



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 91102209.0

[51] Int.Cl⁵

G01B 7/03

[43] 公开日 1991 年 11 月 20 日

[22] 申请日 91.4.8

[30] 优先权

[32] 90.5.8 [33] US [31] 520,438

[71] 申请人 沃纳及斯韦西公司

地址 美国俄亥俄州

[72] 发明人 R·W·布兰德斯泰特 D·J·达考
J·辛克

[74] 专利代理机构 中国专利代理有限公司

代理人 王 岳 吴增勇

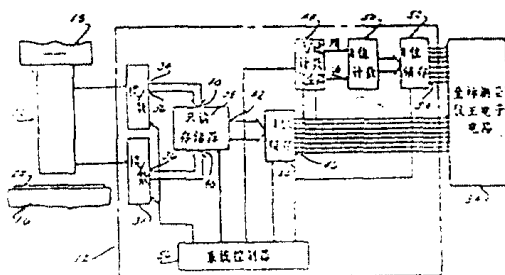
G01B 11/03

说明书页数: 10 附图页数: 5

[54] 发明名称 具有改进的内插电路的坐标测量仪

[57] 摘要

一种坐标测量仪的内插电路和内插方法, 测量仪的光学位移转换器在读出头经固定的光栅时, 产生正交模拟输出信号。本发明采用高速模/数转换器, 把数字化信号的每种组合送到一个 ROM 中, 读出对应于读出头输出信号组合的已计算和存储的内插二进制数字信号值, 该内插信号值对应于读出头经过的那段线间间距。还进行内插信号值的最高位转换的运行计数。转换计数和内插信号被组合, 以提供对应于读出头经过的线内和线间总距离信号。



权 利 要 求 书

1. 一种坐标测量仪(10), 其中含有一个安装得能在两个方向移动的探头(14), 和产生一对模拟电输出信号的信号发生器(23), 随着该探头(14)在任一方向内的运动, 每一信号的大小作周期性变化, 该周期与该探头在任一方向的运动增量有确切的关系, 在该对模拟信号中, 每一信号在每一周期内都重复, 但互相异相; 内插装置(12)产生的内插信号对应于该探头(14)在一个增量内的位置; 仪器电子电路装置(31)对该模拟和内插信号能作出响应, 提供一个显示该探头的位移的输出(33);

所述内插装置(12)含有模/数转换装置(34), 它把每个上述的模拟信号转换成相应的二进制数字信号;

顺/逆计数装置(48)提供对应于该输出信号每一周期的累积的信号计数;

上述的改进在于: 所述的内插装置(12)含有存储器——解码器装置(38), 在该装置内存储了以前确定的二进制数字信号内插值, 该值对应于在完整的一个周期内所发生的所述模拟信号的二进制数字值的每一组合, 所述存储器——解码器装置(38)具有输入终接装置(40)用于接收具有二进制数字形式的每一个输出信号, 当对应的二进制数字输出信号值被送到输入终接装置(40)时, 装置(42, 46)可控制地将上述存储的二进制数字值输出到所述仪器电子电路(31); 所述内插信号值和顺/逆信号计数在仪器电子电路(31)中组合, 以提供

探头位移显示输出。

2. 根据权利要求1 中的坐标测量仪(10), 其特征在于:
所述存储器解码器(38)含有一个只读存储器(30), 它具有8位二进制输出(42), 存储的最小至最大的内插信号值为0—225。

3. 根据权利要求2 中的坐标测量仪(10), 其特征在于:
所述只读存储器具有一16位的输入,且所述对应于每一个模拟信号的二进制数字信号被送到所述16位输入的8位段上,由此通过选择所述只读存储器(30)的一个存储器地址,将上述信号的组合直接解码。

4. 根据权利要求1 中的坐标测量仪(10), 其特征在于:
所述顺/逆计数器(48)能对在特定方向内的所述内插信号值的两个最高位的转换作出响应,从而获得所述的顺/逆信号计数。

5. 根据权利要求1 中的坐标测量仪(10), 其特征在于:
所述输出信号呈正弦性,且相位互异90度;所述信号发生装置(23)因此提供一对正交模拟信号。

6. 根据权利要求4中的坐标测量仪(10),其特征在於:它包括一个8位线间寄存器(52),其中的存储器解码器装置的输出被锁存在线间寄存器(52)内,其特征在於它还包括一个8位线内寄存器(44),其中的顺/逆计数器(50)的内容被锁存在线内寄存器(44)内,使线间寄存器对线内寄存器的相对值按256/1加权,从而使两个8位寄存器可以简单地串成单一的16位位置值。

7. 一种用于由坐标测量仪 (10) 相应于二方向移动测量头 (14) 的位移所产生包括在所述测量仪坐标内的内插正交模拟输出信号的改进的方法, 在所述探头 (14) 通过一个增量时, 每一个模拟信号都周期地重复, 该方法包括对模拟信号每一个完整周期计数的步骤以确定对应于所经过的增量总数的运行总值, 对部分地完成信号周期的值进行内插, 以获得优于所述增量距离的位移分辨率, 将上述运行计数与内插值组合, 便获得对应于所述探头 (14) 的总测量位移的信号;

