

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1显示的是电路的框图。模拟输入由 Σ - Δ 型调制器AD7400A以10 MSPS进行采样。22 Ω 电阻和0.1 μ F电容构成一个截止频率为145 kHz的差分输入降噪滤波器。AD7400A的输出为隔离的1位数据流。量化噪声由一个二阶 Σ - Δ 型调制器整形，将噪声移动到较高频率(参见教程MT-022)。

为了重构模拟输入信号，数据流之后应连接一个ADG849开关，并将其与3 V ADR443基准电压源相连，以便稳定MDAT的峰峰值输出。

随后，信号通过有源滤波器滤波，该滤波器阶数高于调制器阶数。为了更好地衰减噪声，使用一个四阶切比雪夫滤波器。当滤波器阶数相同时，相比于其它滤波器响应(巴特沃兹或贝塞尔)，切比雪夫响应提供最为陡峭的滚降。该滤波器利用双通道、轨到轨输入和输出、低噪声、单电源运算放大器AD8646来实现。

ADuM5000是一款基于ADI公司*iCoupler*[®]技术的隔离式DC-DC转换器。用于为电路的隔离端(包含AD7400A)提供电源。ADuM5000的*isoPower*[®]技术利用高频开关元件，通过芯片级变压器传输功率。

该电路必须构建在具有较大面积接地层的多层印刷电路板(PCB)上。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术(参见教程MT-031：实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团、教程MT-101：去耦技术，以及ADuC7060/ADuC7061评估板布局)。确保PCB布局满足辐射标准以及两个隔离端之间的隔离要求(参见应用笔记AN-0971)。

为了避免过驱AD8646，输入信号应低于电源电压(5 V)。AD7400A的输出为1和0的数据流，幅度等于AD7400A V_{DD2} 电源电压。因此， V_{DD2} 数字电源为线性稳压器ADP121提供的3.3 V电压。或者，如果 V_{DD2} 使用5 V电源，则数字输出信号应经过衰减后才能连接到有源滤波器。无论何种情况，电源都应进行适当调节，因为最终的模拟输出与 V_{DD2} 直接成正比。

图1所示电路的5 V电源由5 V线性稳压器ADP3301提供，它接受5.5 V至12 V的输入电压。

模拟有源滤波器设计

低通滤波器的截止频率主要取决于电路所需的带宽。截止频率与噪声性能之间存在取舍关系，如果提高滤波器的截止频率，则噪声会增加。在本设计中尤其如此，因为 Σ - Δ 型调制器对噪声进行整形，将很大一部分移动到较高频率。本设计选择100 kHz的截止频率。

对于给定的截止频率，滤波器的过渡带越小，则滤波器通过的噪声越少。在所有滤波器响应中(巴特沃兹、切比雪夫、贝塞尔等)，本设计之所以选择切比雪夫响应，是因为在给定滤波器阶数下，它的过渡带较小，但代价是瞬态响应性能略差。

该滤波器是一个四阶滤波器，由两个采用Sallen-Key结构的二阶滤波器组成。该滤波器的设计使用了模拟滤波器向导和NI Multisim工具。参数包括如下内容：

- 滤波器类型 = 低通、切比雪夫、0.01 dB纹波
- 阶数 = 4
- $f_c = 100$ kHz、Sallen-Key(为清楚起见更新格式)

除了反馈电阻降至22 Ω 外，全部使用程序生成的推荐值。

测量

电路增益为4.6875，输出失调电压为1.5 V。0 V的差分信号产生1和0的数字位流，1和0各占50%的时间。ADR443的输出为3.0 V；因此，滤波后会有1.5 V的直流失调。在理想状态下，320 mV的差分输入生成全1的数据流，滤波后产生3.0 V直流输出。因此，电路的有效增益为：

$$\text{增益} = (3.0 - 1.5)/0.32 = 4.6875$$

通过测量，实测偏移为1.504V，增益为4.69。系统的直流传递函数如图2所示。实测线性度为0.0465%。

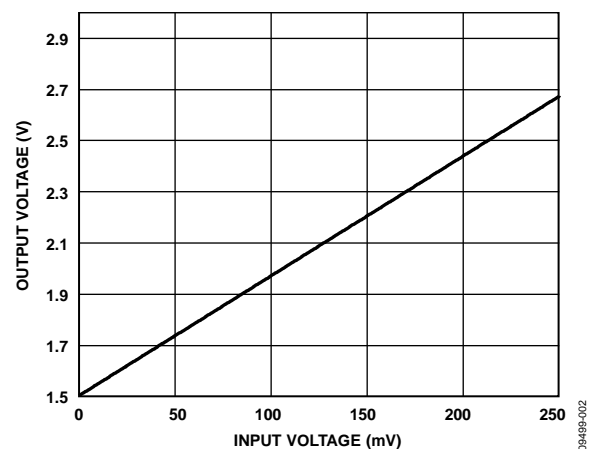


图2. 系统直流传递函数

图3显示无直流失调电压的输出电压与输入频率的关系。输入信号电压为40 mV p-p，因此输出信号为 $40 \times 4.6875 = 190$ mV p-p。注意，频率响应函数中约有10 mV峰化，相当于大约0.42 dB。

