

基于 MSP430 和模糊控制的微量计量泵控制系统

杨艳萍, 陶彩霞, 吴俭民

(兰州交通大学 自动化与电气工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 以超低功耗单片机 MSP430F149 作为核心, 设计了一套通过控制步进电机的方向和转速来实现流量控制的微量计量泵控制系统. 采用模糊 PID 控制方式, 实现了步进电机的闭环控制, 并用 LabVIEW 开发了上位机控制显示界面, 通过 RS-232 实现与上位机的串口通信. 该系统稳定性好、控制精度高.

关键词: MSP430 单片机; 步进电机; 微量计量泵; 虚拟仪器

中图分类号: TP273.5 **文献标志码:** A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2014.01.006

0 引言

传统的计量泵控制方式因其精度低、显示不直观、可靠性差, 无法满足对大规模工业化生产工艺的控制要求^[1]. 近年来, 单片机行业随着机电一体化快速发展迅速崛起, 给现代工业测量控制领域带来了新的技术革命. 使用单片机实现流量的调节控制, 能有效地提高控制的精度, 降低功耗^[2]. 笔者在现有的微量计量泵控制系统的基础上, 采用 MSP430 系列单片机, 设计了一套流量控制系统, 具有一定的实用价值.

1 系统的基本组成和控制原理

系统由超低功耗单片机、电源模块、按键模块、步进电机驱动模块、步进电机、检测装置、串口通信模块和上位机界面显示模块等部分组成.

系统采用上下位机控制结构, 上位机发送指令给下位机, 下位机执行完成后将自己的状态信息发送给上位机, 上位机和下位机通过标准串口通信.

本系统是以 MSP430 单片机作为核心控制步进电机驱动芯片, 进而控制步进电机动作, 光电编码器则作为检测装置形成闭环系统. 设定输入流量值转化为步进电机的转速, 通过步进电机驱动柱塞运动, 光电编码器将检测到的步进电机转速反馈给上位机, 与设定速度进行比较, 使系统智能调节步进电机转速. 红外光电传感器检测凸轮的位置状态, 在系统泵液结束后, 立即快速回弹. 系

统硬件原理如图 1 所示.

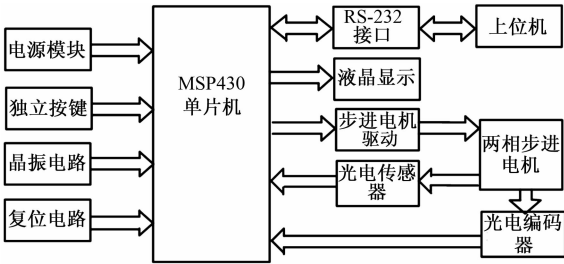


图 1 系统硬件连接框图

Fig. 1 Hardware connection block diagram

2 系统硬件设计与实现

系统硬件原理图如图 2 所示. 系统控制电路由按键模块、步进电机驱动模块、检测装置、串行通信模块和 1602 液晶显示及上位机界面显示模块等部分组成.

2.1 以单片机为核心的控制系统

MSP430 系列单片机是一种超低功耗、功能强大的单片机. 系统中采用的是 MSP430F149. MSP430FG4619 微控制器的配置有 2 个 16 位定时器, 1 个高性能 12 位的 A/D 转换器, 双通道 12 位 D/A 转换器、3 个可配置运算放大器、1 个通用串行通信接口 (USCI)、1 个通用同步/异步通信接口 (USART)、DMA、80 个 I/O 引脚和一个带稳压充电泵的液晶显示器 (LCD) 驱动器. 数控振荡器 DCO 可以使器件在少于 6 μ s 的时间内, 从低功耗模式迅速激活到运行模式^[3-4].

收稿日期:2013-09-20; 修订日期:2013-11-20

通信作者:陶彩霞(1972-), 女, 甘肃兰州人, 兰州交通大学副教授, 主要从事电机及其控制等方面的研究, E-mail: 1733425004@qq.com.

