

**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/CN0321.

连接/参考器件

AD5422	16位电流和电压输出DAC
AD5700-1	集成内部RC振荡器的低功耗HART调制解调器
ADP2441	36 V、1 A同步降压DC-DC稳压器
ADuM3471	集成变压驱动器和PWM控制器的四通道隔离器
ADuM3482	3.75 kV rms小型四通道数字隔离器

具有HART的完全隔离、单通道电压、4 mA至20 mA输出

评估和设计支持

电路评估板

[CN0321评估板\(EVAL-CN0321-SDPZ\)](#)

[系统演示平台\(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

设计和文件汇总

[原理图、布局文件、物料清单](#)

电路功能与优势

该电路提供一款完整的、完全隔离、模拟输出通道，适合需要标准4 mA至20 mA HART^{®1}兼容型电流输出和单极性/双极性输出电压范围的可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS)模块。它为通道间隔离PLC/DCS输出模块或其他所有需要完全隔离式模拟输出的工业应用提供了灵活的构建块。电路在模拟输出端还提供了外部保护功能。

[AD5422](#) 16位数模转换器(DAC)可通过软件配置，提供全部必须的电流和电压输出。

[AD5700-1](#)是业界功耗最低、尺寸最小的HART兼容型IC调制解调器，与[AD5422](#)配合使用，组成完整的HART兼容型4 mA至20 mA解决方案。[AD5700-1](#)集成内部精密振荡器，可额外节省空间，尤其在通道间隔离应用中。

PLC/DCS解决方案必须与本地系统控制器隔离，使之免受接地环路影响，同时确保不受外部事件影响。传统解决方案利用分立IC提供电源和数字隔离。当需要多通道隔离时，分立电源解决方案的成本和空间会变成一个大大的缺点。基于光隔离器的解决方案通常具有合理的输出调节，但需要额外的外部元件，因而会使电路板面积增大。电源模块常常体积庞大，而且输出调节可能不佳。图1中的电路使用[ADuM347x](#)系列隔离器和电源调节电路，以及相应的反馈隔离。使用外部变压器将功率传输到隔离栅的另一端。

[ADuM3482](#)为[AD5700-1](#)提供UART信号隔离。

[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。它可将电压降为5 V，为所有控制器侧电路供电。该电路还在24 V电源端集成了标准外部保护，同时还可提供+36 V至-28 V的直流过压保护。

¹ HART是HART通信基金会的注册商标。

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 laboratory 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)

