

# 一种宽量程光外差干涉信号的处理方法

赵洪志 赵洋 王佳 李达成 曹芒  
(清华大学精密仪器系, 北京 100084)

**摘要** 根据相位测量与整数周期相位计数相结合的思想, 给出了一种宽量程光外差干涉信号的处理方法, 该方法在保持不降低高的测量分辨率的前提下, 扩展测量范围, 并可用于动态测量。

**关键词:** 光外差干涉仪; 信号处理; 相位测量

## 1 引言

在几何量的测量中, 外差干涉测量由于将被测量的信号转换成调相信号, 使得测量信号的信噪比得以大大提高; 通过相位测量获得待测量的大小, 可使测量分辨率达到很高。例如, 当外差信号频率为 1 MHz 时, 基于过零比较法相位测量分辨率达  $0.1^\circ$ , 相当于  $\lambda/7200$ 。因而, 光外差干涉测量得以广泛应用。

目前, 相位测量大都仅限于一个周期内, 靠分频方法虽然可以扩大量程<sup>[1]</sup>, 但是以降低测量分辨率为代价, 特别是在大尺寸测量中, 这一问题尤为突出。本文依据相位测量和整数周期相位计数相结合的思想, 在保证高的测量分辨率不降低的前提下, 将测量范围得以扩展, 给出的方法可用于动态测量。

## 2 测量原理

我们提出的宽量程光外差干涉测量信号处理原理见图 1。其中, 声光调制器(AOM)驱动信号和本振混频后经放大整形作为鉴相器的参考信号, 来自 PIN 经前放的信号和本振混频后再经放大整形作鉴相器的测量信号, 参考信号和测量信号经鉴相器将测得的相位值转换成电压, 经 A/D 输入到计算机; 鉴相器的输出经整数周期相位判

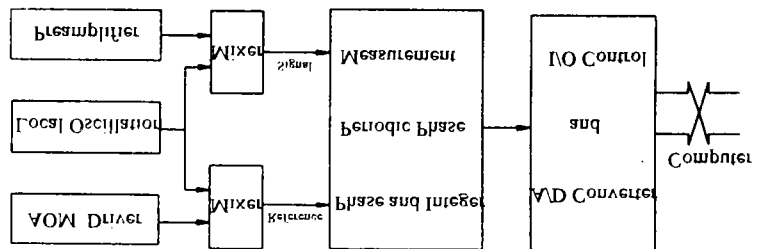


图 1 外差干涉信号处理原理

Fig. 1 Signal processing scheme for optical heterodyne interferometer

别得到计数脉冲送计数器计数,计数结果送入计算机,从而完成大范围高灵敏度测量。

### 3 关键技术-相位测量和整数相位检测

#### (1)相位测量

鉴相器选用 MC4044。一片 MC4044 包括两个相位/频率检测器、一个电荷泵和一个放大器,是实现光外差信号相位测量的理想器件,其典型工作频率为 8 MHz。

通常用 MC4044 构成的相位测量典型电路见图 2,图中的数字表示 MC4044 的管脚。测量信号和参考信号分别接到 MC4044 相位/频率检测器 #1 的两个输入端 1 脚和 3 脚(MC4044 的相位/频率检测器 #2 常用在锁相环中指示锁定状态),输出经电荷泵和放大器后将相位差转换成电压,当相位差

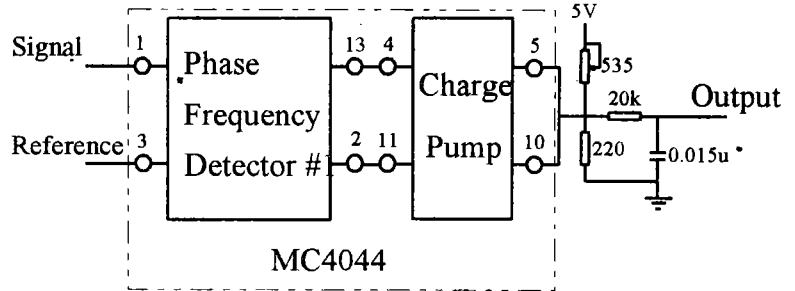


图 2 MC4044 构成的鉴相器

Fig. 2 Phase detector using MC4044

在  $-2\pi \sim 2\pi$  范围变化时,输出电压在 0.75~2.25 V 范围内线性变化,即输出不是以零电平对称;另外,由于电荷泵的内部结构使得零相位对应的电压不是严格的 1.5 V,而是随信号幅度大小而变动(详见莫托罗拉器件手册关于 MC4044 的说明)。

考虑到 MC4044 相位/频率检测器的原理是:当测量信号较参考信号相位超前时,13 脚输出调宽脉冲信号,负脉冲宽度与相位差成正比,而此时 2 脚输出一高电平;当测量信号较参考信号相位滞后时,与上述正好相反,2 脚输出调宽信号,负脉冲宽度与相位差成正比,而 13 脚为高电平。我们将 13、2 脚输出作为控制高速模拟开关的控制信号,用来控制正负基准电压源的通断,见图 3。这样,输出的调宽脉冲信号的正负幅值的准确度由基准源保证,脉冲宽度由

