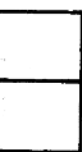


微 处 理 机 控 制 系 统

译 文 集

第七一三研究所情报室

一九八七年十二月



目 录

采用微计算机的直流伺服位置控制系统的设计·····	(1)
采用软件的伺服控制系统·····	(6)
以微处理机为基础的具有变结构的增量伺服系统·····	(13)
微处理机控制的直流伺服装置——低成本高性能输纸机构·····	(19)
以微计算机为基础的可控硅伦纳德系统·····	(31)
变流器供电直流电机驱动装置的微处理机控制·····	(37)
交/直流两用可控硅变流器的微处理机直接数字控制·····	(43)
微处理机控制的多电机直流驱动系统·····	(50)
用多微处理机系统进行直流马达的速度检测和速度控制·····	(56)
电驱动装置的微处理机自适应速度和位置控制·····	(61)
用微处理机实现快速动态响应的数字测速机·····	(70)
数字控制系统的试验与评价·····	(77)
微处理机对发展数控系统的影响·····	(89)

采用微计算机的直流伺服位置 控制系统的设计

摘 要

在位置控制系统中选用直流伺服电机后,下一步便是确定采用模拟系统还是采用微处理器控制系统问题。用经典的闭环直流伺服系统完成是比较简单的,但是它不能使微处理器控制系统有较大的灵活性

电气位置控制系统通常使用步进电机或直流伺服电机。这两种电机都有它们的有效范围。简单地说,在开环系统中采用步进电机是不太理想的,它有下列一些缺点:

1. 步进电机的最大速度比较低。
2. 最大加速度也比较低。
3. 步进角变化的可用性不充分。
4. 过调不容易控制。
5. 为确保步进电机不因过载而影响其定位,必须采用定位传感器。
6. 由于步进电机是脉冲激励控制,所以它不能操纵大惯性负载。

比如用在磁带驱动中的普通直流电机,其特点是连续转动。要求高速带动磁带转动,而且该伺服系统具有较好的定位分辨力。

以微处理器为基础的系统有以下优点:

1. 根据电机的状态可以改变控制算法。
2. 可以补偿电机的某些非线性特性。
3. 容易与数字传感器(如光学编码器)和其它微处理器或计算机接口。
4. 最大速度、加速度和转矩是可编程和可控的。
5. 保险装置和指示器容易结合在一起。

一、基本算法

在比较模拟与数字系统时,数字系统的主要缺点是取样缩短了数字系统的带宽使响应更慢。在每一个回路的数字部分都存在量化噪声,它也能使响应变慢和使带宽变窄。

如果这些优点对选择微处理器系统是有吸引力的,那么下一步问题就是确定最佳算法。

许多位置控制系统都要求系统移动一个长距离,然后非常精确地停止在一个位置上。为了得到大的行程距离、小稳态误差和好的响应时间,控制系统一般采用两种控制方法。第一种方法是把电机很快地移动到接近所要求的位置,然后再放慢速度。第二种方法是强迫电机在所要求的位置归零并保持下去。

用经典的模拟系统，行程长度的增加会受到限制，并使最大容许稳态误差和响应时间降低。PID图中所示，驱动线路受与位置误差成比例的电压控制，其电压与误差积分和导数成比例。

积分项的作用是消除任何稳定误差。如果没有该项，系统调到所要求的位置时，任何负载转矩都会使系统产生一个稳态位置误差。若负载转矩等于系统转矩，系统便停止运转；若系统受位置误差控制，系统将产生反向转矩。虽然有积分位置误差，但是积分项最终还是能克服负载转矩把系统调到没有位置误差。在所要求的调整点上对位置误差积分，应得到一个能修正任意扰动转矩的值。虽然位置误差是零，但扰动转矩还是要迫使位置误差进行非零积分。导数项有助于阻尼响应，使系统靠近所要求的调整点。

控制该系统时，会出现两个问题。第一，电机摩擦是库伦摩擦，即：摩擦力是个常数，它取决电机的速度。这样做好象会使系统很容易控制，但是实际上是一个非线性传递函数，采用经典的线性控制理论是困难的。在电机驱动线路中也存在非线性，如由功率达林德换向二极管或者金属氧化物半导体场效应晶体管引起的再生制动。第二个问题是系统固有的非线性引起的。当电机离所要求的调整点相差甚远时，积分项随着每个循环在增加。这样就迅速地迫使控制回路饱和，以最大电源电压驱动电机。虽然积分误差项连续增加，但是该输出不能加到电机上，它产生一个比电机所要求的电压小，使现在位置落后于电机瞬间要求位置。

在马达靠近所要求的位置以前，这种状态是没有害处的。若在那个点上积分误差一直在增加，成为起支配作用时，它将把电机驱动到远离要求的调节点。在积分项减小时（因现在位置误差是负的）马达不能反转和回到原来位置，只有积分项降到能够抵消位置误差成比例的电压情况下，马达才能反转。除非以缓慢的响应时间为代价进行补偿外，否则该系统可能要振动几个周期甚至是不稳定系统。

利用微处理机的条件判定接通能力，设计者可以把下列问题尽量减小。第一个问题是在电机输入端加一个校正电压以便补偿电机摩擦。由于摩擦项与速度相反，所以较满意地解决是给正向误差加一个正电压，给反向误差加一个负电压。通过增加电机转矩来消除要求调整位置的偏差。

