

文章编号 1004-924X(2001)01-0077-03

# 光纤数字通信探测电路的最佳参数分析

梁长垠

(深圳职业技术学院电子工程系, 广东 深圳 518055)

摘要: 光纤通信技术在许多领域有广泛应用。本文介绍光纤通信系统的组成和原理, 对光纤通信的光电信号、探测电路的噪声、信噪比、最小探测能力和幅度鉴别器的阈值等参数进行了系统分析, 并对相关参数提供了可靠的设计依据。论文给出的实验结果证明, 本文对激光单脉冲探测等应用技术有实用价值。

关键词: 光纤数字通信; 探测电路; 噪声; 阈值; 参数分析

中图分类号: TN 929.1 文献标识码: A

## 1 引言

激光技术和光纤技术的飞速发展, 使之在光纤通信领域倍受重视, 并得到广泛应用。光纤数字通信技术是以激光为媒介, 以激光单脉冲信号探测为基础, 实现信号传输、探测和处理等。因此, 深入研究激光单脉冲信号探测技术有着十分重要的现实意义。本文在给定光纤系统和激光功率的情况下, 着重分析光电探测电路的相关参数及总体综合, 为激光脉冲信号探测电路设计提供可靠的依据。

## 2 光电信号与噪声

### 2.1 光电信号

图 1 为光电探测系统的原理示意图。

图 1 中, 激光脉冲信号通过光纤系统后入射到探测器光敏面上的辐通量为  $\Phi_s$ , 探测器采用 PN 光电二极管, 其输出的光电流脉冲信号经变换电路和放大器后, 输入到幅度鉴别器的脉冲信号的幅值为

$$U_{sm} = \Phi_s S_l GA_v \quad (1)$$

式中,  $S_l$  为探测器光电流灵敏度(响应度),  $S_l = \eta q/h\nu$   $\eta \approx 1.24$ , 单位为  $A/W$ ;  $G$  为变换电路的变换系数, 单位为  $V/A$ ;  $A_v$  为放大器的电压放大倍数。由公式(1)可以看出: 在给定激光器与光纤

系统的情况下, 脉冲信号的幅值  $U_{sm}$  仅与探测器灵敏度  $S_l$ 、探测电路  $G$  和  $A_v$  等参数有关, 这是设计探测电路的依据之一。

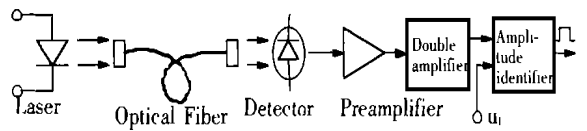


Fig 1 Schematic diagram of photoelectric detection system

### 2.2 噪声

光电探测电路的噪声主要由光电二极管的散粒噪声、偏置电阻  $R_L$  的热噪声和放大器的噪声等组成。探测器散粒噪声的均方值  $I_{nsh}^2$  和偏置电阻  $R_L$  热噪声电压的均方值  $E_{nt}^2$ , 可通过源电阻  $R_s$  热噪声电压均方值  $E_{ns}^2$  来等效(见图 2)。

