

16 位 8 通道单电源隔离式数据采集系统设计

连接/参考器件

AD7689 16 位、8 通道、250kSPSPuISARADC
 AD8608 精密 CMOS 轨到轨 I/O 四路运算放大器
 AD8605 精密 CMOS 轨到轨 I/O 运算放大器
 ADuM3471 PWM 控制器和变压器驱动器
 ADP3336500mAAnyCAP 可调低压差稳压器
 评估和设计支持

电路评估板

CN-0254 电路评估板(EVAL-CN0254-SDPZ)
 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

设计和集成文件

原理图、布局文件和材料清单

电路功能与优势

图 1 所示电路是高性价比、高度集成的 16 位、250kSPS、8 通道数据采集系统，可对 $\pm 10V$ 工业级信号进行数字化转换。该电路还可在测量电路与主机控制器之间提供 2500Vrms 隔离，整个电路采用隔离式 PWM 控制 5V 单电源供电。

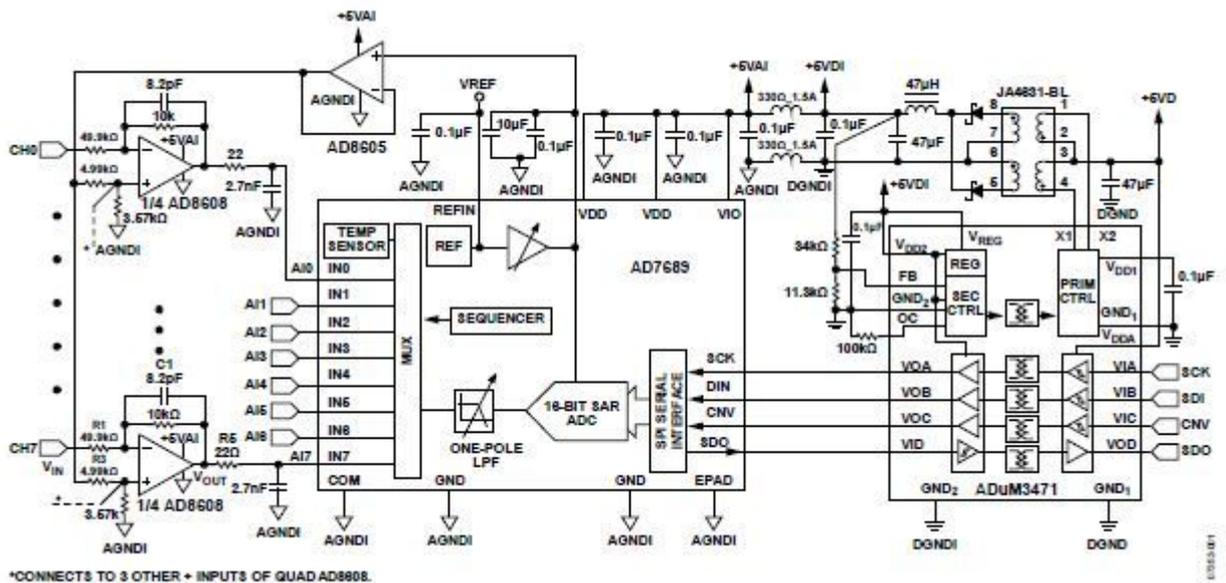


图 1.16 位、250KSPS、8 通道数据采集系统(原理示意图：未显示所有连接和去耦)

电路描述

此电路配合 16 位、8 通道、250kSPSPuISARADCAD7689 和两个低成本精密四通道运算放大器 AD8608 使用，在数据采集系统内提供所有信号调理和数字化功能。另外仅需要 AD8605 运算放大器，用于缓冲 AD7689 的基准电压。

AD8605 和 AD8608 分别是低成本单通道和四通道轨到轨输入和输出 CMOS 放大器。AD8608 可对±10V 输入信号进行反转、电平转换和衰减，以便匹配 ADC 的输入范围，当使用+4.096V 基准电压源和+5V 单电源时，输入范围为 0V 至+4.096V。

AD8605 用作外部基准电压缓冲器，为电平转换提供足够的驱动能力。AD8605 和 AD8608 具有极低的失调电压、低输入电压和电流噪声以及宽信号带宽，因此适合各种应用。AD8608 的低电流和电压噪声可确保电阻噪声是高输入阻抗输出噪声的主要因素。本电路中的输入阻抗(等于 R1)为 50kΩ。

