

# 三相反应式步进电机智能控制系统设计

张新荣<sup>1</sup>, 常波<sup>2</sup>, 徐保国<sup>3</sup>

(1. 淮阴工学院电子与电气工程学院, 江苏 淮安 223003;

2. 淮阴工学院 计算机工程学院, 江苏 淮安 223003;

3. 江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要:**基于单片微处理器对三相反应式步进电机的转速与转向控制系统进行研究设计。步进电机每给一个脉冲就转动一个固定的角度, 通过控制步进电机的脉冲频率和延时策略, 从而改变步进角, 实现步进电机的调速。该方案采用AT89C51单片机内部定时器改变CP脉冲的频率, 从而实现对电机转速进行控制。经过理论及试验研究, 该系统实现了步进电机调速与正反转的控制功能, 能够在较宽频率范围内实现三相反应式步进电机转速调节, 同时对电机的快速起停和正反转进行有效控制。

**关键词:**三相反应式步进电机; 单片机; 智能控制

**中图分类号:**TH16; TM383.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3997(2014)03-0241-03

## Design of Three-Phase Reaction Step Motor Intelligence Control System

ZHANG Xin-rong<sup>1</sup>, CHANG Bo<sup>2</sup>, XU Bao-guo<sup>3</sup>

(1. Faculty of Electronic and Electrical Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Jiangsu huaiian 223003, China;

2. Faculty of Computer Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Jiangsu huaiian 223003, China;

3. School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Jiangsu Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Three-phase reaction stepping motor speed and steering control system is designed based on single chip microcomputer. Input stepping motor pulse frequency adjusts to the stepping motor rotating one of fixed angle. The stepper motor speed is adjusted because of changing stepper angle by controlling the pulse frequency and time delay strategies. This scheme AT89C51 microcontroller timer internal changes CP pulse frequency and stepping motor speed control. Through theoretical and experimental research, the system realized the stepping motor speed and positive & negative control functions. The stepping motor intelligence control system was in wide frequency range by changing pulse frequency regulating stepper motor speed and fast starting and stopping and positive & negative control.

**Key Words:** Three-Phase Reaction Step Motor; Single Chip Microcomputer; Intelligence Control

## 1 引言

步进运动是通过对步进电机各相绕组进行导通或截止控制来实现的, 由控制脉冲驱动是可行的控制策略。步进电机控制在机械制造业设备的控制中得到了广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。

正常载荷工作状态下, 控制脉冲对于步进电机的启停位置和转速起到了决定性的作用, 负载的改变对其不敏感。步进电机精度较高的原因在于其误差的周期性和无累积性特点。对外加脉冲的正确控制, 从而使得其能够在较宽的频段内顺利实现快速启停、调速和正反转控制<sup>[3]</sup>。

步进电机被广泛应用于数控伺服领域<sup>[4]</sup>, 诸如PC外围系统、高端精密仪器和航天航空工业中。引入精密反馈组件后, 可以构建高精度数控系统, 不仅大大提高了加工精度<sup>[5]</sup>, 还可以实现伺服体系的绿色环保节能, 应用前景非常广阔<sup>[6-8]</sup>。基于微型单片

机软件编程的脉冲控制策略, 可进一步挖掘步进电机的应用领域和潜力<sup>[9]</sup>。

采用单片机软硬件结合进行控制, 运用其强大的可编程和运算功能, 充分利用单片机的软硬件资源, 适应用户不同需求, 通过对软件编程的操作和动态扫描, 实现步进电机快速启停、调速和正反转控制。经输入、输出设备的有机结合, 既节约了微型单片机资源, 也加强了人机交互性, 因此具有一定的实用价值。

## 2 控制系统硬件平台设计

控制系统主要硬件构成有, 两路电源, LED显示, 单片机, 步进电机及其驱动电路, 按键和复位电路等。系统硬件构成, 如图1所示。

在系统的并行操作控制中, 由单片机硬件接口来驱动控制步进电机, 采用软件编程, 将有序脉冲送给电机绕组, 实现步进电

机的步进动作,所加的脉冲顺序决定电机的正反转。作为输入设备的键盘,在软件外部中断的配合下,可以实现电机的正反转和启停操作,采用软件查询方式,对步进电机实施有效控制。同时,输出设备如 LED 显示组件,实现对电机的正反转和启停的状态显示,增强了人机交互性。

