

激光干涉测长仪中光电输出信号的对比度及其与计数脉冲间隔误差的关系

单 圭 庆

(哈尔滨量具刀具厂)

提 要

本文指出选择透光狭缝宽度与干涉条纹宽度之比的重要性,还指出当干涉条纹为无限宽时可获得最大的信号对比度和最大的信号幅度。文中还推导了信号的对比度、信号的直流漂移和计数脉冲间隔误差三者之间的关系式。据此,由计数脉冲间隔误差的允许值可确定对光电输出信号的质量要求。

Contrast of photoelectric output signal and its relationship to the error of counting pulse interval in laser interferometry

Shan Guiqing

(Harbin Measuring and Cutting Tools Works).

Abstract

The importance of choosing the ratio of the width of light transmitting slit to that of interference fringes is dealt with. It is also pointed out that the largest signal contrast and the largest signal amplitude can be obtained when the width of interference fringes approaches infinite. Besides, a relation between the signal contrast, the signal D. C. shift and the error of counting pulse interval is given. Accordingly, the quality requirements for photoelectric output signals can be determined through the tolerance of counting pulse interval.

图1所示系一组位于光电接收器前端的干涉条纹,其宽度为 e 。考虑到干涉系统的误差,条纹不免有所弯曲,且这种弯曲随着条纹的变宽而愈益明显。设弯曲半径为 R 。在垂直于条纹的法线方向(该法线通过干涉场中心),对称放置一个接收干涉信号的透光狭缝。设狭缝的宽度为 a ,长度为 b 。取与狭缝

长度方向平行的纵坐标轴为长度 h ,与狭缝长度方向垂直的横坐标轴为参考和测量两支干涉光束的位相差 θ 。根据激光干涉测长原理,位相差 θ 每改变 2π ,干涉条纹的照度分布就发生一个周期变化,犹如干涉条纹相对狭缝移过一个条纹宽度一样,故横坐标以位

收稿日期:1979年9月13日。

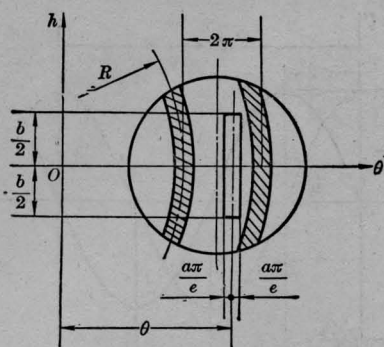


图 1

相差 θ 表示时, 横坐标上的所有长度量均应乘以 $\frac{2\pi}{e}$ 。

根据图 1, 进入透光狭缝的全部光通量经光电元件转换成的电压量 U 可用下式表达:

$$U = \frac{e}{2\pi} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} dh \int_{\theta - \frac{a\pi}{e}}^{\theta + \frac{a\pi}{e}} u d\theta \quad (1)$$

其中 u 为干涉场单位面积上的光通量经光电元件转换成的电压量。

$$u = (1+p)u_1 + 2\sqrt{p}u_1 \times \cos \left[\theta - \frac{2\pi}{e} (R - \sqrt{R^2 - h^2}) \right] \quad (2)$$

式中 u_1 为单位面积上参考光束的光通量经光电元件转换成的电压量; p 为参考和测量两支干涉光束的光通量比例系数, $0 < p \leq 1$; $\left[\theta - \frac{2\pi}{e} (R - \sqrt{R^2 - h^2}) \right]$ 为该两支干涉光束之间的位相差。

将(2)式代入(1)式, 略去高阶微量, 可求得电压量 U 的最后表达式为:

$$U \approx U_0(1+j_1) + U_m \cos \theta - j_2 U_m \cos^2 \theta \quad (3)$$

式中:

$$U_0 = ab(1+p)u_1 \quad (4)$$

$$U_m = 2ab \frac{\sin \frac{a\pi}{e}}{\frac{a\pi}{e}} \sqrt{p} u_1 \quad (5)$$

$$j_1 = \frac{b^2}{6aR} \left(\sin \frac{a\pi}{e} \right) \frac{\sqrt{p}}{1+p} \quad (6)$$

$$j_2 = \frac{\pi b^2}{24eR} \quad (7)$$

当干涉条纹弯曲半径 $R = \infty$ 时, $j_1 = j_2 = 0$, (3) 式成为:

$$U = U_0 + U_m \cos \theta \quad (8)$$

按(3)式求得光电输出信号的对比度 K 为:

$$K = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \approx \frac{\frac{\sin \frac{a\pi}{e}}{\frac{a\pi}{e}} \frac{2\sqrt{p}}{1+p}}{1 + \frac{\pi b^2}{24eR} \frac{\sin \frac{a\pi}{e}}{\frac{a\pi}{e}} \frac{2\sqrt{p}}{1+p}} \quad (9)$$

