

· 电路与控制 ·

光电转换电路的设计与优化

宋 涛, 张 斌, 罗倩倩

(中北大学电子测试技术重点实验室, 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

摘 要:通过对光电转换电路的前置放大及主放大电路设计的详细分析研究, 给出了电路放大、滤波、降噪等优化处理方法, 实现了将有用信号从噪声中分离并输出的目的. 对光电转换电路从原理设计到最终制板过程中影响其性能参数及稳定性的因素进行了深入的探讨, 提出了对电路器件选择、排列、布线以及降噪等方法的选择标准和依据.

关键词:光电转换; 前置放大; 光电二极管

中图分类号: TN710

文献标识码: A

文章编号: 1673 - 1255(2010)06 - 0046 - 03

Photoelectric Conversion Circuit Design and Optimization

SONG Tao, ZHANG Bin, LUO Qian-qian

(National Key Laboratory of Electronic Measurement Technology(North University of China),
Ministry of Education Key Laboratory of Instrumentation Science and Dynamic Measurement, Taiyuan 030051, China)

Abstract: By studying and analyzing the preamplifier and main amplification circuits design in photoelectric conversion circuitry, the optimum handling way for circuit amplifying, filtering, noise reduction processing was given, the purpose of the useful signal separating and outputting from the noise was achieved. The various factors affecting the stability of performance parameters from the principle of photoelectric conversion circuit design to the final plate process were discussed. The criteria and the basis were put forward for the circuit device selections, arrangement, wiring, and noise reduction methods and so on.

Key words: photoelectric conversion; preamplifier; photodiode

光电技术是将传统的光学技术与现代电子技术与计算机技术相结合的一种高新技术^[1]. 以光电转换电路为核心的光电检测技术已经被广泛地应用到军事、工业、农业、环境科学、医疗和航天等诸多领域. 所谓的光电转换是以光电二极管为基础器件, 通过将照射于二极管上光通量的改变量转化为相应的光电流, 再经过前置放大、主放大等后续电路进一步优化有用信号, 最后实现与上位机与相应算法的连接. 由此可见, 任何光电检测系统中, 光电转换电路的设计与优化都是重中之重, 它性能的稳定以及相关参数的合理性将决定着整个检测系统的设计成败.

1 光电转换 - 前置放大电路的设计

光电二极管在受到光照时, 会产生一个与照度成正比的小电流, 因此是很好的光 - 电传感器. 光电二极管可以在 2 种模式下工作, 一是零偏置的光伏模式; 一是反偏置的光导模式^[3], 具体电路如图 1 所示. 在光伏模式时, 光电二极管可以非常精确地线性工作; 而在光导模式时, 光电二极管能够实现较高的切换速度, 但要牺牲线性; 同时, 反偏置模式下的光电二极管即使在无光照条件下也会产生一个极小的暗电流, 暗电流可能会引入输入噪声. 因此选用光

收稿日期: 2010 - 11 - 19

基金项目: 山西省科技基础条件平台建设项目资助(2010091013)

作者简介: 宋涛(1985 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为光电探测理论与技术.

伏模式。

理想的光电二极管有恒流源的特性,当其负载电阻为零时输出特性较好,而由理想放大器构成的前置放大电路又有“虚短、虚断”的概念,其输入阻抗 $R_{in} = R_f / (1 + A)$, 式中, A 为运算放大器的开环增益, R_f 为反馈电阻. 一般而言, $A \geq 10^6$, 所以 $R_{in} \approx 0$; 即保证了光电二极管在光伏模式下的线性工作特性. 通过反馈电阻将光电二极管与运算放大器相连接, 将其产生的微弱电流通过较大的反馈电阻 R_f 形成压降, 从而实现光通量的改变——光电流——电压的 I/V 前置放大转换。

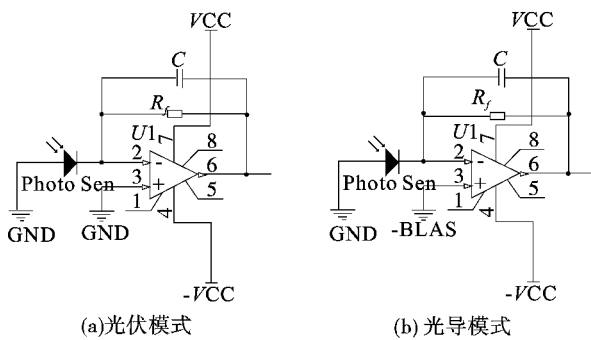


图 1 光电二极管的工作模式

光电二极管的选择依据:

