

精密步进谐波传动的驱动控制

邢忠宝 谢 朝

摘要：本文介绍了一种由单片机和新颖的驱动模块 WNE8701 构成的新型精密步进谐波驱动器。探讨了精密步进谐波传动的驱动与控制问题，提出了实现高速运转的有效方法。

一、前 言

随着脉冲技术的迅速发展，步进传动在机器人、数控机、自动生产线、精密数控仪器和雷达等的数字分度定位跟踪系统中得到了广泛的应用。特别是近年来，由于宇航、智能、遥感、微电子技术和海洋开发工程等新兴科学技术的发展，对步进传动系统的体积、重量、结构、精度及其动态特性等性能指标，提出了更高的要求。为此我所先后研制成了多种体积小、重量轻、结构紧凑、分辨率高、分度定位精确、承载能力高、抗干扰能力强的精密步进谐波传动系统。本文仅讨论与该传动系统有关的驱动控制等技术问题。

二、精密步进谐波传动系统的结构

精密步进谐波传动系统主要由驱动器和精密步进谐波传动两大部分组成。

1. 精密步进谐波传动

该传动是由步进电机、波发生器、刚轮、柔轮和输出轴等几个主要部分组成。其特点为：分辨率高，回差小、承载能力大、运转平稳，是一种用于数控系统中较理想的新型传动装置。

2. 精密步进谐波传动驱动器

目前，步进电机驱动器常采用的有单电压驱动；常规的高低电压驱动；电流斩波驱动等结构形式，它们均存在着运行频率低、高频负载能力差、功耗和体积大等缺点。为此，用单片机技术和结构新颖的高低电压驱动组合模块研制成了由单片计算机、接口电路、驱动模块和电源等主要部分组成的精密步进谐波传动驱动器。它的框图如图 1 所示。其主要环节的功能为：

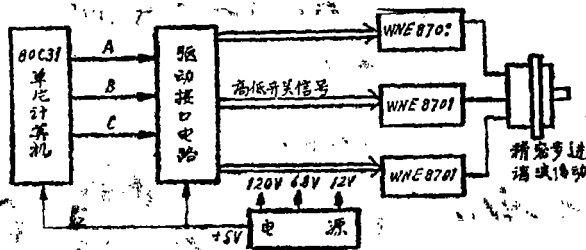


图 1 精密步进谐波传动驱动器结构框图

(1) 80C31单片机

该驱动器选用了体积小、抗干扰能力强的80C31单片机作为整个控制系统的核心。在驱

动电路中一些硬件组合电路难以达到的功能均可以由单片计算机来完成。用单片机实现控制无论是精密步进谐波传动系统所需的控制信号、旋转速度、还是旋转角度、旋转方向都可以十分方便的用计算机的软件来实现，而且还可以同时控制多台步进谐波传动并以不同的控制方法，不同的转速工作。

