



基于 LabVIEW 的直流伺服电机控制系统开发

何 俊, 邓成军

(四川大学 制造科学与工程学院, 成都 610065)

摘要: 针对教学过程中学生难以理解直流伺服电机控制系统工作原理这一问题, 开发了一种直流伺服电机控制系统。实验系统基于 LabVIEW 软件进行上位机人机界面设计和单片机控制程序的编写, 运用 STM32 单片机和相关芯片构成单片机控制系统硬件, 直流电机加编码器代替直流伺服电机, 实现了电机速度控制采集、PID 控制原理展示。运用该系统, 可以实时调整 PID 参数和获取电机速度曲线, 易于实现 PID 参数整定和二次开发, 从而加深学生对直流伺服电机控制原理的认识和理解。

关键词: LabVIEW; 直流电机; PID; 单片机

中图分类号: TP311.11

文献标志码: A

DOI: [10.12179/1672-4550.20180407](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20180407)

The Development of DC Servo Motor Control System Based on LabVIEW

HE Jun, DENG Chengjun

(School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Aiming at the problem that students have difficulty understanding the working principle of the DC servo motor control system during the teaching process, a DC servo motor control system was developed. The experimental system is based on LabVIEW software for the design of the host computer interface and the writing of the microcontroller control program. STM32 single-chip microcomputer and related chips are used to form the single-chip microcomputer control system hardware. DC motors and encoders are used instead of DC servo motors to realize motor speed control acquisition and PID control principle display. By using this system, PID parameters can be adjusted in real time and the motor speed curve can be obtained. It is easy to realize PID parameter tuning and secondary development, thereby deepening students' understanding and comprehension of the principle of DC servo motor control.

Key words: LabVIEW; DC Motor; PID; single-chip computer

伴随我国工业现代化的发展, 以计算机为核心的伺服控制系统在众多领域得到广泛应用, 掌握伺服控制系统的原理与应用, 已成为高端装备、精密仪器、机器人等相关产业技术人员的一项迫切需求^[1]。直流伺服电机控制系统是一种典型的闭环控制系统^[2-3], 由于国内专门针对数字伺服原理的实验系统较少, 特别是数控机床电气控制课程缺少有效的直流伺服电机控制系统开展实验教学, 学生对伺服电机控制的认识停留在书本上, 缺乏实际操作和感性认识。为了加深学生对直流伺服电机控制原理的认识, 强化学生的工程能力和创新能力^[4-7], 本文开发了一种直流伺服电机控制实验系统, 学生可以通过人机界面实时观测直流电机运行效果, 可以变换电机控制参数,

还可以自己搭建系统硬件电路和进行单片机程序编制。该系统有效提高了学生的工程运用能力, 改善了实验教学效果。

1 实验系统简介

该实验系统主要由软件部分和硬件部分组成。其中软件部分为上位机人机界面和下位机单片机控制程序; 硬件部分主要为 STM32 单片机核心系统、直流电机驱动电路和直流电机、编码器组成。该系统通过人机界面与单片机传递控制数据和读取电机速度并生成实验曲线。单片机一方面接收控制参数进行相应的运算生成电机控制波; 另一方面不断采集电机速度信号进行相应的运算输出。直流电机驱动电路根据单片机输出的

收稿日期: 2018-09-03; 修回日期: 2018-10-22

作者简介: 何俊(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事机械专业实验教学工作。

通信作者: 邓成军(1983-), 男, 工程师, 主要从事数控方面的教学工作。E-mail: Pzhxydcj@126.com

PWM 波驱动直流电机运动, 电机与编码器固连实时反馈速度信号。LabVIEW 软件平台一方面可以很容易编制人机界面, 通过串口协议与单片机实现数据传递, 此外可以通过专用 Embedded Module for ARM 模块快速编制单片机程序, 易于单片机程序开发。该实验系统的具体结构如图 1 所示。

