

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.03.013

步进电机细分驱动系统设计

胡维庆

(浙江机电职业技术学院 电气电子工程学院, 浙江 杭州 310053)

摘要:为了提高步进电机的运行精度,消除或减小振动现象,文章基于细分驱动技术,以单片机 ATmega128 为核心,应用恒流斩波 PWM 发生电路和 H 桥功率驱动电路设计了步进电机的驱动系统。系统控制参数通过上位机设定,以串口通信传给单片机。实验结果表明:电机运行平稳,振动噪音小,转矩大,精度高,系统具有良好的应用前景。

关键词:步进电机;驱动系统;细分驱动技术;恒流斩波;ATmega128 单片机

中图分类号:TM301.2

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2016)03-0057-05

Design of Subdivision Driving System for Stepping Motor

HU Weiqing

(Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

Abstract: In order to improve the running system of the stepping motor and to eliminate or reduce its vibration, the driving system for stepping motor was designed in this paper based on the subdivision driving technology, which used microcontroller ATmega128 as the core and PWM generation as the constant current chopping circuit and H power bridge circuit. The controlling parameters were set on PC, which was transferred to microcontroller through the serial port. The experimental results showed that the system had good performance, running smoothly with small vibration noise, large torque and high precision.

Key words: stepping motor; driving system; subdivision driving technology; constant current chopper; ATmega128

步进电动机是将控制器发出的电脉冲信号转换成相应角位移或线位移的机电执行元件。步进电机与其他类型电机相比,具有成本低、体积小、定位准、易于开环精确控制、无累积误差等优点,应用极其广泛^[1]。步进电动机细分驱动技术首先是由美国学者 T. R. Fredriksen 提出^[2],细分驱动技术能够使步进电机具有较高的分辨率、较小的步距角,能够消除或减弱步进电机的低频振动现象,提高精度^[3]。步进电机采用细分驱动能够使它的性能更加优越,应用范围更加广泛。本次设计采用 AVR 单片机为控制核心,应用 H 桥驱动电路,使用步进角的细分驱动技术,设计了两相步进电机的驱动系统,使得步进电机系统运行良好。

1 总体设计

步进电机的工作原理是由控制器发出脉冲信号,经过功率放大后,驱动步进电机旋转。本文设计的步进电机驱动系统中,步进电机的运行方式由上位机以

通信方式给控制器发送命令,控制器再发出相应的控制信号。控制器采用单片机 ATmega128,应用多种细分控制方式,可以达到 256 细分,使得电流波形接近于正弦波。细分数越多,数据量越大,占用存储器的空间越大。系统工作电压为 DC24 ~ 80 V,电压范围宽。此系统主要由上位机通信电路部分、单片机控制电路部分、D/A 转换电路部分、斩波电路部分、驱动电路部分等组成,系统框图如图 1 所示。

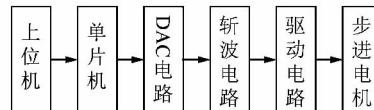


图1 驱动系统框图

Figure 1 Structure diagram of driving system

收稿日期:2016-03-14;修回日期:2016-05-10

作者简介:胡维庆(1978),男,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,主要从事工业自动化技术方面的研究。E-mail:hwq05@163.com

2 系统硬件电路设计

2.1 控制器选择

控制电路核心部件采用高速 AVR 系列 RISC 结构的单片机 ATmega128 作为控制器。ATmega128 是精简指令结构单片机,大多数指令都是单周期指令,单周期指令的执行时间是一个机器周期^[4]。系统采用 16 MHz 石英晶体,性能可以达到 16 MPIS,执行一条指令时间非常短,能够发出百万赫兹频率的脉冲信号,处理速度非常快。ATmega128 系统内可编程 Flash 容量达到 128 K 字节,将一个节拍中每相绕组电流正弦值的 256 个采样点存入 Flash,单片机通过查表方式使用。在 ATmega128 的管脚 XTAL1 和 XTAL2 之间跨接微调电容与石英晶体,构成单片机的时钟振荡器。在管脚 RESET 接了一个低电平复位电路,系统上电时会自动复位。最小系统电路如图 2 所示。

