

基于增强型 STM32 驱动双极步进电机的研究

张团善 张 娜 武玉婷

(西安工程大学电子信息学院 西安 710048)

摘 要: 针对双极步进电机的控制特点, 充分利用增强型 STM32 在电机控制中的优势, 提出基于 STM32 的双极步进电机驱动方案。对该系统的硬件电路和软件流程进行分析和设计, 并最终将其应用到实际的电脑横机工作环境中, 通过调整协调步进电机的参数, 实现了电机驱动的紧凑、高速和低成本的目标。验证表明该系统具有较高稳定性和可靠性, 达到了预定的要求。

关键词: 双极步进电机; STM32; 电机驱动

中图分类号: TP27 **文献标识码:** A

Study of driving bipolar stepper motors based on enhanced STM32

Zhang Tuanshan Zhang Na Wu Yuting

(Electronic Information College, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048)

Abstract: According to the bipolar stepper motor's control characteristic, make full use of the advantages of enhanced STM32 in motor control, a bipolar step motor drive scheme based on the STM32 is proposed. This paper analyzes and designs the system hardware circuit and software flow, then applies it to the working environment of practical computer knitting machine. By adjusting and coordinating the parameters of the stepping motor, it realizes the compact, high speed and low cost targets of the motor drive. The results show that the system has higher reliability and stability, and reaches to the predetermined requirement.

Keywords: bipolar stepper motor; STM32; motor drive

0 引 言

步进电机在当今控制系统中被广泛应用, 特别是在需要电机的转矩、速度、位置和同步控制的精密轴定位控制环境中。它具有不需要反馈装置、惯量低、定位精度高、稳定性好、相对其他运动控制系统便宜等特点。但是目前对步进电机的控制主要由单片机和 DSP 实现, 虽然单片机实现在价格上有优势, 但是外围电路复杂, 对系统的稳定性和可靠性有较大的影响; DSP 虽然在算法实现上速度快, 但是外围电路也较复杂, 而且价格较贵。本文提出了基于增强型 STM32F 系列微控制器驱动双极步进电机的方法。以 Cortex-M3 为内核的 STM32 系列微处理器具有能产生 PWM 输出的 TIM 和带有独立采样电路的 ADC, 其控制系统外围电路简单, 实时控制速度快, 稳定可靠, 性价比较高, 非常适合于步进电机的控制。

1 双极步进电机

1.1 双极步进电机原理

步进电机是将电脉冲转变为角位移或线位移的开环

控制元件。一般分为永磁式(PM)、反应式(VR)、混合式(HB)3种类型。双极性步进电机是指步进电机线圈中的电流的流动方向不是单向的, 即可以通过控制 H 桥电路来翻转线圈中的电流, 使绕组线圈轮流产生双向电流。与单极性步进电机相比, 双极性步进电机的绕组线圈每次都有电流流过, 它在整个电机内产生了一个均匀的磁场, 使系统相对稳定, 输出力矩也较大。

1.2 驱动信号

直流电机只要通电就可运行, 但是步进电机必须有换向信号才可运行。步进电机有多种驱动方式, 包括全步进和半步进方式。全步进方式被用于全步进电机驱动器。这种控制模式只需要由 PWM 产生的 4 个具有固定占空比的矩形信号。半步进模式复杂一点。如果使用半步进驱动, 电机在每个时钟脉冲前进半步, 从而可以获得高的位置分辨率和减少不稳定性。因为在这两种模式下, 信号在某种程度上是相关的, 所以他们可以用标准的逻辑产生。但是一个好的逻辑实现是相当贵的, 因此专用集成电路是比较好的选择。IC(集成电路)电机控制器只可运行在 3 种模式: 两相全步进、半步进和波驱动。这种类型的集成电

路需要 4 个信号控制器,它们是由微机或其他专用控制器芯片提供的。此外,这个方案还需要 1 个功率级和 1 个对每个电机产生不同控制信号的微处理器。在基于微处理器的应用中,软件和 PWM 定时器可以用来代替外部控制器。

这种方法使用最小的硬件实现最高的速度,且创造了非常低的微控制器的 CPU 负载。

2 硬件设计

本文使用了增强型 STM32 和 L6208 全集成的双极步进电机驱动器来控制步进电机,是一个能获得最小 CPU 负载的最便宜和最简单的方法。

2.1 STM32 的选型

增强型 STM32 有 80 个 GPIO 口,这些 I/O 口可以用来控制步进电机的旋转方向(顺时针或逆时针)、步进方式(全步进或半步进)、衰减模式(快速或慢速)和 L6208 芯片的使能信号。

