

激光光斑测量仪

刘晓兵 刘智

(武汉工业大学, 武汉, 430070) (湖北工学院, 武汉, 430070)

文捷 阮玉

(华中理工大学, 武汉, 430074)

摘要: 本文介绍了一种单片机控制的光斑测量仪。通过对比测量与时间细分得到被测光斑值。

关键词: 光斑 单片机 测量

All intelligent laser spot meter

Liu Xiaobing Liu Zhi

(Wuhan University of Technology) (Hubei Institute of Industry)

Wen Jie, Ruan Yu

(Huazhong University of Science and Technology)

Abstract: An intelligent laser spot meter controlled by a single chip micro-controller is described in this paper.

Key words: laser spot single chip microcontroller meter

一、引言

现有使用刀口扫描法测量光斑直径的装置中, 由于要测量刀口的位移量, 结构比较复杂, 不易仪器化。本文利用对比测量与时间细分的方法, 将位移量转为时间量, 并利用单片机控制测量。具有结构简单、智能化的特点。

二、测量原理

对于一个沿 z 轴传播具有高斯分布的激光斑, 在 $z=0$ 处其光强分布可描述为:

$$\begin{aligned} I(x, y) &= I_0 \cdot \exp\left[-\frac{2(x^2 + y^2)}{W_0^2}\right] \\ &= I_0 \cdot \exp\left[-\frac{2r^2}{W_0^2}\right] \end{aligned} \quad (1)$$

令 $I = I_0/2$, 有 $r = \pm 0.589 W_0$, 那么 $2r$ 就对应了半峰值强度处的光斑直径。

当用刀口沿 x 轴扫描光斑时, 如图 1, 刀口后硅光电池接收到的光功率为:

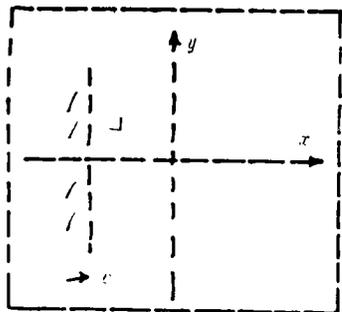


Fig. 1 Straight scanning of the knife-edge

$$P = \int_{\Delta}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) dx dy \quad (2)$$

式中, Δ 为刀口位置。无刀口时, 硅光电池接收的光功率为:

$$\begin{aligned} P_0 &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I_0 \cdot \exp\left[-\frac{2(x^2 + y^2)}{W_0^2}\right] dx dy \\ &= I_0 \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{2x^2}{W_0^2}\right] dx \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{2y^2}{W_0^2}\right] dy \\ &= \frac{\pi W_0^2}{2} \cdot I_0 \end{aligned} \quad (3)$$

当 $\Delta = 0.589 W_0$ 时,

$$\begin{aligned} P &= I_0 \cdot \int_{-0.589 W_0}^{\infty} \exp\left[-\frac{2x^2}{W_0^2}\right] dx \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{2y^2}{W_0^2}\right] dy \\ &= 0.881 P_0 \end{aligned} \quad (4)$$

当 $\Delta = +0.589 W_0$ 时,

$$P = 0.119 P_0 \quad (5)$$

(4)式、(5)式说明当刀口后相对光功率从 88% 下降到 12% 时, 刀口所移动的距离 2Δ 就对应了半强度极大点处的光斑直径。在图 2 中, 如果刀口匀速扫过两个距离固定为 D 的光电开关所用时间为 T_1 , 扫过被测光斑相对光功率从 88% 降到 12% 时所用时间为 T_2 , 那么光斑直径

$$d = T_2/T_1 \cdot D \quad (6)$$

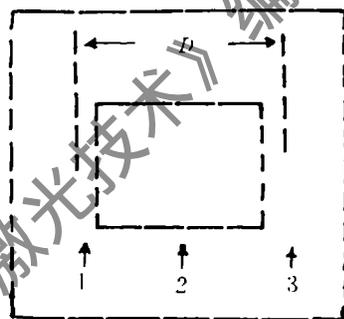


Fig. 2 1, 3 - Optical switch 2 - solar cell

三、误差分析

1. 本仪器采用普通收音机芯驱动刀口旋转扫描光斑如图 3。 A_1, A_2 为光电开关, 且 $\overline{A_1 A_2} = D$, O 为轴心, A_1, B_1, B_2, A_2 均在半径为 R 的圆周上, 当刀口旋转与半径 $r = 0.589 W_0$ 的光斑相切两次时, $\overline{B_1 B_2} = d$ 为测量直径, d 与 $2r$ 的差别就是采用旋转扫描产生的误差。令 $\overline{O'C} = \delta$, 由图 3 可知