(2) 驱动器接口电路

该接口电路完成信号的传输、脉冲整形和干扰脉冲信号的抑制等功能。从而满足驱动电路的逻辑要求和时间关系。

以A相为例，其接口电路和工作时序如图2所示。

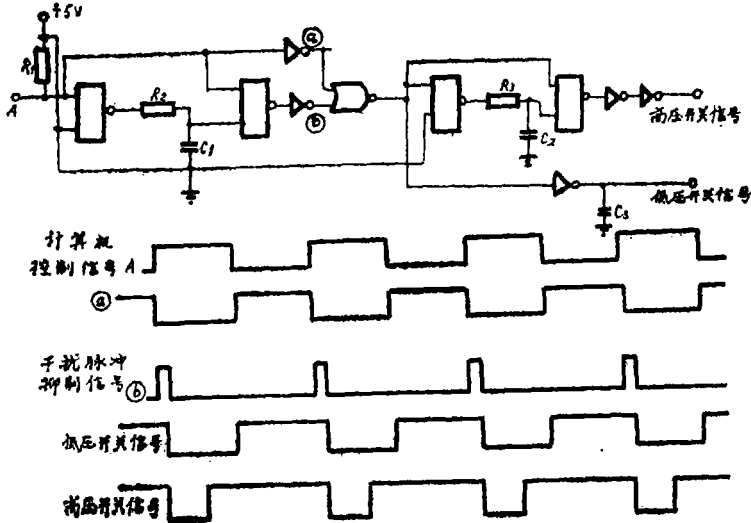


图2 驱动器接口电路、工作时序图

(3) 驱动组合模块WNE8701

该传动中采用了一种新颖的组合驱动模块 WNE8701，它负责控制信号的转换、放大、驱动步进谐波传动运转。此模块的特点为：

体积小、重量轻、可靠性高；采用双电源工作、高压120V低压6.8V、输出电流10A；

高压开关输入信号和低压开关输入信号要求符合 TTL 标准电平。高压开关时间可由接口电路中的定时元件R和C来调整。该驱动器的高压导通时间经理论计算和实验确定为150μs。导通时间长短直接影响着该传动系统的工作运行频率，导通时间过长可能烧毁驱动模块 WNE8701。

该组合模块中，内部含有光电耦合器。将单片机和驱动电路从电气上隔离开来，防止功放级的高压和其它干扰信号影响计算机的正常工作，使精密步进谐波传动驱动器具有较高的抗干扰能力。

使用证实这种新型驱动器具有运行频率高、矩频特性好，抗干扰能力强，体积小，结构紧凑等优点。它可使精密步进谐波传动系统在负载运行的状态下，频率高达12000Hz。其升速至高速的过渡时间小于0.5秒。

三、精密步进谐波传动的驱动与控制

以单片机为控制核心的精密步进谐波传动开环控制系统，由于具有良好的动态性能、精

度高、控制方便、价格低廉等优点，必将会被越来越多的人所认识。因此对该传动系统的驱动与控制方法的探讨会有助于该传动系统的推广与应用。

1. 基本驱动方法和控制程序的设计

精密步进谐波传动的驱动器本身没有设置环形分配器，而是靠单片机输出的指令改变并行输出口上各位的逻辑电平来控制电机各相绕组的通断状态，为其提供驱动脉冲。对于该传动系统采用六拍驱动控制。三相通电的顺序为：

正转：A→AB→B→BC→C→CA

反转：A→AC→C→CB→B→BA

由上述通电顺序可对应地写出单片机每拍向锁存器送入的驱动码应为：

正转：01→03→02→06→04→05

反转：01→05→04→06→02→03

将驱动码以表格的形式存放在RAM里，在驱动过程中供单片计算机查用。

精密步进谐波传动的控制量为转向、转速、转角。它们可通过编程分别予以实现。具体措施为：运转方向由输入到电机绕组中的脉冲顺序决定；转速通过改变输入驱动码的延续时间 t 来调节；旋转角度由控制驱动码的个数 N 来控制。