在增强型 STM32 内部包括 1 个高级定时器(TIM1)和 3 个通用定时器(TIM2、TIM3、TIM4),它们具有高达 72 MHz 的内部时钟频率和 4 个 16 位独立的高分辨率的捕获通道。这 4 个独立通道可用于 PWM 产生和输出比较模式。PWM 产生和输出比较的特点是能产生有规则的时钟作为 L6208 的输入来控制步进电机。本次设计通过控制 TIM2 在输出比较触发模式下产生恒定 50% 占空比和变化的频率来控制步进电机的速度。后者是用来根据典型的速度分布来改变电机速度。当时钟频率改变时,需要一个最小的 CPU 负载来阻止步进电机的延时。

另外,STM32 具有强大的 DMA 功能。它的 DMA 控制器有 7 个独立的可配置通道,每个通道有 3 个事件标志:DMA 半传输、DMA 传输完成和 DMA 传输出错。对于所有的定时器,它们的 DMA 通道中都有一个请求更新事件,这使得定时器可以在同一时间驱动不同的步进电机。

DMA 可以提供外设和存储器之间或者存储器和存储器之间的高速数据传输。在这里,DMA 用来传输定时器的周期,无需 CPU 的任何干预,通过 DMA 实现数据的快速移动,加快了 CPU 的运行。

2.2 L6208 DMOS 双极步进电机驱动器

因为绕组线圈没有中心抽头,所以双极性步进电机的驱动电路比较复杂。为了翻转电机绕组的磁场方向,就必须通过使用 H 桥电路来翻转绕组中的电流。目前市场上有很多的 H 桥驱动器。本文选用的驱动器是 L6208,它是 1 个为驱动两极步进电机专门优化的 powerSPIN 系列的芯片,这个芯片集成了由 8 个功率 DMOS 晶体管组成的 2 个全桥、1 个执行相位生成功能的集中式逻辑电路和关断时间恒定的 PWM 电流控制器。

L6208 为每个全桥集成 1 个关断时间恒定的 PWM 电流控制器。电流控制电路通过检测连接在两个小功率

MOS 晶体管的源极与接地之间的外部敏感电阻器的压降来决定全桥的开关。每个电机的绕组电流流经相应的敏感电阻器,造成的压降用来控制负载的峰值电流。当敏感电阻器上的压降大于参考输入(V_{refA} 或 V_{refB}) 的电压时,敏感比较器就会触发单稳态电路,关闭全桥。

2.3 硬件电路

步进电机主电路主要包括驱动电路和逻辑控制电路两大部分,系统总的原理框图如图 1 所示。

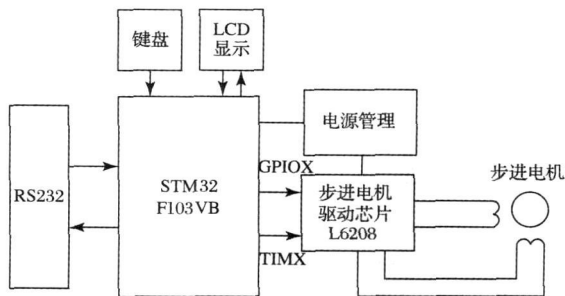


图 1 步进电机系统原理

2.3.1 驱动电路

驱动电路工作电压范围广(8~52 V),平均输出电流可以达到 2.8 A,峰值 5.6 A。电源引脚(V_{SA} 和 V_{SB})和 L6208 接地引脚之间接入一个 100~200 nF 的陶瓷电容器来改善高频电源上的滤波,且可以减少开关产生的高频瞬变。在 EN 输入和地之间接入 1 个电容器来设置关断时间,进行过流保护。两个电流感应输入端应尽可能近的与敏感电阻器相连以稳压。为了提高抗噪性能,把未使用的引脚(除了 EN)连接到 5 V(逻辑高电平)或地(逻辑低电平)。

CONTROL 输入端用来选择关断期间全桥的状态。低电平时为快速衰减模式且全桥的两个晶体管在关断时间内被关闭;高电平时选择慢速衰减模式,全桥的下桥臂晶体管在关断时间内被关闭。相位序列信号发生器是 1 个状态机,为这两个电桥提供 Phase 和 Enable 输入信号,以全步进或半步进的方式驱动 1 个步进电机。正反转控制信号 cw/\overline{cw} 控制电机的旋转,高电平时为顺时针转动,低电平时则为逆时针转动。

2.3.2 逻辑控制电路

逻辑控制电路中,TIM2 的通道 1 被配置成触发输出比较模式来输出 PWM 波形,作为 L6208 的时钟输入,通过控制 PWM 输出可以改变时钟的频率;GPIOC 分别被连接到 L6208 的控制端,通过软件编程控制芯片的使能和选择电机的运行方式。

