

基于 MSP430 的超声电机小型驱动器^{*}

俞浦¹, 李华峰², 李杰¹

(1. 中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431;

2. 南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

摘要: 提出了一种基于单片机 MSP430 的超声电机小型驱动器的设计方案, 详述了该驱动器的硬件电路结构, 并用它驱动 TRUM60 型超声电机, 实验结果验证了该设计方案的合理性。该驱动器具有电路简洁, 调节方便和运行稳定等优点。

关键词: 超声电机; MSP430; 驱动电源

中图分类号: TM461

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)18-0026-03

Micro-driver for ultrasonic motors based on MSP430

Yu Pu¹, Li Huafeng², Li Jie¹

(1. China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin 214431, China;

2. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: A scheme for a micro-driver for ultrasonic motor based on MSP430 was proposed. And then the hardware circuit structure was expounded in detail. The circuit was applied to an ultrasonic motor, of which the stator's diameter is 60 mm. Experimental results showed that this scheme was valid and feasible. And it had several advantages, such as compact circuit, convenient regulation, steady running and so on.

Key words: ultrasonic motor; MSP430; driver

超声电机(USM)是一种具有全新原理、全新结构的新型驱动器,它突破了传统的电磁电机的概念,无电枢绕组和磁路,不依靠电磁的相互作用来转换能量,而是利用压电陶瓷的逆压电效应和超声振动来获得驱动力,通过摩擦耦合转换成转子或滑块的运动^[1]。由于其独特的运行机理,USM 具有惯性小、响应快、控制特性好、噪声小、断电自锁、不受磁场影响、本身不产生磁场、低速大转矩等特性,因而受到广泛关注,在微机电系统、纳米技术、军工、机器人、生物学、医疗机构、航空航天、办公自动化等领域展现出很大的应用潜力和优势。

但是,驱动超声电机往往需要配备专用的驱动器,超声电机对驱动信号有着较高的要求,所以目前国内外开发的超声电机的驱动器及控制电路普遍存在电路体积大,性能不稳定等问题。为此,在保证满足驱动要求的前提下,应尽可能地缩小驱动器的体积,提高驱动控制器的性能和稳定性,以便在更多的领域充分发挥超声电机的独特优点^[2]。

针对上述问题,应用目前市面上流行的 MSP430 单片机,针对 TRUM60 型电机,开发出了一种高性能的超声电机驱动器,将一部分驱动控制电路整合到 MSP430 中,极大地缩小了驱动器的体积,提高了驱动器性能,初步解决了这一问题。

1 MSP430 系列单片机概述

美国 TI 公司的 MSP430^[3]系列单片机是一种超低功耗特性的高性能单片机,它将各种外围资源集中在片上,实现了片上系统,从而大大简化了系统的设计。MSP430 采用了 16 位的 RISC 架构,内部具有丰富的功能模块,集成了多通道 10-14 位的 A/D 转换器、双路 12 位 D/A 转换器、比较器、电源电压检测、串行口 USART (UART/SPI)硬件乘法器、Flash 存储器、看门狗定时器及多个 16 位、8 位定时器等功能模块。这些功能可以满足目前超声电机驱动器对单片机的各种需求,使设计变得简单可靠,并为以后超声电机驱动器功能的拓展和完善留下充足的接口。

* 基金项目:国家自然科学基金项目(50875123, 50735002)

2 系统硬件设计

2.1 总体设计

本文采用 MSP430F16X 系列的 F169 单片机作为主控制器设计了驱动器,驱动器的硬件组成主要由 MSP430 单片机、推挽功率级、升压变压器、电感匹配电路、孤极反馈电路等组成,其硬件框图如图 1 所示。

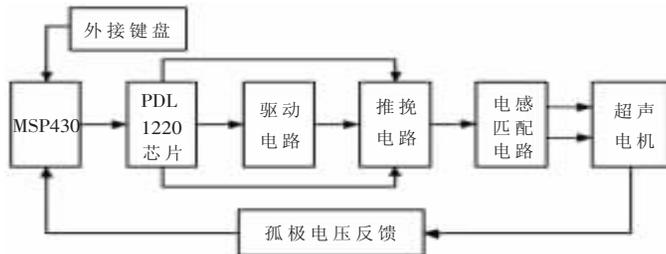


图 1 超声电机硬件框图

MSP430 是新型驱动器的控制核心,控制整个驱动器的工作,PDL1220 芯片产生 PWM 波方波信号经驱动电路放大后传输至推挽电路使其工作。放大后的电压波形经电感匹配电路后,形成两路相位差 90° 的正弦波,加至超声电机,使其运转。通过外接键盘实现与单片机 MSP430 的通信,控制电机的启停与正反转。

