

# 电能质量监测高速数据采集系统的设计和实现

陈国磊, 舒双宝, 季振山

(中国科学院等离子体物理研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘要:** 设计并实现了一种基于高精度数据采集芯片 AD7656 和定点 DSP 芯片 TMS320F2812 的实时电能质量监测数据采集系统。详细分析了 AD7656 的工作原理, 在本系统的前端对待测的高电压和电流信号进行了信号转换和滤波处理, 实现了 AD 芯片和 DSP 芯片之间并行的连接方式。利用 DSP 定时器中断来触发 AD 采样同时利用 DSP 的外部中断完成采样数据的读取, 软件设计采用了模块的方法编程实现。实验测试验证了系统的可行性和精确性, 并很好地满足了电能质量监测系统对数据采集的需求。

**关键词:** 电能质量; 数据采集; AD7656; DSP

## Design and implementation of data acquisition system for power quality monitoring

CHEN Guo-lei, SHU Shuang-bao, JI Zhen-shan

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei Anhui, 230031, China)

**Abstract:** An excellent performance of power quality data acquisition system based on high precision AD chip AD7656 and fixed point DSP chip TMS320F2812 was designed and implemented. Working principle of AD7656 and the parallel connection between AD and DSP were introduced detailedly, while high voltage and current input signal have been transformed and filtered in the front of the circuit system. With timer interrupt of DSP triggering AD sampling and data reading completed in external interrupt, the method of modularization is used for software design of this system. Feasibility and reliability of the system were validated by experimental test, and the results showed that the data acquisition system can satisfy the demand of power quality analysis system.

**Key words:** power quality; data acquisition; AD7656; DSP

中图分类号: TM933 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)03-0069-04

## 0 引言

国家九五大科学工程全超导非圆截面核聚变实验装置 EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak) 由 110 kV 变电所供电, 其负荷对电网构成了极高容量的频繁冲击, 可能破坏高压电网与电源系统的电磁兼容, 该问题在 EAST 较高参数的运行条件下更为突出。基于 AD7656 的电能质量监测数据采集系统可实现现场 6 路信号的同步采集, 为其后的电能质量分析系统提供高精度的实时采集数据, 同时也为规划补偿控制策略提供了一个合适的数据平台。

本文以改善 EAST 电网波形, 降低电压波动, 并兼顾无功功率补偿为背景, 针对 EAST 高功率的特点, 设计了一套基于数字信号处理器 TMS320F2812

功能全面的电能质量检测系统, 解决了以往测量仪器功能单一的问题<sup>[1-7]</sup>。其中数据采集部分是整个系统实现高精度测量的关键所在, 本数据采集系统以 AD7656 核心, 辅以信号调理和滤波电路, 采用 CPLD 和 DSP 对采集芯片进行逻辑控制和数据传输。在 EAST 恶劣的实验环境下可同时采集 6 通道数据, 分别为三相电压、三相电流; 单通道最大采样速率 230 kbps, 总采样速度可达 1380 kbps; 采样转换精度为 16 bit, 利用前端信号调理电路可以将 0~250V (有效值) 的电压信号和 0~6 A (有效值) 的电流信号转换为 -10 V~+10 V 的双极性测量信号。这种结构很好地满足了电能质量监测数据采集系统精度高、速率快, 简单可靠的要求。

## 1 AD7656 工作原理

AD7656 是美国 ADI(ANALOG DEVICES)公司推出的 6 通道、16bit 高精度逐次逼近型 (SAR)ADC<sup>[8]</sup>。AD7656 采用了具有 ADI 专利的

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KJXC3.SYW.N4)

iCOMS (工业 COMS) 工艺, iCOMS 工艺是一种结合了高压半导体技术、亚微米 COMS 技术(互补金属氧化物半导体)与互补双极性工艺的现代工业制造技术, 使用这种工艺制造的 AD7656 能承受高达 33V 的电压, 并且其封装尺寸比任何同类型高电压 ADC 都要小。与使用传统 COMS 工艺的 ADC 不同, AD7656 能采集真正的双极性信号, 同时提高性能, 显著降低功耗, 减小封装尺寸。所以使用这样工艺的 AD7656 特别在适合 EAST 高电压、高功率的实验环境中使用。

AD7656 每通道包含一个低噪声、宽带采样保持放大器 T/H(Track-and-Hold Amplifier), 可以处理带宽高达 12 MHz 的信号。其转换处理和数据的采集是通过 CONVST 信号和一个内部晶振来控制的, 3 个 CONVST 管脚允许 3 对 ADC 独立同步采样, 当 3 个管脚连在一起时可进行 6 通道同步采样。同时 AD7656 具有高速的并行和串行接口, 可以与微控制器或者 DSP 进行连接。可使用内部或外部基准, 内部内含有一个 2.5 V 的基准电压源, 可选择 -5~+5 V 或 -10~+10 V 双极性模拟输入(即 2 倍基准或 4 倍基准)。