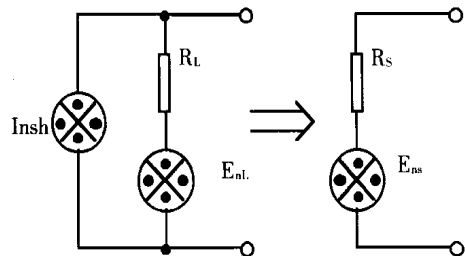


Fig 2 Noise equivalent circuit of detector

$$R_s = R_L (1 + qI_a R_L / 2kT) \quad (2)$$

式中,  $q$  为电荷量;  $k$  为波尔兹曼常数;  $T$  为绝对温度。

前置放大器的噪声等效到输入端如图 3 所示。图 3 中  $E_n$  为等效噪声电压,  $I_n$  为等效噪声电流。

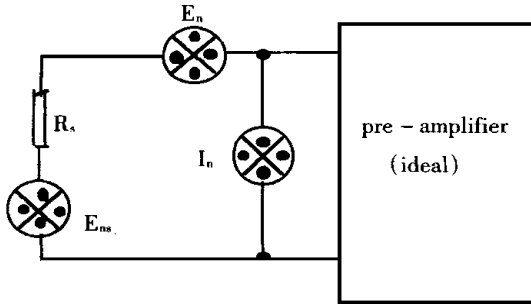


Fig 3 Noise equivalent circuit of amplifier

按照放大器噪声系数最小原则, 当满足源电阻噪声匹配条件

$$R_s = R_{Sopt} = E_n / I_n \quad (3)$$

时, 则前置放大器噪声系数为最小, 即

$$F_{min} = 1 + E_n I_n / 2kT \Delta f \quad (4)$$

式(3)和式(4)是低噪声设计选取前置放大器第一级管种的原则和依据。

### 3 最佳参数分析

#### 3.1 放大器输出信噪比

放大器输出的信号和噪声同时输入到幅度鉴别器, 当噪声电压瞬时值  $u_n$  超过幅度鉴别阈值电平  $U_i$  时, 将会产生虚假报警。在每秒内虚假报警次数的平均值称为平均虚假报警速率(简称平均虚警率)  $\overline{FAR}$  (factitious rate)。当幅度鉴别器的输入阻抗为电阻性时, 这一速率可由赖斯公式(Race)得到

$$\overline{FAR} = \frac{1}{2\sqrt{3}\tau} = \exp(-U_i^2 / 2U_n^2) \quad (5)$$

当信号脉冲出现时, 其被探测概率  $P_d$  为

$$P_d = P(u_s + u_n > U_i) \\ P(u_m + u_n > U_t) \\ P(u_n > U_i - U_m) \quad (6)$$

$P_d$  可用概率积分近似公式求得

$$P_d = \frac{2}{\sqrt{2\pi}U_n} \int_{U_i - U_m}^{\infty} u_n \exp(-u_n^2 / 2U_n^2) du_n \\ \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{U_m - U_i}{\sqrt{2}U_n} \right) \right] \quad (7)$$

式中  $U_n$  为噪声电压的均方根值,  $U_m$  为信号脉冲幅值, 符号  $\operatorname{erf}$  表示正态概率积分。由(5)和(7)式便可求得  $U_i / U_n$  比值和  $U_m / U_n$  比值。为了设计方便, 文中给出了如图 4 所示的探测概率图表。由给定的概率  $P_d$  和  $\tau \cdot \overline{FAR}$  之积, 通过查表便得出  $U_m / U_n$  比值。其中  $\tau$  为激光脉冲宽度。

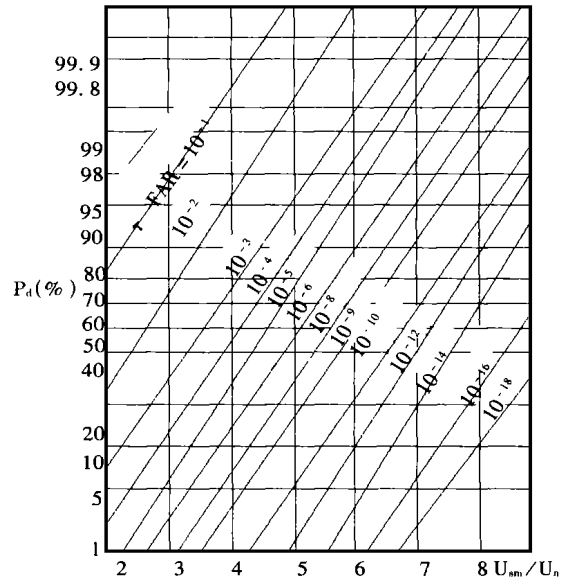


Fig 4 Probability of detecting pulse signal

#### 3.2 最小探测能力

当满足噪声匹配条件时, 由式(4)可以得到放大器的最小噪声系数  $F_{min}$ ; 在给定探测概率  $P_d$ 、激光脉冲宽度  $\tau$  与平均虚警率  $\overline{FAR}$  乘积的情况下, 由图 4 便可得到放大器应满足

$$F = \frac{S_i / N_i}{S_o / N_o} = \frac{U_{si}^2 / U_{ni}^2}{U_{so}^2 / U_{no}^2} \quad (8)$$