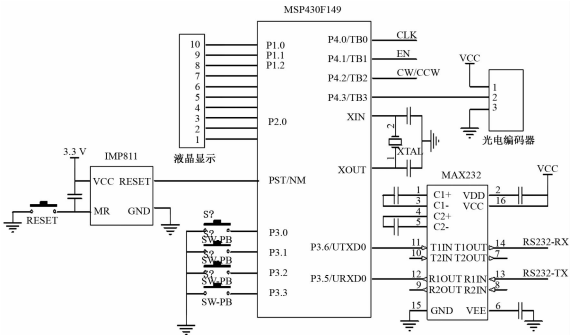


图 2 系统硬件原理图

Fig. 2 Hardware principle diagram

2.2 电源模块

系统电源电路如图 3 所示. 系统中采用 S - 50 - 12 V 开关电源提供 12 V 直流电压. 单片机工作电压为 3.3 V, 将 12 V 电压经过 LM7805 转换为 5 V, 再经过 LM317 降为 +3.3 V. 控制系统中步进电机驱动芯片工作电压为 5 V, 芯片的功率电压为直流 12 V.

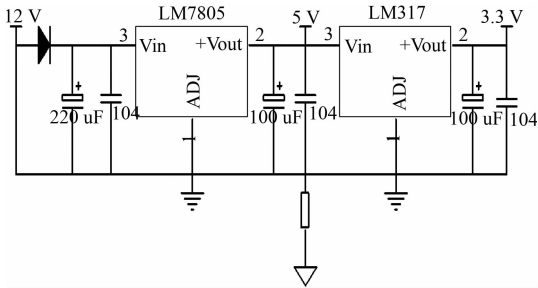


图 3 电源电路图

Fig. 3 Power supply circuit diagram

2.3 电机控制

步进电机驱动芯片采用 THB7128H, 其中 M1, M2, M3 细分设置端口与 3 位 DIP 开关连接. 可设置 8 种不同细分模式, 分别为 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128.

单片机 P4.0 脚与驱动芯片 THB7128H 的电机的脉冲信号输入端 CLK 连接; P4.1 与正反转控制端 CW/CCW 相连, 控制步进电机的转动方向; P4.2 脚与使能端 ENABLE 相连, 在工作时状态始终为 1; 两相四线步进电机的 A +、A - 端和 B +、B - 端分别与驱动芯片 THB7128 的 OUT_1A、OUT_2A 和 OUT_1B、OUT_2B 端口连接. 如图 4 所示.

2.4 光电编码器

光电编码器输出信号为一组方波脉冲 Z 相信号. 光电编码器每旋转一周, Z 相便输出一个脉冲, 输出脉冲的个数和步进电机旋转角度成正比

关系. 采用 M/T 法测速通过计算脉冲数从而计算出步进电机运行的转速. 将光电编码器测得的转速上传到上位机, 与设定流量下的转速进行比较.

3 系统的软件设计与实现

MSP430 单片机的软件开发平台使用最多的是 IAR 公司专为 MSP430 系列单片机提供的集成调试环境 Embedded Workbench 嵌入式工作台和 C 语言调试器 C - SPY, 提供了快捷方便而且功能丰富的窗口调试界面, 使编译调试的效率大大提高^[4-5].

软件主程序流程图如图 5 所示. 系统的控制策略是采用单片机定时器中断的方法产生步进时钟脉冲, 通过对步进脉冲数和脉冲频率的控制实现对步进电机的转速的调节控制. 在子程序中设定定时器的初始值, 通过调整定时初始值调节流量^[6].

