

Circuits from the Lab®
Reference Designs

Circuits from the Lab®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/cn/CN0414。

连接/参考器件

AD4111	具有±10 V和0 mA至20 mA输入的低功耗24位Σ-ΔADC
AD5700-1	集成内部振荡器的低功耗HART调制解调器
ADuM5411	集成DC/DC转换器的四通道隔离器
ADuM3151	3.75 kV、7通道、SPI Isolator数字隔离器，用于SPI接口
ADG704	CMOS、低压、4 Ω、4通道多路复用器
ADP2441	36 V、1 A同步降压DC/DC稳压器

适合PLC/DCS应用的四通道模拟输入，支持开路检测并兼容HART

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0414电路评估板\(EVAL-CN0414-ARDZ\)](#)

[ADICUP3029 Arduino尺寸开发平台\(EVAL-ADICUP3029\)](#)

设计和集成文件

[原理图、布局文件、物料清单、软件](#)

电路功能与优势

图1所示的电路提供了一个完整的完全隔离式高度灵活的4通道模拟输入系统，适合可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS)应用，这些应用要求多路电压输入、支持开路检测并兼容HART，4 mA至20 mA电流输入，具有瞬态过压或过流事件保护功能，可适应最恶劣的工业环境。

每个通道由一个差分或两个单端电压输入和一个电流输入

组成。开路检测的独特性能对所有电压通道都有益，它可检测外部传感器或源信号何时与系统输入断开连接。通过将检测方法嵌入用户应用软件来防止开路情况，无需添加外部电路，这简化了诊断技术，从而降低了系统开发与维护的成本、尺寸和复杂度。

该模拟输入电路采用±5 V、±10 V、0 V至+5 V、0 V至+10 V范围的四路电压以及4 mA至20 mA和0 mA至20 mA范围的四路输入电流。所有输入都折合到隔离接地的输入端子板，并与上游主机电路之间电气隔离。

该模块兼容HART，提供了一个完整的现场通信解决方案，简单易用、低成本且极其可靠。

该电路采用标准24 V总线电源供电，具有板载滤波和保护电路。许多工厂和工业环境采用24 V标准总线为其PLC/DCS供电，因此该模块易于集成到任何现有系统中。该模块也可以使用其他12 V_{DC}到28 V_{DC}的标准电源供电。

Rev. 0

Circuits from the Lab® reference designs 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)

