

文章编号: 2095-4980(2014)01-0119-04

基于 FPGA 的煤粉浓度测量系统设计

张 伟, 顾 强, 田相林, 李世中

(中北大学 机电工程学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 煤粉浓度对电厂发电效率具有直接影响, 基于可编程逻辑门阵列(FPGA), 设计了测量煤粉浓度的双通道数据采集系统。系统以 Altera 公司的 Cyclone II 代 FPGA 为主控制芯片, 通过控制 AD9223 模数转换器, 实现数据转换; 采用 Cypress 公司的 CY7C68013A 芯片, 以及 Slave-FIFO 方式存储时序, 通过 USB 实现转换的数据与计算机之间的传输。采用 LabVIEW 软件完成上位机数据采集界面的设计。系统实现了对煤粉浓度微弱变化的测量与控制, 有效提高了煤粉的燃烧效率。

关键词: 可编程逻辑门阵列; AD9223 器件; 数据采集; CY7C68013A 芯片

中图分类号: TN911.23

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201401.0119

Design of pulverized coal concentration measurement system based on FPGA

ZHANG Wei, GU Qiang, TIAN Xiang-lin, LI Shi-zhong

(School of Mechanical and Electrical Engineering, North University, Taiyuan Shanxi 030051, China)

Abstract: For pulverized coal concentration has a direct impact on the efficiency of power plants, a dual-channel data acquisition system based on Field Programmable Gate Array(FPGA) is designed to measure the pulverized coal concentration. The system utilizes Cyclone II FPGA of Altera and AD9223 analog-digital converter to realize data conversion. CY7C68013A of Cypress is chosen to realize the converted data transmission between computers by USB through Slave-FIFO. Finally, the PC data acquisition interface is designed on LabVIEW and experimental results show that the combustion efficiency of pulverized coal is effectively improved.

Key words: Field Programmable Gate Array; AD9223; data acquisition; CY7C68013A

随着现代工业生产与科学研究的高速发展, 数据采集的应用也变得越来越广泛, 因此, 对于数据采集的研究也日趋重要。如何在数据采集过程中, 实现数据采集准确、传输率高、接口简单、项目设计周期短以及传输无误是目前数据采集系统的目标。

电厂为了使煤粉颗粒能够在煤炉中燃烧效果最佳, 提高电厂煤炭燃烧发电效率, 要求时刻控制煤粉颗粒在煤炉中燃烧的浓度。通过测量进入煤炉的煤粉颗粒的浓度, 并控制其运动速率, 使其在煤炉中的浓度能够满足电厂发电的需求, 从而提高能源利用率。本文以可编程逻辑门阵列(FPGA)为主控制芯片, 通过控制高速 A/D 转换器, 将模拟信号转换为数字信号, 并通过 USB2.0 接口将数据传输到计算机中, 从而实现对煤粉浓度的实时测量。FPGA 芯片具有集成度高、稳定性好、抗干扰能力强等优点, 借助开发商提供的 Quartus II, Nios II IDE 等软件可快速对 FPGA 进行开发设计; 使用 USB2.0 接口作为数据传输的中介, 充分利用 USB 接口的灵活性与数据传输的高效性, 能够有效缩短项目设计周期、降低研发成本^[1-2]。

1 系统总体设计

数据采集系统的设计目标环境是: 在运动煤粉一侧采用激光垂直照射运动的煤粉, 在运动煤粉另一侧放置对应的接收激光的光敏二极管。浓度不同的运动煤粉透过激光后, 光敏二极管接收的光信号强度不同, 通过光敏二极管将光信号转换成微弱的电信号, 并将该信号传输到计算机中。其中, 光信号的强度和运动煤粉的浓度具有一定的理论换算关系, 通过处理获取到的数据可计算出煤粉的浓度。

系统总体框图如图 1 所示, 采用 FPGA 和 CY7C68013A 芯片实现 USB 接口的数据采集传输系统^[3-5]。整个系

统由前期的信号采集电路、A/D 转换器、FPGA 主控模块、数据传输模块、电源模块组成。模拟信号经过调理电路进入由 FPGA 控制的高速 A/D 转换器, 将模拟信号转化成数字信号; 通过控制 FIFO 将数据缓存到 FPGA 中; 上位机通过预先设计的采集界面, 按下或释放相应的开始采集、暂停、继续、停止、通道选择等功能按钮, 控制数据的采集信息。最后, 采用 USB 接口完成 FPGA 与计算机之间的数据传输。

