

基于 MSP430 单片机控制的近红外光谱仪用光源

张银桥, 张小超

(中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

摘要:在使用近红外光谱仪器对农产品成分的含量进行测量时,光源的稳定性对测试结果非常重要。介绍了一种使用单片机控制的光源稳定系统,它通过 AD 采集反馈电压,运用数字 PID 算法,通过控制 DA 输出来调整 NMOS 场效应管的导通情况,从而达到稳定卤素灯工作电流的目的。该光源系统工作稳定可靠,控制精度优于 0.02%,可作为近红外光谱仪专用光源。

关键词:MSP430; AD7705; PID; 光源; 近红外

中图分类号:TH744 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8829(2009)09-0030-04

MSP430 MCU-Based Light Source for NIR Spectrometer

ZHANG Yin-qiao, ZHANG Xiao-chao

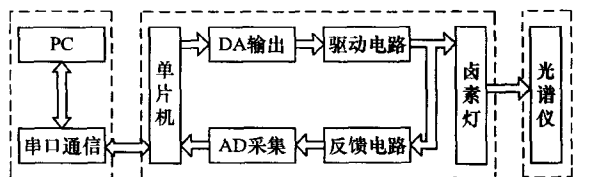
(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: It is very important to use a NIR spectroscopy which is equipped with a stability light source to measure the composition content of the agricultural products. A stability light source system which is controlled by a microcontroller is introduced. At first, it collects the feedback voltage through an AD converter, and then it uses a digital PID algorithm to get the output value. According to this, the microcontroller controls a DA converter to adjust the NMOS FET working state to stable the current of halogen lamp. The system is stable and reliable, and the accuracy is better than 0.02%. It can be used as a dedicated light source for NIR spectroscopy.

Key words: MSP430; AD7705; PID; light source; NIR

目前,近红外光谱仪器的探测器精度越来越高,与此同时,人们对目标对象含量的精度要求也越来越高,因而光源的细微变化都可能极大地影响测量精度,尤其对低浓度的成分来说,更有可能会出现错误的结果,所以光源的稳定性对于测试精度来说是非常关键的。近红外光的波长范围介于 0.8 ~ 2.5 μm,由黑体辐射定律可知,在 3 000 °C 左右的色温下近红外谱区的辐射效率很高,因此一般用卤素灯^[1]。本研究所提出的光源采用的是德国 OSRAM 公司的 12 V 卤素节能灯杯,平均寿命达 4 000 h。本设计目的是为自主研发的近红外光谱仪开发一款稳定可靠的配套光源。

件部分包括单片机工作电路、AD 采集电路、DA 控制电路、卤素灯工作回路和反馈电路;软件部分包括 PC 与单片机的串口通信、反馈信号的采集、滤波、数字 PID 控制和 DA 输出。系统框图如图 1 所示。



上位机管理系统 光源控制系统 光谱仪系统

图 1 系统框图

系统上电初始化完毕后,单片机将 PC 下达的卤素灯工作电压与 AD 采集得到的反馈信号一起经数字 PID 算法处理得到控制输出,经 DA 输出给场效应管的栅极,从而对反馈电压进行调整,形成闭环系统。由于反馈电压采至于卤素灯工作回路里的低阻值精密电阻,也就相当于得到了反馈电流,从而实现了控制电流的效果。

1 系统总体设计

光源控制系统主要包括硬件和软件两个部分:硬

收稿日期:2009-05-22

基金项目:“农产品品质检测 and 商品化技术装备研究与开发”课题(2006BAD11A12)

作者简介:张银桥(1980—),男,湖北人,工程师,硕士研究生,主要研究方向为自动检测与控制技术。

2 系统硬件设计

该系统采用了美国 TI 公司的超低功耗处理器 MSP430F169 型单片机。它采用“冯·诺依曼”结构, RAM、ROM 都位于同一个地址空间内, 最大寻址地址为 62 KB(60 KB Flash, 2 KB RAM)。内部集成有 1 个硬件乘法器、1 个精确的模拟比较器、2 个具有捕捉/比较寄存器的定时器、8 路外部和 4 个内部 12 位 A/D 转换器、片内看门狗定时器、2 个串行通信接口以及 48 个 I/O 引脚, 每个 I/O 口分别对应输入、输出、功能选择、中断等多个寄存器, 功能口和通用 I/O 口可复用, 增强了端口功能和灵活性, 提高了对外围设备的开发能力^[2]。