上述内插步骤包括在产生输出信号时, 把每个模拟输出信号转换成二进制数字输出信号的步骤;

其改进所包括的步骤为:

建立数字信号值的线性级数, 信号值的总数代表内插因数;

在二进制数字输出信号值的范围内, 确定对应于在所述线性级数中每个数字信号值的所述转换的二进制数字输出信号的组合;

将每个线性数字值存储在存储器 (38) 内;

当在每一移动增量期间产生二进制数字输出信号的每一组合时, 作为对此的响应, 从存储器 (38) 中读出对应的线性数字值, 由此提供一个含有读出数字信号值的内插信号。

8. 根据权利要求 7 中的方法, 其特征在于它还包括下列步骤: 在移动到完整的周期时, 对所述内插信号值的两个最高位数字的转换作从 11 到 00 的计数, 并对以前按每一转换计数所求得的完整周期的运行总数作加 1 计数; 当从一完整周期反向移动时, 则对上述转换作从 00 到 11 的计数, 并对以前计得的完整

周期运行总数作减1计数。

9. 根据权利要求 8 中的方法，其特征在于所述的内插信号和所述转换计数信号被分别读入线间和线内寄存器中。

10. 一种位置测量装置 (10)，含有一个安装得能在两个方向运动的读出头 (22)，在该读出头 (22) 中装有信号发生器 (23)，能在该读出头 (22) 于任一方向上移动时产生一对模拟电输出信号，当该读出头 (22) 在任一方向移动时，每个信号的大小作周期性变化，所述周期与读出头 (22) 在任一方向内的移动增量有精确的关系，所述这对模拟信号中的每一信号在每一周期内重复，但相位各异；内插装置 (12) 产生的内插信号对应于该读出头 (22) 在一个增量内的位置；电子电路装置 (31) 能对上述模拟和内插信号作出响应，从而提供一个指示所述读出头位移的输出 (33)。

所述内插装置 (12) 含有模/数转换装置 (34)，它把每一个所述模拟信号转换成对应的二进制数字信号；

顺/逆计数器 (48) 提供一个对应于所述输出信号的每一周期的累计的信号计数；

其中的改进在于：所述内插装置 (12) 含有存储器——解码器装置 (38)，在其中存储着以前确定的二进制数字信号内插值，该内插值对应于在一个完整周期中发生的所述模拟信号的二进制数字值的每一组合，所述存储器——解码器装置 (38) 具有输入终接装置 (40) 用以接收所述二进制数字形式的每个输出信号，当对应的二进制数字输出信号值被送到所述输入终接装置 (40) 时，装置 (42, 46) 将所述存储的二进制数字值

输出到所述电子电路装置(31)上,所述内插信号值和所述顺/逆信号计数在电子电路装置(31)中组合后,提供该探头位移的显示输出。

11. 根据权利要求10的位置测量装置,其特征在于:所述的存储器解码器装置(38)含有一个具有一个8位二进制输出、一个16位输入的只读存储器,并且对应于所述模拟信号的所述二进制数字信号被输入到各自的8位段内。

12. 根据权利要求10的位置测量装置,其特征在于:所述的顺/逆计数器(48)能对在特定方向上的所述内插信号值的两个最高位的转换作出响应,从而获得顺/逆信号计数。

13. 根据权利要求10的位置测量装置,其特征在于:所述的信号发生器装置输出信号是正弦信号,但相位互异90度;所述信号发生装置(23)因而提供一对正交模拟信号。

14. 一种用于内插正交模拟输出信号的改进的方法,所述的每一个这样的模拟信号都周期地重复,所述方法含有对模拟信号每一个完整周期计数的步骤,用以建立运行总值,对部分完全的信号周期值内插,以获得优于每一信号周期的信号分辨率,将所述运行计数与所述内插值合并,即可求出对应于总的信号周期的信号。

该内插步骤包括下列步骤: 即随着所述输出信号的产生,把每一所述的模拟输出信号变换为二进制数字输出信号;

该方法的改进步骤包括:

建立数字信号值的线性级数,信号值的总数代表内插因数;
确定在对应于在所述线性级数中每一数字信号值的二进制

数字输出信号值范围内，所述被转换的二进制数字输出信号的组合；

将每一线性数字值存储在存储器（38）内；

在确定每个移动增量期间所产生的二进制数字输出信号的每一组合时，作为对此种组合产生的响应，从存储器（38）读出相应的线性数字信号值，由此提供含有所述读出数字信号值的内插信号。

15. 根据权利要求14的方法，其特征在于，它还包括下列步骤，即当移动到一个完整的周期时，将所述内插信号值的两个最高位的转换从11计数到00，并对通过每一个所述转换计数而获得的先前计数的完整周期运行总数作加1计数，当从一个完整的周期进行反向移动时，对该转换进行从00到11的计数，并对先前计数的完整周期运行总数作减1计数。

