

文章编号:1671-6833(2008)01-0052-04

## 新型迈克尔逊干涉仪条纹计数器的设计

敖天勇, 向 兵

(河南大学 物理与电子学院, 河南 开封 475001)

**摘要:**设计了一种能自动适应不同背景光强的新型迈克尔逊干涉仪条纹计数器. 利用光敏二极管将条纹的变化转化为电信号并与数控分压电路的输出进行差动放大, 经施密特触发器整形后, 送入单片机计数并显示. 实验证明, 本计数器可以适应不同的背景光强和光源光强, 具有精确度高、操作简便、适应性强的优点.

**关键词:**干涉条纹; 计数器; 数控电位器; 单片机

**中图分类号:** TP 216 **文献标识码:** A

### 0 引言

迈克尔逊干涉仪测波长实验在大学物理实验中占有重要地位. 实验中通常要求实验者连续数百个“吞”或“吐”的干涉条纹. 实验者长时间盯着条纹, 眼睛容易疲劳, 造成人为误差. 因此, 为了保护实验者视力, 提高测量精度, 设计一个使用简便、测量精确的迈克尔逊干涉仪条纹自动计数器有十分重要的意义.

实验中, 当旋转迈克尔逊干涉仪上的细调旋钮时, 观测屏上会有明暗相间的条纹不断“冒出”或“淹没”. 经分析, 条纹上某一点的光强也是明暗交替变化的, 其明暗变化一个周期, 恰好对应条纹的一次吞吐. 因此可用光敏探测器将某点的光强变化转换成脉冲信号用于记录条纹数. 为使操作方便, 不应在光敏探测器前设置遮挡外界光线的遮光系统. 这样, 进入光敏探测器的光线就包括干涉光和背景光. 设干涉光强为  $f(t)$ , 背景光强为  $g(t)$ . 经光电探测器转换的输出电压  $V(t) = \eta[f(t) + g(t)] + V_d$ , 其中  $\eta$  为探测器的转换系数,  $V_d$  为探测器的暗电流引起的压降. 设  $V_s(t) = \eta \times f(t)$ ,  $V_c(t) = \eta \times g(t) + V_d$ . 对于计数系统而言,  $V_s(t)$  为有效信号,  $V_c(t)$  为干扰信号. 它们的大小会随着光源光强、环境光强、光敏器件的暗电流特性及对准条纹位置的不同而变化<sup>[1]</sup>. 例如, 实验室内打开日光灯时干扰信号的值比没有开灯

时的值大. 通常有效信号的变化频率比较低且不固定, 而干扰信号  $V_c(t)$  近似为直流. 若该直流成份较大, 经过后级放大时, 可能使放大器达到饱和状态, 无法产生计数脉冲.

从前面的分析可知: 直流成份需要消除, 但不能用交流放大电路或滤波电路来消除. 因此需要用差动电路. 由于  $V_c(t)$  是随着使用条件的不同而异, 因此用来抵消它的直流成份也须是可变化的<sup>[2]</sup>. 这个直流成份虽然可以通过可调电位器提供, 但是在每次计数前都需要进行人工校准. 这样做非常麻烦而且精确度较差. 虽然已有许多关于该类计数器的设计, 但都没有考虑背景光强的影响, 在实际应用中也只有在严格的使用条件下才能可靠地工作. 针对这个问题, 笔者制作一种利用数控电位器实现的能够自动适应不同背景光强的新型计数器.

### 1 系统工作原理

系统工作原理如图1所示. 首先通过光敏探测器将条纹光强变化转换为电信号  $V_s$ . 数控电位器1产生用于抵消干扰信号的直流参考电平  $V_c$ .  $V_s$  与  $V_c$  进行差动放大, 再通过波形整形电路转换成为 TTL 脉冲, 送入单片机进行计数. 校准时缓慢转动旋钮使条纹不断吞吐, 按一下校准键后, 系统启动 A/D 进行采样并根据其结果调节数控电位器1和数控电位器2, 直到产生出合适的参考

收稿日期: 2007-10-07; 修订日期: 2007-12-24

基金项目: 河南大学2007年度教改项目

作者简介: 敖天勇(1981-), 男, 河南信阳人, 河南大学助教, 硕士研究生, 主要从事电子信息技术研究, E-mail:

tyao12@163.com.

