

# 单片机控制步进电机按 S 形曲线升降频设计\*

曹东杰, 韩峰, 任云燕

(北京理工大学机电工程学院, 北京 100081)

[摘要] 分析了步进电机升降频时发生失步、过冲的原因, 提出了一种单片机控制的步进电机按 S 形曲线升降频的方法。该方法能有效提高定位系统定位的快速性和准确性且不必改变系统的硬件; 同时可降低对步进电机功率的要求, 降低系统功耗。文中以一个二维角度定位系统为例介绍了该方法的应用实现, 试验结果表明同一系统在采用 S 形曲线升降频时的定位精度明显提高。

[关键词] 步进电机; 升降频; 单片机; S 形曲线

[中图分类号] TP 302 [文献标识码] B

## A Method to Accelerate or Decelerate the Speed of Step Motor Controlled by Singlechip Following S Curve

CAO Dong-jie, HAN Feng, REN Yun-yan

(School of Mechatronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** This paper analyses the reason of losing step or crawling when step motor accelerate or decelerate, and introduces a method to accelerate or decelerate the speed of step motor controlled by singlechip following S curve. On the one hand, the velocity and the precision of the system can be improved, on the other hand, the system's hardware needn't to be changed and the power of the system can be lower while using this method. An angular orientation system is introduced in order to illuminate how to use this method. At last this paper gives the result of the test in which tow different methods are compared.

**Key words:** step motor; accelerate or decelerate speed; singlechip; S curve

### 1 引言

要实现步进电机的快速准确定位就要保证电机在不失步和过冲的情况下起、停, 并以最快的速度运行到指定的位置。然而由步进电机典型的矩频特性曲线(图 1)知, 步进电机无论采用何种驱动电路, 在驱动脉冲频率较低时, 输出转矩较大且恒定, 当驱动脉冲频率上升时, 输出转矩

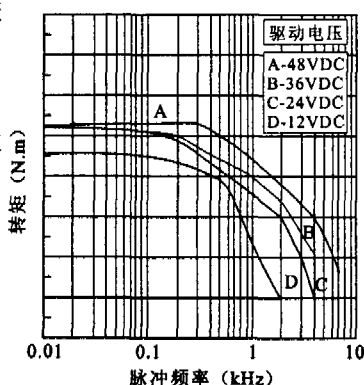


图 1 步进电机典型的矩频特性曲线

则会降低<sup>[3]</sup>。另外一般步进电机的运行频率是 100~1000Hz, 而且其启动频率比最高运行频率低得多, 如果步进电机以逐渐加速到最高频然后逐渐减速到零的方式工作, 其速度可以提高 2~8 倍而不失步。步进电机的升降频设计就是要寻求一种与电机矩频特性相适应的速度控制方案, 常见的加减速曲线有: 梯形曲线、S 形曲线和指数曲线等(见图 2)。因为步进电机启动时, 由于其静态惯性比较大, 须以较小的加速度升频; 而在较高的频率运行时, 由于输出转矩会有所降低, 须以较小的加速度升降频; 在步进电机停止时, 为了防止发生过冲, 须以较小的加速度降频, 因此按 S 形曲线进行升降频更适合于实际情况。S 形曲线可以分段为指数曲线, 因此它又被称为双段指数曲线, 只要解决了步进电机按指数曲线的控制问题就可以解决按 S 形曲线的升降

\* 收稿日期: 2005-11-05

作者简介: 曹东杰(1980—), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 研究方向: 机械电子工程、伺服控制技术。

频问题。

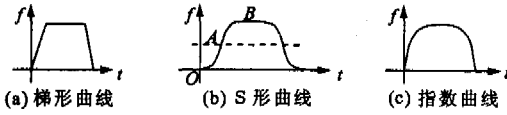


图2 常见加速度曲线

## 2 步进电机 S 形曲线设计

下面以一带惯性负载的角度定位系统为例介绍一种解决问题的方案。基本原理是：步进电机以最大启动频率启动，通过改变微控制器定时器的定时时间来控制步进电机的运行频率按照适合于系统特性的 S 形曲线升降频，在运行的中间阶段以最大运行频率匀速运行，最终实现快速、精确的角度定位。定时器中断处理流程图如图 3 所示。

