

激光多卜勒效应测量固体速度时的 信号处理*

丁 励 郝 珊

(郑州工学院激光研究室)

摘 要: 本文介绍了激光多卜勒效应在固体速度测量方面的应用, 针对应用中出现的实际问题, 讨论了解决方法, 实验原理和结果。

关键词: 多卜勒效应, 基波, 谐振, 自激振荡, 信噪比。

中国图书分类号: TN24

目前工业生产中, 电缆、塑料、钢材等线材的长度计量是以压轮的转动圈数来定的。然而, 不同直径的线材及压轮转动中的打滑都会造成长度计量不准。利用激光多卜勒效应对生产中的电缆等线材的在线长度计量, 且具有非接触、动态响应快、测量精度高、量程大等一系列优点, 从而为工业需求提供了可能。

1 多卜勒原理

由于多卜勒效应, 辐射源和接收器之间的相对运动会产生辐射频率的变化。当光源对于接收器没有相对运动而只是在光路的某一点光波被运动目标散射时, 会产生相似的多卜勒频移。

设: A_0 —光振幅 \vec{K}_1 —光波矢量
 A_R —反射光振幅 \vec{K}_R —反射光传播矢量

激光以频率 f_0 在空间传播时, 其波动方程为:

$$A = A_1 \exp - i(2\pi f_0 t - \vec{K}_1 \cdot \vec{r})$$

在以速度为 \vec{V} 运动的物体上入射光的波动方程为:

$$A = A_0 \exp - i(2\pi f_0 t - \vec{K}_1 \cdot \vec{V}t)$$

由此得反射光为:

$$A_s = A_R \exp - i[(2\pi f_0 t - \vec{K}_1 \cdot \vec{V}t) - \vec{K}_R \cdot \vec{r}]$$

用一静止的光电接收器接收到的散射光的波动方程为

* 收稿日期: 1992-03-28

$$A_s = A_1 \exp - i[(2\pi f_0 t - \vec{K}_s \cdot \vec{V}t) - \vec{K}_R \cdot \vec{V}t]$$

由此得反射光频率为

$$f_R = f_0 - \frac{V}{\lambda} [\cos(\vec{K}_s, \vec{V}) - \cos(\vec{K}_R, \vec{V})]$$

所以多卜勒频率为

$$f_D = f_R - f_0 = \frac{V}{\lambda} [\cos(\vec{K}_s, \vec{V}) - \cos(\vec{K}_R, \vec{V})]$$

当频率为 f_0 的激光分成两束以交角 θ 照射在以速度 \vec{V} 运动的物体同一点时, 则两光束的反射光分别为:

$$f_{R_1} = f_0 - \frac{V}{\lambda} [\cos(\vec{K}_{s_1}, \vec{V}) - \cos(\vec{K}_{R_1}, \vec{V})]$$

$$f_{R_2} = f_0 - \frac{V}{\lambda} [\cos(\vec{K}_{s_2}, \vec{V}) - \cos(\vec{K}_{R_2}, \vec{V})]$$

对于同一光电探测器有 $\vec{K}_{R_1} = \vec{K}_{R_2}$

所以两光束拍频为:

$$f_D = |f_{R_1} - f_{R_2}| = \frac{V}{\lambda} [\cos(\vec{K}_{s_1}, \vec{V}) - \cos(\vec{K}_{s_2}, \vec{V})] = \frac{2V'}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2}$$

式中 V' 为 \vec{V} 在两光束颊内垂直于聚交角平分线方向上的分量。

如果取两入射光交角平分线垂直于 \vec{V} 方向

则有

$$f_D = \frac{2V}{\lambda} \sin \theta / 2$$

由此通过光电探测器测出 f_D , 经处理后即可得到物体运动速度

2 实验中出现的問題及解决方法

2.1 实验光路

实验光路如图所示: 实验中使 θ 角尽可能小, 这里取 1° 左右, 以使两光束在纵向的相交区尽可能长, 以避免由于被测物的振动而使被测物脱离光线聚焦点。为很好地利用激光器的激光相干性, 根据激光器的特性取

$$L_2 = nL_1$$

式中 L_1 —激光器谐振腔长。

L_2 —激光器到被测物距离。

n —正整数。实验中取 $n=3$

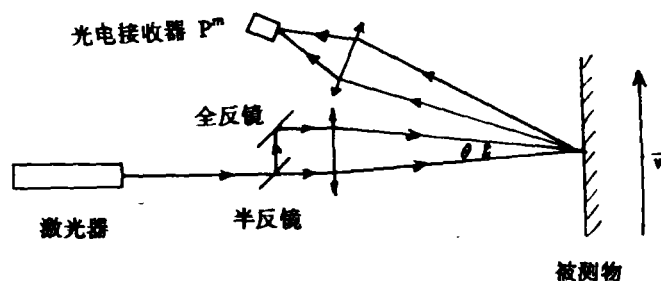


图 1

2.2 前置放大器的设计

由于被测物很低的反射率, PM 接收到的光信号非常弱。所以超低噪声宽频带的前置放大器是很关键的。这里我们用超低噪声超高速的 OP-37 运算放大器做为前置放大器。然而两级负反馈放大器串联时产生自激振荡, 而传统消自激方法为在反馈电阻上并联一超前相位补偿电容 C, 加 C 后的传递函数为:

$$G(s) = \frac{R_f}{R_1} \frac{1}{R_f C S + 1}$$

由此可见, 由于 C 的存在, $G(s)$ 与 $(R_f C S + 1)$ 成反比。这样闭环放大倍数大为降低。为避免出现这种情况, 我们没有用 C 而在两级运放中加了一个射极跟随器, 如图 2 所示, 实验证明效果良好。