由此，可写出精密步进谐波传动最简单的控制程序流程图如图3所示。

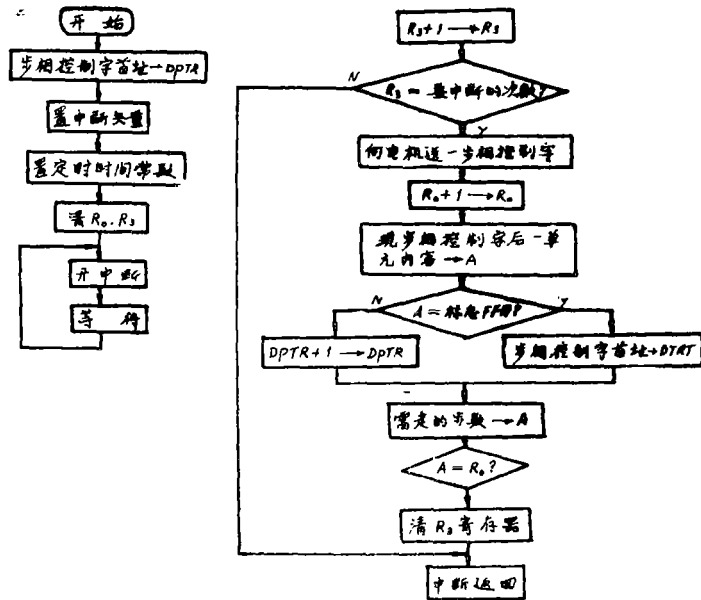


图3 精密步进谐波传动控制程序流程图

该程序中驱动码的延续时间 t 由80C31单片机内部定时器来完成，以便CPU能够有更多的时间去处理其它工作。

2. 快速启动分析和控制程序设计

当精密步进谐波传动系统用于数控机床、舰船雷达调频控制系统等领域时，则要求它在极短的时间内，能在不失步的情况下达到高速运行。为了保证其快速性，则必须寻找实现快速启动的方法。

(1) 影响快速启动的因素

影响该传动系统快速启动的主要因素是传动装置的转动惯量、刚度、固有频率、负载力矩、驱动器的电路结构和动态性能。

(2) 实现快速启动的方法

为了克服上述影响快速启动的因素，可利用计算机技术来改变该传动中电机的脉冲供给方式，即采用升降频的方法，来实现该传动系统的快速启动，从而可提高整个传动系统的运行频率。

实际上，该传动在升频过程中，往往拖动的静负载力矩并不大，见图 4。其动、静态转矩特性曲线重叠范围较大，升频时可能转子转角一时没能跟上定子第一周期的步进旋转磁场，但第二个周期、甚至第三周期、第四周期……转子都还能处在定子旋转磁场的作用下不断加速。如果能总是在转子转过一个步矩角时切换电机绕组通断电，则能使整个启动过程处于最大可能转矩的情况起动，以保证加速最快且不失步。

精密步进谐波传动系统正是利用上述规律采取所谓“变步”变频的方法来发现高频运行时的快速启动控制。该传动先在某频率 f 下运行几步后，突然脉冲频率“突跳”到 $f + \Delta f_1$ ，再运行十几步后“突跳”到 $f + \Delta f_1 + \Delta f_2 \dots$ ，直到频率达到指定值时，停止升频（降频反之），其升降频规律如图 5 所示。

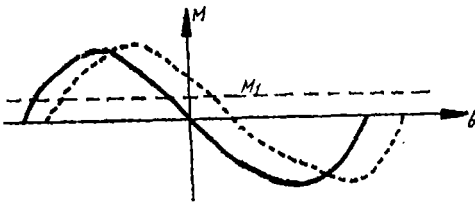


图 4 矩角特性曲线

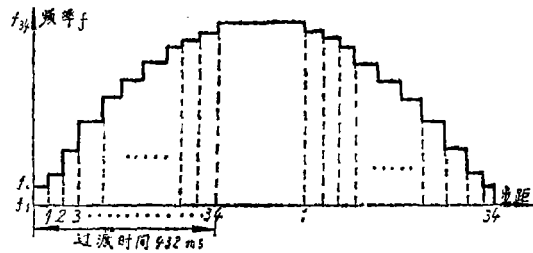


图 5 精密步进谐波传动的频率一步长关系曲线

(3) 快速启动控制程序的设计

单片机控制该传动的升降频过程是以阶梯跳跃的形式，将其运行频率逐级改变，直至达到预定的数值。首先将每个阶梯频率换算成相应的时间常数（见表 1），并以表格的形式存放在 RAM 里，同时也将每个阶梯频率下应该走多少步的步数也存放在 RAM 里。然后，在升频过程中供单片机查用。RAM 存储器中存放的时间常数就决定了每拍的持续时间，亦即决定了该传动的现行工作频率。要改变频率只需改变时间常数表格的档次。

另外，转矩是频率的函数、频率高时转矩小。如果该传动系统在高频时输入脉冲频率的增加率 df/dt 取得较大，则会由于无足够的转矩保持电机转速同步跟随输入脉冲的变化而出现失步。所以在高频时输入脉冲的频率变化应减小，这由表 1 可看出。