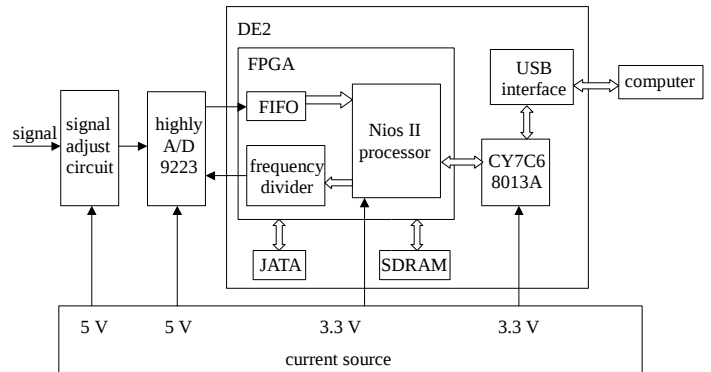


Fig.1 Overall design diagram of the system

图 1 系统总体设计框图

2 硬件系统设计

2.1 前端数据采集电路

随着 A/D 技术发展的高速化、精确化和模块化, 目前的模数转换器(ADC)不仅能够适应复杂信号的采集, 而且能够高速、精确地将数据传输到计算机中。本系统的数据采集电路由信号调理电路模块、A/D 转换器组成, 如图 2 所示。

为满足项目数据采集的各项性能要求, 综合考虑性价比, 本系统选择 AD9223 芯片作为模数转换芯片。AD9223 具有 12 位和最高达 3 MSPS 的转换速度。调理电路模块采用 LT1001 电压放大器, 将光敏二极管转换得到的光信号放大到适当范围, 使其适合接入 AD9223 芯片中。为增加系统测量的可靠性, 采用双通道同步采集数据, 使其具有自检功能。由于双通道数据采集系统基本上是同步检测, 在信号进入 A/D 转换器之前加入 ADG619——单刀双掷模拟开关(其转换时间很短, 符合要求), 由 FPGA 的 Nios II 软核控制 ADG619 选择通道进行采集数据; 信号经过 A/D 转换成数字信号。其中, A/D 转换器的采样速率由 FPGA 的 Nios II 软核产生的分频器控制。

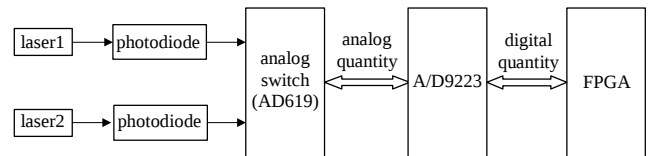


Fig.2 Front-end data acquisition circuit

图 2 前端数据采集电路

2.2 Nios II 软核的硬件开发

基于系统总体框图, 选用 Altera 公司的 Cyclone II 开发套件, 包括 Nios II 处理器、标准外围设备库、集成了 SOPC Builder 系统设计工具的 Quartus II 开发软件等, 使用 SOPC Builder 来配置生产片上系统。Nios 开发包括硬件和软件部分。硬件部分由 Quartus II 中的 SOPC Builder 实现, 具体如图 3 所示; 软件部分主要通过 C/C++ 编程, 在 Nios II IDE 软件集成开发环境中实现。