2.1 反馈电路

反馈电路如图 2 所示: 其中 AIN2+ 是反馈取样点, 接入 AD 芯片的输入端, 该处的电阻为 20 W、0.1 Ω、1% 精度的铝壳电阻。反馈电压通过运放 U3A 放大后, 与 DA 输出经过比较器 U3B 后, 驱动 IRFP150 的栅极。具体过程如下: 当卤素灯回路电流增大时, 铝壳电阻端电压上升, 则放大器 U3A 的输出上升, 导致比较器 U3B 的输出减小, IRFP150 的导通电流也就减小, 即抑制了卤素灯回路电流的增加变化, 反之亦然。

2.2 数据采集部分

考虑到自主研发的光谱仪的信噪比为 4 000 : 1, 光源的稳定精度又一定要优于仪器的信噪比, 因而将设计精度要求设定为 0.02%。12 位 AD 的精度相当于 $1/4096 \approx 0.024\%$, 16 位 AD 精度相当于 $1/65536 \approx 0.015\%$, 所以 MSP430F169 自带的 12 位 AD 精度不能满足设计要求, 因而需要外接更高精度的 16 位 AD, 本设计采用了 AD 公司推出的 16 位高性能、低功耗 $\Sigma - \Delta$ A/D 转换器 AD7705, 它具有增益可编程放大器, 可通过编程直接测量传感器输出的微弱信号^[3]。

AD 转换电路如图 3 所示, 其工作电压可以选择 3 V 或 5 V, 考虑到 MSP430F169 采用 3.3 V 供电, 因而

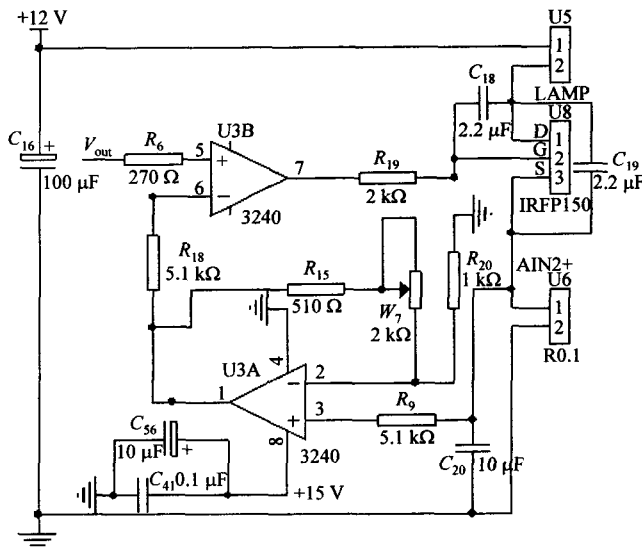


图 2 反馈电路图

AD7705 也采用 3.3 V 供电, 以免需要电平转换。2.5 V 的参考电压通过 AD584 来提供, 并接了 2 个滤波电容来提高抗干扰能力。DIN、DOUT 则通过上拉 5.1 kΩ 电阻来保证逻辑的可靠性。AD7705 印刷电路必须讲究布线技巧, 布线的好坏直接影响数据的转换精度, 经验表明, AD7705 应该布设在一个相对独立和集中的区域, 器件面用覆铜作接地平面, 起到屏蔽作用。数字区和模拟区尽可能在底面分开布线, 模拟接地与数字接地应只在一个点连接在一起, 避免出现接地环路, 并用屏蔽网格技术加以屏蔽, 最后要以星形结构接入系统公共接地点。图中 SGND 即为数字地, GND 即为模拟地, 二者通过跳线端子短接于一点。所有电源都要加电容去耦电路, 电容尽量靠近芯片的电源输入端^[4], 如图中的 C_{29} , C_{30} 等。

2.3 控制输出部分

控制输出部分采用了宽工作电压, 单输出通道, 并行接口 16 位 D/A 转换器 DAC8541, 其与 MSP430F169 的接口电路如图 4 所示。DAC8541 与 MSP430F169 的连接线比较多, 布线时应优先走线。