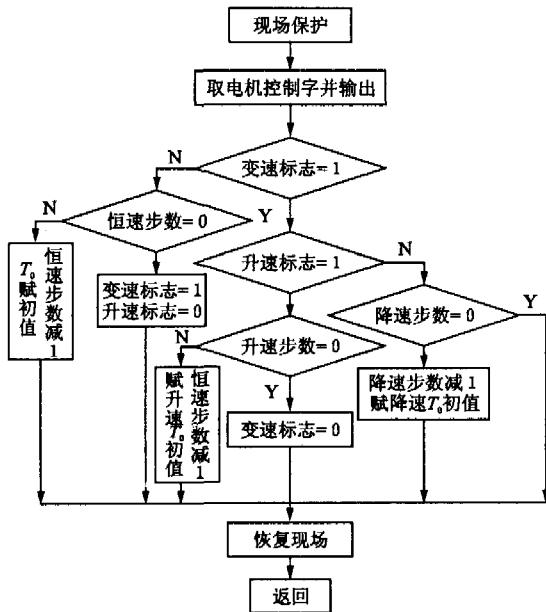


图3 定时器中断处理流程图

在升、降频过程中，每次中断处理时，定时器  $T_0$  的初值是通过查程序存储器中存储的定时常数表得到的，问题的关键就在于如何获得使电机按照 S 形曲线升降频的定时常数表。

由于对步进电机启动时(图 2-b 中 O-A 段)的静态惯性引起的负载问题的分析比较困难，可以分析升频的后半段(图 2-b 中 A-B 段)，按指数曲线升频，计算出所需的定时常数表，然后对应出电机在 O-A 段运行时所需的定时常数表。在 A-B 段运行时，系统满足旋转物体动力学方程： $T = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + T_f$  (其中： $T$  为电磁转矩； $T_f$  为摩擦力矩； $J$  为负载的转动惯量)。按指数曲线升频，可以使角加速度随着频率的上升线性下降，

则  $J \frac{d^2\theta}{dt^2}$  随着升频线性下降；而在电机不失步的条件下，转动的角加速度和驱动脉冲的频率对时间的微分成正比，所以有： $\frac{df}{dt} = -Bf + A$  ( $A, B$  为常数)。两边进行拉氏变换得： $SF(S) = \frac{A}{S} - BF(S)$ ，解方程得： $F(S) = \frac{A}{(S+B)S}$ 。进行拉氏反变换得： $f(t) = \frac{A}{B}(1 - e^{-Bt})$ ，即：

$$f(t) = C(1 - e^{-t/\tau}) \quad (1)$$

其中： $C$  为步进电机的最高运行频率， $\tau$  是决定升降频快慢的时间常数，可以由升降频过程时间来确定。

实验测得电机的最高启动频率为 350Hz，最高运行频率为 1000Hz，实际应用中控制电机按照图 4 所示的 S 形曲线升降频，将频率按级差 100Hz 进行分段离散。根据系统的性能指标要求(定位角度： $0 \sim 180^\circ$ ；定位时间： $\leq 1s$ )确定升(降)频的时间  $\Delta t \approx 0.05s$ ，即  $t_6 = 2t_3 = \Delta t = 0.05s$ ，代入式(1)可得  $\tau = 0.0273s$ ，然后可以根据式(1)求出升降频曲线每个分段点处的时间值  $t_i$ ，进而求出以每级频率运行的时间  $\Delta t_{i-1,i}$ ，最后根据时间间隔和频率值列出定时常数表(计算结果见表 1)。

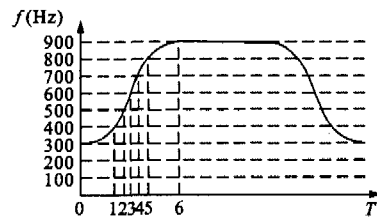


图4 S形升降频曲线的分段离散

表1 计算结果

$i$	$t_i$ (s)	$\Delta t_{i-1,i}$ (s)	$f_i$ (Hz)	定时器初值	脉冲数
1	0.0061	0.0061	300	F801H	6
2	0.0171	0.011	400	FA01H	4
3	0.025	0.0079	500	FB34H	4
4	0.0329	0.0079	600	FC01H	5
5	0.0439	0.011	700	FC93H	8
6	0.0629	0.019	800	FD01H	11

注：系统采用 7.3728MHz 的晶振，其中  $t_1$  和  $t_2$  按  $\Delta t_{i-1,i}$  关于  $t = t_3$  对称得到。