3 系统软件设计

控制系统软件主要有主程序和中断子程序构成。为了控制步进电机,软件部分采用了 3 个中断:加速过程中

的 DMA 中断、系统时钟中断和减速过程中的另一个 DMA 中断。这些中断每 38 ms 产生 1 次,每个中断例程需要 12 个周期进入中断和 12 个周期退出中断。这 3 个中断总更需要 72 个周期。因时钟频率为 72 MHz,所以它们只需不到 1 μ s 就可进入和退出中断。

主程序主要完成系统初始化和步进电机参数设定、电机转速计算和起停控制等;中断服务子程序主要完成 DMA 传输完成中断和系统时钟精确定时中断的功能。主程序软件流程图如图 2 所示。

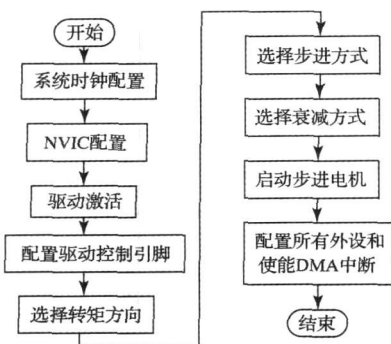


图2 主程序软件流程

加减速过程中的 DMA 中断流程图如图 3 所示。在加速阶段,当完成对步进电机加速缓冲器的数据传输时,产生 DMA 传输完成中断。这个中断停止了 DMA 的数据传输,并且使能 SysTick 产生一个 8 ms 的周期计数。计数完成后,产生一个 SysTick 中断,且使能 DMA 使其在减速缓冲阶段进行数据传输。其中 SysTick 中断流程图如图 4 所示。

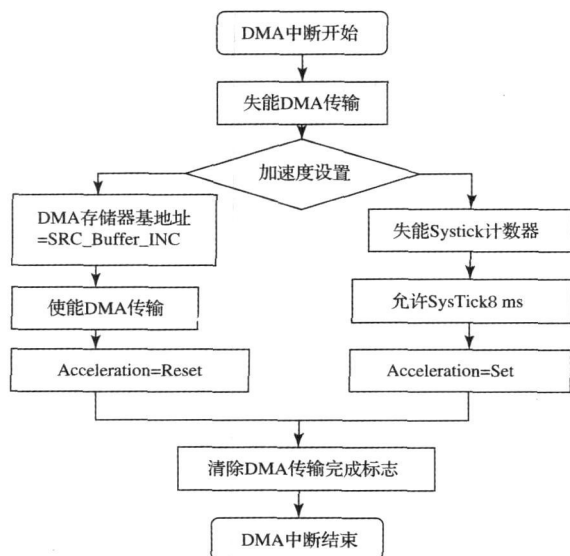


图3 DMA 中断子程序流程

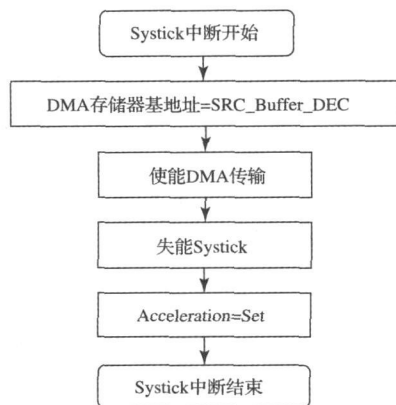


图4 SysTick 中断子程序流程

4 实验验证

在本次设计中,将该系统应用到了实际的电脑横机工作环境中。在电脑横机中步进电机作为重要的执行机构,它的稳定、精确、可靠的工作是设计中的一个重点问题。本次设计采用步进电机步距角为 1.8° ,在横机中电机转一圈需要 400 个脉冲,所以设定为半步,400 个脉冲电机转 1 圈;因本电路中 L6208 使用的驱动电压是通过电机的工作电压分压得来,根据实际调试得知,参考电压在 0.4 V 左右比较合适,否则会变得不稳定;还有电机的占空比最好设置为 50%,否则会失步;电压采用 24 V,在电源端一定要加电容,否则容易烧毁芯片;频率在 1.5 kHz 左右均可以正常转,不同频率对应不同的转速,但频率过高会导致失步,太慢达不到速度要求;衰减需要根据不同电机进行选择,在这里采用慢速模式。

在硬件设计成功的前提下,利用 STM32 控制的灵活性,通过不断调整设置步进电机的参数,验证了步进电机在横机中可以稳定可靠的工作,不失步,电机不发热,很好的满足了横机的稳定、精确、可靠的要求。

5 结 论

以 Cortex-M3 为核心的增强型 STM32 芯片控制步进电机的驱动,用户可以选择步进方式、转矩方向和电流的控制方式。虽然在当今的市场上比较容易找到类似的设备来完成这些功能,但是 STM32 拥有的一系列外设特别适合于步进电机的驱动,提高了步进电机的精度和可靠性。此外,无论是从外部组件还是从 CPU 的使用,STM32 都是最便宜的选择。

参 考 文 献

- [1] 崔小霞,赵龙庆,徐国栋.一种基于单片机的步进电机控制驱动器[J].西南林学院学报,2005(2):68-69.

