

# 精密工作台误差测试系统

黄寿荣 黄家贤 赵继军

(东南大学电子精密机械研究室, 南京 210096)

**摘要** 精密工作台是超大规模集成电路制造设备中的典型机构。在实验室设备的基础上, 研制了一套精密工作台误差动态测试系统。该系统采用 8098 单片机实现分频、比相和误差计算。系统集成数据采集和处理为一体, 比相范围大, 测试精度高, 柔性好, 使用方便。

**关键词:** 精密工作台; 误差测试; 比相; 8098 单片机

## 1 引言

图 1 为精密工作台传动链系统的示意图。系统由电机 1 通过联轴器 2 带动齿轮 3、10 转动, 从动轮 10 上固定的拨盘 9 通过夹头 8 带动滚珠丝杆 6 旋转, 从而带动滚珠螺母 7 及工作台 4 移动。

图 2 为测试系统工作原理图。将圆光栅付、长光栅付分别装在传动链的始末端以获得反映两者位移量的光信号。硅光电池将光栅的光信号转换成电信号, 并且硅光电池与光栅付中的一个光栅固定不动, 作为测量的基准点; 另一光栅随主动齿轮转动或随工作台移动, 从而形成莫尔条纹。放大整形电路将来自硅光电池的微弱电流信号经滤波、放大转换成电压信号并对信号整形, 形成脉冲信号。8098 单片机系统是测试系统的核心, 它集

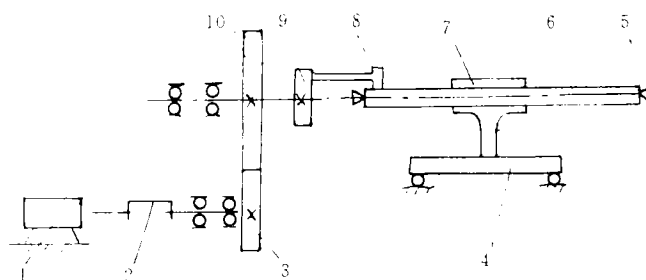


图 1 工作台传动链系统示意图

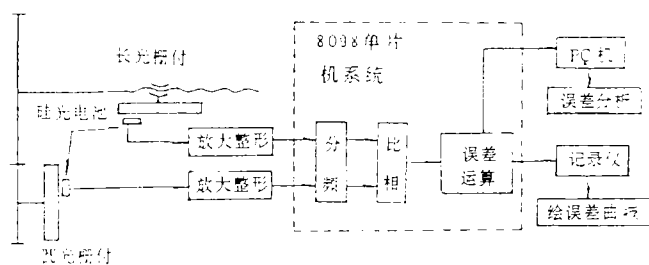


图 2 测试系统工作原理图

分频、比相、误差运算为一体,具有高效率、高分辨率的优点,使整个测试系统结构紧凑、轻便、灵活。8098 输出的误差值由记录仪记录或送入 PC 机中进行分析。

## 2 分频比相原理

测试系统中,盘、尺信号是两个相关变化的频率信号,而比相要求这两路信号必须同频,因此测试系统通过不同的分频系统数将两路信号变为同频率的信号,把由机械运动产生的相对频率变化转换成同频率下的相位差,再对相位差的变化进行检测,即可得出相应的机械运动误差。

系统中,圆光栅规格为 5400 线/圈,长光栅为 100 线/毫米,齿轮副传动比 1:2,滚珠丝杆副公称导程为 4 毫米,因此盘、尺信号的分频系数断导数  $R, L$  应满足  $R:L = 27:1$ 。若计时器一个比相周期内有  $N$  个计时脉冲,周期信号波长为  $\lambda$ ,则误差分辨率为  $\lambda/N$ 。因此分频系数越小,  $\lambda$  越小,测试系统误差分辨率也越高。系统中取  $L = 1, R = 27$ 。

两路信号经分频后,等频率的盘信号与尺信号间总有一定的相位差,其表达式为

$$\varphi_n = \frac{t_n}{T_n} \times 2\pi \quad n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

式中  $\varphi_n$ —第  $n$  个比相周期盘信号与尺信号的相位差;

$t_n$ —第  $n$  个比相周期内,盘信号首次到来时间与尺信号到来时间的差值(见图 3);