电路说明

模数转换器

该电路的核心是AD4111低功耗、低噪声、24位Σ-Δ型模数转换器(ADC)，集成了±10 V和20 mA模拟前端。

AD4111可采用软件进行配置，提供四个全差分或八个单端电压输入通道，支持开路检测，四个电流输入通道通过内部交叉点多路复用器提供了极大的灵活性。

AD4111具有内部校准寄存器，可进行编程以便为整个输入路径（包括外部信号调理电路）提供失调和增益校正。这

款ADC采用6 mm × 6 mm小型LFCSP封装，因而非常适合空间十分宝贵的应用。

内部时钟和精密2.5 V基准电压源可最大限度地减少外部元件，从而节省更多空间。

两个可编程通用输出引脚（GPO0和GPO1）可控制辅助电路，无需使用来自处理器/控制器的额外控制线。

CN-0414利用GPO0和GPO1来使能/禁用ADG704多路复用器，该复用器可允许单个AD5700-1 HART调制解调器为所有四个电流输入通道提供服务。

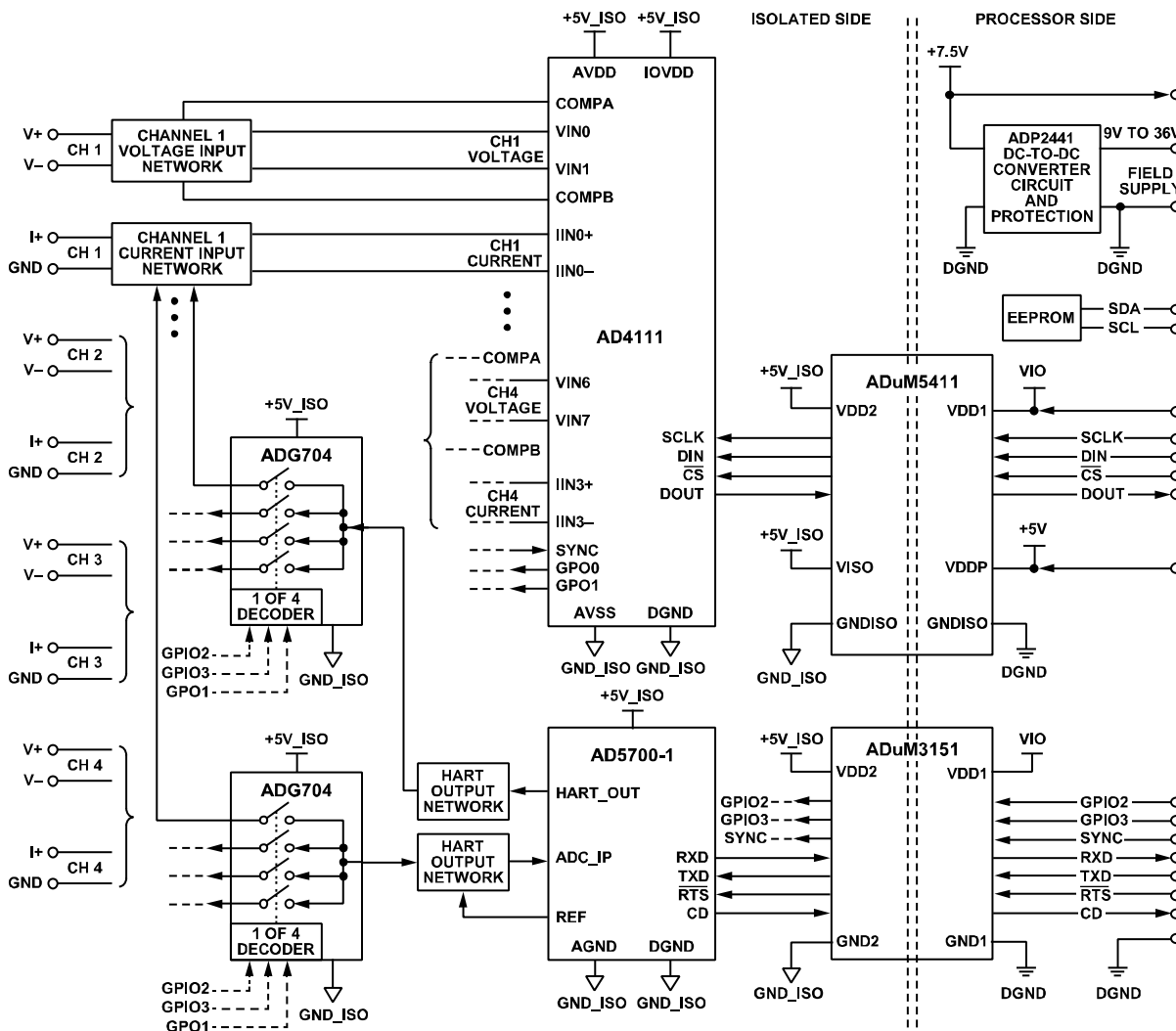


图1. PLC/DCS四通道电压和电流输入前端（简化原理图：未显示所有连接和解耦）

电压输入电路

图2显示了通道1的电压输入网络。

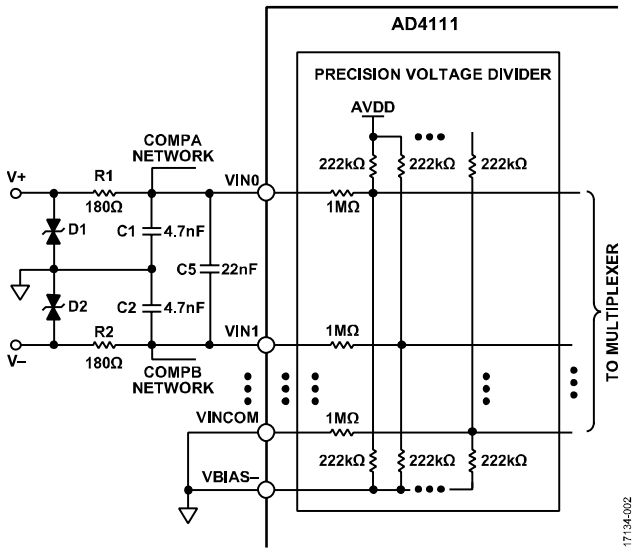


图2. 电压输入等效电路 (简化版)

图2所示电路具有四个差分输入，支持高达±10 V的输入范围。输入阻抗保证最小为1 MΩ。

D1和D2在高压瞬变事件期间保护输入端。

输入共模噪声滤波由 $R1 || R_{IN_ADC} / C1$ 和 $R2 || R_{IN_ADC} / C2$ 提供，约为190 kHz。差分噪声滤波由 $R1 || R_{IN_ADC}$ 、 $R2 || R_{IN_ADC}$ 和C5提供，约为18 kHz。

表1总结了四个电压输入通道的参数和性能。

表1. 电压输入电路参数

参数	值	单位	测试条件/注释
输入阻抗	>1	MΩ	
输入范围	±10	V	
失调误差	±.15	mV	25°C, 未经校准
失调漂移	±7	μV/°C	
增益误差	±0.05	% FS	内部满量程校准, 25°C
增益漂移	±1	ppm/°C	
输入滤波器	18	kHz	差分
	190	kHz	共模

电流输入电路

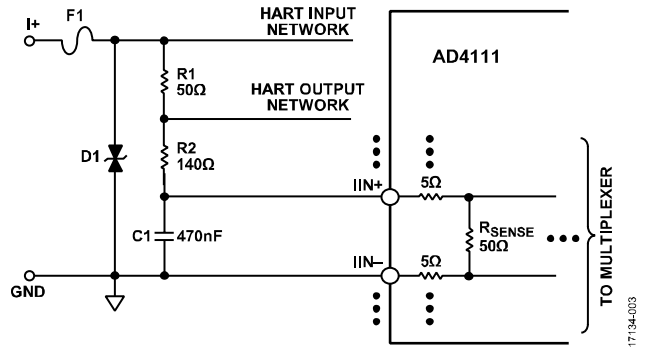


图3. 电流输入等效电路 (简化版)