16 位、8 通道、250kSPSPuISARADCAD7689 内置多通道低功耗数据采集系统所需的所有元件。它包括一个 16 位 SARADC、一个 8 通道低串扰多路复用器、一个低漂移基准电压源和缓冲器、一个温度传感器、一个可选单极点滤波器和一个通道序列器。序列器可用于连续扫描通道，且不需要微控制器或 FPGA 来控制通道开关。AD7689 采用 20 引脚、4mmx4mmLFCSP 小尺寸封装，因此成本和印刷电路板(PCB)面积降至最低。工作温度范围为-40°C 至+85°C。5V 电源、250kSPS 时的功耗为 12.5mW(典型值)。

ADuM3471 为四通道数字隔离器，集成 PWM 控制器和变压器驱动器用以驱动隔离式 DC/DC 转换器。ADuM3471 为电路提供 5V、2W 隔离电源，并在 SPI 接口隔离数字信号。

模拟前端设计

在过程控制和工业自动化系统中，典型的信号电平最高可达±10V。图 1 电路使用具有衰减和电平转换功能的反相放大器，将±10V 信号转换为适合 ADC 范围的信号。

电路公式如下：

$$V_{OUT} = -\frac{R2}{R1} \times V_{IN} + \left(\frac{R1+R2}{R1} \right) \times \left(\frac{R4}{R3+R4} \right) \times V_{REF} \quad (1)$$

前端信号增益(-R2/R1)设置为-0.2，使得到达 ADC 的信号范围为 4V 峰峰值。这与 0V 至 4.096V 的输入范围(等于基准电压 VREF)相适合。

对于 0V 输入信号，运算放大器的输出应位于中间电平或 0.5VREF。

$$\left(\frac{R1+R2}{R1} \right) \times \left(\frac{R4}{R3+R4} \right) = 0.5 \quad (3)$$

把公式 1 代入公式 2，得到

$$V_{CM} = V_{REF} \times \left(\frac{R4}{R3+R4} \right) \quad (5)$$

运算放大器输入端的共模电压通过下式计算：

R3/R4=1.4 且 VREF=4.096V 时，运算放大器的共模电压为 1.7V。每个 AD8608 内有四个放大器，四个同相输入短接在一起并连接到电阻分压器 R3/R4。第二个分压器用于第二个 AD8608。要消除运算放大器输入偏置电流，

电路输入阻抗为 R1，理想情况下应较高。不过，电阻热噪声与电阻平方根成正比，因此系统噪声性能随该电阻值增加而下降。要决定最佳值，需要对噪声进行简单分析。

根据奈奎斯特准则，最大信号频率成分应小于最大采样速率的一半。AD7689250kSPS 采样速率产生 125kHz 的奈奎斯特频率。为了将此带宽内的信号衰减降至最低，前端的-3dB 截止频率被设计为奈奎斯特频率的大约 12 倍或 1.5MHz。

此电路的噪声模型如图 2 所示。本电路中有三种噪声源：电阻噪声、放大器电压噪声和放大器电流噪声。每个噪声源的均方根值如表 1 所示。有关运算放大器噪声的详情，请参见应用笔记 AN-358 和教程 MT-047、MT-048 和 MT-049。

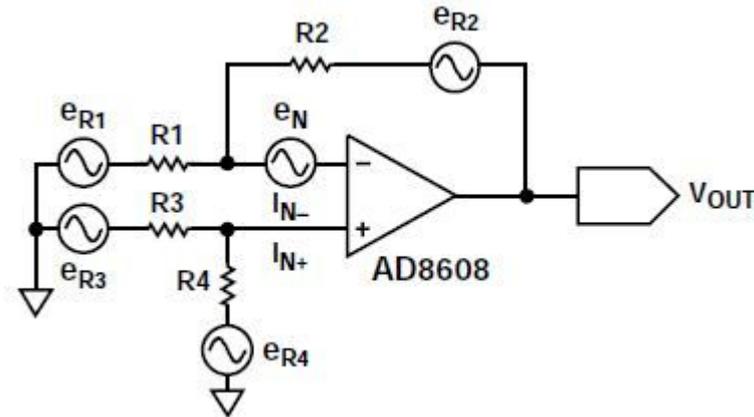


图 2.AD8608 反相配置的噪声模型

在目标带宽内，ADC 之前的总均方根噪声应小于 0.5LSB，以便 ADC 可对输入信号进行正确数字转换。

电阻噪声可通过下式计算：

$$e_R = 4 \times \sqrt{\frac{R}{1000}} \text{ nV} / \sqrt{\text{Hz}} \text{ at } 25^\circ\text{C} \quad (7)$$

