

## 基于 MSP430 的步进电动机细分驱动控制系统

刘同波, 赖康生, 代东明  
(大连理工大学, 辽宁大连 116023)

**摘要:** 介绍了基于 MSP430F149 单片机控制的步进电动机的细分驱动系统, 利用电流合成矢量的旋转法实现了恒流驱动的高精度细分方案, 通过选择步进电动机相绕组细分电流波形, 使步进电动机的细分技术达到了高精度细分的水平。运行结果表明该系统运行平稳、噪声小、功耗低、可靠性好等优点。

**关键词:** MSP430; 步进电动机; 恒流细分; 驱动电路

**中图分类号:** TM383.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-7018(2007)09-0045-03

## System of Stepping Motor Subdivision Based on MSP430

LIU Tong-bo, LAI Kang-sheng, DAI Dong-ming  
(Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

**Abstract:** The subdivision has been widely used as method to improve the differentiation of stepping motor. In this paper, a system of subdivision driver method based on MSP430F149 was presented, through adopting the method named "Current vector even rotation with uniform amplitude". By selecting reasonable subdivision current wave form of phase winding for stepping motor, the technology of division was improved to a new level. The result indicated that the drive system featured highly precise division and smooth operation low noise and power consumption, as well as reliable and effective.

**Key words:** MSP430; stepping motor; constant current subdivision; drive circuit

## 0 引言

步进电动机是一种将离散的电脉冲信号转化成相应的角位移或线位移的电磁机械装置, 它输出的角位移与输入的脉冲个数成正比, 转速与脉冲频率成正比, 是一种输出与输入脉冲对应的增量驱动元件。它具有转矩大、惯性小、响应频率高等优点, 已经在当今工业上得到广泛的应用。但是, 步进电动机由于受到其本身结构的限制, 步距角不可能做得很小。因而在低频控制时容易产生振荡, 而在高频的时候易发生失步现象, 而且电机噪声十分明显, 这些缺陷都严重地影响步进电动机在这个项目中的应用。采用恒流和细分驱动技术可以大大提高步进电动机的步距分辨率, 减小转矩波动, 避免低频共振及降低运行噪声, 提高电机运行平稳性, 使步进电动机转动平稳的工作。

系统采用电流矢量恒幅均匀旋转方法, 采用正弦波作为细分驱动的驱动电流波形, 利用 MSP430 单片机实现了斩波恒流细分驱动方案, 其运行功耗小、可靠性高、通用性好, 具有很强的实用性。这一控制方案已应用于实验室中, 为激光多普勒测速的

标定系统提供标准的速度源。

## 1 电流恒幅细分原理

步进电动机的细分控制, 从本质上讲是通过对比步进电动机的励磁绕组中电流的控制, 使步进电动机内部的合成磁场成为均匀的圆形旋转磁场, 从而实现步进电动机步距角的细分。一般情况下, 合成磁场矢量的幅值决定了步进电动机旋转力矩的大小, 相邻两合成磁场矢量之间的夹角大小决定了步距角的大小。因此, 要实现对比步进电动机的恒转矩均匀细分控制, 必须合理控制电机绕组中的电流使步进电动机内部合成磁场的幅值恒定, 而且每个进给脉冲所引起的合成磁场的角度变化也要均匀。在这种方式下, 电流合成矢量的旋转示意图如图 1 所示, 图中的  $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_H$  分别为 A、B 两相电流矢量及两相电流合成矢量。

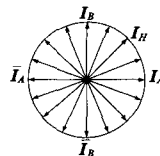


图 1 电流合成矢量恒幅均匀旋转示意图

这种控制方法是基于交流同步电机概念的特殊细分技术, 实质是对运行于交流同步电机状态的步进电动机所受的交流模拟信号在一个周期内细分, 即每个细分点对应于一个交流值。当细分数相当大时, 电机绕组的电流信号就逼近模拟连续信号。这种细分技术可以极大地提高步进电动机的分辨率和运行稳定性。系统中采用正弦波作为细分驱动的驱

收稿日期: 2005-07-25

改稿日期: 2005-04-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60277029)

动电流波形,细分控制函数表达式为:

$$I_a = I_{\max} \cos \theta$$

$$I_b = I_{\max} \sin \theta$$

式中: $I_a$  为 A 相绕组电流; $I_b$  为 B 相绕组电流; $\theta$  为控制转角参数; $I_{\max}$  为电流幅值; $\sin \theta$ 、 $\cos \theta$  为控制函数。这样可以保证  $I_a$  和  $I_b$  的合成总电流保持不变。