图3所示电路具有四个电路输入通道，支持0 mA至24 mA的最大输入范围。电路输入阻抗为250 Ω (AD4111内部为60 Ω)，输入以地为基准。

D1和F1在高压或大电流瞬变事件期间保护输入端。

采用一个50 Ω电流检测内置电阻使24 mA输入产生1.2 V电压，处于ADP2441的2.5 V满量程范围内 (使用内部2.5 V基准电压源)。

输入路径允许信号最高达到Σ-Δ型ADC的满量程输入带宽。也可以使用内部sinc滤波器来抑制1.2 kHz和2.2 kHz HART频率。在AD4111产品页面“工具和仿真”部分的链接中提供了AD4111的滤波器模型。请参阅“工具和仿真”部分的“设计工具”，查找抑制HART频率的最佳解决方案。

表2总结了电流输入通道的参数和性能。

表2. 电流输入电路参数

参数	值	单位	测试条件/注释
输入阻抗	250	Ω	以地为基准
失调误差	±2	μA	
失调漂移	±3	nA/°C	
增益误差	±0.02	% FS	内部满量程校准, 25°C
增益漂移	±10	ppm/°C	
输入滤波器	5.6	kHz	

开路检测

开路检测是一种系统级诊断，可检测外部传感器或源信号何时与系统输入断开连接。AD4111具有独特的特性，支持在±10 V电压输入上进行开路检测，同时采用5 V或3.3 V单电源供电，而现有设计则需要大于±10 V的电源。

开路检测特性必须得到用户软件的支持。检测一路输入是否开路的方法是将与该输入相关联的两个通道之间的绝对差值与一个阈值进行比较。建议的阈值为300 mV（折合到输入端）。如果差值大于此阈值，则用户软件必须标记开路。

所提供的软件源代码举例说明了如何真正实现AD4111数据手册中描述的开路检测特性，该特性可在成本、尺寸、复杂度和开发时间方面简化硬件和软件设计。

图4显示了对于单端或差分配置进行通道1开路事件检测所需的电压输入设置。

例如，要检测单端输入配置的开路事件，在本例中为通道0(VIN0)和通道15(VINCOM)，必须使能相应寄存器中的数据、状态、开路检测、输入缓冲器、模式以及基准电压源，然后计算通道0和通道15之间的电压差。如果这两个输入浮空，则会出现大于300 mV的电压差，并标记为开路。否则，如果连接了传感器或信号源，则电压差低于300 mV，不会标记为开路。

对于差分输入配置的开路检测事件，其算法相同，唯一的区别在于需要计算通道1(VIN0)和通道2(VIN1)之间的电压差。

在使用开路检测时，每次测量需要为每个电压输入分配两个通道。还必须将电压输入分配给特定通道对，以确保开路检测测量正常工作。

对于单端输入开路检测测量，必须使用如下通道配对：

- 通道15和通道0
- 通道1和通道2
- 通道3和通道4
- 通道5和通道6
- 通道7和通道8
- 通道9和通道10
- 通道11和通道12
- 通道13和通道14

对于差分输入开路检测测量，必须使用如下通道配对：

- 通道1和通道2
- 通道5和通道6
- 通道9和通道10
- 通道13和通道14

此外，对于差分输入，必须按照如下差分对设置输入以确保正常工作：

- VIN0和VIN1
- VIN2和VIN3
- VIN4和VIN5
- VIN6和VIN7

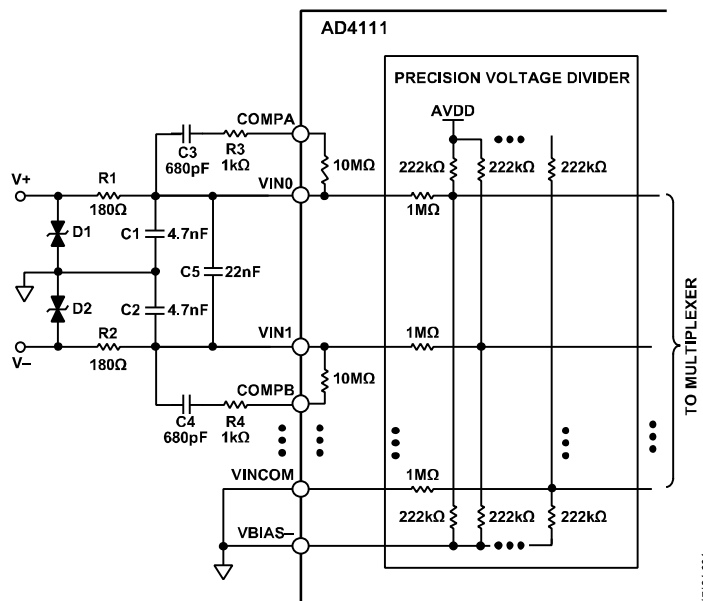


图4. 支持开路检测的电压输入等效电路的完整设置

正确配置AD4111后，必须在用户软件中处理输出数据以实现开路检测。检测一路输入是否开路的方法是将与该输入相关联的两个通道之间的绝对差值与一个阈值进行比较。建议的阈值为300 mV（折合到输入端）。当以双极性配置工作，采用2.5 V基准电压且AVDD = 5 V时，此阈值大致等于ADC的十进制输出码100,000 (0x0186A0)。当以单极性配置工作时，此阈值大致等于输出码200,000 (0x030D40)。