$T_n$ —第  $n$  个比相周期内,盘信号首次到来时间与末次到来时间的差值。

若工作台传动链是理想的,相对运动误差为零,相位差为常数,即  $\Delta\varphi_n = 0$ 。当有相对运动误差时,相位差为变量,即  $\Delta\varphi_n \neq 0$ ,则盘、尺信号间相位差的变化量就是传动链误差大小的反映,故误差是  $\Delta\varphi$  的函数。其误差值可由下式表示

$$e_n = \left(\frac{\Delta\varphi}{2\pi}\right) \times \lambda \quad (2)$$

式中  $\lambda$  为分频后两路信号的理想(没有相对运动误差)波长。本系统中,因长光栅 100 条/毫米,故  $\lambda = 10\mu\text{m}$ 。由式(1)知,第  $n$  个比相周期时两路信号相位差变化量为

$$\Delta\varphi_n = \varphi_{n+1} - \varphi_n = \left(\frac{t_{n+1}}{T_{n+1}} - \frac{t_n}{T_n}\right) \times 2\pi \quad (3)$$

将式(3)代入式(2),得第  $n$  个比相周期的相对运动误差值为

$$e_n = \left(\frac{t_{n+1}}{T_{n+1}} - \frac{t_n}{T_n}\right) \times \lambda \quad (4)$$

因此,通过记录各信号周期中盘信号、尺信号到来的时间,按式(4)可求得精密工作台传动链相对运动误差。

## 3 硬件设计

8098 单片机具有一个逻辑上的存储器空间,可寻址范围 64kb,其中 2080 H—0FFFFH

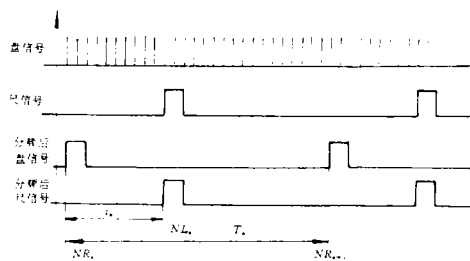


图3 盘信号首次到来与尺信号到来时间差值

用于存放程序和数据,复位后从 2080H 开始执行指令,系统扩展一片 2764 程序贮器,用于存放数据采集、比相、数据处理和输出的程序,分配的地址为 2080—3FFFH。由于精密工作台误差测试中采样点较多,需扩展两片外部 RAM: 6264 和 62256,并由两个与非门和两个非门构成的逻辑电路来完成外部 RAM 地址的配置。为保证测试精度,第个采样点占用两个字节。

前向通道采用 LF356 对两路信号实现电流/电压转换,两片 OP07 对信号二级放大。施密特触发器 74LS14 用于信号的整形。光电隔离器用于避免整形后信号中的噪声对 8098 单片机的干扰。来自光栅传感器的正弦波信号经放大、整形成为脉冲信号。再通过 8098HSI 进行分频、比相,进而计算出传动链误差。

误差的输出方式有两种。一种为模拟信号输出,其利用 8098HSO(16 位),通过选用 HSO.0 引脚,可输出占空比可变、周期为 0FFFFH 的 PWM 信号。另一为串行口输出,其将系统中的误差值直接送入 PC 机中存贮或分析。

8098 向 PC 机发送数据前先接收来自 PC 机的约定位。接收采用中断法,通过响应串行口中断,执行中断服务程序。往 PC 机发送数据时用查询法,检验 T1 标志(发送中断标志),T1 为 1 时可发送,每当串行口发送操作完成,T1 置 1, CPU 向 SBUF (tx) 写数据,启动下一帧数据的发送。

8098 单片机与 IBM-PC 之间采用 RS-232 接口,因为 8098 输入输出为 TTL 电平,高电平 3.8V 左右,低电平 0.3V 左右,以 TTL 电平传送数据抗干扰性差。传输距离短,采用 RS-232 用以提高串行通讯的可靠性。RS-232 逻辑电平与 TTL 的不同,+5V——+15V 间为逻辑 0,-5V——15V 之间为逻辑 1,因此 RS-232 驱动器与 TTL 电平连接必须经过电平转换,采用芯片 1488, 1489 实现。

## 4 软件设计

软件系统包括数据采集、误差计算、脉宽调制输出和串行口通讯等软件。

### 4.1 数据采集软件

数据采集由 HSI 实现。需要说明的是:

(1) 异常比相——相位差超出  $0^\circ \sim 360^\circ$  范围

分频后,盘、尺信号在比相周期内有可能出现异常情况。情况 A:在第  $n$  个比相周期内,两盘信号间没有信号(图 4(a)),第  $n$  个尺信号落在了第  $n+1$  比相周期内, $NL_n$  与  $NR_n$  的相位差大于  $360^\circ$ ,即为

$$\varphi_n = \left( \frac{t_{n+1}}{T_{n+1}} + 1 \right) \times 2\pi$$

情况 B:在第  $n$  个比相周期内,两盘信号间有两个尺信号, $NL_{n+1}$  与  $NR_{n+1}$  的相位差小于  $0^\circ$ 。若在第  $n$  周期中,只认可最后一个到来的尺信号,则两路信号的相位差为

$$\varphi_n = \left( \frac{t_n}{T_n} - 1 \right) \times 2\pi$$

综合上述两种情况,可得通式

$$\varphi_n = \left( \frac{t_n}{T_n} + M \right) \times 2\pi \quad M = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (5)$$