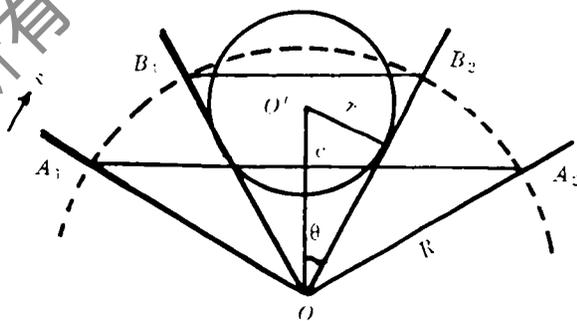


Fig. 3 Circular scanning of the knife-edge

$$\frac{d/2}{R} = \sin\theta = \frac{r}{O'O} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{即} \quad \frac{2r}{d} &= \frac{O'O}{R} = \frac{\delta + \sqrt{R^2 - (D/2)^2}}{R} \\ &= \frac{\delta}{R} + \sqrt{1 - (D/2R)^2} \end{aligned} \quad (8)$$

(8)式说明控制入射光斑的位置 δ 可以补偿测量中的原理误差,对(8)式全微分有

$$\Delta\left(\frac{2r}{d}\right) = \frac{R\Delta\delta - \delta\Delta R}{R^2} + \frac{D^2 \cdot \Delta R - R \cdot D \cdot \Delta D}{2R^2 \cdot \sqrt{4R^2 - D^2}} \quad (9)$$

令 $R = 25\text{mm}$, $\Delta R = 2\text{mm}$, $D = 20\text{mm}$, $\Delta D = 0.5\text{mm}$, $\delta = 2.5\text{mm}$, $\Delta\delta = 1\text{mm}$, 代入(8)式得

$$2r/d = 1.01$$

代入(9)式得 $\Delta(2r/d) \leq 6\%$ 。

2. 对匀速扫描。对(6)式全微分

$$\begin{aligned} \Delta d &= \frac{D \cdot (T_1 \cdot \Delta T_2 - T_2 \cdot \Delta T_1)}{T_1^2} + \frac{T_2}{T_1} \cdot \Delta D \\ &\leq \frac{2D \cdot \Delta T_2}{T_1} + \frac{d}{D} \cdot \Delta D \end{aligned} \quad (10)$$

令 $D = 20\text{mm}$, $\Delta D = 0.5\text{mm}$, $T_1 = 4\text{s}$, $\Delta T_2 = 10\mu\text{s}$, 对 5mm 光斑, $\Delta d/d < 2.5\%$, 对于 0.01mm 光斑, $\Delta d/d < 3.5\%$ 。

3. 对非匀速扫描。设 $\Delta V/V = k$,

$$D = 1/2 \cdot (V_1 + V_2) \cdot T_1;$$

$$d = 1/2 \cdot (V_1' + V_2') \cdot T_2$$

$$V_2 = V_1 + \Delta V = V_1 + kV_1 = (1+k) \cdot V_1;$$

$$V_2' = V_1' + \Delta V' = V_1' + kV_1' = (1+k) \cdot V_1'$$

$$d/D = V_1'/V_1 \cdot T_2/T_1 = (1+k) \cdot T_2/T_1 \quad (11)$$

比较(6)式与(11)式有

$$\Delta d/d = k \quad (12)$$

(12)式表明,速度的变化直接影响测量结果。所幸的是收音机的抖晃率 $k \leq 0.5\%$ 。

四、仪器组成及测量过程

本仪器选用普通收音机芯作为驱动刀口的部件,刀口采用市售刀片。光电转换部分电路原理如图4,光斑进入硅光电池 CR 并经 OPA₁ 放大加在电阻链上通过 CD4051 和 OPA₂ 及比较器 A₅ 由 8031 选择合适的放大倍数以自动适应不同功率的光斑。CD4066 和采样保持电路 A₃ 提供测量中的光功率最大值, A₄ 提供最小值, W₁ 和比较器 A₆ 提供测量过程中 88% P₀ 判据, W₂ 和比较器 A₇ 提供测量过程中 12% P₀ 判据。8031 的 I/O 分配见表 1。

单片机系统原理如图 5。8031, LS373, 2764 组成单片机最小系统, CD4543 与 LED 组成显示部分,作为系统外部数据 RAM 由 P_{2.7}选中高两位, P_{2.6}选中低两位,按下测量键时,8031 先通过光电开关确定光斑全部进入硅光电池,选择放大倍数;再确定光斑全部没有进入硅光电池时,启动采样电路 A₄;当光斑又全部进入硅光电池时,启动采样电路 A₃;测量完后即显示测量值,然后继续测量并显示。当测量值 $\geq 10\text{mm}$ 时,使 DP₁ 亮; $< 10\text{mm}$ 时,使 DP₂ 亮。表 2 给

