

文章编号:1671-251X(2013)09-0027-04 DOI:10.7526/j.issn.1671-251X.2013.09.008
周孟然,刘帆,聂梦雅.基于FPGA的水质检测系统研究[J].工矿自动化,2013,39(9):27-30.

基于FPGA的水质检测系统研究

周孟然, 刘帆, 聂梦雅

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘要:针对目前突水水源的判别方法不能实现突水预警,且处理时间较长、过程复杂等问题,设计了一种采用激光诱导荧光技术、以FPGA为核心处理器的水质检测系统。该系统采用在线检测荧光光谱法实时监测地下水的化学成分变化,从而快速检测矿井突水水源的变化前兆,达到突水预警的目的。试验结果表明,该系统检测精确度高,响应速度快。

关键词:矿井突水;水质检测;激光诱导荧光;FPGA;LIF

中图分类号:TD745 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Research of water quality detection system based on FPGA

ZHOU Meng-ran, LIU Fan, NIE Meng-ya

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of
Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract:In view of problems that present discriminated methods of water burst source can't realize prediction of water burst and has long processing time and high complexity, the paper designed a water quality detection system which adopts laser induce fluorescence technology and uses FPGA as core processor. Through on-line detection of fluorescence spectrum, the system can real-timely monitor changes of chemical components of underground water and rapidly monitor movement precursor of the water burst source, so as to achieve forewarning of water burst. The test results show that the system has high detection precision and fast response speed.

Key words:mine water burst; water quality detection; laser induced fluorescence; FPGA; LIF

0 引言

矿井水害是我国煤矿开采中经常遇到的主要地质灾害之一。近年来煤矿突水^[1]事故频发,给人民生命财产安全造成了极大的危害,严重影响了煤矿安全作业。因此,研究煤矿突水预防治理办法成为煤炭安全开采关键技术之一。矿井水害防治的关键问题之一是判定矿井突水水源。目前已发展了很多识别突水水源的方法,例如数学理论分析法、水化学

分析法、GIS理论分析法^[2]等。但上述方法均是在突水发生之后通过对突水水样分析来进行突水水源的判别,在实际使用中达不到突水预警的目的,并且处理时间较长,过程比较复杂。为此,本文利用激光诱导荧光光谱(Laser Induced Fluorescence, LIF)技术^[3],以FPGA为核心处理器,设计了在线水质检测系统。该系统可实时检测地下水的化学成分变化,并且检测精确度高,响应速度快。

收稿日期:2013-03-20。

基金项目:国家自然科学基金和神华集团有限公司联合资助项目(51174258);安徽省自然科学基金项目(11040606M103);安徽省高校自然科学基金研究重点项目(KJ2011A0973)。

作者简介:周孟然(1965—),安徽淮南人,教授,博士,博士研究生导师,主要从事矿山机电设备智能监测、煤矿安全监测监控等领域的研究工作, E-mail:mrzhou8521@163.com。

1 LIF 技术的原理

激光诱导荧光过程是一个光的吸收和转化过程。高强度激光能够使吸收物质中相当数量的分子提升到激发量子态,发射荧光强度比散射强度高,通过测量这些荧光光子来研究原子分子激发态的方法就是激光诱导荧光光谱方法。因为不同物质的激发能级不同,放出的荧光也是特异的,所以说每种物质的荧光光谱都是恒定的,即具有唯一性。

不同类型含水层的地下水的化学成分含量不同,当地下水运动或发生变化时,其化学成分也发生相应的变化,通常把矿井水含有的各种阳离子和阴离子作为水质分析的指标。

通常被作为水质化学指标的离子有 Ca^+ , Mg^+ , Cl^- 等,水中离子在激光源的照射下产生荧光,不同的离子产生的荧光波长不同,并且离子浓度决定了荧光强度。由于突水发生之前含水层的地下水发生运动,水中的离子浓度会产生突变。通过在线检测地下水的离子荧光光谱,可实时监测地下水的化学成分是否发生突变,从而达到突水预警的目的。

