

采用制冷型雪崩管激光测距接收电路设计

马俊岭,樊宪唐,阎得科,赵现伟

(中国航空工业洛阳电光设备研究所,河南 洛阳 471023)

摘要: 为进一步提高机载光电探测设备的激光测距能力,设计了基于制冷型雪崩管探测器激光接收电路。根据制冷型雪崩管探测器的特性,控制输出最佳的 TEC 制冷功率,降低探测器工作温度,使探测器稳定工作在最佳状态,从而减小探测器噪声电压,提高系统的探测灵敏度。实验结果表明:入射光功率在 $80 \mu\text{W}$ 加 45.6 dB 衰减时,探测器制冷前后对比,其探测虚警率从 8.57% 下降到 0.49% 。该探测电路应用于新型机载光电探测系统中,将极大提高其远程测距能力。

关键词: 雪崩光电二极管; 噪声等效功率; 信噪比; 虚警率; 热电制冷

中图分类号: TN247 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)08-2041-04

Design of laser range finding receiver circuit based on cooling-APD

Ma Junling, Fan Xiantang, Yan Deke, Zhao Xianwei

(Luoyang Institute of Electro-optical Equipment, Aviation Industry Corporation of China, Luoyang 471023, China)

Abstract: In order to improve laser range ability of the pulse laser ranging finder system with the photoelectric detecting device in navigation system, a laser echo wave receiver circuit was designed based on cooling-APD (avalanche photodiode detector). According to the characteristics of cooling-APD, the most appropriate TEC (thermo electric cooler) cooling power was output to reduce temperature on APD, thus the APD ran in best condition with not only lower noise voltage but also higher detecting sensibility. Experiments show that when incident light power is $80 \mu\text{W}$ with attenuation of 45.6 dB , false alarm rate declines from 8.57% to 0.49% after cooling of APD. So applying the circuit into new airborne photoelectric detecting device, it will promote sensitivity of the receiver system, and at the same time, it will help make a great improvement on the long-distance laser range ability, which can meet the new airborne photoelectric detection system of remote distance military requirements.

Key words: avalanche photodiode detector; noise equivalent power; signal to ratio; false alarm rate; thermo electric cooler

0 引言

在现代空战中,由于飞机的隐身特性要求,降低了本机光电探测系统的光窗透过率和敌机的目标反

射率,使得机载光电探测设备的测距能力大幅下降。而新型军事需求对机载光电探测系统,尤其是对激光测距系统的远程测距能力要求越来越高。

在机载远程激光测距系统中,由于受体积和质

收稿日期:2012-12-11; 修订日期:2013-01-05

基金项目:国防预研项目

作者简介:马俊岭(1965-),男,高级工程师,硕士,主要从事激光测距、光电对抗方面的研究。Email: majl@163.com

量的限制,为了解决该问题,通过提高接收灵敏度而提高测距距离是最经济有效的措施。采用基于制冷型雪崩管探测器的激光接收放大技术能够有效降低系统噪声,提高接收系统的灵敏度,进而提高光电探测设备的测距能力,可满足新型机载光电探测系统远程测距的军事需求。

文中分析了温度与雪崩管探测器等效噪声功率以及温度与信噪比的关系;设计了温度——高压跟随控制电路、最佳制冷功率输出控制电路^[1-2]、高灵敏度接收放大电路、噪声反馈等电路。通过电路的系统联试、性能测试,获得了较好的实验数据,实现了激光接收灵敏度新的突破。

1 理论分析^[3-8]

将雪崩管、前置放大器视为一体考虑,其输出端的噪声等效功率和信噪比是激光测距系统的两个重要特性参数。当温度变化时,噪声等效功率和信噪比均发生不同程度的改变,为使接收系统工作在最佳探测状态,分析其变化关系显得尤为重要。