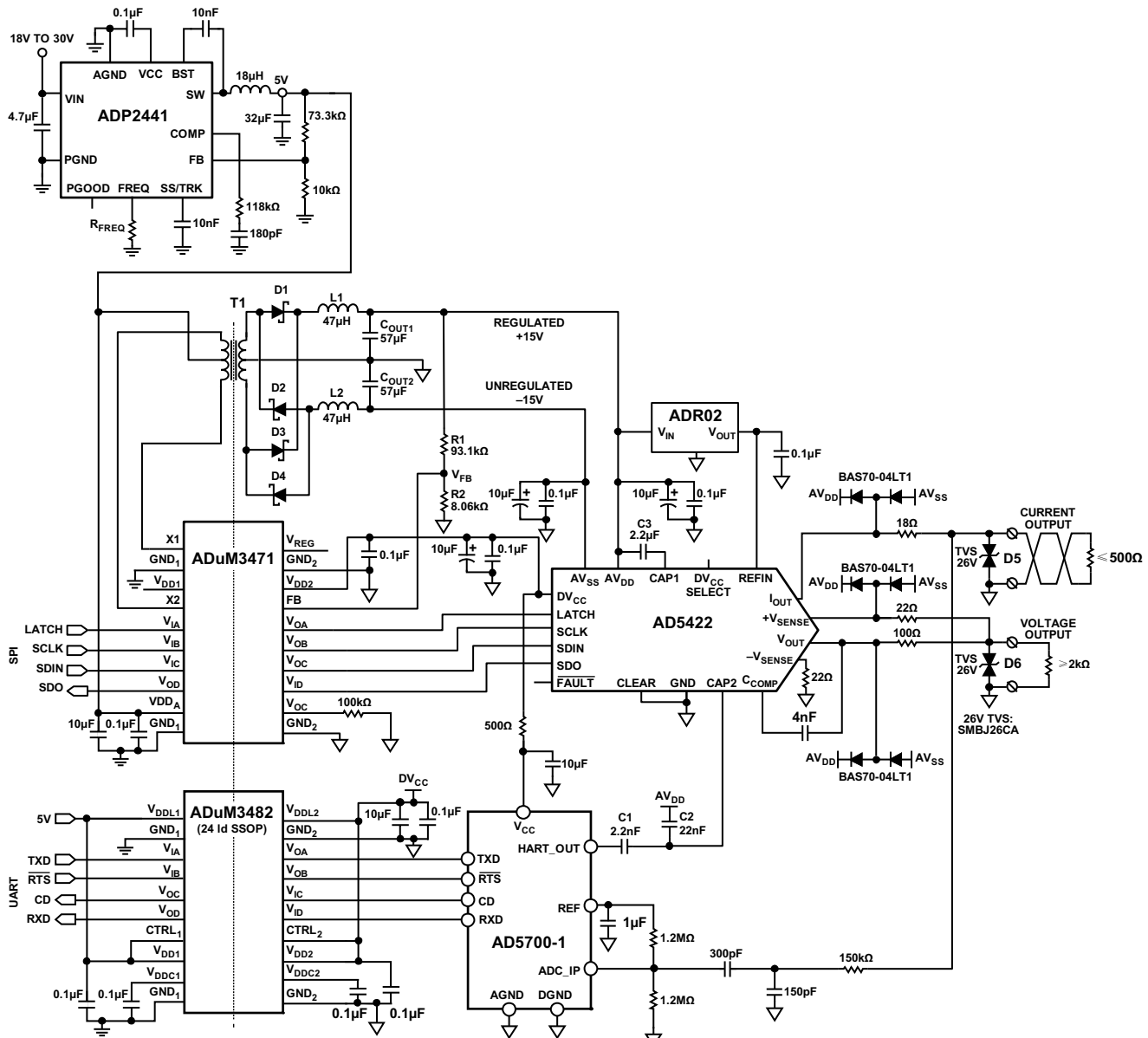


图1. 功能框图(原理示意图: 未显示所有连接和去耦)

电路描述

模拟输出

对于工业控制模块，标准模拟输出电压和电流范围包括 $\pm 5\text{ V}$ 、 $\pm 10\text{ V}$ 、 0 V 至 $+5\text{ V}$ 、 0 V 至 $+10\text{ V}$ 、 $+4\text{ mA}$ 至 $+20\text{ mA}$ 和 0 mA 至 $+20\text{ mA}$ 。AD5422 是一款精密的、全集成 16 位 DAC，内置可编程电流源和可编程电压输出，设计用于满足工业过程控制应用的需要。

AD5422 提供前面列出的所有输出范围，电流输出范围和电压输出范围分别以独立引脚提供。针对所有电压范围提供 10% 超量程功能，并且针对电流输出提供 0 mA 至 20 mA 超量程。模拟输出受短路和开路保护。

AD5422 具有一个片上 $10\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 基准电压源。为了在额定温度范围内达到更高的性能，该设计使用了 ADR02 基准电压源。ADR02 是一款 5 V 精密基准电压源，允许高达 36 V 的输入电压。其最大精度误差为 0.05% ，最大温度漂移为 $3\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。该漂移在工业温度范围内会贡献大约 0.02% 误差。

AD5422 支持以内部或外部精密电流设置电阻作为电流输出电路。本设计使用内部电流检测电阻选项，但通过使用精密外部 $15\text{ k}\Omega$ 电阻，可达到更高的精度。

通过浮空AD5422的DV_{CC} SELECT引脚，内部4.5 V电源可连接至DV_{CC}引脚，用于AD5700-1的数字电源和隔离器的现场端。也可使用ADuM3471上的5 V输出型低压差(LDO)稳压器。LDO提供更紧凑的5 V稳压供电轨；但由于ADuM3471稳压器输入引脚上的绝对最大额定值，它不允许高于20 V的直流过压。

