

双 24 位设计的双核数据采集仪

应明, 杜峰, 应怀樵, 沈松

(北京东方振动和噪声技术研究所, 北京, 100085)

摘要: 本文介绍了一种全新概念的数据采集仪器设计方法, 称为双核采集仪。采集仪的每个通道都采用独特的双 24 位 $\Delta \Sigma$ 方式的模数转换 (AD) 设计, 采用 FPGA 实现。双核采集仪在具备 24 位高精度特点的基础上, 还获取了超过 300dB/Oct 的抗混叠滤波衰减率, 更重要的是实现了 160dB 的单一量程范围, 使得在测量各种大小不同的信号时, 不再需要进行量程切换。双核采集仪不仅解决了数据采集中有精度、量程和抗混叠的三个主要问题, 还为多核采集仪的设计打开了思路。

关键词: 数据采集; $\Delta \Sigma$; AD 转换; 双核

Dual-core Data Acquisition Instrument

Based On Dual-24 Bit Design

YING Ming, DU Feng, YING Huaiqiao, SHEN Song

(China Orient Institute of Noise and Vibration, Beijing, 100085 China)

Abstract: In this paper, a new concept of data acquisition (DAQ) design named dual-core DAQ instrument is introduced. Two 24-bit analog-to-digital converters (ADCs) and FPGA are used for each channel in this special instrument. With the delta-sigma type ADCs and 8 order analog filter, it's anti-aliasing filter attenuation ratio up to 300dB/oct. what is more important, it has 160dB width range in one input range. For different signals, it need not to switch different input range. The dual-core DAQ instrument not only resolve the problem of precision, input range and anti-aliasing, but also prepare the idea of multi-core DAQ concept.

Key words: Data acquisition, delta-sigma($\Delta \Sigma$), analog-to-digital converter(ADC), dual-core

引言

数据采集是指将模拟信号转换为数字信号 (AD 转换) 并进行存储的过程, 其转换精度非常依赖于 AD 转换器的分辨率。随着技术的不断发展, AD 精度已经从最初的 4~8 位发展到 12~16 位, 直到现在的 24 位。24 位 AD 理论上具有 144dB 的动态范围, 而 24 位采集仪器的实际动态范围一般为 100~120dB。一般的采集仪设计时, 对每路信号的采集都直接使用一个 AD 转换器的输出结果作为采集后的数字信号, 因此在单一量程下的可测量范围总低于 AD 的理论动态范围。

本文介绍的双核采集仪则突破了这种思维的束缚, 对每路信号的采集同时使用两个 24 位 AD 转换器进行转换, 并在硬件中通过 FPGA 对其进行重新组合。双核采集仪不仅具有 24 位分辨率, 还具有 160dB 的单一量程测量范围, 超过了 24 位 AD 的 144dB 理论动态范围

作者简介: 应明(1968-), 男, 北京东方所所长, 从事数据采集、信号处理、虚拟仪器及相关方面的研究工作. E-mail: dasp@coinv.com.cn

值，这样就可以有效避免由于量程设置不当造成的过载、欠载和动态范围不足的情况。

1 基于 $\Delta \Sigma$ 方式的 24 位 AD 转换

数据采集的核心是 AD 转换器，随着芯片技术的迅速发展，AD 转换器的精度也不断提高，最初的精度只有 4~8 位，而当前的主流 AD 精度已经是 24 位。AD 位数的提高不仅提高 AD 转换的分辨率，而且对提高仪器的动态特性起着主导作用，表 1 为几种常用 AD 精度的理论动态范围以及仪器的动态范围比较，可见基于 24 位 AD 的采集仪在分辨精度和动态范围两个方面都远高于其他 AD 采集仪。

一般 24 位以下 AD 多数使用逐次比较方式，但由于逐次比较方式的效率较低，在中高采样速率下难以实现 24 位的精度，所以 24 位 AD 常常使用先进的基于增量比较的 $\Delta \Sigma$ 方式，此方式下的 AD 转换器每次采样比较的是同前一点的增量，充分利用了以往数据的信息，具有很高的效率，并且采用过采样的方式，以速度换精度。通常 $\Delta \Sigma$ 方式 AD 的过采样倍数在 256 或 128 倍，并进行数字滤波，然后重新抽取，以获得 24 位的采样精度。

表 1 几种 AD 采集仪的动态范围比较
Table 1 The dynamic range of several type DAQs

AD 精度(位)	分辨率	AD 理论动态范围(dB)	采集仪动态范围(dB)
12	4096	72	50 ~ 60
16	65536	96	60 ~ 80
24	16777216	144	100 ~ 120
双 24	--	--	160(量程范围)

