

基于 C8051F060 的多通道全自动流动注射分析仪 *

顾爱平 赵萍 陈金辉

(北京吉天仪器有限公司 北京 100016)

摘要 介绍一个基于单片机的多通道全自动流动注射分析仪 (FIA-6100)。该仪器由混合信号系统级微控制器 C8051F060 作为核心控制芯片, 通过串行数据总线控制转盘式自动进样器、比例稀释器、蠕动泵等部件的协同运行, 采用流动注射分光光度法对被测信号的吸光度进行实时的采集与存储, 并由外围的 USB 接口将采集到的数据批量传输至系统工作站进行分析与处理。

关键词 C8051060 控制器 吸光度实时采集 USB 流动注射分析

引言

随着流动注射分析技术的发展, 以及流动注射分析仪器市场的不断拓展, 广大用户对流动注射分析仪提出更高的要求。为进一步提高检测精度和工作效率, 加快仪器的分析速度, 适时推出多通道全自动流动注射分析仪 FIA-6100。该仪器具有如下特点: (1) 最多可同时进行八通道的检测分析; (2) 分析流路的标准化、模块化设计; (3) 在线蒸馏、在线消解、在线萃取、在线离子交换、在线稀释等功能; (4) 操作简单、使用方便, 仪器的精密度高, 准确性好; (5) 可应用在地表水、饮用水、污水和工业废水等领域。

1 系统总体设计

在使用单道流动注射分析仪进行分析检测时, 由于其管路、接头较多, 加上有些分析方法需要在线消解、在线萃取、离子交换、加热等, 这就使得分析模块在需要更换时显得不是很方便, 尤其对于那些每次分析样品不多但是需要检测多个化学成分的情况就更显其局限性。而 FIA-6100 多通道全自动流动注射分析仪则克服上述缺陷, 每个通道自成一体且仪器最多可连接八个通道, 这对于绝大多数的使用情况而言省去更换模块的麻烦。仪器的总体结构 (见图 1), 可以看出每个通道即是一个子系统, 包含有光路系统、蠕动泵、进样器、模块和信号采集系统。通过设置 FIA-6100 地工作模式, FIA-6100 不仅可以同时运行多个不同模块, 而且可以做到多个模块同时检测同一化学物质, 极大提高工作效率。

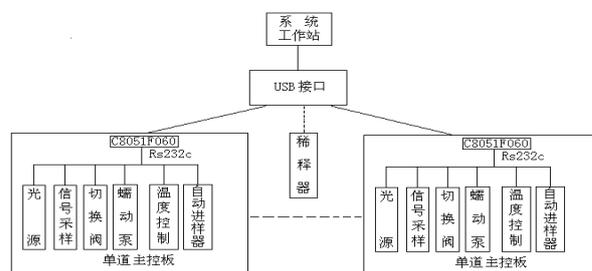


图1 流动注射分析仪FIA6100的结构框图

2 C8051F060 及在 FIA-6100 的应用

C8051F060(简称 F060) 是美国德州 Cygnal 公司推出的一种混合信号 SOC 型 8 位单片机, 它属于 C8051F 系列中的 F06X 子系列, 其性价比在目前应用领域极具竞争力。其片内外设包括: (1) 两个由 DMA 控制的 16 位 1Mps 的 ADC; (2) 内部高精度基准电源; (3) 两个可同时使用的硬件 SMBus、SPI 以及两个增强型 UART 串口; (4) 可编程的高速 PCA 阵列, 六个捕捉/比较模块; (5) 高速控制内核, 流水线式指令结构使其速度可达 25MIPS; (6) 4352 字节数据 RAM 和 64KB 的 FLASH 程序存储器。

