

# 激光测距与跟踪系统低噪声电子设计方法

付有余

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

**摘要:**各种电子元器件,光电转换器件存在着各种各样的噪声,如散弹噪声、 $1/f$ 噪声、热噪声在系统中还存在背景噪声等等。降低噪声,一直是提高系统作用距离的主要研制任务。本文以噪声的基本理论为基础,从工程的角度论证在激光测距与跟踪系统设计中主要的噪声源与低噪声设计方法。并以实例介绍了在工程中应用的前置放大器设计方法。

**关键词:**窄带滤光片;散弹噪声;热噪声

**中图分类号:**TN247 **文献标识码:**A

激光测距与跟踪系统中,在激光发射通量密度、目标有效反射面积、功率截获因子,大气衰减系数等技术指标确定后,影响作用距离的主要指标是最小接收回波功率。限制系统最小接收回波功率的主要因素是系统噪声。降低系统噪声是激光测距与角跟踪接收系统主要研究的问题。

激光接收系统如图1所示:

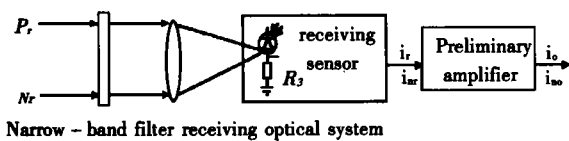


Fig. 1 Block diagram of receiving system

图中:  $P_r$  为激光回波功率;  $N_r$  为背景噪声功率;  $i_r$  为传感器输出光电流;  $i_{nr}$  为传感器输出噪声电流;  $i_o$  前置放大器输出电流;  $i_{no}$  为前置放大器输出噪声电流。  $R$  为放大器负载电阻。

## 1 主要噪声源

系统中存在着多种噪声源,主要有以下几种。

### a) 背景噪声

激光回波功率  $P_r$  与背景辐射功率  $N_r$  同时入射到光学接收系统。背景辐射光做为噪声将影响最小回波功率的探测。如果采用雪崩光电管做接

收传感器,它将成为主要噪声源。

### b) 散弹噪声

光伏型光电传感器,在输出电流中产生散弹噪声电流波动,是传感器固有噪声,此噪声是系统带宽,器件平均电流的函数。

### c) 热噪声

传感器内阻与负载电阻  $R_s$  串联,形成源电阻,并有热噪声产生。

### d) 放大器前级噪声

在光电探测系统中,首先对信号处理的是前置放大器,它的噪声对电路处理系统影响最大,也是弱信号处理主要研究的问题。

## 2 主要噪声源分析

### 2.1 背景噪声分析

系统在白天工作时,背景噪声主要是太阳辐射的光能和各种物体反射太阳能而辐射到接收系统的能量。通常在接收系统前端,采用窄带滤光片,对背景光加以限制,使激光同波段的光通过。大部分背景辐射被滤掉。但太阳中含有各种波长的光。与激光波长相近的太阳辐射,物体辐射同时进入接收光学系统。做为噪声影响系统的最小探测功率。工程中因太阳辐射比物体辐射要强很多,一般以太阳作为主要的背景辐射源。工程上常取太阳光谱辐照度  $1000\text{W}/\text{m}^2$  (太阳非直射情况)。

探测器所接收到的背景功率可用公式(1)计算:

$$P_b = H_1 \Delta \lambda A_r T_r \frac{\omega^2}{4} \quad (1)$$

其中:  $H_1$  — 太阳光谱发光强度, cd

$\Delta \lambda$  — 窄带滤光片光谱带宽,  $\mu\text{m}$

$A_r$  — 接收口径面积,  $\text{m}^2$

$T_r$  — 接收光学系统透过率

$\omega$  — 半视场角, rad

从公式(1)可以看出,减小窄带滤光片带宽,压缩激光接收光学系统视场角可以使背景辐射到传感器的背景功率降低,从而达到降低噪声的目的。

## 2.2 传感器噪声分析

目前固体激光测距机多采用 PIN 光电二极管或硅雪崩光电管器件作为接收传感器。PIN 光电二极管产生噪声电流用(2)式表示:

$$(I_{n1}^2)^{1/2} = (2eIB)^{1/2} \quad (2)$$

式中:  $I_{n1}$  — 噪声电流, A

$B$  — 系统噪声带宽, Hz

$I$  — 器件总平均电流(信号电流,背景电流与暗电流之和), A

$e$  — 电子电荷

雪崩管的雪崩过程需加高反压工作,倍增因子  $M$  很大,倍增过程有噪声产生,可用(3)式表示:

$$(I_{n2}^2)^{1/2} = M(2eIBM)^{1/2} \quad (3)$$

式中:  $I_{n2}$  — 雪崩管噪声电流, A

$M$  — 倍增因子

探测器产生噪声均在器件手册中给出,可以作为工程选用依据。

## 2.3 源电阻噪声分析

光电传感器负载阻抗与探测器内阻串联,构成探测器源电阻。以热噪声形式体现在电路中,由于它在电路的最前端,产生的噪声将被前置放大器逐级放大,是噪声设计的很主要项,其表达式如公式(4)所示:

$$(I_{n3}^2)^{1/2} = \left(\frac{4KTB}{R_s}\right)^{1/2} \quad (4)$$

式中:  $I_{n3}$  — 源电阻产生噪声

$K$  — 波尔兹曼常数

$T$  — 绝对温度

$R_s$  — 源电阻

## 2.4 前置放大器噪声分析

前置放大器噪声性能主要取决于放大器的第一级的噪声系数。国际上规定放大器总的输出噪声功率谱密度  $S_o(f)$  与仅有源电阻  $R_s$  产生在输出端噪声功率谱密度  $S_{i0}(f)$  之比为放大器的噪声系数。即:

$$F = \frac{S_o(f)}{S_{i0}(f)} \quad (5)$$

通常采用低噪声宽带放大器组件作为放大器的第一级,厂家给出的噪声系数用分贝表示,即  $F_{dB} = 10 \log F$ 。根据网络理论,由传感器、前置放大器组成的系统可由图2表示:

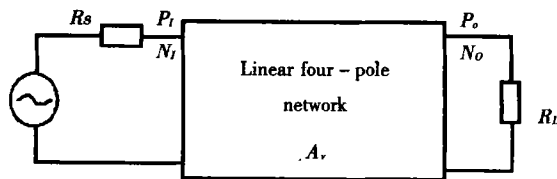


Fig. 2 Block diagram of four-pole network

$R_s$  是源电阻,  $E_s$  光信号电动势,  $P_i$  加到放大器输入信号功率,  $N_i$  是加到放大器输入端的噪声功率,  $P_o$  是输出端信号功率,  $N_o$  是输出端噪声功率。包括  $R_s$  产生的热噪声和网络内部噪声。

噪声系数也可定义为:

$$F = \frac{P_i/N_i}{P_o/N_o}$$

当放大器无内部噪声时,  $F_o = 1, F_{dB} = 0$ 。当放大器内部产生噪声时  $F > 1$ , 所以噪声系数是衡量一个放大器噪声性能优劣的指标。在工程中常需知道放大器产生噪声的实际量,可用下列方法推导。

令:

$$N_{i0} = A_v \cdot N_i$$

$A_v$  为放大器闭环增益,  $N_{i0}$  源电阻产生噪声经放大器无噪声放大后输出。

$$P_o = A_v \cdot P_i$$

$P_o$  为无噪声输入放大器输出。

$$N_o = N_{i0} + N_n$$

$N_n$  放大器内部噪声输出。

$$F = \frac{P_i N_o}{P_o N_i} = \frac{N_o}{N_{i0}} = \frac{N_{i0} + N_n}{N_{i0}} = 1 + \frac{N_n}{N_{i0}}$$

$$N_n = (F - 1)N_{i0}$$

通过以上推导,当知道源电阻噪声,即可知道放大器噪声。

### 3 激光测距与跟踪低噪声电子设计方法

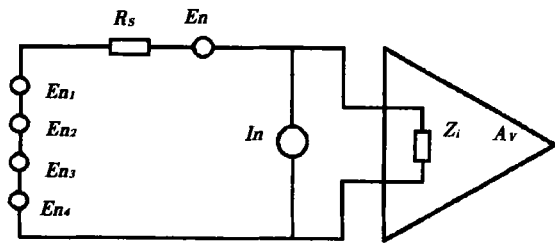


Fig. 3 Equivalent noise block diagram of receiving system

前面讨论了在系统中存在的几种主要噪声源,背景噪声、探测器噪声、源电阻噪声、放大器噪声。在噪声分析理论中认为不同元件产生噪声可以近似认为是不相关的。即可直接用均方值相加方法等效。系统噪声等效电路可用图 3 表示:

其中:  $E_{n1}$  为背景噪声,  $E_{n2}$  传感器噪声,  $E_{n3}$  源电阻噪声,  $E_{n4}$  放大器噪声,  $R_s$  源电阻,  $Z_i$  放大器输入阻抗。在激光测距与跟踪系统中,在考虑以上噪声源后,主要是前置放大器本身低噪声的设计。下面通过工程实际应用的前置放大器介绍其设计方法。前置放大器如图 4 所示。

