

基于 STM32 多步进电机驱动控制系统设计

廖 平, 韩伟伟

(中南大学高性能复杂制造国家重点实验室, 湖南长沙 410083)

摘要:在不同的控制场合下,需要不同的控制电路控制步进电机驱动器,而不同的控制电路对步进电机的工作性能有很大的影响,为此设计一款集微控制器和驱动芯片于一体的多轴多细分步进电机驱动控制器来实现驱动和控制的完美结合。驱动控制器以STM32F103ZET6为主控制器,LV8727为驱动芯片,采用USB进行主控制器与上位机的数据通信,根据不同的运动方式,以不同频率的PWM控制驱动芯片实现步进电机的多细分恒流驱动控制。基于步进电机的驱动控制原理对整个系统进行建模、理论分析及仿真,并通过实验进一步验证了系统在不同场合下精确稳定的控制性能。

关键词:混合式步进电机;STM32F103ZET6;LV8727;USB

中图分类号:TP273

文献标识码:A

文章编号:1002-1841(2016)04-0071-03

Design of Drive Control System of Multiple Stepper Motors Based on STM32

LIAO Ping, HAN Wei-wei

(State Key Laboratory of High Performance Complex Manufacturing, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract:In different control occasions, stepper motor drive's control needs different control circuits, which have great effect on the work performance of stepping motor, so designing a kind of multiple spindle subdivision stepper motor drive controller, which integrates micro controller and drive chip, was needed to achieve the perfect combination of drive and control. The drive controller, which used STM32F103ZET6 as main controller and LV8727 as drive chip, had data communication between the main controller and the upper machine using USB and controlled drive chip to realize step motor subdivision constant current drive control with different frequency PWM. Modeling, theoretical analysis and simulation of the whole system were established based on the driver control principle of stepper motor and accurate and stable control performance in different occasions of the system were further proved through the experiment.

Key words:hybrid stepping motor; STM32F103ZET6; LV8727; USB

0 引言

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的常用执行机构,最突出特点是,步进电机的转速取决于脉冲信号的频率,位移取决于脉冲信号的脉冲个数,转速和位移与负载无关。步进电机的控制则是由驱动器来实现的,步进电机与驱动器是一个不可分割的整体,系统中步进电机高性能的工作是通过驱动器驱动控制实现的,同时驱动器的优劣也体现在电机的运转性能上,因此步进电机控制系统的性能与驱动控制器有很密切的关系^[1]。步进电机驱动控制器电路包括控制电路和驱动电路,控制电路采用单片机,驱动电路采用专用集成芯片外加保护电路,将控制电路和驱动电路集成在一起,对驱动控制器的性能有一定的提升^[2]。在很多工作状况下,一般需要多台步进电机在同一系统下同时工作,为了便于高效协调控制,同时实现驱动控制器在不同控制系统上的通用性,设计一款集控制芯片和驱动芯片于一体的驱动控制系统很有必要,同时增加了反馈信号的输入端口来满足用户的更高精度要求。

1 驱动特性分析

步进电机与驱动器是相互影响相互制约的两个元件,驱动

器性能的优劣直接影响到步进电机的工作性能,设计一款高效稳定的驱动控制系统是控制步进电机的关键。

1.1 混合式步进电机驱动方式

步进电机的调频调压驱动、高低压驱动等方式是以绕组电压为控制对象的,为更好地达到控制目的,选择以绕组电流为控制对象的斩波恒流驱动。基本思想是:无论电机是在锁定状态还是在低频段或高频段运行,均使导通相绕组的电流保持额定值。通过斩波方式使电机绕组电流在低速到高速运行范围内保持电流恒定,且不随电机的转速而变化,从而保证在很大的频率范围内电机都能输出恒定的转矩显著提高高频响应。

1.2 驱动芯片选择

为实现对步进电机稳定精确的恒转矩控制,使电机高精度、低噪声、低震动运行,同时考虑到控制系统的功耗及驱动电流等因素,驱动控制器选择LV8727作为驱动芯片。LV8727是单路PWM恒流控制步进电机驱动芯片,双全桥MOSFET驱动,并且包括细分、半流控制等功能模块,可以精确地控制步进电机。