其中 R 单位为 Ω 。

使用图 1 所示电阻值和 1.5MHz 带宽时的噪声性能总结在表 1 中。

这些不相关噪声电压以"方和根"形式相加；因此 1.5MHz 带宽内的总运算放大器输出均方根噪声约为 21.3 μ V。对于 4.096V 基准电压，16 位 LSB 为 62.5 μ V。21.3 μ V 的均方根噪声小于 0.5LSB，所以图 1 所示电阻值适合本应用。

请注意，总输出噪声的最大来源是电阻 R2，在本电路中为 10k Ω 。减小 R2 值需要 R1 成比例下降，从而降低输入阻抗。AD8608 的输入电流噪声很小，除非使用极大电阻值，否则不会成为重要因素。AD8605 和 AD8608 的低输入电流噪声和输入偏置电流使其成为高阻抗传感器(例如光电二极管)的理想放大器。

与 R2 并联地添加 C1 电容，以形成单极点、有源低通滤波器。带宽使用公式 7 计算。假定使用 1.5MHz、-3dB 带宽，C1 约为 10pF。本电路中，考虑到 PCB 板的寄生效应，选择 8.2pF 值。

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_2 \times C_2} \quad (8)$$

噪声源	均方根噪声密度	RTO因数(公式)	RTO因数	输出噪声密度 (nV/√Hz)	输出均方根噪声, 1.5 MHz带宽(μV)
e _{R1}	28 nV/√Hz	$\frac{R_2}{R_1}$	0.2	5.6	6.9
e _{R2}	12.6 nV/√Hz	1	1	12.6	15.4
e _{R3}	9 nV/√Hz	$\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)$	0.5	4.5	5.5
e _{R4}	8 nV/√Hz	$\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4}\right)$	0.7	5.6	6.9
e _n	6.5 nV/√Hz	$1 + \frac{R_2}{R_1}$	1.2	7.8	9.6
i _{n+}	0.01 pA/√Hz	$\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{R_3 \times R_4}{R_3 + R_4}\right)$	2.5 kΩ	0.025	0.03
i _{n-}	0.01 pA/√Hz	R ₂	10 kΩ	0.1	0.12

表 1.图 1 所示电路值的噪声总结

模数转换器(ADC)

AD7689 是一款现代 SARADC，使用内部开关电容 DAC。由于采用 SAR 架构，转换过程中无流水线延迟，从而大大简化多路复用操作。图 3 显示等效模拟输入电路。小瞬态电流以采样频率注入模拟输入，由 R5 和 C2 组成的外部滤波器网络减小了它对运算放大器输出的影响。此外，滤波器带宽为 2.7MHz，可减少 ADC 输入端的噪声。

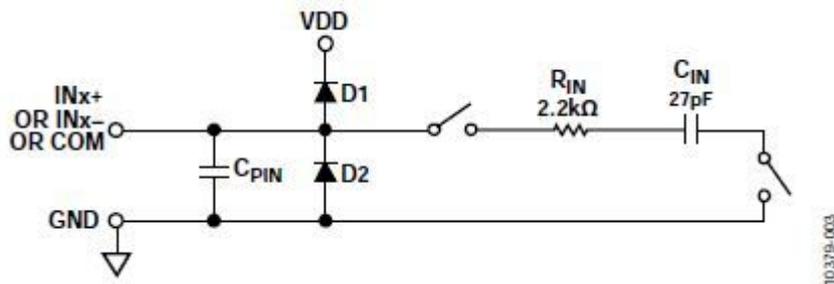


图 3. AD7689 的等效模拟输入电路

在 4.096V 或 2.5V 可选基准电压下，此电路的输入范围可在 ±10V 和 ±6V 之间切换，而不会降低系统分辨率。内部温度传感器可用于监控 AD7689 的结温，实现精密应用中的系统校准和温度补偿。

隔离电源和数字 I/O 的单芯片解决方案

ADuM3471 是同时用于电源和数字 I/O 隔离的单芯片解决方案。隔离电压为 2500Vrms(UL1577 器件认可)。ADuM3471 提供 4 通道隔离式 I/O 端口，并集成用于隔离式 DC/DC 转换器的 PWM 控制器和变压器驱动器。配合一些外部元件使用时，ADuM3471