2.2 驱动推挽电路

主功率驱动推挽电路如图 2 所示。PDL1220 为超声电机专用集成芯片,可以产生四路相位差 90° 的方波信号,其内部锯齿波振荡器的振荡频率由 5、6 脚的振荡电容和振荡电阻确定。2 脚(VT)接控制电压输入信号(0~3V),输出信号的频率由电容 C、电阻 R1、R2 和 2 脚输入电压确定。15 脚(RUN)接控制输入信号;16 脚(CW)接正反控制输入信号;2、15 和 16 脚接 MSP430 单片机,用来控制电机的启停、正反转和输出方波信号的频率。PDL1220 产生的四路方波信号(A+,A-,B+,B-),经过 IR2101 转换后,HO 和 LO 管脚输出为 15V 的驱动信号,驱动 MOS 管工作。

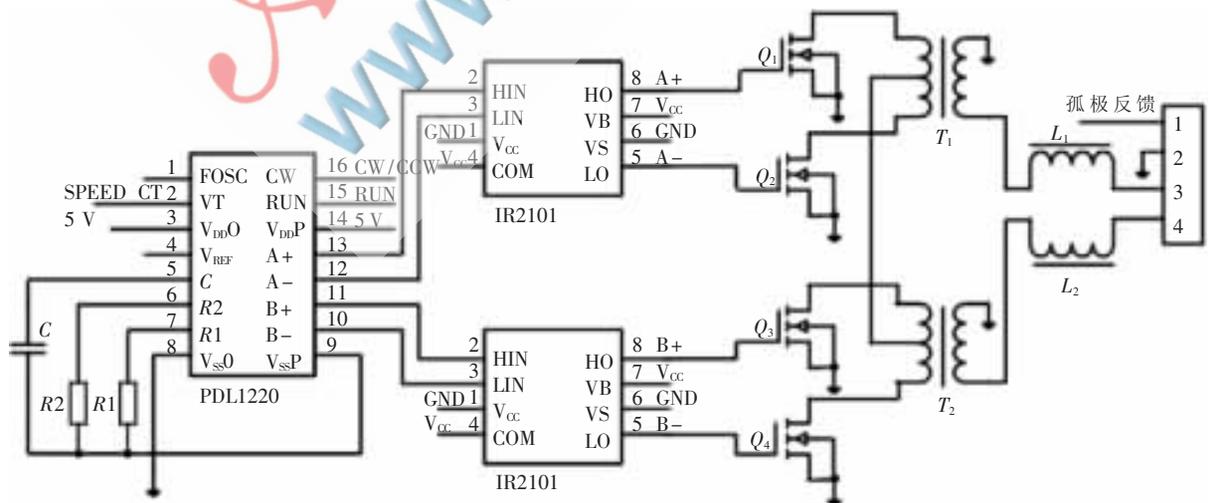


图 2 主功率驱动电路

由于驱动超声电机的电压幅值要求较高,其峰值一般要求达到 100V 以上,因此目前常用的驱动器都是如图 2 所示的变压器推挽电路^[4]。推挽电路工作过程中,在输入回路中只有一个开关管的通态压降,而半桥电路或全桥电路都有两个开关管的通态压降。因而在同样的条件下,产生的通态损耗较小,这对输入电压较低的开关电路十分有利。变压器的作用主要是隔离和变压。两对开关管交替导通,分别在两个变压器 T1 和 T2 原边的两个绕组上形成相位相反的交流电压。电路的输出采用变压器、串联匹配电感与负载相耦合,改变输出变压器的匝数比可使负载成为放大器的最佳负载,以保证 MOS 管工作在最佳运用状态^[5]。

