

101842 101842
全国经济型机床数控系统开发及应用技术交流会

技术资料选编

机械工业部中南电气自动化情报网翻印

1987·2

目 录

1、微机控制四坐标联动立体铣床数控系统	1
2、高效率步进电机驱动电源	9
3、一种用在MNC-360微机数控机床上的 新型原点——霍尔原点	12
4、应用CTC实现步进电机升降频最佳控制	13
5、DSC-I型数控车床控制系统	16
6、一种用于经济型数控机床的自动对刀法—— 电接触法多工位自动对刀简介	21
7、应用微处理器对步进电机的闭环控制	26
8、活塞环数控车床	37
9、经济型数控车床步进电机驱动器的新设计	42
10、机床数控系统干扰的来源及其抑制方法	48
11、直流伺服电机的脉宽调速	51
12、在经济型数控车床上实现自动对刀与自动断屑	56
13、110BYG001型感应子式永磁步进电机MCS-35 型单片机在经济型车床数控系统上的应用	63
14、步进电机选用初探	66
15、磨床微机数控装置	68
16、提高经济型数控车床自动回转刀架可靠性的探索	74
17、一种快速插补法	79
18、具有能量前馈的步进机驱动系统	85
19、数控系统的抗干扰特性测量与提高	88
20、微机数控非圆曲线的车削加工——数控 机床改造的一个新领域	91
21、磨床经济数控系统	94
22、LWK-1拉床微机控制器介绍及技术研讨	97
23、简易数控车床对刀系统	100
24、铣床微机控制	106

微机控制四坐标联动立铣床数控系统

西南交通大学 蔡 淮

一、概 述

微机控制四坐标联动铣床是使用 Z80 单板机, 通过 SK4-80 数控软件实现立式铣床 X、Y、Z 和 ϕ 四轴联动控制, 具有任意空间直线和平面圆弧的插补功能; 具有刀具半径补偿、齿隙补偿、凸凹加工和镜像对称加工功能; 并具有字符显示、键盘输入、磁带机转储、纸带输入、进给量显示、排错、插入和手动等辅助功能, 是自动化程度很高的机床。

四轴联动铣床的控制系统是以 Z80 单板机为核心, 用少量双列直插式标准电子元件组成接口, 与环形分配器、驱动器组成完整的控制系统 (总框图见图 1), 具有可靠性高, 使用方便, 维修简单的特点。

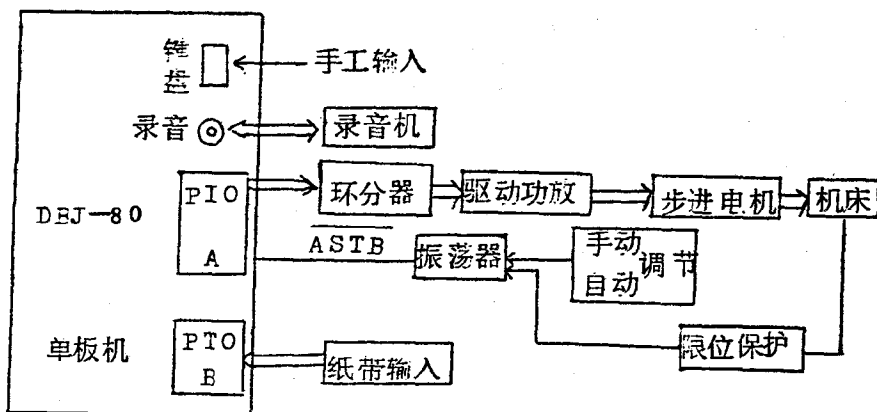


图1 控制系统总框图

该系统插补运算采用数字积分法, 可对任意空间直线和曲线进行积分, 可以很方便地产生四维或五维空间的直线函数, 这种多坐标联动的性能是逐点比较法和最小偏差法所不能比拟的。SK4-80 数控软件在研制过程中, 由于较好地解决了规格化和积分器容量的问题, 圆弧和直线具有同样的加工速度 (可达 1 m/min)。SK4-80 占有 3.2 K 内存, 固化在 2 片 2716 EPROM 中。

二、技术指标

1. 四坐标联动铣床可完成空间直线面、空间直线和平面圆弧插补运算; 脉冲当量 $= 0.01 \text{ mm}$, 直线可控最大行程 $L_{\max} = 10\sqrt{2} \text{ m}$, 圆弧可控最大半径 $R_{\max} = 10 \text{ m}$ 。

2. 具有刀具补偿 (刀具最大直径 $d_{\max} = 200 \text{ mm}$)、齿隙补偿 ($Z_{\max} \leq$

1. 0.0 mm)、凸凹模控制、镜像对称加工、查错、插入、手动和单步进给等辅助功能。

3. 输入方式：磁带转储、键盘输入（有字符显示）、并备有纸带机接口，可以和八孔纸带（ISO码）相连。

4. 二坐标联动采用BK-211A数控系统编程，该系统代码符合ISO-840标准规定。

5. 加工进程中可显示X、Y、Z、 ϕ 四坐标变化量、进给方向和当前加工段段号。

6. 环境温度 $0^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{C}$ ，电压 $220\text{V}\pm 10\%$ 可连续运行。

