

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.06.020

## 两相步进电机控制策略及系统构建

郑重

(贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550003)

**摘要:** 为满足电脑绣花机控制系统中两相混合式步进电机低速时运行平稳及定位精确的控制性能要求, 提出步进电机两相驱动方案及其恒力矩均匀细分相电流控制策略。以高性能微处理器 PIC16F877 为核心, 结合 DAC0832 转换器芯片及双极性驱动器 NJM3777, 构建步进电机细分驱动控制系统。比较结果表明, 该方法步进电机步距分辨率较高, 低速时运行平稳, 转矩脉动小, 系统运行噪音低。

**关键词:** 电脑绣花机; 混合式步进电机; 恒力矩; 细分驱动; 恒流斩波

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A

### Control Strategy and System Construction for Two Phase Stepper Motor

Zheng Zhong

(College of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, China)

**Abstract:** In order to meet requirements of smooth running in low speed and precise performance for two phase hybrid stepper motor in the control system of computerized embroidery machine, introduce stepper motor two phase driver scheme and its constant torque even subdivision current control strategy. Taking high performance (HP) micro processor unit (MPU) as coring, combined DAC0832 transformer chip with bipolar driver NJM3777 to construct stepper subdivision drive system. The comparison result shows that, by using this method, the stepper motor step torque resolution is improved, the system is running stable in low speed and small torque, and the system is low in noise when running.

**Keywords:** computerized embroidery machine; hybrid stepper motor; constant torque; subdivided driver; switch-mode and constant current

## 0 引言

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或直线位移的开环执行驱动机构。在不超载的情况下, 步进电机的转速及停止位置仅取决于给定脉冲信号的频率和个数<sup>[1]</sup>。步进电机的运行机理决定其运转角度误差跟随控制信号的短时周期性, 而不会带来累积误差。

在高性能纺织机械应用领域, 尤其是电脑绣花机控制系统中, 绣框的驱动电机通常为步进电机<sup>[2]</sup>。国外为了提高机器的整体性能<sup>[3-4]</sup>, 在电脑绣花机中, 某些绣框的驱动电机采用交流伺服电机。而国内用于电脑绣花机控制系统的普遍为五相混合式步进电机驱动方案, 其目的是采用多相数步进电机来减小步距角, 以提高控制精度。但这种方案获得控制性能上的提高是有限的, 如低频转矩振荡和高频输出转矩不足等<sup>[5]</sup>。同时, 五相步进电机的输出力矩通常在 2 N·m 以上, 局限于大力矩控制系统的应用。此外, 其多电源供电也带来较高的制造成本, 在一定程度上也制约其广泛应用。因此, 笔者提出步进电机两相驱动方案及其恒力矩均匀细分相电流

控制策略, 并构建低成本、高控制精度的步进电机驱动系统。

## 1 步进电机细分控制策略

步进电机细分控制策略就是控制步进电机的励磁绕组电流, 使其定子合成磁场均匀圆形旋转, 其幅值决定了电机旋转转矩, 而相邻两定子合成磁场矢量之间的夹角决定了步距角。对于不同类型和相数的步进电机应采取不同的电流控制策略。两相混合式步进电机, 采用正余弦形的驱动电流较为理想<sup>[6]</sup>。为了使步进电机细分驱动后力矩恒定且微步距均匀, 采用步进电机的恒力矩均匀细分的相电流控制策略<sup>[7]</sup>。

步进电机恒力矩均匀细分控制时相电流的通用计算公式为

$$\begin{aligned} I_a &= I_N \times \sin \theta \sin \beta \\ I_b &= I_N \times (\cos \theta - \operatorname{ctg} \beta \sin \theta) \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $I_N$  为步进电机的额定电流;  $\theta$  为 A 和 B 两相定子合成磁场矢量与 A 相磁场矢量的夹角;  $\beta$  为相邻两相绕组单独通电时产生的磁场矢量之间的夹

收稿日期: 2011-01-06; 修回日期: 2011-03-24

作者简介: 郑重 (1978—), 女, 贵州人, 硕士研究生, 讲师, 从事嵌入式系统、运动控制系统研究。

角，一般与步进电机的类型及相数有关。

对于两相双极型混合式步进电机有  $\beta = \frac{\pi}{2}$ ，则式

(1) 可写为

$$\begin{aligned} I_a &= I_N \sin \theta \\ I_b &= I_N \cos \theta \end{aligned} \quad (2)$$