电平和放大倍数,锁定数控电位器,停止校准并显示校准完毕符号。按一下清零键,系统从零开始重新计数和显示。

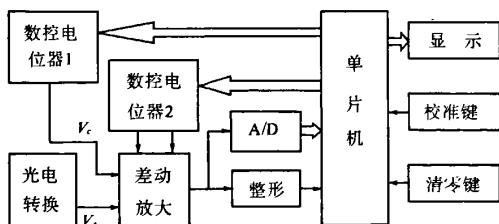


图1 系统工程原理图

Fig.1 Working principle of system

## 2 系统设计

### 2.1 硬件设计

该系统硬件由光电转换、信号放大、波形整形、数控分压和单片机控制与显示 5 个单元构成。光电转换单元、信号放大单元及数控分压单元的电电路如图 2 所示。限于篇幅,只给出部分电路图。下面分别介绍各个单元的设计。

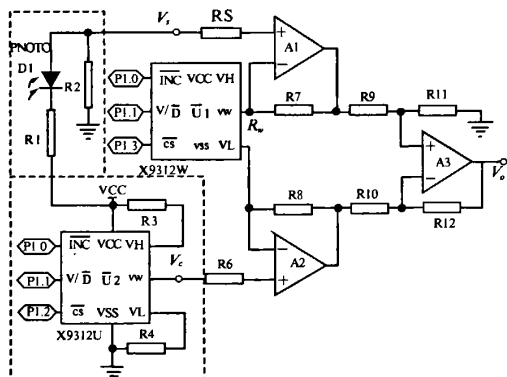


图2 光电转换、数控分压及放大电路图

Fig.2 Photoelectric conversion, digital potentiometer and amplifier circuit

#### 2.1.1 光电转换单元

该单元由 R1、R2 及光敏二极管 D1 构成。由于实验中通常使用的是氦氖激光器,根据光敏器件的波长灵敏度特性,选用光敏二极管作为探测器。R1 为限流保护电阻。\$V\_i\$ 的变化与接收光强的变化近似成正比。

#### 2.1.2 信号放大单元

该单元采用的是双端输入单端输出的差动放大电路<sup>[3]</sup>,由运放单元 A1、A2、A3、电阻 R5 ~ R12 及数控电位器 U1 (X9312W) 组成。它的一个输入端接光电转换信号 \$V\_i\$,另一个输入端接数控分压单元

的输出 \$V\_e\$。其输出 \$V\_o = \frac{R\_w + R7 + R8}{R\_w} \times \frac{R12}{R10} (V\_i - V\_e)\$,

其中 \$R\_w\$ 是数控电位器 U1 的阻值,其大小可由单片机调节。因此,放大倍数可变从而能适应不同光源光强。显然,当 \$V\_e\$ 的值等于 \$V\_i\$ 中的直流成份时,该电路可以消除 \$V\_i\$ 掉中的干扰信号。信号 \$V\_o\$ 近似为正弦信号,它反映了探测器接收光强的变化。该电路具有很高的输入阻抗和抗干扰能力。

#### 2.1.3 数控分压单元

该单元由数控电位器 U2 (X9312U)、A/D 及单片机组成。根据 A/D 的采样结果调节数控电位器 U2 的输出 \$V\_e\$,使其能抵消光电转换信号 \$V\_i\$ 中的干扰信号。电阻 R3、R4 起到了提高分压精度与限流保护的作用。U2 的 VW 端的步进电压 \$\Delta V = (VH - VL)/99\$。为了判断 \$V\_e\$ 的大小及极性,A/D 转换单元采用具有双极性输入的 AD574。它工作于 \$\pm 5V\$ 的双极性输入,8 位转换的模式下,采用查询方式判断转换结束。