HART输入和输出电路

可寻址远程传感器高速通道(HART)是在两个HART设备之间（通常是一个智能现场设备与一个控制/监控系统）提供数据访问的一个双向通信协议。

HART广泛用于过程和仪表系统，从小型自动化应用到高度复杂的工业应用。HART提供两个同步通信通道，一个为模拟通道，另一个则为数字通道。

4 mA至20 mA信号通过为仪表供电的连线将主要测量值作为电流的模拟值进行传送。然后，主机系统根据HART软件定义的参数将电流值转换为物理值。数字设备信息通过对数字信号的编码，通常采用称为频移键控(FSK)的技术，在与模拟通信相同的4mA至20mA连线上进行传送。数字信号包含来自设备的信息，包括主要测量值、设备状态、诊断以及其他测量值或计算值。

这两个通信通道共同提供一个完整的现场通信解决方案，该解决方案设计简单、易于使用、低成本且极其可靠。欲了解更多信息，请访问HART基金会网站。

AD5700-1是一款超低功耗、小尺寸、兼容HART的调制解调器，与AD4111的电流输入通道配合使用时，可构成兼容HART的4 mA至20 mA接收器解决方案。AD5700-1内置一个集成精密振荡器，可节省更多空间，尤其是在隔离式应用中。

HART功能在四个电流输入通道之间复用。使用两个ADG704多路复用器（图5中的SW1和SW2）可在四个通道之间共享HART输入和输出网络。

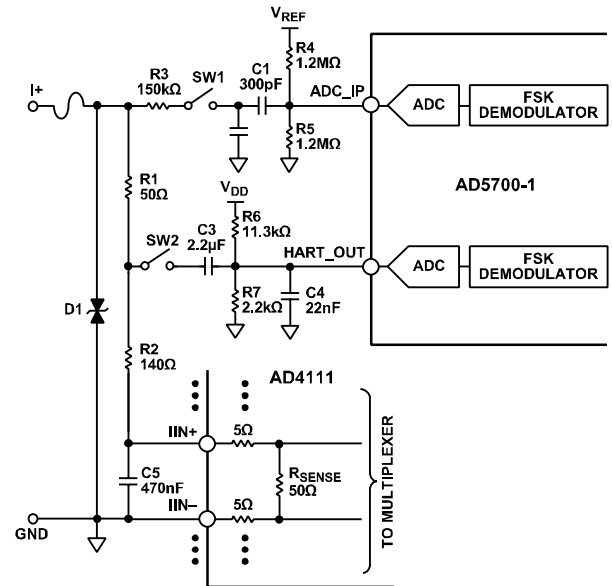


图5. HART输入和输出电路（简化版）

HART输入电路由R3、C1、C2、R4和R5构成的HART带通滤波器组成。该滤波器参见AD5700-1数据手册。

每个通道使用SW1开关将HART输入电路切换到激活的HART通道。

每个通道上都有一个150 kΩ的电阻(R3)，它不仅是HART带通滤波器的一部分，还为SW1开关提供额外的保护。

HART输入直接连接至电流输入端，以确保在AD5700-1的ADC_IP引脚接收到正确的电压电平。

每个通道使用SW2开关将HART输出电路切换到激活的HART通道。电容器C3对HART信号进行耦合。

R1、C3、R6和R7的组合可确保在25 Hz、4 mA至20 mA输入信号期间AD5700-1的HART_OUT引脚电压不会低于GND（表示HART设备可允许的最快压摆率）。

电源电路

评估板由9.5 V至36 V直流电源供电，利用板载开关稳压器向系统提供7.5 V电源，如图6和图7所示。在测试设置中，EVAL-ADICUP3029板的供电电源为7.5V。然后，EVAL-ADICUP3029板为V_{IO}（图7中的IOREF引脚）电压提供3.3 V调节电压，为其余电路提供5 V电压。

ADP2441是36 V降压DC-DC稳压器，采用工业标准24 V电源，具有宽输入电压容差。ADP2441将输入电压降至7.5 V (1 A)用于平台板，并利用Arduino兼容平台通常带有的5 V稳压器为EVAL-CN0414-ARDZ其余部分提供5 V电源。电路在24V电源端还提供了滤波和保护功能。

ADP2441的开关频率很高，因此，即使只用小型电感，输出电压的纹波也非常小。电感的大小需权衡效率和瞬态响

应决定。小型电感会引起较大的电感电流纹波，能提供出色的瞬态响应，但会降低系统效率。由于ADP2441，的开关频率非常高，因此建议使用低磁芯损耗、低电磁干扰(EMI)的屏蔽铁氧体磁芯电感。