EVAL-CN0321-SDPZ硬件的输出连接器配置见表1。

表1.输出引脚

引脚名称	输出类型
OUT2	电压输出范围
GND	接地
OUT1	电流输出范围

HART兼容性

AD5700-1与AD5422搭配使用，组成完整的HART兼容型4 mA至20 mA解决方案。AD5700-1是0.5%精密内部振荡器，可极大节省在通道间隔离的应用中的板上空间；这类应用原本需要针对每通道使用时钟晶体。晶体通常比AD5700-1 IC本身要大；因此，内部振荡器节省下来的面积空间是巨大的。

HART调制解调器输出通过C1和C2衰减，并通过CAP2引脚交流耦合至AD5422。其他信息参见AN-1065应用笔记。电路笔记CN-0278描述了一种使用R_{SET}引脚的替代HART耦合方式，具有更高的电源抑制性能，但需要使用一个外部精确电流设置电阻。

隔离电源

AD5422需要的电压输出裕量最大值为0.8 V，并且电流输出需要最大值为2.5 V的裕量。因此，需要一个大于12.5 V的电源，以便通过500 Ω负载输出20 mA电流。在本设计中，最小电源电压(过温)不超过13.5 V，允许具有一定裕量。

ADuM347x为四通道数字隔离器，集成脉冲宽度调制(PWM)控制器和低阻抗变压驱动器(X1和X2)。隔离式DC/DC转换器仅需要以下额外器件：变压器和简单的全波二极管整流器。采用5.0 V或3.3 V输入电源时，器件最多可提供2 W的调节隔离功率，因而无需另外使用隔离式DC-DC转换器。

iCoupler®芯片级变压器技术用于隔离逻辑信号；集成的变压器驱动器带隔离副边控制功能，可以提高隔离式DC/DC转换器的效率。内部振荡器频率可以在200 kHz至1 MHz范围内调整，由R_{OC}的值决定。当R_{OC} = 100 kΩ时，开关频率为500 kHz。

ADuM3471调节来自15 V正电源。调节反馈来自分压器网络(R1和R2)。电阻根据以下要求选择：当输出电压为15 V时，反馈电压为1.25 V。反馈电压与ADuM3471内部反馈设定电压1.25 V相比较。调节通过改变驱动外部变压器的PWM信号的占空比来实现。

负电源的调节不太严格，且空载时可能低至-26.4 V。因此，在负电源处放置一个25 V齐纳二极管。轻载时，二极管从电源获取小电流，但可确保其箝位在25 V左右。

另一种方法是使用匝数比为4:1的隔离式变压器；当其空载时，负供电轨不会过低。在要求较高顺从电压或极低功耗的应用中，应当考虑其它电源设计。

输入功率

图1中的电路采用24 V电源供电。ADP2441用于将24 V降压为5 V，为所有控制器侧电路供电。

ADP2441可接受最高36 V的电压，并且可更加轻松地达到可靠的电源输入瞬变保护。

ADP2441还具有其他各种安全性/可靠性功能，如欠压闭锁(UVLO)、精确使能特性、电源良好引脚和过流限值保护。对于24 V输入和5 V输出，它能达到最高90%效率。

隔离

ADuM3471电源隔离电路包括四个完全隔离的电压通道，隔离额定值为2.5 kV。这四个通道用于隔离AD5422的四条数据线路(SCLK、LATCH、SDIN和SDO)。SDO线路隔离对于电路运行而言并非必要，但允许访问诊断和故障特性，以及寄存器回读。

ADuM3482是一款3.75 kV四通道数字隔离器，采用小型20引脚SSOP封装(7.2 mm × 7.8 mm)。ADuM3482内核工作电压范围为3.0 V至5.5 V，而I/O电源范围为1.8 V至5.5 V。这些器件可用于直接与1.8 V逻辑器件接口。该隔离器用于隔离AD5700-1 HART调制解调器的UART信号。