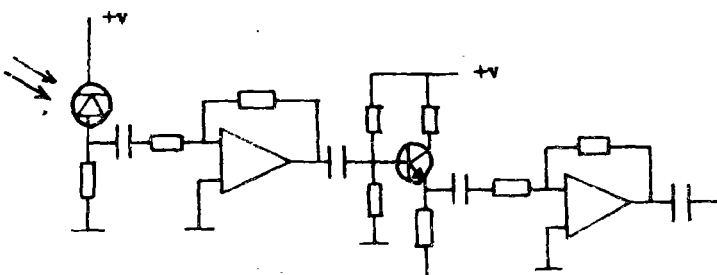


图 2

2.3 噪声处理

由于在生产过程中, 压轮及各种机械力对于被测线材的作用, 使被测物对于光线的反射角做周期性摆动。由此在光电探测器上产生一个低于 f_D 的基波。由前置放大器出来的信号如图 3 所示:

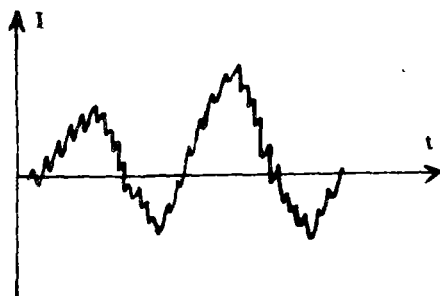


图 3

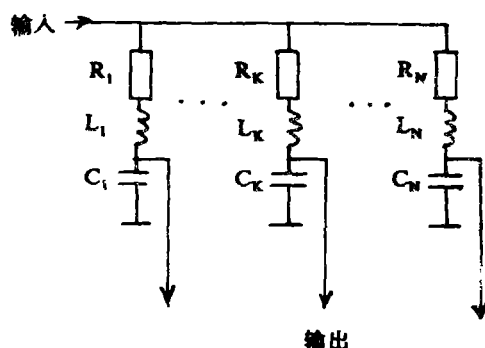


图 4

传统的消噪声方法是用一频率跟踪器对 f_D 进行跟踪处理。这种方法在流体测量中是非常有效的。然而对于生产线上的固体被测物, 频率跟踪器常常误跟踪到由于机械摆动而产生的基波上, 使信号处理失败。这里我们用一组谐振滤波器将基波与 f_D 分离出来, 只选用高频率的 f_D , 如图 4 所示。这样避免了各种噪声的干扰。

图 4 中, 由于第 K 组谐振滤波器, 由谐振条件:

$$\omega_k L_k - \frac{1}{\omega_k C_k} = 0 \quad \text{得} \quad \omega_k = \sqrt{\frac{1}{L_k C_k}}$$

其Q值为

$$Q = \frac{1}{R_k} \sqrt{L_k C_k}$$

单个谐振器的带宽为

$$\Delta f_k = \frac{1}{Q} f_k$$

整个谐振滤波器的谐振波形图如图5所示, 由于 f_D 大于基波频率, 所以可以很方便地将 f_D 分离出来。整个处理过程用一片8031单片机控制。

从整个仪器的设计上看, 没有昂贵的仪器元器件, 对于实用来说比较经济, 就整体性能来说, 由未经处理的信号与处理后的信号图6

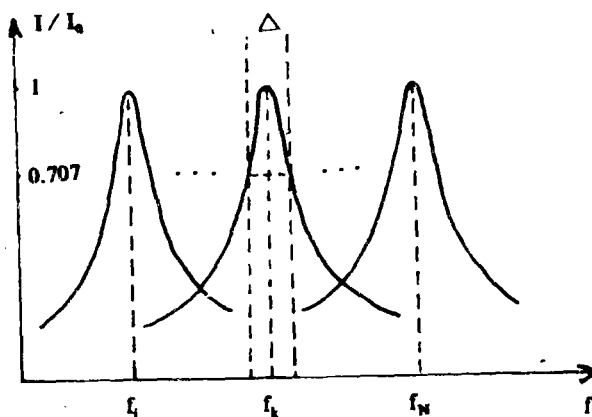


图5

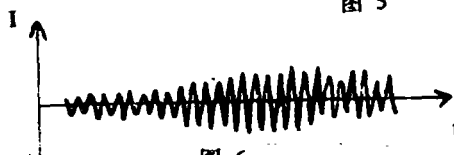


图6

比较看, 整个处理过程去掉了几乎所有的噪声, 在信噪比为1dB的情况下仍能正常工作, 其信噪比远低于频率跟踪器所需的10dB和计数法所需的20dB, 通过对激光闪频仪的实测与闪频仪输出信号的比较看, 实验精度达到了0.2%, 一般情况下完全部可以满足工业生产需要, 有很高的推广价值。

参 考 文 献

- (1) 杨国光. 近代光学测试技术. 机械工业出版社
- (2) 赵达尊. 波动光学. 北京工业学院
- (3) R. J. GOLDSTEIN. 用激光多卜勒技术测量流体速度. 激光技术在流体力学中的应用. 科技文献出版社重庆分社
- (4) 邱关源. 电路(修订版) 人民教育出版社

The Signals Processing of Laser Doppler Effect Measuring Speed of Solid

Ding Li Hao shan

(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: The applications of Laser Doppler techniques measuring solid velocity are described in this paper. Actual problem and solve method in applications, experimental principle and results.

Keywords: Doppler effect, fundamental wave, resonant self-excitation oscillation, signal-to-noise ratio.