

光电检测系统设计



- 作业提交时间：12.22号（周三上课之前）
- 每个同学单独提交一份（纸质版+电子版）
- 设计总分10分，12.22号安排6~8位同学展示，展示同学会有相应加分

光电检测系统设计具体要求

至少包括:

- ✓ 测量原理
- ✓ 系统组成
- ✓ 各主要组成部分的设计

最好包括:

- ✓ 应用背景或检测系统设计的背景介绍
- ✓ 测量实验或仿真
- ✓ 数据处理
- ✓

例1：反射型光纤位移测量系统

1. 位移传感机理

如图 11-15 所示,光从光源耦合到输入光纤射向被测物体,再被反射回另一光纤,由检测器接收。设两根光纤的折射率为阶跃型分布,两根光纤的距离为 d ,每根光纤直径为 $2a$,数值孔径为 NA,光纤与被测物体的距离为 b ,这时接收光纤所接收的光强等效于输入光纤像发出的光强,如图 11-16(a)所示,这时

$$\tan\theta = \frac{d}{2b} \quad (11-6)$$

由于 $\theta = \arcsin NA$,所以式(11-6)可写为

$$b = \frac{d}{2\tan(\arcsin NA)} \quad (11-7)$$

很显然,当 $b < [d/2\tan(\arcsin NA)]$ 时,即接收光纤位于光纤像的光锥之外,两光纤的耦合为零,无反射进入接收光纤;当 $b \geq (d+2a)/2\tan(\arcsin NA)$ 时,即接收光纤位于光锥之内,两光纤的耦合最强,接收光强达到最大值, d 的最大检测范围为 $a/\tan(\arcsin NA)$ 。

