

用于电能质量检测的数据采集卡研制

娄尧林, 颜湘武, 吴晨曦

(华北电力大学电力工程系, 河北 保定 071003)

摘要: 结合电能质量五项指标, 开发了用于电能质量检测的数据采集卡。该卡采用了 DSP 数字信号处理器和 PCI 总线技术, 能实时采集数据。并采用了两片六通道高速 A/D 转换器和运用了锁相同步技术, 对三相电压和电流信号能进行定时采样和等间隔采样, 这样得到的数据对于下一步电能质量指标进行分析更为合理。本文最后还简要介绍了 DSP 的 C 语言开发和 PCI 插卡的驱动程序编写技术。

关键词: 电能质量; 数字信号处理器; PCI 控制器; 锁相同步; 驱动程序

中图分类号: TM93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)10-0049-03

0 引言

近年来, 电能质量问题逐渐引起人们的重视。一方面由于电力电子器件和非线性设备的广泛应用, 使得电网中的电压、电流波形发生畸变, 造成电能质量的恶化; 另一方面由于工业自动化水平的提高, 微处理器和 PLC 等智能器件大量应用于工业过程控制, 而这些精细过程控制更容易受到电力系统扰动的影响, 因此现代工业对电能质量提出了更高要求。

传统的电能质量检测是靠分立的仪器组合完成的, 如功率装置(有功功率表、无功功率表、功率因数表和电度表)、波形监测装置(模拟或数字示波器、波形记录仪)、谐波分析装置和负序装置等。这种测试方法的主要弊端是装置体积庞大、自动化程度低和数据不集中, 难以进行相关分析。

新一代的电能质量检测系统一般是基于虚拟仪器技术的。虚拟仪器技术起源于 20 世纪 90 年代的美国, 被誉为“21 世纪的技术”、“测控技术的革命”^[1]。它的特点是在一台普通的计算机上主要用软件来实现各种仪器的功能, 硬件部分主要是一块安装在计算机上的数据采集卡, 仪器的其它各种数据处理、计算、分析和结果显示等功能全部由软件编程来实现。

所以数据采集卡的开发, 是整个电能质量检测系统的重要基础和前提。它要求针对电力系统多路电气量的同时采集, 和对数据处理速度的具体要求而设计。

1 采集卡结构及主要单元硬件设计^[2]

目前, 高速高位、多通道的 A/D 转换器和高速

通用的 DSP 芯片已较易获得, 考虑到系统成本和接口灵活设计的要求, DSP 芯片选用 TI 公司最新的 TMS320C6000 系列中的 TMS320C6711, 而 AD 转换器也选用 TI 公司的适合电力系统电气量测量的六路、高速、低功耗、十六位模数转换器 ADS8364。采集卡的原理图如图 1。

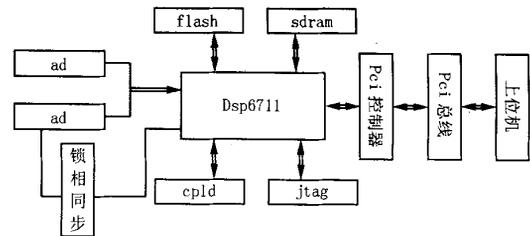


图 1 采集卡的原理图

Fig. 1 Diagram of acquisition board

整个系统主要由数据采集单元、电源模块、时序和可编程逻辑控制单元及 DSP 扩展子系统组成, 其主要性能特点为:

- 1) 采用 150 MHz TMS320C6711b 芯片;
- 2) 双路数据采集, 每一路宽度为 16 bit, 采样频率可达 250 kHz, 一路用于三相电压、三相电流的定时采样, 而另一路用于这六个参量的等间隔采样;
- 3) PCI 控制器选用 PLX 公司的 PCI9030, 具有符合 PCI2.2 标准的总线接口;
- 4) 单块 PCB 板实现整个系统, 板上存储容量是 2 M 字节;
- 5) 具有脱机和插入计算机构成主从系统两种工作模式。

