

基于 THB7128 和单片机的步进电机 定位控制系统设计

董圣英

(德州职业技术学院 电气电子系, 山东 德州 253034)

摘要:为了提高步进电机的定位精度,提出了一种基于 THB7128 和 AT89C2051 单片机构成的步进电机控制系统。介绍了 THB7128 芯片的性能特点,给出了控制系统的电路原理图。在此基础上,分析了步进电机升降速的离散控制方法,给出了步进电机升降速控制的程序流程图。经过实际应用证明,该步进电机控制系统方案结构简单、可靠性高、运行平稳、具有良好的矩频特性。

关键词:步进电机;单片机;定位;速度控制

中图分类号:TM383.6

文献标识码:B

Design of Stepping Motor Position Control System Based on THB7128 and Single-chip Microcomputer

DONG Sheng-ying

(Department of Electrical and Electronic Engineering, Dezhou Vocational and
Technical College, Dezhou 253034, Shandong, China)

Abstract: An control system of stepping motor based on THB7128 and AT89C2051 single chip microcomputer was proposed to improve the position accuracy. The performance and characteristics of THB7128 were introduced, and the circuit schematic diagram of the control system was also offered. On this basis, the method of the stepping motor speed control by the discrete method was analyzed, in the last, provided the program flowchart of the stepping motor speed control. From practice, we can bear out that the control system has the characteristics of high performance, high reliability and good torque/frequency characteristic.

Key words: stepping motor; single-chip microcomputer; positioning; speed control

1 引言

在精密定位系统及数控系统中,步进电机是其重要的组成部分。据资料统计每年在数控生产和经济性定位系统改造等定位系统的应用领域,有 2/3 以上采用的是以步进电机作为伺服控制系统^[1]。因此如何改善电动机的控制方法以提高系统的定位精度,成为提高系统性能的关键所在。

对于步进电机的定位控制,关键是对电机升降速的速度控制。由步进电机的矩频特性可知,电机启动转速越高,其启动转矩就越小,若步进电机启动频率超过电机极限启动频率,则电机就可能发生堵转、失步现象;同样,若停止频率过高,则电机由于惯性,可能会发生过冲现象。因此,解决步进电机的“失步”、“过冲”现象,是解决步进电机

定位控制的关键^[2]。

本文设计了一种通过升降速控制来实现步进电机精确定位的控制系统。系统采用开环控制,以单片机为控制核心,专用芯片为驱动电路,重点解决了步进电机的“失步”、“过冲”现象,提高了步进电机的定位精度。

2 驱动芯片 THB7128 介绍

2.1 THB7128 步进电机驱动芯片的特点

THB7128 是北京某公司 2009 年新研制的大功率、高细分两相混合式步进电机驱动专用芯片。该芯片具有以下特点:

- 1) 双全桥 MOSFET 驱动,低导通电阻 $R_{on} = 0.53 \Omega$;
- 2) 最高耐压 DC 40 V,大电流 3.3 A(峰值);

基金项目:山东省高等学校优秀青年教师国内访问学者项目资助(2009)

作者简介:董圣英(1962—),男,本科,副教授,Email:dong_shengying@126.com

3) 多种细分可选 (1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128);

- 4) 自动半流锁定功能;
- 5) 内置混合式衰减模式;
- 6) 内置输入下拉电阻;
- 7) 内置温度保护及过流保护。

2.2 THB7128 引脚及动能

THB7128 的引脚功能如表 1 所示。

表 1 THB7128 引脚功能



Tab. 1 Pin function of THB7128

端子	端子符号	端子说明
1	GND	地
2	CW/CCW	正/反转信号输入端
3	CLK	脉冲信号输入端
4	OSC1	斩波频率设定电容连接端
5	VRFF	电流设定端
6	GND	地
7	OUT2B	B 相 OUT 输出端
8	NFB	B 相电源检测电阻连接端
9	OUT1B	B 相 OUT 输出端
10	GND	地
11	OUT2A	A 相 OUT 输出端
12	NFA	A 相电流检测电阻连接端
13	OUT1A	A 相 OUT 输出端
14	VM	电源 VM 连接端
15	VCC	电源 VCC 端
16	M ₁	细分设置端
17	M ₂	细分设置端
18	M ₃	细分设置端
19	ENABLE	脱机信号控制端