2 二相混合式步进电机的数学模型

系统中的步进电机模型的建立很复杂,本身具有磁滞、涡流、磁导分布等非线性因素的存在。进行线性化处理步进电机的静态整步转矩 T_s 可近似为^[3]

$$T_e = -K_e(\theta_o - \theta_i) = K_e(\theta_i - \theta_o) \quad (1)$$

式中: K_e 为与电机结构相关的常数; θ_o 为步进电机实际输出转角; θ_i 为给定的目标位置。

步进电机的电压平衡方程和运动方程^[4]为:

$$u = iR + K_e \omega_r \quad (2)$$

$$T_e = J \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r + T_L \quad (3)$$

$$T_L = iK_M \quad (4)$$

式中: K_e 为励磁绕组的反电动势系数; K_M 为转矩系数; ω_r 为电机转动角速度; J 为转子及负载的转动惯量; B 为粘滞摩擦系数; T_L 为负载转矩; u, i, R 分别为励磁绕组的电压、电流和电阻。

步进电机运行到目标位置, 绕组上的电压为 0, 所以式(2)转换为^[8]

$$iR = K_e \omega_r \quad (5)$$

联立式(1)~式(4), 作拉普拉斯变换可得步进电机传递函数为

$$G(s) = \frac{K_e}{Js^2 + (B + \frac{K_M K_e}{R})s + K_e} \quad (6)$$

STM32 控制模块和驱动模块可视为比例环节, 增益系数为 K_1 , 位置反馈属于比例环节, 增益为 K_2 。得到整个系统的传递函数为

$$G(s) = \frac{K_e K_1}{Js^2 + (B + \frac{K_M K_e}{R})s + K_e + K_e K_1 K_2} \quad (7)$$

式中^[3,5-6]: $K_1 = 10$; $K_2 = 1$; $K_e = 602$; $K_e = 0.01 \text{ V} \cdot \text{s/rad}$; $K_M = 0.4 \text{ N} \cdot \text{m/A}$; $R = 1 \Omega$; $B = 5.5 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s/rad}$; $J = 4.4 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。

MATLAB 仿真得系统阶跃响应曲线如图 1 所示, 系统响应时间快, 动态性能好。

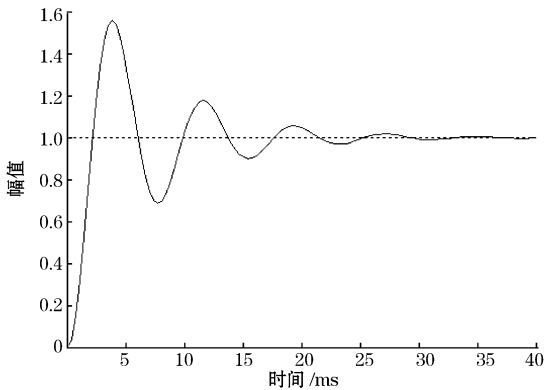


图 1 系统阶跃响应曲线

3 硬件系统设计

系统总体框图如图 2 所示, 由上位机、电源、单片机、LV8727 步进电机及反馈部件六部分组成。STM32F103ZET6 微控制器通过 USB (Universal Serial Bus) 与上位机进行数据传输, 通过 PWM 控制步进电机驱动芯片 LV8727, 同时采集、分析反馈模块得到的步进电机各运动参数, 并将其上传到上位机进行

数据处理和显示。LV8727 通过接收微控制器的控制指令对步进电机进行驱动, 在系统的控制下, 实现步进电机的稳定精确运行^[7]。

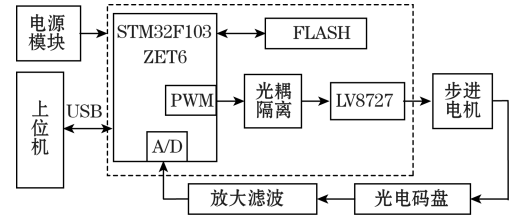


图 2 系统总体方案

3.1 硬件电路设计

驱动控制器硬件电路包括 STM32 控制模块、光耦隔离模块、模式设置模块、LV8727 驱动模块。

3.1.1 STM32 控制模块

本设计采用的 MCU 为 STM32F103ZET6, 是基于 ARM Cortex-M3 核心的 32 位微控制器。芯片内部集成 USB 外设, 为开发降低了成本, 同时也提高了设备通信的稳定性。相对于 ARM 系列其他芯片, STM32 运行速度更快, 7 个 TIM 最多可以产生 28 个精准的 PWM 信号, 方便地用于步进电机控制^[8]。

3.1.2 光耦隔离模块

单片机输出 PWM 控制信号, 通过施密特触发器 74HC14D 直接驱动高速光耦 6N137, 隔离控制信号, 增强抗干扰能力^[9]。隔离模块电路如图 3(a) 所示。