具有改进的内插电路的坐标测量仪

本发明涉及位移测量系统，在该系统内，两个结构的相对位移产生了周期变化的模拟电信号。此种系统在坐标测量仪中被广泛使用，其中有一测量探头装在一个托架和沿着三个正交轴运动的轨道系统上。探头经由工件上若干有关的点，测出该探头位移的大小后，就可以对应求出工件上点与点之间的距离。

人们一直使用一种光学距离转换器测量该位移，该转换器含有沿每一轴伸沿的细长光栅标尺，一个装在读出头上歪斜的透明光栅，而该读出头则装在经过该光栅的移动的托架上。该读出头被一灯照明，光的干涉产生称作莫尔干涉条纹的明暗条纹。该明暗条纹含有亮区和暗区，亮区和暗区在光栅宽度方向上的交替，正好对应于读出头和固定光栅的相对运动。另一种方法是使用在已有技术中众所周知的“微变条纹”方法，本发明也可以使用该方法。

光敏器件感测该干涉条纹后即产生相应于明暗条纹变动的周变电压，且该电压包含随着读出头的每一位移增加而循环的模拟电信号，该信号精确地对应于光栅线与线之间的距离。

此种变换器，已于1959年5月12日公布的关于“测量装置”的专利号为2, 886, 717和2, 886, 718的美国专利中公开了。

在典型的情况下，该电信号是正弦信号，每经过一条光栅

线时即产生一个完整的正弦波形。通常在把该正弦波变换为方波脉冲后对这些正弦波计数，从而确定读出头所经过的距离，把不完整的正弦波的插入值加进来一并计算，从而可获得优于光栅线间距离的较细的分辨率。

由于读出头可以在两个方向上移动，还由于在每一周期内模拟信号值是重复的，所以在该值内插信号内存在固有的模糊性。

为了排除这种模糊性，使用了一种改进的方法，该方法用于产生一个第二电信号，它的幅度等于第一个信号，但在相位上相差90度。这样就提供了一对正交信号。这些正交信号经组合后，就能提供与读出头在光栅标尺线间的位置成线性关系的唯一的信号信息。即正交信号的组合提供一个线性函数，从该函数可以确定读出头位于线间的哪一点，而不带模糊性。

为了提高测量仪的分辨率，使之优于光栅的间距，迄今为止，通过使用电阻网络，使模拟信号电分压，从而产生了多种二次信号，其中的过零信号在一组比较器和一个“异”网络内处理后，产生相应的内插信号。这种电路配置产生一个脉冲串，每个脉冲对应于一个读出头经过每一对光栅线空格间所产生的信号的 $1/N$ 。通过对脉冲的渡越计数，又将这些脉冲再被除以4，产生被 $(N \times 4)$ 除的内插值，其中N的典型值为5或6。

若需更高的分辨率，提高内插值的级别在理论上是可能的，其方法是增加电阻和分立元件，但这样做将大大增加成本，并使器件庞大。此外，电路将更容易受到辐射和传导噪声的干扰，因为在这种方案中，被计数的总脉冲数将以内插值系数为单位递增。

1980年9月30日公布的专利号为4, 225, 931的美国专利“用于数字式电子位置测量仪的内插装置”中描述了内插这种正交信号的另一种电路配置。在这里所描述的该电路配置中, 两个正弦模拟输出信号被转换为数字信号, 并在数字计算机内处理, 从而算出每两个数字输出信号组合的内插值。数出模拟信号的周期数, 建立在线内的测量, 然后将数出的周期数值与内插的数字值合并, 求出对应于总位移的信号值。

这种方法有一些缺点。

这些计算必需随着读出头通过光栅“联机”进行; 由于周期信号以非常高的速度产生, 难以产生这种速度下的内插值, 至少难以求出小的内插值。这种方法还需要一台强大的数字计算机以及相关的内插算法。

此外, 在该系统中, 模拟信号是直接计数的, 而内插过程是对与此相对应的数字化信号进行的。当内插输出接近零时, 且行将对信号计算时, 就会产生模糊误差。

在本发明中, 每一个正交模拟读出头输出信号(X , Y), 都被引入高速模/数转换器, 使每对 X , Y 模拟信号能实时地被转换成相应的数字值。

将每一对 X , Y 数字信号加到查找表上, 该表由只读存储器(ROM)内的地址存储器组成, 在ROM内储存着以前计算的数字式内插值, 这些数值对应于在每一周期内数字式读出头输出信号的每一次组合。对于 X , Y 信号的每一个组合, 都可从ROM中读出一个存储在其中的、以前计算的作为一个8位数字数的内插值。

X, Y 数字信号的组合就这样被作为相对于查找表的映象函数, 从而读出对应于信号周期内插值的数字信号。

因此, 对于每单位位移的读出头的输出信号, 就有效地被细分成可以被 ROM 读出的数字值的数, 从而不需进行任何实时计算。

内插数字信号的两个最高位的转换, 被编码成顺计数或逆计数, 以获得线内计数, 避免上述潜在的误差。线间寄存器位加权和线内寄存器位加权的设计, 被精确地安排成 $256/1$, 从而使它们能简便直接地串成一个总的二进制值, 而无需进行变换。

