

· 电路与控制 ·

基于固态光电倍增管的放大电路及电源电路设计

韩真真, 郝晓剑

(中北大学电子测试技术国家重点实验室, 山西 太原 030051)

摘要: 固态光电倍增管(SSPM)作为一种新型的光电探测器件,具有广泛的应用。研究并设计了固态光电倍增管的外围电路、前置放大电路和电源电路。应用软件仿真验证了放大电路的可行性,优化了反馈电容参数,使电路性能达到最佳。为实现设计的小型化和简洁化,设计并制作了电源电路,实验结果表明,输出电压均值为30.4 V,满足设计要求。

关键词: 固态光电倍增管;电源电路;放大电路;电路设计

中图分类号: TN29

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-05-0069-04

Design of Amplifying and Power Circuit Based on Solid-state Photomultiplier

HAN Zhen-zhen, HAO Xiao-jian

(National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: As a new type of photoelectric detector, solid-state photomultiplier (SSPM) has wide applications. The peripheral circuit including pre-amplifying circuit and power circuit are researched and designed. The feasibility of amplifying circuit is verified by software simulation and the feedback capacitance parameter is optimized to gain optimal circuit performance. To realize the miniaturization and simplicity, the power circuit is designed and made. Experimental results show that the mean output voltage is 30.4 V and meets the design requirements.

Key words: solid-state photomultiplier (SSPM); power circuit; amplifying circuit; circuit design

光电倍增管是一种新型的光电探测器件,由数百个工作于盖革模式^[1]的雪崩光电二极管(APD)组成。固态光电倍增管(SSPM)兼备高增益和高光子探测效率,具有低噪声、快速响应^[2]、体积小、避免电磁干扰、低工作电压等特性,可广泛地应用于温度测试和触发系统的光纤输入信号读出,辐射探测器闪烁物读出,测距,跟踪和激光雷达,生物光子探测等领域^[3-6]。

经过固态光电倍增管转换的信号还比较微弱,很容易受到噪声的干扰。前置放大电路^[7]的设计就是把夹杂噪声的微弱信号进行放大,抑制工作环境中的噪声,提高信号和噪声的比值,即提高信噪比。需要综合权衡增益、带宽、噪声、灵敏度等性

能,进行合理的折中^[8]。

对于电源电路^[9],一种是采用恒流源电源;另一种是采用+5 V电源驱动芯片,经变压器放大,然后整流、滤波得到+60 V电源电压,但由于其结构较为复杂,且应用的零器件较多,所以体积较大,给使用带来了很多的不便。针对这一现象,研究并设计了单电源电路,从而小型化系统。

1 SSPM的性能

1.1 SSPM动态范围

对SSPM-10035来说其线性响应范围^[10]是10~1

收稿日期: 2014-09-04

基金项目: 国家自然科学基金(61473267);山西省人社厅留学人员科研活动资助项目;太原市科技局明星专项项目(120247-20)

作者简介: 韩真真(1989-),女,山东泰安人,硕士研究生,研究方向是光电探测理论与技术。

000个光子数之间(每猝灭时间),换算成功率

$$P = \frac{n \times h\nu}{\tau} \quad (1)$$

其中, P 为功率; n 为光子数; h 普朗克常数; ν 为入射光子频率; τ 为猝灭时间。 ν 取波长为510 nm时的光频率, τ 取一个猝灭时间100 ns,计算得 P 的范围为 $3.9 \times 10^{-11} \sim 3.9 \times 10^{-9}$ W。当入射光功率在这个范围内时,SSPM输出与输入成线性;整个动态响应范围则是在10~10 000个光子之间(每猝灭时间)。