在图6所示电路中，外部电阻为162 kΩ时的开关频率约为550 kHz。根据ADP2441数据手册选择33 μH的电感值。该电路通过螺丝端子连接到9.5 V至36 V（通常为12 V至28 V）的现场电源。EARTH端子可以连接到外部大地连接，如若未使用外部大地连接，则可连接到GND端子。

功率电感、压敏电阻、功率二极管和1.1 A保险丝为高压瞬变事件提供额外的输入保护。

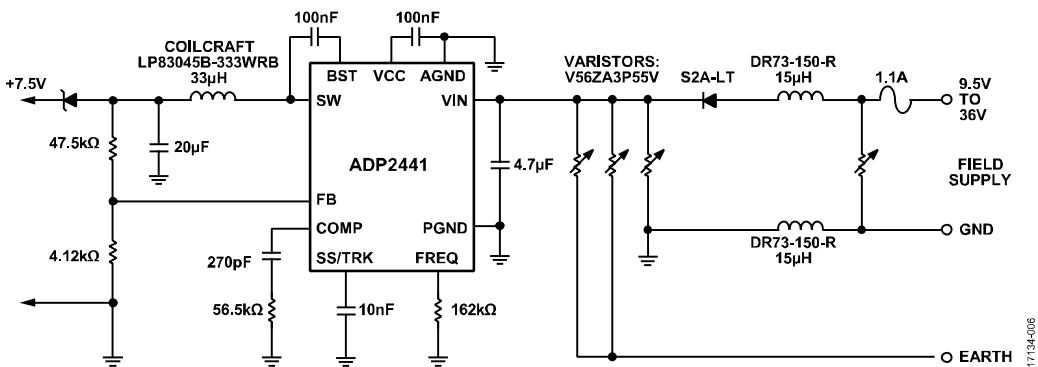


图6. 电源电路（简化原理图：未显示所有连接）

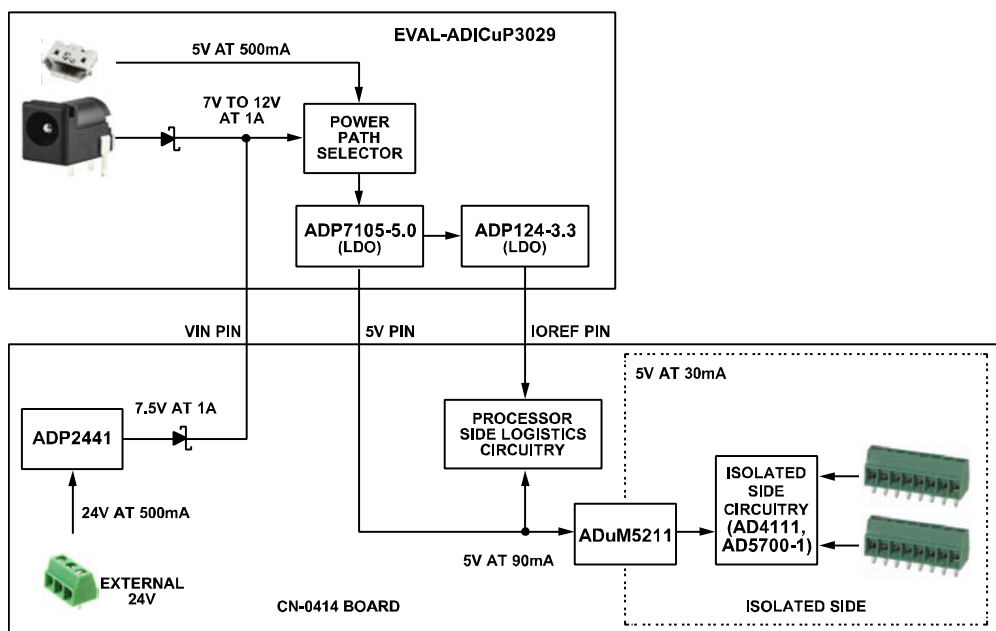


图7. CN-0414电路板的电源树和配置

如图7所示和表3所列，EVAL-CN0414-ARDZ可采用三种供电方式。在任何情况下，EVAL-CN0414-ARDZ均由EVAL-ADICUP3029或任何其他基于Arduino的兼容板供电。

如果有更多电源连接到EVAL-CN0414-ARDZ或EVAL-ADICUP3029，将存在一个优先级。电压值最高的作为电源。

表3. CN-0414电源选项

电源	USB电源 ¹	管式插孔电源 ¹	端子板电源 ¹
ADICUP3029 USB (5 V)	联网	仅连接用于数据联网	仅连接用于数据
ADICUP3029管式插孔 (7 V至12 V)	N/A	联网	N/A
CN-0414 端子板 (12 V至28 V)	N/A	N/A	联网

¹ N/A表示不适用。

隔离

ADuM5411对SPI接口 (SCLK、SDI、SDO、CS) 进行隔离，并通过集成 isoPower® 技术提供 5 V 隔离电源，而ADuM3151 SPI Isolator®则为HART接口和控制信号提供隔离。与分立式变压器解决方案相比，这些隔离器可显著节省空间。欲了解更多信息，请查看《模拟对话》文章“PLC DCS模拟输入模块设计突破通道间隔离和密度障碍”。