本发明与以前的电阻网络技术比较, 具有大大提高此种周期模拟信号分辨率且成本低廉的优点。而且, 与以前的技术比较, 本发明受噪声干扰的可能性减小了, 因为内插过程并不增加信号计数的速率, 即仅对线内的转换进行计数。

同时, 与以前需要进行数字计算机“联机”计算的内插过程相比, 本发明可以更容易地高速产生内插信号。

线内和线间寄存器的加权这样安排, 以直接组合其内容, 从而减少了为产生完整位移信号所需的线间和线内信号的处理量。

图1 为设有根据本发明设计的读出头信号处理电路的坐标测量仪的透视图。

图2 为根据本发明设计的读出头信号处理电路的方框图。

图3 为图2 所示电路的简化状态图。

图4 为流程图, 表明用于计算内插信号值循环的程序。

图5 为在示出计算内插信号值的图上的X, Y的取样图。

图1 所示为一台坐标测量仪(CMM)10作为位置测量仪的装有本发明的读出头信号处理电路12的例子。该坐标测量仪10可以以不同的形式构成, 所示实例为1987年7月28日公布的专利号为4, 682, 418的美国专利“坐标测量仪”中详细描述的那种仪器。

探头14装在探头轴16上, 该轴可在托架18上作垂直运动。探头轴16上装有光栅20, 它在运动时经过装在托架18上的读出头22。托架18安装在第二托架24上用于水平移动, 第二支架随后安装在基座26上用于在与之正交的方向上的水平移动。

对于托架18和24都提供一个类似的光栅——读出头的装置, 从而可以以在已有技术中已知的方法产生对应于沿着每一正交轴运动的电信号。

因此, 当探头14顶端28在放置于平台32上的工件30的点间移动时, 运动的距离被测出, 从而产生对应于工件30上的点间距离的信号。

如上所述, 已知的为产生对应于每一部件运动量的信号的
光学距离变换技术, 使用一个光敏器件阵列探测由一个光栅小截面产生的莫尔阴影干涉条纹, 该光栅装在读出头22上, 并相对于装在仪器一个构件上的对应的主光栅20略有倾斜。本发明同样适用于这门技术中常用的“测微”型密封。

读出头22含有一个光敏器件阵列(未示出), 用于探测明暗干涉条纹, 从而产生一对电读出头的都呈正弦变化、但相位相差90度的正交输出信号。当该读出头通过一个光栅线内间隔

时，这些信号即产生一个完整的周期。

这些信号在读出头信号处理电路12内被处理，仪器的主电子电路31接收经处理的读出头输出信号，并在适于使用的装置如显示器33中作相同的处理，它所显示的测量单位对应于读出头信号。主电子电路31可以包括或含有一台用于处理变换器信号的主计算机。

图2所示为根据本发明的读出头信号处理电路。

装在读出头22上的装置产生两个模拟信号X，Y。此处的信号发生装置具有能从装在读出头22上的一对光敏器件23上输出的形式。通常采用由四个光敏器件组成的阵列，其输出经组合后产生两个信号，以减少共模误差，熟悉这门技术的人都懂得这一点。读出头的每一个模拟输出信号都被送到相联的模/数转换器34，每个转换器都有一个8位输出端36。每个模/数转换器都是“快速”型的，即：能以每秒 2×10^5 次转换的速度工作，从而能在读出头以最大设计速度移动时，连续处理模拟信号。这种快速模/数转换器已投入商业应用。

相位相差90度的正弦模拟信号X，Y就这样在输出端36处被连续转换成对应的二进制数字信号。

每一个二进制数字输出信号被只读存储器38或称为ROM的38读出，该ROM共有16个输入端，它被分为两个8位输入端40和一个8位输出端42。换言之，X，Y的组合对应于ROM38的一个16位输入，因此，实际上获得对X，Y组合进行直接解码。

在ROM38内的各个存储器地址内，存储着0—225的每一个二进制数字信号值，可以在输出端42读出各个存储器地址中的

信号值。因此，这256个可以从ROM输出端42读出的序贯二进制数字信号，提供了内插因数。

具有二进制形式的读出头输出信号X，Y，可用于映象功能或解码功能，使一相应的二进制数字信号值能在输出端42上从一个存储器地址中被读出。

在整个可能的输出信号范围内，X，Y输出信号的每一组合都对应于光栅线间间距上的一点。

即数字化的读出头输出信号的每一组合，都对应于在ROM输出端42处的0至255二进制数字信号中的一个，因此，这些信号的序贯数列线性地对应于线间间距的一个子增量。

于是，在组合的X，Y信号的相应的存储器地址内存储了多个二进制数字信号值，从而在无论何种X，Y信号组合加到输入信号上时，都能在输出端42处输出。因此，在输出端42处的二进制数字信号将含有一内插信号或线间二进制数字信号，该信号对应于由李沙育(Lissajous)图形圆心与最后读出的X，Y信号相交组成的正切的弧，最后读出的该X，Y信号按指令被读入一个有一8位输出端46的8位锁存寄存器44中。

