

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.02.008

# 基于STM32的步进电机动态加减速控制

何昌俊, 杨自栋, 闫珍奇, 曾恒

(浙江农林大学 工程学院, 浙江 杭州 311300)

**摘要:**针对步进电机7段加减速S曲线在加速度曲线上存在拐点和多个分段区间,使得加速过程存在柔性冲击以及控制算法复杂等不足之处,课题组采用曲线拟合的方法对步进电机7段加减速S曲线进行优化。在保留原7段曲线优良特性的前提下,该方法简化了算法模型,消除了原加速度曲线拐点。基于STM32芯片、步进电机及其驱动器并采用优化后的S曲线进行试验,得到不同初速度和不同增速对应的S曲线离散取点数的关系,实现高效和稳定的动态调速。仿真表明原增速段的3段函数曲线能拟合为1段函数曲线,并保留其优良特性。该研究使步进电机能更平稳调速,并且优化后的S曲线更简洁、易调整、利于维护和修改。

**关键词:**步进电机;STM32芯片;S曲线;算法模型;动态调速

中图分类号:TM383.6 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2020)02-0045-06

## Dynamic Acceleration and Deceleration Control of Stepper Motor Based on STM32

HE Changjun, YANG Zidong, YAN Zhenqi, ZENG Heng

(School of Engineering, Zhejiang Agricultural and Forestry University, Hangzhou 311300, China)

**Abstract:** Seven-segment acceleration and deceleration S-curve of the stepper motor has inflection points and many segmentation intervals on the acceleration curve, which results in flexible impact in the acceleration process and complicated control algorithm. In view of the above deficiencies, the curve-fitting method was used to optimize the S-curve of the seven-stage acceleration and deceleration of the stepper motor. Under the premise of retaining the excellent characteristics of the original seven-segment curve, the algorithm model was simplified and the inflection point of the original acceleration curve was eliminated. Based on STM32, stepper motor and its driver, the optimized S-curve was adopted for the stepper motor speed control test, the relationship between the discrete points of S curve corresponding to different initial speeds and different growth rates was obtained, so as to realize the efficient and stable dynamic speed regulation. The simulation shows that the three-stage function curve of the original growth rates section can be fitted to a function curve and its excellent characteristics can be preserved. The experimental results show that the stepper motor can achieve more stable speed regulation, and the optimized S curve is more concise, easy to adjust, and easy to maintain and modify.

**Keywords:** stepper motor; STM32; S-curve; algorithm model; dynamic speed regulation

步进电机是一种可将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制元件。工作时,每输入一个脉冲,电机转轴即可转过一个相应的步进角,具有精度高、运行可靠及无累计误差等优点,因而被广泛应用于数字控制系统中。理论上,步进电机的工作状况只和脉冲数

和脉冲频率相关。在实际中,随着脉冲频率的升高,步进电机转矩随之降低,当频率高到一定程度时,电机提供的转矩在一个脉冲周期里不能使电机转过一个步进角,此时电机将发生失步或堵转,所以步进电机存在一个最大工作转速。在步进电机速度发生突变时,若脉

收稿日期:2019-09-05;修回日期:2019-11-28

第一作者简介:何昌俊(1993),男,湖北武汉人,硕士,主要研究方向为机械设备控制技术。通信作者:杨自栋(1970),男,甘肃张掖人,博士,教授,主要研究方向为智能农林装备及其关键技术。E-mail:20150032@zafu.edu.cn

冲频率变化不合理,电机提供的转矩在一个脉冲周期里不能使电机转过一个步进角或超过一个步进角,电机将会发生失步、堵转或过冲,为此可以在步进电机变速时引入一个合理的加减速过程以解决这个问题。