因此，程序存储器中存储的定时常数表为：  
tab:

db 0F8h,001h,0F8h,001h,0F8h,001h,0F8h,001h,0F8h,001h,0F8h,001h,0F8h,001h,0FAh,001h

db 0FAh,001h,0FAh,001h,0FAh,001h,0FBh,  
034h,0FBh,034h,0FBh,034h,0FBh,034h  
db 0FCh,001h,0FCh,001h,0FCh,001h,0FCh,  
001h,0FCh,001h,0FCh,093h,0FCh,093h  
db 0FCh,093h,0FCh,093h,0FCh,093h,0FCh,  
093h,0FCh,093h,0FCh,093h,0FDh,001h  
db 0FDh,001h,0FDh,001h,0FDh,001h,0FDh,  
001h,0FDh,001h,0FDh,001h,0FDh,001h  
db 0FDh,001h,0FDh,001h,0FDh,001h

为了提高升降频的平稳性,可对定时常数表进行线性插值。

### 3 试验结果

选用宝马集团生产的 57BYGH008 型步进电机,运行于 2 相 2 拍方式,分别按照梯形曲线和 S 形曲线升降频的试验结果如表 2 所示。系统的定位精度要求是  $\leq 1^\circ$ ,可见按照上述 S 形曲线升降频的方法能保证步进电机在不失步和过冲

的情况下起、停,并以最快的速度实现满足精度要求的定位,该方法优于梯形曲线法,适合应用于点一位控制场合。

表 2 试验结果

理论角度 (°)	实测角度(°)	
	按梯形曲线升降频	按 S 形曲线升降频
45	43.1	44.4
90	88.8	89.6
180	178.2	179.4

### [参 考 文 献]

- [1] 王鸿钰. 步进电机控制技术入门[M]. 上海: 同济大学出版社, 1990.
- [2] 孙蓓, 张志义, 张学文. 一种单片机实现步进电机的加、减速控制[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2003(10).
- [3] 刘宝庭, 程树康, 等. 步进电机及其驱动控制系统[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1997.

(上接封二)

## 弹道与气动力技术

- 钝头子弹气动特性分析 ..... 张国伟, 张 宇, 梁永直 (91)
- 风洞应变天平优化设计方法研究 ..... 刘高计, 谌满荣, 于卫青 (94)
- 战术弹道导弹再入段弹道仿真设计 ..... 汤阳春, 娄寿春, 赵 辉 (98)
- 旋转飞行器刚体弹道模型中起始扰动的变换 ..... 陈罗婧, 刘 莉 (100)
- 基于两相流理论的火炮内弹道设计方法及其在新型装药设计中的应用  
..... 王 敬, 季新源, 袁亚雄 (103)

## 相关技术

- 基于 Direct3D 的虚拟火炮训练系统的研究 ..... 管 莉, 邵岳伟, 郝重阳, 等 (107)
- 应用等离子体实现主动流动控制的实验研究 ..... 刘万刚, 李一滨 (110)
- CBFF 信道下基于信道辨识自适应 Turbo 码译码算法研究  
..... 姚如贵, 王永生, 张 怡 (112)
- 空间作战视景仿真系统的开发与研究 ..... 王金华, 袁慧馨, 高立娥, 等 (117)
- 基于协同仿真平台的系统仿真方法研究 ..... 魏佳宁, 康凤举, 刘 雄 (121)
- 飞行器弹道异值斑点识别技术研究 ..... 侯宏录, 周德云, 何红丽, 等 (124)
- 基于梯形模糊数的小子样武器系统可靠性分析与评定  
..... 张 超, 马存宝, 胡云兰, 等 (128)
- WCDMA 上行码片级协处理 DSP 软件系统代码优化 ..... 张 怡, 穆擎炜, 唐成凯 (131)
- 一种新的步进频率雷达信号目标抽取算法 ..... 王 飞, 龙 腾 (135)
- 圆锥扫描脉冲多普勒雷达信号处理 ..... 王 飞, 龙 腾 (138)
- 利用 GPS 在 MGIS 中实现快速位置显示 ..... 刘 涇, 郑贤武, 刘 台 (141)
- 基于 HMM 与 K-均值聚类的声目标识别 ..... 陈 功, 张雄伟, 邓玉良 (144)
- 导弹液压伺服系统中陷波器的原理与设计 ..... 蔡 璞, 许化龙, 夏克寒 (148)
- 不同标准大气对远程弹箭射程影响的计算分析 ..... 李臣明, 朱国权, 韩子鹏, 等 (150)
- 基于盲信号处理的传动箱状态监测与故障诊断 ..... 黄晋英, 潘宏侠, 毕世华, 等 (153)
- 单片机控制步进电机按 S 形曲线升降频设计 ..... 曹东杰, 韩 峰, 任云燕 (157)