

文章编号: 1000 - 5463(2004)04 - 0074 - 04

# 直接电压放大功率驱动的步进 电机细分驱动技术研究

张建彬<sup>1</sup>, 黄佐华<sup>1</sup>, 杨怀<sup>2</sup>, 张恒<sup>1</sup>, 邓宏蛟<sup>2</sup>

(1. 华南师范大学物理与电信工程学院, 广东广州 510631; 2. 飞驰技术有限公司, 广东广州 510631)

**摘要:** 基于电流矢量恒幅均匀旋转的步进电机细分技术, 设计了直接电压放大功率驱动的细分驱动电路, 采用软件生成表和人工修正相结合的方法, 补偿了步距角与细分数的非线性关系. 实现了步距角的均匀细分, 细分角达到了每步  $0.025^\circ$ . 实验表明在负荷不大时, 系统运行平稳而且细分精度高.

**关键词:** 步进电机; 均匀细分; 单片机; 电压放大

**中图分类号:** TM34      **文献标识码:** A

## STUDY ON THE DIRECT VOLTAGE AMPLIFIED AND POWER DRIVEN SUBDIVIDING TECHNOLOGY OF STEP MOTOR

ZHANG Jian-bin<sup>1</sup>, HUANG Zuo-hua<sup>1</sup>, YANG Huai<sup>2</sup>, ZHANG Heng<sup>1</sup>, DENG Hong-jiao<sup>2</sup>

(1. School of Physics and Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;

2. Feichi Technology Co. Ltd, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** Based on the subdividing technology of step motor with the constant amplitude current vector and even rotation, the subdividing driven circuit with amplified power arising from directly amplified voltage has been designed. With the method of data table generated by computer and manual adjustment, the linearity between the step angle and the number of subdivided step has been obtained. The evenly subdividing angle reaches  $0.025^\circ$ . Experiments show that the system works stably and has a good repeatability.

**Key words:** step motor; evenly subdividing; MCU; voltage amplifying

步进电机是一种将电脉冲转化为角位移的数字执行机构. 由于具有精度高、没有积累误差、定位准确、控制容易等优点, 在机械、仪表、工业控制等领域中获得了广泛的应用. 受到制造工艺的限制, 步进电机的步距角一般较大, 因此在现在各种精密测量中的应用受到限制. 可以说, 随着人们将步进电机应用到各种测量系统, 步进电机的步距角的减小已经成为精密测量仪器所共同关注的技术了. 而且步进电机运行在它的机械步距角时, 容易产生明显的步进感、

收稿日期: 2004 - 02 - 09

基金项目: 广东省工业攻关资助项目(C60109)

作者简介: 张建彬(1979 - ), 男, 福建长乐人, 华南师范大学物理与电信工程学院 2002 级硕士研究生.

震动和不稳定.为了解决上述问题,人们提出了各种各样的细分电路来提高它运行的性能<sup>[1-6]</sup>.但往往存在步距细分角不均匀的问题,影响了在精密设备中的应用.本文基于电流矢量恒幅均匀旋转的步进电机细分技术,设计了直接电压放大功率驱动的细分驱动电路,实现了步距角的均匀细分,微步距达到了每步 0.025°.实验表明:在负荷不大时,运行平稳而且细分精度较高.本细分驱动技术已用在华南师范大学物理系光学教研室自主开发的自动消光法椭偏仪上,使测量角度的精度提高一倍.

## 1 流矢量恒幅均匀旋转细分驱动的工作原理

步进电机细分是通过控制步进电机各相励磁绕组中的电流,使其在零到最大相电流之间能有多个稳定的中间电流状态,所以相应的磁场矢量幅值和方向也存在多个稳定的中间状态,这多个不同绕组的励磁电流产生的磁场进行矢量叠加,从而实现步距角的细分.其合成磁场矢量幅值决定了电机旋转力矩的大小,而相邻两合成磁场矢量夹角决定了步距角的大小.要使电机平稳匀速,等距角转动,关键是合理控制电机绕组中的电流,使步进电机内部合成磁场的幅值恒定,合成磁场的角度变化也要均匀.这样实现的步进电机细分方法就是“电流矢量恒幅均匀旋转”,见图 1 所示.以双相电机为例,即分别给两相绕组通以正、余弦变化的电流,使合成的电流矢量恒幅,从而实现步进电机步距的等力矩均匀细分,如图 1 所示.图中的  $i_a$ 、 $i_b$  和  $i_c$  分别表示 A 相和 B 相励磁电流矢量和合成电流矢量,其表达式为:

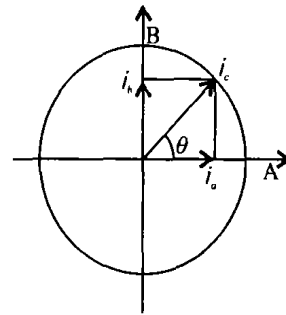


图 1 电流矢量恒幅均匀旋转示意图

$$\begin{cases} i_a = i_m * \cos\theta, \\ i_b = i_m * \sin\theta, \\ i_c = i_a + i_b. \end{cases}$$

根据上面的数学模型,要实现输入双相步进电机的两个绕组的励磁电流分别为正弦和余弦的.利用单片机控制技术,精确地控制每一相励磁电流的大小和时序从而实现了电流矢恒幅均匀旋转,达到步进电机均匀细分的目的.参考图 1 和上面的式子,因为每一相电流的流动方向是双向的,而单片机只是单向供电,加上考虑到步进电机的供电时序,得到图 2 的驱动电流的幅值和时序.按照图 2 中的时序给电机供电,就等于给两相绕组分别送入正弦和余弦励磁电流,驱动步进电机平稳地细分运行.

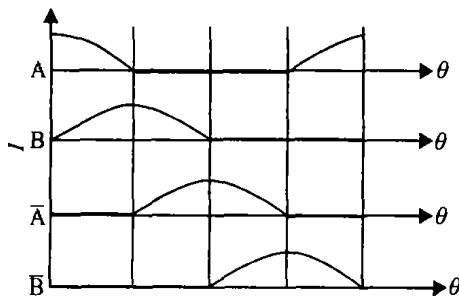


图 2 步进电机驱动电流示意图

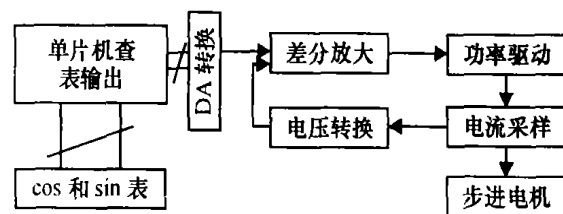


图 3 步进电机驱动电路框图

## 2 细分驱动控制电路的组成

单片机控制的直接电压放大功率驱动细分电路框图如图3所示,其中单片机采用80C51,完成查表和实现控制功能. DA转换器件为DAC8413芯片,具有12位分辨率,把数字形式的数据转换为四路模拟电压输出,每一路的电压放大功率驱动电路如图4所示,图中功率驱动管采用输入阻抗较大且驱动能力较强的功率场效应管IRF540,并在每个电机驱动绕组上接上二极管以抑制反向峰压,保护驱动管和周边器件. 对送给步进电机的励磁电流通过R3进行电流采样,以形成一个闭合的负反馈实现对步进电机的稳定驱动. 另外,为了提高温度特性,驱动电路均采用温度特性较好的元器件. 功率驱动管增加散热片,DA参考电压经过两级稳压处理.

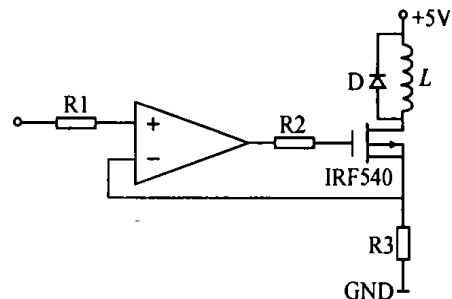


图4 电压放大功率驱动电路

图3中的正弦和余弦表的生成和查表是本步进电机驱动电路中非常重要的一个环节. 根据图2可知,A和B的励磁电流流过 $90^\circ$ 电角度,电机则转过一个步距角 $1.8^\circ$ . 由上面的步进电机的细分原理可知,将送入电机绕组的 $0^\circ$ 到 $90^\circ$ 的励磁电流进行 $N$ 等分,对应的就将一个步距角分成 $N$ 次走完. 编写程序,将 $1/4$ 周期的电流进行4 096次等步采样制成正弦和余弦表. 即将励磁电流从零到一个固定的电流值分成4 096份,也就是产生4 096个稳定的磁场矢量. 在实际操作时,对 $1.8^\circ$ 步距角进行72细分(取 $N=72$ ,则细分角为 $0.025^\circ$ ). 利用单片机对此表进行查表,将查表结果进行模数转换后送给后面的放大器和功率放大以驱动步进电机,实现了按72细分走完一个 $1.8^\circ$ 步距角的设想.

## 3 细分步距的检测

根据小角度圆弧与弦几乎相等的原理,设计了如图5所示的检测细分步距角的装置. 让步进电动机带上一个半径为160 mm长的转臂,并在转臂上粘上一根头发丝. 然后,用分辨率为0.01 mm的显微镜观察转臂上头发丝的位置变化.