的输出电压信噪比值  $U_{so} / U_{no} = U_m / U_n$ 。由放大器的噪声系数定义可得

式中, 放大器的输入信号  $U_{si} = S_i \Phi_s G$ , 放大器输入噪声  $U_{ni}^2 = 4kTR_s \Delta f$ , 令  $U_{so}^2 / U_{no}^2 = m^2$  为最佳参数确定值, 则由式(8)得到探测电路最小能探测的激光辐功率(通量)  $\Phi_{smmin}$  为

$$\Phi_{smmin} = \sqrt{4kTR_s \Delta f F_{min} m / S_i G} \quad (9)$$

式(9)是综合分析激光探测电路的基本依据。由式(9)可知, 若想提高探测电路的探测能力, 即减小  $\Phi_{smmin}$  值, 则必须: (1) 减小探测电路的噪声; (2) 实现噪声匹配, 使  $F_{min}$  最小; (3) 提高探测电路的灵敏度, 即增大  $S_i G$  值。在相同的激光发射功率和光纤系统条件下, 减小  $\Phi_{smmin}$  值提高探测能力, 可以增加激光的传输距离; 反之, 在激光传输距离相同的条件下, 减小  $\Phi_{smmin}$  值, 可以减小激光的发射

功率。所以, 研究提高探测电路的探测能力同研究提高激光器的发射功率和减小光纤系统的损失有着同等意义。

### 3.3 阈值电平

由式(5)得到幅度鉴别器阈值电平的表达式

$$U_t = \sqrt{-2 \ln(2 \sqrt{3 \tau \cdot \overline{FAR}})} U_n \quad (10)$$

式中  $\tau$  为已知的激光脉冲宽度,  $\overline{FAR}$  为给定指标时的确定值, 放大器输出噪声电压的均方值  $U_n$  可由实验测试。

## 4 结 论

按上述理论分析, 对 GaAs 激光光纤通信探

测电路进行了综合设计, 明显的降低了电路的噪声系数, 提高了电路的探测能力和探测概率, 减小误码率。实验测试结果如下:

(1) 噪声系数  $F: < 2\text{dB}$ 。

(2) 探测能力: 与原设计系统相比较提高了 12%。

(3) 误码率:  $5 \times 10^{-4}$ 。

实践证明, 本文的理论分析是正确的, 它对以激光单脉冲探测为基础的应用技术, 如激光测距、激光模拟训练器等激光脉冲探测系统均有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 张彤, 熊桂兰 飞行时间、速度探测最佳参数分析[J]. 兵工学报, 1992, (2): 55- 60
- [2] 曾庆勇 微弱信号检测[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1986
- [3] Radio corporation of America Electro-Optics Handbook[M]. NJ07029: RCA Commercial Engineering Harrison, 1974

## Optimal parameter analysis of optical fiber digital communication detection circuit

L IANG Chang-yin

(Department of Electronic Engineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** Optical fiber communication technique has wide application. This paper introduces the structure and principle of optical fiber communication system, makes the systematic analysis about optical fiber communication's opto-electronic signal, noise of the detection circuit,  $S/N$ , minimum-detection ability and amplitude discriminator's threshold value. The reliable base of design for coherent parameter is provided. Experimental results show that this paper has important value for single laser pulse detection system.

**Key words:** optical fiber; digital communication; detection circuit; noise threshold value; parameter analysis

作者简介: 梁长垠(1964—), 男, 河南西华人。1990年毕业于长春光机学院电子工程系, 并获得光电子学硕士学位。现从事光电技术、智能电子技术等方向教学和科研工作。