

文章编号: 2095-4980(2017)02-0317-06

新型五相步进电机控制技术

宋 博

(北京空间机电研究所 激光工程技术研究室, 北京 100094)

摘 要: 五相步进电机已被广泛应用于控制旋转角度、速度、位置和同步性的诸多领域。通过对新型五相步进电机工作原理的研究, 采用 Luminary 公司 LM3S615 芯片设计完成步进电机的控制组件, 由其内部自带的脉宽调制(PWM)模块产生驱动组件所需的接收时序信号, 实现对驱动组件进行细分驱动。通过配置驱动组件, 可以产生占空比不同的方波, 从而在电机线圈内能够产生多种不同幅值的电流来实现细分驱动。选用的五相步进电机平台型号是 SGSP(MS)20-85(X)。通过实验表明可以实现对步进电机的步进角、角位移量以及转动速度和加速度的精确控制。

关键词: LM3S615 芯片; 五相步进电机; 控制技术

中图分类号: TN710.9

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201702.0317

Control technology in new five-phase stepper motor

SONG Bo

(Laser Engineering Laboratory, Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing 100094, China)

Abstract: Five-phase stepper motor has been widely used in many fields to control the rotation, speed, position and synchronicity. Through the study of the working principle of the new five-phase stepper motor, the control module of stepper motor is designed by using LM3S615 chip of Luminary company. The Pulse Width Modulation(PWM) module from the internal of stepper motor generates timing signal required by driving components, in order to achieve the subdivision driving for drive assembly. The driving component can produce waves with different duty cycles through the configuration, which can produce different current amplitudes in the motor coil internal to achieve subdivision. The five-phase stepper motor model is SGSP(MS)20-85(X). Experiments show that it can achieve accurate control of the stepper motor on step angle, angular displacement, rotation angle and acceleration.

Keywords: LM3S615; five-phase stepper motor; control technology

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制元件。在非超载的情况下, 电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数, 而不受负载变化的影响, 即给电机加一个脉冲信号, 电机则转过一个步距角。这一线性关系的存在, 加上步进电机只有周期性的误差而无累积误差等特点, 使得在速度、位置等控制领域用步进电机来控制变得较为方便^[1-2]。如果通过单片机按顺序给绕组施加有序的脉冲电流, 就可以控制电机的转动, 从而实现数字角度的转换。转动的角度大小与施加的脉冲数成正比, 转动的速度与脉冲频率成正比, 而转动方向则与脉冲的顺序有关^[3-4]。

本文主要通过基于 Luminary 公司 LM3S615 芯片完成新型五相步进电机的控制组件硬件实现, 再由基于软件设计并辅以驱动组件实现步进电机的步进角、角位移量以及转动速度和加速度的控制, 具有控制精确度较高、实时性较好、设备相对简单、便携体积较小等特点, 适合应用于卫星、雷达等领域。

1 新型五相步进电机简述

本次实验选择的五相步进电机平台型号是 SGSP(MS)20-85(X)。SGSP(MS)系列是一种内装磁性尺的自动平台, 它不仅具有 SGSP 的全部优点, 而且, 它能提供完全闭环控制, 定位精确度小于 $1\ \mu\text{m}$, 此平台使用磁性尺, 可实现精密闭环控制。它可广泛应用于包括检测和测量等多个领域。该平台具有以下特点: 高承载能力、

收稿日期: 2015-11-06; 修回日期: 2015-12-31

高刚性设计、与现有五相步进电机控制驱动器兼容以及可用于计算机遥控、手动操作杆操作和微步功能等^[5]。

SGSP 为高刚性、高精度的自动平台。它采用了全新的设计和制造的精密级导轨驱动结构。它有机地结合了精密直线导轨和滚珠丝杠的功能,而且把直线导轨、滑块(平台)和驱动用的滚珠丝杠设置在相近的位置。再加上采用了高刚性的 U 字形外导轨结构,因此,它体积小,同时具有很好的承载性能^[6-9]。

由于采用了抗扭矩及耐复合载荷的结构,因此,这款平台不容易受上下左右摆动及扭矩的影响。高刚性的结构减少了对安装的要求,所以,非常适用于测量、评价及检查等各种应用系统。整套系统包括控制组件、驱动组件和五相步进电机,其连接关系如图 1 所示。