在 FIA6100 中为消除光源对信号的干扰保证信号基线的稳定, 采用双光束光路, 这就需要两路模拟输入通道, 而 F060 内含双 16 位 $\Sigma - \Delta$ 模数转换器 (ADC), 且采集速度较之前面产品也有大幅度提高, 最大采样速率可达 1MHz 完全能满足系统对 ADC 的需要。由于 CPU 不仅要控制信号的实时采集、实时数据处理、存储控制、数据传输, 还要控制蠕动泵、自动进样器等其它部件的协同运行, 这样的话 CPU 的负荷较重, 信号采集的实时很难得到保证, 严重时会发生数据缓冲区数据的重

* 本课题为国家科技部“十五”科技攻关项目。

迭、丢失,从而影响系统的性能。为此采取 F060 的 DMA 存储技术,以缓解 CPU 的工作压力。

将 F060 与下位机的通讯是通过串行口 (Rs232c) 来实现的。实际使用时将串行口设置为全双工的模式,双方都要遵循约定的波特率和通讯协议进行数据的传送。由于 F060 只提供两个 UART 口满足不实际的需求,故利用 F060 的可编程高速 PCA 阵列,实现一个软件 UART 口(最多可以扩展 6 个软件 UART 口),解决通讯对串口的需求。

3 数据的存储

因 F060 的片内 RAM 不能满足长时间测量的需求,为此必须扩展片外 RAM 存储器。由于信号的采样频率为 $\geq 200\text{Hz}$ 就能保证信号测量的真实性,根据实际工作情况系统外扩一块 $16\text{M} \times 8$ 字节的 Flash E²PROM 芯片 Samsung K9F2808。该 Flash 芯片采用 NAND 技术集成,除 $16\text{M} \times 8$ 字节的存储空间外,还集成 $512\text{K} \times 8$ 字节的备用空间,以用作存放数据校验等冗余信息,以保证数据存放的可靠性。

该芯片通过内部的控制逻辑,分时从 8 位数据口输入命令、地址和数据,并以外部片选、地址有效分 3 次送出 24 位地址,这就可以使得 F060 方便地寻址到 16M 地字节空间。

4 数据采集与分析处理

C8051F060 将采集的数据打包传给系统机,为保证波形的连续性,C8051F060 主要是按照事先约定好的协议将数据包以每秒 50 包的速度发送,系统机也按照协议解析数据包中的数据,利用多线程编程技术,开辟实时采集线程来专门处理 USB 读取数据。在数据传输之前还需要对信号进行一些滤波算法处理,滤除工频干扰,抑制基线漂移。主要采用二阶低通滤波和高通滤波器有效的解决基线漂移的问题。

由于检测信号对 AD 转换的分辨率较高一般要达到 16 位及以上,对应的信号幅度在微伏级,这已属于微弱信号的范畴。在对 AD 信号过采样的基础上,为进一步消除工频及其它干扰在 Fia6000 的基础上对光路、电路部分进行改进:

(1) 光路部分: FIA-6100 设计为单波长双光束光路(见图 2),其优点是除能自动扫描吸收光谱外,还可以自动消除电源电压波动的影响,减少放大器增益的漂移。由于参比光和样品光是同一束光通过分光器分成两束得来的,因此每次采集的数据都是

两个——A 道光路作为参比信号, B 道光路的为样品信号。参比信号以 I_0 表示, 样品信号以 I_1 表示, 根据朗伯-比尔定律, 按下式计算得出的吸光度值作为一次采样的数据: $A(\text{吸光度}) = \text{Log } I_0 / I_1$ 。

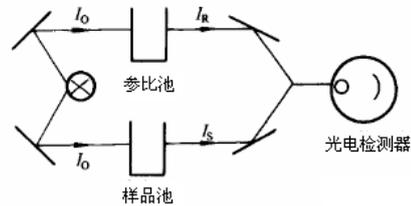


图 2 单波长双光束分光光路图

(2) 光电检测原理: 光源部分采用低压低功耗、高稳定度的钨灯作为光源; 光检测放大器须将光电池接收的光信号转变成与之成比例的微弱电流信号, 再通过前置运算放大器转换成电压信号, 再经过滤波电路送入 FIA-6100 的 AD0、AD1 进行检测(见图 3)。