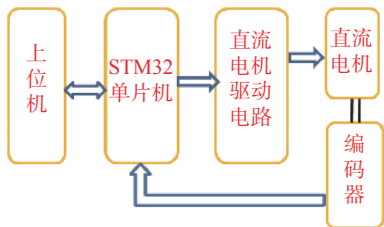


图 1 系统结构图

2 实验系统硬件设计

本实验系统硬件主要包括上位机、单片机控

制系统、直流电机驱动电路、直流电机和编码器构成。上位机就是个人电脑, 主要实现与单片机系统的通信和传递控制参数, 并且接收单片机系统反馈的数据描绘实验曲线。本实验系统并未采用现成的直流伺服电机, 而是采用无刷直流电机加增量编码器代替直流伺服电机^[8], 直流电机选用双输出轴 12 V 直流电机, 编码器为增量式霍尔编码器。单片机选用性价比较高的 STM32F103CBT6 芯片, 封装为 48 引脚的 48-LQFP。该芯片内部资源丰富, 拥有 20 KB 的 SRAM 内存、128 KB 的 Flash 存储区、3 个通用计时器、1 个高级计时器、3 个串口以及 37 个 GPIO 口。该单片机可以输出 16 位 PWM 波, 控制器和 PWM 整合成一体以降低系统的复杂性。单片机系统的核心原理图如图 2 所示。