为了减少采用积分项的问题，只有当电机在所要求位置的某个特定范围内时，该算法可以写成求和（积分）误差。用这种方法，不会引起误差严重超调，而且通过补偿任意扰动转矩办法可以消除任何稳态误差。为了避免上述问题的另一种方式是采用速度控制，而位控算法中的速度控制算法是把电机移动一个很长的距离，然后把它锁定在所要求的调节点上。位控算法的最初取样周期是由确定的位置和位置误差而得到的。由于取样频率是固定的，该速度就等于现在位置减去过去位置。由电机的速度、最大容许速度和加速度，以及位置误差所决定的这种算法，可分为下述四种方式：即加速度方式、最大速度方式、减速度方式和位控方式。当移动长距离时，控制系统的四种方式可同时采用；但是在短距离时，可以省略最大速度、减速度或者加速度方式。

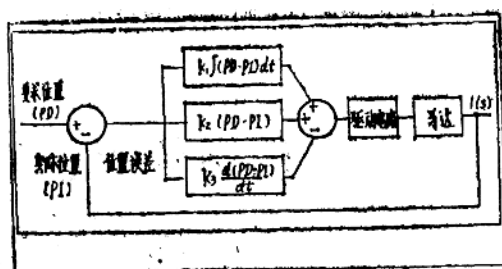


图1 在经典的PID回路中，驱动线路由与位置误差成比例的电压控制，此外该电压还与误差的积分和其导数成比例

如果电机以某一速度方式工作，则微处理器首先要计算电机的速度，如果系统正以要求的最大速度分布图移动，则微机就该计算位置。最好的系统能以最大的容许加速度一直加速到最大容许速度，并保持最大速度直到使系统接近要求的调节点；该系统还能以最大减速度减速到所要求的调节点，直到停止，又不超调。比例误差项是指瞬间要求速度与实际速度之间的差。瞬间要求位置之差是从所要求的速度分布图中得到的而不是从调节点中得到的；实际位置则是从误差项积分得到的。删去导数项以便减少来自位置误差的量化噪音。

当系统位于要求调节点的某个预编程序范围内时，控制指令传到位控程序。此时PID函数的比例项是位置误差，导数项是位置误差的导数，积分项是位置误差和。再次计算PID函数是为了确定加到马达的电压。

长行程与较好的定位分辨率问题，通过采用速度/位置控制综合方式有了很大的简化。在速度控制时，系统传递函数的阶降低了，所以部分算法的稳定性容易实现。速度/位置概念也趋向使系统保持在线性范围内，防止出现诸如位置积分误差项的非控制增长的问题。因此，系统能测定出行程长度的极限。

虽然，本文介绍的这种算法主要是以下面所讨论的欧波肯（opcon）设计为基础，但是硬件并不是以它为基础。最主要的区别是使用了微计算机。

二、基本线路

本文提出的位置控制线路主要特征是采用了MC6805u2微计算机。该芯片的硬件结构包括32条输入/输出线（24条双向线，8条只输入线），2,048字节用户ROM，64字节的随机存储器，过零检测/中断以及带有7位预先设定标器的插件定时器。

软件的突出特点是它的检验能力，其次是在任意一个RAM存储单元或任意一个具有单指令的输入/输出存储单元中可进行任何位的转移。其它特征包括10种寻址方式，单指令存储检查/变化，表格变址寻址，条件分支全集合（full set），以及可能作为寄存器或特征位的存储器。

6805系列的主要缺点是它不包含B寄存器并且与相关指令（或容量）没关系。更准确地说，超过一个字节以上的算术运算消耗的时间更多，因为每次运算都必须在A寄存器中完成。这就要求结果正移和操作数在寄存器中时进时出。因此，6805不适合在短时间内做大量

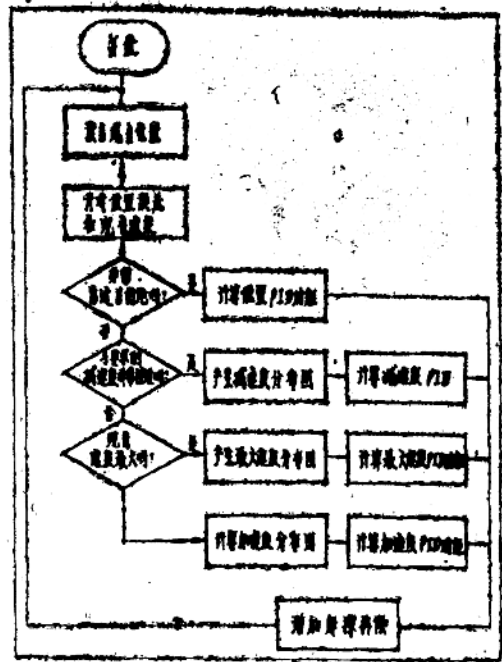


图2 计算输出脉冲长度的算法，这是一个算法的简化流程图，这种算法只当电机在所要求位置的一些特殊范围内时可写成求和误差形式。

数一次便输出一个脉冲。这两个输出相差 90° ，因此当一个输出作时钟使用，而另一个输出作可逆计数器输入时，可逆计数器能跟踪马达位置。这两个输出可以用D—型触发器表示旋转的方向。

编码器的的问题是：如果每转的编码器计数不高，则速度和位置的分辨率就差。例如：取样周期为4毫秒而编码器每转有300个计数时，则每个编码每一周期的计数表示50转/分。有边缘检测电路时，可计算出上升沿和下降沿，使编码器的分辨率增加两倍。某些编码器有一个零变址输出，如果出现了任何额外计数，该输出可用于校正可逆计数器，每转校正一次。

三、其它算法

当然，上述的算法不是电机位置控制采用的唯一算法。另一种算法采用Z-变换，它与模拟控制理论的S-变换数字等效。但是，所涉及的计算已经超出了8位微处理机的计算能力。

除了已经发表的关于经典控制系统很多文章外，好象没理由要求微处理机控制系统，计算模拟控制算法。经典的控制理论，不论是数字的或是模拟的，描述系统的响应都是用一组线性时间不变微分方程描述。实际上，全系统工作运转相当好的时候不多，当它们的工作不正常时，在最坏的条件下不得不采用时间不变算法，这样就会使所有其它条件的响应受到损害。