7. 进给速度 $F < 1\text{m}/\text{min}$ 连续可调，可中途暂停插入手动后再自动进给。

三、工作原理

SK₄-80 监控软件由键盘分析、显示、编辑、进给控制和辅助功能五个模块组成，共为3.2 K字节，可通过键盘命令调用或用“PROM I RST”起动。SK₄-80程序的总框图如图2。

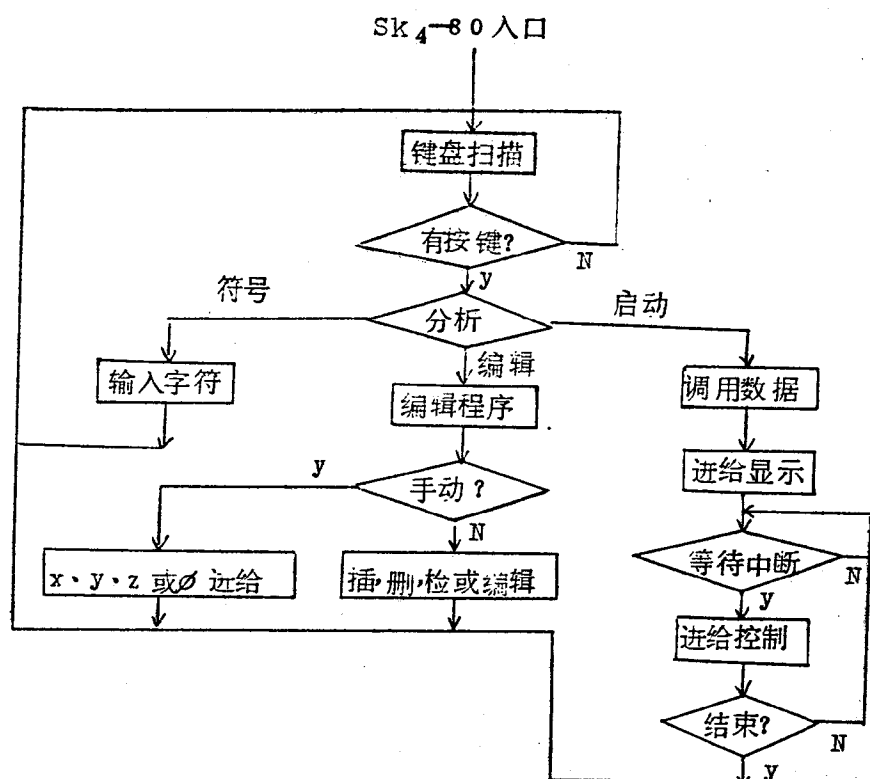


图2 SK₄-80 总流程图

1. 键盘分析

Z80单板机使用的28个按键是使用软件扫描的方法进行定义，重新定义的键盘如图3所示。

段删	初位	→	下档	
←	按段 查找	单个 删除	上档	
$\frac{7}{y}$	$\frac{8}{z}$	$\frac{9}{\varnothing}$	启动	暂停
$\frac{4}{k}$	$\frac{5}{\theta}$	$\frac{6}{X}$	$\frac{+}{-}$	MON
$\frac{1}{G}$	$\frac{2}{I}$	$\frac{3}{J}$	$\frac{J}{\varnothing}$	STEP
$\frac{0}{N}$	待定 F	待定 M	单步	EXEC

图3 SK-80-4 键盘

2 显示

SK₄-80 中的显示分成两类：一类是人机对话输入数据时，用原有的六个数码管显示输入的字母或数字。另一类是显示加工中数据变化情况，共24个数码管，每6个为一组，分别显示x、y、z和 $\varnothing$ 的数值。x、y、z各占六位，在加工半径小于1mm时，最高位为符号位，余下五位为坐标变化值；在加工半径大于1mm时，全部为坐标变化值。 $\varnothing$ 只占四位，前面两位显示当前加工程序的段号。采用扫描显示。

3. 编辑程序

数控编程人员所熟悉的是“数控编程语言”，目前用户常用的有3B格式和ISO标准格式等多种格式。我们选用的BK-211A数控系统的程序编写格式，符合ISO国际通用编码方式，可以直接由自动编程的后置处理得到。SK₄-80翻译工作由编辑模块完成。

编辑模块的主要功能有三个：

- (1) 对给定的命令（分为有后继性和无后继性两类）进行组合，装配成标准命令格式。如：G01、G17、G37、G42命令组合为1772。
- (2) 根据标准命令，对给定的数据进行装配。BK-211A数控语言是以ASCII码输入，每个字节存放一个数字，Z80指令系统中的十进制运算是使用BCD码，每一字节存放两位BCD码表示的十进制数。因此，装配分两步完成，首先，通过查表的方式把ASCII码转换成BCD码；然后，按“权”的大小把两个数字拼成一个字节。对BK-211A中沿用的数值为“0”时不输入的位，自动填上“0”，数据都成为用六个BCD码表示的十进制数（占3字节）。符号位集中存放在一个字节内，如表1所示，数据整理后的标准格式如表2所示。编辑后的数据格式规整，每段程序由27个