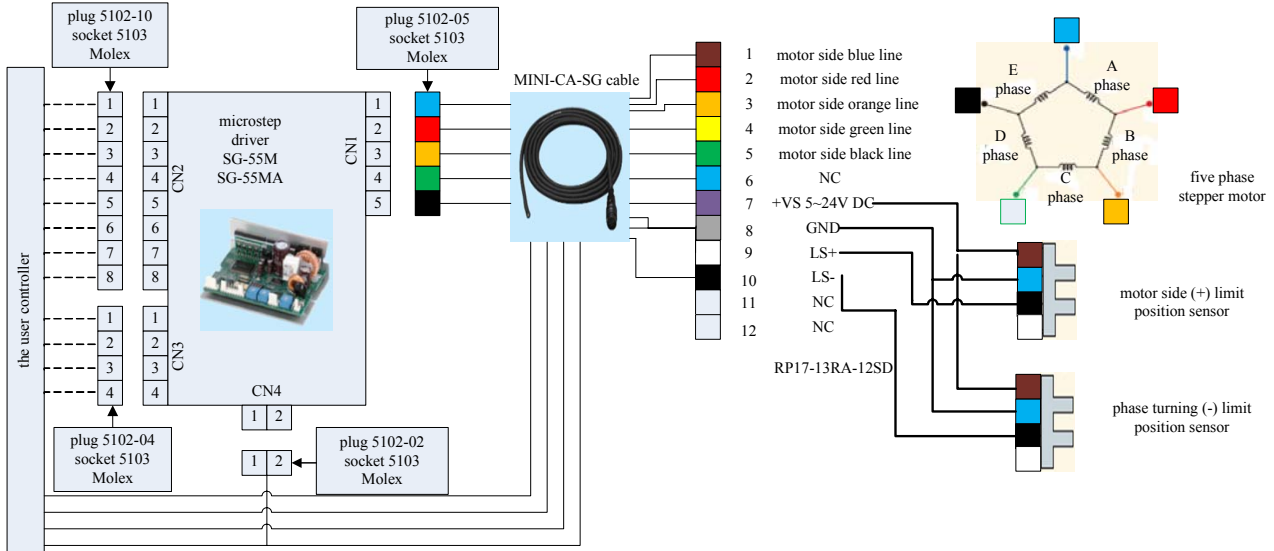


Fig.1 Connection of control components, drive components and stepper motor
图 1 控制组件、驱动组件与步进电机连接图

2 步进电机控制组件硬件电路实现

本次实验选择 Luminary 公司的 LM3S615 芯片作为系统的步进电机控制器芯片。Luminary Micro Stellaris TM 系列的微控制器是首款基于 ARM® Cortex™-M3 的控制器,它将高性能的 32 位计算引入到对价格敏感的嵌入式微控制器应用中。这些堪称先锋的器件拥有与 8 位和 16 位器件相同的价格,却能为用户提供 32 位器件的性能,而且,所有器件都是小型封装形式提供。Stellaris 系列的 LM3S615 微控制器拥有 ARM 微控制器所具有的众多优点,如拥有广泛使用的开发工具,片上系统(System on Chip, SoC)的底层结构 IP 的应用,以及众多的用户群体。此外,控制器还采用了 ARM 可兼容 Thumb®的 Thumb-2 指令集来降低内存的需求量,进而降低成本。LM3S615 原理框图如图 2 所示。

LM3S615 原理框图包括 ARM Cortex M3 内核、LMI JTAG 测试访问端口(Test Access Port, TAP)控制器、系统控制&时钟、存储器外设、系统外设、串行通信外设、模拟外设和电机控制器外设等模块组成,其中存储器外设由 FLASH 和 SRAM 组成,系统外设由通用输入/输出接口(General Purpose Input Output, GPIO)、通用定时器和看门狗定时器组成,串行通信外设由通用异步接收器/发送器(Universal Asynchronous