表 1 和表 2 给出了恒力矩均匀细分步进电机通电时相电流各阶的数值。其中 step 为细分步距；k 为脉冲序号；sin θ，cos θ 为通电相电流与额定电流的比值。

表 1 混合式步进电机恒力矩均匀细分时各步电流值 (A 相)

| k  | step2 | step 4 | step 6 | step 8 | step 10 | step 12 | step 16 |
|----|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1  | 0.383 | 0.195  | 0.131  | 0.098  | 0.078   | 0.065   | 0.049   |
| 2  | 0.707 | 0.383  | 0.259  | 0.195  | 0.156   | 0.131   | 0.098   |
| 3  |       | 0.556  | 0.383  | 0.290  | 0.233   | 0.195   | 0.147   |
| 4  |       | 0.707  | 0.500  | 0.383  | 0.309   | 0.259   | 0.195   |
| 5  |       |        | 0.609  | 0.471  | 0.383   | 0.321   | 0.252   |
| 6  |       |        | 0.707  | 0.556  | 0.454   | 0.383   | 0.290   |
| 7  |       |        |        | 0.634  | 0.522   | 0.442   | 0.337   |
| 8  |       |        |        | 0.707  | 0.588   | 0.500   | 0.383   |
| 9  |       |        |        |        | 0.649   | 0.556   | 0.428   |
| 10 |       |        |        |        | 0.707   | 0.609   | 0.471   |
| 11 |       |        |        |        |         | 0.659   | 0.514   |
| 12 |       |        |        |        |         | 0.707   | 0.556   |
| 13 |       |        |        |        |         |         | 0.596   |
| 14 |       |        |        |        |         |         | 0.634   |
| 15 |       |        |        |        |         |         | 0.671   |
| 16 |       |        |        |        |         |         | 0.707   |

表 2 混合式步进电机恒力矩均匀细分时各步电流值 (B 相)

| k  | step 2 | step 4 | step 6 | step 8 | step 10 | step 12 | step 16 |
|----|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1  | 0.924  | 0.981  | 0.991  | 0.995  | 0.997   | 0.998   | 0.999   |
| 2  | 0.707  | 0.924  | 0.966  | 0.981  | 0.988   | 0.991   | 0.995   |
| 3  |        | 0.831  | 0.924  | 0.957  | 0.972   | 0.981   | 0.989   |
| 4  |        | 0.707  | 0.866  | 0.924  | 0.951   | 0.966   | 0.981   |
| 5  |        |        | 0.793  | 0.882  | 0.923   | 0.947   | 0.970   |
| 6  |        |        | 0.707  | 0.831  | 0.891   | 0.924   | 0.957   |
| 7  |        |        |        | 0.773  | 0.852   | 0.897   | 0.941   |
| 8  |        |        |        | 0.707  | 0.809   | 0.866   | 0.924   |
| 9  |        |        |        |        | 0.760   | 0.831   | 0.904   |
| 10 |        |        |        |        | 0.707   | 0.793   | 0.882   |
| 11 |        |        |        |        |         | 0.751   | 0.858   |
| 12 |        |        |        |        |         | 0.707   | 0.831   |
| 13 |        |        |        |        |         |         | 0.803   |
| 14 |        |        |        |        |         |         | 0.773   |
| 15 |        |        |        |        |         |         | 0.741   |
| 16 |        |        |        |        |         |         | 0.707   |

## 2 控制系统实现

### 2.1 硬件构成

控制系统以 PIC16F877 单片机为核心。通过 2 片 DAC0832 数/模转换器，结合步进电动机双极性驱动芯片 NJM3777 驱动步距角为 0.9/1.8° 步进电动机，用 DAC0832 分别调制对应于 NJM3777 上的参考电压  $V_R$ ，即组成了步进电机细分驱动控制系统，如图 1~图 3。