如何避开这种方法使其变得更合理，这要根据系统的条件而定。例如，控制定位机的算法增益系数（该机器工作要移动很大的质量）用两组系数运算：在接近于大质量时的一组系数和输送它时的一组系数。另外通过应用更简单和更粗略的算法可能使采样频率增加3倍。例如，此算法可以输出一个脉冲宽度，并且根据马达的状态还可增加或缩短脉冲宽度。

另一种方案是综合模拟系统大宽带的优点与微处理机系统的判定能力，后者通过扩展由MPU监控的模拟控制回路来实现。

四、性能

上述系统是以MC6805u2和PID（比例积分微分）算法为基础硬件形式的位置控制系统，它能较好地实现扩展时间制约问题。在没有过调的情况下，系统可以使马达在十分之一秒内转一圈或者一圈半。在变化期间，马达的最高速度达到300转/分。这些增益系数是可调的，它对给定的行程长度能提供一个好的响应。但是该响应还会受到其它所有行程长度的影响。由于编程序时和非最佳程序中有误差，所以响应中会出现反常现象。经过长时间研究所得到的系统性能特点，与下述的欧波肯系统类似

带有外存储板的4303A—4302A是由欧波肯生产的一种位置控制器。它已被装在定位机器上。本系统选择一个小的物体，以0.001英寸的精度进行复位和定位，大约可移动6~8英寸。

若取样时间为2.2毫秒，则1个循环可在1秒内完成，本系统使用的微处理机(SY6502)，

（下转第12页）

采用软件的伺服控制系统

摘 要

在仿形伺服控制系统中，用微计算机可以节省很多位置回路硬件，但是必须恰当地设计计算机程序，充分发挥微计算机的功能和多用性。

前 言

在伺服控制系统中，为了确保精确定位和移动速度，必须细心地设计硬件。在仿形伺服驱动中，尤其是用于数控（NC）机床的那些仿形伺服驱动中，其加速度、速度、路径精度等必须进行精确控制。上述场合使用的元件都具有一定的重量和惯性，如果超过了速度和位置极限就可能带来不良后果。所以进行联机系统的诊断和检查是必要的。

随着微处理机的出现，用专用硬件就可以得到快速而精确的仿形，这通常是用完成位置回路计算的计算机程序来实现的。这种程序也可以用来检查系统的工作状况和检测硬件故障。

另外一个优点是，微处理机可以代替很多通常要求执行仿形指令的控制电子元件。控制回路中，其它一些电气线路的设计，用软件控制系统比用等效硬件系统的设计更为容易。

例如，把数字量转换成模拟电压，用软件计算可以减少控制电子元件必须处理的模拟电压范围。但是这些优点又给设计人员提出了其它一些要求。如果软件系统设计得不合适，那么位置回路的计算就很可能超过微处理机的计算能力。

微处理机的主要缺点是计算速度较低。因此，为了能使软件快速进行工作，有些控制运算必须简化。大惯性系统的重大简化与所谓的位置增益有关。该特性是定位误差或实际位置与指令位置之差的函数，它用来调整控制定位电机电压量。增益减小或者“增益转折”可以编成程序，以限制系统加速度。如果仔细选择转折点，那么软件计算就可以简化。

增 益 和 带 宽

在控制系统的位置回路中，精度由位置回路的增益控制。位置回路的增益越高，给定速度指令的跟踪误差就越低。在仿形伺服系统中，跟踪误差在路径中产生实际误差，所以必须尽可能地提高增益以使跟踪误差保持最小值。但是从一个地方迅速地移动到另一个地方的时候（例如当机床刀具切削移动时），最大速度和最小移动时间比跟踪一个精确路径更重要。在高速时，位置回路增益可能会因位置精度降低而减小，致使定位马达驱动加速度不超过某一极限。驱动加速度的能力是受马达类型、功率特性和定位机构的加速度极限限制的。

电机速度受跟踪误差量控制。累加器中的大跟踪误差可产生较高的电机速度。因此，必

须把位置回路增益调到能保证累加器中存储的最大跟踪误差,不致产生使马达以高于额定速度旋转的信号。如果累加器的输出促使电机超过额定速度而高速旋转,则控制系统实际上是开环的;因此,跟踪误差的增加不会产生增速指令。

设计者推导出的位置回路增益曲线应使累加器中的最大数字只产生电机的最大额定速度。该增益的大小取决于电机驱动电压常数(伏/(转/分)或伏/(英寸/分))与数/模变换器最大电压之比。

速度回路增益规定了容许位置回路增益的上限。位置回路增益与位置回路带宽成正比。根据反馈控制理论,为了使系统稳定,系统的速度回路带宽至少是位置回路带宽的3倍或4倍。速度回路带宽取决于电机驱动组合,并且取决于接近于电机驱动带宽的系统机械共振的存在与否。

因此,伺服设计必须选择这样的位置回路增益:该增益的高低范围应既能产生精确定位的低跟踪误差,又不影响系统的稳定性。

大多数机床的设计工作增益为0.25~4.0英寸/分/密耳,每密耳跟踪误差为0.001英寸。典型的仿形系统增益是1英寸/分/密耳。1英寸/分/密耳的位置回路发出的指令电压,相当于0.001英寸跟踪误差的1英寸/分。当跟踪误差为20密耳(0.020英寸)时,位置回路就发出一个相当于20英寸/分的指令电压,等等。