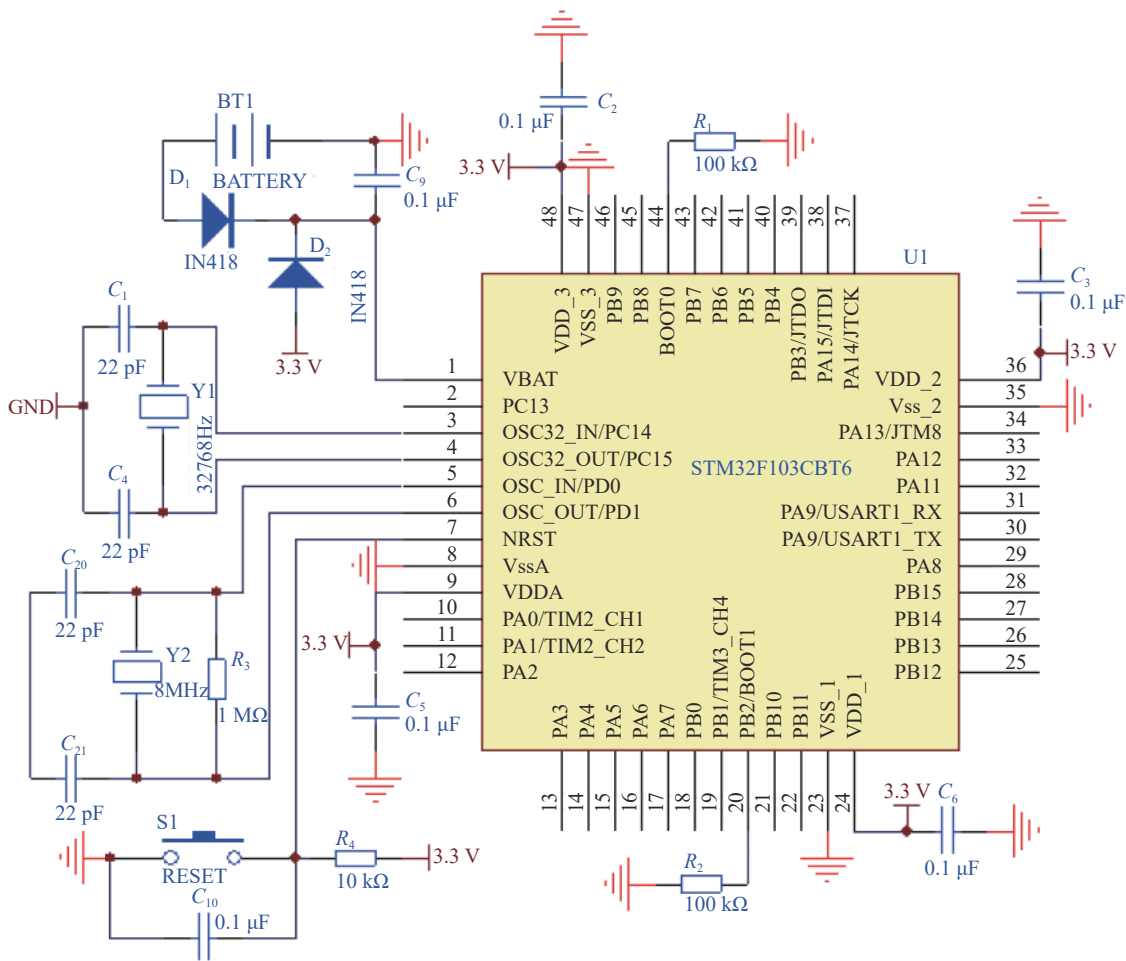


图 2 单片机系统核心原理图

单片机的 PA0、PA1 引脚是编码器信号输入端子, 通过内部计时器 TIM2 的计数, 可以计算出

电机当前速度和判断电机旋转方向。PA9、PA10 引脚与 USB 转串口芯片 CH340G 相连, 实现上位

机与单片机之间的数据交互。单片机通过内部计时器 TIM3 产生适合需求的 PWM 波并通过 PB1 引脚输出,同时 PB12、PB13 引脚输出旋转方向控制信号,用于控制电机转速和转向。另为了实现在线调试功能,PA13~PA15、PB3 引脚用于构成 JTAG 10 针接口。

由于直流电机采用 12 V 直流供电,而单片机需要提供 3.3 V 电源,USB 转串口芯片 CH340G 需要 5 V 电源供电,如图 3 所示,系统外接 12 V 直流电,通过 LM2576S-5.0 芯片转换得到 5 V 直流电,再通过 NCP1117 芯片转换得到 3.3 V 直流电。

USB 接口也可直接提供 5 V 直流电,因此系统采用 12 V 和 USB 两种方式供电,当需要电机工作时,采用 12 V 电源供电,在程序导入和调试时可采用 USB 供电。

单片机系统一方面可以通过 USB 口直接下载程序和实现与上位机的数据交互,同时为了进行程序在线调试,保留了标准 JTAG 接口。如图 4 所示,通过 CH340G 芯片实现 USB 转 RS232 接口功能,此电路可以实现单片机与上位机数据交互和程序下载,同时,系统采用国际标准测试协议 JTAG 用于程序在线仿真调试。