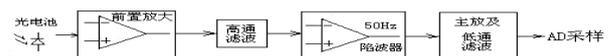


图 3 光电池检测放大构成图

放大器共分 3 级: 前两级为信号放大级, 后级为工频陷波器。为在噪声干扰比较严重的情况下仍能获得比较好的带宽增益和高信噪比, 两级运放全部采用斩波稳零超低漂移运放 ICL7650SC。ICL7650SC 为 intersil 公司出品的 14 脚单运放集成块, 常温下开环增益可达 150dB; 共模抑制比高达 140dB; 输入偏置电流低于 10pA; 带宽 2MHz; 对温度和长期工作的漂移电流为微安级。电路电阻均选择经过筛选的金属膜电阻, 条件允许的情况下可选用线绕电阻。电容选用高频性能好的磁片电容, 极性电容选择钽电容。

第一级使用 ICL7650SC 反相放大, 完成光电流→电压的变换, 第二级使用 ICL7650SC 正相输入放大, 总倍数为 100×10 。由于 2 级放大器之中产生附加相移, 如果因反馈过深引起的附加相移超过 180° 就会引起运放自激。为防止自激, 可以引入超前补偿网络(见图 4), 具体做法是与运放反馈电阻 R₂、R₅ 分别并联电容 C₁、C₂, 从而改善系统响应函数的零极点位置, 达到稳定系统的目的。

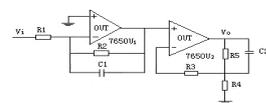


图 4 带超前补偿网络的检测放大电路

工频干扰是采样信号的主要干扰, 虽然前置放大电路对共模干扰具有较强的抑制作用, 但有部分

工频干扰是以差模信号方式进入电路的，加上光源和输入回路不稳定等因素，前级电路输出的电信号仍存在较强的工频干扰，所以必须专门滤除。常规有源陷波器的频率特性对电路元件的参数比较敏感，因此难以精确调试，且电路稳定性不高。而开关电容集成滤波器无需外接决定频率的电阻或电容，滤波频率仅由外接或片内时钟频率决定，且其频率特性对时钟和外围电路的参数不敏感，因而性能较稳定。凌特公司的LTC1068-50集成开关电容滤波器内部集成四个独立的二阶开关电容滤波器，时钟与中心频率之比为50:1，误差为±0.3%。可采用±5V、5V供电。因此，配合厂家提供的FilterCAD滤波器设计软件，可灵活配置成各类滤波器（低通、高通、带通、全通等）。为较好地滤除工频干扰，本设计利用LTC1068-50的优点专门设计一个8阶巴特沃斯50Hz陷波器，采用的时钟信号频率为2.5kHz设计电路（见图5）。经测试，陷波深度可达50dB，可衰减100倍左右，效果比较理想。