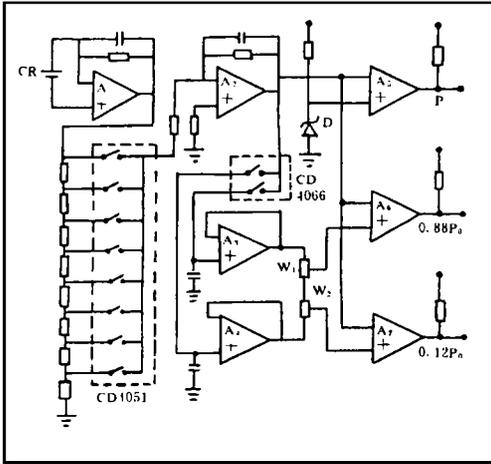


Fig. 4 Principle of optical-electrical conversion

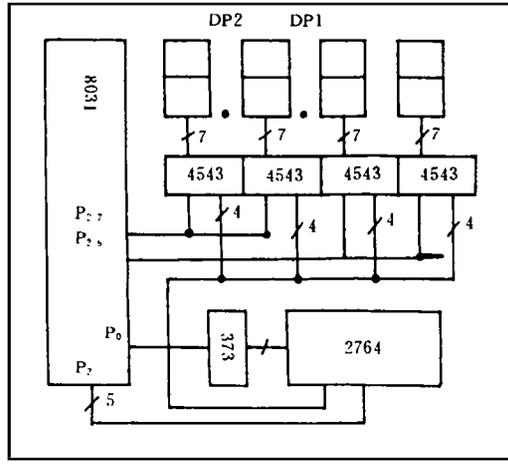


Fig. 5 Principle of 8031 system

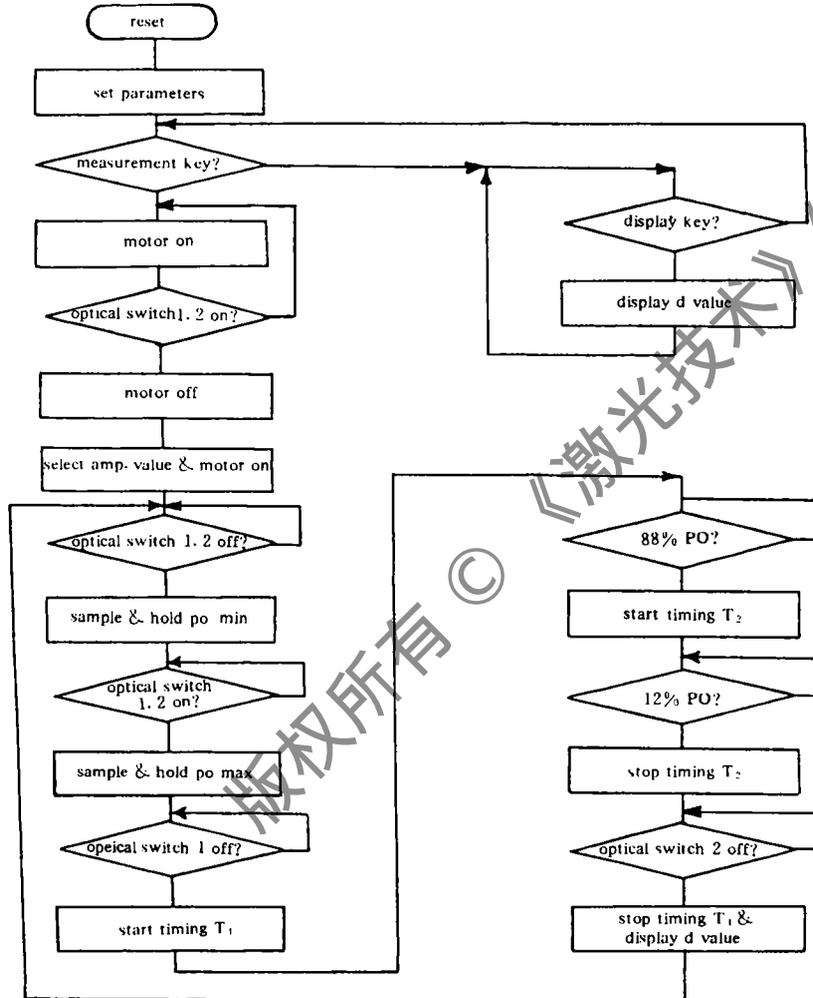


Fig. 6 Program flowchart

版权所有 © 《激光技术》编辑部