以下作几点讨论:

1. 狭缝宽度与干涉条纹宽度的比值 $\frac{a}{e}$

对光电输出信号的对比度有很大影响。从(9)式可以看出, 当 $\frac{a}{e} = k$ 时 ($k=1, 2, 3, \dots$), $\sin \frac{a\pi}{e} = 0$, 则 $K=0$ 。故在选择狭缝宽度或条纹宽度时, 必须避免比值 $\frac{a}{e}$ 接近于正整数的情况。从(9)式还可以看出, K 随着 $\frac{a}{e}$ 的减小而增大, 故从提高对比度的角度出发, $\frac{a}{e}$ 值愈小愈有利。缩小比值 $\frac{a}{e}$ 的数值, 可有两途径, 一是缩小狭缝宽度 a , 二是增大条纹宽度 e 。但它们均受到限制, 前者受到光电接收元件灵敏度的限制; 后者受到干涉场面积的限制(两个透光狭缝要求错位 $\frac{e}{4}$)。

2. 狭缝长度 b 以平方关系影响信号的对比度, 故在条纹弯曲度较大的情况下, 缩短狭缝长度对于信号对比度的改善会有显著影响。当然也可以用减小条纹宽度以增大条纹的弯曲半径的办法来提高对比度。

3. 条纹弯曲半径 $R = \infty$ 时, 根据(9)式, 对比度 K 以下式表示:

$$K = \frac{\sin \frac{\alpha\pi}{e}}{\frac{\alpha\pi}{e}} \frac{2\sqrt{p}}{1+p} \quad (10)$$

4. 干涉条纹为无限宽时, (5)式和(9)式成为如下形式:

$$U_m = 2ab\sqrt{p}u_1 \quad (11)$$

$$K = \frac{2\sqrt{p}}{1+p} \quad (12)$$

光电输出信号具有最大的振幅值和最大的对比度。此时干涉场呈现周期为 2π 的明暗变化, 透光狭缝可做成任意形状, 通常为圆形。采取无限宽的干涉条纹, 对激光干涉测长来说, 是最为适宜的。

以单模稳频氦-氖激光器作为光源的激光干涉测长仪, 由于光源在工作过程中输出功率的变化, 测量光束的衍射和散射损失, 以及光电接收器和直流放大器的漂移等因素, 光电输出信号的直流电平会产生漂移, 从而引起各计数脉冲间隔的不相等。信号直流漂移量的大小是单频激光干涉仪最重要的质量指标。

假如一个单频激光干涉仪不存在信号直流漂移的话, 则光电输出信号的对比度即使很坏, 也是无妨的。但是, 在事实上, 直流漂移一定或多或少地存在, 这时, 信号对比度的好坏就会直接影响脉冲间隔误差。

图2上部画出了两路位相差为 $\frac{\pi}{2}$ 的经放大器放大的光电输出信号: $U_1 \approx U_m \sin \theta$; $U_2 \approx U_m \cos \theta$ 。经整形器整形成两路方波, 再把方波加到微分电路上经过微分, 得到间隔为 $\frac{T}{4}$, 当量为 $\frac{\lambda}{8}$ 的微分脉冲。在一个周期 T 内, 各脉冲之间的间隔是相等的。

图2下部画出了光电输出信号平均电压 U_0 的漂移量为 ΔU_0 和输出信号电压幅值 U_m 的漂移量为 ΔU_m 时的情况 (图中为 ΔU_0 和 ΔU_m 均小于零的情况)。从图中可以看出, 由于直流漂移 ΔU_0 的存在, 输出电压信号的平均值不再等于零, 各计数脉冲间隔就不相等,

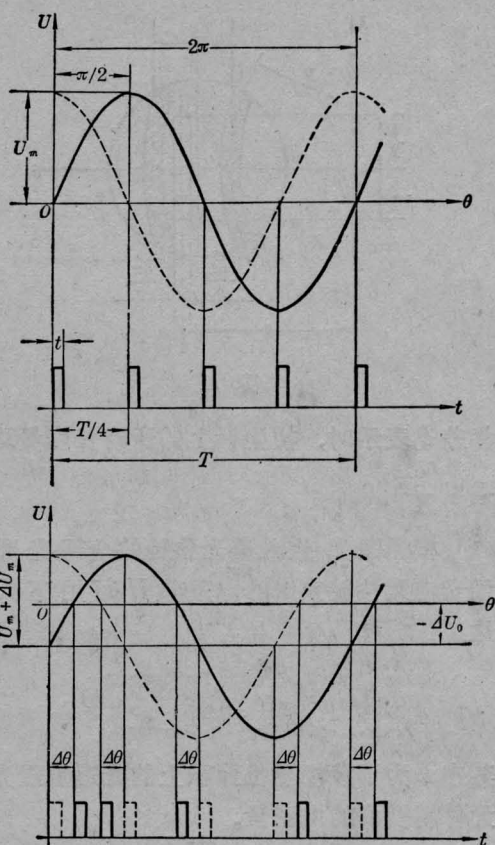


图 2

间隔误差为:

$$2\Delta\theta = 2\arcsin\left(\frac{-\Delta U_0}{U_m + \Delta U_m}\right) \quad (13)$$