随着读出头照明灯亮度的变化，二进制数字读出头输出信号X，Y可能随各种Lissajous圆的直径而有所变化。然而，即使由于灯的亮度变化使这些输出信号值减小或增大，它们仍然与内插信号具有反正切的函数关系，这在上述美国专利4,225,931中已有介绍。因此，可以使用相同的具体内插数值对一系列存储器地址进行编程。这些内插值对应于各种能由模/数转换器34产生的其计算方法将在下文具体介绍的二进制数字输出

信号组合（相对于各种Lissajous圆“直径”）。

在锁存器输出端46处的二进制数字插入信号两个最高位的转换，由顺/逆计数器48进行计数，以获得对应于读出头22所经过的线内距离的运行数。当信号值从255起增加时，这两位从11变换到00，反之亦然，当该信号值从零开始减小时，这两位从00变为11。于是，每一次这样的转换都可以在一个8位计数器50内作相应的顺计数或逆计数，以获得对应于所经过的线内距离的总运行数。

该总运行数被周期地传送到具有输出端54的8位锁存寄存器52。

线间寄存器位的加权和线内寄存器位的加权的设计，完全按256/1安排，从而使它们能简便而直接地串成总值，而无需进行变换运算。

线内和线间二进制数字信号能直接由仪器的主电子电路34组合，以便以长度测量单位将其显示，或以该技术中常见的方式应用于其它方面。

熟悉该技术的人都懂得上述器件的运行必须适当地定时，为达到这一目的，必须有一个系统控制器56。图3所示为这种控制器56所必须完成的功能的简化的状态图。

进行对应于在所有数值范围内的每一种模拟信号组合的内插信号的计算，将为使用脱离联网的具有适当编程的数字计算机带来若干优点。

在完整的一个周期内，这些X—Y坐标轴的信号都可对X，Y

读出头信号的每一幅度作出一个Lissajous 圆，将该圆的各个角分割成对应于内插因数的等弧长的个数，对应于每个X，Y组合的角度可以与 256个可能的内插值的每一位相关起来，这便是实施此种计算的方法。

表示X，Y信号组合与线性内插值的反正切函数将是 $\text{ARCTAN2}(X, Y)$ ，用该式计算 4个象限角时，X' 和Y' 轴的符号（+或-）都应使用，其计算结果在 $[0^\circ < \theta < 360^\circ]$ 的范围内。当数值的大小用度数确定之后，该数值还需乘以 $256/360$ ，才能获得二进制整数。

有关该查找表的假设包括：

1. 查找表通过列的值（穿过水平轴），对应于0度读出头信号的最大范围，即X信号，其中的值“0”对应于 -2.5Vdc ，值“127”对应于 0Vdc ，值“255”对应于 $+2.5\text{Vdc}$ 。

2. 查找表通过行（穿过垂直轴）的值，对应于 90° 读出头信号，即Y信号，值“0”对应于 -2.5Vdc ，值“127”对应于 0Vdc ，值“255”对应于 $+2.5\text{Vdc}$ 。

3. 置入，即用程序写入查找表的值，对应于在Lissajous圆上X—Y点从在该圆上+X' 轴（从3:00参照点）算起的角。这对应于沿光栅标度轴的实际位移。

图4是根据这种技术计算这些值的一种具体程序的流程图。

下面给出按照该流程图编写的BASIC程序表，其中的 I，J 系模/数转换器输出值，它输入到ROM的每一端子：


```

10 OPEN "O", #1, "A:EPROM512.dat"
20 FOR I = 0 TO 255
30 PRINT I
40   YA = (I - 128) / 128
50   FOR J = 0 TO 225
60     XA = (J - 128) / 128
70     IF (YA >= 0 AND XA >= 0) THEN ADDA = 0
80     IF (YA < 0 AND XA > 0) THEN ADDA = 360
90     IF (YA >= 0 AND XA < 0) THEN ADDA = 180
100    IF (YA < 0 AND XA <= 0) THEN ADDA = 180
110    IF ((XA > 0) OR (XA < 0)) THEN ANGLE1 = ATN(YA / XA)
120    IF (XA = 0) THEN ANGLE1 = 90 * 3.14159 / 180
130    ANGLE = INT((ADDA + (ANGLE1 * 180 / 3.14159)) * 256 / 360)
140    AMPX=I-128
150    AMPY=Y-128
160    HYP=(AMPX^2+AMPY^2) ^ .5
170    IF (HYP<32) THEN ANGLE = 0: ADDA = 0
180    PRINT #1, USING "!"; CHR$(ANGLE);
190    REM PRINT USING "!";CHR$(ANGLE);
200  NEXT J
210 NEXT I
220 CLOSE #1
230 END