数据采集系统的上位机是数字信号处理器 TMS320F2812, 直接采用并行连接方式将 AD7656 的 16 位数据线直接连接至 F2812 的 16 数据总线上, 具有简单、稳定的特点。下面分析一下 AD7656 的并行工作方式。图 1 为并行接口工作方式下的时序图。

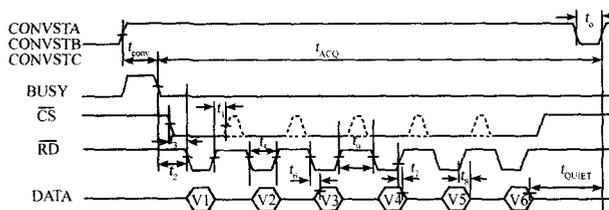


图 1 并行接口工作方式下的时序图

Fig.1 Parallel interface timing diagram( $\bar{w}/B=0$ )

AD7656 在 CONVST 信号的下降沿触发 AD 同步采样, 同时相应的采样保持放大器(T/H)进入保持(Hold)阶段, 其数模转换过程开始。转换时钟由 AD7656 内部自行产生的, 一次转换典型的大约为 3  $\mu$ s。当数模转换开始后 BUSY 信号同步置高, BUSY 信号的下降沿表示数模转换的完成, 同时使采样保持放大器重新进入跟踪阶段。此时, AD7656 内部的 6 个寄存器中已经保存了转换完成的数据, 然后通过控制片选信号  $\bar{CS}$  和读信号  $\bar{RD}$  就可以依次读出 6 通道的数据了。需要注意的是在下

一次触发 AD 采样之前, CONVST 信号必须保持高电平。

## 2 数据采集系统硬件设计

### 2.1 信号调理和滤波电路

在 6 通道模拟信号接入 AD 芯片之前, 需要将信号通过电压、电流互感器调理到 AD7656 允许的输入范围之内, 同时为了防止信号的串扰和混叠, 必须对调理后的信号经过滤波处理。在本系统中每周波采样 256 点, 即采样率 12.8 kSPS, 根据奈奎斯特抽样定律, 为了防止混叠需要将 6.4 kHz 以上的频率成分滤除掉。同时为了精确测出对检测系统有用的 50 次谐波, 可以将 2.5 kHz 以上的成分滤除, 考虑到误差的因素, 这里的二阶低通滤波器截至频率取为 3 kHz。图 2 为模拟输入信号调理和滤波电路图。

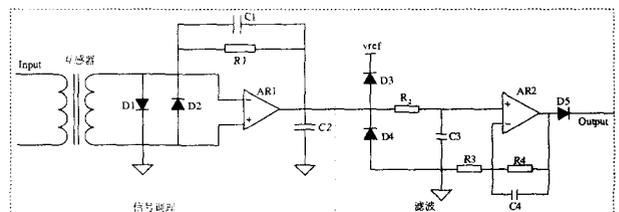


图 2 信号调理和滤波电路

Fig.2 Single process and filter circuit

调节互感器可在副边得到 -10~+10 V 的电压信号。图 2 中两对二极管起过压保护作用, C1、C2 用来去耦, C2、C3 用来消除尖峰干扰, R3、R4、C4 构成低通滤波器将输入信号中的高次谐波成分滤除, 从而得到所需的信号。

### 2.2 AD7656 与 TMS320F2812 的接口设计及其外围电路

TMS320F2812 是美国 TI 公司推出的 C2000 平台上的定点 32 位 DSP 芯片, 处理性能可达 150 MIPS<sup>[9]</sup>。内部采用哈佛总线结构, 具有 16 位数据总线和 19 位的地址总线, 其外部存储器接口(XINTF)被映射到 5 个独立的存储空间, 本系统中 AD7656 通过外部空间片选信号  $\overline{Z0\&1CS}$  映射到区域 0 中。图 3 为 AD7656 与 DSP 的接口电路以及外围电路。

AD 的控制信号由 DSP 芯片控制 CPLD CY37064P100A 产生, 在 CONVST 信号的上升沿触发 AD 的采样信号。在转换完成后 BUSY 信号通过 CPLD 产生 F2812 的外部中断信号, 引起 INT1 中断, 在中断程序中连续读取 6 次 AD 的地址, 就可以将 6 通道的数据读取出来。