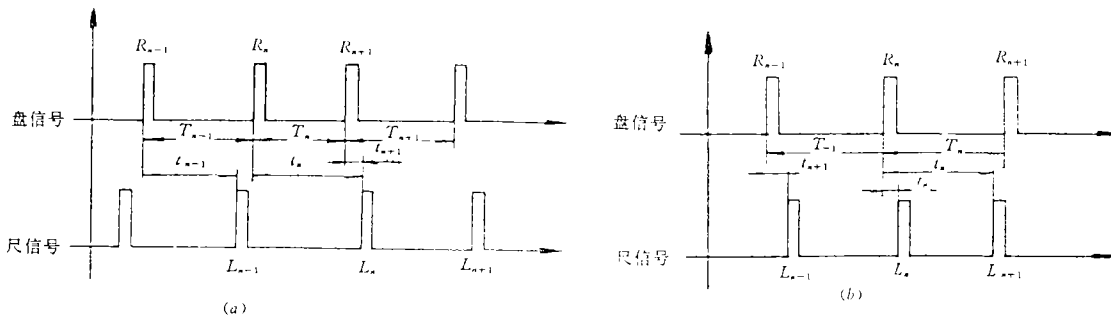


图4 异常比相

在程序中设置了一变量  $M$ , 初值为 0, 若出现一次情况 A,  $M$  加 1, 即相位差加  $2\pi$ ; 出现一次 B 情况,  $M$  减 1, 即相位差减  $2\pi$ . 非异常情况  $M$  不变. 为检验出尺信号是超前还是滞后, 系统中设置了另一变量 MID. 采 1 次尺信号, MID 减 1;  $T_2$  复位后, 说明盘信号已 27 分频, MID 加 1. 再计算分频后该周期的 MID 值. MID=1 说明两盘信号间无尺信号,  $M$  加 1, 并返回开始下一周期的分频. MID=-1, 尺信号超前, 两盘信号间有一尺信号,  $M$  减 1. 其它 MID 值为不正常工作情况, 予以排除. 判断完后, MID 清 0, 开始下一周期的检验.

#### (2) 定时器 1 溢出情况

$T_1$  计满 0FFFFH 时溢出, 溢出时间为 131ms. 精密工作台电机转速为 0.24 转/秒, 每秒钟有  $0.24 \times 5400$  个盘信号, 再经 27 分频, 每秒 48 个盘信号, 分频后两个盘信号相距的时间为  $1/48$  秒即 21ms 左右. 因此一个比相周期内,  $T_1$  最多溢出一次, 溢出情况分两种 (见图 5)

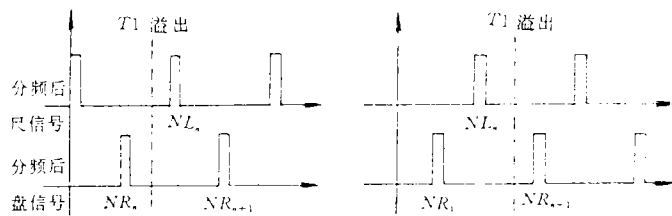


图5 溢出

A 在第  $n$  个比相周期中, 定时器 1 在尺信号与第 1 个盘信号之间  $T_1$  溢出, 此时,  $NL_{n+1}$  与  $NR_n$  的实际值均为  $T_1$  计值加上 0FFFFH. 相位差表示为

$$\varphi_n = \frac{(0FFFFH + NL_n) - NR_n}{(0FFFFH + NR_{n+1}) - NR_n} \times 2\pi = \frac{(NL_n - NR_n) + 0FFFFH}{(NR_{n+1} - NR_n) + 0FFFFH} \times 2\pi \quad (6)$$

比相周期约为  $T_1$  溢出周期的  $1/6$ , 此时,  $NR_{n+1}, NL_n$  均小于  $NR_n$ ,  $NR_{n+1} - NR_n$  和  $NL_n - NR_n$  为负,  $NR_{n+1}, NL_n$  相对于  $NR_n$  的值为  $(NR_{n+1} - NR_n) + 0FFFFH, (NL_{n+1} - NR_n) + 0FFFFH$

B  $T_1$  在尺信号与第二个盘信号间溢出, 相位差表示为

$$\varphi_n = \frac{NL_n - NR_n}{(0FFFFH + NR_{n+1}) - NR_n} \times 2\pi = \frac{NL_n - NR_n}{(NR_{n+1} - NR_n) + 0FFFFH} \times 2\pi \quad (7)$$