位置回路的带宽必须根据位置回路的增益来计算,以确定位置指令应隔多久才传给电机。位置回路带宽与增益有关,例如,1英寸/分/密耳增益可按1英寸/0.001英寸·分来计算。而带宽(实际上是用频率表示的增益)为:

$$\text{带宽} = \text{增益} = \frac{1 \text{ 英寸}}{0.001 \text{ 英寸} \cdot \text{分}} \times \frac{1 \text{ 分}}{60 \text{ 秒}} = 16.667 \text{ 弧度/秒} = 2.653 \text{ 赫兹}$$

经验证明,这种回路的取样频率至少应比位置回路带宽大7倍才能保持稳定性。所以在这种情况下,位置带宽为2.653赫兹时,取样之间的时间必须小于或等于8.6毫秒。换句话说,要想使整个位置进行工作,数字位置指令必须每隔8.6毫秒就要送给数/模变换器一次信息。

8.6毫秒的取样频率可以用多个微处理机控制。随着取样频率的增加,不稳定性可能会随之减小,进而改善系统性能。但是,取样频率的增加不能超过微处理机的计算能力。

在仿形伺服系统中,伺服速度与跟踪误差的关系往往是用二条或二条以上的直线所组成的折线表示。每段直线的斜率就是位置回路增益。该折线变化斜率的每一点称作“增益转折”。要求的增益转折数是根据伺服系统的性能来规定的。而在很多机床应用中无增益转折要求。

根据增益折线确定的各种位置增益的变化,可使伺服系统在高速操作时比较稳定,并控制加速度。当伺服系统快速运动时(如机床刀具从一处到另一处切削,系统跟踪误差会增长到超出增益转折点。超过增益转折点,速度的增加会使跟踪误差增加。

为了使微处理机的计算减至最少,增益转折可调整到等于2的乘方数,这样只用算术移位就可以计算增益转折点,在二进制算法中,这是一种快速乘法。这种方法能明显地减少无乘法指令的微处理机计算时间。例如,假设最大速度是400英寸/分,而它的速度与跟踪误差折线用两条单增益转折(125英寸/分)直线表示。这样,速度在0~125英寸/分时,增益可能是1英寸/分/密耳($1 = 2^0$),而在125~400英寸/分时,可能会减少到0.25英寸/

分/密耳 ($0.25 = 2^{-1}$)。

增益折点也可以用硬件来计算,但是线路设计相当复杂。用软件实现较简单,而且还可以更好地利用数/模转换器。如果增益转折用硬件来实现,数/模转换器就必须处理大量的跟踪误差。这样就得使数/模转换器产生一个较宽范围的线性模拟电压。而用软件执行增益转折就可减少转换器所要求的线性电压范围。

例如,假设某一典型系统,速度在0~125英寸/分时增益为1英寸/分/密耳,而速度在125~400英寸/分时增益为0.25英寸/分密耳。假设系统的分辨率为0.0001英寸。那么速度在125英寸/分时,跟踪误差是1250个计数。在400英寸/分时,跟踪误差为12250个计数,其中包括从0到125英寸/分之间的1250个计数加上从125到400英寸/分之间的11000个计数。外部硬件执行的增益转折需要一个15位的数/模转换器来控制所有12250计数区域(15位=14位+1个符号位; $2^{14} = 16384$)。在本系统中,对典型的10伏全量程数/模有效范围来说,900微伏代表1位数误差。

如果增益转折是通过软件来执行的,那么跟踪误差在速度为125英寸/分时的1250个计数在数/模转换器上的输出可以为3.125伏。当转速为400英寸/分时,数/模转换器只能控制4000个计数和输出10伏。一个计数的变化量相当于2.5毫伏,这在零电平稳定速度和抗扰性方面比硬件执行时可能提高两倍左右。这种改进容许使用较便宜的13位数/模转换器(13位=12位+1个符号位; $2^{12} = 4096$)。

这样,最好是用微处理机位置回路软件,通过检查跟踪误差的限制条件来限制控制驱动装置的最大速度。这样在万一出现反馈失败的情况下可以防止机器遭受损害。例如,如果伺服机构停止运行或者反馈元件失灵,那么由于反馈脉冲不能从累积误差中减去,而只能加到跟踪误差上。这样,累加器内的数量将越来越大,甚至溢出数/模转换器。

为了说明这种状态,该位置回路软件可检查两个跟踪误差的极限。当跟踪误差超过第一个极限时,内插器可以降低速度指令来减慢伺服机构的运动。如果跟踪误差继续增大并且超过第二个极限,位置回路的程序就会命令驱动装置停止运转,并告诉系统已经出现误差。例如,如果系统对应于最大马达速度的数/模指令是4000计数,那么将尽可能采用13位数/模转换器。若速度指令高于4000则将其编成程序,以便用内插器来降低速度。第二个跟踪误差极限可调到4095,这是13位数/模转换器可以接受的最大计数。

设计流程图

计算机的每次重复任务都可以概括在流程图内。例如,假设它的过程被局限于一个增益转折点,并且每8.6毫秒,提供一个位置指令。从反馈中减去指令位置,然后加到跟踪误差上构成一个新的跟踪误差。这个新的跟踪误差被暂时存储起来。为了调节其余的计算,跟踪误差被转换成正数。然后与第一个增益转折点相比较确定是否超过增益转折点。

如果该系统工作超过增益转折点,就可计算出一个新的数/模电压。这个新电压等于增益折点的跟踪误差(用GBI表示)加上超过增益转折点时的过跟踪误差(用FEMG—GBI表示),其中EMG是新的跟踪误差值)与减少的增益(用 K_{GB} 表示)的乘积:

$$FEMG = GBI + K_{GB} (FEMG - GBI)$$

伺服位置回路可以准确地检查专用计算机的工作和极限条件,因为这个回路至少每隔

8.6毫秒, 执行一个指令。首先要检查数/模转换器的输出数, 以便确保这个数不大于转换器极限值。如果这个数太大, 就应该调整计算机的标志位, 使机器停止运转。而后转换器输出为零, 使伺服系统停止运动。