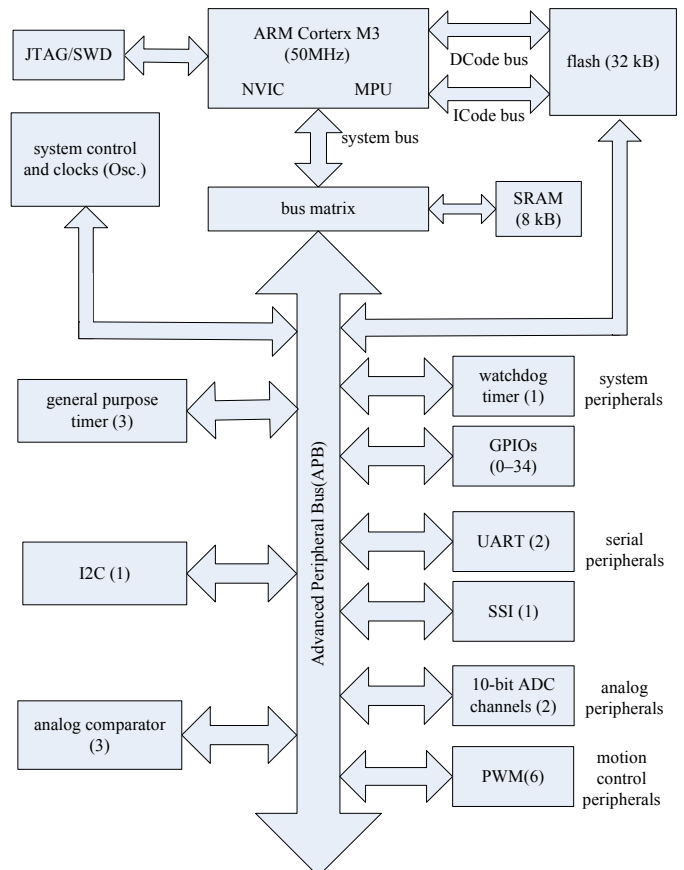


Fig.2 Block diagram of LM3S615
图 2 LM3S615 原理框图

Receiver/Transmitter, UART)、内部集成电路(Inter-Integrated Circuit, I2C)和同步串行接口(Synchronous Serial Interface, SSI)组成,模拟外设由模拟/数字转换器(Analog-to-Digital Converter, ADC)、温度传感器和模拟比较器组成,电机控制器外设由脉宽调制器(Pulse-Width Modulation, PWM)组成,各外设模块通过外设总线通过先进外设总线(Advanced Peripheral Bus, APB)桥(APB Bridge)与包含嵌套向量中断控制器(Nested Vectored Interrupt Controller, NVIC)的内核进行通信。

步进电机控制组件硬件实现主要由 LM3S615 最小系统、JTAG 工艺测试接口、RS232 串口、电平转换模块、电机接口、板载二次电源、TVS 电源保护电路、RTC 时钟源、ADC 电路、LCD 显示屏和外围测试电路等组成,其中 ARM 最小系统由 LM3S615、晶振、FLASH 电路和 SDRAM 电路组成,控制组件输出驱动组件所需的脉冲,从而控制步进电机的步进角、角位移量以及转动速度和加速度等参数调整,步进电机控制组件原理框图如图 3 所示。