```

图5示出X' 值为- 64、Y' 值为- 48的相量角 θ 。

本发明的电路和方法也可用本文所示坐标测量仪以外的位置测量装置，例如线性和角度解析器以及编码器等。

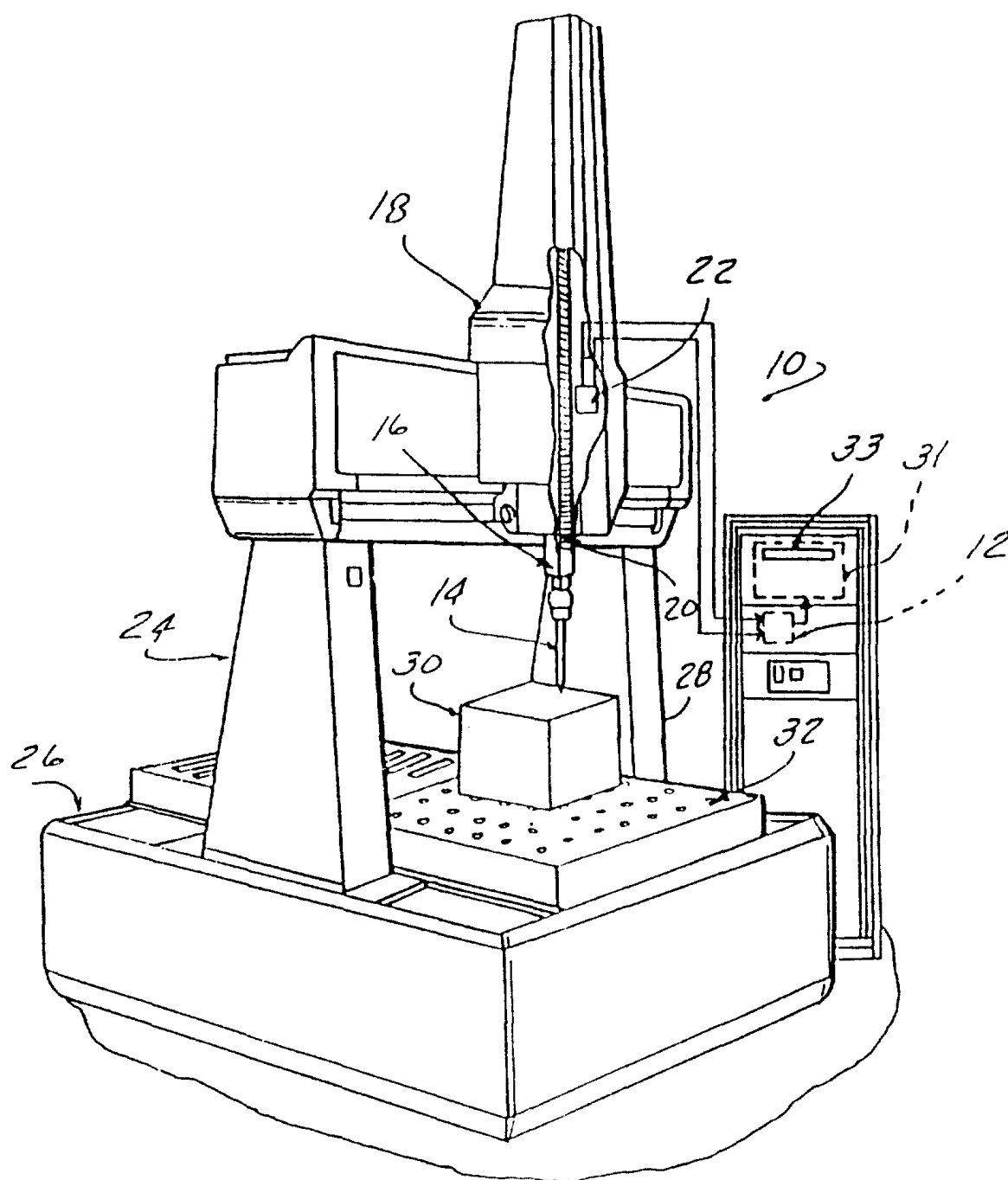
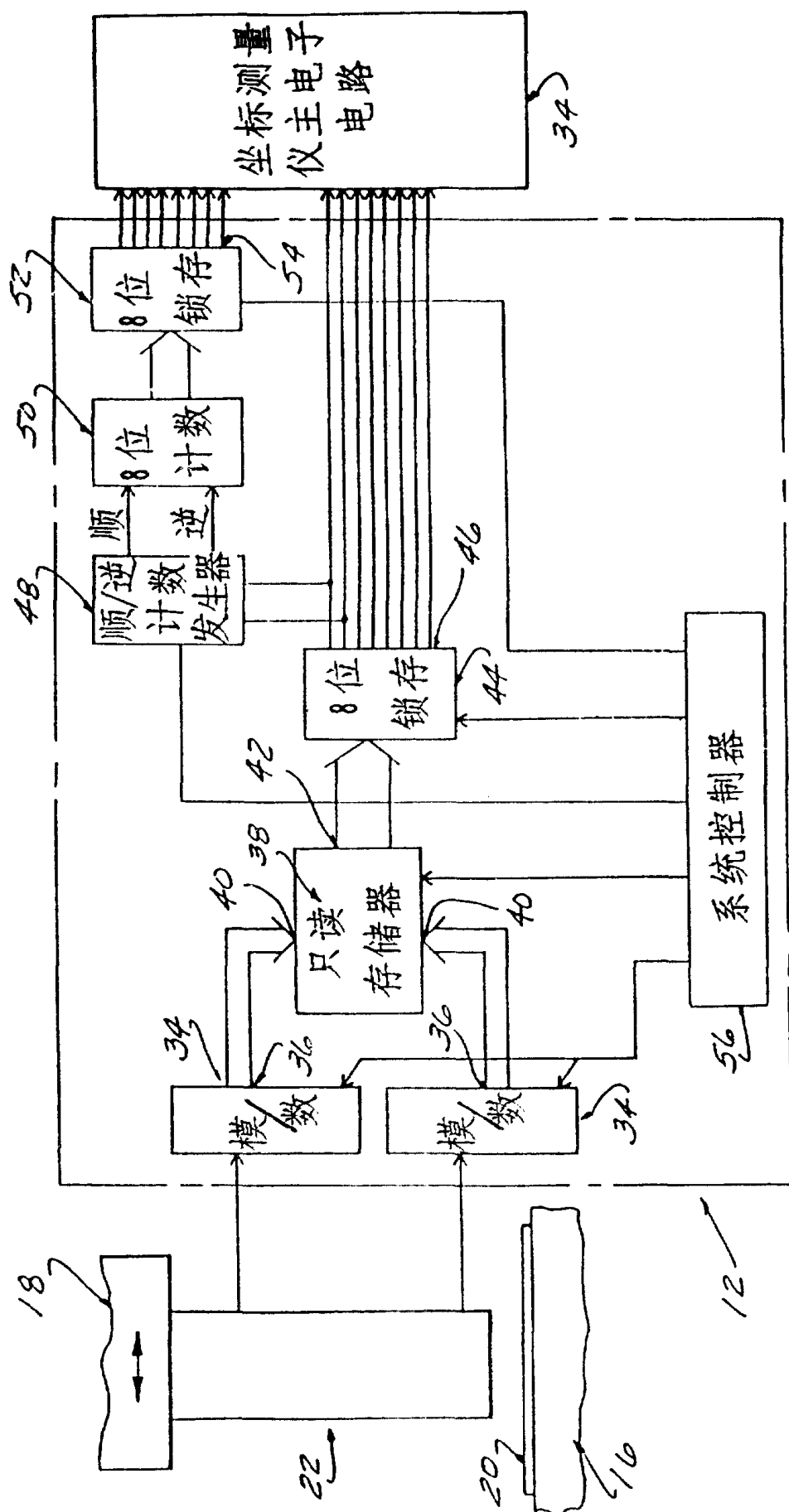