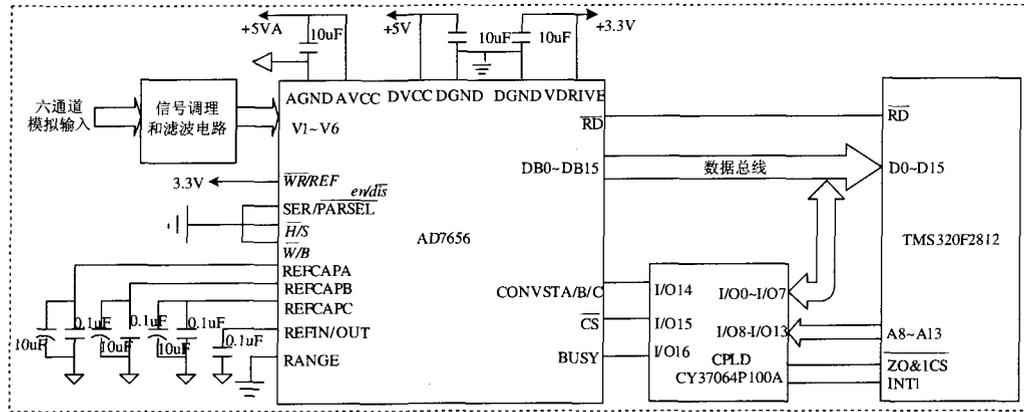


图 3 AD7656 与 DSP 的接口电路以及外围电路

Fig.3 The Interface of AD7656 and DSP and periphery circuit

AD7656 的 16 位数据线直接与 DSP 的 16 位数据总线相连, 因此  $SER/\overline{PARSEL}$ 、 $\overline{H/S}$ 、 $\overline{W/B}$  信号引脚接地, 表示 AD7656 采用并行接口方式、硬件操作模式、按字 (16 位) 传输数据。同时将  $\overline{WR}/REF_{en/dis}$  接高电平,  $REFIN/OUT$  和  $RANGE$  接低电平, 启用内部 2.5 V 的基准, 选择输入范围为  $-10 \sim +10$  V。

在实际应用中为了使集成片得到的供电电压比较平坦, 减小电压振荡现象, 同时为了去除信号线中的高频噪声, 需要在电源端和地端加上去耦电容<sup>[10]</sup>。其中  $REFCAPA/B/C$  三个引脚为 3 个基准缓冲器的去耦管脚, 为了得到比较精准的基准电压, 因此每个管脚单独接一对  $10 \mu F$  和  $0.1 \mu F$  的去耦电容。

### 3 数据采集系统软件设计

在软件设计中, 主要是两个中断时间的实现。AD 的采样触发信号源为 F2812 的通用定时器 1 的溢出信号, 在定时器中断中启动 AD 采样, 通过修改 F2812 的计数寄存器可以设置相应的采样频率,

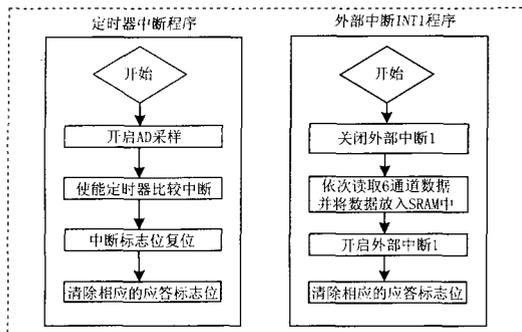


图 4 数据采集系统软件流程图

Fig. 4 Flowchart of date acquisition

从而可以设置 AD 的采样率。利用 AD 转换完成信号触发 DSP 芯片的外部中断 INT1 信号, 在外部中断程序中依次读取 6 通道的采集数据。图 4 为相应的软件流程图。

### 4 实验测试

通过 F2812 的 JTAG 仿真接口, 利用 CCS (Code Composer Studio) 软件开发平台进行测试。输入信号用自行研制的加法电路对两路信号发生器产生的 50 Hz 和 1 kHz 同相位的正弦波进行叠加后产生, 并直接接入滤波电路。

基波: 频率 50 Hz、峰峰值 5 V;

20 次谐波: 频率 1000 Hz、峰峰值 2 V;

图 5 为利用 CCS 的绘图工具绘制出的一周波 256 点采集数据。

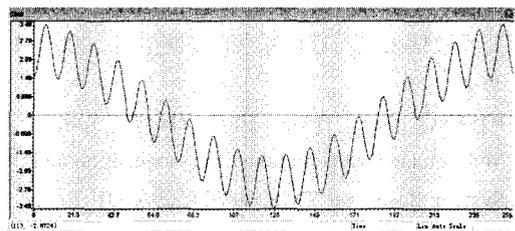


图 5 采集到的 256 点数据

Fig.5 256 points of Acquired Data

根据采集可以得到信号幅值为 3.53 V, 理论幅值应为  $(5 V+2 V) / 2=3.5 V$ , 从而可以得出误差为  $(3.53-3.5) / 2 * 100\%=0.8\%$ 。

