

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.07.022

激光测速靶前端电路设计

高昆山, 周克栋, 赫雷

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为了提高光幕靶法测速系统的性能, 提出一种激光光幕靶前端电路的设计方案。使用 PIN 光敏二极管阵列作为激光光幕靶接收部分的传感器, 根据 PIN 光敏二极管的特性设计前置放大电路, 将微弱光信号转换为电信号并进行预放大; 提出采用消除误差的 PIN 管阵列新技术, 并选用仪表放大电路进行后级放大。结果表明: 该方案能避免环境因素对信号的影响, 提高系统的信噪比, 改善激光测速仪的性能。

关键词: 传感器; 前置放大; 仪表放大; 信噪比

中图分类号: TJ06 **文献标志码:** A

Front-End Circuit Design of Laser Velocity Target

Gao Kunshan, Zhou Kedong, He Lei

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to improve the performance of velocimeter, the front-end circuit design of laser velocity target was proposed. The PIN photodiode array was used as the sensors of the receiving part of the laser screen targets. According to the characteristics of the PIN photodiode, the preliminary amplification circuit was designed, which could transfer the faint optical signal to electrical signal and amplify the signal preliminarily. Put forward a new technology in which the error-elimination PIN array. And the instrument amplification circuit was used to conduct the successive amplification. The result shows the method can decrease the influence of the environmental factors, and enhanced the system noise-signal ratio (SNR) and improved the performance of laser velocimeter.

Key words: sensor; preliminary amplification; instrument amplification; SNR

0 引言

对于弹丸初速的测量, 目前有多种方法, 其中, 光电靶因其原理简单和操作方便等优点而得到广泛的应用。光电靶的信号接收装置主要由光敏器件、前级放大电路和后级放大电路等部分组成, 电路设计的优劣关系到整个测速系统的好坏, 对测试的精度和效率有很大的影响。

作为一种工作在电流脉冲情况下的半导体探测器, PIN 光敏二极管^[1]具有量子转换效率高、结电容小、响应速度快和线性范围大等特点, 特别适合对微弱信号的探测, 在光通信、光测距、光度测量以及光电控制等方面得到了广泛的应用。相比于其他一般光敏器件, 其线性度好, 灵敏度高。选用 PIN 光敏二极管作为光幕接收装置的传感器, 将接收到的光信号转换成微弱的电流信号, 通过前置放大电路转换为电压信号并进行预处理, 再经主放大电路对信号放大, 即可输出弹丸过光幕靶的模拟信号。

1 激光测速仪的测速原理和 PIN 管特性

1.1 激光测速仪测速原理

激光测速仪是一种以光电转换为基础的非接

触式的弹丸飞行速度测量仪器, 靶面由光学变换后的激光光幕构成。当有弹丸穿过光幕时, 挡住了部分到达接收部分的光线, 使由光敏元件构成的接收部分的光通量发生变化, 引起光电流的变化, 通过前端电路对信号进行处理, 以数字脉冲信号的形式输出, 通过预定的算法, 便可得到弹丸到达光幕的时刻^[2-3]。

将 2 个光幕靶按一定距离平行放置, 射击时弹道与靶面垂直, 当弹丸依次穿过 2 个光幕靶, 分别得到弹丸穿越该固定距离的起始和停止时刻, 用测时仪记录二者的时间, 就可计算出弹丸穿过这 2 个光幕靶的平均速度。

1.2 PIN 光敏二极管特性

PIN 光敏二极管是一种用高阻 N 型单晶材料制成的低结电容耗尽型光电二极管, 相比于普通的 PN 结二极管, 它在 P+层和 N+层之间加入一薄层低掺杂的本征半导体层, 组成 P-I-N 结构, 如图 1 所示。本征半导体层近似于介质, 相当于增大了 PN 结两电极之间的距离, 使结电容变得很小^[4]。在反向偏压状态下, I 层中的光生载流子在强电场下加速运