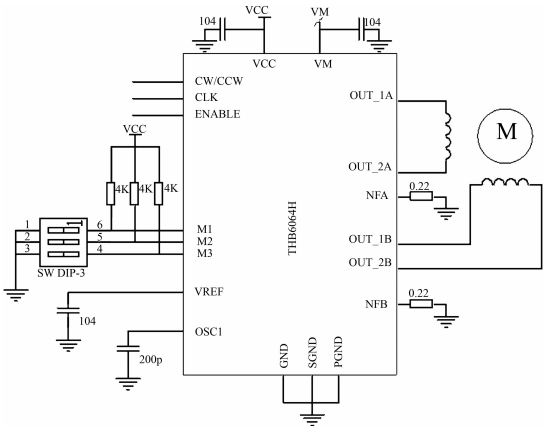


图 4 THB7128 外围电路

Fig. 4 THB7128 peripheral circuit

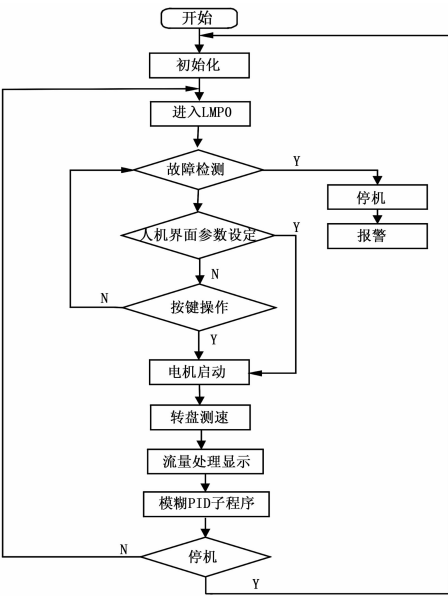


图 5 主程序流程图

Fig. 5 Main program flow chart

系统主程序如下:

```
void stepmotor()
{
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;
    P3IES = 0x0f; // P4.0 ~ P4.3 下降沿按键
    中断
    P3IE = 0x0f; // P4.0 ~ P4.3 允许中断
    P3IFG = 0x00; // 中断标志位设置为 0
    P3DIR = 0xf0; // P4.0 ~ P4.3 设为输入
    模式
    _EINT(); // 打开使能

    while(1)
    {
        unsigned int keyin;
        unsigned int temp1; // temp1 = 返回值
        if(keyin != 0x0f) // 有键按下
            delay();
        if(keyin != 0x0f) // 确定有键按下
        {
            temp1 = keyin; // 键盘输入值
            switch(temp1)
            {
                case 0x0e: stepmotor_run(); break;
                case 0x0d: stepmotor_speedup(); break;
                case 0x0b: stepmotor_speeddown(); break;
                case 0x07: stepmotor_stop(); break;
                default:
                    while(keyin != 0x0f); // 等待按键放开
                    P3IFG = 0;
                    .....
                    return;
            }
        }
    }
}
```

系统初始化完成后,首先检测步进电机是否无故障,然后进入低功耗 LPM0 模式。如果上位机给控制系统发送指令或者有操作按键被按下(4个按键的功能分别是开始、上升、下降、停止),立即退出低功耗模式,单片机根据设定值驱动步进电机转动。MSP430 定时器 TIMER_B 的捕捉功能,准确捕捉来自光电编码器的信号。完成采集信号的转换后,通过 RS232 接口传送给上位机。与上位机或操作面板按键设置流量值进行比较,采用模糊 PID 算法可以得到的步进电机需要转动

的脉冲数或者脉冲频率发送给步进电机驱动芯片,步进电机通过同轴连接柱塞机构运动,从而实现流量的闭环调节。红外光电传感器检测凸轮的位置状态,系统泵液结束后,立即快速回弹。当不需要泵液时,CPU 进入 LPM0 模式,等待外部信号唤醒。

4 模糊 PID 控制算法的仿真及软件实现

两相混合步进电机的传递函数为

$$G(S) = \frac{\theta_0(S)}{\theta_i(S)}. \quad (1)$$

式中: θ_0 为目标值; θ_i 为控制值。

两相混合步进电机的电压平衡方程式为

$$\begin{cases} U - Ri_A - L \frac{di_A}{dt} + M \frac{di_B}{dt} + \frac{d}{dt}[\Phi_m \cos(p\theta)] = 0; \\ U - Ri_B - L \frac{di_B}{dt} + M \frac{di_A}{dt} + \frac{d}{dt}[\Phi_m \cos(p\theta)] = 0. \end{cases} \quad (2)$$

式中: U 为线组端电压, V; L 为各相绕组自感, H; M 为 AB 两相的互感, H; R 为相绕组电阻, Ω 。

单相励磁时运动方程为

$$J \frac{d^2(\Delta\theta)}{dt^2} + D \frac{d(\Delta\theta)}{dt} + 2p^2 \Phi_m I_0 \Delta\theta = 0. \quad (3)$$

式中: $\Delta\theta = \theta_0 - \theta_i$; I_0 为扰动前的电流 $I_0 = i_A = i_B$ 。作拉普拉斯变换,计入零初始条件得到:

$$(s^2 J + sD + 2p^2 \Phi_m I_0) \theta_0(s) = 2p^2 \Phi_m I_0 \theta_i(s). \quad (4)$$

于是,

$$\begin{aligned} G(S) &= \frac{\theta_0(S)}{\theta_i(S)} = \frac{2p^2 \Phi_m I_0}{Js^2 + Ds + 2p^2 \Phi_m I_0} \\ &= \frac{\omega_{np}^2}{s^2 + \frac{D}{J}s + \omega_{np}^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