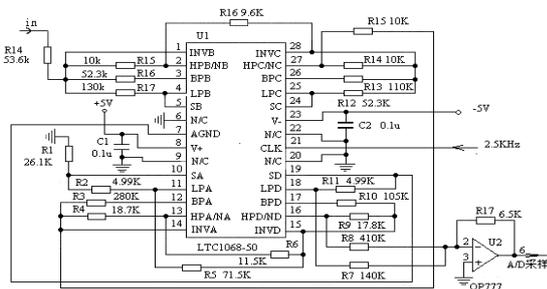


图5 50Hz工频陷波器电路图

5 USB 数据的通讯

FIA-6100 与系统工作站数据的通讯采用的是

单片机加 USB 接口芯片的方案。USB 接口芯片采用的是 PDIUSB12，该芯片是一个性能优化的 USB 器件，与微控制器通过并口进行通信，同时支持本地 DMA 传输。PDIUSB12 完全符合 USB1.1 规范，PDIUSB12 挂起时的低功耗以及 LazyClock 输出符合 ACPI、OnNow 和 USB 电源管理的要求，还集成 SoftConnect、GoodLink、可编程时钟输出、低频晶振和终端电阻等特性。在 USB 接口连接系统工作时，GoodLink 引脚上发光二极管会指示当前工作状态。极大方便 PDIUSB12 的观察与调试（见图6）。为加快 PDIUSB12 的数据传输速度，优化 C8051F060 的外部存储时序控制寄存器 EMI0TC 的设置，并利用 PDIUSB12 的断点 2 双缓冲区作为通讯通道，根据实际的使用效果，数据的传输速率大约为 244KB/S 左右。

6 测控系统软件的实现

软件部分的设计是构建于实时操作系统 Small RTOS51 的平台上的，系统的任务划分是实时操作系统应用软件设计得关键，因此任务划分是否合理将直接影响软件设计的质量。根据 FIA6100 的系统需求，从任务的关键性、紧迫性、数据处理实时性等方面综合考虑，将系统任务按照优先级从高到低的顺序依次划分为以下几个：报警任务、USB 通讯处理任务、下位机串口通讯处理任务、信号采样任务、流路压力测控任务（漏液检测功能）、温度控制任务、主控制任务、切换阀运行控制任务。通电后，系统首先进行初始化与自检，然后建立所有任务需要的消息队列，依次建立 8 个任务并通过执行 OSStart () 函数启动各个任务，然后 Small RTOS51 操作内核接管系统的运行、任务的调度。

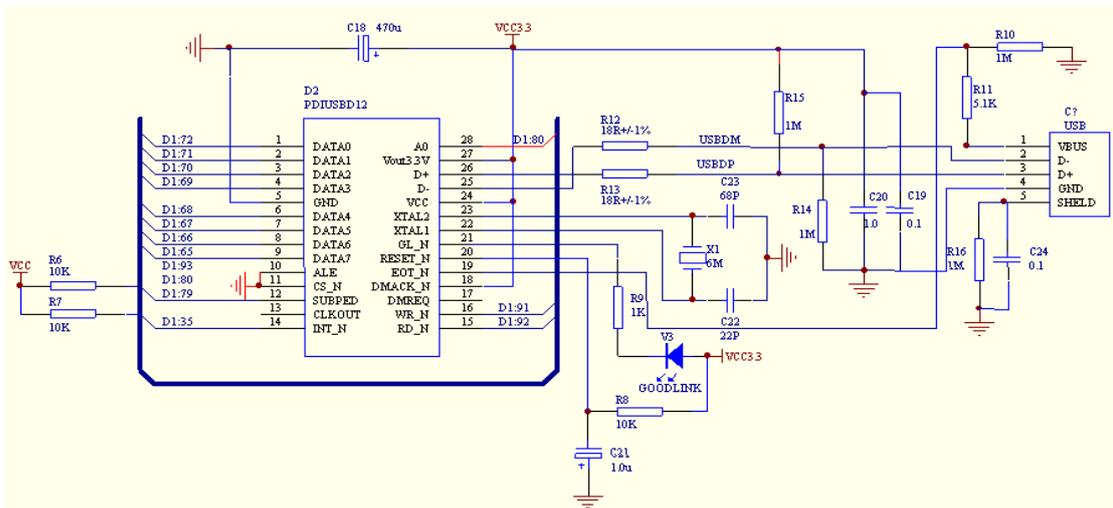


图6 PDIUSB12接口电路

7 性能测试

以水中总磷的测定为例,对 0.01~0.4mg/L 浓度范围的工作曲线进行检测,其线性方程为 $C = -0.0266A^2 + 10.7634A + 1.3682$ (见图 7),其相关系