1)CLK 脉冲输入端,功能见表 2。

表 2 CLK 脉冲功能

Tab. 2 Clock pulse function

CLK输入	芯片工作状态
	输出励磁Step
	保持励磁Step

2)CW/CCW 电机正反转控制端。CW/CCW 低电平,电机正转;CW/CCW 高电平,电机反转。

3)ENABLE 使能端。ENABLE 为低电平,输出强制关断,高阻输出;ENABLE 重新置为高电平时,恢复输出。

4)细分设定(M₁, M₂, M₃) 模式见表 3。

5)工作电流设定。VREF 为电流设定端,调整此端电压即可设定驱动电流值。

$$I_o(100\%)=V_{REF} \times (1/5) \times (1/R_s)$$
式中:R_s 为 NFA(B)外接检测电阻。

6)斩波频率设定端。斩波频率由 OSC1 端和 GND 间连接的电容,依据下列公式设定:

$$F_{CP}=1/(C_{OSC1}/10 \times 10^{-6})(Hz)$$

表 3 THB7128 细分模式

Tab. 3 Subdivision-mode of THB7128

M ₁	M ₂	M ₃	细分数
L	L	L	1
H	L	L	1/2
L	H	L	1/4
H	H	L	1/8
L	L	H	1/16
H	L	H	1/32
L	H	H	1/64
H	H	H	1/128

7)半流锁定电路。当 CLK 输入低于 1.6 Hz 时,芯片的输出电流将自动降为正常工作电流的一半。

8)PDF 衰减模式。THB7128 衰减模式固定为混合衰减模式,快衰和慢衰的比例为 1 : 4。

9)输出短路保护电路。内置短路保护电路,在 IC 对电源或对地短路或输出短路时,使输出置于待机模式。由输出短路保护电路动作而使输出为待机模式的场合,可给 VCC 一个低电平来解除锁定。

3 步进电机控制系统设计

3.1 硬件电路设计

硬件电路由输入按键、AT89C2051 单片机、THB7128 细分驱动芯片和步进电机等部分组成,系统组成框图如图 1 所示。

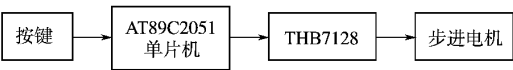


图 1 控制系统结构框图

Fig. 1 The structure block diagram of control system

图 2 是单片机 AT89C2051 与 THB7128 驱动芯片组成的步进电机控制系统电路原理图。

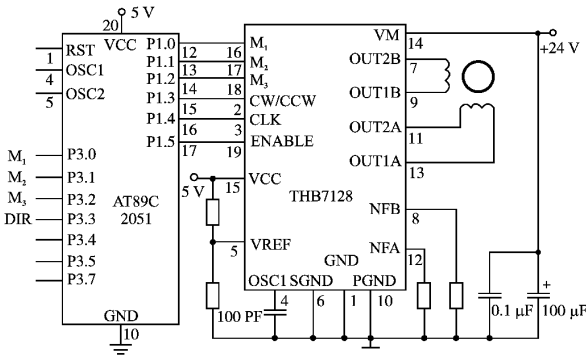


图 2 驱动电路原理图

Fig. 2 The drive circuit's principle diagram

单片机 P3 做为信号输入口。M₁, M₂, M₃ 输入由 3 个拨码开关控制,以此来设置步进电机的运

行方式。通过 3 个拨码开关闭合方式的设置,可选择 8 种运行方式的一种。

DIR 是方向信号,高电平为正向运转,低电平为反向运转。

P1 口做为信号输出口。单片机 P1.3 为方向信号输出端,P1.4 为脉冲信号输出端,P1.5 为芯片使能信号输出端。本设计所需驱动电流为 2.5 A,检测电阻选用 1 W 金属膜电阻,阻值为 0.22 Ω ,因此设定最大电压 $V_{REF}=2.8$ V。

这里要注意确保方向信号领先脉冲信号 10 μ s 建立,否则驱动器会对脉冲有错误的响应^[3]。

另外,驱动器在上电工作前应先设置拨码开关为所需要的运行方式,在运行期间不能更改。需要更改运行方式时,应在驱动器断电后再设置拨码开关^[4]。

3.2 软件设计

系统软件主要有主控程序、细分驱动程序、按键处理程序、正反转控制程序、加减速控制程序和定时中断程序等组成。其中方向和细分驱动控制等程序相对简单,在此主要对升降速控制算法进行介绍。