其次, 检查跟踪误差, 以查明其是否大于最大速度。本系统通常可以调整控制跟踪误差约大于稳态值20%。这种缓冲作用使得伺服机构可以暂时超调稳定和某些迟滞。当超过这个电平时内插器便减慢。如果跟踪误差过大, 这就意味着伺服系统不能提供足够的力矩来按所要求的速度运转。减慢该指令可缩短距离, 本系统必须在给定的增量时间内运动, 因此, 伺服系统要求较小的转矩。

当跟踪误差超过稳态值时, 该指令减慢, 但是并不停止, 如果完全停止位置指令那就不能检查反馈电路了。

最后, 重新将算术符号引入计算的数/模输出。把这个数送到数/模转换器, 然后程序循环返回, 以等待下一个位置指令。

硬件与软件的关系

在“传统”的即不用计算机控制的伺服回路中, 内插器通过时钟调整时间增量, 周期地发出位置指令。这些脉冲指令驱动装置在下一个时间增量移动某一个距离。然后, 表示驱动位置的位置/测量传感器的脉冲数从表示指令的数字字中减去。传感器的脉冲也是负反馈的一种形式。因此, 从内插器指令中减去位置信息, 在驱动位置和位置指令之间产生了一个差。总位置差被称为“跟踪误差”并存放在累加器中。然后把累加器中的数字数送到数/模转换器中, 以便转换成与位置差成比例的模拟电压。而后, 电压使电机运转, 并给出一个使跟踪误差减少的新位置。

可供选用的位置传感器种类繁多。普通传感器包括激光器、电位计、光电编码器, 分解器和磁尺等。传感器根据其功能可分为绝对值型和增量型。绝对值型传感器能直接示出滑动位置。增量型传感器应用较为广泛, 它产生的脉冲对应于滑动位置和旋转方向。传感器每移动一个距离对应一个脉冲(正向或反向), 计数器或累加器就加1或减1。经过一系列运动之后, 计数器就包含一个与滑动位置相应的脉冲总和。

内插器、累加器、数/模转换器和位置反馈通常都被称为位置回路。某些位置回路的功能, 一般可以用计算机软件来实现。内插器指令可以用计算机程序构成。计算跟踪误差的数字演算是通过程序控制进行的, 它的速度几乎和硬件一样快。误差值通常存储在计算机的存储单元里。

在速度回路中, 把来自数/模转换器的电压与装在定位电机上的测速计产生的电压组合。测速计电压表示的是电机速度, 是一种负反馈形式。从数/模转换器电压减去测速计反馈电压可以得到一个与实际速度和指令速度之差成比例的电压。该电压放大后直接驱动定位马达。数/模转换器输出端、电压放大器和马达/转速计等都被称为速度回路。按程序用内插器的位置指令使伺服马达运转。假设内插器发出10个脉冲, 那么每个脉冲要求系统移动0.0001英寸。这时, 累加器里的数字就会立即增加到10个计数, 从而由数/模转换器产生一个输出电压, 可把该电压看成为伺服马达的速度指令。然后, 马达开始转动, 编码器产生一个使马达轴旋转的脉冲。每一个脉冲, 都要从累加器的脉冲数中减去。因此, 累加器中的

跟踪误差表示了指令位置与实际位置之差。当马达转动时，跟踪误差就会减少。若发出多于十个位置指令脉冲，那么系统就可能稍快一点地接近指令位置。当位置指令脉冲增加更多时，马达就会加快速度。指令每迭代一次，累加器中的计数就增加，而且系统转动比过程迭代快。最后从累加器中减去的数与增加的数相同。然后速度停止增加，这个跟踪误差接近稳态值，成为系统在某一特定速度时的跟踪误差。



