

# 光电探测器前置放大电路研究

高科,孙晶华

(哈尔滨工程大学 理学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:** 在弱光检测中,光经过光电探测器转换为电信号,此信号极其微弱。要实现光电转换,并有效地利用这种信号,必须对光电器件采取适当偏置,然后再将已转换的电信号进行放大处理。对光电导器件、光伏型探测器、光电流型探测器的前置电路进行研究与设计。根据不同种类的探测器及探测光信号的频率特性选取不同的偏置与放大电路,使前置电路的性能达到最优。

**关键词:** 光电探测器;运算放大器;前置放大

中图分类号: TN957

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)18-0086-03

## Research in the front end circuit of photo-electric detector

Gao Ke, Sun Jinghua

(College of Science, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** In low light detection, light is converted to electrical signal through photo-electric detector, which is extremely weak. To achieve photovoltaic conversion, and effective use of this signal, optoelectronic devices must take appropriate offset, and then converted to electrical signals for amplification processing. According to different types of detectors and detecting optical signals of different frequency characteristics, we select bias and amplifier circuit to reach the best performance.

**Key words:** photo-electric detector; operational amplifier; front end circuit

在弱光检测中,光电探测器将接收到的光信号变为微弱的电流信号,一般为微安数量级,光电探测器通过放大器将其转变为电压信号,只有经过充分的放大和处理才能被记录下来。加州理工学院曾对光通信中微弱光信号的检测器使用不同特性的前置放大器,给出了各种比较数据,充分说明前置电路的性能决定整个系统的优良<sup>[1]</sup>。前置电路若设计得好,会使探测灵敏度提高,从而更好地进行实验研究;反之,不仅会把输入信号和噪声放大,同时还会混进电子器件本身带来的新噪声,这对于实际实验的影响会非常大。基于此点,有必要对光电探测器前置电路进行深入研究。

### 1 光电探测器

光电探测器是一种将辐射能转换成电信号的器件,是光电系统的核心组成部分,在光电系统中的作用是发现信号、测量信号,并为随后的应用提取某些必要的信息。光电探测器的性能参数与其工作条件密切相关<sup>[2]</sup>,所以在给出性能参数时,要注明有关的工作条件,只有这样,光电探测器才能互换使用。主要工作条件有:

#### (1) 辐射源的光谱分布

很多光电探测器,特别是光子探测器,其响应是辐

射波长的函数,仅对一定波长范围内的辐射有信号输出。这种称为光谱响应的“信号依赖于辐射波长”的关系,决定了探测器探测特定目标的有效程度。所以在说明探测器的性能时,一般都需要给出测定性能时所用辐射源的光谱分布。如果辐射源是单色辐射,则需给出辐射波长。假如辐射源是黑体,就要指明黑体的温度。当辐射经过调制时,则要说明调制频率。

#### (2) 电路的通频带和带宽

因噪声限制了探测器的极限性能,噪声电压或电流均正比于带宽的平方根,所以在描述探测器的性能时,必须明确通频带和带宽。

#### (3) 工作温度

许多探测器,特别是用半导体材料制作的探测器,无论是信号还是噪声,都与工作温度有密切关系。所以必须明确工作温度。最通用的工作温度是:室温(295 K)、干冰温度(195 K)、液氮温度(77 K)、液氦温度(4.2 K)以及液氢温度(20.4 K)。

#### (4) 光敏面尺寸

探测器的信号和噪声都与光敏面积有关,大部分探

## 应用奇葩

Example of Application

测器的信号噪声比与光敏面积的平方根成比例。参考面积一般为  $1 \text{ cm}^2$ 。

## (5) 偏置情况

大多数探测器需要某种形式的偏置。例如光电导探测器和电阻测辐射热器需要直流偏置电源,光电磁探测器的偏置是磁场。信号和噪声往往与偏置情况有关,因此要说明偏置情况。

此外,对于受背景光子噪声限制的探测器,应注明光学视场和背景温度。对于非密封型的薄膜探测器,要注明湿度<sup>[3]</sup>。

## 2 三种探测器前置电路设计

## 2.1 PIN 光电二极管前置电路设计

PIN 光电二极管又称快速光电二极管,在原理上与普通的光电二极管一样,都是基于 PN 结的光电效应工作的。所不同的是在结构上,它的结构是在 P 型半导体和 N 型半导体之间掺杂着一层较厚的本征半导体。这样不仅提高了量子效率而且提高了长波灵敏度,此外由于 I 层比较厚,在反偏下工作可承受较高的反向偏压,使线性输出范围变宽。

