



据处理,未参与实测过程,利用率不高。

近年出现的微机数字比相系统<sup>[3,4]</sup>是计算机辅助测试技术 CAT 在此领域的成功应用,代表了一种发展方向。

我们研制的“全微机化传动误差检测分析系统”(简称 FTT 系统)原理如图 2 所示。特点是:1) 用脉冲计数比较方式而不是比相方式拾取误差信息,避免了同频信号比相引起的分频和相位翻转问题;2) 提出一种信号细分新观点并付诸实现;3) 除接口板外,系统不设电器箱,结构显著简化。

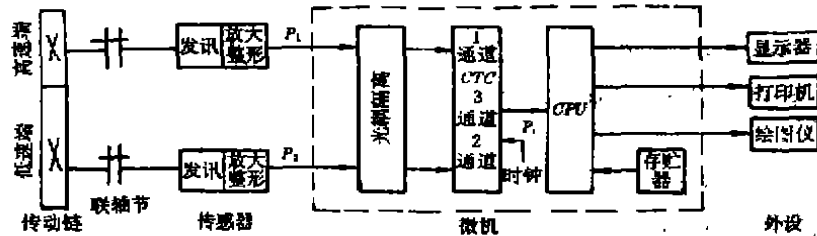


图 2 全微机化传动误差检测系统原理框图

## 1 系统工作原理

### 1.1 采样原理

对传感器发出的两路脉冲信号  $P_1$  和  $P_2$  不作任何倍频或分频处理,直接交由微机内部或接口板上另设的“定时器计数器”芯片(Z80CTC、INTEL8253等)计数,即把传动链两端的位移比较变成两路不同频率脉冲信号个数的比较。这样,离散化的传动误差表达式为:

$$E_k = \sum_{i=1}^k \left[ \left( \sum P_1 \right)_i - I \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right] N_1 \quad (1)$$

其中  $E_k$ —第  $k$  点传动误差值;  $I$ —传动比;

$\left( \sum P_1 \right)_i$ —第  $i$  次采样  $P_1$  脉冲数;  $N_1$ — $P_1$  脉冲当量;

$\lambda_1/\lambda_2$ —高、低速传感器栅线数之比。

若按低速端一周取  $k = 1024$  个采样点设计,即得到 1024 个传动误差数据,可直接交由微机作误差分离和 FFT 等数据处理。各种误差数据以点表示可分别构成各自的离散化误差曲线。

### 1.2 细分原理

按(1)式计数处理的最大量化误差是  $N_1$ ,这对于一般栅线数传感器而言误差太大,必须作细分处理。

在众多细分方法中,利用微机内部高频时钟脉冲进行细分是一流派。表 1 列出了几篇参考文献中使用这种方法的用途和用法,容易看出其共同点:

1) 数学表达形式一样,可统一为

$$\Delta \varphi_k = \left( \sum P_1 / \sum P_2 \right) N \quad (2)$$

$\Delta \varphi_k$ —本次采样误差值即相位差值;  $\sum P_1$ —相位差部分时间脉冲数

$N$ —比相信号脉冲当量;

$\sum P_i$ —一个比相周期内的时间脉冲数。

(2) 通过用额外的时间脉冲  $P_i$  对两路同频率方波信号的相位差部分进行填充而实现比相。其过程如图 3(a) 和 (c)

表 1

用 途	表 达 式
ZD065 微机检测圆光栅分度*	$\theta_d = \frac{T_d}{T_n} \beta$
单板机测交流市电相位差 <sup>[1]</sup>	$\varphi = \frac{D_c}{D_s} \times 0.0110H$
单板机测丝杠磨床传动链误差 <sup>[2]</sup>	$\varphi_i = \frac{t_i}{T_n} \times 360^\circ$
IBM PC 微机测传动链误差 <sup>[3]</sup>	$e_n = \frac{t_n}{T_n} \times 360^\circ$
单板机测滚齿机传动链误差 <sup>[4]</sup>	$E_s = \frac{A_s}{B_s} Q_i - E_0$

因为时间脉冲  $P_i$  的频率高于  $P_1$  和  $P_2$  频率, 数字计算的量化误差减小, 于是达到细分目的。

这种方法的局限性在于:

1) 限于两路信号的比较, 且必须具有相同频率。

2) 先把准确的空间尺度分频, 对分辨率而言是一“倒退”, 再靠空间意义不太准确的时间脉冲作细分。这种方法的实质是将整个比相段的运动速度视为平均速度为  $1/\sum P_i$  的匀速运动, 因此对精度和速度、传动比的适应范围不能兼顾。