2.3 孤极电压反馈电路

超声电机的稳定性受温度、摩擦损耗等干扰较大,其中温度的变化对其运行稳定的影响最为显著。这是因为当电机在使用过程中发热,使电机温度发生变化,定子的谐振特性将会改变,如果激励频率不随着谐振特性的变化而变化,电机开环运行下的性能就会明显改变^[1]。因此,为了使超声电机转速保持稳定,有必要引入反馈电路实现闭环控制。本文采用孤极电压反馈电路,对超声电机的转速进行调节,使电机保持稳定的工作状态。其原理是在超声电机的定子上增加一个单独的压电陶瓷作为电压传感器,称之为孤极。理想情况下,孤极电压的幅值与电机转速成正比。定子在工作状态下,孤极电压经过整流和滤波后,经单片机 MSP430 的 ADC12 模数转换模块采集,模拟信号变成数字信号。在 MSP430 单片机中,对孤极电压与设定电压作比较计算,通过 DAC12 数模转换模块,输出相应的电压至 PDL1220 芯片,调整信号输出,从而实现闭环控制。

图 3 所示为孤极电压反馈控制系统框图。在 PI 控制器中,把 P 控制的增益选得较小,在整个系统稳定的情况下,稳态时的孤极电压等于设定电压,通过改变设定电压对电机进行调速。

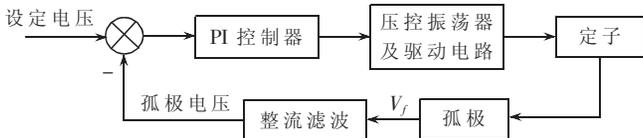


图3 孤极电压反馈控制系统框图

由于孤极电压为交流电,所以孤极电压采集后必须经整流滤波电路变成直流电后送至MSP430,同时由于本驱动器采用推挽电路来驱动电机,所以孤极电压采集时最好实现隔离,采用TL431加4N35实现电压隔离采集,孤极电压反馈电路图如图4所示。

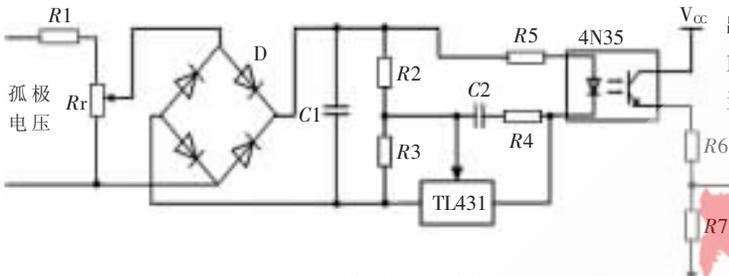


图4 孤极电压反馈电路图

3 系统软件设计

驱动器的控制程序主流程图如图5所示。驱动器开始工作前,先判断存储器内是否有存储数据,如果没有则对系统各部分进行初始化,如果有则直接调用存储数据,之后系统进入稳定状态。此时判断是否有外围键盘的输入信息,通过外围键盘来控制电机的启停和正反转,如果有则进行相应的操作,这部分程序通过定时器中断方式进行编程。最后判断是否对电机运行状态的相关数据进行保存:如不需要,则回到上方的输入判断;如需要保存,则将数据存入存储器,整个流程结束。