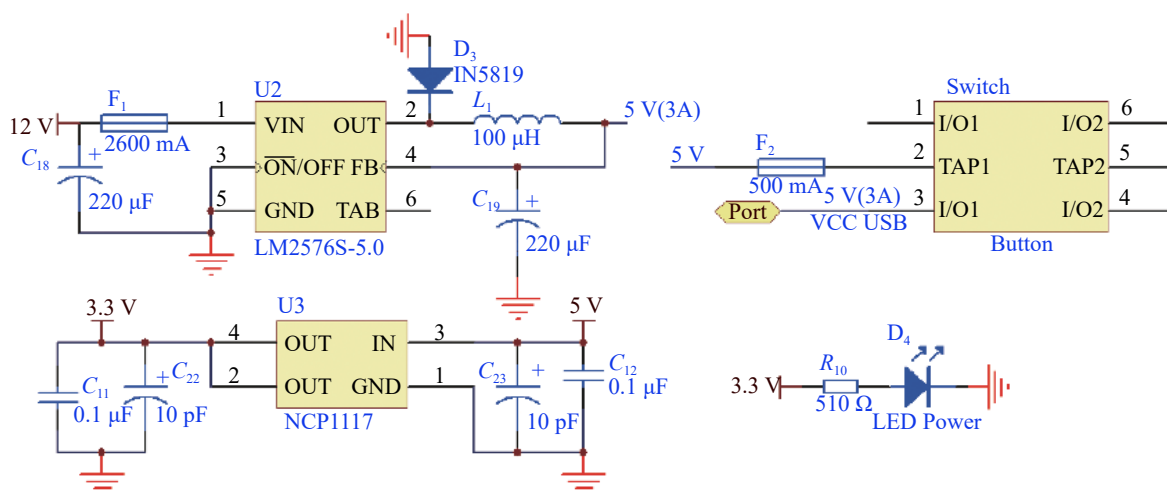


图3 直流电机控制系统电源原理图

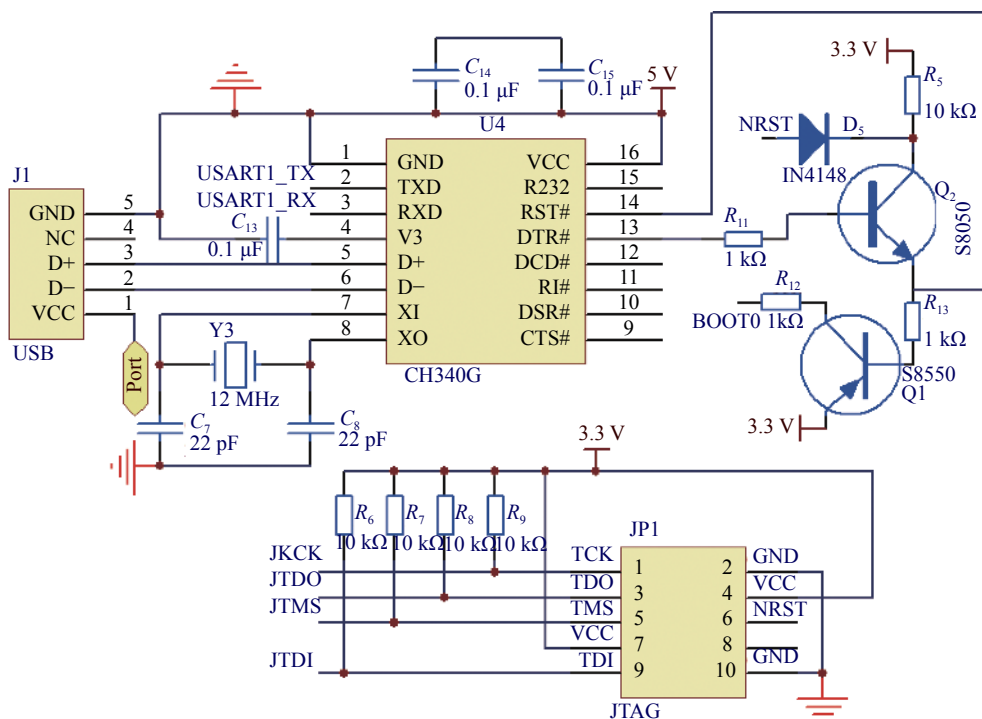


图4 单片机系统通信电路原理图

单片机系统控制直流电机运动时,一方面需要控制电机的转速,另一方面还需控制其转向。电机运转时带动旋转编码器工作,单片机实时接收编码器信号进行控制,并不断修正 PWM 信号。直流电机控制电路和编码器接口电路如图 5

所示,单片机 PB12、PB13 引脚输出转向信号, PB1 输出 PWM 波给 TB6612FNG^[9] 芯片,该芯片通过编译在 O_1 、 O_2 端产生脉冲控制电压,驱动电机运动。该芯片可以产生 4 种电机控制模式:正转/反转/制动/停止。其逻辑真值表^[10]如表 1 所示。