收稿日期: 2012-02-03; 修回日期: 2012-03-02

作者简介: 高昆山(1985—), 男, 江苏人, 硕士, 从事光电测速仪研究。

动, 可很快被反向电场扫出, 变成耗尽状态, 成为耗尽区, 所以载流子渡越时间非常短, 大大提高了频率响应(可达 10 GHz), 适用于快速探测场合^[5]。

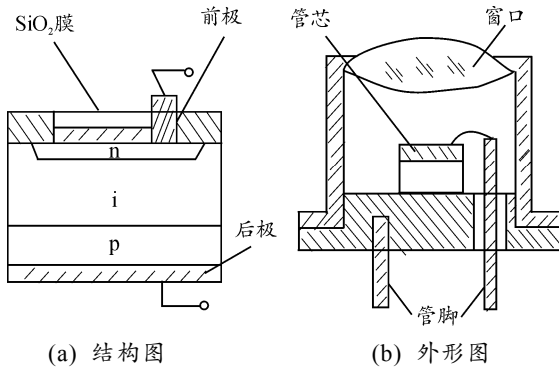


图 1 PIN 光敏二极管

笔者选用 BPX65 型 PIN 光电二极管作为探测元件, 相对光谱感光度函数如图 2, 可以看出, 它对于波长为 650 nm 的激光具有较好的感光性能, 信号的响应时间在 ns 级。暗电流函数如图 3, 在反向偏置电压 $V_R=20\text{ V}$ 时, 暗电流大小仅为 1 nA^[6]。

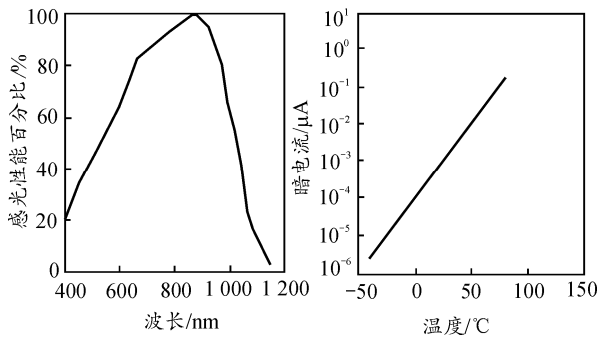


图 2 感光性能百分比

图 3 暗电流函数

其主要性能指标如表 1 所示。

表 1 BXP65 型 PIN 光敏二极管相关性能参数

参数	数值
外形直径 Φ/mm	5.6
光敏面面积 A/mm^2	1×1
光谱响应范围 λ/nm	350~1 100
响应度 $S_i/(\text{A/W})$	0.55
反向最大电压 V_R/V	50
暗电流 I_R/nA	≤ 5
结电容 C_0/pF	11

BPX65 型 PIN 型光敏二极管的直径为 5.6 mm, 感光敏感区尺寸为 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$, 接收视场角为 80° , 具有很高的响应速度和可靠性。用它做成阵列作为激光光幕靶的探测器件, 可以对弱信号进行很好的测量, 能降低前端探测单元的信噪比, 提高系统的整体性能。

2 前置放大器和放大电路

2.1 前置放大器的选择

光电系统中, 光电检测器件所接收的光信号十分微弱, 光电检测器件输出的信号如果不进行处理, 往往就被淹没在噪声之中, 所以需在光电器件的输出端连接一个低噪声前置放大器, 放大光电检测器件所输出的微弱信号和匹配后置处理电路与检测器件之间的阻抗。

前置放大器的要求是: 低噪声、高增益、低输出阻抗、足够的信号带宽和负载能力, 以及良好的线性和抗干扰能力。在结构上要求紧凑、靠近检测器件, 良好的屏蔽和接地。

目前, 低噪声集成放大器有双极型低噪声放大器和 FET 输入型低噪声放大器 2 种。相比而言, FET 输入型放大器具有非常低的噪声电流密度和相对较高的电压噪声密度。选用双极型低噪声放大器还是 FET 输入型低噪声放大器, 主要取决于探测器的输出电容^[7]。对于 PIN 光敏二极管, 输出电容在十几 pF 量级, 所以应选用 FET 输入型运算放大器, 如 OPA657、AD823 等。

2.2 前置放大电路

为了获得好的信噪比, 除了提供稳定的偏压和减小暗电流的影响, 还要合理地设计前置放大电路。前置放大电路的作用是对传感器输出的弱电信号进行放大, 把光电流转换成带有适当输出阻抗的电压, 并限制噪声信号。在反向偏置状态下的 PIN 光电二极管, 表现为源阻抗很大、结电容和串联电阻很小的电流源, 互阻放大器是在光电检测前置放大中常用的一种结构, 通过它可将光电二极管的电流信号变为电压输出, 如图 4 所示。