字节组成。

(3) 对程序中需要刀具补偿部分, 根据刀具半径 R , 进行刀补计算, 修改表 2 中各项数值。

坐 标 符 号

表 1

$+\Delta\phi/7$	$-\Delta\phi/6$	$+\Delta Z/5$	$-\Delta Z/4$	$+\Delta Y/3$	$-\Delta Y/2$	$+\Delta X/1$	$-\Delta X/0$
-----------------	-----------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

编 辑 后 数 据 格 式

表 2

内 容	命 令	符 号	I	J	K	θ	x	y	z	ϕ
字节数	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3

编辑采用一次扫描的方法, 边扫描边处理, 编辑完成后自动返回键盘分析程序。数据用键盘一次输入, 输入过程中用数码管显示。

4. 进给控制

这是微机控制机床的核心。由于在编辑过程中已把数据格式化, 并把符号位分离出来, 因此, 运算过程中可看作无符号数运算, 空间的八个象限和平面的四个象限都可归结成同一象限来处理, 计算结果再根据符号位的情况发出进给脉冲, 控制步进电机运转。由于对不同情况进行了综合, 把有符号数运算变成无符号数运算, 使程序大为简化, 进给控制约占 $0.5K$ 内存。另外, 在算法上采用了积分法, 和逐点比较法相比不仅精度高, 而且程序简单, 运算速度快。逐点比较法不适用于多坐标插补运算及多坐标联动控制。

应用数字积分法, 由下面推导可以看出: 各坐标的进给只与本身函数积分 (累加) 结果是否溢出有关, 而与动点位置无关, 各坐标在积分过程中是独立的。当坐标数增加时, 仅仅增加积分个数, 而不改变进给条件, 对多坐标线性函数的处理与平面线性函数一样简单。如图 4 中直线 OM 的起点在坐标原点, 终点坐标 (X_M, Y_M, Z_M) , 截取一段 PQ , 在 x, y, z 上的分量分别是 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, 由相似三角形关系得:

$$\Delta X : \Delta Y : \Delta Z = X_M : Y_M : Z_M$$

产生 Δ 位移时, 必须在同一时间间隔 Δt 内走完 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 。引入参量 Δt ,

上式可转化为下列参量方程:

$$\Delta X = kX_M \cdot \Delta t$$

$$\Delta Y = kY_M \cdot \Delta t$$

$$\Delta Z = kZ_M \cdot \Delta t$$

由绕 x 轴摆角 ϕ 和 x, y, z 坐标组成的四维空间直线函数, 各坐标的相对运动仍符合所规定的直线函数关系, 可得到下列参量方程:

$$\Delta X = kX_M \cdot \Delta t$$

$$\Delta Y = kY_M \cdot \Delta t$$

$$\Delta Z = kZ_M \cdot \Delta t$$

$$\Delta \phi = k\phi_M \cdot \Delta t$$

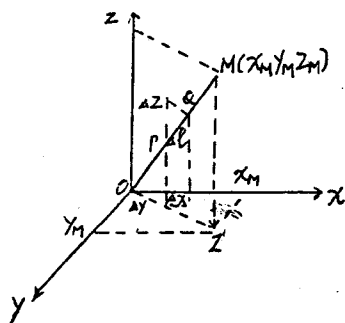


图 4 空间直线

式中 k 是比例常数, 令 $\Delta t \rightarrow 0$ 则空间直线积分为:

$$x = \int_0^{t_0} kX_M \cdot dt$$

$$y = \int_0^{t_0} kY_M \cdot dt$$

$$z = \int_0^{t_0} kZ_M \cdot dt$$

$$\phi = \int_0^{t_0} k\phi_M \cdot dt$$

因数控机床采用步进的方式, 把 $0-t$ 分成若干等份, 每份时间 Δt 为一个步进当量(脉冲当量), 则:

$$X = n \cdot k \cdot X_M \cdot \Delta t$$

$$Y = n \cdot k \cdot Y_M \cdot \Delta t$$

$$Z = n \cdot k \cdot Z_M \cdot \Delta t$$

$$\phi = n \cdot k \cdot \phi_M \cdot \Delta t$$

同理, 可得到由(X 、 Y 、 Z 、 ϕ 和绕 y 轴摆角 θ)组成的五维空间积分公式:

$$X = n \cdot k \cdot X_M \cdot \Delta t$$

$$Y = n \cdot k \cdot Y_M \cdot \Delta t$$

$$Z = n \cdot k \cdot Z_M \cdot \Delta t$$

$$\phi = n \cdot k \cdot \phi_M \cdot \Delta t$$

$$\theta = n \cdot k \cdot \theta_M \cdot \Delta t$$

根据加工要求, 控制各坐标同时运动, 可以合成某一空间曲线轨迹。对极坐标而言, 圆弧、阿基米德螺旋线都属于直线函数的范畴。因此, 直线函数是指满足线性方程式的一切函数, 不只是一条直线而已。这种多坐标联动的性能是逐点比较法所不能比拟的。有关内容参见文[1]。

由上面推导不难看出, 空间直线与平面直线相似, 只是积分式个数随坐标的增加而增加。 k 是常数, 适当选择 k 的大小, 即选择积分器的容量, 每采一个 Δt 时, 积分器累加直到溢出时产生进给。积分过程程序清单如下:

LOOP: LD HL, BUFX; 积分首址 $\rightarrow$ HL

CALL THREEA; 积分器 X 累加一次THREEA是三字节加法子程序

CALL C, OUTX; 溢出时发 ΔX

CALL THREEA; 积分器 Y 累加一次

CALL C, OUTY; 溢出时发 ΔY

CALL THREEA;

CALL C, OUTZ; 溢出时发 ΔZ

CALL THREEA;

CALL C, OUT $\emptyset$; 溢出时发 $\Delta \emptyset$

LD A, C
CP 00H
JR Z, LOOP
RET

}; 有进给时 $C \neq 0$, 当 $C = 0$ 无进给时再次积分

为了使积分占用较短的时间, 对被积函数 X 、 Y 、 Z 和 $\emptyset$ 首先规格化, 因此, 最多累加两次积分必定有溢出, 产生进给。SK₄-80 中插补运算流程如图 5 所示。

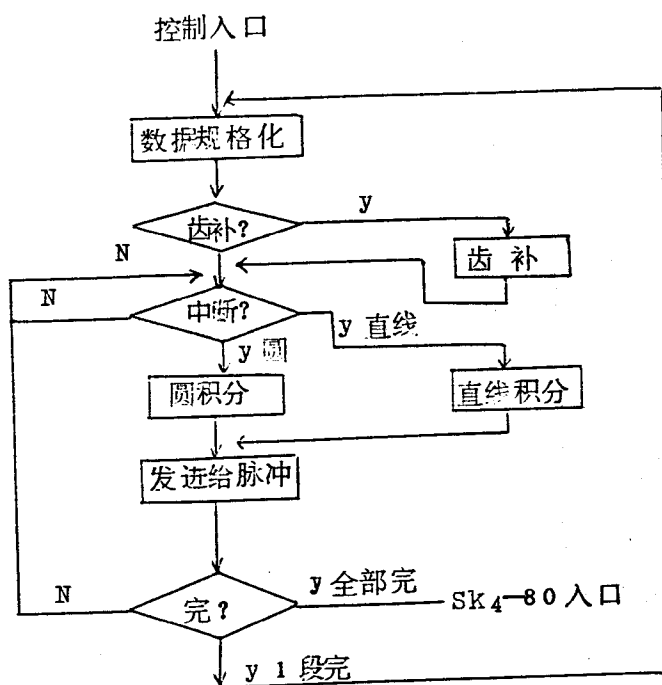


图 5 插补运算流程图

5. 辅助功能

SK₄-80 系统为了能够方便用户, 增加了单步进给、齿隙补偿、刀具半径补偿、快速磁带转录、镜像加工等辅助功能。

镜像加工功能是对轴对称几何零件的加工方法, SK₄-80 系统可实现 X 、 Y 、 Z 三个坐标轴的镜像加工。编制一个程序就可加工各种对称的工件, 编短编程时间, 提高工效。

四、硬件接口简述

Z80单板机与执行部分的接口力求简单，考虑到适应各种步进电机和脱机手动进给的要求，使用硬件环形分配器，环分器由国产TTL组件搭成，接口框图如图6所示。

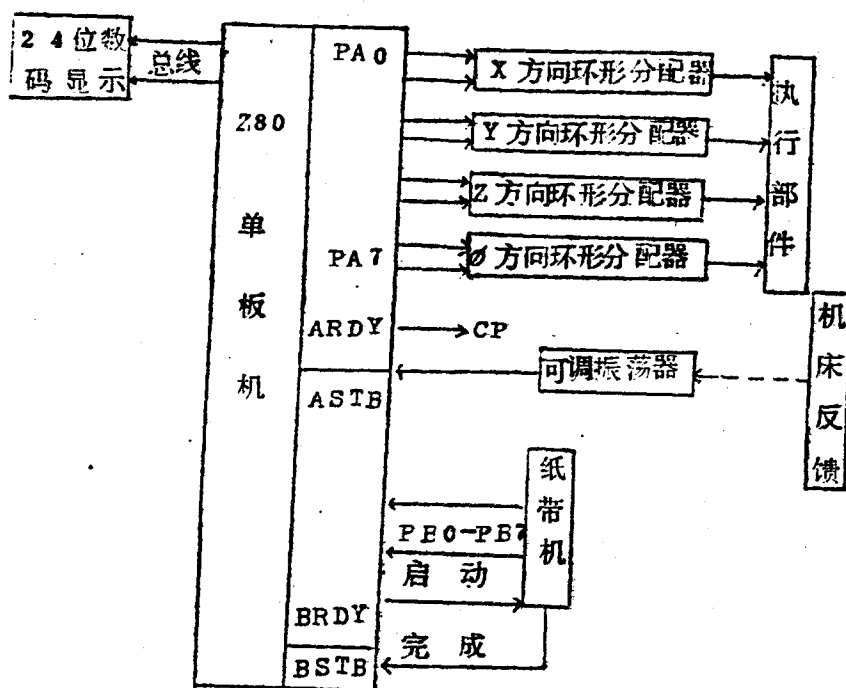


图6 接口框图

Z80单板机的PIO-A口设置输出方式，用作进给输出，PIO-B口设置成输入方式，作为纸带机输入备用接口。

五、经济效益和运行情况

SK₄-80控制系统1984年9月开始研制，经过调试和各项指标的测试，于1985年6月投入运行。经受了温度变化，电压波动和各种干扰的考验，运行中尚未发生故障，证明该系统性能稳定，运行可靠，抗干扰能力强。1985年12月由四川省计经委主持通过了技术鉴定。