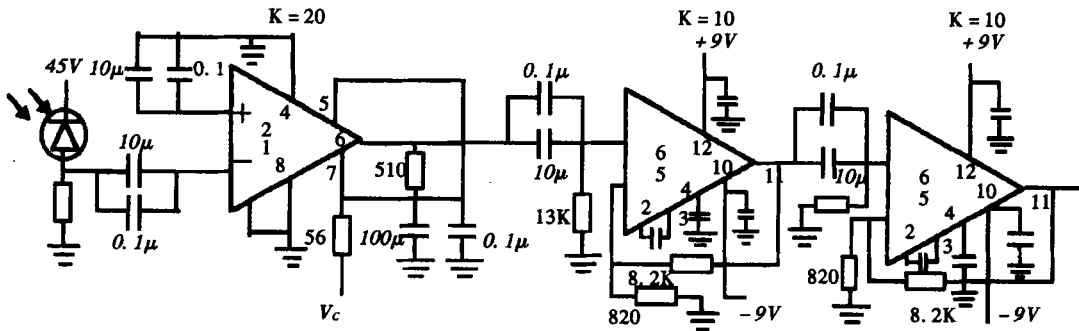


Fig. 4 Schematic diagram of practical receiving system

#### 3.1 系统带宽

系统带宽直接影响噪声大小,是系统主要设计指标。带宽决定于激光发射脉冲半宽。根据公式(6)可确定系统带宽:

$$B \cdot \tau = 0.35 \sim 0.45 \quad (6)$$

式中:  $\tau$  为激光发射脉冲半宽。当考虑噪声时应将系数取小,一般取 0.35 即可。即系统带宽:

$$B = 0.35\tau^{-1}$$

#### 3.2 最佳源电阻

根据最佳接收理论,当  $R_s = E_n/I_n$  时系统噪声最小,其中:

$$(E_n^2)^{1/2} = (E_{n1}^2 + E_{n2}^2 + E_{n3}^2 + E_{n4}^2)^{1/2}$$

$$I_n = \frac{E_n}{R_s // Z_i}$$

#### 3.3 前置放大器噪声系数(F)

在  $n$  级前置放大器中,若各级噪声系数为  $N_{F1} N_{F2} \dots N_{Fn}$ , 各级的功率增益为  $K_1 K_2 \dots K_n$ , 则放大器的噪声系数为:

$$N_F = N_{F1} + \frac{N_{F2} - 1}{K_1} + \dots + \frac{N_{Fn} - 1}{K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n} \quad (7)$$

由(7)式可知,第一级的噪声系数  $N_{F1}$  增益  $K_1$  对总的噪声系数影响最大,为此在研制前置放大器时,应特别注意第一级所用的噪声系数及增益。否则第二级的噪声将不能忽略。一般认为当  $K_1 > 10$  时,后面各级的噪声可以忽略。

### 4 设计时应注意问题

在以上的讨论中忽略了某些噪声源,如地面物体背景辐射,光伏型光电探测器热噪声,  $1/f$  噪声等。在工程中是可以这样近似的。如果选用硅雪崩光电管做接收元件,最主要的噪声源是背景辐射,所以应注意窄带滤光片光谱带宽的影响。若采用 PIN 光电管,则由于管子没有内增益,前置放大器增益必须做得很高,放大器噪声将成为

主要噪声源。

**参考文献:**

- [1] 张鸣平,张敬贤,李玉田编著. 夜视系统[M], 北京:北京理工大学出版社,1993.
- [2] 高雅允,高岳编著. 光电检测技术[M]. 北京:工业出版社, 1995.
- [3] [美]莫特钦巴切尔 C D,菲特钦 F C 合著. 低噪声电子设计[M]. 北京:国防工业出版社,1977.
- [4] 张彤,刘芳元编著. 光电变换技术[M]. 北京:兵器工业部教材编审室,1985.

**Low noise electronic design method for laser range finding and tracking system**

FU You-yu

*(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)*

**Abstract:** There are all kinds of noises in electronic component and device, photo-translating device, e. g. shot noise,  $1/f$  noise, thermal noise and background noise in system etc. Noise reducing is all along the main task of increasing the active distance of system. In this paper, based on the essential theory of noise, the primary noise source and the design method of low noise for laser range finding and tracking system are demonstrated in engineering field. An example of design procedures for the head amplifier applied in engineering is introduced.

**Key words:** Narrow-band filter; shot noise; thermal noise

**作者简介:** 付有余(1951—),男,吉林省长春市人。1989年毕业于长春光机学院夜大学,工程师,现从事高频弱信号处理方面的研究工作。