常见的步进电机加减速控制方法主要有:直线型加减速曲线、指数型加减速曲线和S型加减速曲线。直线型加减速曲线在加速、匀速和减速过程中不能光滑过渡,主要适用于控制系统处理速度较慢且对升降速过程要求不高的场合;指数型加减速曲线的平滑性好,运动精度高,但在加减速的起点存在加减速突变;S型加减速曲线的加速度和速度曲线具有连续性特性,能够保证步进电机在运动过程中速度和加速度没有突变,减小冲击,从而提高步进电机的平稳性<sup>[1-2]</sup>。课题组根据ARM的STM32F103ZET6芯片,提出一种基于七段加减速S曲线的改进S曲线加减速算法,将其用于步进电机的动态调速中,提高步进电机运行时的稳定性和可靠性。

## 1 步进电机加减速S曲线

步进电机加减速S曲线,指的不是某一特定的算法,而是对加减速曲线呈S型算法的统称。常用的S型曲线主要有2种:一种是引入Sigmoid函数曲线作为加减速的速度曲线;另一种是在加减速阶段引入加加速度来控制加速度,以防止加速度突变出现柔性冲击而影响步进电机的平稳运行。

### 1.1 Sigmoid曲线

Sigmoid函数在生物学和信息工程学中是常见的函数。将Sigmoid函数图像向右平移 $a$ 个单位,可作步进电机加速段的速度S曲线图,函数的表达式为式(1),其导函数曲线可作步进电机S曲线的加速度曲线图,函数表达式为式(2)。图1所示的是 $a$ 取5时Sigmoid曲线图和其导函数曲线图。

$$y = \frac{1}{1 + e^{-x+a}}; \quad (1)$$

$$y = \frac{e^{-x+a}}{(1 + e^{-x+a})^2} \circ \quad (2)$$

由图1(b)Sigmoid导函数曲线图可以看出,步进电机在加速阶段,加速度没有突变且没有拐点,整条加速度曲线光滑。说明Sigmoid函数做加减速S曲线可使电机避免加速过程出现刚性冲击和柔性冲击,有利于电机的加减速过程的平稳工作。但是在Sigmoid函数里含有 $e^x$ 项,当计算机处理这类函数时要花费远超加法和乘法运算的时间,故在STM32微控芯片上计算Sigmoid函数需要更长的时间。当芯片计算函数值的

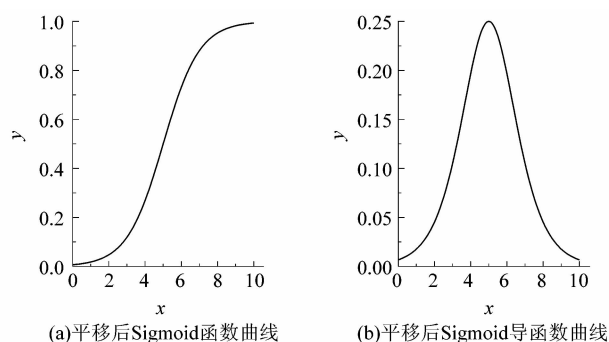


图1 Sigmoid函数控制曲线图

Figure 1 Sigmoid function curve

时间超过变频的时间时,会导致加速曲线出现不可预测的变化,从而导致电机运行的不平稳。

### 1.2 引入加加速度的S曲线

引入加加速度的加减速S曲线一般可分为包含加加速段、减加速段、匀速段、加减速段和减减速段的5段加减速控制曲线,以及包含加加速段、匀加速段、减加速段、匀减速段、加减速段、匀减速段和减减速段的7段加减速控制曲线。常见的5段加减速曲线图如图2(a)所示;常见的7段加减速曲线图如图2(b)所示。