因此,PIN 光电二极管具有响应速度快、灵敏度高、长波响应率大的特点<sup>[4]</sup>。根据 PIN 光电二极管的这些性质,可选择两种放大电路:电流放大型 I-V 转换电路或高速响应放大电路。

## 2.2 光电池前置电路设计

硅光电池是一个大面积的光电二极管,可把入射到其表面的光能转化为电能。下面分析光电池两种不同输出要求的偏置电路。

(1) 光电池作为电流输出的电路。当光电检测中希望得到线性输出时,应采用低输入阻抗的电路来完成放大工作。类似光电倍增管中常用的“电流-电压变换器”的电路形式。放大器的输入电阻相对光电池内阻,可以视为短路输出。经放大器放大后,有着良好的线性关系。

(2) 光电池作为开路输出电路。硒与硅两种光电池的最大开路电压输出也不超过  $0.6 \text{ V}$ ,而且其输出电压与光照间的线性关系很差。有时为获得较大的电压输出而不要求线性关系时,可采用高输入阻抗的前放,这时光电池相当于开路工作。第一级由两只低噪声高输入阻抗的场效应管  $VT_1$  和  $VT_2$  组成,其中把  $VT_2$  接成源极跟随器,在恒流态条件下工作,从而增加了电路的线性并提高了输入阻抗,可达  $10^9 \Omega$ 。

## 2.3 光电倍增管前置电路设计

光电倍增管(PMT)的主要工作过程如下:当光照射到光阴极时,光阴极向真空中激发出光电子。这些光电子按聚焦极电场进入倍增系统,并通过进一步的二次发射达到倍增放大,再把放大后的电子用阳极收集作为信号输出。

因为光电倍增管是加上高电压的电子管,输出高压时容易出问题,为了保护前置放大器,必须设计有保护

作用的电阻和晶体管,构成保护回路。

## 3 电路实验

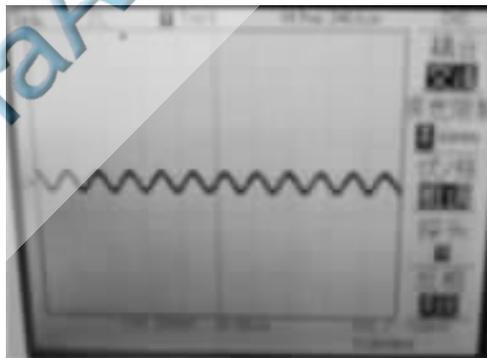
## 3.1 运算放大器带宽特性实验

在放大电路中,由于所用的集成运算放大器的性能不同,输出的结果也可能不同,因此选取两种不同的运放,并用电流放大型 I-V 转换电路测试。LM741 的增益带宽是  $1.5 \text{ MHz}$ ,LTC6240 的增益带宽是  $18 \text{ MHz}$ 。

图 1(a)与图 2(a)是电路在正常频率范围内( $160 \text{ Hz}$ )工作时的波形,幅度大约是  $1 \text{ V}$ 。输出幅度变化的临界点为  $700 \text{ Hz}$ ,超过了这个点幅度就开始减小。图 1(b)中输出频率的最大值约为  $11 \text{ kHz}$ ,但 LTC6240 的输出最大频率是  $37 \text{ kHz}$ ,如图 2(b)所示,这是因为在相同增益的情况下,LTC6240 的带宽比较高。