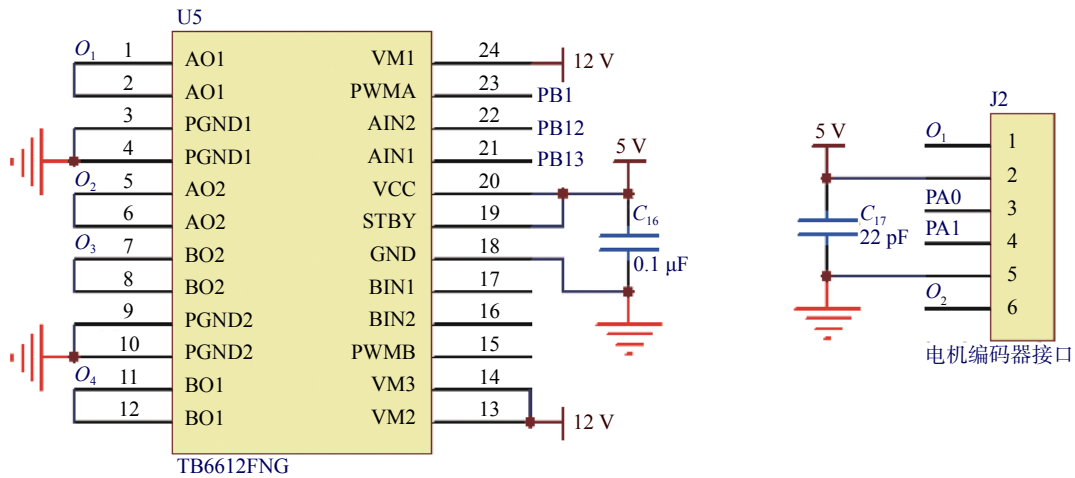


图 5 直流电机控制电路和编码器接口原理图

表 1 TB6612FNG 逻辑真值表

输入				输出		
IN_1	IN_2	PWM	STBY	O_1	O_2	模式
H	H	H/L	H	L	L	制动
L	H	H	H	L	H	反转
L	H	L	H	L	L	制动
H	L	H	H	H	L	正转
H	L	L	H	L	L	制动
L	L	H	H	OFF	OFF	停止
H/L	H/L	H/L	L	OFF	OFF	待机

3 实验系统软件设计

本实验系统软件分为两部分:一部分为人机界面,实现上位机与单片机之间数据传递;另一部分为单片机自身程序,实现电机控制和电机转速采集。系统软件均借助 NI 公司开发的 LabVIEW 软件平台,此软件平台图形化编程的语言、开发环境和数据流编程方式^[11-12],可大大缩短项目开发周期^[13],特别是该平台专用模块直接支持单片机程序开发,图形化编程方式而不是传统的 C 代码可以快速开发单片机程序,并且支持在线调试。

3.1 人机界面设计

人机界面主要功能是设定通信参数,测试上位机与单片机通信情况,传递电机控制参数,之后读取单片机返回的电机速度信号描绘实验曲线,实验结束控制电机停转。上位机与单片机通

过 RS232 协议开展通信^[14],上位机与下位机之间通过问答方式来确保通信连接有效。上位机人机界面程序流程图如图 6 所示,人机界面如图 7 所示,上位机人机界面设定串口通信参数,点击通信测试,上位机自动发送测试信号给下位机,下位机接收到正确信号后向上位机反馈信息,上位机接收到正确反馈后,通信测试成功,此后我们就可将电机控制参数打包发送给下位机,下位机接收到有效的控制信号后驱动电机运动,同时

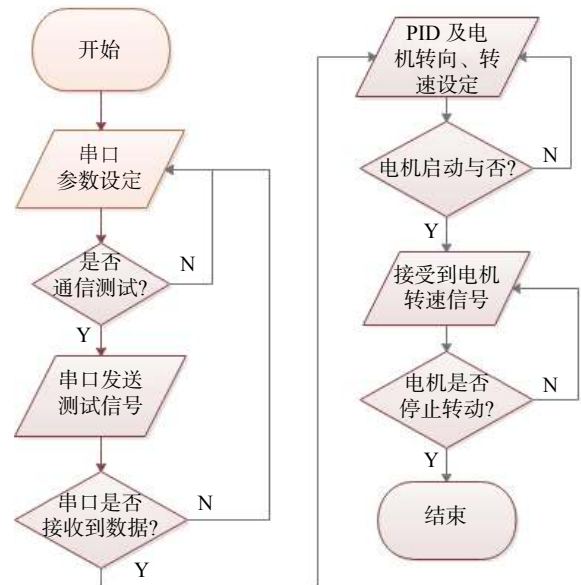


图 6 上位机人机界面流程图



图7 上位机人机界面

采集并反馈速度信号给上位机,并且下位机一直监测上位机,一旦发现上位机停止信号,做出相应的停止动作,电机停转,单片机程序复位,为下一次实验做准备。

3.2 单片机程序设计

单片机程序主要目的:一方面是实现串口通信,接收上位机命令和参数,并且将采集到的编码器数据上传;另一方面翻译接收到的控制参数将其作为电机控制信号,此外接收编码器信号,运用PID控制算法^[15-16]进行运算控制电机运动。单片机程序的编制,借助于LabVIEW软件平台的Embedded Module for ARM模块,运用图形化的语言,可以快速地编制单片机程序,而不用去编写相对复杂的C代码。软件运用单片机的内部定时器实现编码器数据采集、PWM波生成,运用其USART端口实现串口通信,单片机程序流程图如图8所示。