可通过任何调节电压(3V 至 24V)提供 2W 隔离电源。必要的外部元件是一个用于电能传输的变压器、两个用于全波整流的肖特基二极管、一个用于纹波抑制的 LC 滤波器和两个用于设置输出电压的反馈电阻。详情参见 ADuM3471 数据手册和图 1。

布局考量

该电路或任何高速/高分辨率电路的性能都高度依赖于适当的 PCB 布局,包括但不限于电源旁路、信号路由以及适当的电源层和接地层。

系统性能

图 4 显示评估板端子板上的 CH0 至 CH7 短接到 GND 时, ADC 代码出现 10,000 次(1kSPS 时需要 1 秒)的曲线图。请注意, 95%的代码处于 4LSB, 峰峰值分布约为 7LSB。这对应于约 $7 \div 6.6 = 1.1\text{LSB}$ 的均方根值。

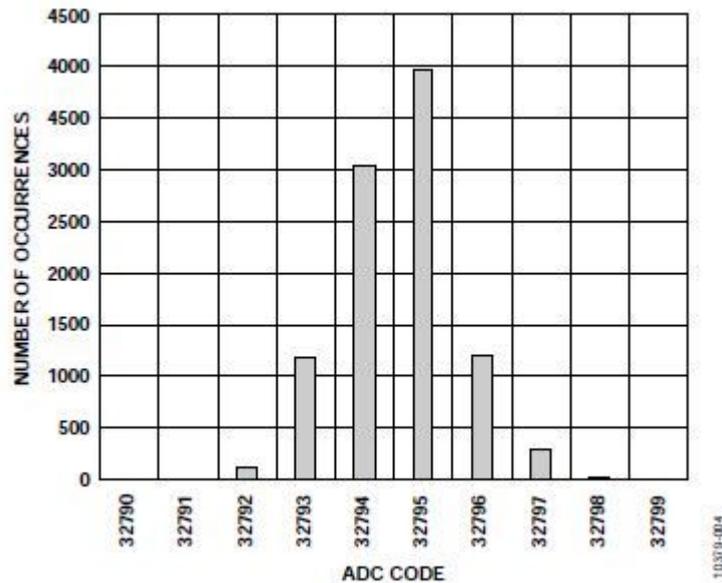


图 4.0VDC 输入时的直方图, 10,000 个样本

交流性能如图 5 所示。采样速率 250kSPS 由系统演示平台(EVAL-SDP-CB1ZSDP)控制, 包括信号窗口和 FFT 的数字信号处理通过 CN-0254 评估软件在 PC 上计算。输入正弦波形为 20kHz 音频, 由低失真 B&K 正弦发生器 Type1051 提供。