PIC16F877 单片机采用精简指令集 RISC 结构，仅 30 多条单字节指令，绝大多数为单周期指令。

CPU 采用指令线与数据线分离的哈佛结构，这使得 PIC 在代码压缩与执行速度方面与同类的 8 位单片机相比，具有较大的优势。该系统中 PIC16F877 单片机的主要功能是输出 E<sup>2</sup>PROM 中存储的量化了的细分电流控制字。当外部脉冲到来时，单片机通过 RD 口输出所存储的数字量，经过 DA 转换就变成近似给定电流波形信号的阶梯波。其精确度取决于细分数和 D/A 转换器的分辨率<sup>[7]</sup>。

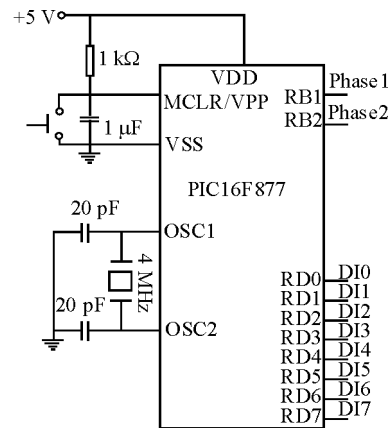


图 1 PIC16F877 控制器

根据转换精度的要求，D/A 转换器可选择 8 位也可选择 12 位，本方案选用 8 位的 DAC0832。DAC0832 是电流型输出，外接运算放大器 LM324 得到电压信号，且输出电压值为

$$V_0 = -D \cdot V_{REF} / 255 \quad (3)$$

由式 (3) 可看出 DAC0832 是反极性输出，为了得到正确的波形，基准电压  $V_{REF}$  由三端稳压芯片 7905 提供 -5 V 电<sup>[7]</sup>。DAC0832 数模转换器见图 2。

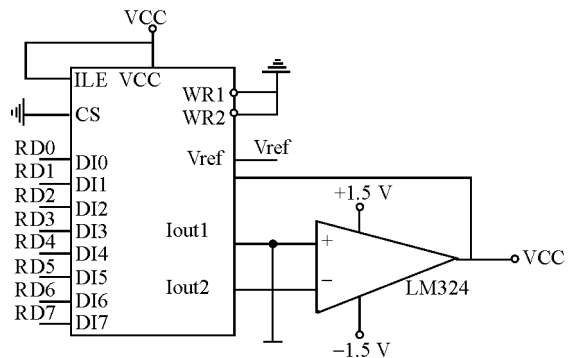


图 2 DAC0832 数模转换器

为保证控制系统达到精度要求，选用双极性步进电动机驱动器 NJM3777，NJM3777 是开关模式（斩波器），带 2 个通道的恒流驱动器：每个通道分别用于两相步进电动机的每个线圈。NJM3777 还备有一个“禁用”输入，用于简化半步进操作。NJM3777

包含时钟振荡器（2 个驱动器通道公用）、一组比较器和正反器（实现切换控制）和 2 个带保护二极管的输出 H 桥。电压供应需求是：+5 V 用于逻辑电路，+10~+45 V 用于电动机。如图 3。

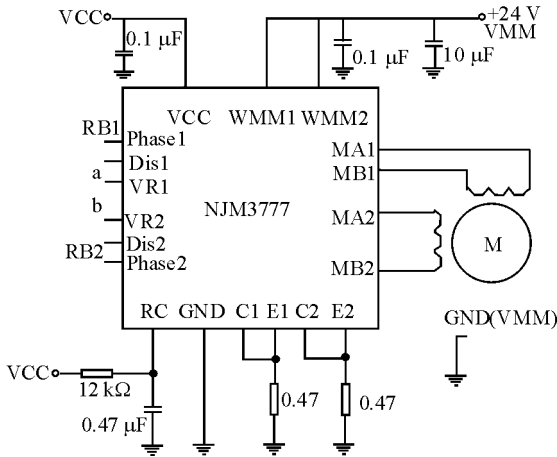


图 3 驱动器 NJM3777

NJM3777 内部包含了一个数字滤波器，防止由于开关暂态引起的误动作。在接通时，时钟振荡器提供一个消隐脉冲，滤去电流反馈上的暂态电压。NJM3777 实现恒流斩波控制是由开关方式获得的：绕组电流流过传感电阻  $R_S$ ，电流反馈电压信号送至比较器，比较器的另一个输入是参考电压  $V_R$ ，当反馈电压达到参考电压  $V_R$  值时，比较器输出翻转重置  $R_S$  触发器，关闭高侧输出晶体管。输出电流衰减，直至下一个时钟脉冲的到来，使触发器翻转，输出晶体管重新导通，每个周期这样重复，维持输出平均电流在一个恒定值上<sup>[8]</sup>。