3.1.3 模式设置模块

模式设置采用手动设置, 操作快速、直观、简单, 模式中包括 8 档电流 (0.5~4 A)、8 档细分 (最高 128 细分) 和电流衰减模式的选择, 根据不同的驱动负载及运行精度等要求, 选取最佳的工作模式, 详细电路设计如图 3(b) 所示。

3.1.4 LV8727 驱动模块

驱动芯片电路如图 3(c) 所示, 驱动芯片驱动步进电机执行控制器的各项操作^[10]。

4 软件系统设计

STM32 采用 KEIL MDK 编程环境进行软件设计, ST 公司提供了丰富的固件库, 开发者不再需要接触底层的寄存器, 而是通过直接操作库函数即可, 为开发者节省时间, 提高了编程效率。

4.1 步进电机运行控制

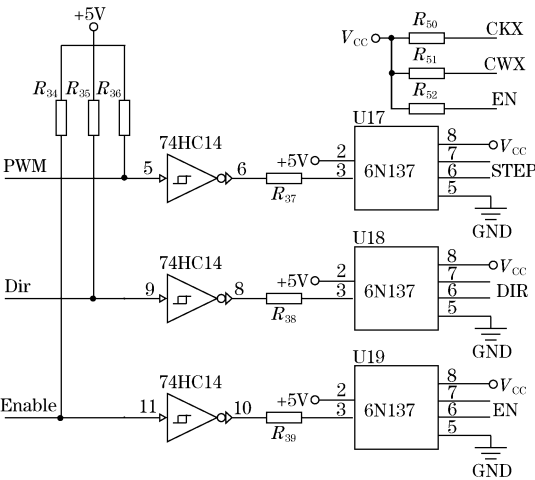
STM32 定时器产生的 PWM 脉冲的频率由时钟频率 f 、预分频值 M 、计数周期 T 决定, 关系如式(8)所示, 通过改变预分频值 M 来改变 PWM 频率^[6]。

$$V = \frac{f}{(M+1)(T+1)} \quad (8)$$

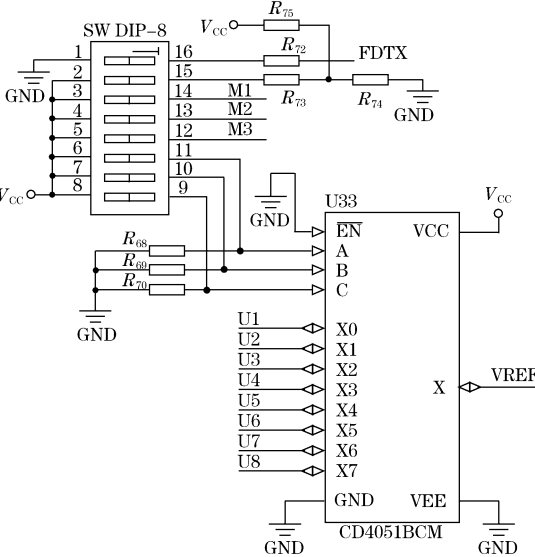
以控制电机在平面内走直线为例, 上位机向下位机发送控制指令, 指令包括两电机移动的直线距离 L_x 、 L_y , 由两电机运行时间相等, 由式(8)可得两个电机之间 M 的关系如下:

$$L_x(M_x+1) = L_y(M_y+1) \quad (9)$$

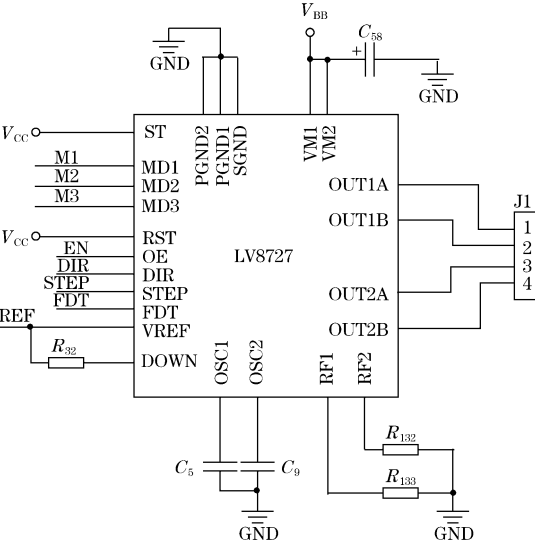
依据运行速度曲线, 计算每个轴对应的预分频值 M 、脉冲个数 n 和电机正反转标志 Flag 的值并以数组的方式存储在