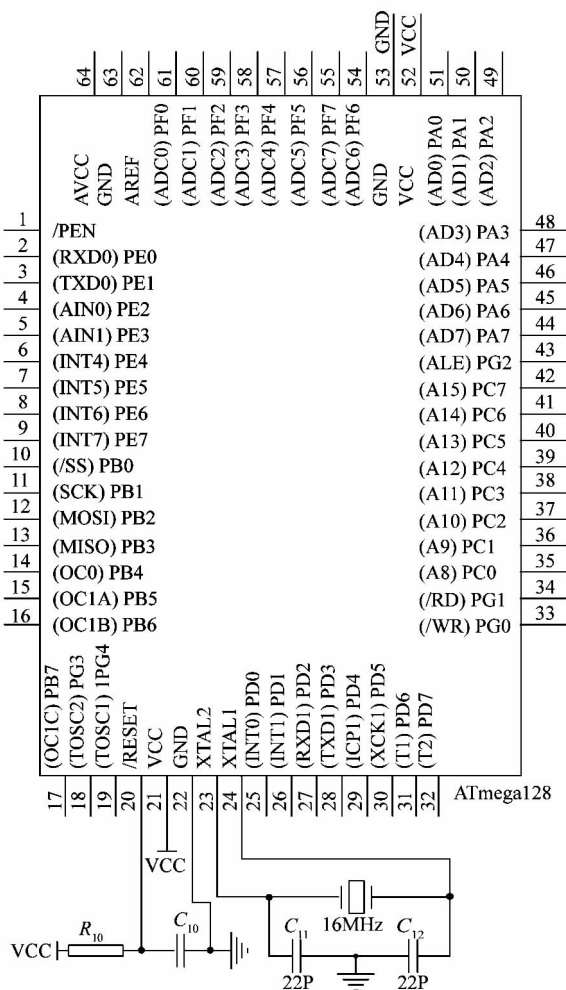


图 2 最小系统电路图

Figure 2 Microcomputer minimum system circuit diagram

2.2 DAC 电路设计

存在单片机 Flash 中的采样点正弦值的数字量要通过 D/A 转换成模拟量送给 PWM 电路,这数值是正弦电流信号给定值。D/A 转换芯片 TLC5618 是一个 12 位的 3 线串行接口的数模转换器,具有双通道电压型输出模式。D/A 转换器的 3 个输入端与单片机的 I/O 口相连,通过单片机输出的控制命令和数据可以输出 2 路电压信号 OUTA 与 OUTB。D/A 转换器输出的电压信号经过由 LM324 构成的电压跟随器后的信号即是正弦电流设定值。电压跟随器起到缓冲作用,减小前级对后面电路的影响。D/A 转换器需要基准电压,基准电压由 LM117 提供,通过调节 ADJ 端的电位器可以得到需要的基准电压。D/A 转换电路如图 3 所示。