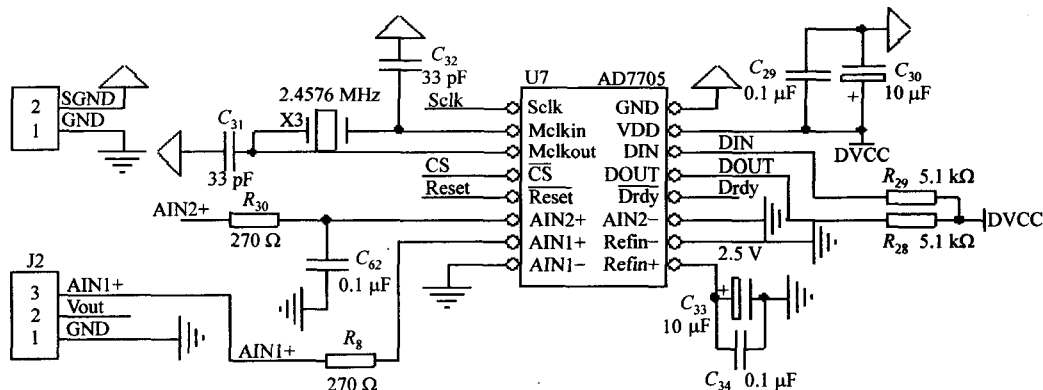


图 3 AD 采样电路图

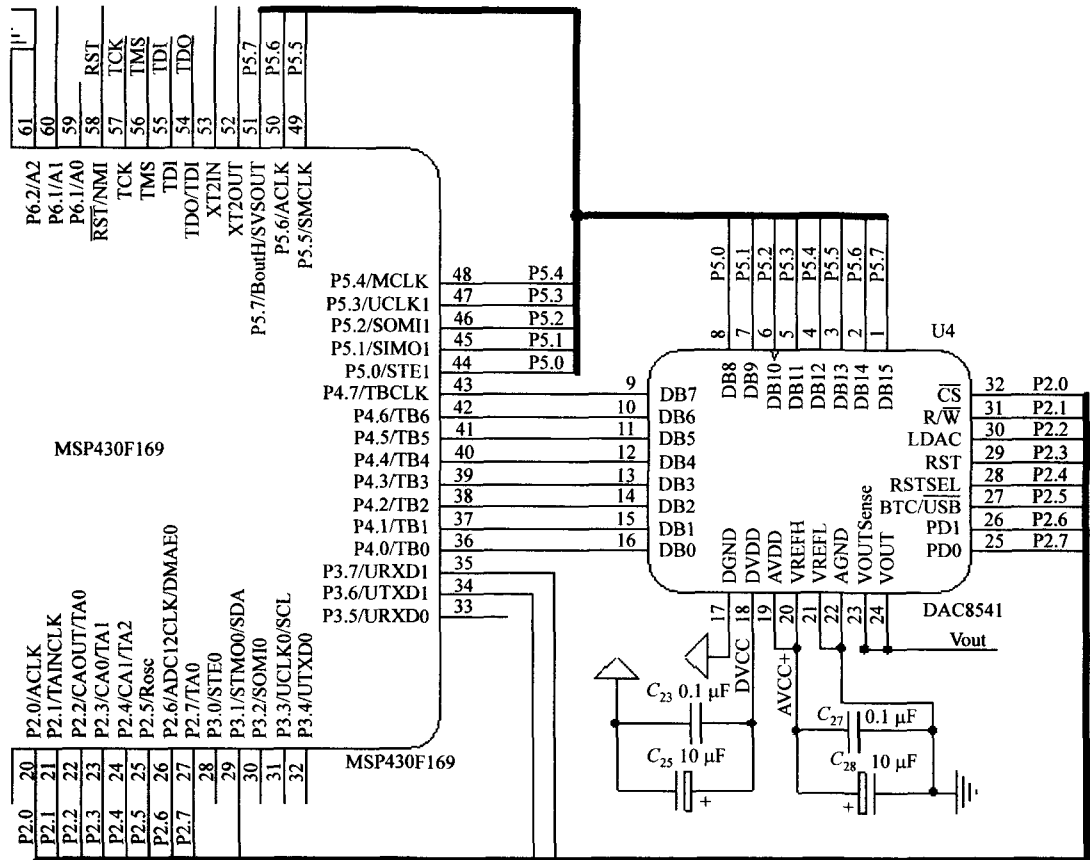


图 4 DA 与 MSP430F169 的接口电路

2.4 数据传输部分

本设计采用 MSP430F169 的 USART 模块通过 RS232 串口与 PC 进行通信。芯片选择了 Maxim 公司的 MAX3221^[5], 当 FORCEON 为低电平且 FORCEOFF 为高电平时, 开启自动掉电关闭功能: 即当 MAX3221 的输入端没有接收有效信号时, 片上电源和驱动器将自行关闭, 以达到节能的目的。只有当有效电平送至任意一个 RS-232 接收器输入端时, 系统才会再次开启。

3 系统软件设计

单片机程序流程框图如图 5 所示。

单片机上电经过初始化后进入待命状态, 当 PC 发出期望的控制电压和 PID 参数, 单片机便进入串口中断程序, 读取完这些设定值的同时由串口向 PC 返回接收到的数据和 PID 处理结果, 以保证参数传输的完整、可靠和控制过程的可监测。在串口中断程序结束前打开 AD7705 的中断, 单片机便再次进入待命状态。当 AD7705 转换完成后, 就会进入相应的中断服务程序, 先清 AD 中断标志, 再关中断, 然后按位读取 AD 转换结果并转换成十六进制数, 再进行滤波后, 采用数字 PID 控制算法得到控制输出量, 由 DAC8541 并

行输出。