图1 功能元件

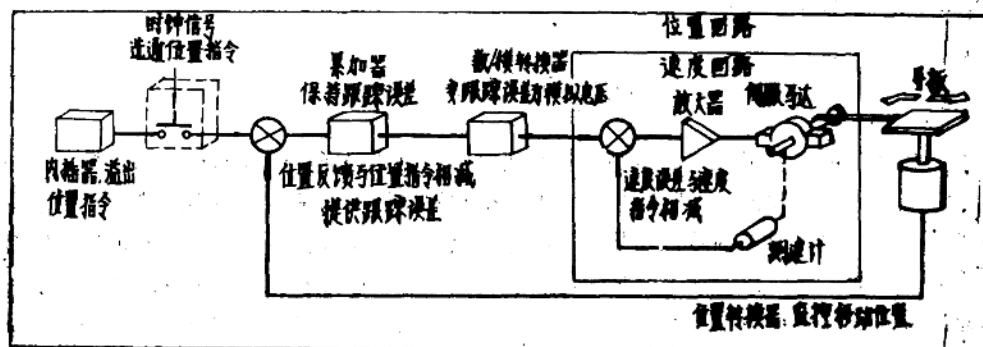


图2 经典回路

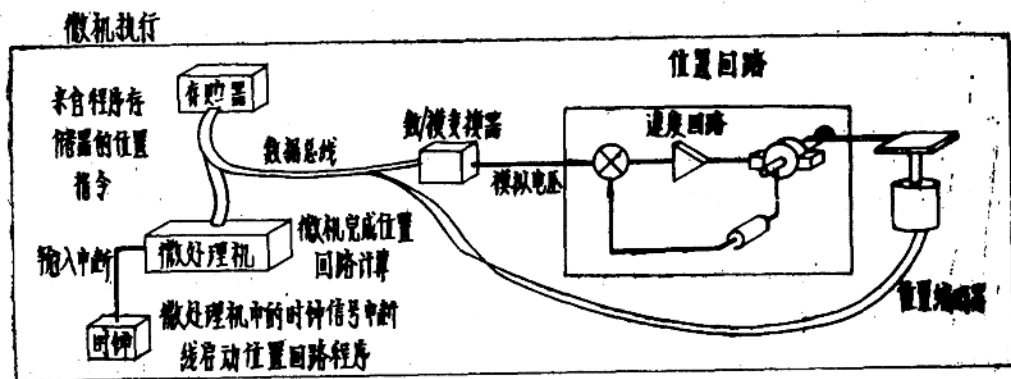


图3 微处理器执行过程

很多伺服控制软件回路，在设计时都是以每8.3毫秒执行一次位置指令迭代。由于60Hz波形的过零点时间是8.3毫秒，所以通常选择取样时间为8.3毫秒。因此，启动程序回路的中断，可以通过与60Hz交流电线相连的过零检测器的脉冲来实现。

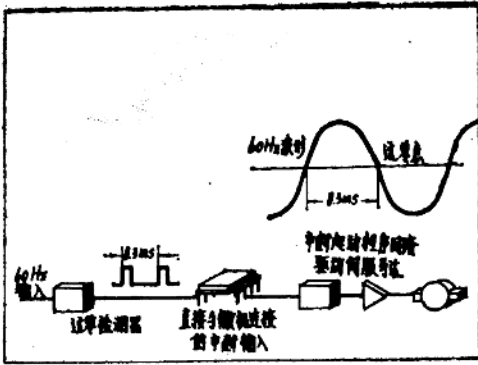


图 4 选择取样频率

监 视 器

通常，在伺服位置软件回路中对计算机工作要进行几次检查，以验证计算机本身是否能正确工作。在输入位置指令之前，要检查计算机每个回路的迭代以便减少误差率。误差检测装置一般应尽量简单，以使其可靠性高于计算机。

监视计时器是一种用于监测和确认计算机时钟信号的装置。该装置可检测总误差条件，如计算机对时钟信号没响应或者响应了但没什么动作。如果程序存储器由于电噪声引起变化或故障，则就可能出现响应了但没有什么动作的情况，这样，微处理机只在数据线上输送时钟脉冲。

由于位置回路软件可写入计算机，因此回路中的第一个任务就是确认监视时钟信号。如果在时钟信号发出后（估计5毫秒内），在某一预定时间范围内，计时器对计算机没有响应，计算机就会产生一个误差信号，而且可能停止执行程序。

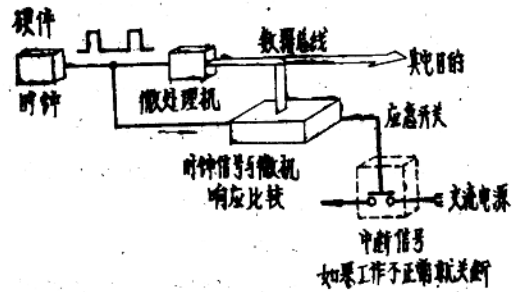


图 5 硬 件

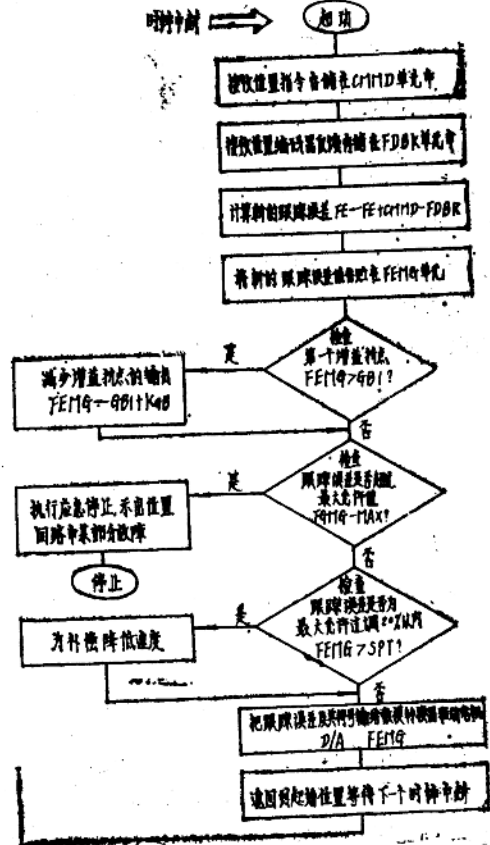


图 6 流程图

伺服系统软件

图 6 的流程图示出了具有一个基本增益为 1 的系统的典型软件仿形位置循环执行过程。该回路几毫秒执行一次，这是根据系统的取样时间来定的。微计算机每次执行程序，都要接

收一个来自固定装置里的时钟脉冲。在循环结束时，程序自动返回，开始等待下一个时钟信号。程序的助记符定义如下：

- CMMD——包含最新位置指令的存储单元。
- D/A——驱动马达的数/模转换器电压。
- FDBK——包含位置编码器反馈的存储单元。
- FE——包含最新跟踪误差的存储单元。
- FEMG——包含跟踪误差量值的存储单元。
- GBI——增益折点的跟踪误差。
- K_{GB} ——过增益折点的减小增益。
- MAX——停止系统的缺席跟踪误差极限。
- SPT——使速度指令减慢的跟踪误差极限。

增益曲线

伺服速度与跟踪误差的关系曲线的斜率表示位置回路增益。在低于最大工作速度情况下，运行可提供很高的精度（低跟踪误差）。但是，对于快速定位伺服系统，跟踪误差增加较快，加速度受到限制。在某些情况下，位置回路的某些增益折点”的改变，可用来保持系统在加速度极限内进行工作。