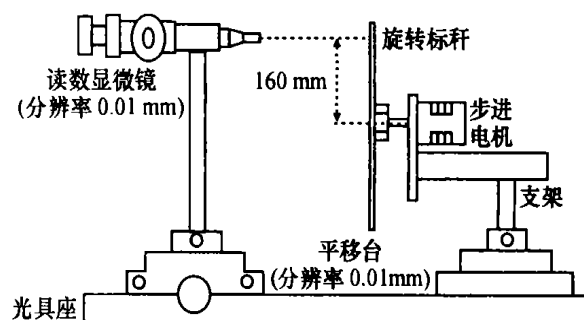


图5 检验装置平面图

检测过程中,让步进电机每次只走一细分步,然后微调显微镜的细调刻度,用显微镜中十字叉丝对准转臂上的头发丝,记录每次细调刻度的变化,就能得出反映步进电机细分步进的角度变化数据,根据这些数据就能绘制出步距角度变化的曲线图. 在利用读数显微镜来读步进电机走过的距离时,要注意避免回程误差.

## 4 电机细分测试实验和补偿

图6是对42BYGH型步进电机的 $1.8^\circ$ 步距角进行等励磁电流72细分补偿之前的实验结果,可见,步距和细分数是非线性的.这主要是因为步进电机输入的励磁电流与实际转过的步距角是非线性的,当然还有电路上的原因如:DAC量化误差、运算放大器和功放管的非线性及检测误差等.因此必须调整输入的励磁电流的大小,以得到均匀细分的效果.经过多次人工调节和补偿,我们得到了图7的数据,据此可以说实现了“电流矢恒幅均匀旋转”的均匀细分驱动.

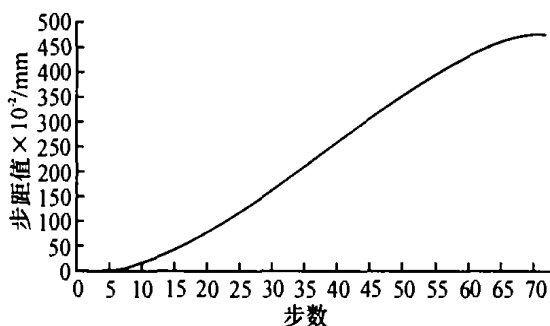


图6 补偿前的电机步数与步距值的关系

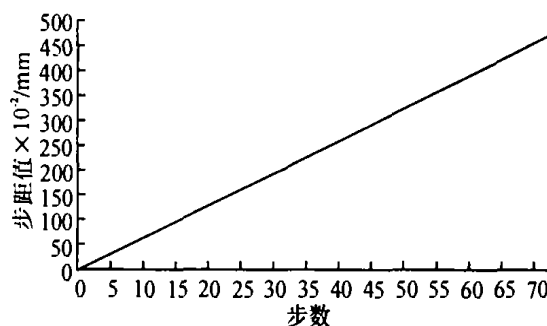


图7 补偿后的电机步数与步距值的关系

采用电流矢量恒幅均匀旋转的步进电机细分方法,设计了单片机控制的直接电压放大功率驱动的步进电机细分驱动电路.实验补偿了励磁电流与步距数之间的非线性关系,实现了步进电机的均匀细分.本细分驱动技术已用在华南师范大学物理系光学教研室自主开发的自动消光法椭偏仪上,使测量角度的精度提高一倍.该细分驱动技术电路简单,系统工作稳定可靠,细分步距均匀性好,可以满足许多精密仪器的工作需要.更进一步的细分将是下一步的工作.

### 参考文献:

- [1] 华蕊. 步进电机细分驱动技术概述[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 1999(17): 50-54.
- [2] 张志利, 黄先祥, 刘春桐. 步进电机细分控制函数修正方法研究[J]. 微电机, 2000(5): 25-28.
- [3] 张志利. 步进电机超高分辨率细分控制函数发生器的设计与实现[J]. 微电机, 2001(1): 10-13.
- [4] 张文超, 雷瑛, 吴勤勤. 步进电机PWM恒转矩细分驱动技术研究[J]. 机械制造, 2003(41): 33-34.
- [5] 叶树林. 步进电机均匀细分控制的研究[J]. 微特电机, 1998(1): 26-28.
- [6] 董健, 张耀明, 邹丽新, 等. 基于电流矢量恒幅均匀旋转的步进电机细分控制及光学检测技术[J]. 电子工程师, 2003(6): 25-29.

【责任编辑 黄玉萍】