1.1 温度与噪声等效功率的关系

将雪崩管与前置放大器视为一体,其噪声模型如图 1 所示。光接收单元总噪声源包括四部分,分别是雪崩管噪声、跨阻热噪声、前置放大器等效电流噪

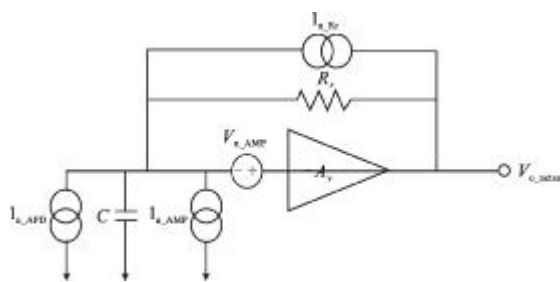


图 1 光接收单元噪声模型图

Fig.1 Noise model of optical receiver unit

声、前置放大器等效电压噪声。总噪声表示为^[5]:

$$i_{n-receiver}^2 = i_{n-APD}^2 + 2qi_{AMP} + (V_{n-AMP}\omega(T)C)2 + \frac{4kT}{R_f} \quad (1)$$

式中: i_{n-APD} 为雪崩管噪声电流; $\omega(T)$ 为前置放大器的截止带宽; C 为总等效输入电容; R_f 为前置放大器的跨阻; i_{AMP} 为前置放大器等效输入噪声电流; V_{n-AMP} 为放大器等效输入噪声电压。雪崩管噪声电流进一步用麦金太尔(McIntyre)等式表示^[5]:

$$i_{n-APD} = \sqrt{2q(I_{DS} + (I_{DB} + I_{pd})M^2F)} \quad (2)$$

$$I_{pd} = PR_{\lambda(T)} \quad (3)$$

式中: I_{DS} 为面暗电流; I_{DB} 为体暗电流; I_{pd} 为光电流; M 为倍增因子; F 为过剩噪声因子; q 为电子电荷; P 为入射光功率; $R_{\lambda(T)}$ 为单位倍增因子条件下光谱响应度。雪崩管的面暗电流 I_{DS} 、体暗电流 I_{DB} 进一步用阿伦纽斯(Arrhenius)公式表示^[5]:

$$I(T) = I_{T_{ref}} e^{E_a \left(\frac{q}{k} \right) \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right)} \quad (4)$$

式中: E_a 为电子势能; T_{ref} 为参考温度; $I_{T_{ref}}$ 为参考温度所对应的噪声电流; T 为温度。雪崩倍增因子 M 可表示为:

$$M = \frac{K}{(V_{bd(T)} - V_{op})^n} \quad (5)$$

式中: $V_{bd(T)}$ 为雪崩击穿电压; V_{op} 为雪崩偏压; T 为温度。

由公式(1)~(5)可以看出,当温度变化时, $\omega(T)$ 、光谱响应度 $R_{\lambda(T)}$ 、面暗电流 I_{DS} 、体暗电流 I_{DB} 、雪崩击穿电压 $V_{bd(T)}$ 均随之而变,这些参量中,只有截止带宽随温度的升高而下降,其余参量均随温度的升高而升高,详细的关系描述见参考文献[5]。在最佳雪崩倍增因子条件下,且雪崩倍增因子不变的情况下(温度改变引起雪崩倍增因子的变化可通过改变雪崩偏压来补偿),光接收单元总噪声 $i_{n-receiver}$ 随温度的降低而减小。可见,温度越低,光接收单元的探测性能越好。

1.2 温度与信噪比的关系

由光接收单元总噪声不难推出信噪比公式:

$$SNR = \frac{MR_{\lambda(T)}P_{opt}}{\sqrt{i_{n-receiver}^2 B_w}} \quad (6)$$

式中: B_w 为光接收单元系统带宽。研究表明,在入射光功率大于 10^{-10} W 量级的时候,信噪比随温度的降低而减小^[5]。

根据系统参数可确定系统的阈值信噪比,在阈值信噪比确定的情况下,光接收单元输出端的噪声等效功率越小,则系统的探测性能越好;输出端光电转化信号的信噪比越大,则信号越易于被系统检测。结合上述光接收单元总噪声、信噪比随温度变化的关系,可见,相对于提高探测系统的性能而言,降低温度对噪声等效功率和信噪比的影响是一对矛盾体,但是,信噪比受温度变化的影响没有噪声等效功率受温度改变的影响明显。所以,选择合适的制冷量对提高激光测距系统的性能是有利的。