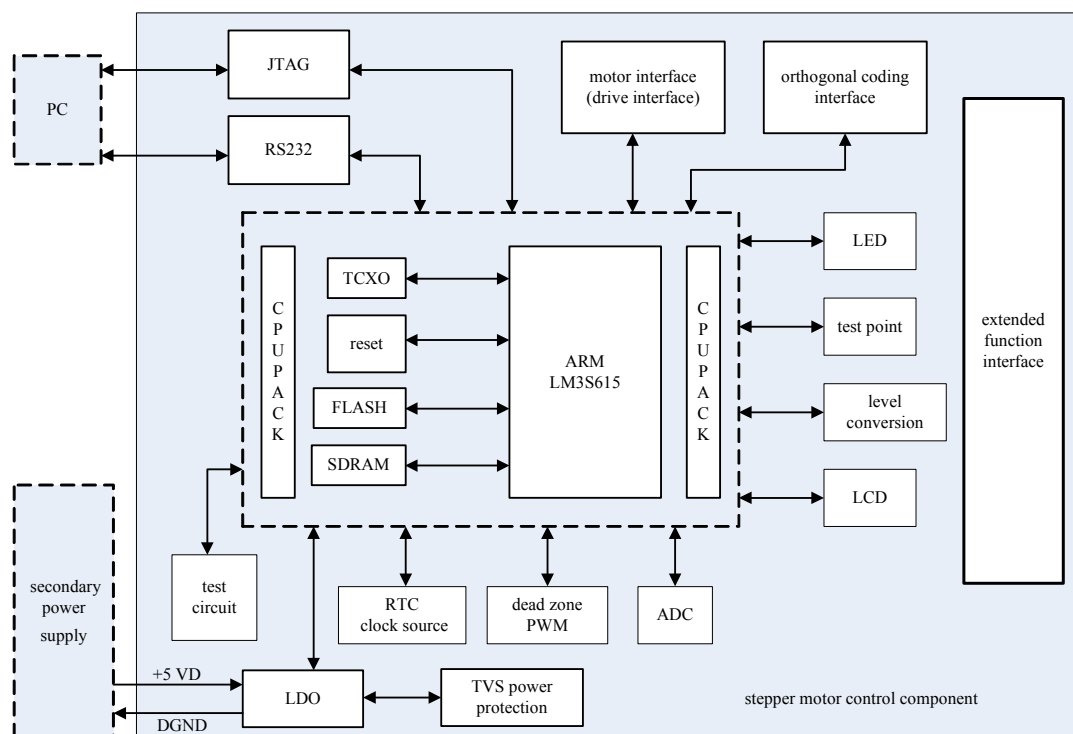


Fig.3 Block diagram of stepper motor control component

图 3 步进电机控制组件原理框图

3 步进电机驱动组件

本实验系统所采用的驱动器的型号是 SG55M。SG55M 为单轴微分驱动器,采用特殊驱动方式,在需要高速运转时,内部电路能从微步驱动(可实现高分辨率的机械定位)自动切换为整步驱动。输出功率大。可驱动大到 SGSP65 系列的长行程、大载荷的平台。在停止状态时,其自动电流下降功能可减少发热。驱动组件实物图如图 4 所示。

驱动组件的特点如下:驱动器体积小,质量轻,非常适用于内置部件;部分驱动器可实现 250 细分的微步驱动,运转平稳;可选择 DC24V 或 AC100V 两种电源型号。

驱动组件用于驱动五相步进电机,驱动方式为双极稳流五角驱动方式,驱动电流(输出电流)为 0.5~1.6 A/相(由开关选择),输入信号为顺时针转动指令脉冲输入(或脉冲信号输入为单时钟模式),逆时针转动指令脉冲输入(或转动方向信号输入为单时钟方式),闭锁输入为细分数选择输入(数码开关或 4 位二进制信号),脉冲宽度为 0.5 μ s(min),间隔为 0.5 μ s(min),升/降时间为 1 μ s(max),最大脉冲频率为 500 kpps,电压为 4~8 V, [0]为 -8~0.5 V^[1], (H,O,D,S)模式内部电阻为 390 Ω , (F,R)模式内部电阻为 300 Ω ,输出信号为励磁输出信号(机械原点励磁输出信号),具有自动电流下降功能,冷却方式为自然冷却,供电电源为直流 24~36 V,最大电流 3 A。



Fig.4 Physical drive component

图 4 驱动组件实物图

4 步进电机控制组件软件设计

LM3S615 选用的集成开发环境是 IAR Embedded Workbench for ARM(下面简称 IAR EWARM), 该软件是针对 ARM 处理器的集成开发环境, 它包含项目管理器、编辑器、C/C++编译器、ARM 汇编器、连接器 XLINK 和支持 RTOS 的调试工具 C-SPY。在 EWARM 环境下可以使用 C/C++和汇编语言方便地开发嵌入式应用程序。软件总体设计思想为通过改变 PWM 的占空比, 从而改变电机绕组上电流的大小。比如要实现电机三细分, 就要设置 3 个不同的 PWM 占空比。程序包括主程序和中断程序。主程序主要是各功能模块初始化, 包括使能 PWM 输出所在的 I/O 口, 使能 PWM 中断, 使能总中断等。中断程序包括电机的转向、电机的微步细分等。软件采用模块化设计, 便于后续参数调整和功能验证, 软件系统结构由时钟管理模块、串行发送控制模块、串口模块、指令解析模块、时统控制模块、状态采集模块、遥测数据打包模块、测试接口模块等组成。