有关iCoupler产品的更多信息，请访问www.analog.com/icouplers。

直流过压保护

图1中的电路允许对持续的直流电压+36 V和-28 V进行过压保护。这意味着，在直流电源线路意外连接输出时，电路受到保护。

在过压条件中，电源通过外部保护二极管拉高或拉低。这些二极管和输出端之间的电阻限制了峰值电流。

输出端的最大/最小电压受限于任意连接输出或电源电路的击穿电压。AD5422的电流和电压输出可耐受+48 V至最低-28 V。AV_{SS}输入可耐受-28 V，AV_{DD}可耐受+48 V。ADR02基准电压源输入可耐受36 V。AD5700-1的ADC_IP引脚受150 kΩ电阻保护，该电阻限制所有电流，后接一个300 pF隔直电容。在直流过压条件下，勿将其他IC暴露在较高的电压下。

瞬变电压保护

AD5422内置ESD保护二极管，可防止正常操作造成的损害。但是，工业控制环境会使I/O电路遭受高得多的瞬变。为了防止过高瞬态电压影响AD5422，可能需要外部功率二极管和浪涌电流限制电阻，如图1所示。

对电流输出路径上电阻值的制约条件(图1中的18 Ω)是：正常工作时，I_{OUT}输出电平必须保持在其顺从电压限值内，即AV_{DD} - 2.5 V，并且两个保护二极管和电阻必须具有适当的额定功率。在18 Ω下，对于4 mA至20 mA输出，引脚上的电压限值会降低 $V = I_{MAX} \times R = 0.36 \text{ V}$ 。

对电压输出路径上电阻值的制约条件(图1中的100 Ω)是：整个输出电压范围内必须具有0.8 V裕量。电阻效应可通过+V_{SENSE}输入降至最低。如图1所示，+V_{SENSE}输入受22 Ω电阻保护。相应地，-V_{SENSE}路径上还有一个22 Ω电阻。这两个22 Ω电阻会导致绝对增益误差，该误差可能需要在室温下加以校准；产生该误差的原因是AD5422的内部反馈电路阻抗仅为70 kΩ。在AD5422的输出端(而非V_{OUT}引脚)检测电压的优势是，V_{OUT}引脚的保护电阻两端具有可变电压，具体取决于所获取的负载电流。在输出端检测可避开此误差源。

还可以通过瞬态电压抑制器(TVS)或瞬态吸收器实现进一步的保护。这些元件包括单向和双向抑制器，可提供各种各样的隔离和击穿电压额定值。TVS应尽量采用最低击穿电压定标，同时在电流正常输出的范围内不导通。如前所述，建议保护所有远程连接节点。

常见变化

经验证，采用图中所示的元件值，该电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。如果应用只需要4 mA至20 mA电流输出，则可以使用单电源方案。这种情况下，AD5422的正AV_{DD}电源可以达到比如24 V，而输出顺从电压为24 V - 2.5 V = 21.5 V。输出电流为20 mA时，可以驱动高达1 kΩ的负载电阻。

如果应用不需要16位分辨率，可以使用12位产品AD5412。对于仅需电流输出的应用，可以使用AD5420(16位)和AD5410(12位)。

对于需要在同一个引脚输出电压和电流的应用，参见电路笔记CN-0278中的技巧。

若不需要过压保护，则可以采用数值较低的最大电源电压，如ADR4550或ADR445。

ADuM347x隔离器(ADUM3470、ADuM3471、ADuM3472、ADuM3473和ADuM3474)提供四个独立的隔离通道，支持多种输入/输出通道配置。这些器件还提供1 Mbps(A级)或25 Mbps(C级)的最大数据速率。

可使用AD5700调制解调器，而非AD5700-1；但需要使用外部晶体或CMOS时钟。

电路评估与测试

设备要求

需要使用以下设备：

- EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP-B)
- EVAL-CN0321-SDPZ评估板和软件
- PC(Windows® 32位或64位)
- 24 V电源
- 精密电压表，如Agilent 34410A
- 数字测试滤波器(如HCF_TOOL-31，可从HART通信基金会获得)
- 500 Ω精密负载电阻
- Tektronix DS1012B示波器或等同产品