1.2 温度对SSPM的影响

温度的变化会影响SSPM的击穿电压,而击穿电压的变化会进一步影响到增益和输出响应。图1为温度-击穿电压曲线。从图1中可以看出,随着SSPM工作环境温度的升高,击穿电压也升高,两者呈一定线性关系。通过进一步的研究,温度每上升1℃击穿电压增加约23 mV。击穿电压与温度的数学表达式如下

$$V_{br} = 0.023 \times T + 27.2 \quad (2)$$

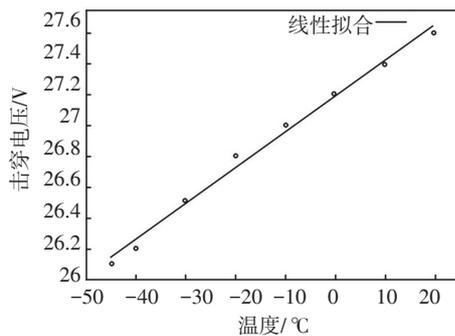


图1 SSPM击穿电压与温度关系

图2为在不同的温度点下的增益-偏压曲线。从图2中可看出,在相同的偏压下,温度越低时增益越大,有时增益相差可达一个数量级,所以实际应用中,有必要考虑环境温度对SSPM的影响,需要设计适合使用环境的冷却装置。

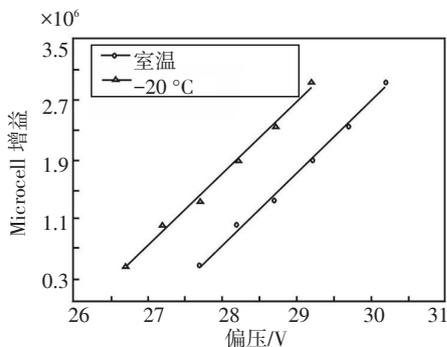


图2 不同温度下的增益-偏压曲线

2 放大电路的设计与仿真

2.1 系统结构及器件

为使固态光电倍增管正常工作,需提供30 V的偏置电压,使其处于偏置状态,并应配有相应的前置放大电路。系统的总体框图如图3所示。



图3 系统框图

前置放大电路的设计从两方面考虑:一是设计合适的电路形式;二是选择合适的器件,从而设计出动态响应快、稳定性高、可靠性好的高性能的电路。跨阻放大器的作用是将光电二极管微弱的电流信号转为合适的电压输出,同时可以比较容易地获得最佳信噪比。

本设计中采用了TI公司的高速运算放大器LMV793。LMV793是一款低噪声电压反馈的跨阻放大器,可应用在光电二极管放大器、低噪声信号处理、传感器接口等领域。LMV793有源电压范围为1.8~5.5 V,其为单电源运算放大器。LMV793每个轨到轨的输出特性能够驱动一个600 Ω的负载并且产生60 mA的电流。低输入电压噪声为 $5.8 \text{ nV} / \sqrt{\text{Hz}}$,输入偏置电流为100 fA,增益带宽积为88 MHz,其能保证2.5 V和5.0 V的性能,总谐波失真为0.04%,温度范围为-40℃~125℃。LMV793在低电压和低噪声系统中提供了最佳的性能。

2.2 仿真结果分析

LMV793也是一款互阻抗放大器,由于互阻抗放大器本身就是一款微分电路,所以其不太稳定。为了确保其稳定性,可以使用一个相对较大的反馈电容,以过补偿电路,但是使用较大的补偿电容 C_f 将会增大电路的带宽,从而超出LMV493的带宽。根据以上分析,前置放大电路设计如图4所示。其中 $C_I = C_D + C_{CM}$, C_{CM} 为运算放大器的输入共模电容值为15 pF, C_D 为二极管的电容为30 pF, $C_f = 5 \text{ pF}$ 。

电路仿真主要是检验设计方案在功能方面的正确性。用Multisim软件对电路进行了仿真,采用矩形波信号作为输入,幅值为1 mA,频率为100 kHz,当 $C_f = 5 \text{ pF}$ 时,仿真结果如图5a所示。从图5a