使用期间加工了凸轮、空间直纹面等工件，具有四轴联动功能，解决了汽轮机851叶片关键加工工艺问题。根据已加工工件进行核算，四个月可回收投资，每年获利在5万元以上。

购买具有同样功能的FANUC—105（日本富士通）数控铣床40万美元/台；上海第四机床厂引进国外技术生产的XK—715F数控铣床35万元/台。SK4—80数控系统仅投资一万五千元，改造了一台闲置十年之久的CK—5040铣床，用其加工851叶片背弧和其它工件，SK4—80与FANUC—105相比较，工效相同。

参 考 文 献（略）

（本文有较多删节，全文原载西南交通大学学报1986年第3期）

高效率步进电机驱动电源

沈阳市机床设计研究所 沈阳市建新机床电器厂

本文所介绍的系统、采用高效率恒流斩波型驱动电路、步进电机装有角位移发生器、用单片机对步进电机的运行状态进行控制和分析、从而形成闭环,系统的可靠性和效率提高了,而价格约为目前宽调速直流电机系统的30%左右,因此在经济数控系统中有广泛的应用前景。

(一)

步进电机的工作特性在很大程度上取决于驱动电源的性能。对步进电机的每一相绕组来说、驱动电源等效于一个大电流无触点开关。理想的驱动电源是应使通过绕组的电流尽量接近于矩形波形。由于电机绕组有很大的电感,要做到这点是很困难的。

图一是使用双极型功率晶体管的两种传统的驱动电路,(A)小功率步进电机驱动电路,(B)高压——低压定时切换电路,这些电路的共同问题是:损耗大,效率低,而且、由于双极型大功率晶体管存在二次击穿问题、很容易在使用中损坏。国内外也曾采用晶闸管,但电路复杂、抗干扰性能不好。

大功率场效应晶体管(V MOSFET)是一种新型的高压、高速、大电流器件,它的驱动功率很小,无二次击穿问题,很适宜于作步进电机的驱动器件。应用VMOS管的电路见图二,其原理如下:

当进给脉冲来到时, V_1 和 V_2 先均导通,步进电机绕组L被接入电源、电流迅速上升,当达到一定幅值时,电阻RS两端电压大于电压比较器的同向输入端电压,电压比较器输出为0、锁住与门4023从而断开 V_1 。由于绕组中电流不会突变,它将通过 D_2 继续流动,如图三(A)所示。这个电流将逐渐衰减,并在某一数值(一般取工作电流值的90%左右)使电压比较器翻回来再次接通 V_1 ,这样,在进给脉冲持续期间、始终保持L中有一定幅值的电流流过。当进给脉冲消失时, V_1 和 V_2 均断开,主电路的续流回路如图三(B)所示,绕组向电源送回能量,并形成很陡的电流脉冲后沿。

图四是三相步进电机(110BF003:80V 6A 0.8kg-M)用新研制的电路驱动,当进给脉冲频率为1kHz,2kHz,3kHz,和6kHz时一相绕组的电流波形图。

这个电路有如下特点:

1. 效率高:由于 V_1 和 V_2 都工作在开关状态,通过斩波以获得步进电机所需要的工作电流,所以其效率比通常电路要高得多。上述0.8kg-M电机在1kHz频率下运行消耗功率为140W左右,驱动电源上器件表面温升不超过25℃,因此不需加风冷措施。

2. 电源电压适应性好,这也是恒流斩波电路的一个突出优点。当电源电压在70—120%额定电压范围内变化时,在一定频率范围内能保证输出电流 I 恒定、即保证步进电机转矩基本不变。

3. 主电路电流幅值和波形调整方便,通过改变电压比较器同向输入端设定电压的

幅值和波形，就可以改变步进电机绕组的电流波形。例如，很容易形成一个前高、后低的电流波形。这样既提高步进电机的动态转矩，又减小了它在“定相”状态的静态损耗。

这个电路开关管所承受的电压在任一瞬间不超过电源电压，所以，可以采用较高的电源电压以获得数控机床所需要的快移速度。实验表明，可达到10 M/分或更高。

(二)