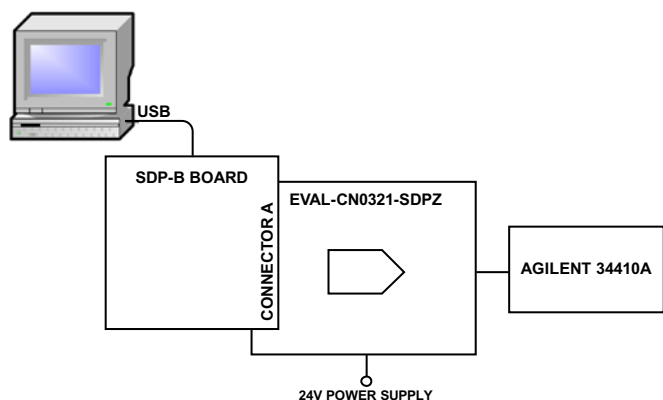


图2. 测试设置功能框图

测试设置功能框图

测试设置的框图如图2所示。

软件安装

评估套件包括一张光盘，其中含有自安装软件。该软件兼容Windows XP (SP2)、Vista(32位或64位)，或Windows 7(32位或64位)。如果安装文件未自动运行，可以运行光盘中的setup.exe文件。

请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

1. 使用附带的电缆，通过PC的USB端口连接EVAL-SDP-CB1Z。
2. 连接EVAL-CN0321-SDPZ评估板至连接器A。若使用了连接器B，则EVAL-SDP-CB1Z的UART将无法正常工作。
3. 对J1连接器施加24 V，可上电EVAL-CN0321-SDPZ。
4. 启动EVAL-CN0321-SDPZ软件，然后确认出现的所有对话框。这样就完成了安装。

软件

软件主窗口如图3所示。点击Advanced可提供配置AD5422的更多选项。

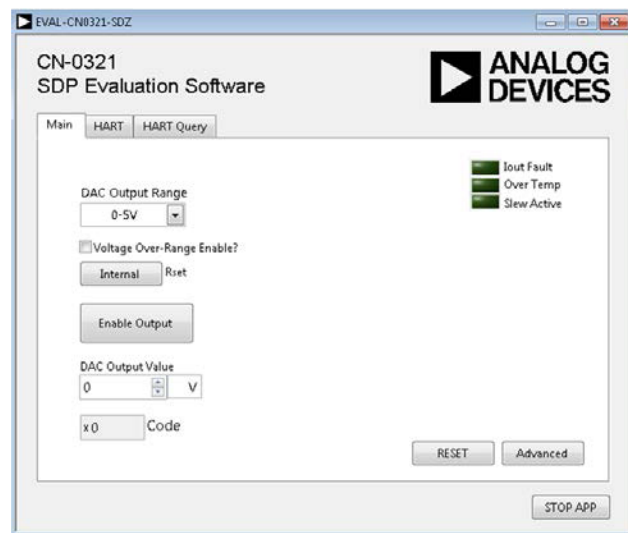


图3. 软件主窗口

对于HART通信而言，确保开启了电流输出范围，然后选择HART页面。在HART页面上，数据可输入Command命令框，然后发送4 mA至20 mA环路；软件可以设为轮询4 mA至20 mA环路上的任意数据。也可选择HART Query页面，查询所连接HART兼容型执行器的器件地址和器件类型。

绝对精度性能

在电流输出模式下，AD5422使用内部 R_{SET} 的总不可调整误差(TUE)规格为0.08%FSR(典型值，25°C)。

ADR02基准电压源(B级)的总误差为0.06%最大值(25°C)。

表2显示电路的测量电流输出误差(4 mA至20 mA范围)。

表2 测量电流输出误差(4mA至20mA范围)

代码(十六进制)	输出端电流(mA)	误差(%FSR)
0000	3.992	-0.049
4000	7.995	-0.034
8000	11.997	-0.018
B000	16.000	+0.001
FFFF	20.003	+0.020

结果位于预期值范围内。

类似地，对于电压输出模式，AD5422的TUE为0.01%FSR(典型值，25°C)。

ADR02基准电压源(B级)的误差为0.06%最大值(25°C)。

表3显示±10 V输出范围内，电路的测量电压输出误差。

表3 测量电压输出误差(±10V范围)