2 实验验证

将光接收单元装到接收放大电路板上,通过连

接器与制冷控制及供电电路板相连,将制冷型探测单元接入模拟辐射台,接收放大板的输出信号通过同轴电缆接入信号处理板,信号处理板通过 DSP 仿真器、RS422 转换头接入计算机,最后用电源给系统提供 28 V 供电,其交联关系如图 2 所示。

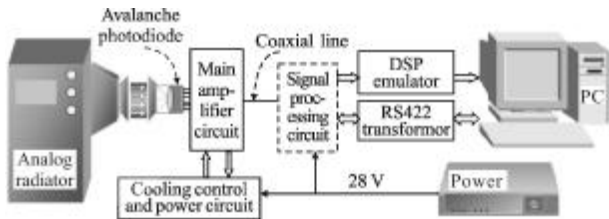


图 2 系统联试示意图
Fig.2 Test of system

2.1 模拟辐射器内触发模式下测试

按以下参数设置激光模拟辐射台,信号频率“30 kHz”、触发方式“内触发”、输出光功率“100 μW+47.13 dB 衰减量”。在探测器不制冷的情况下,测试回波信号,如图 3 所示。给探测器提供不同的制冷量,其波形图如图 4 所示。

对比图 3 和图 4,制冷功率在 0.27 W 以下时,信号的本底噪声要小于不制冷条件下的;当制冷功率继续增大的时候,信号的本底噪声随之增加,且信号间出现较多不良的毛刺。



图 3 不制冷时回波波形图
Fig.3 Echo waveform without cooling

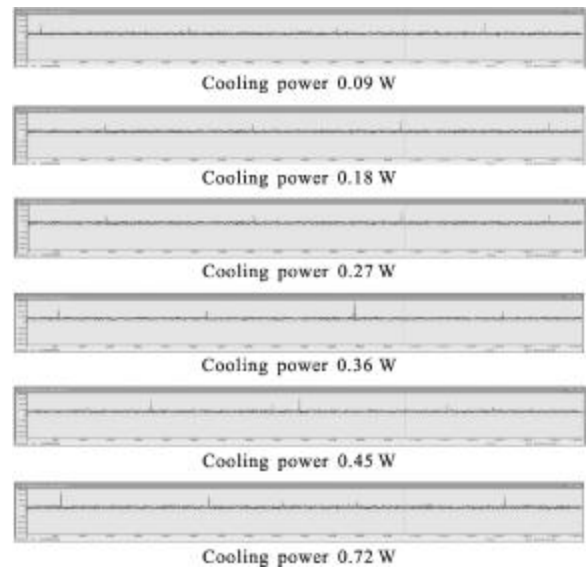


图 4 不同制冷功率条件下,回波波形图

Fig.4 Echo waveform with different cooling power

这种内触发模式测试,实验结果虽然直观,但是在测试结果变化不大的情况下,观察其差异性是比较困难的。为此,选用外触发模式模拟测距,通过观察返回距离值的误码率来体现探测器制冷后的优越性。

2.2 模拟辐射器外触发模式下测试

按以下参数设置激光模拟辐射台,信号频率“1 Hz”、触发方式“外触发”、延时“30 μs”、输出功率“80 μW+45.63 dB 衰减量”。探测器不制冷的情况下,测试返回距离值,结果如图 5 所示;制冷功率为 0.27 W 的条件下,测试结果如图 6 所示。