此闭环系统的原理框图和与单片机有关的硬件线路图如图五所示。其工作原理是这样的：

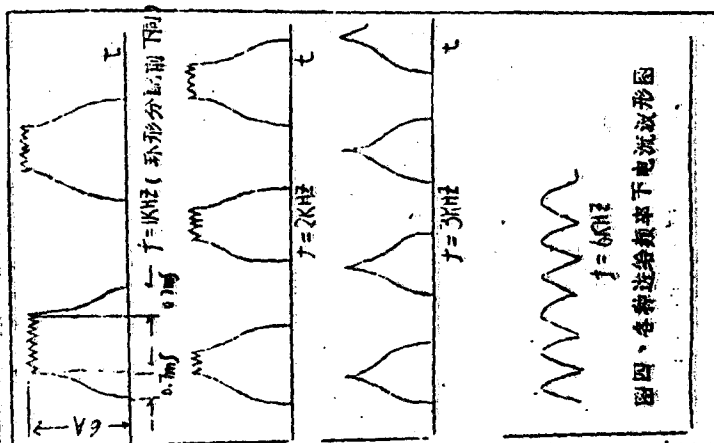
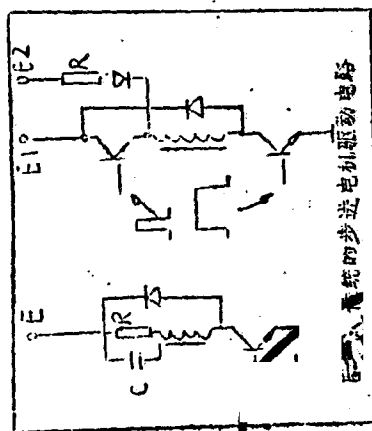
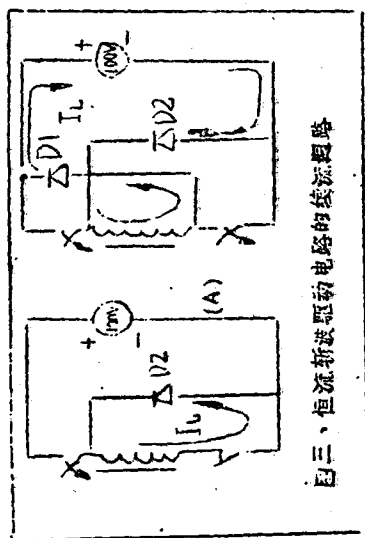
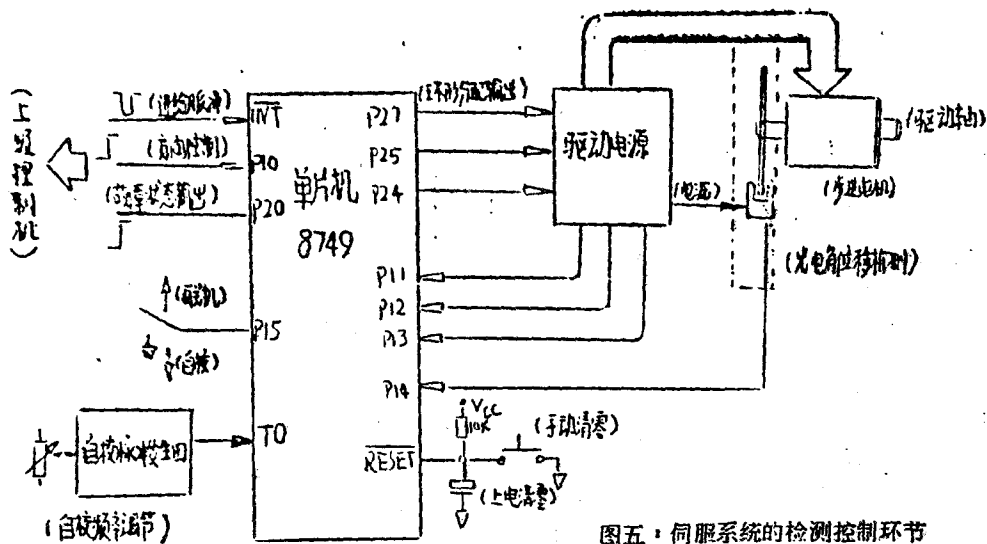
当上级控制机发出的进给脉冲到来时，单片机予以接收（由于采用“中断”方式输入，可保证不会因处理其它内容而“遗漏”进给脉冲数）。控制机送进来一个脉冲，单片机内由两个工作寄存器所组成的一个16位可逆计数器便加1；只要上述可逆计数器存数不等于0，单片机就定时改变三条输出线的状态使步进电机一步一步走下去，定时的长短又取决于计数器存数的多少。步进机每走一步，上述可逆计数器减1。这样，就完成了步进电机的自动缓升、缓降速控制。

每送出若干个脉冲数，步进电机应旋转一定角度，它将通过角位移发生器发回角位移检测信号，由单片机进行检查，反馈回来的脉冲间隔是不是在允差范围内。如果步进电机的实际转角和送给它的脉冲相协调，系统继续运行，否则，单片机向上级机发出“伺服系统出现故障”信号。

此外，当驱动电源的输出相位状态不正确，或者发生了主电路过流等故障时，单片机也能进行诊断并发出告警信号，所以，单片机完成了自动升降速控制，环形脉冲分配，步进电机转角检测和驱动电源故障诊断等多种功能。

单片机采用8749，这是一种八位单片机，它具有128个在片RAM和2K在片EPROM使用8MC晶振。运算速度和存储器容量足以满足本系统需要。

角位发生器的要求不高，现在采用的是自制的光电检测器：在一个 $\Phi 100$ mm的铝盘上按圆周等分钻孔48个（对应于步距角为 1.5° 的电机，每五步返回一个检测脉冲），当然也可用光电码盘，但要注意脉冲数/每转要和步距角协调一致。