2 双核采集方式的实现

一般的采集仪设计时，对每路信号的采样都直接使用一个 AD 转换器的输出结果作为采集后的数字信号，因此在单一量程下的可测量范围总低于 AD 的理论动态范围，即使对于 24 位 AD 采集仪，其动态范围也不过 120dB。

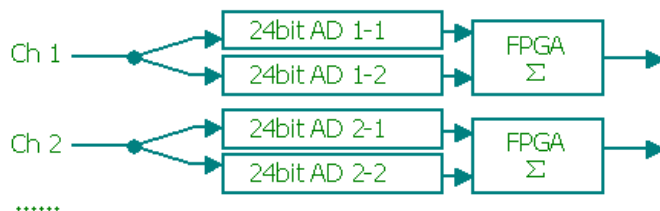


图 1 双 24 位 AD 采样的实现框图
Fig1 The implement of dual 24 bit DAQ

双核采集仪则突破这种思维的束缚，对每路信号都同时使用两个 24 位 AD 转换器进行采样，然后通过 FPGA 对两个信号进行重新累加组合，如图 1 所示，这样双核采集仪在具有 24 位分辨率的同时又具备 160dB 的单一量程测量范围，满足目前的绝大多数传感器和信号调理

仪器的输出范围，无需切换量程，一档量程就可以实现各种大小信号的高信噪比测量。

此外双核采集仪采用了 $\Delta \Sigma$ 方式的 AD 转换，实现了过采样、数字滤波和重采样的过程 (BDFWPS)，结合 8 阶模拟滤波器，使得抗混叠滤波衰减率超过 300dB/oct，对可能导致混叠的信号实现了有效的滤除。

3 双核采集的 160dB 输入量程范围

双核采集仪除了具备 24 位 AD 采集仪的高精度低噪声等特点外，还具备 160dB 的单一量程输入范围，理论上可以满足幅度变化达 10^8 倍的不同信号。(注：实际动态测试中，为保证小信号也具有足够的信噪比，可测信号的范围应小于仪器的动态范围。)

因此具有 160dB 量程范围时，测量不同信号就不再需要进行不同量程的切换。以图 2 为例可见，对于 16 位 AD 采集仪，其一档量程范围（即动态范围）仅有 80dB，在 160dB 的范围内，则需要设置 5 个左右的量程，若对于超过 80dB 的大动态信号的测量则不能实现；由于 24 位 AD 采集仪具有 120dB 左右的动态范围，在 160dB 的范围内只需设置 3 个量程，而双核采集仪在一个量程内便可以满足 160dB 的范围，既使测量更加简单，又保证更好的测量结果精度，其优越性显而易见。