(a) 在正常频率范围内工作的波形图



(b) 频率达到上限时波形

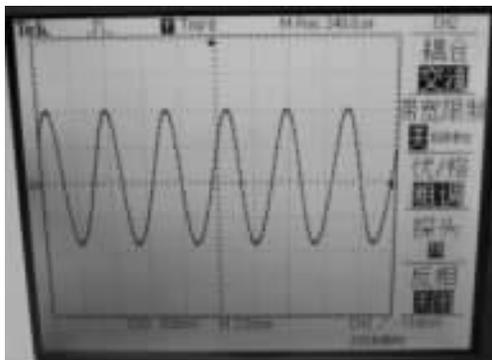
图 1 LM741 的带宽测试

## 3.2 电路供电特性实验

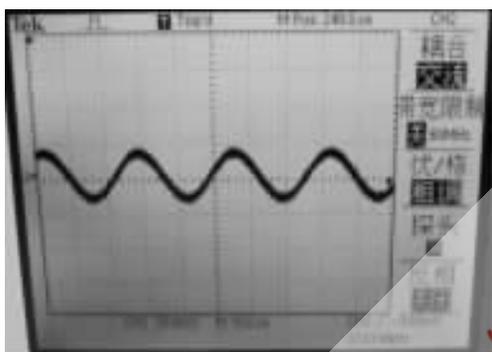
在处理微弱信号时,很多因素都可能影响实验结果。不仅探测器和运放会带来噪声,电源噪声也可能影响实验结果。本实验的供电电源是双路直流稳压电源,输出电压为  $5 \text{ V}$ ,输出噪声如图 3 所示,可以看出噪声虽不大但有些尖峰,幅度可达  $8 \text{ mV}$ 。为抑制电源噪声,运放电源电路设计了 RLC 低通滤波器。经过低通滤波器后的波形如图 4,此时幅度为  $4 \text{ mV}$ 。另外运放也有一定的噪声抗干扰能力,可达到  $105 \text{ dB}$ ,故电源噪声不会给实验结果造成太大影响。

## 3.3 信号屏蔽处理实验

本实验主要验证在影响电路输出的噪声中,输入端的



(a)在正常频率范围内工作的波形图



(b)频率达到上限时波形

图2 LTC6240的带宽测试



图3 电源的输出噪声

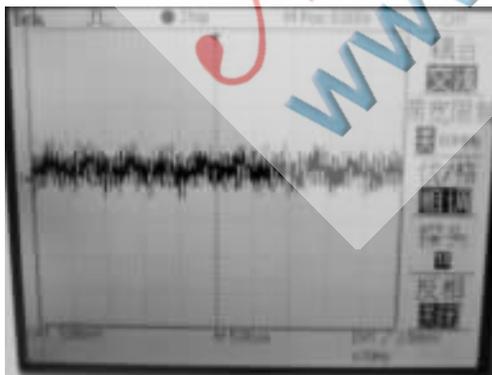
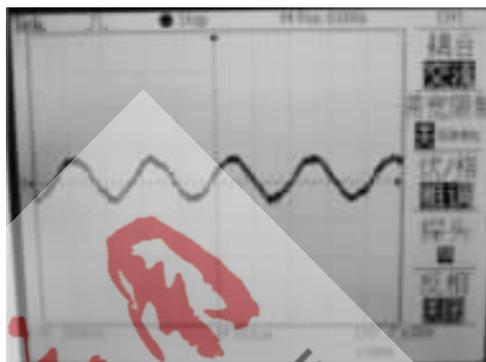


图4 电源滤波电路的输出波形

导线长度是否对输出有影响。为了使输出结果准确,PIN光电二极管置于自然光中。图5(a)为PIN直接接入前置放大电路的电路输出波形,图5(b)为PIN连接屏蔽导线后接

入前置放大电路的电路输出波形。对比两图可以看出虽然输出波形频率没有变,但图5(b)输出波形的幅度有所增大,在电路工作时可能会影响输出结果。所以在设计电路时,电子器件最好直接接入电路,以免引起不必要的误差。



(a)PIN直接接入输出波形



(b)屏蔽导线接入后输出波形

图5 电路前置放大电路输出波形图

通过实际测试表明,在设计光电探测器前置放大电路时,所设计的前置放大器要具备低噪声、高增益、低输出阻抗以及要具有良好的抗干扰性能。在设计时,还要充分考虑环境噪声、输入信号的频率、运算放大器的带宽等因素对前置放大电路的影响,只有这样才能使设计出的前置放大电路的性能达到最佳。

#### 参考文献

- [1] 雷玉堂.光电检测技术[M].北京:中国计量出版社,2009:2-7,5-10.
- [2] 明海,张国平,谢建平.光电技术[M].合肥:中国科技大学出版社,1998.
- [3] 江月松.光电技术与实验[M].北京:北京理工大学出版社,2000:4-5,16-25.
- [4] 缪家鼎,徐文娟,牟同升.光电技术[M].杭州:浙江大学出版社,2004:140-141.

(收稿日期:2011-04-20)

#### 作者简介:

高科,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:光电检测与信号处理。

孙晶华,男,1963年生,教授,博士,硕士研究生导师,主要研究方向:信号检测与处理。

《微型机与应用》2011年第30卷第18期