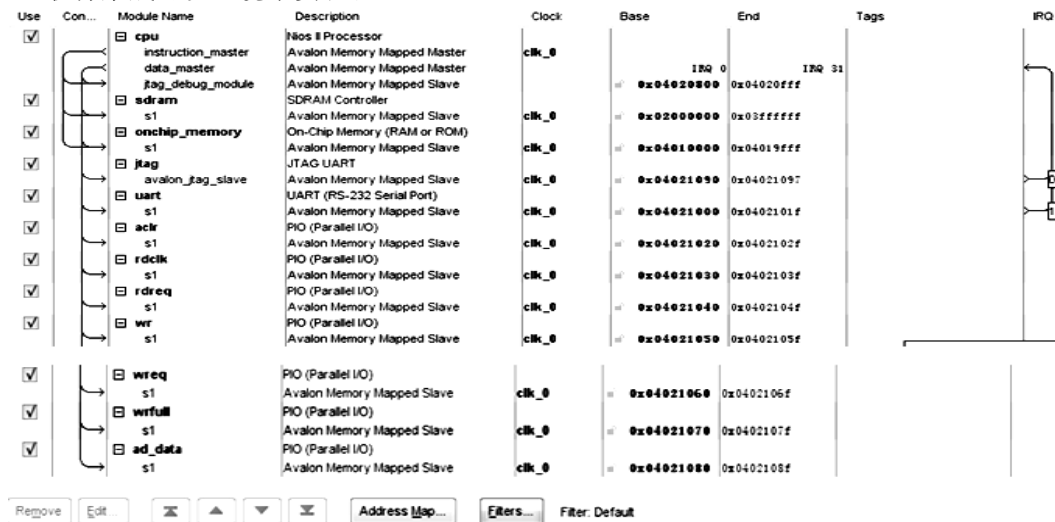


Fig.3 Set-up of hardware part in Nios II soft core

图 3 Nios II 软核硬件部分搭建

2.3 USB 通信接口

USB 通信数据传输模块, 选择 Cypress 公司的 CY7C68013A 芯片来实现数据传输。该芯片有 Slave FIFO, Ports 和 GPIF 3 种接口模式, 并支持 480 Mb/s 高速传输, 为数据准确无误地传输提供了速率基础。系统设计中, 该芯片采用 Slave FIFO 接口模式, 建立 FPGA 与计算机直接的数据传输桥梁。USB 通信电路模块主要实现以下 2 个功能: a) 将计算机的控制命令传输到 FPGA 模块中, 由控制系统进行数据记录或数据上传; b) 将记录模式的实时监测数据或读数模式的存储器中数据传输到计算机中, 由计算机分析并处理, 如图 4 所示。

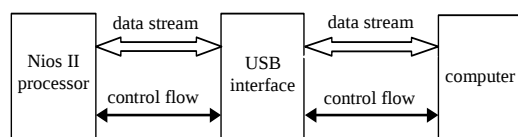


Fig.4 Connection between FPGA and computers via USB

图 4 FPGA 与计算机通过 USB 的连接

3 系统软件设计

系统的软件设计包括 3 个部分: USB 固件程序设计、Nios II 软核设计和应用程序设计。

3.1 USB 固件程序设计

系统设计中, CY7C68013A 芯片采用异步 FIFO 方式, 内部时钟为 48 MHz, 自动方式。将数据传送到计算机端, 采用异步读、写方式, 由 Nios II 产生的外部主控制器, 对 EP2 和 EP6 进行异步方式的读、写控制, 使用 16 位数据。其中, 选择 EP2 为上位机的 OUT 端点, 接收计算机数据; EP6 为 IN 端点, 往计算机发送数据。数据从外部逻辑直接通过 USB 传送到主机, 片内 8051 处理器不参与工作。

固件的作用是辅助硬件来完成预期设备的功能, 完成的工作有 3 点: a) 函数初始化。根据需要设置特殊功能寄存器的初值; b) 辅助硬件完成设备的枚举过程, 对主机的设备请求做出适当响应; c) 完成中断、数据收发以及对外围电路的控制。固件程序采用 Cypress 公司提供的固件程序框架, 用户只需更改少量的函数、代码即可完成固件的编程。本系统对固件源程序代码中的 fifo.c 的初始化函数 TD_Init()做了修改, 固件程序设计流程如图 5 所示。

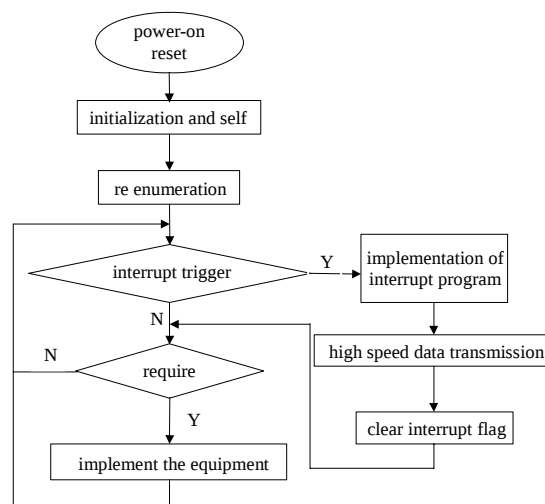


Fig.5 Flow chart of firmware program

图 5 固件程序设计流程图

3.2 Nios II 软核的软件开发

下位机的控制采用 FPGA 芯片自带的 IP 核, 基于 Nios II 软件集成开发环境(Nios II 9.0 IDE), 分别对 AD 转换器的采样和 USB2.0 的通信进行控制。Nios II 9.0 IDE 软件开发平台能够完成的开发任务有编辑、编译、调试程序和下载等^[6-8]。采用 C/C++ 语言编程, 首先, 通过程序实现系统功能的正常启动; 其次, 读、写芯片的存储单元; 最后, 通过外围设备进行数据通信。Nios II 设计的部分关键代码如下:

```

int initialize_usb(void); //USB 初始化函数
{
    PIO_USB_RD=1;
    PIO_USB_WR=1;
    PIO_USB_A0=1;
    Usb.receive_ok_flag=0;
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_IRO_mask(USB_NINT_BASE,1); //中断使能
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_EDGE_CAP(USB_NINT_BASE,0);
    alt_irq_register(USB_NINT_IRQ,NULL,irq_usb);
    set_usb_mode(USB_DEVICE);
    return 0;
}
  