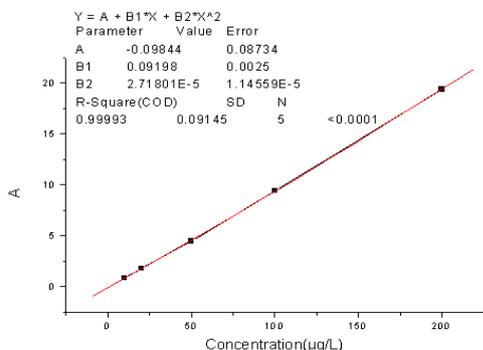


图 7 总磷分析的工作曲线图

数 (r) 可以达到 0.9999。0.01mg P /L 经 7 次测量的 SD 为 0.0738, 根据 EPA 方法 $DL = t_{(n-1, \alpha=0.99)} * (s)$ 当 n=7 时 t=3.14, 测得其检出限为 0.0024mg P /L, 取 0.1mg P /L 总磷标液, 测定其 RSD, 所以计算出 11 次测定平均值为 0.099mg/L, RSD 为 0.92%, 结果令人满意。

8 结束语

A multi-channel automatic flow injection analyzer(FIA) system which based on single-chip microcomputer C8051F060

Gu Aiping Zhao Ping Cheng Jinhui

(Titan Instruments Co.,Ltd BeiJing 100016)

Abstract This paper presents a multi-channel automatic flow injection analyzer(FIA) system which based on single-chip microcomputer (SCM). The system using mixed-signal System-on-a-Chip(Soc) MCUs C8051F060 as the the central IC can control the synergistic operation between turntable automatic sampler, diluter and peristaltic pump through universal serial data bus. The absorbance data real-timely collected and stored by the FIA spectrophotometric method is Bulk transfered to workstation through peripheral USB. The data is analysed and treated at the workstation.

Key words C8051F060 microprocessor Absorbance data real-timely collect Universal serial bus Flow injection analyzer(FIA)

(下接第 56 页)

Principle of the multi-function food safety detector

Zhang Yongzhong Wu Shuci

(Electronics & Information Engineering School Of Central South University of Forestry & Technology, Changsha 41000)

Abstract This article explains the principle and application of visible spectrometry in the food safety detector, and by using the modern electronic technical, a multi-function food safety detector was designed with characteristic of satisfying market requirements, full functions and easy carrying.

Key words Visible spectrometry Food safety detect Multi-function food safety detector

本系统充分利用 C8051F060 单片机的强大功能,最大限度降低系统对外围芯片的需求,相应的使得整个控制系统得到简化,缩小 PCB 电路板的总体尺寸。由于 USB 接口技术的应用使得数据传输速度得到明显的提高,也使得多通道的同测成为可能,从而成倍地加快仪器地检测分析效率。

参考文献

- 1 Cypress Semiconductor Corporation, Using Decoupling Capacitors [B]. Cypress Semiconductor Corporation San Jose CA 1999:1 ~ 4
- 2 刘卫东,刘延冰,刘建国. 检测微弱光信号的 PIN 光电检测电路的设计 [J], 电测与仪表, 1999, (4):28 ~ 31
- 3 高雅允,高岳. 光电检测技术 [B], 北京:国防工业出版社, 1995, 6: 172 ~ 188
- 4 潘琢金,施国君. C8051FXXX 高速 SOC 单片机原理与应用 [M], 北京:北京航空航天大学出版社, 2002
- 5 胡广书, 数字信号处理—理论、算法与实践 [M], 北京:清华大学出版社, 1997
- 6 周立功, PDIUSB12 USB 固件编程和驱动开发 [M], 北京:北京航空航天大学出版社, 2003
- 7 陈明计,周立功. 嵌入式实时操作系统 Small RTOS51 原理及应用, 北京:北京航空航天大学出版社, 2004
- 8 金永生,范明凤. 基于 Small RTOS51 的数据采集器设计, 单片机与嵌入式系统应用, 2004, (5): 59~60