可以看出,此波为矩形波,但是由于电容值小,补偿作用微乎其微,故增大 C_r 的值。当 C_r 值为50 pF时,仿真结果如图5b所示。增大补偿电容后,输出信号的振荡和过冲明显降低,电路带宽为949 kHz,可以实现2 000倍的放大倍数。

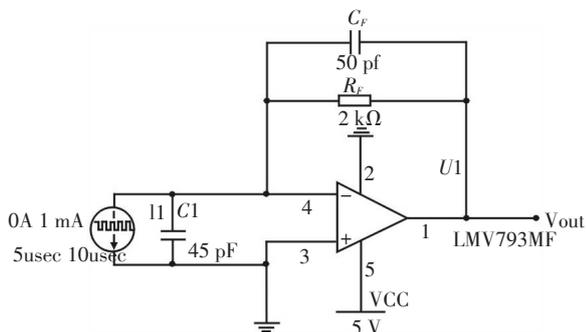
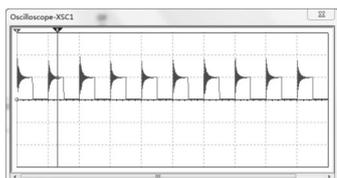


图4 前置放大电路图



(a) $C_r=5$ pF时的仿真结果



(b) $C_r=50$ pF时的仿真结果

图5 不同 C_r 下的仿真结果图

3 偏置电压电路的设计及制板

电源电路需要用到+5 V和+30 V的电源。+30 V为SSPM提供偏置电压,因为SSPM工作在盖革模式下的最低电压为28 V,故采用了典型值30 V。设计时采用常用的+5 V电源来得到+30 V的电压。

SSPM对工作偏压电源要求电压纹波峰峰值小于4%,偏压范围28~36 V,电源电流范围小于30 mA。根据所查资料了解到MAX5026常应用于产生雪崩二极管的偏置电压,故用MAX5026来实现30 V的电压电路设计,其原理图如图6所示。

输出滤波电容为1 μ F或者更大一点,为了减小输出纹波,应选择低等效串联电阻、低等效串联电容

和电容值大的电容。另外一种减小输出纹波的方法是在升压转换器的输出端连接一个RC滤波电路,如图7所示。图7中增加 $R3$ 、 $C3$ 可以减小纹波,为最终30 V电源电路设计方案。

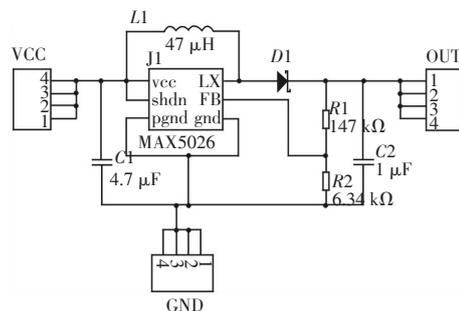


图6 输出为30 V的升压电路

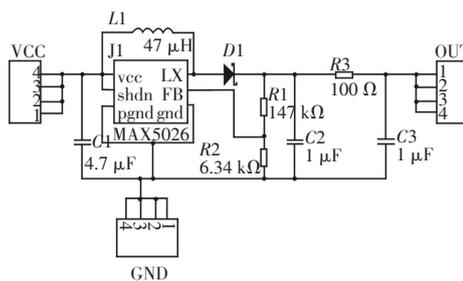


图7 带RC的输出为30 V的升压电路设计

为了检测所设计的电路是否能够达到要求,绘制PCB板并做出实物进行测试。实物如图8所示。



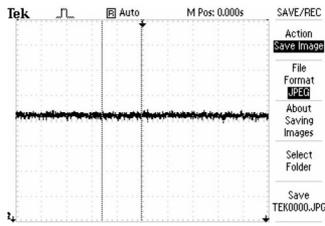
图8 +30 V偏置电源实物

4 调试与检验

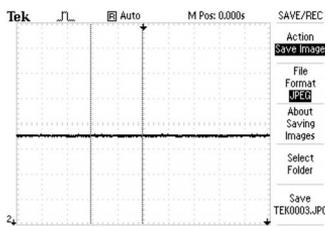
完成了偏置电压电路板的焊接、制作后,对电路板进行了测试,在VCC端接5 V电源,GND端接地,输出端接示波器,其输出波形如图9a和图9b所示。