通过设置 F2812 中与 AD7656 相应的区域 0 外设状态控制寄存器中读写信号的时间, 可以减少在读取 AD 采集数据上所开销的时间。经实际测试, 在本系统中 AD7656 所能达到的最小读取时间如图 6 所示, 通道 1 为片选信号  $\overline{CS}$ , 通道 2 为读数据信

号  $\overline{RD}$ 。

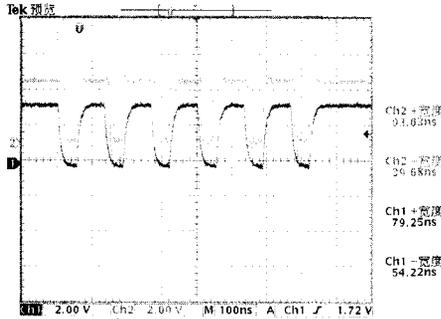


图 6 AD7656 数据最小读取时间

Fig.6 Least Data Reading Time Of AD7656

$\overline{RD}$  信号低电平宽度为 39.68 ns, 即每采集通道数据读取时间。6 通道数据读取时间为  $39.68 \times 6 + 93.63 \times 5 = 706.23$  ns, 加上 AD 转换的时间  $3 \mu s$  和两次 AD 采集之间间隔时间 400 ns, 因此一次完整的 6 通道数据采集时间为  $0.7 + 3 + 0.4 = 4.1 \mu s$ 。

### 5 结论

在电能质量监测系统中, 数据的实时采集是一个很关键的部分, 本文所设计的数据采集系统很好地满足了电能质量监测系统高精度、实时性强的要求, 在电测仪器仪表中可以得到广泛的应用。

### 参考文献

[1] Carnovale, D, Ellis, D. The Evolution of Power Quality Data Acquisition Systems-triggering to Capture Power Quality Events[R]. Canada: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2002:

[2] 黄霞, 鲍慧, 赵伟, 等. 基于 TMS320VC5509A 的多路同步数据采集与存储系统[J]. 继电器, 2007, 35(23): 25-28.  
HUANG Xia, BAO Hui, ZHAO Wei, et al. A Multi-channel Synchronous Data-acquisition and Storage System Based on TMS320VC5509A [J]. Relay, 2007, 35(23): 25-28.

[3] 马明建. 数据采集与处理技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2005: 82.  
MA Ming-jian. Data Acquisition and Processing Technology[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press,

2005: 82.

[4] 朱维钧, 周有庆, 王优优. AD7656 及其在电力系统测控中的应用[J]. 电工材料, 2007, 2(2): 47-50.  
ZHU Wei-jun, ZHOU You-qing, WANG You-you. AD7656 and Its Application in Measuring and Control of Power System[J]. Electrical Engineering Materials, 2007, 2(2): 47-50.

[5] 银翔, 王玉平. 基于 DSP 的电能质量数据采集系统的研究[J]. 微计算机信息, 2007, 23(12): 187-188.  
YIN Xiang, WANG Yu-ping. Based on DSP of the Power Quality Data Acquisition System[J]. Microcomputer Information, 2007, 23(12): 187-188.

[6] 王宇, 原建平. 基于模块化结构的通用 DSP 数据采集处理系统设计[J]. 微计算机信息, 2007, 28(11): 5-7.  
WANG Yu, YUAN Jianping. A Universal DSP Data Acquisition and Processing System Design Based on Modularized Architecture[J]. Microcomputer Information, 2007, 28(11): 5-7.

[7] 隋晓红, 刘付刚, 李志军. 一种高速数据采集及存储系统的研究与设计[J]. 电测与仪表, 2007, 44(8), 48-52.  
SUI Xiao-hong, LIU Fu-gang, LI Zhi-jun. The study and design of high-speed data acquisition and storage system[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2007, 44(8): 48-52.

[8] AD7656/7/8 Technical Data Sheet[Z]. ANALOG DEVICES, 2005.

[9] TMS320x281x External Interface (XINTF) Reference Guide[Z]. TEXAS INSTRUMENTS, 2001.

[10] DE Quan-lun. Designing for Board Level Electromagnetic Compatibility[Z]. Motorola, 2005.

收稿日期: 2008-03-27; 修回日期: 2008-04-08

### 作者简介:

陈国磊 (1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为数据采集和电能质量分析; E-mail: cgl@ipp.ac.cn

舒双宝 (1981-), 男, 硕士学位, 博士研究生, 主要研究方向为计算机采集与控制、模式识别;

季振山 (1963-), 男, 高级工程师, 硕士生导师, 主要从事计算机控制和数据采集系统的研究。