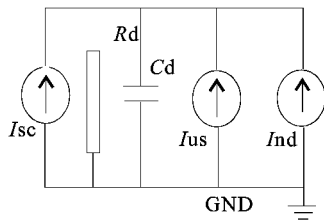


图 2 光电二极管等效电路

图 2 中 I_{sc} 为光电流; R_d 为二极管内阻; C_d 为二极管结电容; I_{ns} 为二极管的散粒噪声电流; I_{nd} 为二极管内阻的热噪声电流. 光电二极管与后续的理想运放构成前置放大电路时, 影响其性能参数的因素主要是以下几点:

(1) 反馈电阻 R_f : 反馈电阻越大, 输出电压越大, 通常取几百千伏或几十兆伏, 但反馈电阻的选择也存在上限, 因为前置放大与后续处理电路相连时会受到输入电压匹配的限制, 同时过大的反馈电阻会使电路产生自激震荡;

(2) 设计合理的通频带: 通过电容 C_s 与反馈电阻 R_f 的并联, 构成低通滤波电路, 其上限截止频率为 $1/2\pi \cdot C_s \cdot R_f$. 上限截止频率越小, 信号输出信噪比越好; 但较小的上限截止频率会使信号产生频率

失真, 具体使用时要根据实际情况调试而定;

(3) 光电转换产生的光电流越大, 前置放大得到的输出电压越大, 因此要尽可能选用灵敏度高的二极管, 同时提高光信号的照射功率以增大光电流;

(4) 选用内阻较大, 结电容较小的光电二极管, 同时保证工作温度恒定, 减小因环境温度升高而带来的额外的输入噪声。

2 主放大电路的设计

由于前置放大只是将微弱的光电流转换为电压信号, 在进行实际处理时还要进一步放大, 因此设计第二级主放大电路, 通过阻容耦合与前置放大电路相连。

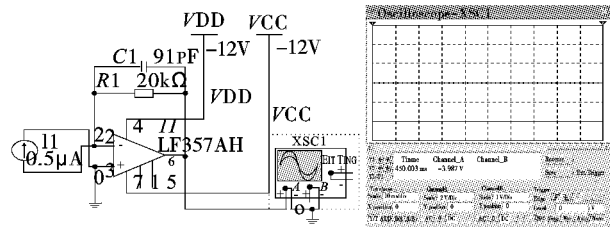


图 3 前置放大仿真电路及仿真波形

由仿真结果可以看出光电二极管产生的微安级的弱光电流经前置放大电路可输出毫伏级的电压, 所以仍需通过主放大电路进行后续处理. 主放大电路如图 4 所示; $R1 \sim R5$ 电阻可实现电压放大倍数的多档可调, 即所谓的灵敏度调节。

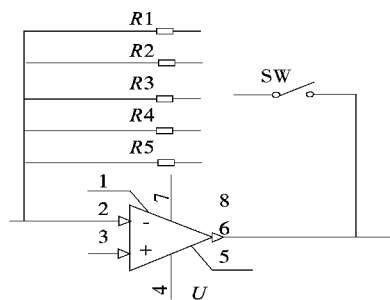


图 4 主放大电路

3 电路的优化设计

在实际光电测试系统中, 还应对光电转换电路进行诸如降噪、滤波、去耦等优化处理, 以实现较大的信噪比、信号稳定性以及高灵敏度等特点. 具体的优化措施有以下几点:

(1) 由于运算放大器是双电源器件, 通过合理的

选择偏置电阻使光电转换前置放大电路的输出电压达到合适的幅值(即设置适当的静态工作点),以获得最大的电压摆幅,避免饱和失真.如图6电路所示,电压输出设置于 -4 V 左右,避免因强烈的环境光造成的饱和失真.