一种用在 MNC—360 微机 数控机床上的新型原点—霍尔原点

上海机床研究所 王廷山

MNC—360 微机数控机床，是用 TP801 单板机为控制机，用 BF110 步进机驱动的开环控制系统。其机床原点是用霍尔开关实现的，本文中简称为霍尔原点。

霍尔原点是根据霍尔效应设计的。由霍尔信号发生器“HL”、线性放大器“SF”、施密特触发器“ST”、“OC”电路和电源“Vcc”五个部分组成如图一。其基本工作过程如下：

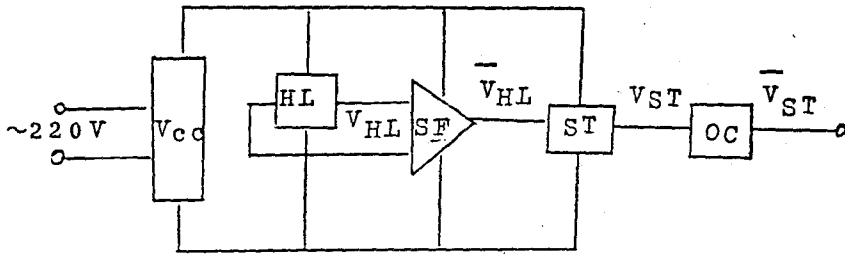


图 一

当原点受到磁场作用时，安装在原点上的霍尔信号发生器就产生一个霍尔电势“ V_{HL} ”，该“ V_{HL} ”经线性放大器“SF”放大后，送至施密特触发器“ST”，当“ V_{HL} ”的幅值达到“ST”的值时，“ST”便工作翻转，从而产生一个脉冲信号“ V_{ST} ”。“ V_{ST} ”经“OC”电路输出，用该信号做为机床的原点信号。

霍尔原点线性好、体积小、工作可靠，重复定位精度高，寿命长（无磨损），可得到理想的开关信号。

实践证明，只要做到：

- a) 严格控制电源的稳定度。

- b) 严格控制霍尔元件的使用方向。

- c) 严格磁屏蔽工作。

就可得到满意的结果。

我们在本机床上做了重复定位精度试验和离散度试验，重复测定十次，计算其九次的重复定位精度（第一次不计），其结果为 $\pm 3 \mu$ 。重复测定叁拾次，计算其离散度，其结果为： $3\sigma = 9.8 \mu$ 。

下面将提出上述三点要求的理由说明如下：（略）

该原点的最大特点是：批件加工时，可完全避免过程中产生的任何误差的传递和积累，以利提高合格率。

应用 CTC 实现步进电机升降频最佳控制

机械部西宁高原工程机械研究所 赵光宇

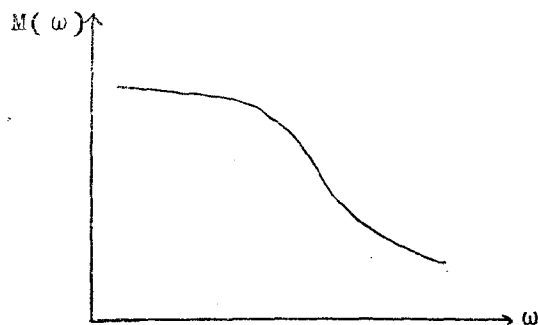
一、前言

近年来,国内推出的由单板机控制的各种经济型数控系统中,大部分采用由功率步进电机驱动的开环控制方式。其优点是造价低,硬件系统较为简单,操作和维护都较为方便。但由于功率步进电机所固有的矩频特性限制,普遍存在着负载能力较差,快移速度低等缺点,严重影响着数控系统的加工精度和加工效率的提高。因此,如何改善步进电机的高频运行特性和提高最高运行频率是改进步进电机驱动的经济型数控系统性能的关键所在。

为改进步进电机的高频运行特性,笔者从两方面进行了有关试验研究,其一是改进功率步进电机驱动电源从而改善步进电机的矩频特性,其二是根据步进电机加速减速过程动力学原理和固有的升降频特性通过软件开发实现最佳升降频控制,来提高步进电机的最高运行频率和防止在升降频过程中步进电机产生失步现象。

二、步进电机升降频控制曲线的选择

升降频控制曲线的选择必须以步进电机在一定的驱动电源下的固有起动力矩特性为依据,如图一所示,一般特性是非线性的,为便于讨论,我们可进行分段线性化处理(如图一虚线所示)。



图一：步进电机矩频特性

在步进电机升频(即加速时)除克服力矩负载外还应克服惯性负载,根据转动定律,可以得出步进电机加速过程的数学模型如下:

$$J = \frac{d}{dt} \frac{\omega}{t} = M(\omega) - M(Z) \quad (1)$$

式中: J —电机和负载总转动惯量

$M(\omega)$ —是步进电机矩频特性,是由步进电机的固有特性和驱动电源决定的。对其进行线性化处理,令 $M(\omega) = M_0 - b\omega$ (其中: b 为速度阻尼系数, ω 为角速度,

M_0 为最大静转矩)