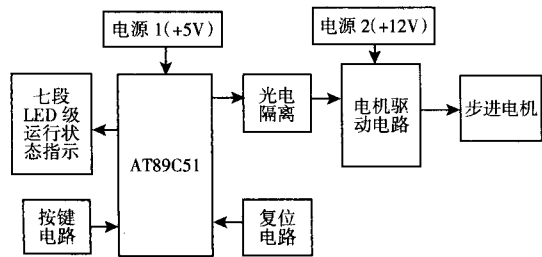


图 1 系统硬件构成框图  
Fig.1 Structure Diagram of System Hardware

### 2.1 显示电路设计

系统输出显示器组件中,CD4511 七段译码与驱动器实现译码和驱动功能,结合先进的动态扫描方式,不仅可以节约硬件资源,还能够简化设计,增强系统可靠性。采用动态显示方式时,首先关闭前一个数码管,延时 50 $\mu$ s 后,然后扫描启动后一个数码管。步进电机的正反转及启停状态显示通过将 LED 数码管的阴极与单片机端口相连来实现,且低电平有效。

### 2.2 键盘电路设计

系统输入按键操作的判断由输出端电平的高低给出。本系统设置,输出端高电平代表按键断开,而输出端高电平代表按键闭合。本设计采用软件消抖,当系统查询检测时,遇到按键闭合,则执行中断子程序,延时 10ms 后,再检测判断按键的开闭状态,若依然闭合,说明按键确实是闭合,以此进行消抖操作。采用软件编程的办法实现脉冲分配。

### 2.3 步进电机脉冲输出电路设计

系统由软件操作,输出端信号送给步进电机,通过改变脉冲参数来控制电机启停和运行状态。只需要利用单片机输出端 P3.4、P3.5 和 P3.6 输出脉冲,并设置低电平触发执行驱动操作,采用四线的接口端与电机的驱动部分相连即可实现级的驱动。

### 2.4 驱动电路设计

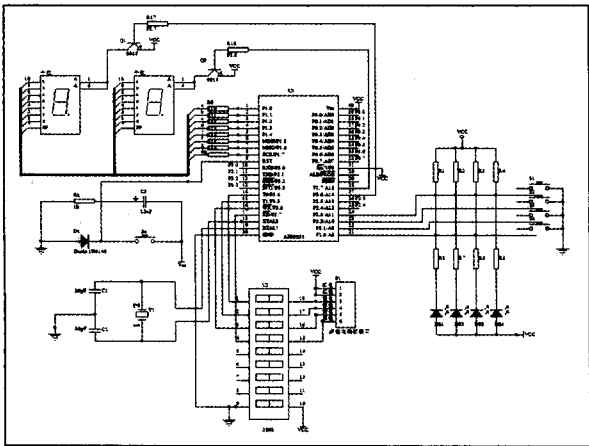


图 2 驱动系统原理电路图  
Fig.2 Principle Circuit Diagram of Driving System

为了克服电流过大、电源利用率过低以及高频响应差的缺陷,驱动电路采用恒流斩波电路。考虑到微处理器系统及控制端信号易受模拟电路部分的干扰,利用隔离电路设计等措施,隔离模拟和数字信号,即在单片机输出端通过安装光电隔离装置与电机驱动部分相连。系统驱动原理电路图,如图 2 所示。

使用光耦 OPT1,其阴极与单片机的步进电机控制脉冲输出口相连,使单片机输出与电机驱动执行机构之间实现模拟、数字信号的隔离,从而抑制了电路之间的干扰。

图中三极管  $Q_1$  和 MOS 管  $Q_4$  构成的开关电路能够控制电机绕组中电流的通断,从而控制步进电机的启停和运行状态。以  $U_2$ 、 $D_4$  和 RP1 等构成的电压比较器,通过参考电压的调节和电流信号的采样,实现步进电机的正反转控制。