运用LabVIEW软件平台编制单片机程序时,运用典型的事件结构,程序前半部分主要进行单片机端口、引脚初始化和通道映射,之后扫描串口数据判断是否接收到正确数据,正确则返回通信成功信号。此后等待接收正确有效的电机控制参数,接收到正确参数后,给各中断使能,电机开始运动,单片机不断采集编码器速度信号,经由PID运算后产生PWM波,进一步控制电机稳定于设定的转速。并且扫描停止信号,一旦接收到停止信号,电机停止转动,单片机软件复位,等待下一次启动。

单片机程序编制过程中,内部通用定时器TIM2读取编码器数据,TIM2定时器编码器模式设定的程序图如图9所示。定时器工作在编码器

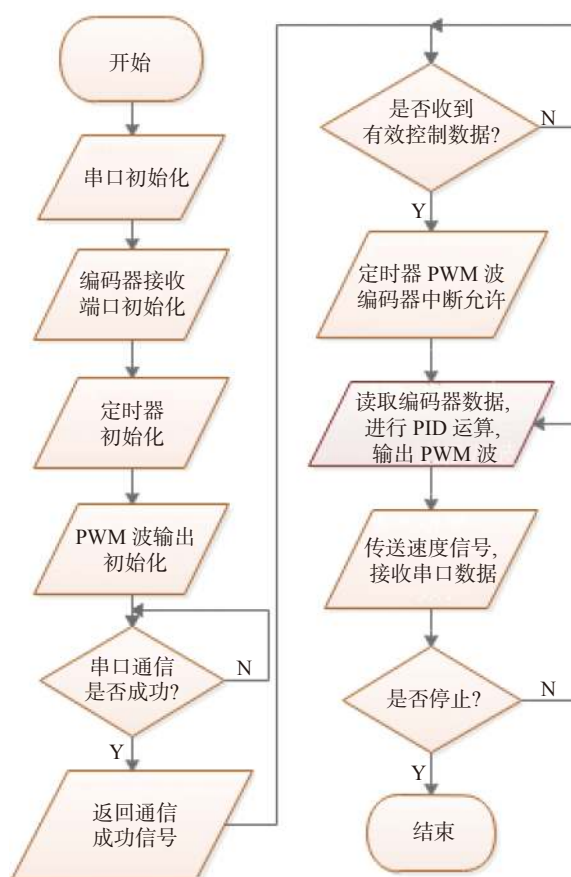


图8 单片机程序流程图

模式时,其实是将编码器的A、B相作为计数时钟,接入单片机PA0、PA1引脚。经过定时器初始化,输入通道映射、通道滤波设置、边沿检测方式设置、编码器工作方式设置、中断优先级分组、触发中断允许、更新中断允许和计数开启^[17]这几个步骤,可设定定时器为编码器测量模式并且在接收到有效电机控制参数后,开启编码器计数模式。此外还必须编制相应的中断子程序,才能得到电机实际转速值。

单片机内部TIM3定时器被用来产生PWM波,单片机通过PB1引脚对外输出PWM波。定时器PWM工作模式设定:初始化为第一步,输出通道映射为第二步,之间是并列关系。PWM工作模式设置:PWM允许输出,计数模式开启,频率和占空比更新设置。

定时器PWM工作模式设定程序图如图10所示,图中展示了前4个步骤,在接收到有效电机控制参数后开启计数器模式,频率和占空比更新在PID运算后进行,PWM波无须中断子程序即可自动生成。