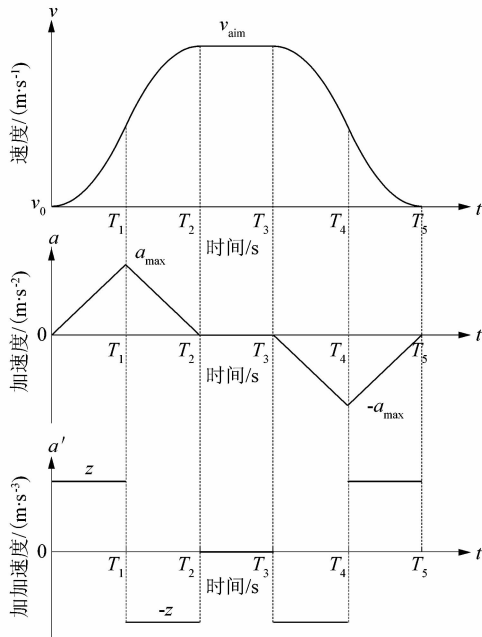
由图2(a)的加速度曲线图可以看出,在加、减速阶段,加速度图存在拐点,拐点的存在可能在运动中会引起柔性冲击。7段加减速曲线是基于5段加减速曲线的改进,由图2(b)和图2(a)加速度曲线图对比可知,在完成同样的加速过程的情况下,若加速时间相同,7段加速曲线中的最大加速度会更小,运行更稳定;若最大加速度相同,7段加速曲线会用更短的时间完成加速过程,即7段加速度曲线能更好地兼顾效率和平稳性。但7段加减速曲线,在加速度曲线上仍旧存在拐点,而且分段区间增多,控制算法变复杂,会影响实时控制系统的运算效率<sup>[3]</sup>。

## 2 构造7段加减速S曲线并优化

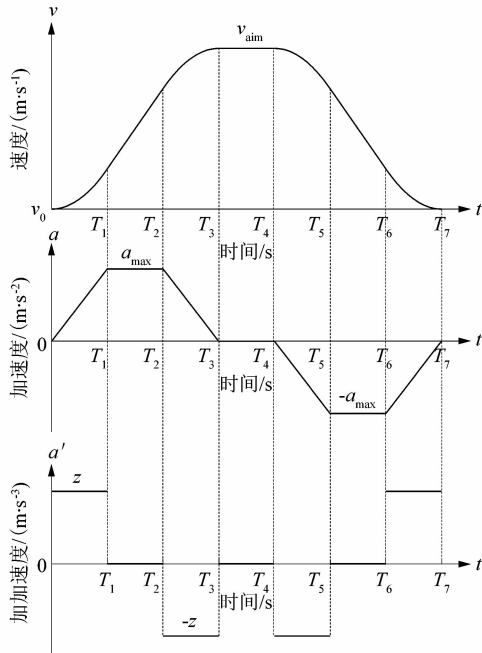
课题组针对7段加减速S曲线加速阶段中加速度存在拐点和加速阶段分段区间多,影响实时控制系统运算效率的问题,提出一种基于多项式拟合S加减速曲线的方法,在保留7段加减速曲线的优异加减速性能的同时,消除7段加减速曲线中加速度存在的拐点,使加速段或减速段成为单一的函数曲线。因此,课题组采用了大于三次多项式拟合加减速阶段的速度曲线。这样既可以保证速度曲线和加速度曲线连续可导,又能避免电机在运行过程中出现柔性冲击。

### 2.1 构造7段加减速S曲线

从图2(b)可知,曲线图上存在6个拐点,并以此



(a) 5段加减速控制曲线



(b) 7段加减速控制曲线

图2 多段加减速控制曲线

Figure 2 Multi-segment acceleration and deceleration control curve

为分界线。0 ~ T<sub>1</sub> 时间段内,速度由起始 v<sub>0</sub> 加速至拐点 T<sub>1</sub>,加加速度 a' 为常数 z,加速度 a 由 0 逐渐增加; T<sub>1</sub> ~ T<sub>2</sub> 时间段,速度恒定增加,加速度为最大加速度 a<sub>max</sub>; T<sub>2</sub> ~ T<sub>3</sub> 时间段,速度减速增加,加加速度 a' 为常数 -z,加速度 a 由 a<sub>max</sub> 逐渐减到 0; T<sub>3</sub> ~ T<sub>4</sub> 时间段,速度为恒速; T<sub>4</sub> ~ T<sub>5</sub>, T<sub>5</sub> ~ T<sub>6</sub> 和 T<sub>6</sub> ~ T<sub>7</sub> 为减速段,与加速