该系统具有良好的噪声性能，1 kHz时的噪声密度为2.50 $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，10 kHz时为1.52 $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

有关本电路笔记的完整设计支持包，请参阅 www.analog.com/CN0185-DesignSupport。

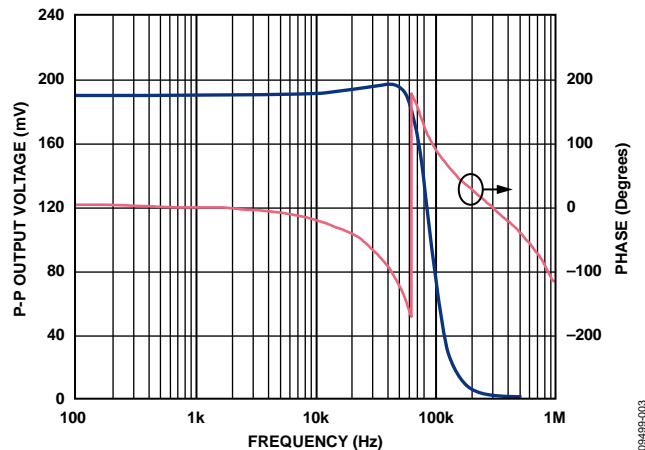


图3. 40 mV p-p输入信号的电路频率域相位响应

常见变化

该电路可以用于隔离电压监控，也可用于需要监控分流电阻两端电压的电流检测应用。系统输入信号的要求参见 [AD7400A](#) 数据手册。

如果用 [ADuM6000](#) 代替 [ADuM5000](#)，则整个电路的隔离额定值为5 kV。

如有需要，[ADP1720](#)或[ADP7102](#)线性调节器可用作[ADP3301](#)的替代器件。

电路评估与测试

用6 V电源使电路上电后，可以利用信号发生器和示波器轻松评估该电路。

设备要求(可以用同等设备代替)

需要以下设备：

- 多功能校准仪(直流源)：Fluke 5700A
- 数字万用表：Agilent 3458A，8.5位
- 频谱分析仪：Agilent 4396B
- 函数发生器：Agilent 33250A
- 电源：6 V

设置与测试

线性度测量设置的框图如图4所示。6 V电源连接到 [EVAL-CN0185-EB1Z](#) 电源引脚。

直流输入电压利用Fluke 5700A产生，使用Agilent 3458A DVM测量输出。Fluke 5700A的直流输出以1 mV步进从1 mV提高到250 mV，并记录数据。

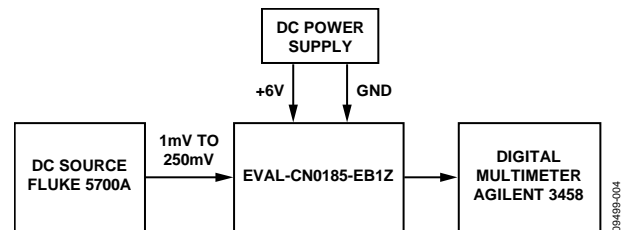


图4. 用于测量线性度的测试设置

为了测量频率响应，按照图5所示连接设备。首先将函数发生器33250A设置为0直流偏移的40 mV峰-峰值正弦波输出，然后利用频谱分析仪4396B扫描100 Hz至500 kHz的信号频率，并记录数据。

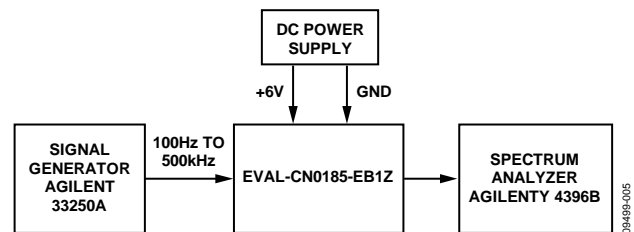


图5. 用于测量频率响应的测试设置

了解详情

CN0185 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0185-DesignSupport>

ADIsimPower™ Design Tool, Analog Devices.

Analog Filter Wizard Design Tool, Analog Devices.

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.

USB 2.0 Specifications, USB Implementers Forum, Inc.

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.

Zumbahlen, Hank. Application Note AN-649, *Using the Analog Devices Active Filter Design Tool*, Analog Devices.

数据手册和评估板

[AD7400A Data Sheet](#)

[AD7400A Evaluation Board](#)

[ADuM5000 Data Sheet](#)

[ADuM5000 Evaluation Board](#)

[AD8646 Data Sheet](#)

[ADP121 Data Sheet](#)

[ADP3301 Data Sheet](#)

[ADG849 Data Sheet](#)

[ADR443 Data Sheet](#)

修订历史

2013年9月—修订版A至修订版B

增加ADR443	通篇更改“连接/参考器件”部分和图1	1
更改“电路描述”部分、“测量”部分和图2.....		2
更改图3		3
更改“数据手册和评估板”部分		4

2013年4月—修订版0至修订版A

更改图1	1
更改图3和常见变化部分	3

2011年4月—修订版0：初始版

(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.