3.2.1 升降速曲线

步进电机的动力学方程为^[5]

$$T = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + T_L \quad (1)$$

式中: T 为电机输出转矩; J 为转动惯量; B 为摩擦系数; T_L 为负载转矩; θ 为转子位置。

由运动方程可推导出步进电机升速过程中脉冲频率随时间变化的规律为

$$f_r = f_m - f_m e^{-t/\tau} \quad (2)$$

式中: f_m 为步进电机最高工作频率, τ 为时间常数。由式(2)可知,电机的升速曲线为一条指数曲线^[6],这样可使步进电机具有较好的矩频特性,大大缩短升速时间。

由此可得出步进电机理想的升速曲线,如图 3 所示。升速曲线由突跳频率(f_a)和加速曲线组成,突跳频率是指步进电机在静止状态时突然施加的脉冲频率,此频率不可太大,否则会堵转或失步,加速曲线是一条按指数规律上升的曲线。

步进电机在降速时力矩会增大,对降速曲线的要求可比升速曲线低,降速过程和升速过程并不对称。在降速过程中,只要保证电机不超步即可,步进脉冲的频率不可下降太快,否则步进电机由于惯性作用而超步^[7]。为编程简单起见,将升速曲线的逆过程用作降速曲线,即采用对称化

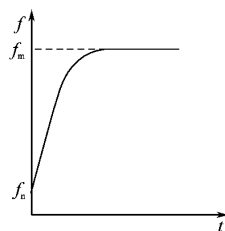


图 3 升速曲线示意图

Fig. 3 Curve of speed-up schematic

设计。

3.2.2 升降速过程的离散处理

在单片机中实时计算指数曲线并不容易,一般采用离散化方法,即事先计算一些频率点,再用折线或直线拟合,即采用“阶梯升速法”。实际的阶梯升速曲线如图 4 所示。图 4 中 N 为总步进脉冲数, N_r , N_d 分别为升、降速段步进脉冲数。

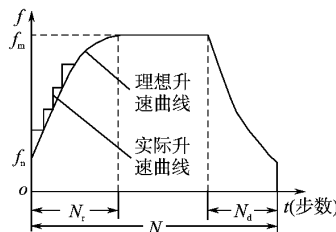


图 4 阶梯升速曲线

Fig. 4 Curves of step rising velocity

考虑到步进电机的惯性作用,在升速过程中,如果速率变化太大,电机响应将跟不上频率的变化,也会出现失步现象。因此,每改变一次频率,要求电机持续运行一定步数(称阶梯步长),使步进电机慢慢适应频率的变化。一种可行的方法是将升速阶段按时间间隔均匀地划分为 n 段,分别计算出每段的脉冲周期和步进脉冲个数参数。

将升速段均匀的离散为 n 段,若匀速运行速度为 f_g ,则由式(2)可算出升速时间为

$$t_r = \tau [\ln f_m - \ln(f_m - f_g)] \quad (3)$$

相邻两次速度变化的时间间隔为

$$\Delta t_r = t_r / n \quad (4)$$

每一档的频率为

$$f_k = f_m - f_m e^{-(k\Delta t_r)/\tau} \quad k=1,2,3,\dots,n \quad (5)$$

脉冲周期为

$$T_k = 1/f_k \quad (6)$$

各分档速度内的运行步数 N_k 为

$$N_k = f_k \cdot \Delta t = f_k t_r / n \quad (7)$$

则升速总步数 N_r 为

$$N_r = \sum_{k=1}^n N_k \quad (8)$$

用单片机实现对步进电机的速度控制,实际上就是控制输出脉冲的频率,升速时使脉冲频率增加,降速时使脉冲频率降低。本系统采用定时中断来控制步进电机的频率,升降速控制实际上就是不断改变定时器的初值。由于步进电机高速运行时,两个步进脉冲的时间间隔极小,无法完成频率、步数的计算,因此在软件编写时采取了建立数据表的方法,将升、降速各段的频率所对应的定时器初值及步数计算好并固化到单片机 ROM 中。系统运行时用查表法查出各自对应值,可以减少 CPU 计算时间,提高系统响应速度^[8]。