为了达到快速升降驱动的目的，将升速过程分成 34 个阶梯，最佳阶梯数由理论计算和实验确定。精密步进谐波传动升频阶梯高度计算公式如下：

$$\Delta f \approx -\frac{1}{2} \left[\sqrt{f^2 + \frac{4I}{\alpha J} (M - M_2)} - f \right]$$

式中： I —过渡过程拍数； f —升频前运行频率； α —电机步距； J —转动惯量； M —负

表1 快速升降时间常数及有关数据表

台阶数	时间常数	运行步数	每六拍时间 ms	频率 c/s	升降拍数	升降速时间 ms
1	<i>F A H</i>	30	8.4	714	60	84
2	<i>A D H</i>	30	8	750	120	164
3	<i>A B H</i>	30	6.8	882	180	232
4	<i>92H</i>	30	6.2	968	240	294
5	<i>88H</i>	30	5.2	1154	300	346
6	<i>6 A H</i>	30	5	1200	360	396
7	<i>68H</i>	30	4.8	1250	420	444
8	<i>64H</i>	30	4.4	1364	480	488
9	<i>5 C H</i>	30	3.4	1765	540	522
10	<i>46H</i>	30	3.2	1875	600	554
11	<i>43H</i>	30	3	2000	660	584
12	<i>3 E H</i>	30	2.6	2308	720	610
13	<i>37H</i>	30	2.4	2500	780	634
14	<i>32H</i>	30	2.2	2727	840	656
15	<i>2 F H</i>	30	2.0	3000	900	676
16	<i>2 B H</i>	30	1.8	3333	960	694
17	<i>26H</i>	30	1.7	3529	1020	711
18	<i>24H</i>	30	1.5	4000	1080	726
19	<i>21H</i>	30	1.4	4286	1140	740
20	<i>1 F H</i>	30	1.3	4615	1200	753
21	<i>1 D H</i>	60	1.2	5000	1320	765
22	<i>1 A H</i>	60	1.1	5455	1440	776
23	<i>17H</i>	60	1.0	6000	1560	786
24	<i>15H</i>	60	0.9	6667	1680	795
25	<i>14H</i>	120	0.86	6977	1920	803.6
26	<i>13H</i>	120	0.84	7142	2160	812
27	<i>12H</i>	120	0.8	7500	2400	820
28	<i>11H</i>	90	0.76	7895	2580	827.6
29	<i>10H</i>	90	0.72	8451	2760	834.8
30	<i>0 F H</i>	90	0.68	8824	2940	841.6
31	<i>0 E H</i>	30	0.62	9677	3000	847.8
32	<i>0 D H</i>	30	0.58	10345	3060	853.6
33	<i>0 C H</i>	30	0.52	11539	3120	858.8
34	<i>0 B H</i>	30	0.48	12500	3180	863.6

载转矩; Δf —升频台阶增量值。

综上所述, 利用80C31内部定时器对驱码持续时间 t 进行定时编制了精密步进谐波快速升频的控制程序。程序流程如图6所示。

该程序的设计思想: 主程序采用中断结构, 其功能是进行定时器初始化、设置指针、连续驱动两拍、根据快速启动、匀速运行设置两个相应的中断服务程序, 而且将该传动系统所需的三相六拍硬件环形分配器改在程序中实现。该传动的工作频率通过80C31内部定时器来决定。定时器按给定的时间常数计数, 在减1计数器回零时产生中断去执行中断服务程