代码(十六进制)	输出端电压(V)	误差(%FSR)
0000	-10.010	-0.050
4000	-5.005	-0.023
8000	+0.001	+0.003
B000	+5.006	+0.031
FFFF	+10.011	+0.057

表3中的电压输出包括AD5422电路 $+V_{SENSE}$ 和 $-V_{SENSE}$ 输入上的22 Ω 保护电阻误差。 $+V_{SENSE}$ 和 $-V_{SENSE}$ 输入内部连接至数值约为70 k Ω 的反馈电阻。额外的22 Ω 电阻从外部加入约为22 k Ω /70 k Ω (或0.031%)的增益误差。该初始误差可通过校准消除。

积分非线性(INL)性能

AD5422的INL在线性电源和隔离式DC/DC开关电源两种情况下进行测试，确保系统精度不会因为开关电源而有所损失。图4显示的是线性电源以及开关电源下的INL。与线性电源相比，使用开关电源时性能没有明显损失。

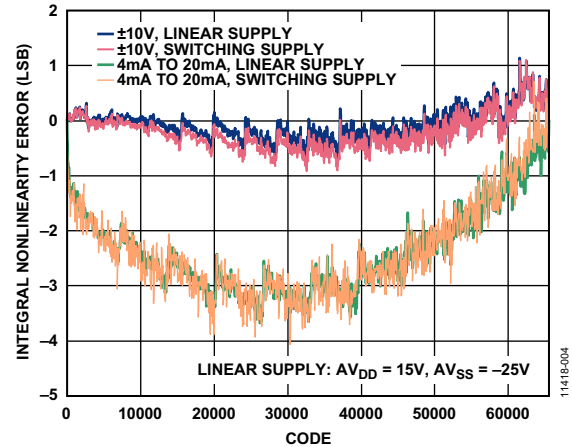


图4. 使用线性电源和开关电源的电路实测INL

此外还测试并比较了线性电源和开关电源两种情况下一定时间内的平均输出噪声，如图5所示。注意，一定时间内测得的输出噪声存在细微的偏差。这一偏差不超过1 LSB，可能由略为不同的测量设置引入，或两次测量间隔期间的基准电压漂移引入。

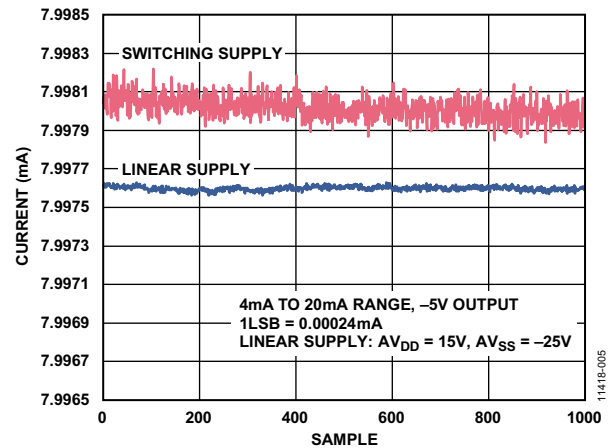


图5. 实测平均DAC输出噪声，1000次采样，电表设为NPLC = 1

HART兼容性

图1中的电路要与HART兼容，必须符合HART物理层规范。HART规范文档中包含了众多物理层规范。为了评估硬件性能，采用静默期间的输出噪声和模拟变化率测试。

静默期间的输出噪声测试

当HART设备没有进行传输(静默)时, 噪声不应耦合至网络上。噪声过高可能会干扰设备本身或网络上的其它设备对HART信号的接收。

对于在环路中的500 Ω负载上测得的电压噪声, 其包含的宽带噪声和HART扩展频带中的相关噪声总和不能超过2.2 mV rms。此外, HART扩展频带外的噪声不应超过138 mV rms。

500 Ω负载上的噪声采用真均方根测量仪测得。此噪声作为带外噪声直接进行测量, 作为带内噪声通过HCF_TOOL-31滤波器测量。还需要使用示波器来检查噪声波形。