#### 2.1.4 波形整形单元

由于信号 \$V\_o\$ 的变化一般比较缓慢而且存在噪声干扰,不能满足数字电路的输入要求。利用 NE555 构成一个施密特触发器,其低电平的触发电位约为 1.6 V,高电平的触发电位约为 3.2 V。信号 \$V\_o\$ 经它转换成具有 TTL 电平的信号 \$V'\_o\$。\$V'\_o\$ 的每一个下跳沿,表示条纹由明到暗的一次变化<sup>[4]</sup>。

#### 2.1.5 单片机控制与显示单元

波形整形单元的输出 \$V'\_o\$ 接单片机的 AT89C52 外部中断 INT0 引脚,校准键接外部中断 INT1 引脚,清零键接计数器 T0 引脚。显示部分由总线驱动器 74LS245、锁存器 74LS574 及四位一体的七段数码管组成,采用的是动态扫描显示方案。A/D 的 \$\overline{CS}\$、A0 及 R/\$\overline{C}\$ 引脚均通过地址锁存器 74LS373 与单片机相接,数据线与 P0 口相接。

## 2.2 软件设计

### 2.2.1 自动校准程序

校准功能是利用外部中断 INT1 实现的<sup>[5]</sup>。在中断服务程序中调用校准程序。按一下校准键,系统进入中断服务程序,启动 A/D 采样 \$V\_o\$。校准程序中设置一个记录 \$V\_o\$ 最大值的变量 \$V\_{max}\$,一个记录 \$V\_o\$ 最小值的变量 \$V\_{min}\$,记录前两次采样值的变量 X1、X2,两个长度为 8 的数组 max[8] 与 min[8],并设每次采样所得值为 X。除 \$V\_{min}\$ 的初始值为 0xFF 外,其他变量初始值均为零。校准流程图如图 3 所示。

(1) 极大极小值采集。若 \$X > V\_{max}\$, \$V\_{max}\$ 则的值更新为 X,并启动下一次采样。若 \$X \leq V\_{max}\$,则判断 X1、X2 是否为递增关系。如果是,则先将 \$V\_{max}\$ 存入

数组 max 中,然后将  $V_{\max}$  清零并启动下一次采样。

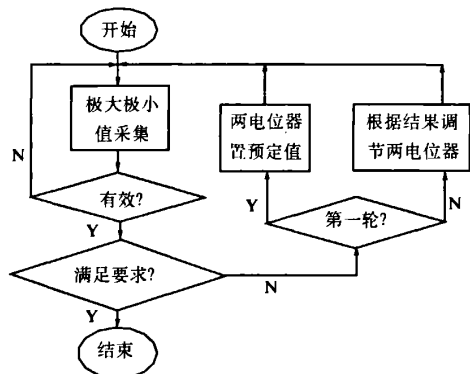


图3 校准流程图

Fig.3 Flow chart of the regulator

若  $X_1, X_2$  为非递增关系,则接着判断  $X$  是否小于  $V_{\min}$ . 若  $X < V_{\min}$ , 则  $V_{\min}$  的值更新为  $X$ , 并启动下一次采样. 若  $X \geq V_{\min}$ , 则需要判断  $X_1, X_2$  是否为递减关系, 如果是, 则先将  $V_{\min}$  存入数组 min 中, 然后将  $V_{\min}$  置为 0xFF 并启动下一次采样。

直到两个数组均存满时, 分别计算两个数组的平均值  $\overline{V_{\max}}$  和  $\overline{V_{\min}}$ , 以及数组 max 中的最小值  $V_{\max_{\min}}$  和数组 min 中的最大值  $V_{\min_{\max}}$ . 计算  $\overline{V_{\max}}$  与  $V_{\max_{\min}}$ ,  $\overline{V_{\min}}$  与  $V_{\min_{\max}}$  的百分比误差. 若误差不超过 20%, 则表示采样有效, 否则重新采集数据<sup>[6]</sup>.