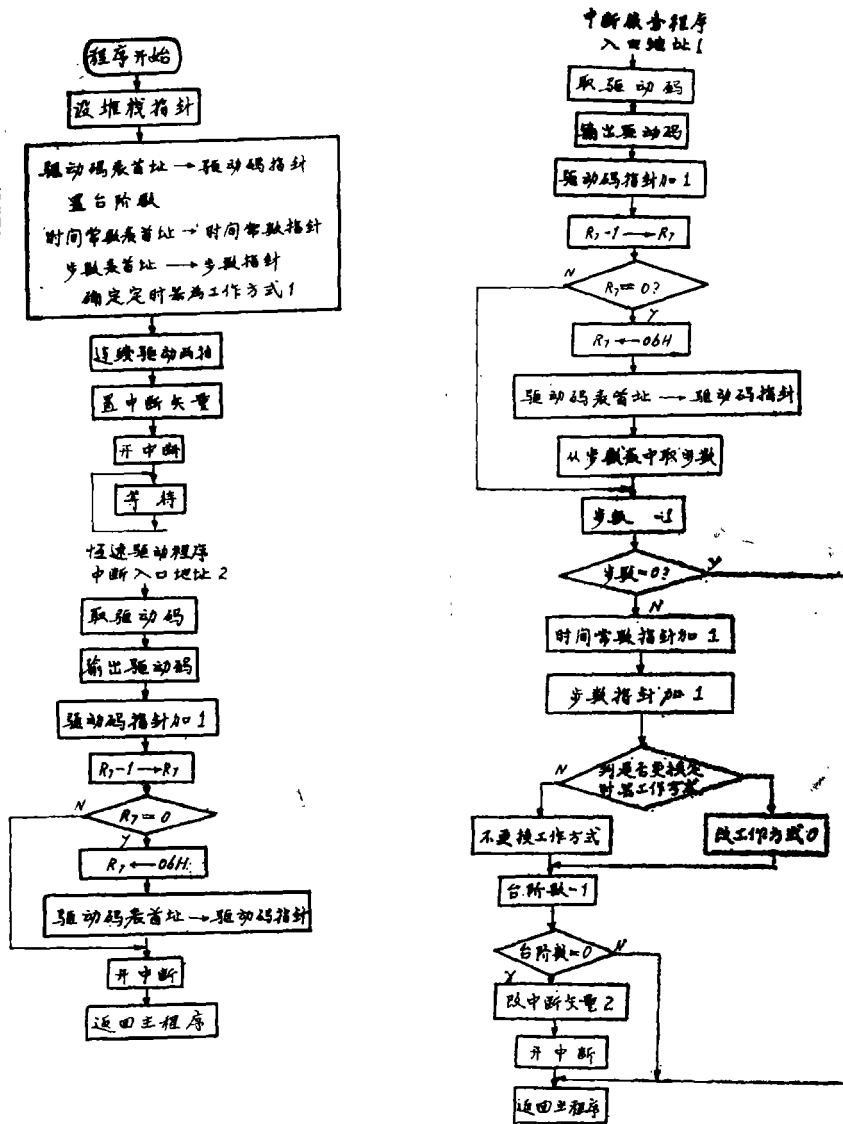


图 6 精密步进谐波传动快速启动控制程序流程图

序，在中断程序中完成脉冲分配并输出一个驱动脉冲，以及每一给定频率下走多少步的判定及是否更换定时器工作方式的判定。由于该传动在低频启动时时间常数较大，开始时定时器工作在方式 1，最大定时间隔 131.072ms，然后经过若干个频率变化后，定时器改为工作方式 0，最大定时间隔 16.384ms。

四、结 束 语

通过上述对精密步进谐波传动的驱动控制问题的探讨，解决了该传动在实际应用中驱动及高速运行控制等问题。研制的精密步进谐波传动系统已成功的用于舰船雷达调频数控系统和港口监视数控云台等领域，均取得了良好的效果。

参 考 文 献

- [1] 邢忠宝; 光学机械, 1987年第二期
- [2] 莫蓉; 自动化仪器与仪表, 1982,(2)
- [3] 鄢定明; 单片计算机应用技术, 人民邮电出版社, 1988年

Precision Step-harmonic Driving and Controlling

Xing Zhongbao Xie Zhao

Abstract

This paper introduces a new type of precision step-harmonic driver with a single-chip microcomputer and a WNE8701 driving module, including a discussion of an effective method to realize its high-speed running.