式中: $\omega_{np} = \sqrt{\frac{2p^2 \Phi_m I_0}{J}}$ 为固有角频率。

由于步进电机构成的控制系统存在着非线性、时变、干扰等特性,而常规的 PID 控制方法无法达到理想的控制效果,对此采用模糊 PID 控制算法。模糊 PID 控制是将模糊控制与 PID 控制相结合,由定义变量、模糊化、知识库、逻辑判断及反模糊化 5 个部分组成。以误差 e 和误差 ec 作为输入,利用专家的经验 and 知识建立模糊控制规则,对 PID 参数进行在线修正,输出整定参数 Δk_p , Δk_i , Δk_d , 模糊控制系统结构如图 6 所示^[7-9]。

控制结果表达式为

$$\begin{cases} k_p = k_{p0} + \Delta k_p; \\ k_i = k_{i0} + \Delta k_i; \\ k_d = k_{d0} + \Delta k_d. \end{cases} \quad (6)$$

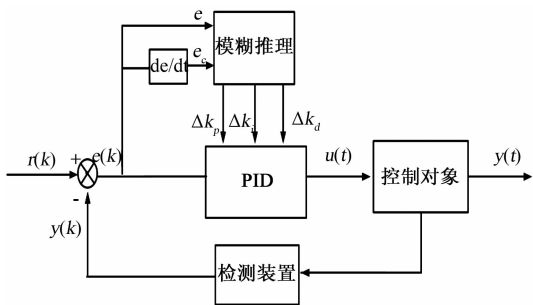


图 6 模糊控制结构框图

Fig.6 Fuzzy control structure diagram

式中： k_{p0}, k_{i0}, k_{d0} 为常规 PID 整定法整定的初始值。

误差 e 的论域范围取为 $[-6, 6]$ ，误差变化 ec 的论域范围取为 $[-6, 6]$ 。输出 $\Delta k_p, \Delta k_i, \Delta k_d$ 的论域分别取为 $[-6, 6], [-6, 6], [-3, 3]$ 。语言变量都取为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。

由上述 PID 参数调整原则，编辑合理的模糊规则，得到输出变量 k_p, k_i, k_d 的 49 条模糊规则。

if $e = NB$ and $ec = NB$, then $Kp = PB$, $Ki = NB$, $Kd = PS$

if $e = NB$ and $ec = NM$, then $Kp = PB$, $Ki = NB$, $Kd = PS$

if $e = NB$ and $ec = NS$, then $Kp = PM$, $Ki = MB$, $Kd = ZO$

...

if $e = PB$ and $ec = PM$, then $Kp = NB$, $Ki = PB$, $Kd = PB$

if $e = PB$ and $ec = PB$, then $Kp = NB$, $Ki = PB$, $Kd = PB$

根据控制对象的特性对系统建模仿真。如图 7 所示。

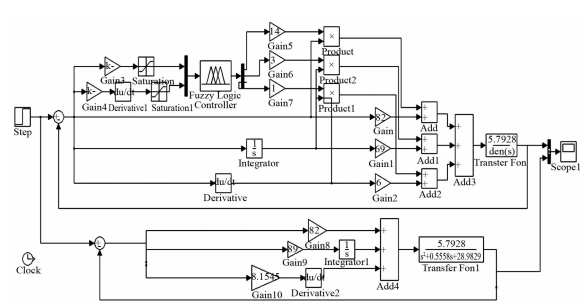


图 7 仿真结构图

Fig.7 Simulation diagram

模糊 PID 控制和常规 PID 步进电机速度同步仿真响应曲线如图 8 所示。

由图 8 可知，模糊 PID 控制方式相对于常规 PID 控制具有响应时间短、响应速度快、超调量小和稳态特性好的特点。

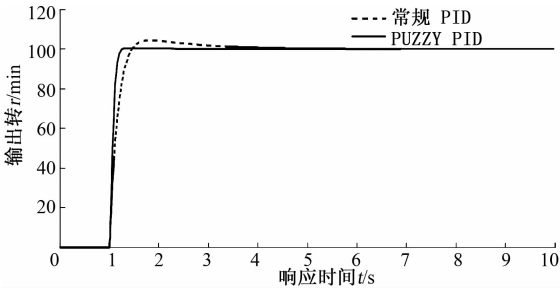


图 8 步进电机速度同步仿真响应曲线

Fig.8 Stepper motor speed synchronous simulation response curve diagram

5 LabVIEW 上位机通信与显示

系统采用 RS-232 标准接口电路实现 LabVIEW 与单片机的串行通信，完成上位机对微量计量泵的控制。采用 MAX3232 芯片完成 TTL/CMOS 到 RS-232 的电平转换，如图 2 中所示。