## 3 系统软件设计

### 3.1 主程序设计

控制系统主程序是基于所要实现的控制功能,初始化系统设置和参数后,对于采集到的键盘有效信息实施加工处理,通过控制律的实现,输出有效信号,进行步进电机的启停、正反转等运行状态的最佳控制操作。该系统主程序流程图,如图 3 所示。

在 LED 显示及状态指示消隐后,电机驱动模块输出端为高电平,系统处于待机状态。若有按键按下,则启动调用有关中断子程序,进行控制系统相应操作。

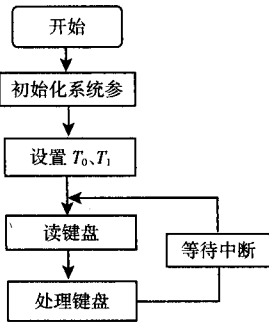


图 3 主程序流程图  
Fig.3 Flow Chart of Main Program

### 3.2 控制系统中断程序设计

控制系统中,定时器中断子程序流程图,如图 4 所示。步进电机转速决定该中断子程序的调用。调用子程序后,首先是保护现场,然后依据步进电机实时转速,通过查询程序功能,获得定时时间,进行相应参数设置。在对于步进电机转向控制值准确判断的基础上,做出控制脉冲左右循环移动的操作。最后是恢复现场并返回,实现了一次中断调用。

## 4 系统测试及分析

系统设计完成后,安装好系统硬件设备,做好硬件检测和调试,然后进行软硬件联合调试,确定能够实现所要求的各项功能,运行状态良好。对该控制系统做实际测试,通过对测试中的电机转速控制过程进行实验,对比转速显示值与实际测量值,可以得出控制系统运行较稳定,控制精度较高的结论。从所进行的稳态响应实验中,选取若干组电机转速数据,做出在该控制系统运行下的转速显示值与实测值变化曲线,如图 5 所示。

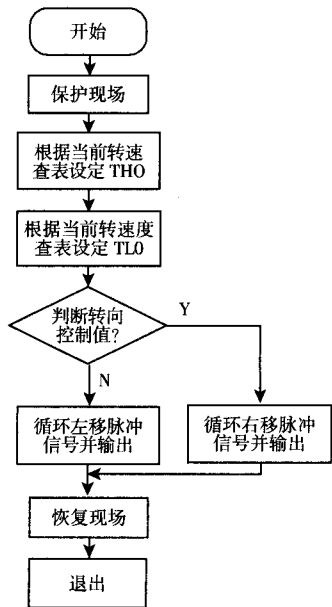


图 4 中断程序流程图  
Fig.4 Flow Chart of Interrupt Program

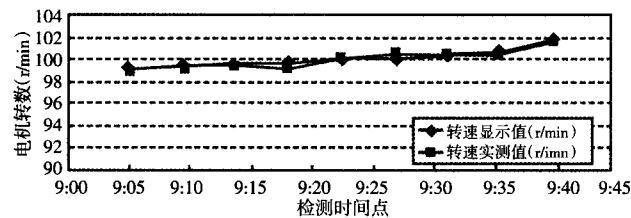


图 5 转速显示值与实测值变化曲线图  
Fig.5 Variation Curve of Motor Speed of  
Showed Values and Measured Values

各组步进电机转速显示值与实际测量值中,如图 6 所示。误差最大值为 1.2r/min,转速相对误差被控制在 2%以内,能够满足控制系统的精度要求,具有良好的稳态性能。动态响应测试中,速度给定为 60r/min 电机空载启动的电机转速动态过程中,系统转速控制动态响应比较理想,采用该控制系统电机转速与实际测量的电机转速基本接近,步进电机转速控制过程中,响应初始阶段的超调大约有 17%,曲线收敛比较快,响应时间较短,0.1s 到达峰值,响应速度较快,在 0.25s 后达到稳态,控制系统能准确跟踪电机实际转速的变化,具有良好的动态跟随性能。

5 结论

系统经实验验证,在动态及稳态性能方面均表现良好。该控

制系统以微处理器为核心控制部件,配合以输入输出设备的有效操作,实现了步进电机的控制功能,人机交互性强。不仅节约了硬件资源,同时还克服了电源利用率低以及干扰对系统的不良影响,获得了较好的控制效果。