噪声测试

在ADICUP3029平台上运行的CN-0414软件包括捕获大量样本的功能。大多数终端程序都能够将接收到的数据记录到文件中。然后可将接收到的数据导入电子表格或其他程序以进行分析。

通过短路每个通道的输入端子，可生成电压输入通道的零差分电压和电流输入通道的接地输入，从而评估系统噪声。在输入短路时收集数据，并根据设定的样本数来计算代码分布和无噪声代码分辨率。

ADC输入的有效值噪声可以通过大量样本的标准偏差。由此可获得每个通道的展频码和无噪声码分辨率，并将数据以柱形统计图显示。图8和图9分别为从通道1的电压输入和电流输入收集的样本数据直方图。

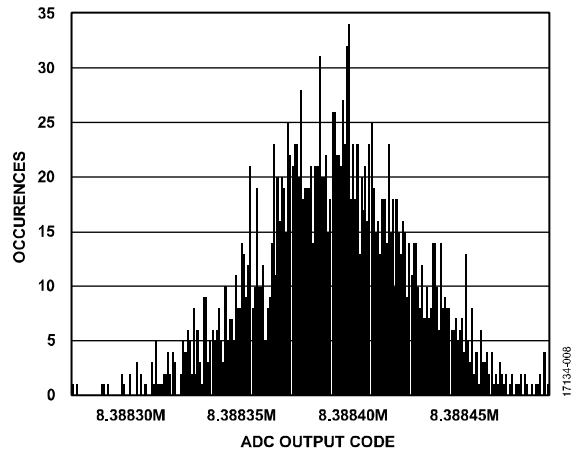


图8. 通道1电压输入、输入短路、31.25 kSPS、Sinc5 + 1滤波器、2000个样本

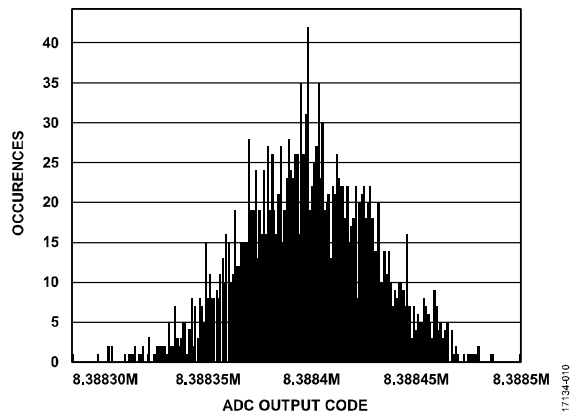


图9. 通道1电流输入、输入短路、31.25 kSPS、Sinc5 + 1滤波器、2000个样本

表5显示了AD4111数据手册中报告的噪声和使用CN-0414
电路板实际确定的噪声之间的噪声性能对比。

表4. 使用Sinc5 + Sinc1滤波器的CN-0414性能, ± 10 V电压输入有效值噪声分辨率与ODR的关系

输出数据速率(sps)	数据手册(μ V)	通道1(μ V)	通道2(μ V)	通道3(μ V)	通道4(μ V)
31,250	106	108.52	122.15	132.7	111.8
15,625	94	96.59	108.42	116.42	95.76
10,417	82	84.3	92.27	86.64	81.91
5208	62	60.95	63.09	65.31	61.7
2597	47	54.98	56.65	55.12	54.26
1007	27	30.08	31.06	30.55	29.37
504	21	21.46	21.65	21.25	20.75
381	17	18.43	18.1	18.36	17.86
200.3	13	13.17	13.54	13.23	13.26
100.2	8	9.6	9.77	9.74	9.94
59.52	7	8.21	8.04	7.52	8.3
49.68	7	6.95	7.08	7.59	7.09
20	4	5.2	5.5	4.95	6.49
16.67	4	5.18	4.92	4.88	4.6
10	3.7	3.65	4.52	5.32	4.58
5	3.4	5.47	5.36	3.76	4.13
2.5	2.4	3.38	3.6	3.77	3.75
1.25	2.3	3.6	5.03	3.27	4.14

表5. 使用Sinc5 + Sinc1的CN-0414性能, 0 mA至20 mA电流输入噪声和分辨率与输出数据速率的关系

输出数据速率(sps)	数据手册(μ V)	通道1(μ V)	通道2(μ V)	通道3(μ V)	通道4(μ V)
31,250	155	188.07	190.23	188.82	183.33
15,625	136	162.33	165.41	164.15	166.78
10,417	113	138.19	145.44	140.42	137.43
5208	84	105.15	103.63	105.9	108.61
2597	75	89.44	91.07	90.6	91.4
1007	43	53.12	51.21	51.23	51.76
504	29	34.4	35.32	36.91	34.39
381	21	30.46	29.61	30.48	30.82
200.3	18	22.18	22.12	22.03	22.47
100.2	13	15.27	15.51	15.4	15.48
59.52	10	11.77	11.72	11.87	11.83
49.68	9	10.83	10.78	11.05	11.04
20	6	6.86	6.8	6.82	7.5
16.67	5.3	6.8	6.71	6.84	6.82
10	4.6	4.88	5.32	5.16	5.33
5	3	3.73	3.74	3.65	3.94
2.5	2.8	2.95	2.83	2.67	3.1
1.25	2.7	2.29	2.13	2.34	2.29