将光电输出信号对比度关系式 $K \approx U_m/U_0$ 全微分, 得到:

$$\Delta U_m \approx K \Delta U_0 + U_0 \Delta K$$

代入(13)式后求得:

$$2\Delta\theta \approx 2\arcsin\left[\frac{-\frac{\Delta U_0}{U_0}}{K\left(1 + \frac{\Delta U_0}{U_0}\right) + \Delta K}\right] \quad (14)$$

式中 ΔU_0 和 ΔK 系指在测量过程中平均电压 U_0 和对比度 K 的变化量。

从该式可以看出, 只有当直流漂移量 $\Delta U_0 = 0$ 时, $2\Delta\theta = 0$ 。此时光电输出信号对比度的好坏与脉冲间隔误差无关, 它只要满

(下转第 55 页)

以明显看出随着间距的缩短线性电压区减小, 在 10 厘米时, 线性极间电压区为 20 千伏, 24 厘米时线性极间电压区大于 40 千伏。这与设计思想相符合。在相同的极间电压情况下, 当间距缩短, 晶体上的分压增加, 当 V_0 超出线性区后呈现非线性状态。

同样极间距离下, 两次(或几次)的实验曲线漂移起因在于氦-氖光源输出功率的漂移, 光束偏离晶体光轴方向, GB-9B 的不稳定及读数误差等等几个主要因素。

在 46.5 厘米间距实验中, 当电压加到 120 千伏以上时, 发生上电极电晕现象, 这是极板倒角 R 小所致, 此时数据波动大, 波形畸变显著。

改进意见

为了使实验装置进入实用阶段, 我们认为必需注意从下列几方面进行改进, 达到减小误差、方便使用的目的。

(1) 采用单模单频线偏激光光源减小功率漂移影响, 同时亦可采用光电回控措施提高功率输出稳定性, 另外亦可采用差分电路减小 I_0 的变化对 I 的影响。

(2) 选用优质晶体, 提高加工精度, 进行温度补偿。

(3) 提高光路机械调整系统的精度和稳定性, 以免光束偏离光轴。以 ADP 晶体为

例, 其偏离角不能大于 15 分, 当 $\alpha=30$ 分时, 相对误差可达 8%。

(4) 合理地设计电极, 以免电晕的产生。

(5) 空气的湿度、环境温度等因素的变化导致空气的介电常数变化, 从而影响分压比值, 影响测量精度, 另外高频应用时空气及晶体的介电常数亦不同, 这些都需作校准曲线进行校正。

(6) 读数部分可改用数字电路进行显示。

结束语

本实验是在模拟性装置上进行的, 它与传统互感器之类的测试方法相比具有绝缘性好、安全、造价低、轻便等等一系列优点, 原则上不受电压等级的限制。如光源寿命达上万小时后, 对于工程性的野外应用是引人注目的, 为此, 许多国家也正开展这方面的研制和应用。目前国内光源已获近万小时的寿命, 这就为广泛开展国内工程性应用提供了可喜的前景。

参考文献

- [1] 《激光技术》, 天津大学精仪系编译。
- [2] 笹野隆生; 电气学会论文集(日), 1973, 93B, No. 10, 501~507.
- [3] E. C. Cassidy *et al.*; *IEEE Tra. on Ins. and Meas.*, 1972, 1M-21, No. 1~4, 504~510.

(上接第 40 页)

足光电输出信号有足够的电压幅度就行。

计数脉冲间隔误差的允许值一般可按脉冲信号的空度比大于 1 的原则求得。(保证测量过程中可逆计数器不漏计脉冲数。)例如在四细分的情况下, 应满足如下关系式:

$$\frac{\left(\frac{\pi}{2} - |2\Delta\theta|\right) \frac{T}{2\pi} - t}{t} > 1$$

稍加整理后得:

$$|2\Delta\theta| < \frac{\pi}{2} - 4\pi \frac{t}{T} \quad (15)$$

其中 T 为与 $\frac{\lambda}{2}$ 对应的信号周期; t 为脉冲宽度。

有了脉冲间隔误差 $|2\Delta\theta|$ 的允许值, 按 (14) 式就可以提出对光电输出信号的质量要求, 或者相反。