对比加入滤波电路前后的输出波形,由图9可以清晰地看出,接入 $R3$ 和 $C3$ 后,纹波明显减小。其实,即使是最好的基准电压源器件,其输出电压也是有纹波的。纹波的害处很多,如容易在设备中产生不期望的谐波;降低电源的效率;带来噪声干扰等。因此在设计电路时必须尽量降低纹波电压。经测

试得输出电压的范围为29.2~31.6 V,输出电压均值为30.4 V,纹波为600 mV,可以满足设计要求。



(a) 未接滤波电路输出



(b) 接入滤波电路输出

图9 有无滤波电路的实验结果

5 结论

文中研究和设计了固态光电倍增管的前置放大电路和电源电路,并进行了仿真和实验验证。仿真结果表明,设计的电路可以实现2 000倍的放大功能,输出电压的范围为29.2~31.6 V,输出电压均值为30.4 V,纹波为600 mV,可以满足设计要求。

另外在电路设计中,采用单电源运放,减少供电电源,利于电路小型化。

参考文献

- [1] 梁创,廖静,梁冰,等. 硅雪崩光电二极管单光子探测器[J].光子学报,2000,29(12):1142-1147.
- [2] 潘保武,郝晓剑,李伟,等. SSPM在蓝宝石光纤黑体腔瞬态高温传感器中的应用[J].中北大学学报,2011(5):622-624.
- [3] 陈森,张师平,吴疆,等. 光电倍增管光谱特性实验设计[J]. 大学物理实验,2013,26(1):27-29.
- [4] 赵文锦.光电倍增管的技术发展状态[J]. 光电子技术,2011,31(3):145-148.
- [5] 黄敏敏,朱兴龙.硅光电探测器的发展与应用[J]. 机械工程与自动化,2011,6(169):203-205.
- [6] 崔婷.瞬态表面超高温传感其技术研究[D]. 山西:中北大学,2010.
- [7] 海燕. 低噪声大动态范围前置跨阻放大器的研制[D]. 重庆:重庆邮电大学,2006.
- [8] 唐立田,张海英,黄清华,等. 一种高增益低噪声低功耗跨阻放大器设计与实现[J].电子器件,2009,32(3):566-569.
- [9] 张智河,李延玲,曲典.双极输出光电倍增管高压电源设计与实验研究[J]. 中国医疗设备,2013,28(3):31-33.
- [10] 李岩峰,郝晓剑,周汉昌.SPM光电探测技术及应用[J]. 电子质量,2013(12):41-44,50.

(上接第59页)

- nal of Applied Sciences 2008, 8 (7): 1159-1161.
- [7] 顾宪辉,鲍其莲. 红外成像寻的器技术研究[J]. 应用光学,2007,28(3):309-312.

- [8] 王卫华,黄宗福,何艳,等. 一种基于线阵扫描成像的红外搜索跟踪一体化系统设计[J]. 信号处理,2010,26(9):1312-1317.

欢迎利用期刊网站浏览本刊已发表文章

为了满足读者对《光电技术应用》期刊文章的快速、方便、阅读需求,《光电技术应用》期刊网站(网址为:<http://www.gdjsyy.com>),为读者提供了《光电技术应用》期刊2009~2014年已发表文章的在线浏览。读者可在过刊目录下,查阅2009~2013年期刊各期目录,点击文章题目或摘要,阅读文章全文。欢迎广大读者登陆期刊网站,及时了解《光电技术应用》期刊已发表文章的最新信息。

《光电技术应用》编辑部