段类似,加速度变化为负值。

加速段 S 曲线方程如下:

1) 0 ~ T<sub>1</sub> 时间段内

加加速度为 z (z > 0), 加速度和速度方程分别为:

$$a = zt; \quad (3)$$

$$v = \frac{1}{2}zt^2. \quad (4)$$

2) T<sub>1</sub> ~ T<sub>2</sub> 时间段内

加速度为最大加速度, 加速度和速度方程分别为:

$$a = a_{\max}; \quad (5)$$

$$v = \frac{1}{2}a_{\max}T_1 + a_{\max}(t - T_1). \quad (6)$$

3) T<sub>2</sub> ~ T<sub>3</sub> 时间段内

加加速度为 -z, 加速度和速度方程分别为:

$$a = a_{\max} - z(t - T_1); \quad (7)$$

$$v = a_{\max}t - \frac{1}{2}a_{\max}T_1 - \frac{1}{2}z(t - T_2)^2. \quad (8)$$

4) T<sub>3</sub> ~ T<sub>4</sub> 时间段内

速度为恒定值。

减速段 T<sub>4</sub> ~ T<sub>5</sub>, T<sub>5</sub> ~ T<sub>6</sub> 和 T<sub>6</sub> ~ T<sub>7</sub> 与加速段一致, 可看作加速段的逆过程<sup>[4]</sup>。

## 2.2 优化 7 段加减速 S 曲线

对构造出的加速 S 曲线在隔开拐点处均匀取点, 该取点方式可以更好地优化拐点处的函数曲线, 采集的点集用数组的方式表示, 记作 p<sub>i</sub>(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>)。对采集的数据点用多次多项式拟合, 即对采集的数据点集做线性回归处理。

### 2.2.1 构造优化模型

对拟合的近似曲线进行假设, 其假设的线性回归模型的函数表达式为

$$h_{\theta}(x) = \sum_{j=0}^n \theta_j x^j, j = 0, 1, \dots, n. \quad (9)$$

式中: h<sub>θ</sub>(x) 表示拟合曲线的函数值, θ<sub>j</sub> 表示函数多项式系数。

采用均方误差 (MSE) 作为线性回归模型的损失函数。损失函数的表达式为

$$J(\theta_0, \dots, \theta_n) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (h_{\theta}(x_i) - y_i)^2, j = 0, 1, \dots, n; i = 0, 1, \dots, m. \quad (10)$$

式中: J(θ<sub>0</sub>, …, θ<sub>n</sub>) 表示均方误差, h<sub>θ</sub>(x<sub>i</sub>) 表示在点 x<sub>i</sub> 处拟合曲线的函数值。

损失函数式 (10) 表示线性回归模型 (拟合曲线上) 的点与采集数据点偏差值的平方和, 可用来描述线性回归模型与数据点集之间的差异。如果损失函数

$J(\theta_0, \dots, \theta_n) = 0$ , 表示完全没有差异, 则说明此线性回归模型完全描述数据之前的关系。如果需要找到最佳拟合的线性回归模型, 就需要使对应的损失函数最小; 求解最小损失函数的参数组, 得到拟合曲线的函数表达式。

### 2.2.2 求解最小损失函数

计算最小损失函数有 2 种实现方式: ①梯度下降求损失函数最小值; ②正规方程求解损失函数最小值。

#### 2.2.2.1 梯度下降原理

当选择梯度下降计算损失函数最小值时, 开始随机选择一个参数的组合  $(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n)$ , 计算损失函数; 然后寻找下一个能让损失函数下降最多的参数组合, 将该过程迭代, 直到损失函数收敛到一个局部最小值。批量梯度下降的算法公式为

$$\theta_j := \theta_j - \beta \frac{\partial}{\partial \theta_j} J(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n), j = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