参考文献

[1] 韩念龙,王家序,王惠.水润滑轴承加工上下料系统的自动控制研究[J].机械设计与制造,2013(1):168-174.  
(Han Nian-long, Wang Jia-xu, Wang Hui. The study on automatic control of the feeding and unloading system of water lubricated bearing [J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(1): 168-174.)  
[2] 臧福海,朱家诚.高速自动倒角机研制[J].机械设计与制造,2012(6): 153-155.  
(Zang Fu-hai, Zhu Jia-cheng. Development of high-speed automatic chamfering machine [J]. Machinery Design & Manufacture, 2012(6): 153-155.)  
[3] Rubaai A, Castro-Sitiriche M J, Ofoli A R. DSP-based laboratory implementation of hybrid fuzzy-PID controller using genetic optimization for high-performance motor drives [J]. IEEE Trans Industry Application, 2008, 44(6): 1977-1986.  
[4] Lee Kok-Meng, Son Hung-sun, Joni Jeffry. Concept development and design of spherical wheel motor (SWM) [C]//Proceedings of the 2005 IEEE Int.Conf.on Robotics and Automation, Barcelona, Spain. USA: IEEE, 2005: 3652-3657.  
[5] Stein David, Chirikjian Gregory S. Experiments in the commutation and motion planning of a spherical stepper motor [C]//ASME 2000 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Baltimore, Maryland, USA. USA: ASME, 2000: 1-7.  
[6] 王群京,夏鲲.一种新型永磁球形步进电机伺服控制研究[J].系统仿真学报,2007,19(11):2530-2534.  
(Wang Qun-jing, Xia Kun. Servo control for novel permanent magnet spherical stepper motor [J] Journal of System Simulation, 2007, 19(11): 2530-2534.)  
[7] Wang Qun-jing, Xia Kun. Simulation of current control for a permanent magnet spherical stepper motor [C]//International Conference on Electrical Machines and Systems, Korea Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society, 2007: 547-551.  
[8] 夏鲲,李树广,王群京.永磁球形步进电动机及自适应控制方式[J].上海交通大学学报,2007,41(11):1871-1877.  
(Xia Kun, Li Shu-guang, Wang Qun-jing. Adaptive control method for the permanent magnet spherical stepper motor [J] Journal of Shanghai Jiaotong University, 2007, 41(11): 1871-1877.)  
[9] 刘纪成,韩振宇,富宏亚.基于 PIC 单片机的奶粉密度计开发[J].机械设计与制造,2012(5):70-72.  
(Liu Ji-cheng, Han Zhen-yu, Fu Hong-ya. Development of milk powder densitometer based on PIC MCU [J]. Machinery Design & Manufacture, 2012(5): 70-72.)

(上接第 240 页)

[5] Larry S, Matthews, Hirsch C, Rry S. Temperatures measured in human cortical bone when drilling [J]. Bone and Joint Surgery, 1972, 54(2): 297-308.  
[6] Ohashi H, Therin M, Meunier A, Christel P. The effect of drilling parameters on bone [J]. Materials Science: Materials in Medicine, 1994, 5(4): 225-231.  
[7] 杨毅欣.新型医疗钻头钻削性能研究[D].广东:广东工业大学,2010.  
(Yang Yi-xin. Study on drilling performance of new surgical drill [D]. Guangdong: Guangdong University of Technology, 2010.)  
[8] Kim SJ, Jaeyoung Y, Kim YS, Shin SW. Temperature change in pig rib bone during implant site preparation by low-speed drilling [J]. Applied

Oral Science, 2010, 18(5): 1678-7757.  
[9] 马宏亮,李长河.采用磨粒钻头的轴向力可控的外科骨钻:中国,20132-00167462[P].2013-01-21.  
(Ma Hong-liang, Li Chang-he. The controllable axial force of surgical bone drill with Abrasive grain. China, 2013200167462[P]. 2013-01-21.  
[10] 姜昂,孟凡博,修世超.磨削过程中磨削液的有效利用及其实现技术[J].机械设计与制造.2012(5):30-2.  
(Jiang Ang, Meng Fan-bo, Xiu Shi-chao. Effective utilization of grinding fluids and implementation technique in grinding process [J]. Machinery Design & Manufacture. 2012(5): 30-2.)