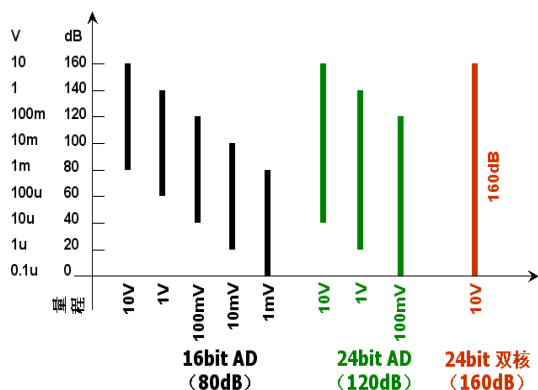


图 2 三种采集仪的量程设置

Fig 2 The range setting of different DAQs

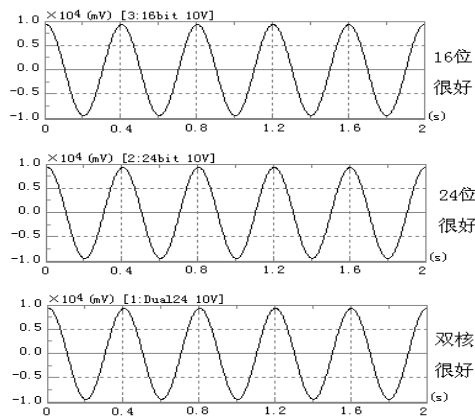


图 3 量程 10V 测量 9.5Vp 正弦信号

Fig 3 Measuring 9.5Vp sine signal at 10V range

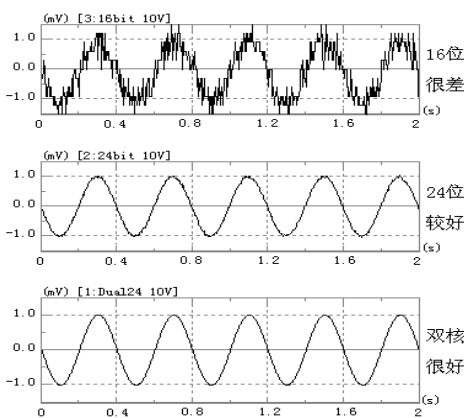


图 4 量程 10V 测量 1mVp 正弦信号

Fig 4 Measuring 1mVp sine signal at 10V range

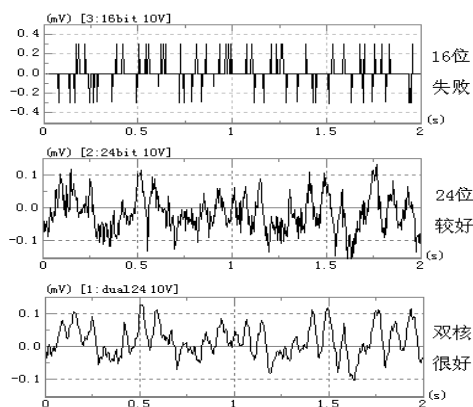


图 5 量程 10V 测量 0.1mVp 信号

Fig 5 Measuring 0.1mVp signal at 10V range

4 实测比较

选择三种典型的采集仪，包括 16 位、24 位和双核采集仪，使用相同的量程，分别对不同大小幅度的信号进行测量，结果如图 3~5 所示。由于篇幅有限，未给出频谱图，但仅从波形图上就可以明显看出三种采集仪的差异。

被测量信号从 9.5V_p 到约 0.1mV_p 的范围内变化，为保证 9.5V_p 信号的测量，全部使用 10V 量程。图 3 为 9.5V_p 正弦信号的测量结果，均获得非常好的效果。图 4 为 1mV_p 的正弦信号测量结果，16 位采集仪的结果中有明显的噪声成分，信噪比很差，24 位采集仪的噪声明显变小，而双核采集仪的噪声极小。图 5 为使用 891-II 型传感器测量普通地面的地脉动信号，传感器使用 2 档，输出约为 0.1mV_p，此时信号的电压已经小于 16 位采集仪的本底噪声，导致测量失败。24 位 AD 理论上具有 144dB 动态范围，但实际仪器仅为 100~120dB，索然可以测得信号，但噪声偏大。双核采集仪不仅正确测量此信号，更保证噪声非常小。

5 结束语

双核采集仪基于先进的 24 位 $\Delta \Sigma$ 高精度 AD 转换器，采用每路双 24 位 AD 设计，通过 FPGA 实现，获取了 24 位分辨率、160dB 量程范围和 300dB/oct 抗混叠滤波衰减率等高性能，从精度、量程和抗混叠几个方面同时保证了测量的准确性和可靠性。双核采集仪由于其独特的优点，使常规动态测试达到新的技术层次，尤其在以下方面具有不可替代的优势：

- (1) 不可重复的重要试验，必须一次成功
- (2) 未知试验，无法预知信号大小
- (3) 自动测量，没有人为干预的试验
- (4) 高效率测量，没有时间或机会进行预试验来确定量程
- (5) 大型复杂试验，通道数多，信号类型多，工况复杂的情况
- (6) 高动态测量，大动态范围的信号，如声学、启停机、地震等
- (7) 傻瓜式测量，使用者是其他方面的专家，不必为测量花费太多精力

一个典型的应用例子是，在飞船或火箭起飞瞬间，需要测量振动、冲击、压力、温度、噪声、应变、等各种未知大小的信号，对于这么多种未知的信号合理设置量程一直是测试人员面临的难题，而双核采集仪则可以很好地解决由于精度、量程和混叠带来的诸多问题。

双核采集仪不仅提出了每路采用双 24 位 AD 合成获取高量程范围的思路，还为多核（如三核、四核）采集仪的设计奠定了基础。目前仅国外的 BK 公司可能有类似使用双 AD 的采集方式，但由于缺少详细技术资料无法确定其实现方法，而本文提出的使用 FPGA 实现的双 24 位 AD 采集方式则是国内外的首创设计。

参考文献：

- [1] 应怀樵. 波形和频谱分析与随机数据处理. 北京: 中国铁道出版社, 1983
- [2] 应怀樵. 虚拟仪器与计算机采集测试分析仪器的发展和展望. 振动、测试与诊断. 2000;9(3):155-159
- [3] 应怀樵, 刘进明, 沈松. 虚拟仪器中的几个难点问题探讨. 振动工程学报, 2004, 17(S):925-927
- [4] 沈松, 应怀樵, 刘进明等. 数字化测试仪器的若干问题探讨. 振动与冲击, 2006, 25(S):1122-1124