HART测试

HART功能性测试按照HART物理层测试规范(HCF-TEST-2)进行测试。有关HART规范的更多详细信息，可直接从HART通信基金会获得，也可以从[灵活带宽4 mA至20 mA电流输入并轻松实现HART兼容](#)的技术文章中获得。

物理层HART一致性测试可验证波形、载波启动/停止/衰减、载波启动/停止瞬态、静止期间的输出噪声、阻抗测量、噪声灵敏度、载波检测电平、载波检测启动/停止等。

EVAL-CN0414-ARDZ板的完整设计支持包（包括原理图、物料清单和布局）可从www.analog.com/CN0414-DesignSupport下载。

常见版本

如果无需在电压输入模式下进行开路检测，则可以使用AD4112。也可以使用集成度较低的解决方案，如CN-0364所示，它将占用更大的面积但可以优化运行于更高的输入带宽下。

当需要高通道数据速率时，可使用AD7175-2 ADC。AD7175-2支持高达250 kSPS的数据速率，通道开关速率高达50 kSPS。AD7175-2可在250 kSPS数据速率下实现17.2位无噪声分辨率。除了数据速率更高外，AD7175-2的特性与AD7173-8相同。

对于需要超过150 mW隔离电源的应用，可使用ADuM5400系列（包括ADuM5400、ADuM5401、ADuM5402、ADuM5403和ADuM5404）或ADuM3470系列（包括ADuM3470、ADuM3471、ADuM3472、ADuM3473和ADuM3474）。ADuM5400系列采用isoPower技术提供高达500 mW的隔离电源。ADuM3470系列可驱动外部分立式变压器，以提供2 W最大功率，效率高达70%。

电路评估与测试

图10中电路使用EVAL-CN0414-ARDZ和EVAL-ADICUP3029评估板。

CN-0414软件与EVAL-ADICUP3029进行通信，并可配置从EVAL-CN0414-ARDZ评估板捕获数据。

所提供的软件面向EVAL-ADICUP3029平台，但其设计也可轻松移植到其他微控制器平台。

移植到其他平台时，请务必全面检查硬件兼容性，包括电压电平和功能。

设备要求

- 具有USB端口和Windows® 7（32位）或更高版本的PC
- 串行终端程序，如Tera Term或Putty
- EVAL-CN0414-ARDZ电路评估板
- EVAL-ADICUP3029评估板或任何Arduino兼容板
- Micro USB电缆
- CN-0414软件或预建的hex文件
- 电源：9.5 V至36 V dc（1 A）
- 精密电压和电流源（用于输入）

开始使用

安装CN-0414软件。然后，按照https://wiki.analog.com/resources/eval/user-guides/eval-adicup3029/tools/cces_user_guide的wiki说明进行安装并使用软件。有关设置的更多信息和完整细节，请参阅CN-0414用户指南。