TIM4 定时器中断子程序界面如图 12 所示。

串口数据传输,特别是电机控制参数的传输依靠扫描字符串和格式化写入字符串命令,通过该命令电机控制参数可以按照固定格式进行打包

传输和编译,从而提高传输效率。上位机电机控制参数格式化写入程序如图 13 所示,单片机电机控制参数编译程序如图 14 所示,二者配合实现数据传递。

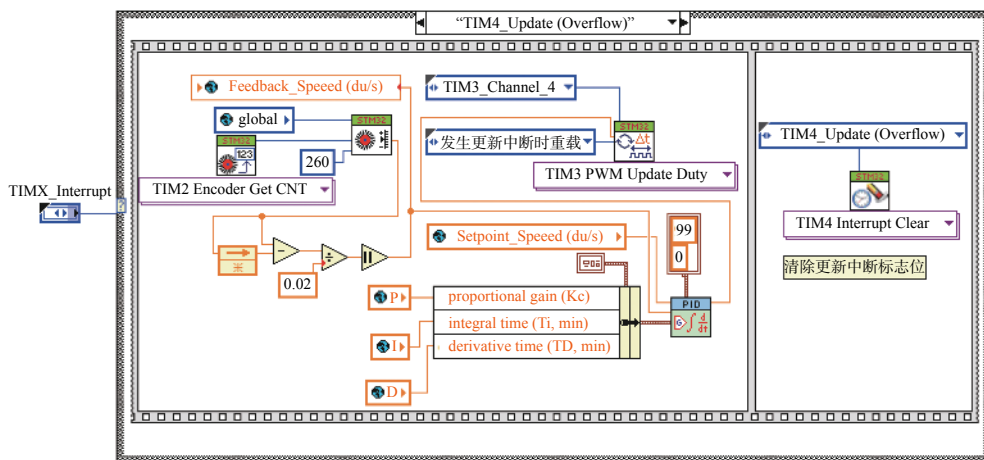


图 12 定时器中断子程序图

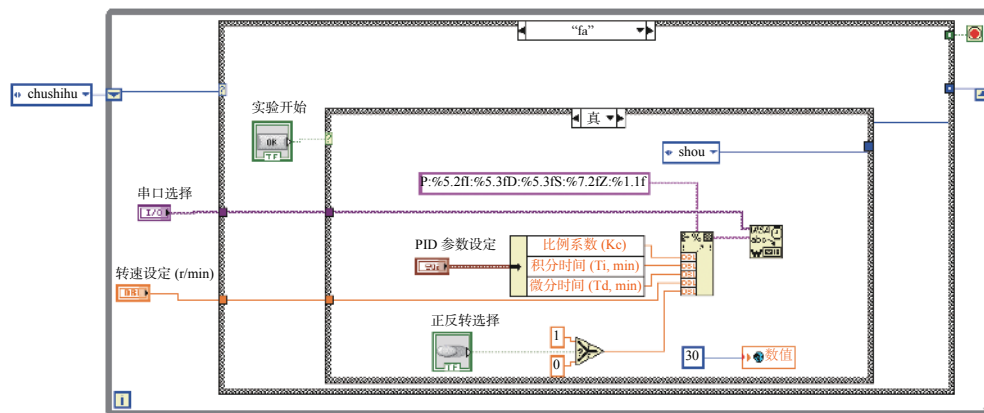


图 13 上位机电机控制参数格式化写入程序

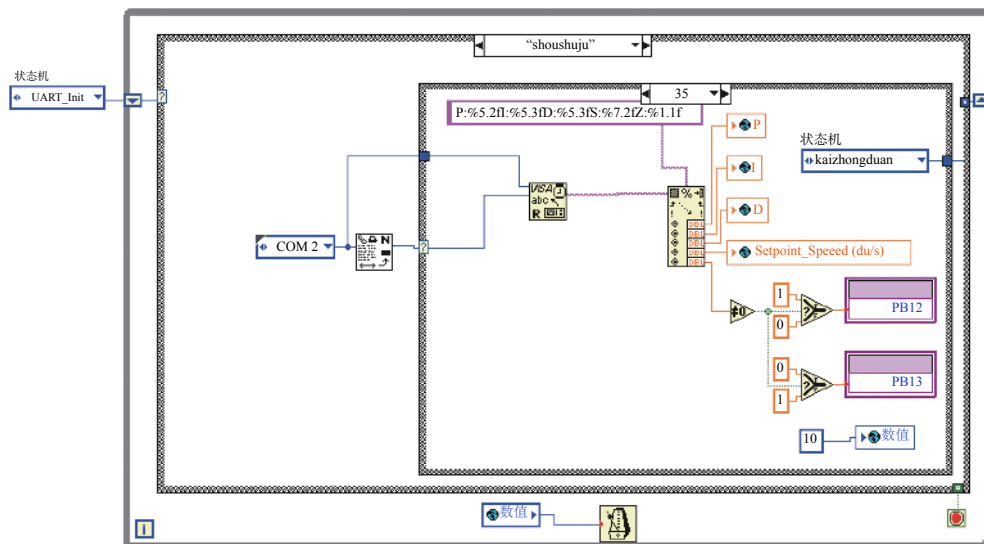


图 14 单片机电机控制参数编译程序

4 实验结果

经过多次系统硬件电路和软件反复调试, 该实验系统功能正常, 能够实现直流伺服电机速度和转向控制, 并且可以得到电机速度响应曲线, 该系统电机运行效果如图 15 所示。通过该实验平台, 学生可以进行 PID 参数整定, 加深对 STM32 单片机的理解和运用, 同时提供了一种简单易行的单片机编程方式, 实现零 C 语言基础编程。此外该平台易于二次开发, 可以采用不同的 PID 算法对伺服电机进行优化, LabVIEW 平台自身就提供了多种 PID 算法。通过该实验系统有效改善了实验效果, 将机电控制有机结合, 大大提高学生学习积极性。