### 2.2 软件实现

在系统运行之前，根据电机运行所要求的最大细分数  $M$ ，在零到最大相电流之间按正弦方式划分  $M$  个稳定的中间电流状态，将对应每个状态的二进制量化值存入  $E^2PROM$  中。余弦状态的量化值不需另辟空间存储，通过软件即可实现，不同的细分状态数也可通过软件实现输出<sup>[7]</sup>。预先要将各个时刻细分电流波形所对应的数值编制成表存于 PIC16F877 单片机  $E^2PROM$  中。每有一个细分脉冲发生时，运行程序查表调用  $E^2PROM$  中的电流值，再通过 I/O 口 RD0-RD7 送入 DAC0832 转换成模拟电压后，顺次改变 NJM3777 的参考电压  $V_R$ ，使通过绕组的电流阶梯增大或减少，而不是一次通入或切断。控制系统脉冲信号由 PIC16F877 单片机内部的定时器 0 及定时器 1 产生，其中定时器 0 用于产

生控制转速的脉冲信号，即细分信号周期，设频率为  $f_0$ 。步进电机所需细分脉冲数由定时器 1 产生，设脉冲频率为  $f$ ，且有

$$f = Mf_0 \quad (3)$$

系统流程如图 4。

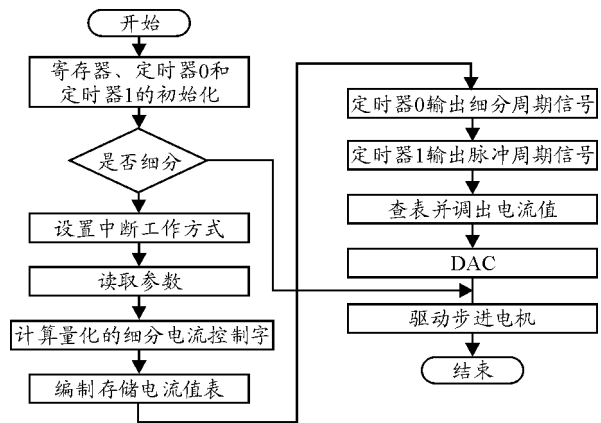


图 4 步进电机驱动系统流程

### 3 结束语

笔者针对电脑绣花机控制系统中绣框驱动定位精度 0.1 mm 的要求，采用恒力矩均匀细分相电流控制策略构建驱动系统，直接驱动 0.9/1.8° 两相混合式步进电机在 90° 电角度 128 细分，定位精度可以到达 0.08 mm。经测试证明，电机在低速运行时平稳、噪音小、精度高。同时，与交流伺服电机和五相步进电机驱动系统相比，该系统具有构造简单、成本低、集成度高的特点。

### 参考文献：

- [1] 刘锦波, 张承慧, 等. 电机与拖动[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 413.
- [2] Li zhong jie, Ni Shou xin. Stepping motor application[M]. Beijing: Mechanical Industrial Press, 1988.
- [3] Patricia Melin, Oscar Castillo. Intelligent control of a stepping motor drive using all adaptive neuro-fuzzy inference system[J]. Information Sciences, 2005(170): 133-151.
- [4] 边耐欣, 王恒奎, 蔡悦华. 电脑刺绣机中步进电机驱动程序的设计[J]. 微特电机, 2000(4): 23-24.
- [5] 刁红泉, 胡伟雄, 等. 基于单片机的改进五相混合式步进电机驱动设计[J]. 工程设计学报, 2004(1): 13-15.
- [6] 惠晶, 肖荣. 一种实用的步进电机细分驱动控制系统[J]. 微电机, 2009(10): 87-89.
- [7] 李玲娟, 刘景林, 等. 两相混合式步进电机恒转矩细分驱动技术研究[J]. 微电机, 2007(3): 48-50.
- [8] 罗东辉, 陆培庆, 江胜. 步进电机高精度细分驱动器的研究[J]. 微特电机, 1993(1): 28-30.