(2) 判断是否满足要求. 若有  $V_{\max_{\min}} > 3.5 \text{ V}$   $0 < V_{\min_{\max}} < 1 \text{ V}$ , 则显示校准完毕符号, 退出校准状态. 否则, 进行(3)中的算法调整放大倍数和参考电平。

(3) 调节调整放大倍数和参考电平. 若是第一轮调节, 则先将数控电位器  $U_1, U_2$  的阻值分别设置为特定初始值  $R_{w0}, R_{c0}$ , 然后调用极大极小值采集函数, 重新获取数据. 否则就利用上一轮的阻值进行计算. 设此时的放大倍数为  $A_0$ , 参考电平为  $V_{c0}$ , 则有

$$V_{\max_{\min}} = A_0(V_{\text{in}_{\max}} - V_{c0}) \quad (1)$$

$$V_{\min_{\max}} = A_0(V_{\text{in}_{\min}} - V_{c0}) \quad (2)$$

$$3.5 = A_1(V_{\text{in}_{\max}} - V_{c1}) \quad (3)$$

$$1 = A_1(V_{\text{in}_{\min}} - V_{c1}) \quad (4)$$

其中公式(3)、(4)是我们期望得到的结果. 通过上面 4 个式子可以求出  $A_1$  及  $V_{c1}$ , 进而可以求出此时需要设定的电阻值以及设置数控电位器的控制时序. 即有

$$\Delta V_c = C_v/1 - V_{c0} = (3V_{\min_{\max}} - V_{\max_{\min}})/A_0 \quad (5)$$

$$\Delta R_w = R_{w1} - R_{w0} =$$

$$\frac{(V_{\max_{\min}} - 2V_{\min_{\max}}) \times (R_{w0} + R_7 + R_8) \times R_{w0}}{(R_{w0} + R_7 + R_8) - R_{w0} \times (V_{\max_{\min}} - 2V_{\min_{\max}})} \quad (6)$$

利用  $\Delta V_c$  的正负性控制  $U_2$  的滑动方向, 利用不小于其绝对值与电压步进值  $\Delta V$  的商的最小正整数控制  $U_2$  步进个数, 即先计算出  $N = \lceil |\Delta V_c|/\Delta V \rceil$ , 然后置  $U_2$  的  $\overline{\text{CS}}$  端为低电平. 若  $\Delta V_c$  为正, 则置  $U/\overline{\text{D}}$  端为高电平, 否则置为低电平. 再在  $\overline{\text{INC}}$  端产生  $N$  个下跳沿, 最后将当前位置锁存<sup>[7]</sup>.

同理, 利用  $\Delta R_w$  的正负性与大小控制  $U_1$  的调节. 计算出  $M = \lceil |\Delta R_w|/\Delta R \rceil$  后, 置  $U_1$  的  $\overline{\text{CS}}$  端为低电平. 若  $\Delta R_w$  为正, 则置  $U/\overline{\text{D}}$  端为高电平, 否则置为低电平. 再在  $\overline{\text{INC}}$  端产生  $M$  个下跳沿后, 将当前位置锁存。

调整结束后, 再次采集判断, 直到满足  $V_{\max_{\min}} > 3.5 \text{ V}$  且  $0 < V_{\min_{\max}} < 1 \text{ V}$ , 这时显示校准完毕符号, 退出校准状态。

### 2.2.2 计数与清零

当有一个脉冲的下跳沿到来时, 就进入 INTO 中断服务程序一次. 在该中断服务程序中设置有记录脉冲个数的变量  $X$ . 每进入中断服务程序一次,  $X$  加 1。

清零功能是利用定时器/计数器  $T_0$  实现的. 设  $T_0$  为计数模式, 其初始值为 FFFFH. 当按下清零键, 计数器  $T_0$  就会产生中断, 并将变量  $X$  清零, 这样计数初始值和显示均变为零。

## 3 测试结果及分析

经过多次实际测试, 在背景光照度从 0.1 lx 到 998 lx 的范围内, 该计数器均能准确地记录吞吐的条纹数, 并且与人工观测到的吞吐条纹个数完全一致, 误计率为 0. 即至少在背景环境从黑暗状态到有日光灯照射及有室外光线漫射进入的状态下, 该计数器均能正常工作. 表 1 给出了利用该计数器记录条纹个数时, 测得的几组数据. 其中  $D_1, D_2$  分别为计数时迈克尔逊干涉仪读数尺上的初始刻度和结束刻度. 利用  $\lambda = (2 \times \Delta d)/D$  求出相应的波长。