$NR_{n+1}$  值定小于  $NR_n$  值,  $NR_{n+1} - NR_n$  为负, 则  $NR_{n+1}$  相对于  $NR_n$  的值为  $(NR_{n+1} - NR_n) - 0FFFFH$ 。判断比相周期内  $T_1$  是否溢出以及是哪种情况的溢出, 是比较  $NR_n$ 、 $NL_n$ 、 $(NR_{n+1} - 0FFFFH)$  的值。

#### 4.2 误差计算软件

根据上述有关公式, 先将  $NR$ 、 $NL$ 、 $M$  值转化为二进制浮点数, 再调用浮点运算子程序, 即可计算出传动链的误差值。8098 中浮点数用 4 个字节表示, 高 3 个字节为尾数, 最低字节为阶码。

由于比相周期约为 21ms, 即一个比相周期内约有 10000 个脉冲, 相位差的细分分辨率为  $360^\circ/10000 = 0.036$  电角度, 误差分辨率可达  $\lambda/10000 = 0.001\mu\text{m}$ 。对于脉宽调制输出, 0-0FFFFH 表示的 10 进制数值范围为 +32000——-32000。程序中将计算结果放大 100 倍, 则输出误差所表示的范围即系统所能测量的误差范围为  $\pm 320\mu\text{m}$ —— $\pm 0.01\mu\text{m}$ 。

#### 4.3 脉宽调制输出软件

程序允许  $T_1$  溢出中断, 中断服务子程序首址为 3600H,  $T_1$  每记满一次发送一误差值。HSO-TIME 寄存器存放事件触发的时间值, 该时间值相对于  $T_1$ , 它的设置一般为 ADD HSI-TIME,  $T_1$ , # $\times\times\times$ H, 但由于系统要求  $T_1$  为 0 时, 输出高电平,  $T_1 =$  误差值时输出低电平, 其设置用指令

```
LD HSO-TIME, #0H
```

和 LD HSO-TIME, # $\times\times\times$ H

#### 4.4 串行口通讯软件

串行口中断向量单元地址为 200CH、200DH, 设定中断服务程序入口地址为 3700H;

串行口初始化: INT-MASK=08H, 开放串行口中断; H0C1=20H, 选择 TXD/P2.0 引脚的 TXD 功能; SP-CONTROL=0FH, 方式 3, 允许偶校验, 允许接收功能; 波特率选用 1200 波特, 波特率寄存器值为 804DH, 选择 XTAL 频率作为波特率发生器的时钟。

8098 将外部数据存储器 4000H—5002H 单元的内容向 IBM-PC 发送, 在发送前先接受来自 IBM-PC 的要求发送的信息 (为字节 0FFH), 若为非约定信号, 重新返回接收。在数据传送过程中, 偶校验检出错, 将停止发送, 接收到 IBM-PC 要求重新发送数据的信息时, 从 2880 单元开始发送。

通讯程序用 8086 汇编语言编写。8250 初始化: 设置波特率除数高低位锁存器值为 0060H, 波特率为 1200 波特; 设置通讯线控制寄存器为 8 位数据位, 1 位停止位, 偶校验; 禁止中断。

IBM-PC 将接收到的数据写入数据缓冲区中, 如果数据传送出错, 通知 8098, 并重新接收数据。数据接收完后, 建立一文件, 将数据缓冲区的数据写入该文件, 并对数据进行二、十进制转换。然后关闭文件, 返回 DOS。

### 参 考 文 献

- [1] Hufault, J. R., OP AMP Network Design, 1986
- [2] 赵依军, 8098 单片机原理及系统设计技术. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990
- [3] 常玉燕, 日本电子电路精选. 北京: 电子工业出版社, 1989
- [4] 杜润生, 传动链误差微计算机诊断系统. 华中工学院学报, 1987, (2)

## A Testing System for Errors of Precision Working Station

Huang Shourong, Huang Jiaxian Zhao Jijun

(*Institute of Precision Electromachinery, Southeast University, Nanjing 210096*)

### Abstract

The precision working station is a typical mechanism in manufacturing equipment for VLSI, its accuracy being doubtlessly of significance. Based on the equipment in the authors' laboratory, a dynamic testing system for errors of precision working station is developed, in which frequency-division, phase-fitting, and error-calculation are carried out by an 8098 microcontroller, and hence the data collection and the data processing are integrated. The system is flexible and easy to use with a larger range of phase-fitting and a higher measuring accuracy.

**Key Words:** Precision working station, Phase-fitting, Error-testing, 8098 Microcontroller