从图 5 中可以看出,内触发模式下模拟测距,入

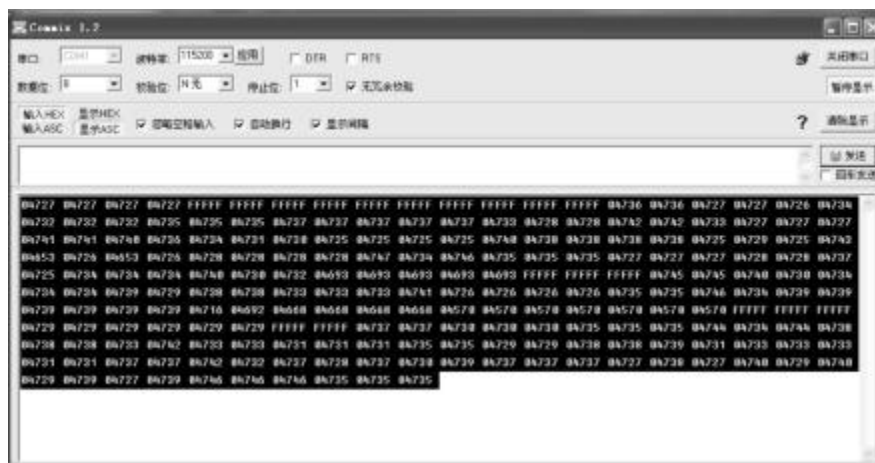


图 5 不制冷时返回距离值信息图
Fig.5 Distance obtained without cooling

射光功率为 $80 \mu\text{W}+45.6 \text{ dB}$ 衰减量时,在探测器不制冷的条件下,210 个距离返回值中有 18 个乱数;在制冷的条件下,205 个距离值中仅有 1 个乱数,探测

器制冷前后对比,其探测虚警率从 8.57% 下降到 0.49%。可见选用合适的制冷量给探测器制冷,有利于探测系统测距性能的提高。

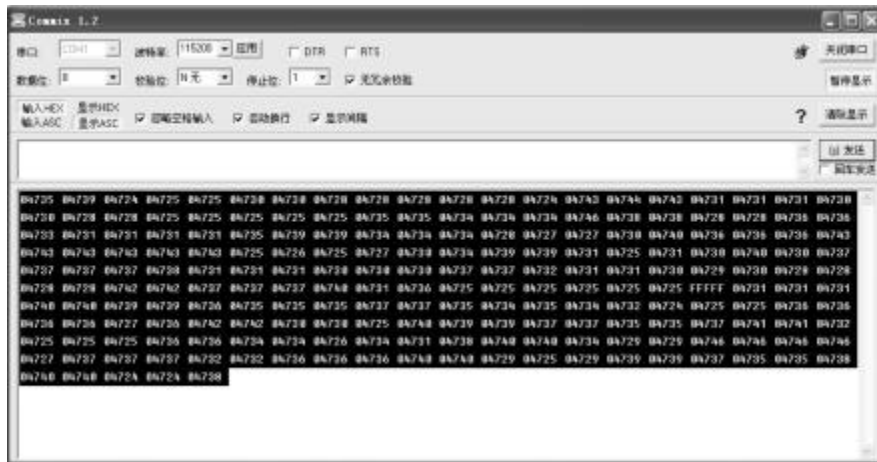


图 6 制冷功率 0.27 W 时返回距离值信息图

Fig.6 Distance obtained with cooling power at 0.27 W

3 结论

文中阐述了光接收单元的噪声温度特性,设计了激光测距接收电路。通过系统联试、性能测试,给出了实验结果,印证了理论分析。可以得出,选择合适的制冷功率给探测器降温,有利于降低其噪声,进而提高系统的探测灵敏度,增强光电探测设备的测距能力。在实验过程中,当制冷量过大时,输出信号的本底噪声增加且信号波形上的不良毛刺增多,这是由探测器的散热不充分引起的,在后续工作中,建议应充分考虑探测器的散热、绝热处理。

参考文献:

[1] Huang Yuewei, Cui Ruizhen, Gong Mali, et al. TEC based thermostat system for high-power semiconductor laser [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(2): 143-147. (in

Chinese)

- [2] Xu Shen glong, He Dan, Cheng Kaifang. The saturation current in thermoelectric cooling [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 1997, 26(1): 51-53. (in Chinese)
- [3] Feng Long-ling. Method of simulated testing of pulse laser rangefinder[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(2): 127-129. (in Chinese)
- [4] Kou Songfeng, Chen Jian, He Weiji. A laser ranging method based on APD arrays[C]//SPIE, 2008, 6621: 1-10.
- [5] Frederic Laforce. Low noise optical receiver using Si APD [C]//SPIE, 2009, 7212: 523-534.
- [6] A User Guide -understanding avalanche photodiode for improving system performance [EB/OL]. http://www.excelitas.com/downloads/app_apd_a_user_guide.pdf. 2011
- [7] Prokes. Influence of temperature variation on optical receiver sensitivity and its compensation[J]. *Radio Engineering*, 2007, 16(3): 13-18.
- [8] Chen Dianren, Li Gu iying, Jiang Huilin. Study on a temperature compensation method of APD photo-electronic detector[C]//SPIE, 1998, 3553: 120-122.