LabVIEW 是图形化编程语言的软件。程序中运用 VISA 函数实现对仪器的控制，VISA 是 I/O 接口（计算机与仪器之间的标准软件通信接口）软件标准及其相关规范的总称，用以实现对仪器的程控。它的实质是一组函数集，通过它可以直接访问计算机硬件设备。

基于 RS-232 协议的串口通信模块，如图 9 所示。采用 VISA 端口配置“VISA 写入”、“VISA 读取”、“VISA 关闭”函数来实现对仪器驱动函数的调用。根据下位机的串口通信协议来设置程序中的串口设置，程序中产口参数的设定选择波特率、数据数据位、校验位、停止位^[10]。

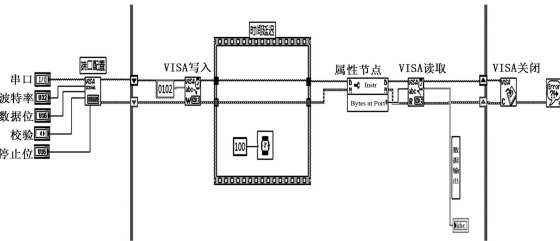


图 9 RS-232 接口通讯程序框图

Fig.9 RS-232 interface communication program block diagram

基于 LabVIEW 8.6 平台设计的前面板如图 10 所示。

6 试验

对于 AA-94-2 微量计量泵，流量为 0~10 mL/min，采样周期为 0.1 s，采样时间为 100 s，实验结果如表 1。计量泵的稳定性精度在 2% 以内。



图 10 上位机界面显示图
Fig.10 PC interface display

表 1 流量设定和计量试验数据
Tab.1 Flow setting and measurement test datas

上位机设 置理论值 /(mL·min ⁻¹)	步进电机 转速/ (r·min ⁻¹)	实测流量/ (mL·min ⁻¹)			容积率/ %	稳定性精 度/%
		1	2	平均值		
0.8	100	0.78	0.81	0.795	99.3	1.89
4.00	500	3.82	3.92	3.870	96.7	1.29
5.00	625	4.85	4.90	4.875	97.5	0.51
8.00	1 000	7.81	7.68	7.745	97.4	0.84

参考文献:

[1] 郑水华,张生昌.隔膜式煤浆泵国内外研究现状及发展趋势[C]//中国农业机械学会 2006 年学术年会论文集.北京:中国农业机械学会,2006:254-260.

[2] 邓鸿英,张生昌.基于单片机的计量泵流量控制器[J].工业仪表与自动化装置,2009(3):51-53.

[3] 胡大可.MSP43 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M].北京:北京航空航天大学出版社,2001.

[4] 胡大可.MSP430 系列单片机 C 语言程序设计与开发[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.

[5] 魏小龙.MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.

[6] 李国友,程硕.基于步进电机的微量计量泵控制系

统的研究与实现[J].电机与控制应用,1999(3):26-30.

[7] 高向东,黄石生.步进电机模糊控制技术的研究[J].微特电机,2012,39(1):3-5.

[8] ZOU Xi-yong, XU De. Piecewise fuzzy control for path tracking of nonholonomicmobile robots [J]. Control and Decision,2008,23(6):655-659.

[9] LUO Xu-tao. A self-adaptive control approach for the attitude of aircraft with double-loop SMC[C]//Proceedings of the 2008 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. IEEE, 2008:1396-1398.

[10] 郑对元.精通 LabVIEW 虚拟仪器程序设计[M].北京:清华大学出版社,2012.

Trace Metering Pump Control System Based on MSP430 and Fuzzy PID

YANG Yan-ping,TAO Cai-xia,WU Jian-min

(School of Automation and Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The ultra-low-power MSP430F149 was set as the core in this paper to develop a set of trace metering pump control system, which could achieve flow control by controlling the stepper motor. We realized closed loop control of stepper motor by a Fuzzy PID Control method, developed a PC control display interface using LabVIEW, and achieved serial port communication with PC via RS-232. The system with good stability was highly efficient.

Key words: MSP430 MCU; stepper motor; micro-metering pump; LabVIEW

7 结论

微量计量泵的控制系统的非线性的控制系统,采用模糊 PID 控制算法,在该控制系统上取得了较理想的控制精度.设计了 MSP430 单片机的外围电路,编写系统控制程序,主要实现了转速测量和流量显示等功能.采用 LabVIEW 编写进行上位机监控系统,通过标准串口实现了上位机与单片机之间的通信,其软件界面生动形象,且编程简单,方便应用,机界面显示直观.