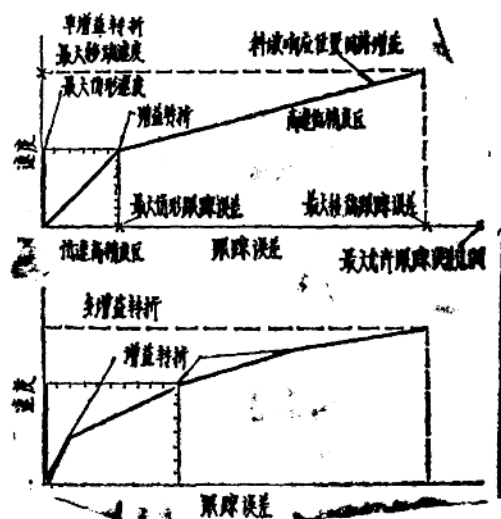


图7 增益曲线

[王新生译自《Mach. Des》1978, 50(12), P70—75 王国桂, 徐加兰校]

(上接第5页)

有一个与MC6805微计算机相同的指令系统。因此，6805用欧波肯最佳控制算法，能得到与上述相同的响应，尽管它不强调某些现有的直流电机的能力。

虽然乘法占去了大部分计算时间，但由于有乘法指令系统的微计算机，还可以大大提高取样频率。另外，16位计时器也会很好地改善输出脉冲宽度的分辨率。

随着正常算法的最佳化，应用MC6805的位置控制系统应当与6502为基础的欧波肯4302系统的性能相匹配。因为乘法指令能明显地减少计算时间，而16位计时器能增加输出脉冲宽度的分辨率，所以6801能改善系统性能。

(王新生译自 Control Engineering, 1983, 7, 80—83, 王国桂校)

以微处理机为基础的具有变结构的 增量伺服系统

一、引言

目前,在工业上大量使用了微处理机。可以意料,在不久的将来,大多数增量伺服系统将装有微处理机作为控制器。对上述的控制器应用做了大量的尝试并取得重大进展。对于高性能的增量伺服系统,高静态精度、高速响应和低超调量是我们通常所要求的。通常系统的静态精度与动态的精度之间是相互矛盾的。因此,对高性能的增量伺服系统的全部要求都得到满足是困难的。由于微处理机计算引入了附加延时,当采用微处理机作为控制器时,延时就格外准确。关于时间延迟的问题,已经有很多算法进行详细研究,如Dahlim法算、Kalman法算和调谐PID控制器。

在本文中,我们把变结构控制理论的原理用于增量伺服系统。变结构控制系统(VSS)与在瞬态过程改变结构的传统自动控制系统不同,瞬态过程取决于误差信号的现在值及其导数。通过上述研究表明VSS具有如下两个优点:(1)解决了静态和动态精度之间的矛盾。(2)不易受设备参数和外部干扰的影响。

二、系统说明

图1是系统的原理图。增量伺服系统主要包括:一个永磁式直流马达,一个单板8位的微处理机,一个增量编码器和一个桥式脉宽调制(PWM)晶体管放大器。直流马达由PWM放大器驱动。在放大器的触发电路中有4个相同的单元,每个单元都用于触发放大器的一个晶体管。图2是反馈信号处理电路的框图。

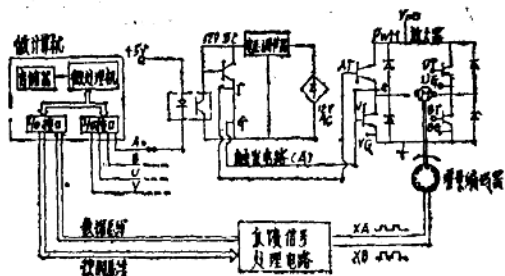


图1 以微处理机为基础的增量伺服系统

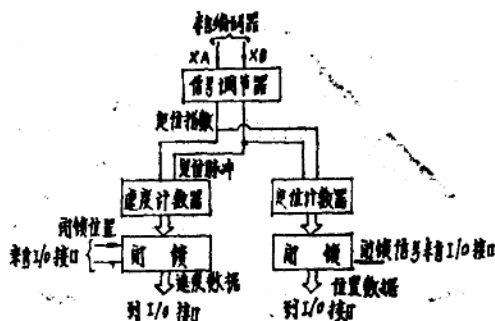


图2 反馈信号处理电路原理图

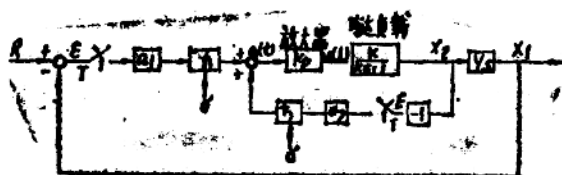
相移90°的两个脉冲信号(X_A 和 X_B)由编码器提供。这些信号通过反馈信号处理电路提供有关轴位置和速度的信息。微处理机执行下述功能:(1)提供位置控制信号,(2)产生

PWM控制信号加到放大器的触发电路中, (3) 决定按照误差信号改变系统结构。

三、变结构系统执行过程

正在研究中的变结构系统如图3所示。马达和负载的传递函数被简化为一阶函数,在这种情况下,图中 $K=29.3 \text{ (r/min)}/V$ 和 $T=0.195S$ 。脉宽控制函数用一个常数增益 K_p 表示。所有的参数假定为正的,除非另有规定。

虽然实际系统以离散时间系统工作, 然而用连续动态表达式完全可以分析离散系统响应, 这是因为指定的采样周期 (5 ms) 与系统时间常数 (195 ms) 相比较是很小的缘故。