$M(Z)$ — 负载力矩

对矩频特性线性化处理, 并以 $\omega = \beta F$ (β 为电机步矩角, F 为运行频率) 代入 (1) 可得到

$$J b \frac{d}{dt} \frac{F}{t} + b \beta F = M \quad (2)$$

式中: $M = M_0 - M_Z$ 为合成力矩

对 (2) 进行拉氏变换, 并设步进电机由静止开始加速 (初始条件为零), 可得

$$F(s) = \frac{f_m}{s(Ts - 1)} \quad (3)$$

式中: $f_m = M / b \beta$ 极限运行频率

$T = J / b$ 为步进电机驱动系统时间常数

对 (3) 式进行拉氏反变换求解可得

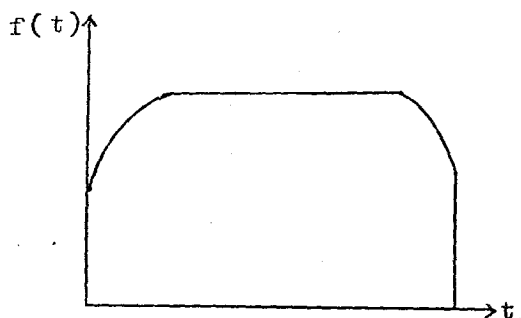
$$f(t) = f_m (1 - e^{-t/T}) \quad (4)$$

(4) 式表明升频过程是按指数规律增长的曲线

实际上步进电机的起动矩频特性在不同的运行频率下, 速度阻尼系数 b 各不相同, 因而时间常数 T 和 f_m 之值各不相同, 线性化处理后整个升频曲线可对三段具有不同时间常数的指数曲线来逼近。

步进电机的降频特性与升频特性有相同的变化规律, 所不同的是降频过程中负载力矩, 摩擦力和电磁力矩都起制动作用, 在相同频率下减速度可大于加速度降频时间常数可小于升频时间常数。

根据上述的讨论可得到如图二所示的步进电机升降频曲线, 是以三段指数曲线前段规律为前后沿的近似梯形曲线, 按这样的规律进行步进电机的升降频控制, 既能保证步进电机在运行过程中不会丢步, 又可充分发挥电机的固有性能, 使升降频时间最短, 从而实现最佳控制。



图二: 升降频曲线

三、利用 CTC 实现最佳升降频控制

在由 Z80 单板机控制的步进电机驱动系统中, 步进电机的工作频率控制通过

Z80—CTC定时器来实现的，系统设置CTC工作在定时器方式，按给定的时间常数计算，在减1计数器回零时产生中断去执行中断服务程序。在中断服务程序中完成插补运算和脉冲分配，并输出一个驱动脉冲。驱动脉冲的输出频率取决于CTC的定标器系数和时间常数。因此，在升降频过程中可通过按一定规律修改CTC时间常数和定标器系数的方法来实现频的最佳控制。具体实现的方法有两类，一类是定时法，另一类是定步法。定时法是将步进电机升频函数 $f(t)$ 离散化，按一定的时间间隔 Δt 分别计算出离散频率数列 $f(\Delta t) \cdot f(2\Delta t) \cdots f(n\Delta t)$ 之值，并转换为对应的CTC定时器时间常数，在升频过程中每隔一定的时间间隔 Δt ，修改一次时间常数（时间常数的取值可用查表法实现），直到CTC时间常数与给定值相同，升频过程结束。定时法的优点是计算步频率数列 $f(i\Delta t)$ 较为方便，但需要一个专门的CTC通道进行 Δt 控制，查表取时间常数需要占用一定的实时控制时间，同时两个时常变化有可能出现过高的突跳，实际实用效果不大理想。定步法是按升降频过程中每走过一点的步数 ΔP 来修改一次CTC时间常数。定步法也需要将升频函数离散化，求出按等步数 ΔP 离散的频率数列 $f(i\Delta P)$ 可用图解法近似求出也可用实验的方法来确定。定步法修改时间常数在实际运行中比较可靠，占用实时控制时间较短。在软件中，可通过CTC每中断一定的次数递减（或递增）一次时间常数的方法来实现。

由于步进电机的空载直接起动频率一般在 1000Hz 以上，升频过程中的频率控制可从 $300 \sim 500\text{Hz}$ 开始， ΔP 的选择可视使用的电机和驱动电源的技术性能以及负载状况，升频时在 $5 \sim 15$ 之间选取而降频时在 $3 \sim 7$ 之间选择。如果步进电机的最高运行频率在 4000Hz 以上，在全部频率范围内选用固定的 ΔP 将很难实现在高频下的最佳控制，在此情况下可分频段选用不同的 ΔP 。

四、实验效果

笔者根据以上讨论的方法，分别用110BF003和160BF5C功率步进电机进行了高速起动和运行实验，最高运行频率高达 7000Hz ，取得了较好的效果。实验结果如下表所示：

电机型号	驱动电源	ΔP	最高运行频率	快移速度
110BF003	80/12V	7	5400Hz	3.2 M/分
110BF003	90/9V	5.20	7000Hz	4.2 M/分
160BF5C	80/8V	7.25	5400Hz	3.2 M/分
160BF5C	90/8V	7.30	7000Hz	4.2 M/分

在本所研制的GWK—1经济型数控系统中，最高工作频率选定为 5400Hz 在脉冲当量为 0.001 mm/P 时，快移速度为 3.2 M/分 。脉冲当量为 0.0125 mm/P 快移速度为 4 M/分 。实际使用效果良好，该系统已于八六年四月通过省级鉴定。最高运行频率为 7000Hz 的系统将于近期内提交鉴定。