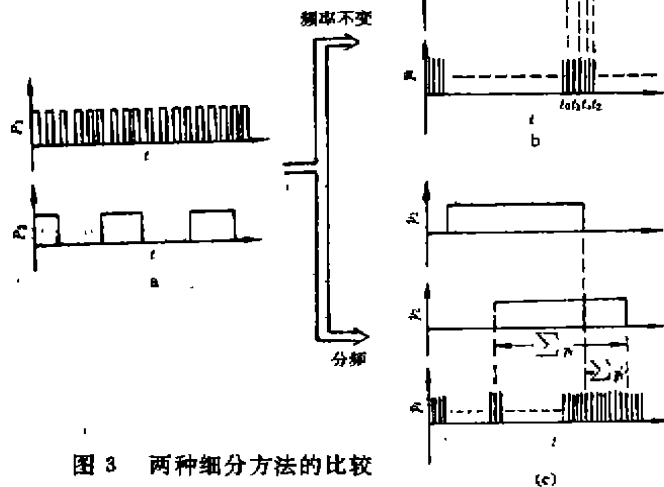


图 3 两种细分方法的比较

我们提出的细分方法的基本原理是: 把位移传感器发出的脉冲信号  $P$  (一路或两路) 视为空间尺度, 时钟信号  $P_i$  视为时间尺度。在两者未发生联系以前  $P_i$  不具备任何空间意义。现设计在每次采样点 (位移信号  $P_n$  到来的时刻  $t_i$ ) 前后使  $P$  和  $P_i$  建立起一一对应的运动关系如图 4。有了这种关系, 即可在采样点将高分辨率的时间量转换成原本读不出的空间量。

若只取采样点前两节点外推, 这是线性插值:

$$(\sum P_i)_{t_i} = (\sum P_i)_{t_0} + (t_i - t_0)/(t_1 - t_0) \quad (3)$$

若取采样点前后三节点内插, 这是抛物线插值:

$$(\sum P_i)_{t_i} = (\sum P_i)_{t_0} + \left[ \frac{t_i - t_0}{t_1 - t_0} + \frac{t_2 - t_0 - t_1 - t_0}{t_2 - t_1} (t_i - t_0)(t_i - t_1) \right] \quad (4)$$

\* 郑胜林, 黄尚康. 检测圆光栅分度误差的系统与微机接口. 重庆大学光机所论文集, 1985

以此类推,利用采样点前后  $n + 1$  点信息,即可作  $n$  次拉格朗日插值。于是可用带有小数的  $\sum P_1$  代入(1)式实现细分。

本细分方法的特点在于:

1) 明确两种脉冲信号的性质分别是空间尺度和时间尺度。

2) 把细分的问题归结为读出小数的问題,而基本计量依赖于准确的空间脉冲数即整数部分,如(3)式的  $(\sum P_1)_{t_1}$  和(4)式的  $(\sum P_1)_{t_2}$ 。如果使用(3)式线性插值,其过程如图 3(a)到(b),与(c)比较,现在只是在一个栅距内取平均速度  $1/(t_1 - t_0)$  进行时空转换,瞬时性显然好得多。这从(1)式的  $N_1$  远小于(2)式的  $N$  也可看出。

3) 不要求  $P_1$  和  $P_2$  变换为相同频率,倍频分频电路皆省掉。

4) 对单路信号照样细分处理,这时采样信号就是  $t_n$ 。(其用途另文介绍)

5) 可根据测试对象不同运动速度和传动比选用不同的插值公式,原理误差小,适用范围宽。

6) 对非整数传动和变传动等特殊传动一样适用。

### 1.3 实时性问题

由软件作采样细分处理引起的各类时间滞后问题中,影响最大的首推当两路信号同时到来时其中一路不能及时申请中断而引起的误差。本系统对各种可能均有考虑并采取相应措施。例如设计只让一路信号申请中断而达到获取两路信号时空信息的目的,可解决上述主要矛盾。

从图 5 看,与  $P_2$  相连的 CTC 通道定为外触发方式。 $P_2$  到来并不申请中断,只触发该通道倒计时。 $P_1$  信号到来申请中断,一来读出自己对应的的时间,二来查询通道初始值改变与否判定  $P_2$  到来与否,再根据通道计数器值大小推算出  $P_2$  到来的准确时间。

INTEL8253 和 8254 是一种更先进的计数器定时器芯片,有六种不同工作方式,三个独立通道,可实现各种软、硬件组合。通过精确协调,可使系统对各路信号均具有一触即发的功能,即各种软件处理都是在不妨碍各通道计数的实时性前提下进行的,使系统既具有可编程柔性,又不失硬件实时性特点。