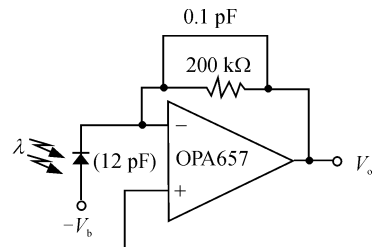


图 4 前端放大电路原理图

在实际电路中, 外界环境的变化(诸如火光、温度、震动等因素)对光电探测器也有一定的影响, 需要采取一定的措施来消除。

选取与探测阵列里元件标称参数相同的 PIN 光敏二极管组成阵列，作为消除误差的方法。给它相同的偏置电压，接入放大器的同相端，在运放共模抑制的作用下，可以补偿大部分外界环境变化给探测元件带来的影响。同时，消除误差的 PIN 管阵列和探测的 PIN 管阵列具有相同的暗电流，在一定程度上也可以抑制由于偏压而带来的暗电流对信号的影响。相应的电路如图 5 所示。

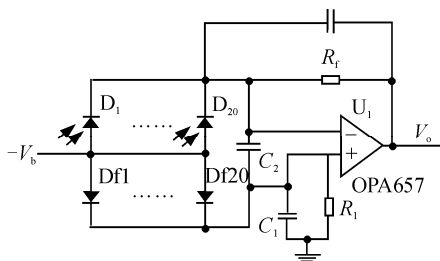


图 5 具有消除误差的 PIN 管阵列的前端放大电路

在最终电路中，为了减小寄生电容，反馈电阻使用薄膜电阻，反馈电容选用可调的陶瓷电容以调整至最佳的带宽和脉冲响应。

3 主放大电路

前置放大器的主要作用是将电流信号转换为电压信号，放大倍率不宜太高，否则会引入过多的噪声，所以整体的放大能力有限，需要后级放大电路对前置放大输出的电压信号再次进行放大滤波处理，使其达到期望的幅值^[8]。

仪表放大器电路是一种精密差分电压放大器，它源于运算放大器，且优于运算放大器。其独特的结构使它具有高共模抑制比、高输入阻抗、低噪声、低线性误差、低失调漂移增益设置灵活和使用方便等特点，使其在数据采集、传感器信号放大、高速信号调节等方面得到广泛的应用。

仪表放大器电路的典型结构如图 6 所示，它主要由 2 个缓冲放大器和 1 个基本的差分放大器构成。其中，运放 A、B 为缓冲放大器，提供了全差分增益、单位共模增益和高阻输入。差分放大输出提供共模增益为零的差分增益，使得共模抑制比得到提高。在 $R_1=R_2$ 、 $R_3=R_4$ 、 $R_5=R_f$ 的条件下，图 6 电路的增益为

$$G = (1 + 2R_1 / R_g)(R_f / R_3) \tag{1}$$

由式 (1) 可见，电路增益的调节可以通过改变 R_g 阻值实现。

笔者选用 3 个精密运放 OP07，组成仪表放大电路，信号可以得到较好的放大，且噪声也得到较好的抑制。

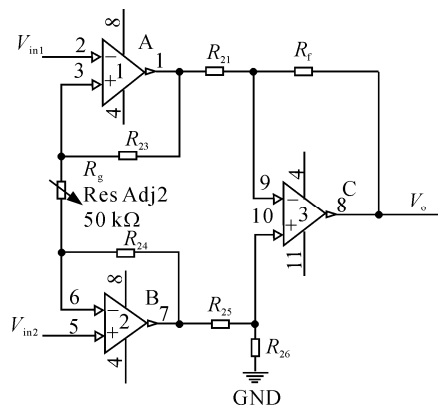


图 6 仪表放大电路

4 结论

笔者选用 PIN 光敏二极管阵列作为激光光幕靶的探测元件，设计了前级放大电路和主放大电路，并采用相同 PIN 管阵列来消除误差，有效地避免了环境因素对信号的影响，提高了系统的信噪比，为激光测速仪的改进提供了新途径。

参考文献:

- [1] 卢春生. 光电探测技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [2] 余晓军, 王选择, 谢铁邦. 基于光电信号转换原理的子弹测速系统[J]. 湖北工学院学报, 2002, 17(4): 105-107.
- [3] 倪晋平, 王铁岭. 光电靶的工作原理及应用[J]. 西安工业学院学报, 1997(3): 31-37.
- [4] 曹勇, 张宇, 陈丽, 等. 基于激光编码调制的光电检测电路设计, 四川兵工学报, 2010, 12(31): 103.
- [5] 叶嘉雄, 常大定, 陈汝钧. 光电系统与信号处理[M]. 北京: 北京科学出版社, 1997.
- [6] Silicon Company datasheet: BXP65.
- [7] 王永纲. APD 探测器低噪声前端电子学研究[J]. 核电子学与探测技术, 2006, 26(3): 280-283.
- [8] 倪晋平, 蔡荣立, 崔长青, 等. 弹丸着靶坐标测试系统的原理与信号处理电路[J]. 1995, 19(1): 11-17.