2 系统硬件设计

基于 FPGA 的水质检测系统硬件结构如图 1 所示。

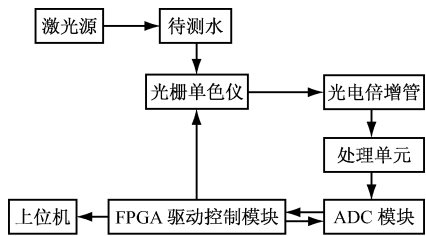


图 1 基于 FPGA 的水质检测系统硬件结构

基于 FPGA 的水质检测系统的工作原理:实时检测水中离子的荧光信号,将其转换成电信号进行处理并以光谱图的形式显示在上位机或 LCD 上,通过监视光谱图的变化来判断地下含水层的运动状况,实时监测突水水源的变化前兆。

光源供电后,激光源稳定地输出 405 nm 的激光,照射到水体上,激发出荧光。此时的荧光信号处在一波段范围之内,控制系统首先给步进电动机驱动脉冲,使其带动光栅单色仪^[4]转动,选择某一波长处的荧光。单一波长的荧光信号进入光电倍增管转

换成电信号,再经过模拟放大电路的放大降噪等处理,送入 ADC 模块采样后,FPGA 对数据进行处理。控制系统发出步进电动机的驱动脉冲后,控制 ADC 开始信号采样。

2.1 光电倍增管增益电路

光电倍增管即 PMT^[5],是一种将微弱光信号转换为电信号的电子器件。光电倍增管的工作电压对光电流的强度有很大的影响,尤其是光阴极与第一打拿极间的电压差对增益(放大倍数)、噪声的影响更大。光电倍增管的供电方式有 2 种,即负高压接法和正高压接法,本文采用了负高压接法。负高压接法的优点是便于与后面的放大器连接,并且可以直流输出信号,也可以交流输出信号。本文设计了 PMT 增益电路,FPGA 向 DAC 发送数据,为负高压电源提供工作电压,通过调整工作电压的大小得到使 PMT 工作在最佳状态的负高压。

2.2 模拟放大转换电路

经过单色仪波长选择的光信号进入光电倍增管,需将输出电流转换为电压信号,供 ADC 模块进行数字化处理,因此,需要设计符合带宽要求、低噪声、低温漂的电流-电压转换电路。本系统设计的模拟放大转换电路采用超低偏置电流差动运算放大器 OPA129^[6]和低偏移电压精密放大器 OPA177,如图 2 所示。

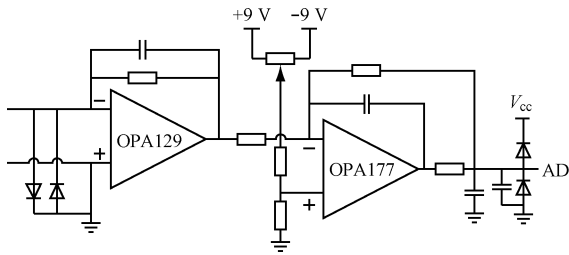


图 2 模拟放大转换电路

模拟电路包括 I-V 转换电路和倒向放大电路。在 I-V 转换电路中,高开环增益运放的输入和输出之间跨接一个电阻就能够完成电流电压转换。在倒向放大电路中使用 OPA177,实现了电压极性的反转及调零。

2.3 FPGA 驱动及控制模块

FPGA 及其外围电路控制着整个系统的运行和数据处理,因而是系统中最重要的硬件组成部分。本文采用 Cyclone III 系列的 EP3C10E144 FPGA,其具有 10 320 个逻辑宏单元、2 个锁相环。在本系统中,FPGA 内部集成了 NIOS II 处理器、JTAG 控

制模块、存储控制器、IO 口模块、锁相环等。本文在 FPGA 器件上进行 SOPC 设计,搭载 Nios II 处理器软核,在 Quartus 软件里设计顶层图以及建立