MTT 系统可实测实显,具有很好的实时性效果。

## 2 系统指标与功能

### 2.1 精度指标

按时间脉冲细分推导的信号分辨率为

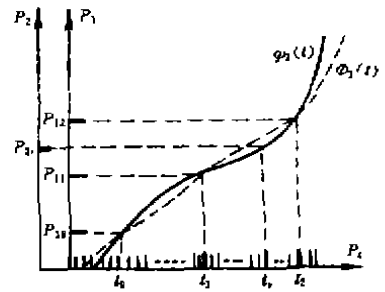


图 4 用脉冲信号表示的位移时空图  
 $\phi_1(\omega)$ —实际位移曲线  
 $\phi_2(\omega)$ —拟合位移曲线

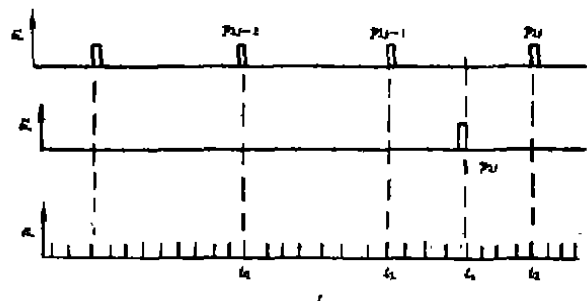


图 5 采样时序图

$$K = \frac{1296000n_1}{60fI} = \frac{21600n_1}{fI} (") \quad (5)$$

如果高速端转速  $n_1 = 40 \text{ r/min}$ , 传动比  $I = 40$ , 时钟脉冲频率  $f = 1 \text{ MHz}$ , 则系统分辨率为  $0.0216"$ .

经鉴定: 系统示值变动性为  $0.89"$ , 低速传感器六次转位鉴定系统综合误差为  $\pm 1.78"$ , 系统准确度为  $\pm 0.14\%$ .

鉴定工作参照国家技术监督局负责起草的“齿轮传动链误差检查仪检定规程”(草案)进行。按其规定, 最高等级的 0 级仪器指标为: 示值变动性  $\leq 1"$ , 系统综合误差  $\leq \pm 2"$ , 而对准确度未作规定(常规指标为  $\pm 2\%$  以内)。由此可见本系统确因环节误差少而达到较高精度水平。

## 2.2 低速范围

FTT 系统利用微机对外来脉冲计数, 高速要受到限制而低速则毫无限制, CTC 可以无限期地等待下一个脉冲的到来, 因此按(1)式采样处理不存在任何问题。

鉴定工作在一台 Y38 滚齿机上进行, 刀轴取其最低转速  $47.5 \text{ r/min}$ , 传动比取其最大 1200(现场已找不到更大传动比挂轮), 这时工作台转速已低到约 25 分钟一转。高低速传感器均采用普通磁栅传感器, 用 TP805 和 AST386 微机均测出准确清晰的误差曲线。鉴于大型滚齿机的测量只要求工作台转速在约十几分钟一转, 因此 FTT 系统完全能够胜任。

## 2.3 非整数传动比测量

前已提及(1)式的计算本来就是带小数进行的, 因此非整数传动比  $I$  的引入不增加任何麻烦。FTT 系统包括对差动链螺旋传动误差的测量功能, 就涉及到含无理数  $\pi$  的传动比问题。以前的解决方法是靠  $\pi$  制磁栅尺来回避, 但现在磁栅尺在价格上远无法与光栅尺竞争, 而光栅尺又少有  $\pi$  制, 因此这个测量难题一直存在, 现在我们采用计数方法, 对  $\pi$  取足够多位的小数即可保证测量精度。

## 2.4 处理功能与用户界面

系统可选用常见任何类型微机。由于高档微机的引入, 使得各种分析诊断、实测彩显、汉字菜单、曲线表格等输入输出功能完备, 用户界面良好。

# 3 结 论

FTT 系统采用全微机化结构, 完全甩掉电器箱, 柔性好、精度高、故障率低, 现场指导生产的作用明显。这些优点已被用户实践所证明。

## 参 考 文 献

- 1 廖常初. 用单板机测量频率、相位和功率因数. 电测与仪表, 1985, (9)
- 2 宾鸿赞, 陈卓宁. 机床运动误差的微机控制. 磨床与磨削, 1987, (4)
- 3 杜润生等. 传动链误差微计算机诊断系统. 华中理工大学学报, 1987, (2)
- 4 郑相周, 路亚衡. 滚齿机传动误差的微机在线检测系统研制. 机械, 1990, (4)