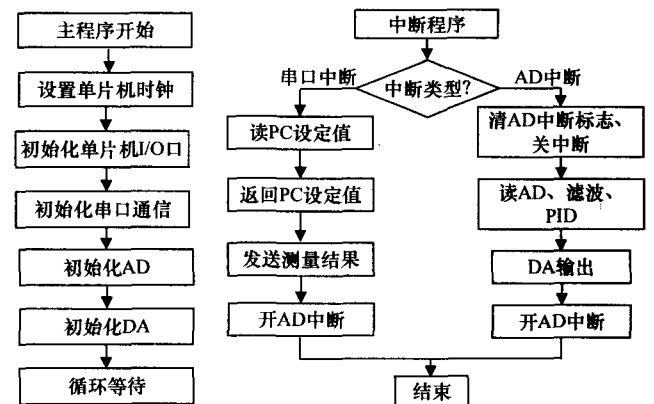


图 5 单片机程序流程框图

3.1 AD7705 设置说明

考虑到单片机读取 AD7705 转换结果的时效性要求很高, 所以采用通过监控其硬件 DRDY 引脚的状态, 来确定数据寄存器是否已更新, 一旦 DRDY 引脚变成低电平, 就表明数据寄存器数据已经更新完毕, 可以读取。所以将该引脚连接至 MSP430F169 的带中断功能的一个 I/O 口就可以实现中断监控方式。

AD7705 一共有 8 个片内寄存器, 均通过器件的串行口进行访问, 需要注意的是 AD7705 是串行 AD, 且

不论读写,都是高位在前,低位在后。本设计主要涉及到的是通信寄存器、设置寄存器、时钟寄存器和数据寄存器。

通信寄存器主要设置操作的目标寄存器类型、读写操作,以及 AD 通道选择。在器件复位后,其通信寄存器处于待命状态,对所有的寄存器的操作都是由先写通信寄存器开始,而这个写操作决定着下一次操作的目标寄存器是哪个寄存器,以及对该寄存器采取的操作是读还是写。

设置寄存器主要是设定工作模式、增益和极性选择。本设计初始化设定值为 0X40,即为自动标定模式,增益为 1,单极性,滤波。值得注意的是初始化时设定 AD7705 为自动标定模式,当自动标定完成后,AD7705 会自动将工作模式跳转为正常工作模式,因而不需要再次设置该寄存器。

时钟寄存器主要是设置工作时钟、分频选择以及输出数据更新频率。本设计初始化设定值为 0X04,即选择工作时钟为 2.4576 MHz,不分频,输出更新速率为 50 Hz。