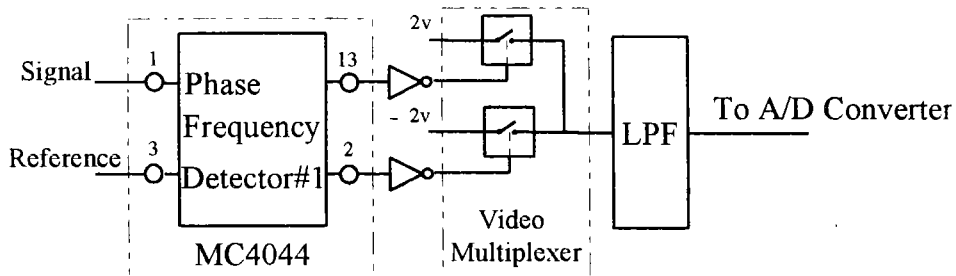


图 3 改进的相位测量电路

Fig. 3 Improved phase detector

MC4044 相位/频率检测器 #1 的输出决定,调宽信号经低通滤波器 LPF(Low Frequency pass Filter)后的输出与测量信号和参考信号间的相位差成正比,正电压表示测量信号超前参考信号,负电压表示测量信号滞后参考信号。这种测量原理的特点是:保证零相差时输出电压为零,

电压的正负对应相位的超前和滞后,且不存在采用电荷泵方式的调整难的问题。图中的非门将超前/滞后的相位转换成正脉冲宽度。

## (2) 整数检测

根据 MC4044 相位/频率检测器的工作原理和实际测量发现,当测量信号超前参考信号的相位超过  $2\pi$  时,13 脚输出的调宽信号有一低电平满周期,接着一个高电平空周期;当测量信号滞后参考信号的相位超过  $2\pi$  时,2 脚输出的调宽信号也有上述现象。根据这一特点,实现整数检测,图 4 画出了整数相位检测原理,输出加/减脉冲由计数器计数,从而实现整数相位测量。

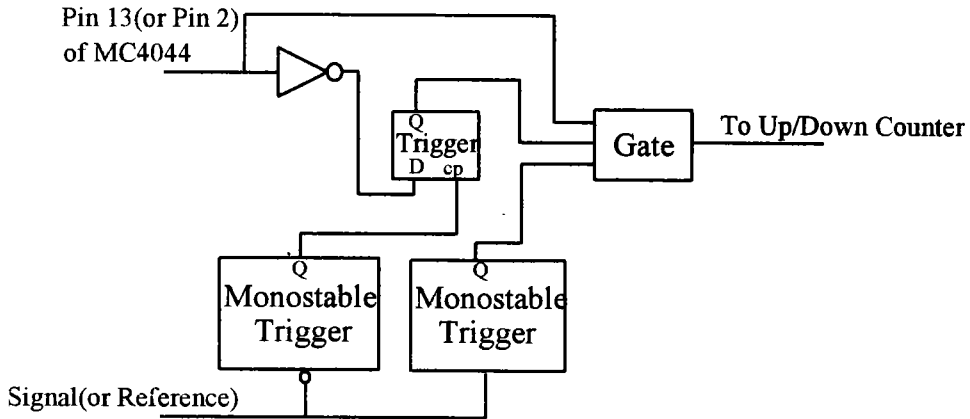


图 4 整数检测

Fig. 4 Integer periodic phase detector

## 4 测量结果和结论

利用 HP3325B 双路信号发生器输出的两路信号分别作测量信号和参考信号,其中参考信号的初相位保持为零,而测量信号的初相位从  $-2\pi$  以  $0.1^\circ$  的步距增加到  $2\pi$ ,输出模拟电压由 HP3457A 型  $7\frac{1}{2}$  数字电压表监测,测量结果表明测量分辨为  $0.36^\circ$ ,线性度为 99.9%;当测量信号超前/滞后参考信号超过  $2\pi$  时,整数周期检测电路输出一加/减计数脉冲。测量结果表明上述设计的思路是正确的,相位测量和整数计数结果与实际值相吻合。实验还表明,由于该方案的整数判别没有采用锁相环倍频来确定有无整数周期相位,不存在动态失锁现象,所以文中所提方法可用于动态相位测量,这对于大尺寸测量及其重要。

### 参考文献

- [1] 尤 政,光外差干涉相位检测技术. 计量技术,1995,(5):2

## Signal Processing Scheme for Optical Heterodyne Interferometer with Wide Range

Zhao Hongzhi, Zhao Yang, Wang Jia, Li Dacheng and Cao Mang  
(Dept. of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084)

### Abstract

Based on the combination of phase measurement and integer periodic phase measurement, a signal processing scheme, which is used for optical heterodyne interferometer with large range, is described. It not only maintains the high measuring resolution, but also enlarges the measuring range, with solving the problem of large range and dynamically measuring a displacement.

**Key words:** Optical heterodyne interferometer, Signal processing, Phase measurement

**赵洪志** 男, 1987年毕业于哈尔滨工业大学无线电工程系并获工学硕士学位, 1987—1992年在华北航天工业学院任教, 1992—1995年在北京理工大学工程工学系攻读博士学位, 曾参与完成多项科研课题, 在电子测量、遥测遥感、计算机应用、光纤传感等方面发表论文近20篇; 目前在清华大学精仪系作博士后, 研究方向为大尺寸精密测量、光纤传感等。