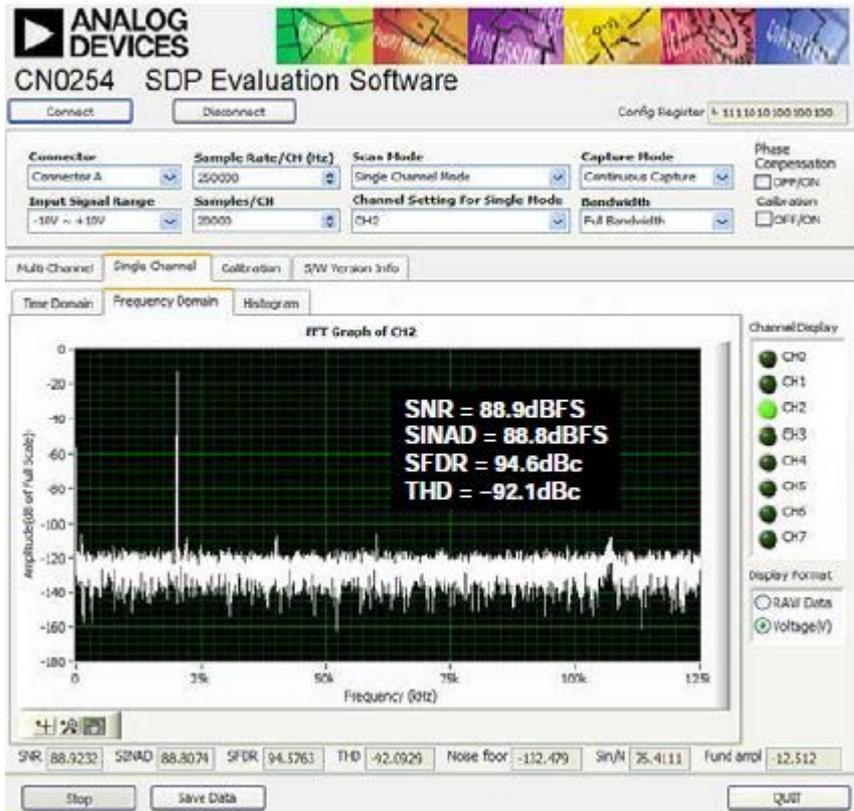


图 5.KAISER 窗口(参数=20)、20KHZ 输入、250KSPS 采样速率下的 FFT

常见变化

对于需要更高采样速率的应用，AD7699 采样速率高达 500kSPS，是 AD7689 的理想引脚替代产品。

AD8615、AD8616 和 AD8618 分别为单通道/双通道/四通道精密、CMOS、轨到轨输入/输出运算放大器，带宽最高可达 20MHz。可用于带宽需求比 AD8605/AD8608 系列更高的应用。

ADR3412(1.200V)、ADR3420(2.048V)、ADR3425(2.500V)、ADR3430(3.000V)、ADR3433(3.300V)、ADR3440(4.096V)和 ADR3450(5.000V)均为低成本、低功耗、高精度 CMOS 基准电压源，具有±0.1%的初始精度、低工作电流和低输出噪声特性，采用 SOT-23 小型封装。如果需要，这些器件可代替 AD7689 内部基准电压源。

ADuM3470、ADuM3471、ADuM3472、ADuM3473 和 ADuM3474 非常适合需要电源和数字 I/O 隔离的应用。ADuM120x 和 ADuM140x 系列用于隔离式 I/O 扩展。针对高数据速率，ADuM344x 系列最高支持 150Mbps。

电路评估与测试

设备要求(可以用同等设备代替)

- 带 USB 端口的 WindowsXP、WindowsVista(32 位)或 Windows7 (32 位)PC
- EVAL-CN0254-SDPZ 电路评估板

- EVAL-SDP-CB1Z 系统演示平台评估板
- 电源: 6V(直流), 500mA
- CN0254 评估软件
- B&K 正弦发生器 Type1051

开始使用

将 CN-0254 评估软件光盘放进 PC 的光盘驱动器, 加载评估软件。打开 "MyComputer(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

图 6 所示为测试设置的功能框图。EVAL-CN0254-SDPZPADSSchematicpdf 文件包含 CN-0254 评估板的详细电路原理图。CN-0254 设计支持包, 包括原理图、PCB 布局、BOM 和 Gerber 文件。

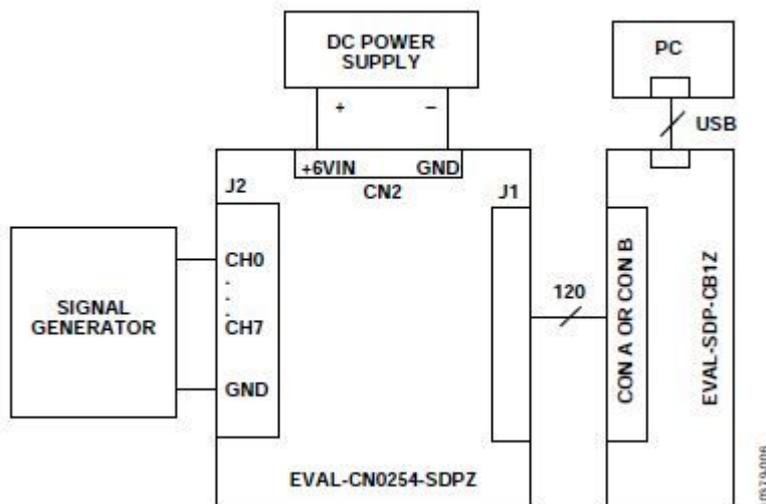


图 6.评估测试设置

设置与测试

将 CN-0254 评估电路板上的 120 引脚连接器连接到 EVALSDP-CB1Z 评估(SDP)板上的 CONA 或 CONB 连接器。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。将直流输出电源成功设置为 6V 输出后, 关闭电源。将 6V 连接到 CN2。接通电源, 然后使用 USB 转 miniUSB 电缆将 SDP 连接到 PC。

设置电源并将其连接到 EVAL-CN0254-SDPZ 电路板后, 启动评估软件。单击 "Connect(连接)", 以便让软件与 SDP 板通信。SDP 板可用于发送、接收、捕捉来自 EVAL-CN0254-SDPZ 板的串行数据。本电路笔记中的数据使用 B&K 正弦发生器 Type1051 生成。