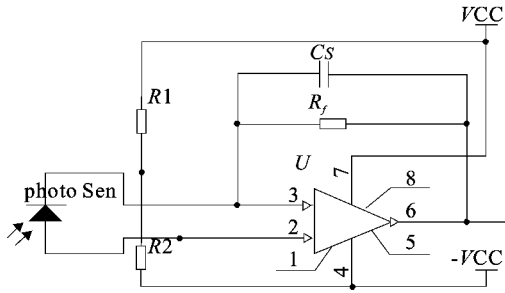


图5 偏置前置放大电路

该放大电路经过仿真以后从波形中可以观察到输出电压被拉低到 -4 V 左右,实现了合理设置静态工作点的目的;

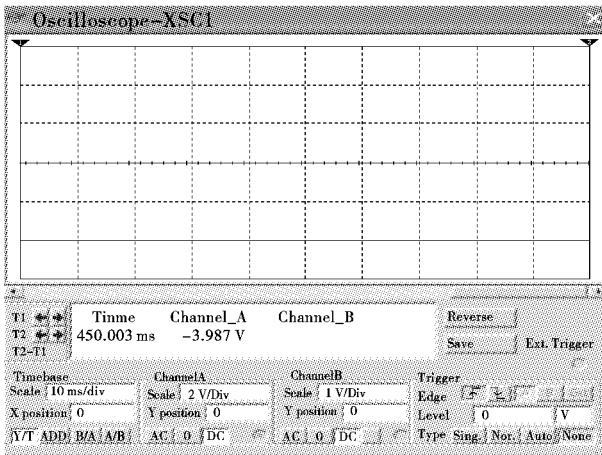


图6 偏置前置放大电路仿真结果

(2)正负电压由运算放大器的4、7管脚引入,同时设置旁路电容构成滤波电路,消除电源纹波的干扰,降低输入噪声,提高信号信噪比;

(3)考虑到不同光电检测系统的使用环境,对于那些有强环境光干扰的测试场所,可以在电路设计之初就运用双光电二极管,使其中一个暴露于测试环境中并与前置放大器反接,达到消除杂散环境光干扰的作用;

(4)在电路的制板过程中还会因为器件排列、布线、线宽以及制作工艺等诸多因素引入噪声,对测试结果产生一定的影响;针对这些因素对PCB板的设计提出以下几点建议:

a. 要求PCB出图时光电转换器件与前置运放间的信号线尽可能短;

b. VCC、GND等特殊网络的线宽要超过其他网络的线宽,推荐50 mil左右;

c. 如果电路比较复杂,还应设计专门的电源层与接地层;

d. 布线时两条走线之间应保持一定间距,避免产生电容效应,且走线以水平方向与垂直方向为最佳;

e. 敷铜设计时最好将电源与运放隔开,不要整板敷铜,避免噪声干扰;

(5)在电路板的使用过程中要采取一定的屏蔽措施,如添加金属外壳(避免空气中高频电磁波的干扰),或接地(消除噪声)等;

基于以上设计原则,设计光电转换放大电路并制板,以玩具气枪模拟真实弹丸验证该测试系统,搭建 $400\text{ mm} \times 10\text{ m}$ 的有效靶面,分别从有效靶区范围内0、5、10 m处在400 mm光幕的上、中、下3个不同光强区域验证弹丸过靶信号;噪声稳定保持在100 mV左右,而最弱区域有用信号达到2 V上下,性能较为稳定,信噪比好,能够满足测试需求.

表1 气枪测试数据

分组				/V
	上	中	下	直流电平
第1组(0 m)	2.03	3.83	2.56	3.72
第2组(5 m)	4.24	4.76	3.65	3.72
第3组(10 m)	3.74	5.63	3.35	3.72

4 结束语

文中对光电转换电路设计中可能遇到影响其性能参数的诸多因素作出了详尽的分析与讨论,通过合理的选择调试器件参数,可以使检测系统的性能趋于最佳,对于较为微弱的光信号也有探测能力.在实际应用当中,还应根据具体问题具体分析,才能设计出满足不同需求的光电转换电路测试系统.

参考文献

- [1] 刘斌,张秋蝉.光电检测前置放大电路的设计[J].燕山大学学报,2003,27(3):194-196.
- [2] 李威,罗春华,杨臻.基于光电信号转换原理与单片机的弹丸测速系统[J].机械管理开发,2008,23(6):29-30.
- [3] 刘卫东,刘延冰,刘建国.检测为弱光信号的PIN光电检测电路设计[J].电测与仪表,1994(4):28-30.
- [4] 张若岚.电路系统中噪声问题研究[J].电子技术,2001(2):62-65.