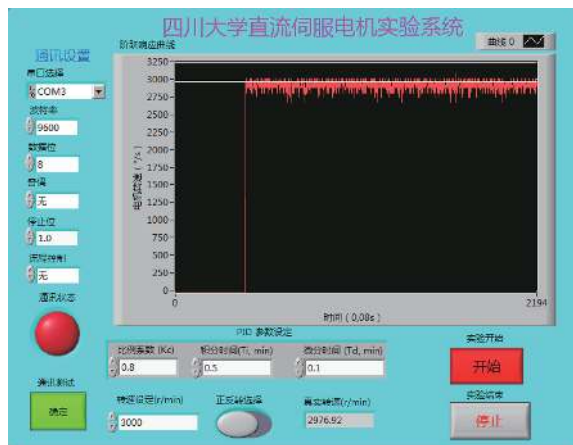


图 15 实验系统电机运行效果

参考文献

- [1] 董靖川, 王太勇, 陆钢庆, 等. 基于Simulink的开放式伺服控制实验装置设计[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(9): 126-129.
- [2] 秦继容, 沈安俊. 现代直流伺服控制技术及其系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 183-193.
- [3] 张云. 浅述伺服技术在工业自动化中发展与应用[J]. 伺服控制, 2011(5): 21-23.
- [4] 李国锋, 张世英, 李彬. 论基于学科竞赛的大学生创新能力培养模式[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(3): 24-26.
- [5] 宋之帅, 赵金华. 探索大学生科技创新能力培养的有效途径[J]. 合肥工业大学学报, 2010, 24(5): 142-145.
- [6] 程光旭. 努力实现人才培养模式改革的新突破[J]. 中国高等教育, 2009(1): 24-27.
- [7] 罗乐, 孙伟, 仇冀宏, 等. 以MCU模型车竞赛促进卓越工程师教育培养的探索[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(2): 29-31.
- [8] 王飞, 彭子龙, 杨建军. 机械专业直流伺服电机控制系统实验平台设计与开发[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(4): 86-90.
- [9] TOSHIBA Semiconductor. TB6612FNG driver IC for dual DC motor[EB/OL]. (2014-10-1)[2018-9-3]. <http://toshiba-semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=30692&prodNam=TB6612FNG>.
- [10] 王建平, 卢杉, 武欢欢. TB6612FNG在直流电机控制设计中的应用[J]. 电子设计工程, 2010, 18(6): 65-67.
- [11] 许其山, 曾庆平. 基于LabVIEW的电动车无刷直流电机检测系统的设计[J]. 重庆工商大学学报, 2015, 32(12): 61-64.
- [12] 夏红梅, 胡柏青, 潘华. 基于LabVIEW开发环境的图书馆管理系统设计[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(3): 402-405.
- [13] 朱利辉, 邹轩, 徐新华. 基于LabVIEW的直流电机速控制系统[J]. 仪器仪表用户, 2006, 13(1): 14-15.
- [14] 陈美玉. 基于单片机及LabVIEW的多路数据采集系统设计[J]. 机床与液压, 2016, 44(7): 109-111.
- [15] XIE T C, NAN X. Research and applications of Fuzzy-PID control on NC machine[J]. Key Engineering Materials, 2009(3): 550-554.
- [16] BOLAT E D, ERKAN K, POSTALCIOGLU S. Experimental auto tuning PID control of temperature using microcontroller[C]//EUROCON 2005-The International Conference on "Computer as a Tool". Belgrade: [s.n.], 2005.
- [17] 王电令, 苏亚辉, 苏彩虹. STM32开发实战LabVIEW卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 295-306.

编辑 张俊