```

3.3 应用程序设计

应用程序将通过 USB 驱动程序实现与 USB 接口的通信。本文的上位机界面采用 LabVIEW8.6 软件进行开发。

该软件采用图形化编程,主要用于开发测试与控制系统。上位机采集界面主要完成采集、发送、停止以及读、写命令的控制,并读取下位机传输的数据等,最后,以文件形式将数据保存起来。煤粉浓度采集界面如图 6 所示。

4 结论

介绍了基于 FPGA 技术测量煤粉浓度的双通道数据采集系统的设计方法,数据传输采用的是 USB2.0 接口。系统设计中应用了 Nios II 处理器,更好地解决了硬件电路设计相对复杂的问题,有利于开发者更好地优化设计,并且缩短了设计周期,降低了开发成本。该测量系统测得的数据与采用实验方法测量的数据基本一致,从而验证了系统设计的准确性与可靠性。

参考文献:

- [1] 丁海飞,王红亮,张会新,等. 基于 ADS8365 的多路数据采集存储系统设计[J]. 化工自动化及仪表, 2012,39(1):81-84. (DING Haifei,WANG Hongliang,ZHANG Huixin. Design of Multiplex Data Acquisition and Storage System Based on ADS8365[J]. Chemical Instrumentation and Automation, 2012,39(1):81-84.)
- [2] 牛军浩,李智,张景宇. 基于 AD7862 的 USB 高速数据采集系统设计[J]. 电子测量技术, 2011,34(10):87-89. (NIU Junhao,LI Zhi,ZHANG Jingyu. Design of high speed USB data acquisition system based on AD7862[J]. Electronic Measurement Technology, 2011,34(10):87-89.)
- [3] 谭慧玲,李华宝,何爱军. 骨密度测量系统中数据采集与传输关键技术的研究[J]. 北京生物医学工程, 2012,31(1):69-72. (TAN Huiling,LI Huabao,HE Aijun. Data acquisition and transmission technologies of bone mineral density measurement system[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2012,31(1):69-72.)
- [4] 代耀东,苏彦辰. 基于 FPGA 的高速数据采集系统设计[J]. 四川兵工学报, 2012,33(6):89-91. (DAI Yaodong,SU Yanchen. Design of high-speed data acquisition system based on FPGA[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2012,33(6):89-91.)
- [5] 姜朝晖. 基于 FPGA 和 USB2.0 视频图像采集系统设计[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2010. (JIANG Chaohui. The design of video image acquisition system based on FPGA and USB2.0[D]. Hohhot:Inner Mongolia University, 2010.)
- [6] Alter. QuartusII Handbook version11.0 [EB/OL]. (2011-05-09)[2013-03-02]. <http://www.altera.com/2011-05>.
- [7] 刘鹏,黄健. 基于 LabVIEW 和 ARM 嵌入式数据采集与远程传输控制系统[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2009,7(5):459-464. (LIU Peng,HUANG Jian. Design of embedded data acquisition and remote transmission/control system based on LabVIEW and ARM[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2009,7(5):459-464.)
- [8] 陈松柏,周进. 基于 DSP+FPGA 的多目标实时检测系统设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2007,5(1):22-25. (CHEN Songbai,ZHOU Jin. Design of Real-time Multi-Target Detection System Based on DSP+FPGA[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2007,5(1):22-25.)

作者简介:



张 伟(1988-),男,安徽省宿州市人,在读硕士研究生,主要研究方向为 FPGA、DSP、引信技术等,email:weiahhn@126.com.

顾 强(1961-),男,江苏省宝应市人,教授,主要研究方向为探测与制导技术、机电系统设计与分析、引信技术.

田相林(1987-),男,山东省临沂市人,硕士,研究方向为机电系统设计与分析、引信技术.

李世中(1969-),男,河北省乐城市人,教授,主要研究方向为目标探测识别、系统仿真.

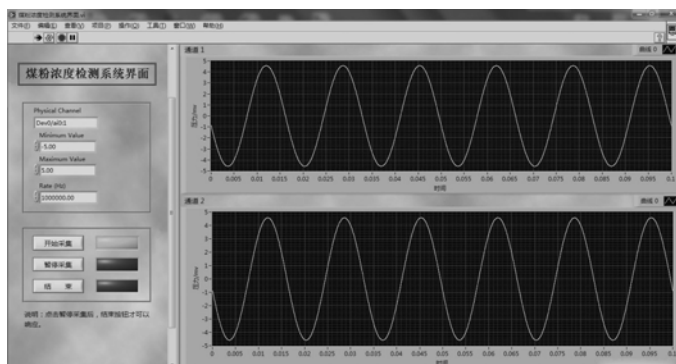


Fig.6 System interface of pulverized coal concentration detection
图 6 煤粉浓度检测系统界面