如果指令输入 r 是一个阶跃函数, 那么位置误差是:

$$\varepsilon = r - x, \quad \text{当 } t > 0 \text{ 时} \quad (1)$$

并且

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = -\frac{dx_1}{dt} \quad (2)$$

$$\ddot{\varepsilon} = \frac{d^3 \varepsilon}{dt^3} = - \frac{d^2 x_1}{dt^2} \quad (3)$$

式中

 $x_1 = \text{位置輸出}$

系统误差方程式变为

$$\tau \ddot{\varepsilon} + (1 + KK_{pa, \psi}) \dot{\varepsilon} + KK_{pa} \psi \varepsilon = 0 \quad (4)$$

当误差平面 $(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$ 上的表示点与变换线(例如 $\varepsilon + C_1 \dot{\varepsilon} = 0$ ($0 < C_1 < \infty$))交叉时系统结构改变。

ψ_1 和 ψ_2 是变换装置, 此装置由微处理机实现, 为简便起见其特性作如下表示:

$$\psi_i = \begin{cases} 1, & \text{如果 } \varepsilon\sigma \geq 0 \\ -1, & \text{如果 } \varepsilon\sigma < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\psi_2 = \begin{cases} 1, & \text{如果 } \varepsilon \sigma \geq 0 \\ -1, & \text{如果 } \varepsilon \sigma < 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中 $\sigma = \dot{\varepsilon} + C_1 \varepsilon$ 和 $\sigma = 0$ 起变换线作用.

因此, 变换线与两个坐标轴一起 ($\varepsilon = 0, \varepsilon = 0$) 把误差平面 (ε, ε) 分成6个区(图4(a))

所示), 具体说明如下:

$$\text{区I: } \varepsilon \geq 0, \dot{\varepsilon} \geq 0, \sigma > 0$$

$$\text{区II: } \varepsilon > 0, \dot{\varepsilon} < 0, \sigma \geq 0$$

$$\text{区III: } \varepsilon > 0, \dot{\varepsilon} > 0, \dot{\varepsilon} < 0, \sigma < 0$$

$$\text{区IV: } \varepsilon \leq 0, \dot{\varepsilon} \leq 0, \sigma < 0$$

$$\text{区V: } \varepsilon < 0, \dot{\varepsilon} > 0, \sigma < 0$$

$$\text{区VI: } \varepsilon < 0, \dot{\varepsilon} > 0, \sigma > 0 \quad (7)$$

在每个区中系统的自由运动由二阶微分方程表述如下:

$$1) \text{ 区I、IV: } \psi_1 = 1, \psi_2 = 1$$

$$\ddot{\varepsilon} + \frac{1}{\tau} (1 + KK_{pa_2}) \dot{\varepsilon} + \frac{1}{\tau} KK_{pa_1} \varepsilon = 0 \quad (8)$$

在这些区域中, 应有稳定螺旋结构: 它必须满足下列不等式:

$$(1 + KK_{pa_2})^2 < 4 KK_{pa_1} \tau, \quad (9)$$

$$2) \text{ 区II、V: } \psi_1 = 1, \psi_2 = -1$$

$$\ddot{\varepsilon} + \frac{1}{\tau} (1 - KK_{pa_2}) \dot{\varepsilon} + \frac{1}{\tau} KK_{pa_1} \varepsilon = 0 \quad (10)$$

在这些区域中, 需要非稳定螺旋结构, 以改进响应速度; 它必须满足下列不等式:

$$(1 - KK_{pa_2})^2 < 4 KK_{pa_1} \tau, \quad (1 - KK_{pa_2}) < 0 \quad (11)$$

$$3) \text{ 区III、VI: } \psi_1 = -1, \psi_2 = 1$$

$$\ddot{\varepsilon} + \frac{1}{\tau} (1 + KK_{pa_2}) \dot{\varepsilon} - \frac{1}{\tau} KK_{pa_1} \varepsilon = 0 \quad (12)$$

在这些区域中, 特征方程的根是不同符号实数, $\lambda_1 < 0 < \lambda_2$, 相轨迹是一些双曲线和两条

渐近线, $\sigma_1 = \dot{\varepsilon} + \lambda_1 \varepsilon = 0$, $\sigma_2 = \dot{\varepsilon} + \lambda_2 \varepsilon = 0$.

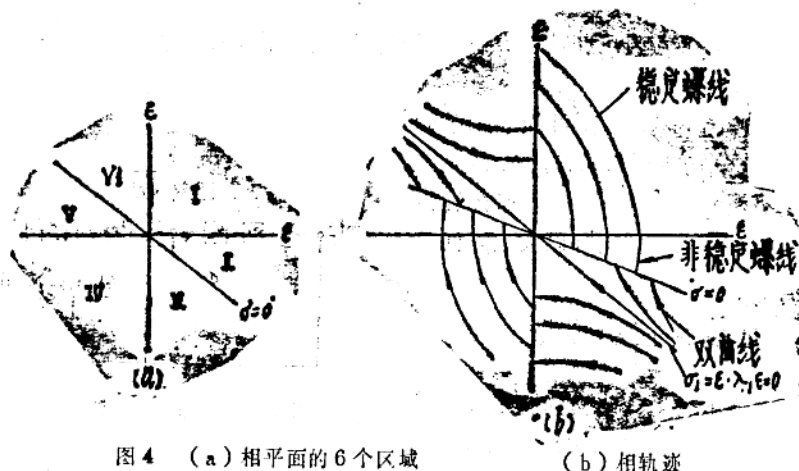


图4 (a) 相平面的6个区域

(b) 相轨迹

作为研究中的理论系统, $\sigma_1 + \dot{\varepsilon} + C_1 \varepsilon = 0$ 起变换线 ($C_1 < \lambda_2$) 的作用。在区域 I (或