软件流程如图 5 所示。每进入 PWM 中断函数 1 次, PWM 的占空比就改变 1 次。将电机每转过一微步对应的占空比制成表格, 程序运行时通过查表来给电机绕组通电, 并且通过改变查表的顺序可以实现电机的正反转。步进电机控制组件输出时序图如图 6 所示。

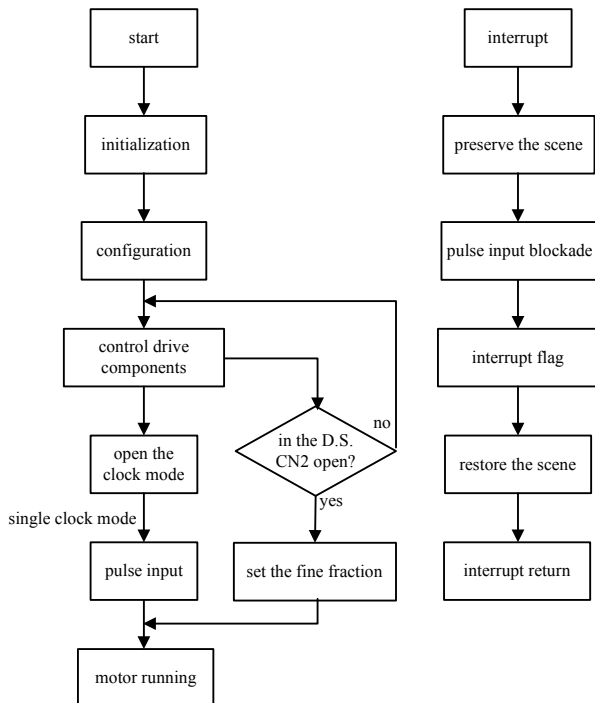


Fig.5 Flow chart of control component software
图 5 控制组件软件流程图

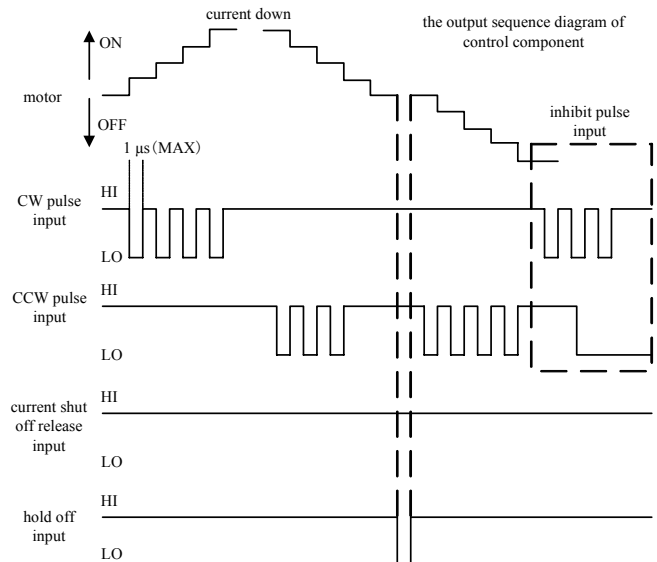


Fig.6 Output sequence diagram of stepper motor control component
图 6 步进电机控制组件输出时序图

部分功能程序模块如下:

1) 定时器中断处理程序(工作在 32 位周期触发模式下)

```
void Timer0A_ISR (void)
```

```
{
```

```
TimerIntClear(TIMER0_BASE, TIMER_TIMA_TIMEOUT); // 清除定时器中断
```

```
GPIOPinWrite(GPIO_PORTD_BASE, PINS1, GPIOPinRead(GPIO_PORTD_BASE, PINS1) ^ PINS1); // 翻转 GPIO D7 端口
```

```
TimerEnable(TIMER0_BASE, TIMER_A); // 使能定时器 0
```

```
}
```