(下转第55页)

4 结 论

介绍了几种常用的基于 FPGA 的时钟管理设计方法, 并对其大部分设计用 Verilog HDL 语言编程, 所有设计均在 ISE9.1i 下通过仿真验证, 并综合实现。

本文所介绍的方法可以应用在 FPGA 系统中, 用 Xilinx FPGA 内嵌的 DCM 来实现时钟的倍频、分频和移相, 其硬件结构简单, 且能使用 FPGA 厂商提供的免费 IP 核, 开发周期和难度都较小。

而对时钟要求超过分频范围的设计中, 可以采用本文所述的分频方法, 只需修改相关参数就可应用于 FPGA 的实际开发中。

参 考 文 献

- [1] 陈燕, 周东辉, 朱晓荣. DLL 在 FPGA 时钟设计中的应用[J]. 青岛大学学报: 工程技术版, 2004, 19(4): 90-93.
- [2] 王书娟, 张雅琦, 王飞飞. 数字时钟管理系统及其应用[J]. 电子测量技术, 2006, 29(5): 110-111.
- [3] 高培军. 基于 FPGA 的多种形式分频的设计与实现[J]. 今日电子, 2004(5): 30-31.
- [4] 陈英梅. 基于 FPGA 的多种分频设计与实现[J]. 电

子元器件应用, 2007(6): 47-52.

- [5] 白莹杰, 杜建铭, 罗一星. 基于 FPGA 的脉冲分频技术研究[J]. 微计算机应用, 2010, 31(3): 67-71.
- [6] 何静, 李清峰. 基于 FPGA/CPLD 的占空比为 1:n 的 n 分频器的设计[J]. 现代电子技术, 2006(8): 17-18.
- [7] 汪虹, 李宏. 基于 FPGA 的等占空比任意整数分频器的设计[J]. 现代电子技术, 2005(16): 8-9.
- [8] 杜刚, 孙超, 陈安军. 基于 FPGA 技术的 16 位数字分频器的设计[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 875-876.
- [9] 吴玉昌, 胡荣强, 王文娟. 基于 CPLD/FPGA 的多功能分频器的设计与实现[J]. 世界电子器件, 2007(3): 42-44.
- [10] 刘亚海, 林争辉. 基于 FPGA 的小数分频器的实现[J]. 现代电子技术, 2005, 19(3): 113-114.

作 者 简 介

封彦彪, 男, 1984 年 8 月出生, 硕士研究生, 主要研究方向为数字系统设计, 光电信息处理等。

E-mail: fengyanbiao@gmail.com

(上接第 18 页)

- [2] 黄建, 尹志强, 王玉琳. 基于双极性桥式电路的两相制步进电机驱动器设计[J]. 控制与检测, 2007(1): 76-78.
- [3] 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.
- [4] 库少平, 刘晶. 基于 STM32F10X 和 MDK 的步进电机控制系统设计[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(3): 107-110.
- [5] 王晨光, 孙运强, 许鸿鹰. 步进电机的单片机控制设计分析[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(9): 39-60.
- [6] 王美川, 王紫婷. 基于 FPGA 控制的步进电机驱动设计[J]. 电子测量技术, 2008, 31(6): 184-187.
- [7] 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.
- [8] ZHANG X D, HE J J, SHENG CH L. An Approach of Microstepping Control for the Step Motors Based on FPGA [M]. Shanghai: IEEE Proceeding of the 10th International Conference on Industrial

Technology, 2005.

- [9] CHAN K T, HU SH B, QIANG M, et al. Microstepping control of ultrasonic stepping motors [M]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2006.
- [10] MASIA, CONTE G, LOSITO R, et al. DSP-based stepping motor drivers for the lhc collimators [J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2008, 55(1): 341-348.

作 者 简 介

张团善, 男, 随州人, 副教授, 研究生导师, 主要从事智能测控理论与应用, 图像测量与模式识别, 电机控制, 嵌入式系统与智能仪器等方面的科学研究工作。

张娜, 女, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式与自动化装置。

E-mail: 597205110@qq.com