SOPC,加载本系统所需要的各个模块,包括 PLL、存储控制器、JTAG 调试控制器以及控制外部设备的 PIO 模块。FPGA 配置顶层图如图 3 所示。

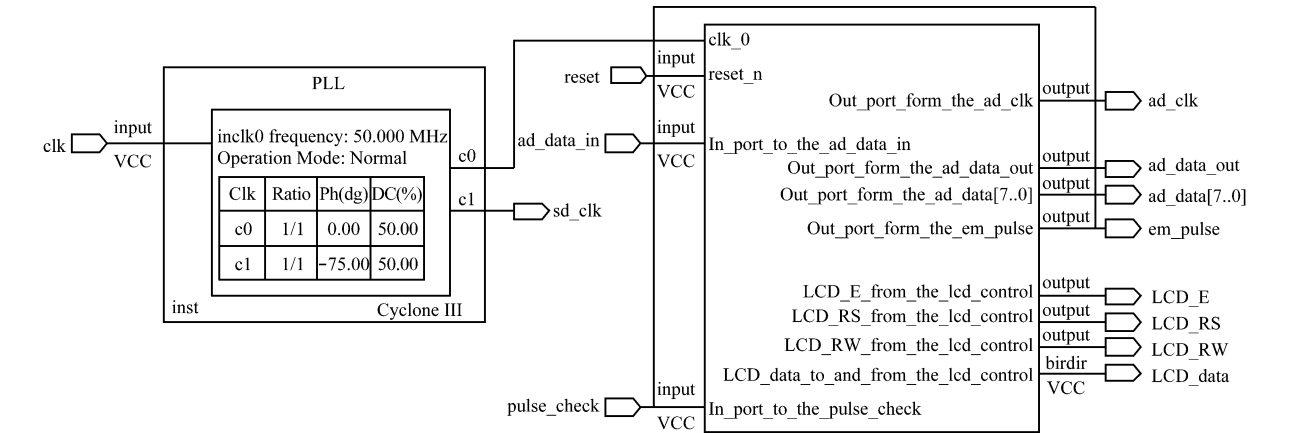


图 3 FPGA 顶层图

FPGA 主要加载的模块为多个不同引脚数量的 PIO 模块。PIO 模块分 3 个功能使用,分别控制步进电动机、ADC 和 DAC,其中控制 DAC 为光电倍增管提供工作所需的负高压电源。在系统软件代码中,通过向 DAC 发送数据,输出所需的增益电压,控制负高压电源输出 PMT 正常工作所需的负高压。FPGA 与外围设备 ADC,DAC,电动机等,构成数据处理模块。数据处理模块完成的主要功能:控制光栅单色仪的波长扫描;实现荧光信号的同步检测以及信号的进一步处理;为光电倍增管提供负高压电源;实现各种接口(包括按键、LCD 等)的操作。

3 系统软件设计

完成 FPGA 的配置后,整个系统的控制还需要 Nios 软核运行程序代码才能控制 FPGA 的存储模块和 IO 口。本文通过 IO 口模拟步进电动机和 ADC 的驱动时序,在 Nios II 11.0sp1 SBT for Eclipse^[7]软件中编写 C 程序代码,使用软件提供的用户接口函数 API 直接对 FPGA 的 IO 口进行操作。系统软件流程如图 4 所示。

FPGA 通过控制步进电动机来转动光栅单色仪,选择发射波长,同时控制 ADC 进行信号采样和处理,得到这一时刻某一种物质的荧光强度信号。本文设计采用了将 ADC 的驱动和步进电动机波长扫描的驱动脉冲在软件上同步,即先输出波长扫描系统的驱动脉冲,然后再控制 ADC 开始信号采样。同时,为了得到扫描波长的位置,需要设定检测端口,利用中断获得已发出脉冲的个数,就可以得出当