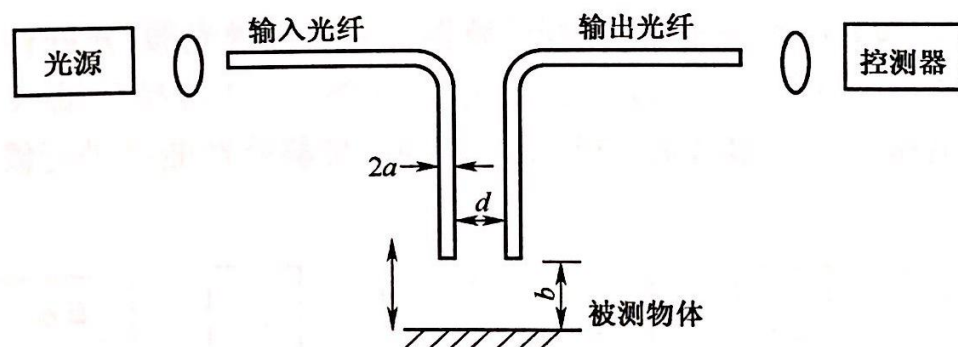


图 11-15 位移传感器示意图

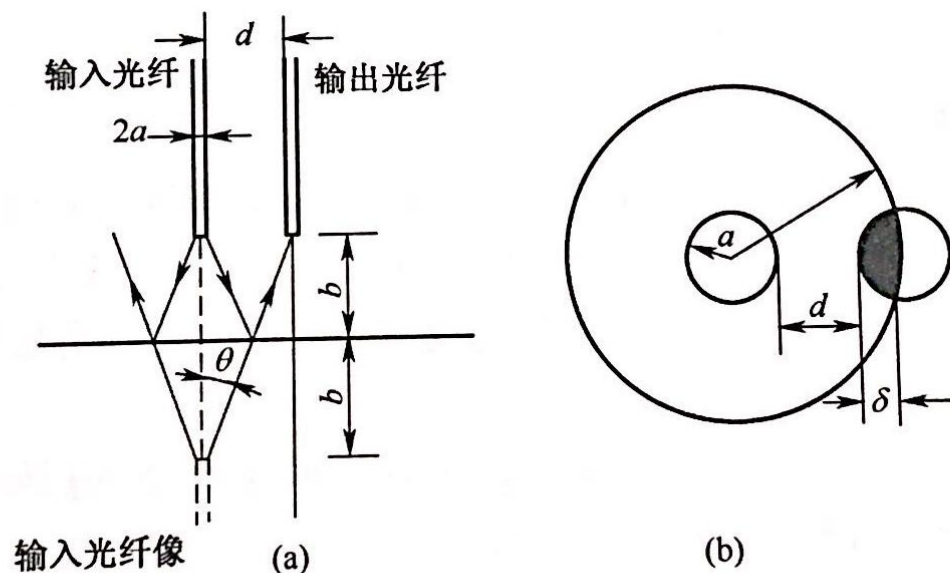


图 11-16 光纤耦合示意图

如果要定量地计算光耦合系数,就必须计算出输入光纤像的发光锥体与接收光纤端面的交叠面积,如图 11-17(b)所示。由于接收光纤芯径很小,常把光锥边缘与接收光纤芯交界弧线看成直线。通过对交叠面简单的几何分析,不难得到交叠面积与光纤端面积之比,即

$$\alpha = \frac{1}{\pi} \left\{ \arccos\left(1 - \frac{\delta}{a}\right) - \left(1 - \frac{\delta}{a}\right) \sin\left[\arccos\left(1 - \frac{\delta}{a}\right)\right] \right\} \quad (11-8)$$

式中, $\delta = 2b \tan(\arcsin NA)$ 。根据式(11-8)可以求出 α 与 δ/a 的关系曲线,如图 11-17 所示。假定反射面无光吸收,两光纤的光功率耦合效率为交叠面积与光锥底面积之比,即

$$F = \frac{a \pi a^2}{\pi [2b \tan(\arcsin NA)]^2} = \alpha \left[\frac{a}{2b \tan(\arcsin NA)} \right]^2 \quad (11-9)$$

根据式(11-9)可以求出反射式位移 b 与光功率耦合效率 F 的关系曲线。图 11-18 的 F 与 b 的关系曲线是在纤芯径 $2a=100\mu\text{m}$ 、数值孔径 $\text{NA}=0.5$ 和间距 $d=100\mu\text{m}$ 条件下获得的。

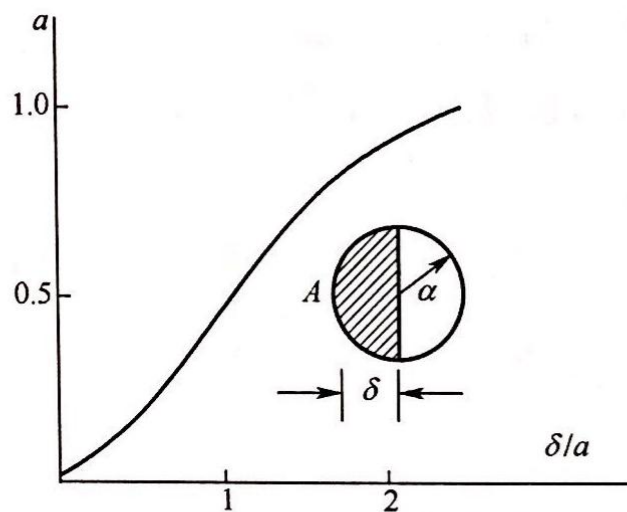


图 11-17 α 与 δ/a 的关系曲线

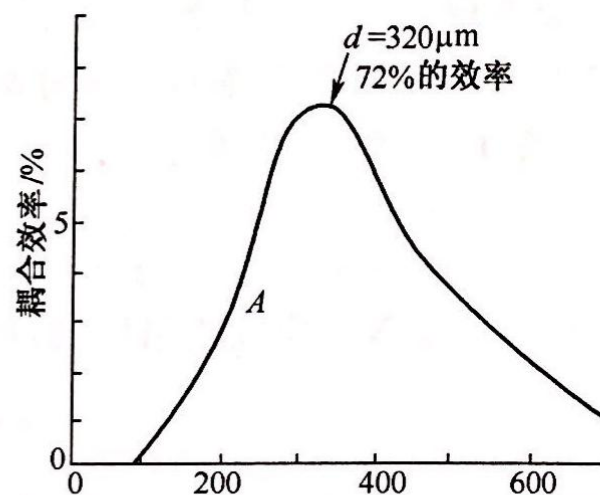


图 11-18 F 与 b 的关系曲线

2. 测量系统组成

如图 11-19 所示为系统组成框图,光纤传感器光源采用激光器,光纤传感器输出与位移 b 成函数关系的光强信号,光强信号经过光电变换、放大器、A/D 转换后输入单片机,再由单片机处理后将测量结果显示并打印出来,单片机对光强与位移特性曲线进行线性处理,以便提高测量精度。