2) 防止 JTAG 失效

```
void jtagWait(void) // 防止 JTAG 失效
```

```
{
```

```
SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOB); // 使能 KEY 所在的 GPIO 端口
```

```
GPIODirModeSet(GPIO_PORTB_BASE, GPIO_PIN_1, GPIO_DIR_MODE_IN); // 设置 KEY 所在管脚为输入
```

```
if (GPIOPinRead(GPIO_PORTB_BASE, GPIO_PIN_1) == 0x00) // 若复位时按下 KEY, 则进入
{for (;); // 死循环, 以等待 JTAG 连接}
}
3) GPIO 口中断服务程序
void GPIO_Port_D_ISR(void)
{
    GPIOPinIntClear(GPIO_PORTD_BASE, KEY1); // 清除中断标志
    if(GPIOPinRead(GPIO_PORTD_BASE, LED1) == 0)
    {GPIOPinWrite(GPIO_PORTD_BASE, LED1, LED1);}
    else
    {GPIOPinWrite(GPIO_PORTD_BASE, LED1, ~LED1);}
}
```

5 实验结果

新型五相步进电机控制组件、驱动组件和步进电机的联调测试内容如下(参照图 1):

1) 将驱动器的 CN1 的 5 个管脚通过 MINI_CA_SG 电缆与步进电机相接, 对应接线的颜色是茶色、红色、橙色、黄色、绿色(1~5)。

2) 设置 CN2。电路设计中 CW 和 CCW 脉冲输入接口电路输入端口(7,8)为 CMOS 电平输入, 需要 3.3 k Ω 上拉电阻, 并通过 100 pF 瓷片电容接端口地(1); 电机励磁 OFF、步进角设定输入接口电路输入端口(9)为 CMOS 电平输入, 通过一个 1 k Ω 的电阻与 I/O 连接, 电阻前后端各有 1 个 22 k Ω 和 1 个 220 pF 的电容器接端口地(1), 串联的电阻起阻尼作用, 电阻消耗过电压的能量, 从而抑制电路的振荡, 并联的电阻吸收电容的电能, 防止电容的放电电流过大, 避免对与之并联的器件造成损坏; 励磁时序信号输出接口电路输出接口(10)电压为 DC 30 V(min), 电流 15 mA(min)。

1 脚 F+接 PD5, 由 32 位周期触发定时器的程序产生, 接收时序脉冲, PD5 与 KEY2 按键相连, 按键的作用是控制脉冲的产生(复位作用), 在正常运行时的初始阶段, 程序配置完成后, 产生时序脉冲, 脉冲按周期循环, 即脉冲波形与时序电平交替产生, 全局复位由复位按键产生, 默认态为高电平。2 脚 F-暂且不用。3 脚 R+接高电平, R+接 PB4。4 脚 R-暂且不接。5 脚 H.O+接低电平, 6 脚 H.O-接高电平, 使电机激活, 正常运转, 5 脚接 PE1, 6 脚接 PB6。7 脚 D.S+接高电平, 接 PB3, M 开关暂且不用, 8 脚 D.S-接低电平, 接 PE0, 实现细分数的选择。9 脚、10 脚是输出脚, 反馈给控制器来判断电机的极限位置, 9 脚接高电平, 接 PB2, 10 脚接低电平, 接 PE2。

3) 设置 CN3。管脚 1,2,3,4 接收高低电平使其可以从 0000~1111 变化来确定细分数, 故用 4 位拨码开关来控制, 由 GPIO 输入输出的程序产生, 用 KEY1 接 PD4, KEY5 接 PC7, KEY3 接 PB5, KEY4 接 PA4, 控制高低电平变化, 由 4 个 LED 灯显示控制效果。

4) 设置 CN4。1 脚外接 24 V 直流电, 2 脚接地, 同时与 MINI_CA_SG 电缆相连, 对应接线的颜色分别为紫色(7)(接电源, 24 V), 灰色(8)(接地, 电源回线)。

5) 设置开关和旋钮控制。开关 1 置于 OFF 档, 开关 2 置于 ON 档, 选择单时钟模式, 开关 3 选择 OFF, 有电流降, 开关 4 置于 OFF。M 旋钮不使用, RUN 旋钮置于 F, 取驱动电流 1.6 A/相, STOP 旋钮置于 5, 取停止电流为驱动电流的 50%。

本次试验步进电机所需的五路时序图由控制组件产生, 通过驱动组件实现对步进电机的驱动控制, 实验结果表明可以实现对新型五相步进电机的步进角、角位移量以及转动速度和加速度等参数控制和调整, 步进电机运转正常。