在双四拍通电方式下,相序如图 2 所示。若不采用细分时,步进电动机的相序驱动次序为:AB-BC-CD-DA,采用一般的控制方法,步距角变化较大,导致系统不稳定。恒流细分是根据细分倍数要求将每一相里面的细分函数量化生成一个序列,即把正弦函数分成  $n$  等份存放于 EEPROM 中的不同区域,量化的程度决定了细分驱动的分辨率。按照细分控制数学模型对 A、B、C、D 四相绕组电流通过步距角细分控制电路实施控制,经 D/A 转换器将数字量转换为模拟量的电压信号,再送到放大驱动电路上,经放大后直接送到步进电动机的四相绕组。四相绕组分别取得正、余弦变化电流和零电平,通过电流合成矢量的驱动方式,驱动电机的旋转,这样每输入一个数字量,电机转子就步进一个微步距角  $\theta$ ,  $\theta = \frac{2\pi}{NZn}$ ,  $N$  为步进电动机工作拍数,  $Z$  为转子齿数,  $n$  为细分数。

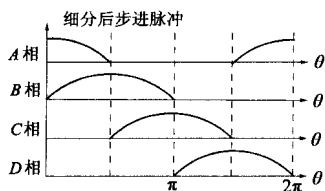


图 2 四相步进电动机细分控制电流波形相序

## 2 细分驱动方案及硬件实现

系统原理框图如图 3 所示。MSP430F149 单片机构成系统的核心, MSP430F149 片内集成了多通道 12 位的 A/D 转换、片内精密比较器、多个具有 PWM 功能的定时器、片内 USART、看门狗定时器、片内数控振荡器(DCO)、大量的 I/O 端口以及大容量的片内存储器,可以满足绝大多数的应用需要。片内有 60 kB 的 Flash 和 2 kB 的 RAM, Flash 可以整

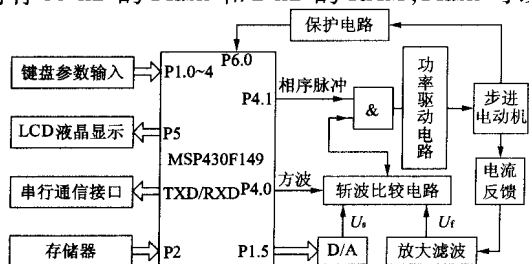


图 3 步进电动机细分驱动系统原理框图

个擦除也可以分段擦除,这给系统的软硬件设计带来了极大的便利和灵活,完全满足了系统的要求。单片机的主要功能在于驱动步进电动机,设置单片机中的 Timer1 为周期中断,每当周期中断产生时,芯片根据细分倍数设置值从 EEPROM 相应的存储单元中读取细分电流控制信号,并送入 D/A,将数字信号转换为模拟信号,通过 D/A 转换的模拟电压  $u_s$  送到比较器的同相输入端,从绕组取回来的电流反馈信号,经放大滤波得到的  $u_f$  接到比较器的反相输入端,两路信号进行比较,当  $u_s > u_f$  时比较器输出为高电平;当  $u_s < u_f$  时,比较器输出为低电平。这样反复循环,直到  $u_f$  趋于稳定值。斩波恒流驱动采用固定频率的方波与比较器输出信号调制成斩波控制信号控制绕组的通断时间,使得反馈电压  $u_f$  始终跟随着  $u_s$  变化上下波动。为了防止信号串扰和比较器的漂移干扰导致功率管的导通,而引起电机的振荡,在电路设计中,采用把斩波信号与相序控制信号进行与运算后,再去控制功率管,这样就可以使电机运转平稳。

系统中 D/A 采用的是 DAC7625,为 12 位电压输出的数模转换器,输入双缓冲区,内部输入反馈寄存器,四路输出共用一个参考电压,每一路输出电压可采用下式表示:

$$V_{DACi} = V_{refl} + \frac{(V_{refh} - V_{refl})N}{4096}$$

其中: $N=0,1,2,\dots,4095$ ,对应于 12 位 DAC 的输入码,即细分电流驱动信号。

电路的驱动部分,由半桥驱动 IR2103 和场效应管 IRF540 组成。IR2103 配备有死区时钟,这样可以避免同一桥臂在开关转换过渡时同时导通损坏电机,另外还有大脉冲电流缓冲器及触发器,这样可以有效地隔绝噪声,防止器件意外导通。每相的控制电路如图 4 所示,控制信号送到 IR2103 的输入端,

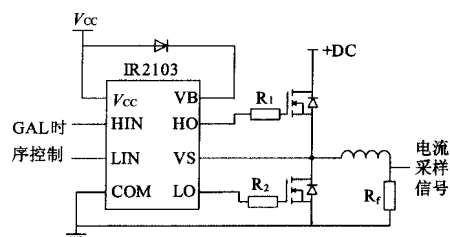


图 4 一相控制电路

驱动功率管 IRF540 的通断,当 LIN 与 HIN 同时为高电平时,输出端 HO 为高电平;当 LIN 与 HIN 同时为低电平时,输出端 LO 为高电平,从而控制电机的通断。 $R_f$  为电流采样电阻,采集的反馈信号经处理送到比较器的反相端与 D/A 的输出值进行比较控制电流的恒流。