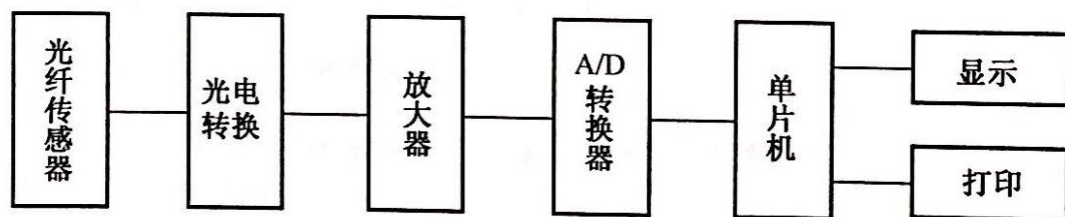


图 11-19 测量系统组成框图

1) 光电转换及放大电路

光电转换元件通常采用光电二极管把光信号转换为电信号。光电二极管采用 PIN 二极管,它的响应时间小于 10^{-8}s ,电流-电压变换器如图 11-20 所示,放大器输入端是 PIN 光电二极管输出,可以看成阻抗极大的受光强调制的电流源。放大器要具有极高的输入阻抗,以及极低的失调电压,否则难以检测微弱的电流信号。

从图 11-20 可以看出,转换电阻 R_L 越大, I/V 转换效率越高,但是 R_L 过大会使放大器产生自激。一般 $R_L \leq 1\text{M}\Omega$ 。若输出电压不够,则可再加一级比例放大。图 11-21 所示为光电变换及放大电路,它由两片 F7650 组成。在 R_L 上并联一个电容是为了进行超前校正。外接电容 C_A 、 C_B 对 F7650 的性能影响很大,应选用漏电小的涤纶电容。为保持电流-电压转换稳定,电阻 R_L 、 R_1 、 R_2 应选用温度系数小的精密电阻(0.1%)。若输出电压 V_o 有交流噪声,则可加一级低通滤波器。