6 结论

通过 LM3S615 可以方便地实现步进电机细分驱动。至于对电机实现多少细分, 只需要改变模块化程序参数即可。实验结果表明本文设计的步进电机控制组件满足驱动组件驱动五相步进电机的功能和性能需求。由于所设计的控制组件 LCD 显示屏仅能显示参数和固态信息, 而不能实现与系统的人机交互, 后续可以通过嵌入式和触摸显示屏完成智能化升级, 而且可以选用高等级元器件, 实现星载设备五相步进电机的应用。

参考文献:

- [1] 葛健,董浩斌,郑海兵. 嵌入式 SD 卡存储器的设计[J]. 电子技术应用, 2010(5):139-143. (GE Jian,DONG Haobin,ZHENG Haibing. The design of embedded SD card memory[J]. Application of Electronic Technique, 2010(5):139-143.)
- [2] 余虹,付荣,蔡长美,等. 基于 LM3S615 的数码发电机的输出波形控制[J]. 三明学院学报, 2011,28(6):54-57. (YU Hong,FU Rong,CAI Changmei,et al. The output wave control of digital generator based on LM3S615[J]. Journal of Sanming University, 2011,28(6):54-57.)
- [3] 朱秀梅,胡仁杰. 基于 LM3S615 的三相应急电源主电路研究[J]. 工业控制计算机, 2009,22(9):87-88. (ZHU Xiumei,HU Renjie. Research on three-phase EPS main circuit based on LM3S615[J]. Industry Control Computer, 2009,22(9):87-88.)
- [4] 黄小莉,何毅. 三相直流无刷电机驱动板设计[J]. 机械设计与制造, 2011(5):60-62. (HUANG Xiaoli,HE Yi. Design for three-phase brushless DC driving board[J]. Machinery Design & Manufacture, 2011(5):60-62.)
- [5] 赵青云. 基于步进电机的驱动器设计与应用[D]. 天津:河北工业大学, 2008. (ZHAO Qingyun. Design and application of the stepping motor driver[D]. Tianjin,China:Hebei Industry University, 2008.)
- [6] 方旭. 基于 ARM 的多通道步进电机控制系统设计[D]. 成都:西南交通大学, 2014. (FANG Xu. Design of a multi-channel stepper motor control system based on ARM[D]. Chengdu,China:Southwest Jiaotong University, 2014.)
- [7] 刘宝志. 步进电机的精确控制方法研究[D]. 济南:山东大学, 2010. (LIU Baozhi. The study of exactly control stepping motor[D]. Jinan,China:Shandong University, 2010.)
- [8] 赵立辉,霍春宝. 基于 FPGA 的步进电机多轴联动控制系统[J]. 电机与控制应用, 2013,40(11):42-45. (ZHAO Lihui,HUO Chunbao. Control system for multi-axis stepper motor based on FPGA[J]. Electric Machines & Control Application, 2013,40(11):42-45.)
- [9] 肖龙,汤恩生. 电机控制系统 PID 参数的遗传算法优化[J]. 航天返回与遥感, 2006,27(2):34-37. (XIAO Long,TANG Ensheng. The optimization of genetic algorithms for the PID parameters of motor controller system[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2006,27(2):34-37.)

作者简介:



宋 博(1987-), 男, 长春市人, 硕士, 工程师, 主要从事激光信息处理(硬件电路设计、软件设计和系统联调测试)相关领域的研究.email:bobosongmm@126.com.

(上接第 316 页)

作者简介:



杨可萌(1992-), 女, 江苏省淮安市人, 在读博士研究生, 主要研究方向为微电子器件和功率集成电路.email:jasmineykm@hotmail.com.

郭宇锋(1974-), 男, 河南省洛阳市人, 博士, 教授, 研究方向为新型微电子器件技术、集成电路设计技术、无线能量和信息协同传输技术.

李 悦(1993-), 女, 天津市人, 学士, 主要研究方向为微电子器件和功率集成电路.

郭羽涵(1993-), 女, 南京市人, 学士, 主要研究方向为微电子器件和功率集成电路.

王 超(1993-), 女, 江苏省泰州市人, 学士, 主要研究方向为微电子器件和功率集成电路.

刘 陈(1963-), 男, 江苏省南通市人, 博士, 教授, 主要研究方向为通信信号处理.