图6显示捕获的噪声波形, 结果总结在表4中。

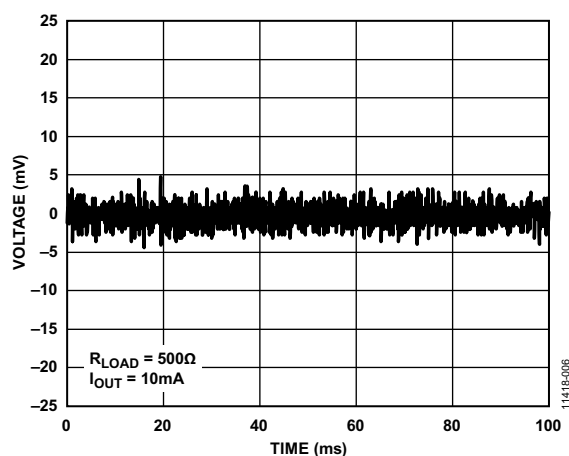


图6. 静默波形下的输出噪声

表4. 静默期间的输出噪声

输出噪声	测得值(mV)	
扩展频率范围以外	0.6	<138
扩展频率范围以内	0.126	<2.2

模拟变化率

模拟变化率测试可确保器件调节模拟输出电流时, 模拟电流的最大变化率不会干扰HART通信。电流的阶跃变化会扰乱HART信号传输。

最差情况下的模拟输出电流变化一定不能产生高于15 mV峰值电压的干扰, 此数值在HART扩展频带下, 通过对500 Ω负载进行测量得到。

AD5422 DAC和输出驱动器相对较快。因此, 为了满足所需的系统规格, 输出电流变化受限于使用AD5422 CAP1和CAP2引脚电容时的硬件压摆率限值, 以及AD5422的数字压摆率控制特性。详见AN-1065应用笔记。

使用一个示波器执行该测试, 并通过HCF_TOOL-31滤波器耦合至500 Ω负载。

结果如图7所示。4 mA至20 mA输出线路(见图7中的蓝线)显示4 mA和20 mA之间的周期性步进, 直接在500 Ω负载上测得。滤波器放大10倍的输出(见图7中的红线)是HCF_TOOL-31滤波器输出端捕获的信号, 将其放大10倍, 并处于150 mV峰值限制之内。

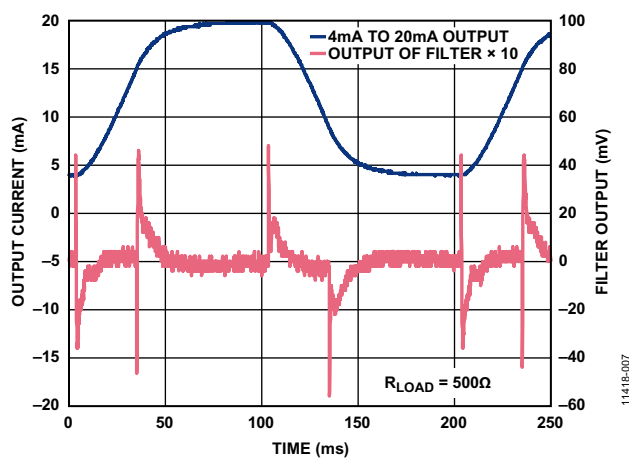


图7. 模拟变化率波形

CN-0321

了解详情

CN-0321 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0321-DesignSupport>

CN-0270, Complete 4 mA to 20 mA HART Solution

CN-0278, *Complete 4 mA to 20 mA HART Solution with Additional Voltage Output Capability*

Maurice Egan, *Configuring the AD5420 for HART Communication Compliance*, Application Note AN-1065, Analog Devices.

HART® Communication Foundation

数据手册和评估板

[AD5422 Data Sheet](#)

[AD5700-1 Data Sheet](#)

[ADP2441 Data Sheet](#)

[ADuM3471 Data Sheet](#)

[ADuM3482 Data Sheet](#)

[System Demonstration Platform \(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

(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.

©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11418sc-0-4/13(0)