式中: “:=” 是赋值符号, 表示对左边变量进行赋值;  $\beta$  表示损失函数每次沿下降方向下降的程度。

#### 2.2.2.2 正规方程

求解损失函数最小值, 即损失函数极值问题。对损失函数的参数  $(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n)$  求偏导数, 令其为零, 即可得到满足条件的参数组  $(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n)$ :

$$\frac{\partial}{\partial \theta_j} J(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n) = 0. \quad (12)$$

采用单个方程逐一求解参数组中各参数的值, 其求解的效率很低, 因此可以采用矩阵的方式进行求解。用列向量  $\theta$  表示损失函数的参数组  $(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n)$ , 用  $m$  行  $n+1$  列的矩阵  $X$  表示  $m$  组  $n+1$  维的特征向量。用列向量  $Y$  表示  $(y_1, y_2, \dots, y_m)$ ; 列向量  $H_\theta X$  表示  $(h_\theta(x_1), h_\theta(x_2), \dots, h_\theta(x_m))$ ;  $J(\theta)$  表示损失函数的值。拟合曲线的线性回归模型用矩阵可表示为

$$H_\theta X = X\theta. \quad (13)$$

损失函数矩阵为

$$J(\theta) = \frac{1}{2} (X\theta - Y)^T (X\theta - Y). \quad (14)$$

式(14)展开为

$$J(\theta) = \frac{1}{2} (\theta^T X^T X\theta - \theta^T X^T Y - Y^T X\theta - Y^T Y). \quad (15)$$

对各参数求偏导, 得到

$$\frac{\partial J(\theta)}{\partial \theta} = \frac{1}{2} (2X^T X\theta - X^T Y - (Y^T X)^T - 0). \quad (16)$$

化简为

$$\frac{\partial J(\theta)}{\partial \theta} = (X^T X\theta - X^T Y). \quad (17)$$

令  $\frac{\partial J(\theta)}{\partial \theta} = 0$ , 则有

$$\theta = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (18)$$

式(18)为正规方程的表达式。

### 3 具体算法的实现

步进电机的加、减速过程是由起始频率和变换频率组成的, S 曲线实现的是变换频率的部分。课题组使用 STM32F103ZET6 芯片、DM542A 步进电机驱动器和 57 两相四线混合步进电机实现步进电机动态调速。57 两相四线混合步进电机步进角为  $1.8^\circ$ , 在低于 1 000 r/min 的转速下能保持良好的转矩性能。为了提高步进电机运行的平稳性, 对 STM32 的主时钟频率 72 MHz 进行 4 分频后用作定时器的时钟频率; DM542A 步进电机驱动器采用 32 细分, 即一个脉冲的角位移为  $0.05625^\circ$ , 实现 0 ~ 90 000 Hz 频率的动态调速, 转换成转速为 0 ~ 844 r/min。以最大调速, 即频率从 0 Hz 经 S 曲线增加到 90 000 Hz 建立 S 曲线模型, 取最大加速度对应的频率变化量  $f'_{\max} = 5\,000$  Hz/s, 加速度对应的频率变化量  $f'' = 1\,000$  Hz/s<sup>2</sup>, 得到 7 段加速 S 曲线<sup>[5]</sup>。对 S 曲线取点进行多次拟合, 试验表明采用 6 次多项式作为拟合曲线能很好地保留 7 段 S 曲线加速段优良的特性, 并能消除加速度曲线的拐点, 拟合后的曲线图像如图 3 ~ 4 所示。图 3 的拟合曲线截取时间为 0 ~ 22.4 s。

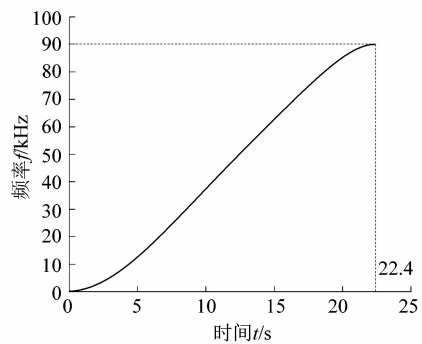


图 3 频率拟合曲线

Figure 3 Frequency fitting curve

由于拟合曲线采用 6 次多项式, 即拟合曲线只有 7 项特征, 梯度下降和正规方程都能很快求解出损失函数最小值的参数, 但相较而言梯度下降更擅长求解多特征的函数(特征值大于 10 000), 正规方程更适合求特征值较少的函数。用 MATLAB 计算正规方程求解得到  $\theta$  参数的组:

$\theta_0 = 86.339\ 127$ ;  $\theta_1 = 245.822\ 054$ ;  $\theta_2 = 508.687\ 301$ ;  $\theta_3 = 0.573\ 600$ ;  $\theta_4 = -3.256\ 022$ ;  $\theta_5 = 0.197\ 272$ ;  $\theta_6 = -0.003\ 721$ 。

拟合曲线的方程为

$$h_{\theta}(x) = \sum_{j=0}^6 \theta_j x^j \quad (19)$$

截取 0 ~ 22.4 s 内的频率导数拟合曲线,如图 4 所示。

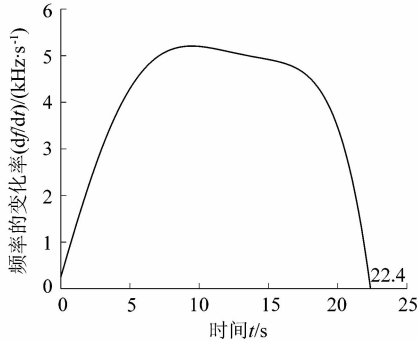


图 4 频率导数拟合曲线

Figure 4 Frequency derivative fitting curve

#### 4 动态调速

在实际运行过程中,频率的变化是离散的,需要对曲线离散取值。课题组采用等时间间隔数值的阶梯逼近升速 S 曲线取值,等脉冲数为阶梯实际维持长度的方案,示意图如图 5 所示<sup>[6-9]</sup>。

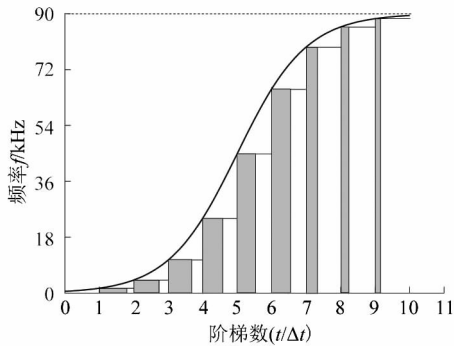


图 5 S 曲线离散取点示意

Figure 5 S curve discrete point selection

对于阶梯的维持时间的长度有等时长和等脉冲数 2 种方案。

1) 等时长方案。每个阶梯维持相同的时间,它能很好地反映 S 曲线的特性,但是第 1 个阶梯的脉冲数和最后 1 个阶梯的脉冲数相差很大。步进电机在调速时,步进电机的转子转过第 1 个步进角停下的位置时,转子会出现一定程度的震荡。为解决该震荡,需要增加几个同频脉冲使转子运行平稳,但同频脉冲过多并

不会继续提高其平稳性。

2) 等脉冲数方案。每个阶梯维持相同的脉冲数。在选取了合适的同频脉冲数后,能对 S 曲线的性能进一步优化,提高运行的效率。

选取同频等脉冲数作为阶梯维持时间,能在保持近乎相同的性能下,提高运行效率。经试验测得,5 作为同频脉冲数是一个较合适的值<sup>[10]</sup>。

取图 5 中 S 曲线与阶梯的接触点为离散的取值点,记为  $(t_k, f_k)$ 。 $k$  表示 S 曲线上取的第  $k$  个点,  $f_k$  表示第  $k$  个点运行的频率,  $t_k$  表示第  $k$  个点时间的数值。图 5 中  $\Delta t$  表示等时间间隔数值,  $\Delta t_k$  表示以  $(t_k, f_k)$  为起点的实际阶梯时间维持长度,即图中第  $k$  个灰柱条的宽度。