3.2.3 升降速软件设计

升降速软件主要由升速、匀速、降速和定时器中断软件构成。其程序流程图如图 5 所示。

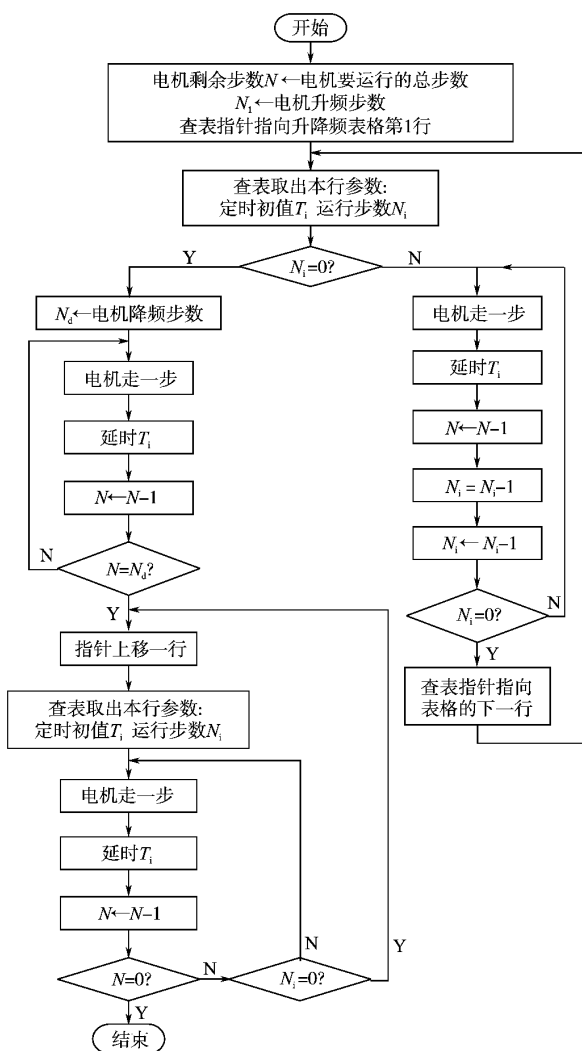


图 5 步进电机升降速控制程序流程图

Fig. 5 The program flowchart for control of raising and reducing speeds of a stepping motor

如图 4 所示,假设步进电机的定位运行总步数为 N ,升、降速步数相同,即 $N_r = N_d$ 。程序执行的过程中,查表取出每档速度对应的定时值和在这个台阶应走的步数 N_k ,然后以递减方式检查 N_k ,当 N_k 减至零时,表示该档速度应走的步数已走完,速度字 $k+1$,进入下一档速度。与此同时,对升速总步数 N_r 也进行递减操作,当 N_r 减至零时升速过程结束,转入匀速运转过程。减速过程的规律与升速相同,只是按相反的顺序进行。

4 结论

THB7128 是目前市面上同类芯片外围电路最简洁的一款步进电机控制芯片。选用 AT89C2051 单片机和 THB7128 电机驱动芯片构成步进电机定位控制系统,结构简单、控制方便。

采用指数曲线升降速的方法,有效控制了步进电机在启动和停止过程中容易产生的失步和过冲现象。

上述设计已成功地应用在经济型数控车床改造上,将步进电机与滚珠丝杠相结合,可提高车床的定位精度、改善运动部件的运行平稳性,达到了低震动、低噪声的效果。

参考文献

- [1] 张伯鹏. 先进制造技术基础研究现状及其发展趋势[J]. 中国工程机械, 1997, 8(2): 60-62.
- [2] 周艳秋. 步进电机定位控制技术研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2009.
- [3] 孙建, 张国玉, 刘大勇. 基于 C8051 单片机的步进电机控制系统[J]. 仪器仪表用户, 2009, 116(2): 29-30.
- [4] 王硕, 唐建明, 吴乃优. 基于 3955 的步进电机驱动器设计[J]. 机电工程技术, 2004, 33(1): 40-42.
- [5] 陈理壁. 步进电机及其应用[M]. 上海: 上海科技出版社, 1985.
- [6] 李忠科, 李福宝, 李勤. 通用步进电机升降速控制器设计[J]. 沈阳工业大学学报, 2004, 26(3): 287-289.
- [7] 高亮. 8051 单片机对步进电机的控制及步进电机升降速曲线的设计[J]. 测控技术, 2002, 21(6): 64-66.
- [8] 黄法恒, 刘利. 基于单片机的步进电机升降速及精度控制研究[J]. 微电机, 2010, 43(3): 95-97.

收稿日期: 2010-10-22

修改稿日期: 2010-11-22