图 1



2

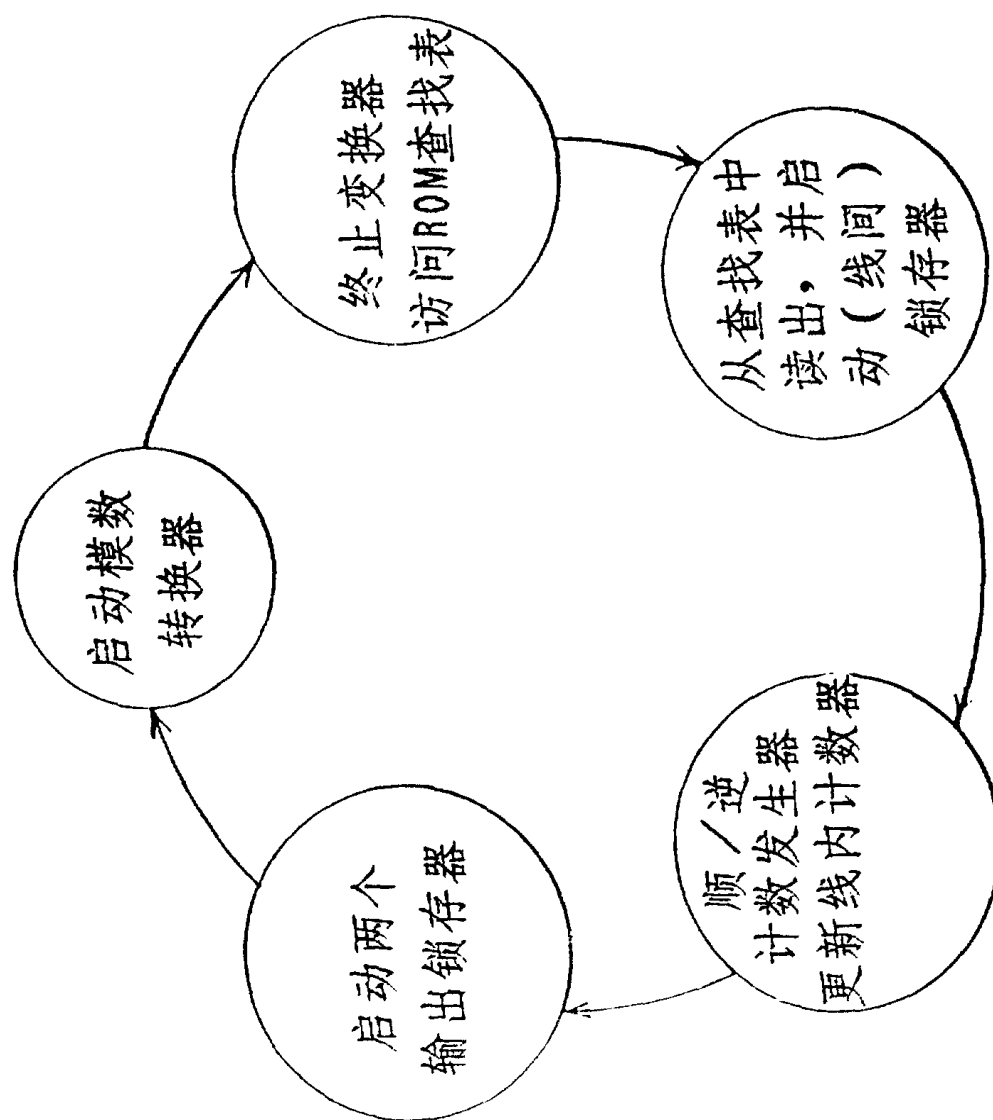


图 3

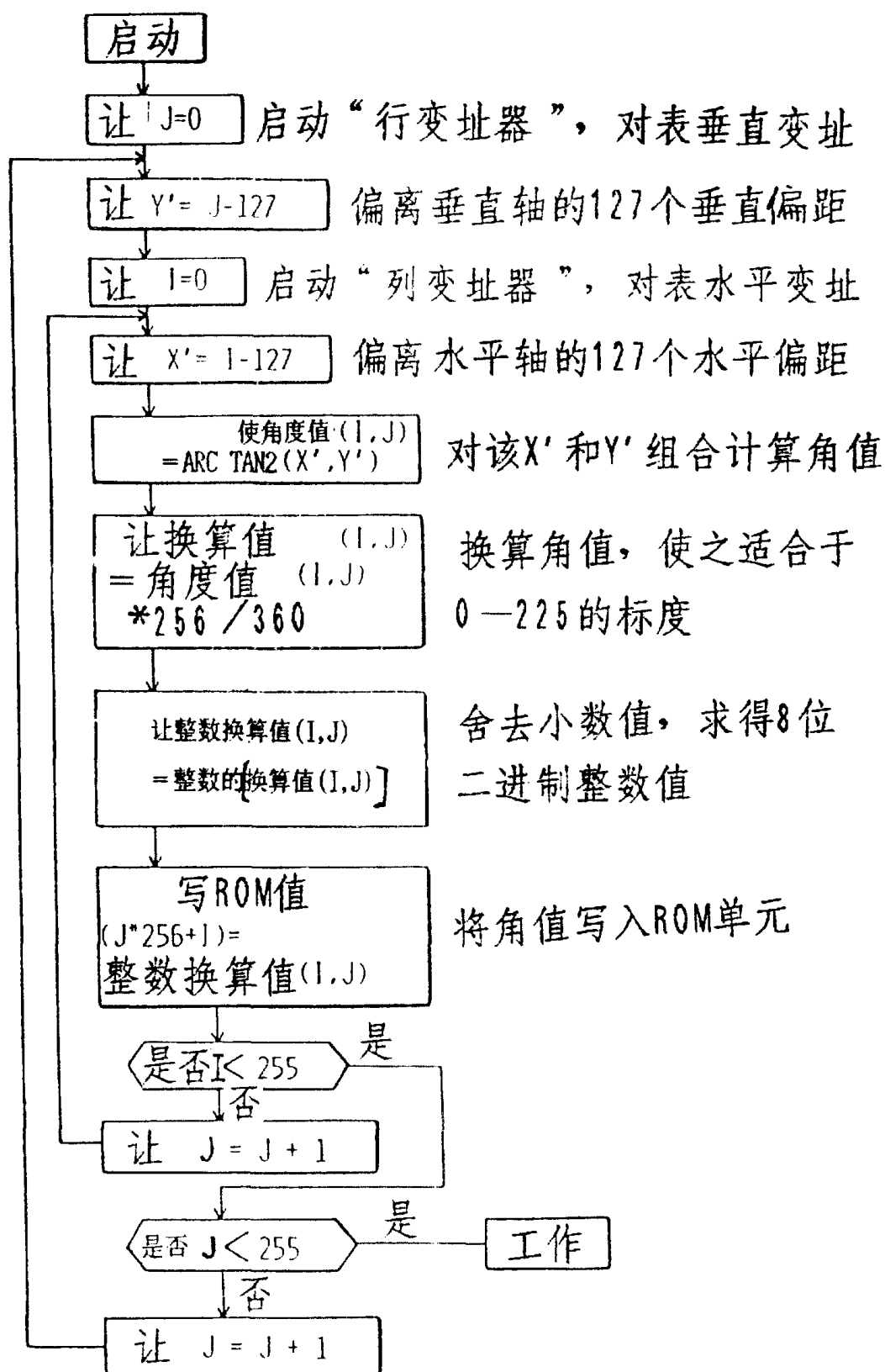


图 4