(a) 隔离电路



(b) 模式设置电路



(c) 驱动芯片接线图

图 3 硬件电路模块

对应的脉冲个数增量 Δn 调整偏差,直到偏差小于设定误差。

4.2 程序流程

本系统的重点是完成步进电机加速、匀速、减速运行及位置的精确控制,程序流程图如图 4 所示。

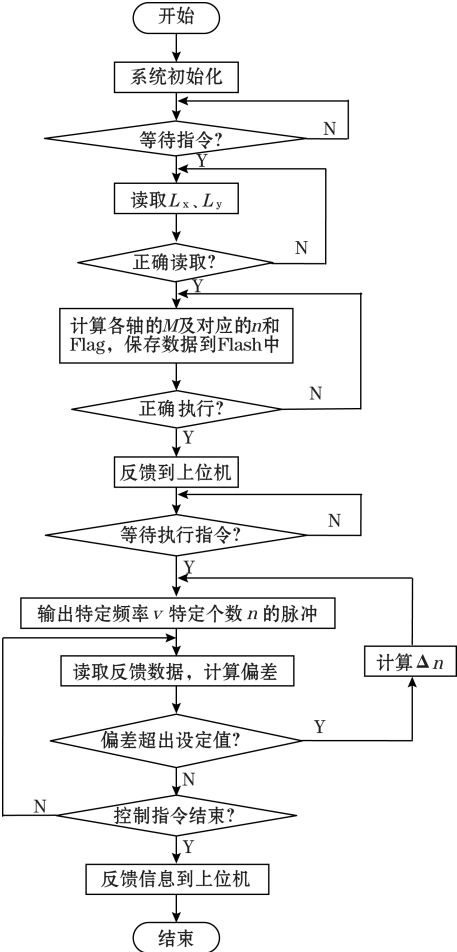


图 4 控制程序流程图

5 实验验证

将驱动控制器运用到实际工作环境中,以驱动两台 57 系列两相混合式步进电机为例,在 STM32 编程和手动选择驱动电流、细分模式以及电流衰减模式的驱动控制下,步进电机运行平稳、噪声低。图 5 为在频率 400 Hz、1.8 A、1/32 细分模式下单相绕组电流波形。

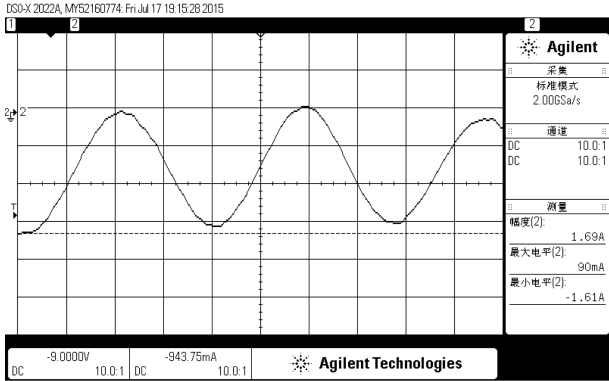


图 5 1/32 细分模式下单相绕组电流波形

(下转第 77 页)

FLASH 中,驱动两个步进电机同时运行,并读取反馈数据比较运行偏差与设定值的大小,如果偏差超出设定值,则计算两轴

采用本文所设计的测试仪对智能型接触器吸合和释放过程的动态特性进行测试,其结果如图10、图11所示。

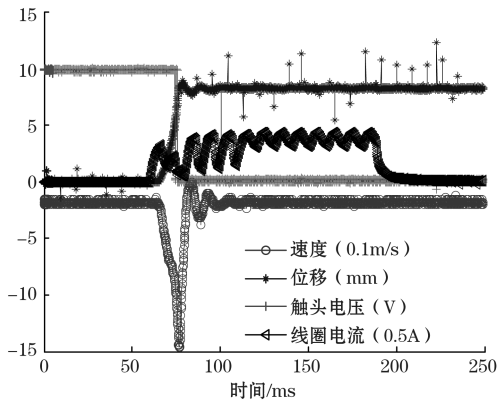


图10 吸合动态特性

从图10、图11中可以看出,本测试系统能够完好的记录接触器的吸合或者释放过程中其主要的动态参数,可以提高接触器动态特性测试的效率和实时性,可以很好的应用于接触器动态特性的研究,为接触器的优化设计提供理论依据。