1.1 数据采集单元

数据采集单元的核心是模数转换器, 在电力系统的电气量测量的实际应用中, 大多数是针对三相

电压电流来进行信号处理的,所以这里选用了 TI 公司的 ADS8364 芯片。ADS8364 是高速、低功耗、六通道同步采样 16 位模数转换器,其最大采样率 250 KSPS。ADS8364 采用 +5 V 工作电压,并带有 80 dB 共模抑制的全差分输入通道以及六个 $4 \mu\text{s}$ 连续近似的模数转换器、六个差分采样放大器。另外,在 REFIN 和 REFOUT 引脚内部还带有 +2.5 V 参考电压以及高速并行接口。ADS8364 的六个模拟输入分为三组(A、B 和 C),每个输入端都有一个 ADCs 保持信号以保证几个通道能同时进行采样和转换。ADS8364 的差分输入可在 $-V_{\text{REF}}$ 到 $+V_{\text{REF}}$ 之间变化。在信号输入端采用差动运放将模拟输入信号以差分方式输入 ADS8364,以有效地减少共模噪声,实现较高的有效采集精度。

考虑到在谐波测量中的一些特殊要求,此采集卡配置了两片 AD。一片用于定时采样,满足一些电量的时间统计要求;而另一片通过锁相同步电路,对电压电流信号进行等间隔采样,减少因为频谱泄漏和栅栏效应带来的测量误差,提高准确度。

1.2 时序和控制逻辑单元

时序和控制逻辑单元受 DSP 的相应控制以完成整个系统的时序和控制逻辑的产生,功能包括 AD 采样频率和采样深度控制、内外同步逻辑控制、地址译码控制、时序控制、片选控制、复用控制等。为保持系统设计的灵活性和减小电路板面积,这里我们不用分立逻辑元件,选用单片高速的在系统可编程的 CPLD 器件来完成。

1.3 电源模块

电源模块主要由两部分组成:一部分是通过 DC-DC 变换器,把 +5 V 电源变成 $\pm 5 \text{ V}$ 的电源,模拟器件供电。另一部分主要是为 DSP 提供高稳定度双供电电源,本系统采用的是 LINER 公司的低压差稳压器,它为 DSP 提供 1.8 V 的核心电压和 3.3 V 的输入输出端口电压。

1.4 DSP 扩展子系统

DSP 扩展子系统承担整个系统的信号处理任务及数据的输入输出接口,并控制系统运行状态,它主要由 DSP 芯片及各种外部存储器构成。DSP 芯片采用的是浮点信号处理器 TMS320C6711,该芯片采用 TI 公司专利的超长指令字结构,在 150 MHz 时钟频率下其峰值处理能力达 900 MIPS;片内具有两级 Cache(一级 Cache 为 8 KByte,二级 Cache 为 64 KByte);具有 8/16/32 bit 的高性能外部存储器接口(EMIF),提供了与 SDRAM、SBSRAM 和 SRAM 等同

步/异步存储器的直接接口;片内集成多种外设,如多通道 EDMA 控制器、多通道缓冲串口(McBSP)、32 bit 通用计数器和可以访问 DSP 的整个存储空间的主机口(HPI)。本系统采用 TMS320C626711 芯片作为主处理器,正是充分利用其强大的信号处理能力和 HPI 接口,以满足数据传送和与上位机接口的设计要求。

为了把采集卡上的数据上传到计算机,此系统在 HPI 端口外接了一个 PCI9030(PCI 总线控制器),来实现与主计算机的 PCI 总线的接口。PCI9030 是 PLX 公司的 32 bit/33 MHz PCI 目标接口芯片,采用了 PLX 先进的 SMARTarget 技术,符合 PCI2.2 规范,不仅为各种应用提供了最大的灵活性,而且大大简化了系统设计,缩短了开发时间,降低了产品成本。通过此 PCI9030 可以很容易将 TMS320C6711 应用系统与通用计算机进行接口,在 32 bit 数据宽度的通道中数据传输率可以达到 33 MHz。PCI 接口的另一作用是在主从工作方式下,上位机可以通过 PCI 接口对 DSP 进行初始化,即称为 HPIBoot 模式。

此 DSP 扩展子系统存储器包括一片 Flash 和一片 SDRAM。Flash 选用存储容量为 128 K \times 8 bit,映射为 DSP 的异步存储器空间。Flash 是用在脱机工作方式时,存储完成数据输入输出和各种信号处理任务的 DSP 的应用程序:首先由硬件仿真器通过 DSP 的 JTAG 接口把程序烧录到 Flash 中;然后通过设置启动方式引脚确定从外部 ROM 自启;DSP 在系统复位后,自动将 Flash 中的应用程序搬移到其片内程序存储器中,并从 0 地址开始运行。SDRAM 为 DSP 的动态存储器扩展空间,选用一片 4 M \times 32 bit 的 SDRAM,可满足脱机运行时数据存储和处理的需要。