第  $k$  个阶梯实际的维持时间为

$$\Delta t_k = w \cdot t_{\text{pulse}_k} \quad (20)$$

在  $t_k$  点的实际运行时间为

$$t'_k = w \cdot \sum_{m=1}^k t_{\text{pulse}_m} \quad (21)$$

式中:  $t_{\text{pulse}_k}$  表示第  $k$  个点单个脉冲持续的时间;  $t_{\text{pulse}_m}$  表示第  $m$  个点单个脉冲持续的时间;  $w$  表示同一频率脉冲的个数。

S 曲线的理论取点  $(t_k, f_k)$  对应的实际运行点为  $(t'_k, f_k)$ 。

在动态调速过程中,脉冲频率(速度)增加的数值可以是 0 ~ 90 000 Hz 之间的任意值,所以不可能为每一个调速建立一个 S 曲线。为了实现范围调速,可以先建立一个通用的 S 曲线模型,然后对其进行拉伸、压缩以对应不同的调速。拉伸和压缩后的曲线仍会保留大部分原曲线特性。

通过给 S 曲线函数乘以一个系数  $\varepsilon$  得到需要的增速,即在纵轴上对实际 S 曲线进行压缩<sup>[11]</sup>。针对不同的增速,可选取相对应的等时间间隔数值  $\Delta t$  和同频脉冲数,保证动态调速的效率和稳定性。经多次试验表明,此方法有良好的动态调速性能。

经过试验发现,可以先获得某一同频脉冲数下步进电机不发生堵转的初速度、增速和等时间间隔数值  $\Delta t$  的临界关系表。然后取临界等时间间隔数值  $\Delta t'$  的 1/4 为稳定等时间间隔数值  $\Delta t''$ , 可得到初速度、增速和等时间间隔数值  $\Delta t$  稳定关系表。

将初速度、增速和等时间间隔数值  $\Delta t$  稳定关系图作为动态选择等时间间隔数值  $\Delta t$  的依据,协同优化后的 S 曲线算法写入内存,即可作为动态调速控制的核心,实现对步进电机进行平稳的动态调速。

### 5 结语

课题组通过优化七段加减速 S 曲线,在保留其优良特性的同时,消除加速度曲线存在的拐点,并将加或减速过程中的 3 段函数用 1 段函数替代,降低算法的复杂性,同时精简了代码。基于优化后的 S 曲线,采用等时间间隔数值的阶梯逼近升速 S 曲线取值,等脉冲数为阶梯实际维持长度的方案用于实际控制步进电机。经试验得到初速度、增速和等时间间隔数值  $\Delta t$  使电机平稳运行的关系。试验表明,采用本研究所述方法,步进电机在指定的范围内能进行平稳的动态调速。

### 参考文献:

[1] 黄兆斌,黄云龙,余世明. 几种步进电机加减速方法的对比研究及其应用[J]. 机电工程,2011,28(8):951-953.  
 [2] 王邦继,刘庆想,周磊,等. 步进电机控制系统建模及加减速曲线优化[J]. 电机与控制学报,2018,22(1):37-42.

[3] 郭新贵,李从心. S 曲线加减速算法研究[J]. 机床与液压,2002(5):60-62.  
 [4] 简毅,刘宝. 基于 AT91SAM9261 的步进电机 S 曲线加减速控制研究及实现[J]. 轻工机械,2012,30(3):62-66.  
 [5] 刘必旺,陆晓昌. 基于 STM32 和 THB6064H 的步进电机运动控制系统设计[J]. 江苏理工学院学报,2017,23(4):85-89.  
 [6] 王建,张玉峰,李磊. 步进电机加减速控制技术研究[J]. 工矿自动化,2006(6):65-67.  
 [7] 周团坤,张莹,杨晓明,等. 基于 STM32 的步进电机离散化 S 形曲线加减速控制方法[J]. 自动化与仪表,2017,32(6):62-66.  
 [8] 邓志豪,肖曙红. 脉冲数可控的步进电机 S 形驱动曲线实现方法研究[J]. 机床与液压,2019,47(2):159-162.  
 [9] 廖永富,罗忠,冉全. 一种新型 S 形曲线步进电机加减速控制方法[J]. 湖北第二师范学院学报,2015,32(8):32-35.  
 [10] 李晓菲,胡泓,王伟,等. 步进电机加减速控制规律[J]. 机电产品开发与创新,2006,19(1):122-123.  
 [11] 李海波,何雪涛. 步进电机升降速的离散控制[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2003,30(1):92-94.