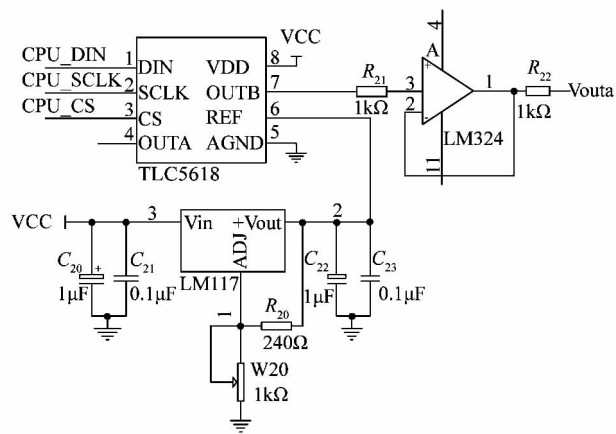


图 3 DAC 电路图

Figure 3 DAC circuit diagram

2.3 恒流斩波电路设计

系统采用恒流斩波控制技术,PWM 信号经过驱动电路来控制功率开关管,这使绕组电流无论在低频还是高频工作时都保持基本恒定^[5]。将经过 D/A 转换器输出的设定值送到比较器 LM339 的同相端,绕组电流经过取样电阻得到的电压值送到比较器 LM339 的反相端。连接电机绕组 A 的 H 桥的对角开关管导通时,绕组电流上升,经过取样电阻得到的电压增大。当其大于设定值,LM339 输出电平翻转,开关管关断。绕组电流下降,采样电压减小。当其小于设定值,LM339 输出电平再次翻转,开关管再次导通,绕组电流回升。这样可以使得绕组电流在一定范围内跟踪设定正弦电流值,实现了恒流的作用,使绕组电流不会随着电机转速的改变而变化,使转矩均匀恒定。恒流斩波电路如图 4 所示。

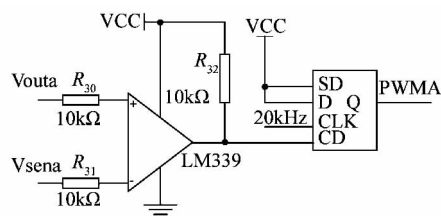


图4 恒流斩波电路图

Figure 4 Constant current chopper circuit diagram

2.4 功率驱动电路设计

驱动步进电机采用 H 桥功率电路,主电路中的功率开关管采用 MOS 管 IRF540 ($V_{ds} = 100\text{ V}$, $I_d = 33\text{ A}$),功率 MOSFET 的驱动电路采用驱动芯片 IR2110 来完成。两相步进电机的驱动系统采用双 H 桥功率驱动电路,每个 H 桥电路由 4 个 IRF540 连接而成,驱动控制一个绕组,2 个绕组驱动电路的结构和参数均相同。H 桥上一对角开关管导通时,绕组中的电流向一个方向流动;当此对角开关管关断,另一对角开关管导通时,绕组中电流向相反方向流动,绕组 A 中的电流的两个流向即为 A+ 和 A-。当开关管突然关断时,绕组中的电流不能马上消失,为了防止电机绕组产生大的反电动势,在每个开关管上反向并联一只快速二极管作为续流用,续流期间电流衰减很快,易于采用较高频率,此二极管采用 MUR460^[6]。在 H 桥与地之间串联一个 $0.1\ \Omega/3\text{ W}$ 的电阻,用于采样绕组中的电流值。驱动 H 桥的功率开关管采用 IR2110,IR2110 是一款双通道、栅极驱动、高压高速的集成驱动芯片,其浮置电源采用自举电路^[7-8]。H 桥中同一桥臂上下 2 个功率管的驱动信号分别连接 IR2110 的引脚 HIN 和 LIN。引脚 SD 的作用是保护信号输入端,当接低电平时,输出信号随输入引脚信号而变化;当接高电平时,输出信号被封锁。驱动电路的上桥通过自举电路驱动,自举的实现是通过自举电容 C_{s1} 、 C_{s2} 而完成,自举电容应选用漏电流较小的电容种类,选择 CBB 电容即可。给自举电容充电的二极管 D_{s1} 、 D_{s2} 选用快恢复二极管,可以提升电容充电电压,减小关断过程的功率损耗。IR2110 的引脚 VS 和 COM 分别连接每个功率开关管,作为栅极驱动信号的反馈。IR2110 的输出端与功率开关管的栅极之间串联一个无感电阻,可以消除震荡。功率驱动电路如图 5 所示。