2 采集卡的底层软件支持

作为一块完整的数据采集卡,还应该包括底层的 DSP 程序和 PCI 插卡的驱动程序,DSP 程序一般固化在采集卡的 Flash 芯片里面,(此采集卡由于有 PCI 插槽,也可以用计算机通过 PCI 端口下载到 C6711 的存储器里面),来完成对 DSP 芯片的引导,以及对片内寄存器和外围设备的初始化。而 PCI 插卡的驱动程序主要是完成 DSP 芯片和上位机的数据传送。

2.1 DSP 程序设计^[3]

与单片机相比,DSP 多运用于算法比较复杂、乘

加运算量比较大的场合。为了追求代码的高效,过去一般用汇编语言来编制 DSP 程序。随着 DSP 应用范围不断延伸,应用的日趋复杂,汇编语言程序在可读性、可修改性、可移植性和可重用性方面的缺点日益突出,软件需求与软件生产力之间的矛盾日益严重。引入高级语言(如 C 语言、C++、Java),可以解决该矛盾。而且现在 DSP 的 C 语言,能达到手工汇编语言效率的 70%~80%,经过优化,如果实时性要求不是特别高,完全可以达到要求。

所以现在的 C6000 系统 DSP 的编程,一般主程序用 C 语言来实现,而用汇编语言来编写中断服务子程序和一些实时性要求高的子程序。

DSP 的 C 语言和 PC 机上使用的 C 语言有一个显著的不同:经常要对硬件操作,程序中有大量针对控制器内部资源进行操作的语句。所以,开发者要明白怎样用 C 语言来操纵控制器的内部资源,即怎样用 C 语句操作寄存器和内部存储器等。因此,在 TMS320C6711 的 C 语言中要有一个头文件 dsk6711.h,定义各个寄存器的名称,方便开发者对 DSP 内部资源进行操作。

写完 DSP 的 C 语言程序,要对它进行优化。相应的优化工作包括两个部分:一是仿真环境中的优化,二是 DSP 目标环境中根据具体的硬件环境的进一步优化。

优化完成之后,就可以对 DSP 程序进程编译和连接,然后生成可执行的 .Out 文件,供目标系统加载使用。

2.2 PCI 插卡的驱动程序设计

当采集卡插入计算机构成主从系统工作时,必须有一个 PCI 插卡的驱动程序。运用普通的方法开发 Windows 下的 PCI 驱动程序比较繁琐复杂,需要对底层操作系统有较深的了解,开发周期较长。PLX 公司为此开发了驱动开发软件包,使开发者不需要有较高的专业知识就可以开发出驱动程序,大大缩短了开发周期。驱动程序有 Vxd 类和 WDM 类之分。笔者开发了 WDM 类的驱动程序。WDM 方式的驱动程序包含:一个说明文件 XX.HTM,一个安装信息文件 XX.INF,一个内核驱动程序 XX.SYS,两个用户级驱动程序 XX1.DLL 和 XX2.DLL。

在 PCI 设备驱动程序的开发过程中,要注意几

个关键问题:如 PCI 设备的 DMA 传输、中断处理和应用程序接口的设计与实现方案。

3 结束语

该数据采集卡为检测电能质量五项指标提供了一个高精度、合理的途径,A/D 和转换器的最高采样率能达到 250k,完全符合电能质量五项指标中电压波动与闪变、三相不平衡、谐波、电压偏差和频率偏差对数据采样率的要求。16 位的 A/D 和转换器和 32 位的 DSP 给整个系统提供了很高的精度。采用了两个六路 ADC,给数据采集提供了两种不同的方案:定时采样和等间隔采样,对谐波和频率等指标的测量更加合理。

此外该数据采集卡也能为一些暂态电能质量检测(如电压凹陷的检测)提供一个检测平台。

参考文献:

- [1] 刘君华,贾惠芹,丁晖,等(LIU Jun-hua, JIA Hui-qin, DING Hui, et al). 虚拟仪器图形化编程语言 - LabVIEW 教程 (A Course of Virtual Instrument Graphic Programming Language of LabVIEW) [M]. 西安:西安科技大学出版社(Xi'an: Xi'an Scientific and Technical University Press), 2001.
- [2] 潘亚涛,冯建雄(PAN Ya-tao, FENG Jian-xiong). 基于 TMS320C6205 的实时数据采集与处理系统 (Real Time Data Acquisition and Processing System Based on TMS320C6205) [J]. 数据采集与处理 (Journal of Data Acquisition & Processing), 2002, 17(1): 73-76.
- [3] 李芳慧,王飞,何佩昆 (LI Fang-hui, WANG Fei, HE Pei-kun). TMS320C6000 系列 DSP 原理与应用第二版 (The Principle and Application of TMS320C6000 DSPs, Second Edition) [M]. 北京:电子工业出版社 (Beijing: Publishing House of Electronics Industry), 2003.

收稿日期: 2003-09-04; 修回日期: 2003-11-26

作者简介:

姜尧林(1977-),男,在读研究生,主要研究方向为电气设备自动化;

颜湘武(1965-),男,副教授,主要从事电力系统稳定与控制,电力电子技术应用领域的教学与研究工作;

吴晨曦(1978-),女,在读研究生,主要研究方向为智能技术在电力系统中的应用。

(下转第 55 页 continued on page 55)

B/S 模式多层结构体系的异构系统联合统一管理方法,解决了吉安供电公司异构系统间的信息集成问题,充分利用了现有网络资源和系统资源,实现了异构信息最大限度的共享,取得了很好的效果。

参考文献:

- [1] 施汝军 (SHI Ru-jun). 网站 JSP 后台解决方案 (JSP Networks Solution Projects) [M]. 北京:人民邮电出版社 (Beijing:People's Posts & Telecommunications Press), 2002.
- [2] 孙晓辉,姚楠 (SUN Xiao-hui, YAO Nan). 基于三层结构的综合查询系统的开发 (The Design of the Integrated Query System Based on Triple Structure) [J]. 江苏电机工程 (Jiangsu Electrical Engineering), 2000, 19(4): 39-41.
- [3] 娄健,边小凡 (LOU Jian, BIAN Xiao-fan). 中间数据源在异构数据互访中的应用 (Application of Middle Data Source

in Inter-access of Heterogeneous Data Sources) [J]. 计算机应用研究 (Computer Engineering and Applications), 2002, (9): 80-82.

- [4] 杨茂江,许爱华,陈文鏖,等 (YANG Mao-jiang, XU Ai-hua, CHEN Wen-ao, et al). 信息与应用集成平台的实施方案 (Platform Implementation of Information and Application Integration) [J]. 计算机工程 (Computer Engineering), 2000, 26 (10): 14-17.

收稿日期: 2005-08-29

作者简介:

赵小利 (1978 -) ,女,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化;

文本颖 (1979 -) ,男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化。

Design and realization of information integrated query of the heterogeneous-configuration power system based on Web

ZHAO Xiao-li, WEN Berry-ying

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In electric power systems, there are many heterogeneous configuration information systems independent from each other. Because of the differences in application systems, database management system and data stored format and so on, it is very difficult to implement resources sharing in heterogeneous configuration electric power systems. To solve this problem, a new integrated query method based on Web is put forward. The proposed method employs the OOA techniques, object-oriented programming language Java, multi-layers structure based on B/S mode and united system management method. The application makes it possible to fully utilize the system resources and query the integrated data information conveniently.

Key words: heterogeneous-configuration information system; object-oriented; Java; B/S mode; information integrated query

(上接第 51 页 continued from page 51)

Research and development of digital acquisition board used for power quality detection

LOU Yao-lin, YAN Xiang-wu, WU Chen-xi

(Department of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Considering five parameters of power quality, a digital acquisition board used for power quality detection is developed. Employing DSP technology and PCI bus architecture, the proposed board can collect and process data in real time. This board uses two chips, six channels A/D converter and phase locking synchronous technology for collecting three-phase voltage and current signals in timing and equal-time cycle sampling ways, and the gained data make more reasonable for power quality norm analysis. Finally this paper, briefly introduces utilization of C language to program DSP routine, and the technique of programming PCI device driver.

Key words: power quality; digital signal processor; PCI controller; phase locking synchronous; device driver