超声电机启停和正反转的控制是通过改变对推挽电路的驱动信号来实现的,由于使用了PDL1220芯片产生四路信号,因此只需要改变PDL1220的15脚(RUN),

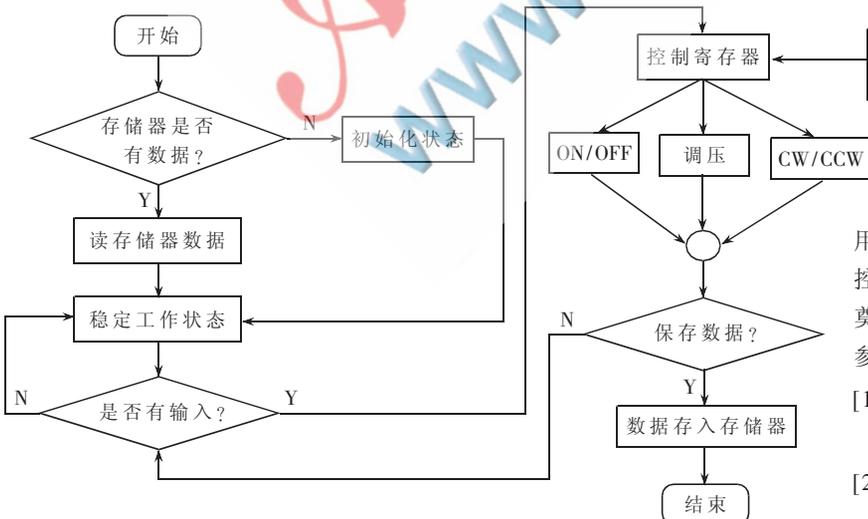


图5 主程序流程图

16脚(CW/CCW)的信号输入。

(1) 超声电机的启停控制

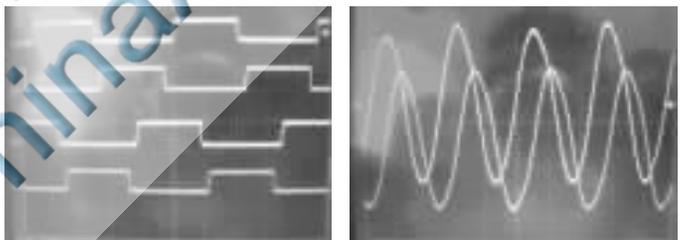
启停控制是通过改变MSP430端口P1.1脚的输出信号来实现的,P1.1脚的输出信号送给PDL1220的15脚(RUN)。通过中断程序来实现启停功能,当检测到外围信号时,调用RUN()函数,外围键盘启动按键按下时,P1.1脚输出信号为高电平,电机启动;当停止按键按下时,P1.1脚输出信号为低电平,PDL1220无信号输出,电机停止。

(2) 超声电机的正反转控制

正反转控制是通过改变MSP430端口P1.2脚的输出信号来实现的,P1.2脚的输出信号送给PDL1220的16脚(CW/CCW)。通过中断程序来实现正反转功能,当电机启动时,检测到外围信号,调用CW()函数,外围键盘正转按键按下时,P1.2脚输出信号为高电平,电机正转;当反转按键按下时,P1.2脚输出信号为低电平,电机反转。

4 实验结果

本文用此驱动器驱动TRUM60型超声电机。电机技术指标为:驱动频率41.3kHz,输入电压12V,输入电流1.0A,输出电压260V_{vpp},电机转速161r/min。MOS管的栅极波形及最终的输出电压波形见图6所示,由图可见,栅极信号无毛刺,且占空比为45%。施加孤极电压反馈电路后,电机工作运行稳定,速度变化可稳定在5%以内。



(a) MOS管驱动波形 (b) 两相电机驱动电压波形

图6 实验波形

本文基于MSP430单片机,设计了一种新型平台的超声电机小型驱动器,并很好的驱动了TRUM60型超声电机。该驱动器体积小、结构简单、能量利用率高、易维护、调试方便,并留有丰富的控制接口,为后续丰富和完善驱动器功能奠定了基础。

参考文献

- [1] 赵淳生.面向21世纪的超声电机技术[J].中国工程科学,2002,4(2):86-91.
- [2] 李华峰,辜承林.大转矩行波型超声波电

- 机的研制[J].中国电机工程学报,2002,22(8):67-70.
- [3] 陈政石,秦红波,李铁鹰.基于 MSP430F149 的串口服务器设计[J].电子技术应用,2009,35(1):95-97.
- [4] 李华峰,辜承林.超声波电机的频率自动跟踪[J].压电与声光,2003,25(1):36-38.
- [5] 李华峰,赵淳生.基于 LC 谐振的超声电机驱动器的研究[J].中国电机工程学报,2005,25(23):144-147.

(收稿日期:2011-06-23)

作者简介:

俞浦,男,1983年生,硕士研究生,助理工程师,主要研究方向:航空航天测量工作。

李华峰,男,1974年生,博士,教授,博士生导师,主要研究方向:超声电机及驱动控制系统的研究。

李杰,男,1983年生,工程师,主要研究方向:雷达测控总体。