另外,系统还包括存储单元、人机交互单元,通信单元和电路保护模块。存储模块是根据数学细分模型,将细分函数离散化,存放在模块的相应单元中。人机交互模块包括键盘输入和 LCD 显示,步进电动机的细分倍数、相序脉冲频率、加速减速、正反转均有键盘输入单片机,单片机根据输入参数控制相应的模块, LCD 显示用于显示当前的状态,包括细分倍数、相电流大小、电机运转时间、正反转、当前的转速等。也可以由上位机的串行通信接口修改这一系列参数,并且把当前工作的状态参数数据传送给上位机。保护电路采用 MSP430 片上的 AD,对主回路中的电流进行采样,将采样信号与预先设置的值进行比较,当采样值大于保护值时,单片机立即关闭驱动电路,从而实现保护。

采用光耦 6N136 将控制部分与驱动电路隔离,使控制电路的逻辑地与驱动电路的逻辑地相互独立,依次增强系统的抗干扰能力。

### 3 软件程序设计

系统的软件分为主程序、细分驱动程序、键盘处理程序、显示驱动程序、通信程序和监控保护程序。

主程序流程如图 5 所示,主要完成系统的初始化,中断的优先级设置和相关的子函数的调用。初始化包括:看门狗的设置,初始化系统时钟。MSP430 时钟有三种模式,一种是内部 DCO 提供的,另外有外部的 32 kHz 和 8 MHz 晶振提供。8 MHz 晶振可以产生较高的主时钟频率



图 5 主程序流程图

系统提供给 CPU 以满足高速的数据运算需要;32 kHz 晶振提供较准确的辅助时钟,当不需要 CPU 工作时可以减少电流的消耗。初始化两个定时器,用定时器 2 输出步进电动机的驱动脉冲,将定时器 2 设置为连续增计数模式,并使能定时器周期中断;而定时器 1 用于产生一个固定的 20 kHz 方波,另外还有液晶显示、串口通信初始化。按键采用中断模式,当有键按下时,外部引脚触发中断;进入中断后,可以根据具体要求设置步进电动机正反转,步进电动机的驱动脉冲频率,选择细分的步数。中断函数主要完成从 EEPROM 中读取细分数据送与 D/A,当  $TAR = CCR0$  时,定时器 A 中断标志被置位,进入相应的中断,在中断函数中,根据地址指针从 EEPROM 中把细分电流控制信号读出并送到 D/A 中,地址加 1 指向下一个地址,然后判断一下细分步数是否完成,若没有完成则退出中断,等待下一次中断;若完成,

则重新设置细分数据的地址,退出中断。如图 6 所示。

### 4 结果分析

本文采用 MSP430F149 单片机设计了一种经济型步进电动机细分驱动系统。阶梯波脉冲数据制成表格,程序中采用查表法输出脉冲,这样节省了每次输出计算所需时间,在高速输出脉冲时比较均匀稳定。程序的设计

在步进电动机的细分软件技术上,实现了“电流矢量恒幅均匀旋转”的细分方法,从原理上解决了实现高精度细分方法的技术问题。为了进一步得到更加均匀的细分步距角,可以预先根据细分函数测量一组数据,利用计算机对误差进行差值补偿求得实际的补偿电流曲线。系统输出脉冲频率使用定时器 1 定时产生,定时常数由键盘设定,这样实现了对电机速度的控制;输出细分步数由键盘设定,数值为 2、4、8、16、...、4 096,如果不设定,细分的默认值是 16。从实验结果上分析,步进电动机采用的是 57BYG 型,工作电压为 30 V。电机的转速在 0.1 r/min 时,转动非常平稳,脉动极其微小,最高转速可以达到 600 r/min,系统运行可靠,便于操作,适用性较广。它的应用改善了步进电动机的定位精度并降低了步进电动机低速振动,提高以步进电动机为驱动元件的数控系统的性能,具有较大的实用价值。本系统已经应用于实验室多普勒测速的标定系统,在低速时,电机运转平稳满足了实验要求。

### 参考文献

- [1] 王晓明. 电动机的单片机控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [2] 张志利. 步进电动机超高分辨率细分控制函数发生器的设计与实现[J]. 微特电机,2001,29(1):10-13.
- [3] 徐军,葛素娟. 用单片机实现步进电机细分技术研究[J]. 机床电器,2004,(16):25-28.
- [4] 微小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.

作者简介:刘同波(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为单片机、DSP 控制与检测系统。

为进一步提高本刊的编辑质量,请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:

有价值,请圈 33;没有价值,请圈 34。



图 6 中断流程图