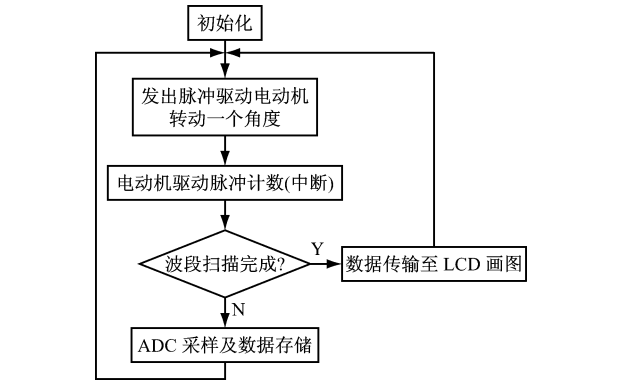


图 4 软件流程

前时刻的发射波长,并与 ADC 采集的信号一一对应。经过配置的 FPGA 驱动 ADC 的同时也为步进电机提供驱动脉冲,并且将 ADC 采集的数据进行存储和处理,最终在 LCD 或者上位机画出光谱图形。部分 FPGA 驱动 AD 的程序如下:

```
unsigned long AD_Read(void)
{
    int i;
    unsigned long Data;
    AD_CS=0; //片选使能
    AD_Write_Byte(0x00);
    for(i = 0; i < 4; i++)
    {
        Data = (Data << 8) + AD_Read_Byte();
    }
    AD_CS = 1;
    Data >>= 8;
    return Data;
}
```

}

4 系统测试

由于荧光信号比较微弱,经光电转换得到的电信号也比较微弱,为了验证系统能否正常进行数据的采集与处理以及能否达到荧光信号检测的精度要求,在实验室环境下对系统进行了仿真测试,由于实验室环境的限制,只对系统电路部分进行了测试,即输入 10 个模拟电压值至处理单元。测试结果见表 1。

表 1 系统模拟测试结果

序号	输入电压/V	输出电压/V	序号	输入电压/V	输出电压/V
1	0	0.007 9	6	1.12	1.231 5
2	0.52	0.516 4	7	1.32	1.212 3
3	0.65	0.641 0	8	2.21	2.176 2
4	0.82	0.831 2	9	2.50	2.512 2
5	0.90	0.911 0	10	3.00	2.999 2

在测试中,被测电压输入至模拟放大电路,然后经过 ADC 采样,送入 FPGA 进行处理,并最终在 LCD 显示出来。从采集到的数据上看,系统能正常进行数据采样和计算处理,满足了微弱荧光信号检测的精度要求。

5 结语

基于 FPGA 的水质检测系统采用 NIOS 软核搭载 SOPC 系统,运行 C 程序代码,控制 ADC 等各

种外设,用 FPGA 及相关器件完成了对水质的荧光光谱数据的采集和处理;在 LCD 和上位机中以光谱图的形式显示出水中不同离子浓度的大小;实时地检测离子浓度的变化,为突水预警提供依据。在实验室环境下的调试和运行结果表明,系统达到了数据采集的精度要求。通过简单的模块扩展之后,如加入以太网模块、UART 上位机通信模块,该系统可以与上位机连接,建立预警机制。

参考文献:

[1] 孟召平,高延法,卢爱红. 矿井突水危险性评价理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2011.

[2] 刘峰. 矿井水害水源的水文地球化学探测技术[J]. 煤田地质与勘探,2007,35(4):62-64.

[3] 阎吉祥. 激光诱导荧光机理研究[J]. 北京理工大学学报,2000,20(2):229-231.

[4] 尚丽平,杨仁杰. 现场荧光光谱技术及其应用[M]. 北京:科学出版社,2009.

[5] 李宏斌,刘文清,张玉均,等. 水体中溶解有机物激光诱导荧光光谱分析方法[J]. 光谱学与光谱分析,2006,26(11):65-68.

[6] 牟永鹏. 荧光检测器信号检测系统设计及其杂散光研究[D]. 上海:上海交通大学,2010.

[7] GAN W S. Embedded signal processing with the micro signal architecture[M]. Canada:John Wiley and Sons. Inc,2007.