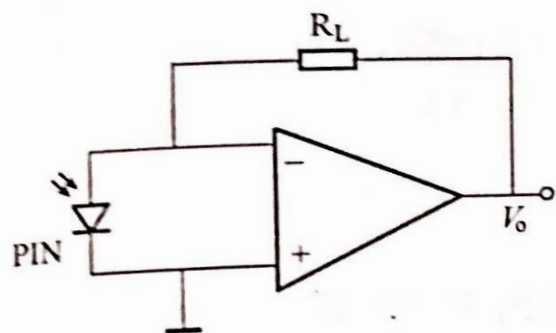


图 11-20 I/V 变换器

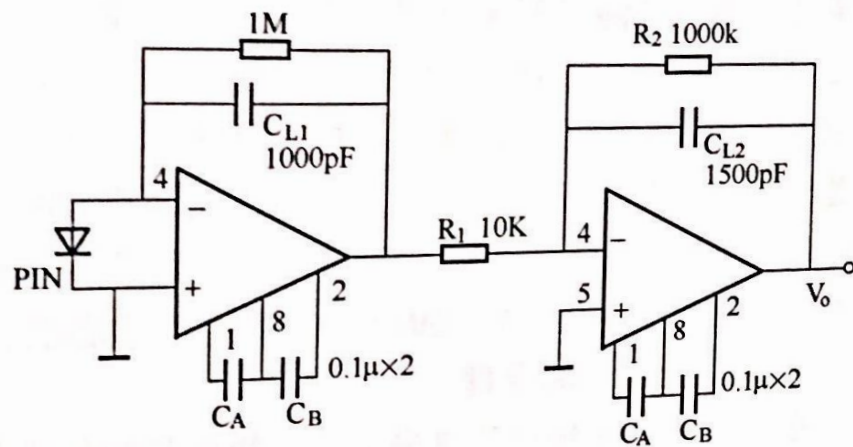


图 11-21 光电变换及放大电路

2) 稳定信号的方法

对于光强度调制测量系统而言,光源的光强漂移是使信号不稳定的主要因素之一。在测量系统中,为了消除光源光强漂移影响,采用图 11-22 所示的补偿光路。图中 I_0 是来自激光器的入射光强;B 是分束器,它将入射光分成两束投向两个光纤传感器 f_m 和 f_c ,分光比是 C_1/C_2 。测量光纤传感器 f_m 的输出光强为

$$I_1 = C_1 I_0 f(d)$$

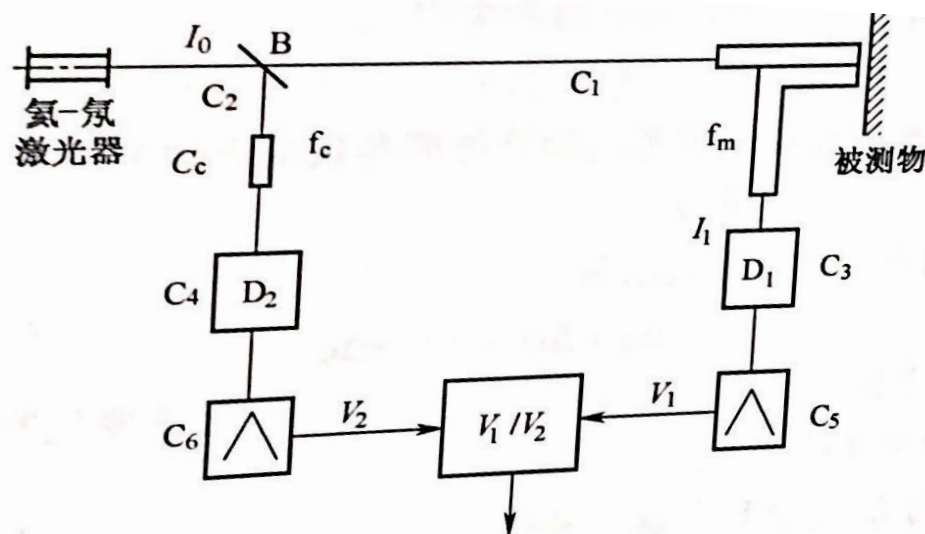


图 11-22 补偿光路

式中, $f(d)$ 是探头和测量端面间距 d 的转换函数。

设两个 PIN 光电二极管 D_1 和 D_2 的光电转换系数分别为 C_3 和 C_4 ; 两个放大器的放大系数分别为 C_5 和 C_6 ; 补偿光纤传感器 f_c 的传输系数为 C_c , 则对于测量信号 V_1 和补偿信号 V_2 , 可分别写为

$$V_1 = C_1 C_3 C_5 I_0 f(d), V_2 = C_2 C_4 C_6 C_c I_0$$

将两式相除可得到

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C_1 C_3 C_5}{C_2 C_4 C_6 C_c} f(d) \quad (11-10)$$

由式(11-10)可见, 电压比 V_1/V_2 只是探头和测量端面间距 d 的函数, 而与光源的入射光强 I_0 无关。也就是说, 光源光强的漂移对测量结果的影响已被消除了。在实际的测量系统中, V_1/V_2 的运算是在 A/D 转换后由微机完成。

上述方法虽然能够有效消除光源光强漂移的影响, 但仍不能消除测量现场可能出现的各种干扰光的影响。这里所说的干扰光主要是指照明光、日光或不可预测的一些杂散光。由于这些干扰光的影响, 测量信号是不稳定的, 这相当于分光比 C_1/C_2 不是一个常数。为此, 为了进一步提高测量精度, 可以在光路中插入光调制器, 将光信号转换成调制信号后由光电二极管接收, 并在光电转换及放大后进行解调。这种方法可以有效地消除干扰光对待测量信号的影响, 但也存在由于调制器加入而使测量系统较为复杂的缺点。