功能框图

图10所示为测试设置的功能框图。

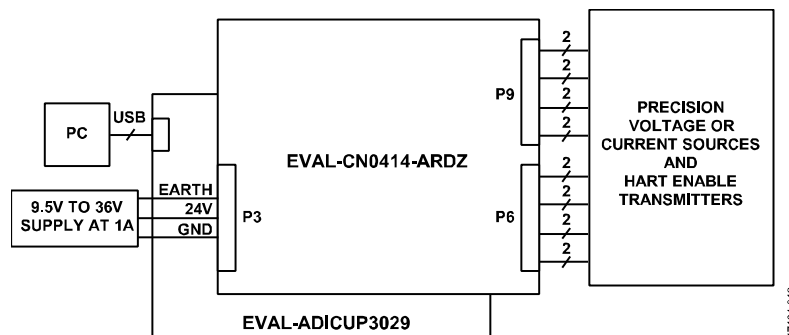


图10. 测试设置功能框图

设置

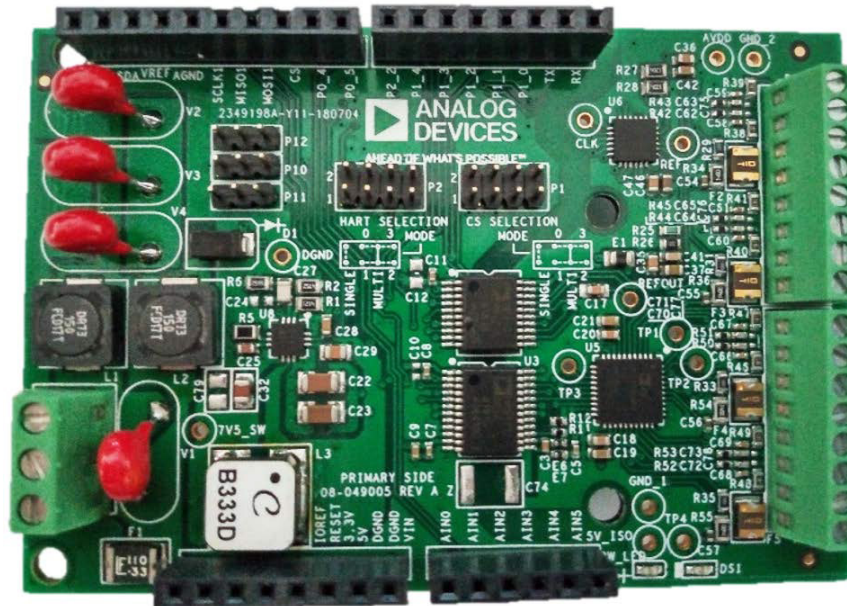


图11. EVAL-CN0414-ARDZ评估板实物照片

CN-0414软件和EVAL-ADICUP3029板允许使用PC进行数据捕获和分析。

图11显示了EVAL-CN0414-ARDZ评估板的实物照片。

以下是基本设置步骤：

1. 如果尚未安装跳线，请将盒中提供的跳线按照图12所示的相同配置进行安装。



图12. EVAL-CN0414-ARDZ默认跳线位置/连接

2. 将EVAL-CN0414-ARDZ评估板按图13所示的相同配置连接到EVAL-ADICUP3029。

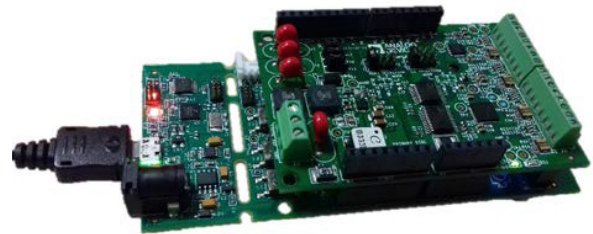


图13. 将EVAL-CN0414-ARDZ连接到EVAL-ADICUP3029

3. 连接信号源。精密电压和电流源可用作模拟前端的输入，从而评估系统性能。在图14中，将恒流源连接到通道1的电流输入上，电压源连接到通道4的电压输入上以测量差分电压。

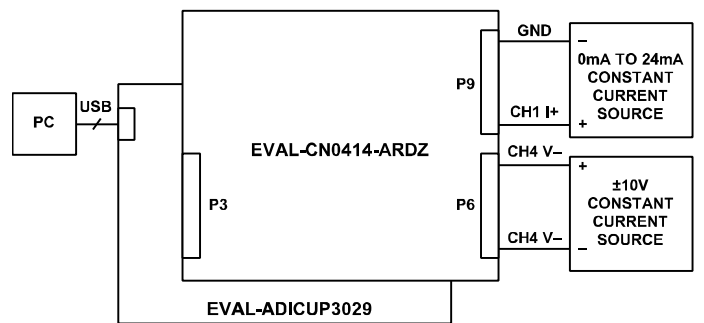


图14. 模拟输入设置示例

4. 连接HART信号源。CN-0267电路（具有HART接口的完整4 mA至20 mA环路供电现场仪表）可以如图15所示进行连接，轻松实现HART物理层功能测

试。CN-0267硬件响应CN-0414软件所提供的HART命令。

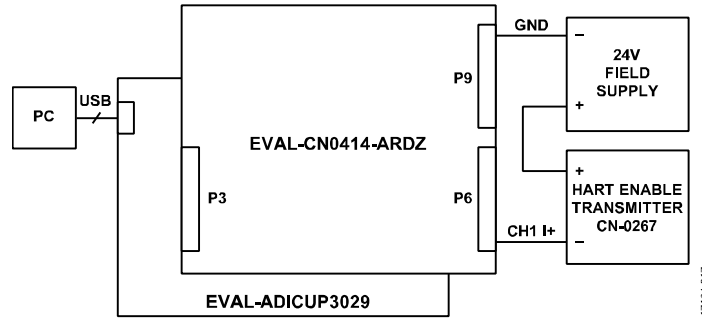


图15. HART设置示例

17134-017

了解更多

CN-0414设计支持包。

电路笔记CN-0267：*具有HART接口的完整4 mA至20 mA环路供电现场仪表*，ADI公司。

电路笔记CN-0270：*完整4 mA至20 mA HART解决方案*，ADI公司。

电路笔记CN-0278：*具有额外电压输出能力的完整4 mA至20 mA HART解决方案*，ADI公司。

电路笔记CN-0321：*具有HART的完全隔离、单通道电压、4 mA至20 mA输出*，ADI公司。

电路笔记CN-0328：*完全隔离式4通道多路复用HART模拟输出电路*，ADI公司。

Mark Cantrell，*isoPower*器件的辐射控制建议，应用笔记AN-0971，ADI公司。

数据手册和评估板

CN-0414电路评估板(EVAL-CN0414-ARDZ)

ADuCM3029开发平台(EVAL-ADICUP3029)

AD4111数据手册

AD5700-1数据手册

ADuM3151数据手册

ADuM5411数据手册

ADG704数据手册

ADP2441数据手册

修订历史

2019年3月—修订版0：初始版

(Continued from first page) Circuits from the Lab reference designs 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 reference designs 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 reference designs. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab reference designs 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 reference designs at any time without notice but is under no obligation to do so.

©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN17134sc-0-3/19(0)



www.analog.com/cn