由表 1 可以看出, 测量结果相对来说非常精确, 其误差主要来源于距离  $\Delta d$  的测量误差. 随着记录个数的增加而相对误差变小, 这是因为距离测量相对误差变小。

使用该计数器一方面可以减轻实验者的视觉疲劳, 保护眼睛, 另一方面可以减少人为误差, 而且还可以节省实验时间, 以便通过多次测量进一步提高测量精度. 该计数器具有工作性能稳定, 抗干扰能力强, 操作简便, 能较好地消除背景光的影响等优点。

表 1 实验数据

Tab. 1 Experimental data

$D1/cm$	$D2/cm$	$\Delta d/mm$	条纹数 $N/\text{个}$	$\lambda_{\text{实验值}}/nm$	$\lambda_{\text{理论值}}/nm$	相对误差/ $\%$
35.524 25	35.555 93	0.031 68	100	633.6	632.8	1.30
34.477 40	34.540 72	0.063 32	200	633.2	632.8	0.60
36.684 95	36.590 01	0.094 94	300	632.9	632.8	0.16

## 参考文献:

- [1] 刘芳元. 关于迈克尔逊干涉条纹的理论分析[J]. 中南工学院科技通讯, 1995, 11(1): 33 - 35.
- [2] 王守权, 张绍良, 张 薇. 干涉条纹计数器的研制[J]. 长春邮电学院学报, 2000, 18(2): 55 - 58.
- [3] 谢自美. 电子线路设计·实验·测试[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006: 32 - 33.
- [4] 陈本永, 吴晓维, 李达成. 一种新型的干涉条纹软件计数方法及其实现研究[J]. 传感技术学报, 2004, (9): 371 - 374.
- [5] 陈光东. 单片微型计算机原理及其 C 语言程序设计[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004: 109 - 158.
- [6] BARONE F, CALLONI E. Fringe - counting technique used to lock a suspended interferometer [J]. Applied Optics, 1994, (3): 1194 - 1197.
- [7] Intersil Americas Inc. Digitally Controlled Potentiometer [EB/OL]. www.intersil.com/data/fn/fn8176.pdf, 2005 - 03 - 15.

## The Design of a Novel Fringe Counter for Michelson Interferometer

AO Tian - yong, XIANG Bing

(School of Physics and Electronics, Henan University, Kaifeng 475001, China)

**Abstract:** A novel counter for fringes of Michelson interferometer is designed, which can adapt automatically to different degree of illumination intensity of background. A photosensitive diode transforms the changes of fringes into electric signal. The signal and the output of the digital potentiometer are differential amplified by a differential amplifier. A Schmitt trigger transforms the output of the amplifier into pulses which are counted and shown by a single chip microcomputer. It has been proved that the counter can be used in circumstances of different illumination intensity of background and lamp - house. The counter has many advantages, such as high accuracy, easy operation and wide adaptability.

**Key words:** interference fringe; counter; digital potentiometer; single chip microcomputer

(上接第 30 页)

## Research on the Attrition Interface of SiC/Cu Composite

FAN Bing - bing, HOU Tie - cui, LIU Rui - yu, LI Kai, WU Yue - song, ZHANG Rui

(School of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Nanoscale SiC/Cu composite particles were prepared with the heterogeneous precipitation method. SiC/Cu composite material was obtained by hot-pressing. The wear experiment was carried out at 400°C. XRD was used to characterize the phase of hot-pressed composite before and after the wear test. SEM techniques were used to observe the morphology of the wear track and the propagation of cracks in the wear traces. The results indicated that, under the experimental condition, the phase of friction interface changed. The content of Cu<sub>2</sub>O increased and CuO appeared. With the circulation load increase, the crack was observed, and it carried on along the SiC/Cu interface. While the existence of SiC particles, which will prevent the crack expansion, is advantageous to enhance the wear resistance of the compound material greatly.

**Key words:** SiC/Cu; composite; attrition interface; crack expansion