2.5 通信电路设计

步进电机的工作方式由上位机发出控制命令传送给 AVR 单片机,单片机再具体发出各种信号给步进电机。上位机和单片机以 RS485 总线进行通信,RS485

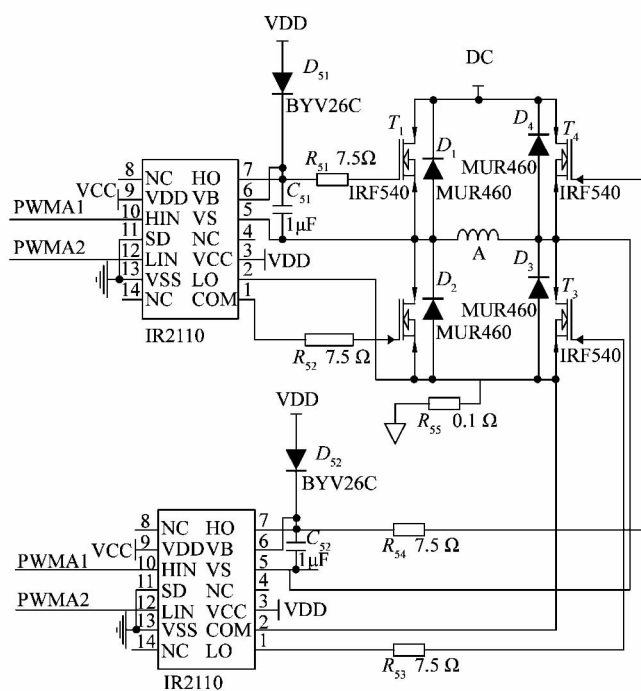


图5 功率驱动电路图

Figure 5 Power driving circuit diagram

采用差分信号,传输距离远,抗干扰性能好。芯片 MAX487 是 MAXIM 公司生产的差分平衡型收发器,其内部含有接收器和驱动器。RO 为接收器的输出端,DI 为驱动器的输入端,RO 和 DI 分别连接单片机的接收端 RXD 和发送端 TXD。单片机和 MAX487 之间连接光电耦合器 6N137 实现隔离。上位机的差分信号端连接 MAX487 的 A 端与 B 端。通信电路如图 6 所示。

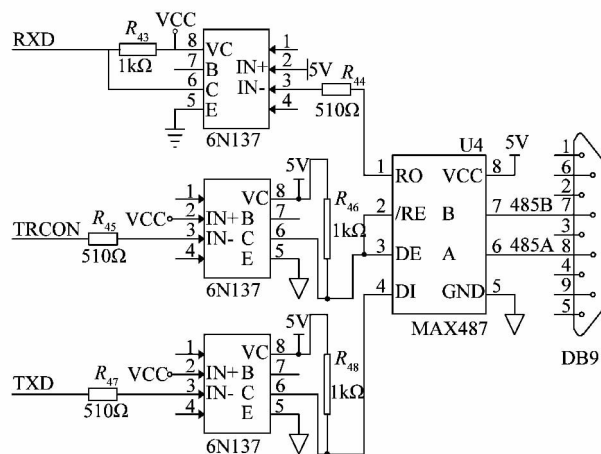


图6 通信电路图

Figure 6 Communication circuit diagram

3 系统软件设计

此系统软件包括上位机应用软件和单片机应用软件。上位机采用系统机,在系统机的串口安装 RS232

转 RS485 的转换器,通过通信电缆连接上位机和单片机进行通信。上位机和单片机之间的通信方式采用主从模式,上位机作为主机发送命令,单片机作为从机以中断方式接受信息。当通信建立后,单片机先对接收的信息进行判断是否正确,然后将正确的信息进行处理,同时给主机发送相应报文信息。上位机操作界面采用 VB 语言编写,在操作界面设定好步进电机运行的各个参数,包括电机的启停、转向、运行步数、速度、细分模式等信息,通过串口通信把这些参数传给单片机。

单片机程序采用 C 语言编写^[9],采用模块化设计方法,包括主程序、初始化子程序、各模块子程序和中断程序^[10]。系统上电复位后,首先进行系统初始化,然后根据条件调用各个子模块。驱动系统采用细分驱动技术,根据细分数,将给定电流的正弦数值存在 Flash ROM 中,查表取出电流设定值送给 A/D 转换器。细分子程序流程图如图 7 所示。