(上接第 44 页)

[6] 陈松,李峰,黄霞. 温度对磁流变液材料及传力性能的影响[J]. 材料导报,2015,29(8):151-155.  
 [7] BENJEMAA M. Taylor's formula involving generalized fractional derivatives[J]. Applied Mathematics and Computation,2018,335(C):182-195.  
 [8] RAMASWAMY P, SHANKAR V, REGHU V R, et al. A model to predict the influence of inconsistencies in Thermal Barrier Coating (TBC) thicknesses in pistons of IC engines[J]. Materials Today: Proceedings,2018,5(5):12623-12631.  
 [9] GIES S,TEKKAYA A E. Analytical prediction of Joule heat losses in electromagnetic forming coils[J]. Journal of Materials Processing Technology,2017,246:102-115.

[10] 王建,汪永强,魏忠才,等. 磁流变液传动装置瞬态温度场分析[J]. 煤矿机械,2015,36(10):130.  
 [11] 杨建军. 传动装置磁流变液瞬态温度场研究[J]. 山东工业技术,2016(17):292-293.  
 [12] 冯科,陈登福,徐楚韶,等. Q235 钢主要热物理参数对连铸传输模型精度的影响[J]. 特殊钢,2004,25(4):28-31.  
 [13] 彭小强,尤伟伟,石峰. 磁流变液剪切屈服应力模型的理论分析与实验[J]. 国防科技大学学报,2006,28(4):110-114.  
 [14] 高春甫,张广,陈卫增,等. 非均匀磁场下磁流变液剪切屈服应力的温度特性[J]. 磁性材料及器件,2015,46(6):9-11.  
 [15] 潘胜,吴建耀. 磁流变液的屈服应力与温度效应[J]. 功能材料,1997,28(2):264-266.

[信息· 简讯]

· 行业简讯 · **西门子携手阿里巴巴 1688 为中国企业数字化转型提供支持**

西门子于 2016 年正式入驻阿里巴巴 1688 电商平台,建立西门子工业产品官方旗舰店,这也是西门子全球首家工业产品线上官方直营店。作为西门子工业产品销售渠道数字化创新的首次尝试,旗舰店已经成为西门子与中国企业交流与合作的又一重要平台,致力于以覆盖全产业链的端到端的产品和服务以及便捷、高效的服务体验,成为助力企业数字化转型的首选线上平台。

西门子工业产品官方旗舰店于 2020 年 2 月 17 日至 3 月 20 日开启新一轮推广活动。参与此次业务推广的产品和解决方案包括帮助成长型企业实现数字化转型“从零到一”的轻量型数字化解决方案 SIMICAS,用户可以随时随地上网“充电”的在线技术培训课程,以及 PLC LOGO!、低压变频器、工业开关电源、SIRIUS 系列电机控制与保护产品、按钮与指示灯、行程开关、低压配电产品、备品备件、官方售后维修和智能网关 IOT 等产品。

“中国有着广阔的制造业市场,如何让西门子优质的产品、解决方案以及行业知识和经验更广泛地触达中国的工业企业是我们始终坚持的事。”西门子(中国)有限公司执行副总裁、西门子大中华区数字化工业集团总经理王海滨表示,“入驻阿里巴巴 1688 是西门子深耕中国市场、与合作伙伴共同进行商业模式创新的举措之一。通过加速线上和线下资源的一体化布局,西门子将为更多中国企业开启一站式的数字化体验。”

通过整合线上、线下渠道以及广泛的行业资源,西门子致力于以更为便捷和灵活的方式为中国企业提供丰富和优质的产品及服务。

(梁秀璟)