数据寄存器是一个 16 位的只读寄存器,它存储着最新的 AD 转换结果,单片机就是通过读此寄存器获得 AD 转换结果。

3.2 数字 PID 算法^[6]

数字 PID 算法是整个光强控制程序的核心,相对于位置式 PID 算法而言,增量式 PID 算法的计算误差对控制量影响小,控制精度高。

计算公式为

$$\Delta U(k) = Ae(k) - Be(k-1) + Ce(k-2)$$

其中, $A = K_p [1 + \frac{T_s}{T_i} + \frac{T_d}{T_s}]$; $B = K_p [1 + 2\frac{T_d}{T_s}]$; $C = K_p$

$\frac{T_d}{T_s}$; T_s 为采样周期; T_d 为微分时间; T_i 为积分时间。

上述的计算公式已经看不出是 PID 的表达式了,也看不出 P、I、D 作用的直接关系,只表示了各次误差量对控制作用的影响。数字增量式 PID 算法只需要储存最近的 3 个误差采样值 $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$,相比必须将系统偏差的全部过去值 $e(j)$ ($j=1,2,3,\dots,k$) 都存储起来的位置式 PID 算法,极大地节省了内存空间。

4 实验与结果分析

图 6 是考察光源控制效果的实验数据,PC 给定的控制目标电压为 9.7 V,数据保存的时间间隔设定为 1 s,所以横坐标每 3 600 个点也就对应 1 h,此次实验持续时间为 8 h 之多。另外,控制精度约为: $(9.7008 - 9.6992)/9.6992 = 1.65e - 4$ 。有研究表明:光源在其

电源打开约 15 min 以后稳定性变好^[7],而图中的横坐标每一小格为 15 min,由此可见,光源系统的控制部分能在小于光源开机稳定时间内将光源控制在期望值的允许误差内,没有额外增加等待时间,提高了实验效率。

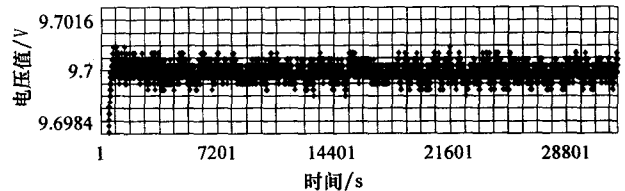


图 6 光源控制稳定性实验

由以上分析可以看出,本设计完全满足了设计要求。目前该系统已经作为自主研发的近红外光谱分析仪专用光源,极具推广价值。

参考文献:

- [1] 严衍禄,赵龙莲,韩东海,等. 近红外光谱分析基础与应用[M]. 北京:中国轻工业出版社,2005.
- [2] 沈建华,杨艳琴,翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [3] 陈勇钢,吴伯农. 16 位 Σ - Δ 模数转换器 AD7705 及其校准[J]. 现代电子技术,2006,29(4).
- [4] 敖振浪,李源鸿,谭鉴荣. 十六位模数转换器 AD7705 及其应用[J]. 成都信息工程学院学报,2003,18(3).
- [5] 张立臣,李宝山. 可自动关闭 RS-232 收发器 MAX3221 的应用[J]. 常州工学院学报,2007,20(4).
- [6] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[J]. 工业仪表与自动化装置,1997,(4):60-62.
- [7] 周小丽,刘木清. 近红外光源的稳定性控制[J]. 光源与照明,2004,12(4).

□

(上接第 29 页)

参考文献:

- [1] 罗安. 电网谐波治理和无功补偿技术及装备[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [2] 修运访. 基于 LabVIEW 事件结构的电台自动化测试系统[J]. 测控技术,2008,27(2).
- [3] 祁才君. 数字信号处理技术的算法分析与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [4] 郑恩让,杨润贤,高森. 关于电力系统 FFT 谐波检测存在问题的研究[J]. 继电器,2006,34(18).
- [5] 胡昌华,李国华,刘涛,周志杰. 基于 MATLAB6. X 的系统分析与设计—小波分析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [6] Bishop R H. LabVIEW6i 实用教程[M]. 北京:电子工业出版社,2003.

□