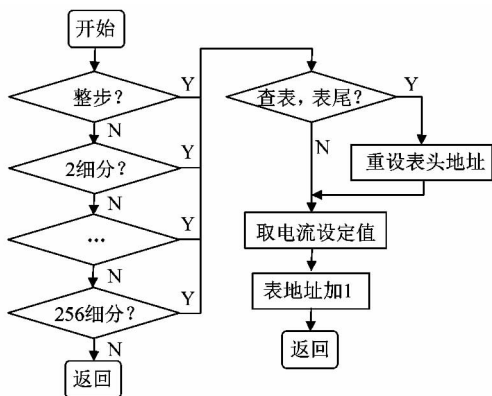


图 7 细分子程序流程图

Figure 7 Flow chart of Subdivision program

4 试验测试

上述设计的步进电机驱动系统是针对两相步进电机而做的,此系统驱动 57 系列、86 系列步进电机,都可以稳定运行。对此系统进行整机测试,内容包括:运行启停测试、正反转测试、细分模式测试、运行状态测试等。通过上位机向单片机发送启停信号、正反转信号、细分模式控制信号等,可以观察到步进电机均能按照预设指令正确运行,符合要求。对步进电机进行细分测试,细分数可以为 1(整步),2,4,8,16,32,64,128 和 256 细分。通过设定不同细分数,对电机绕组电流进行测量,从示波器观察,随着细分数的增加,绕组的电流波形越接近于正弦波,电机运行越平稳。细分技术的本质是控制电机绕组中电流,通过预设基准电压,使得电机绕组中的电流能够跟随其变化。测

得恒流斩波电路中基准电压和绕组电流如图 8 和图 9 所示。此驱动系统具有以下特点:转矩大,工作频率可以达到 200 kHz,输入电压范围宽(DC24 ~ 80 V),电机工作电流可以达到 5 A。

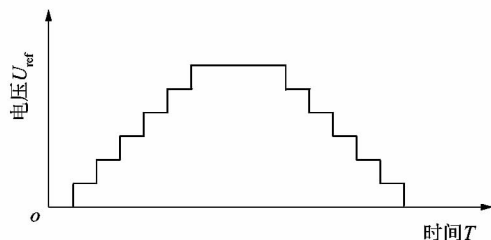


图 8 细分时基准电压波形

Figure 8 Reference voltage wave of subdivision

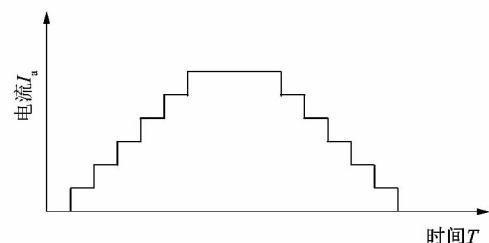


图 9 细分时绕组电流波形

Figure 9 Winding current wave of subdivision

5 结语

该步进电机驱动系统基于细分驱动技术,以 AVR 单片机为控制核心,与其它电路构成整个系统。与传统驱动方法相比,该驱动系统使步进电机实际步距角小于固有步距角,提高系统精度,降低振动,减小噪声,频率范围宽,运行可靠稳定,系统具有良好性能,具有广泛的应用场景。上位机和单片机进行通信传递参数,控制灵活方便,通用性强。此系统控制器为 AVR 系列单片机,为了提高处理速度,可以考虑采用 DSP 或 FPGA 等更高性能数字芯片。另外,此系统是开环控制,可以考虑闭环控制系统,应用智能控制等先进算法,使系统具有更优性能。

参考文献:

- [1] 陈先锋,舒志兵. 步进电动机及其细分驱动技术[J]. 电气时代, 2005(1):137-138.
- [2] 华蕊. 步进电机细分驱动技术综述[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版),1999,17(3):50-54.
- [3] XU Dianguo, WANG Panhai, SHI Jingzhuo. Integrated position sensor based self-tuning PI speed controller for hybrid stepping motor drive [C]//Conference Proceedings IP EMC2004: the 4th international power electronics and motion control conference. Xi'an: IEEE, 2004:1253-1256.

(下转第 64 页)