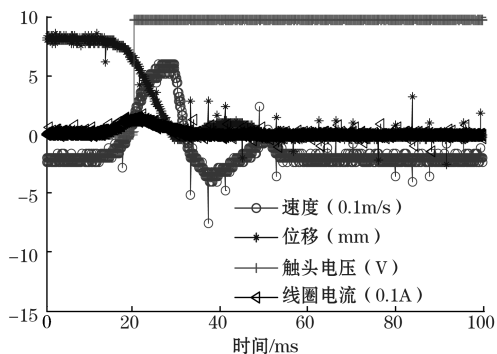


图11 释放动态特性

(上接第73页)

6 结束语

基于STM32和LV8727的硬件电路,步进电机驱动控制器成功地实现了控制步进电机在不同的细分模式下进行加速、匀速、减速运行及精准稳定的控制。硬件电路设计简单,成本低,能够很好地满足多种场合下的系统应用要求。

参考文献:

- [1] 李玲娟.多细分二相混合式步进电机驱动器的研制[D].西安:西北工业大学,2007.
- [2] 唐义思.步进电动机运行电路设计中应注意的问题[J].科技创新导报,2013(27):57.
- [3] 赵文宏,周海军.晶片抛光机压力加载系统分析[J].机电工程,2012,29(2):171-173;178.
- [4] 刘川,刘景林.基于Simulink仿真的步进电机闭环控制系统分析[J].测控技术,2009,28(1):44-49.
- [5] 孙浩,李大海.基于模拟闭环的步进电机位置控制系统设计[J].机

3 结论

本文通过对接触器动态特性的测试机构以及安装机构的机械结构进行设计,实现了激光位移传感器在3个维度内对测量目标快速锁定和切换、不同型号接触器的快速安装以及对接触器动态特性多路参数的实时、快速、同步的测量。所设计的测试系统可以提高接触器动态特性测试的效率和实时性。

参考文献:

- [1] 周亮,舒亮,吴桂初,等智能交流接触器温度补偿控制策略研究[J].电子技术应用,2013(7):73-76.
- [2] 韩雁,寿鑫莉,丁晨,等.交流接触器节能专用芯片的设计与实现[J].电子技术应用,2012(6):27-30.
- [3] ESPINO A G, RUIZ J R R, ROSERO J, et al. Dynamic characterization and position estimation of electromechanical contactor[C]. Conference Record-IEEE Instrument and Measurement Technology Conference, 2008:1873-1878.
- [4] 陈德为,张培铭.基于高速摄像机的智能交流接触器动态测试与分析技术[J].系统仪表学报,2010(4):878-884.
- [5] 孙丽琼,耿英三,李爱军,等.交直流接触器特性自动测试系统的开发[J].低压电器,2008(19):48-50.
- [6] 林苏斌,缪希仁,张培铭.基于DSP与可视化技术的接触器动态测试装置研究[J].福州大学学报(自然科学版),2004(1):38-42.
- [7] 叶子,吴桂初,舒亮.基于LabVIEW的智能交流接触器动态性能测试系统[J].电子技术应用,2013(3):88-91.
- [8] 周亮,吴桂初,谢文彬.基于激光位移器的交流接触器动态测试与分析[J].温州大学学报(自然科学版),2013(3):32-37.
- [9] 张丙才,刘琳,高广峰,等.基于LabVIEW的数据采集与信号处理[J].仪表技术与传感器,2007(12):74-75.
- [10] 顾文武,何庆中,周铁,等.基于LabVIEW与智能仪器数据采集系统[J].仪表技术与传感器,2012(11):53-54;58.

作者简介:梁步猛(1979—),硕士,讲师,主要研究方向为智能电器技术。E-mail:leung@wzu.edu.cn

床与液压,2009,37(1):99-101.

- [6] 刘慧英,范宝山.基于STM32的多步进电机控制系统研究[J].测控技术,2010,29(6):54-57.
- [7] CHAU K T, BIN S, HU M Q. Microstepping Control of Ultrasonic Stepping Motors[J]. IEEE Transactions on Industry Applications 2006 42(2):436-442.
- [8] 李宁.基于MDK的STM32处理器开发应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008:35-47.
- [9] 刘雪超,吴志勇.基于TMS320F28335的步进电机控制模块设计[J].仪表技术与传感器,2011(10):78-79;92.
- [10] 蓝杰,张浩然.基于STM32的微型步进电机驱动控制器设计[J].微型机与应用,2015,34(1):43-46.

作者简介:廖平(1964—),博士,教授,主要研究方向为机电一体化和计算机测控技术。

韩伟伟(1990—),硕士研究生,主要研究方向为机电一体化和计算机测控技术。