

引用格式: WANG Wei, ZHAO Qihang, YANG Sen, et al. Simulation Test Research of Constant False Alarm Laser Ranging Circuit Based on Nonlinear Dependent Source APD Model[J]. Acta Photonica Sinica, 2023, 52(4):0425001

王巍, 赵启航, 杨森, 等. 基于非线性相关源雪崩管模型的恒虚警激光测距电路仿真试验研究[J]. 光子学报, 2023, 52(4): 0425001

# 基于非线性相关源雪崩管模型的恒虚警激光测距电路仿真试验研究

王巍<sup>1,2</sup>, 赵启航<sup>1,2</sup>, 杨森<sup>1,2</sup>, 张珂<sup>1,2</sup>, 柳兴博<sup>1,2</sup>, 刘彤宇<sup>3</sup>

(1 清华大学 精密仪器系 激光与光子技术研究所, 北京 100084)

(2 清华大学 精密仪器系 精密测量技术与仪器国家重点实验室, 北京 100084)

(3 中国电子科技集团公司第五十三研究所 光电信息控制与安全技术重点实验室, 天津 300308)

**摘要:** 依据雪崩光电二极管(APD)产品数据手册中雪崩增益、噪声(温度)与偏压的相关关系通过曲线拟合建立了APD输入、输出和偏压控制的函数模型,并基于非线性相关源控件构建了APD的电路仿真模型。设计了具有恒虚警APD偏压自动控制以及防近程散射时间增益控制的测距电路,引入自动增益控制信号,完成了恒虚警激光测距电路的全闭环动态仿真试验研究。仿真结果表明,恒虚警测距电路可根据虚警率设计值自动捕捉APD最佳雪崩增益工作偏压,虚警率每百毫秒60~70次时最小可探测光功率达到25 nW,与实际值接近,验证了恒虚警全闭环仿真模型的可行性。

**关键词:** 雪崩光电二极管;非线性相关源;恒虚警激光测距;全闭环仿真;近程误测

中图分类号: TN215

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20235204.0425001

## 0 引言

雪崩光电二极管(Avalanche Photon Diode, APD)凭借其体积小、速度快、灵敏度高优点,从一众光电检测器件中脱颖而出,被广泛应用于脉冲式激光测距接收领域<sup>[1-3]</sup>。在工程实践和学术研究领域中,对APD器件进行合理建模,并利用该模型对恒虚警激光测距接收电路进行全闭环仿真模拟,可以极大地提高系统设计效率,降低研发成本,对激光测距接收系统性能评估具有重要意义。

目前,国内外许多机构建立了多种APD电路仿真模型<sup>[4-13]</sup>。这些模型多以载流子速率方程为基础,经过适当合理近似,通过数学模拟的方法把APD用一个完全由电子元件组成的三端电路来等效。然而,这些模型的建立是基于器件内部参数和材料属性,涉及知识产权和商业机密等原因,通常厂商不予提供。因此,这些模型适用于器件的研发过程,不适用于恒虚警测距电路的全闭环动态仿真模拟。市场上APD器件厂商往往仅对器件的外部特性进行公开,进而导致现有模型难以在实际科研工作中有效使用。因此,如何利用有限的器件参数探索新的建模方法,针对外部特性参数进行数学建模及电路封装,建立APD电路仿真模型,实现恒虚警激光测距接收电路的全闭环动态仿真模拟,是仍待解决的问题。

文中针对上述问题,建立了一种基于非线性相关源的雪崩管模型,并利用此模型开展了恒虚警激光测距电路的全闭环仿真试验。首先依据雪崩增益、噪声(温度)与偏压的相关关系通过曲线拟合建立了APD的输入、输出和偏压控制的指数函数模型;然后在此数学模型的基础上,使用Multisim14.2软件中的非线性相关源控件进行电路实现;最后使用该APD电路仿真模型完成了恒虚警激光测距电路的全闭环电路搭建,并针对系统探测灵敏度、虚警率等指标展开了仿真研究。

基金项目: 军委科技委基金(No. 2022JCJQLB055XXX)

第一作者: 王巍, wang-wei@mail.tsinghua.edu.cn

通讯作者: 赵启航, zqh19@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2022-09-27; 录用日期: 2022-12-15

<http://www.photon.ac.cn>

# 1 仿真建模

## 1.1 基于非线性相关源的雪崩管电路仿真模型

本文以 EG&G Canada 公司旗下产品 C30950E 型雪崩管组件为例进行建模,建模思路为:立足于器件端口的电路信号参数特性,参考 C30950E 数据手册和相关数据,建立 APD 组件的输入输出关系,利用 Matlab 中 Curve Fitting 工具箱进行曲线数值拟合,得到描述 APD 输入输出的近似函数,最后利用 Multisim14.2 中非线性相关源控件对近似函数进行电路封装实现。模型框图如图 1 所示。

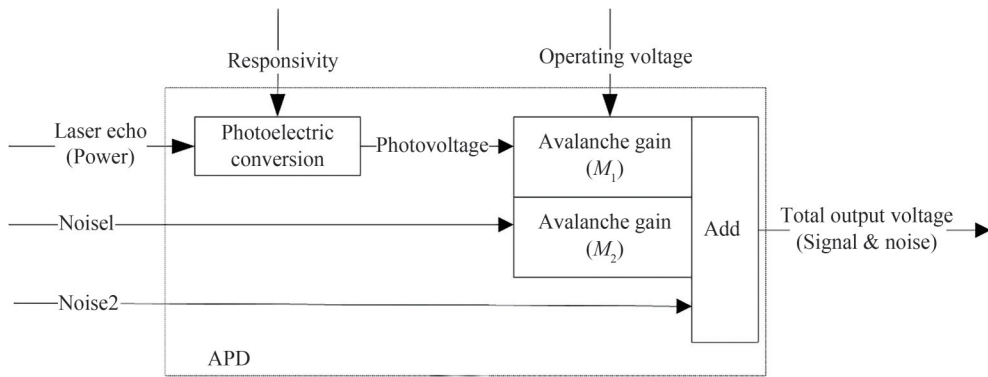


图 1 APD 模型框图  
Fig. 1 APD model block diagram

该模型输入输出表达式为

$$V_{out} = P \cdot R \cdot M_1(V_{op}) + V_{noise1} \cdot M_2(V_{op}) + V_{noise2} \tag{1}$$

式中,  $V_{out}$  为 APD 模型输出电压,  $P$  为接收到的测距回波脉冲信号光功率,  $R$  为电压响应度,  $M_1$  和  $M_2$  分别为偏压 ( $V_{op}$ ) 下信号和噪声的雪崩放大倍数,  $V_{noise1}$  和  $V_{noise2}$  分别为系统内受偏压影响的噪声和不受偏压影响的噪声。

本模型将 APD 信号输出来源分为三部分,下面分别进行介绍。

1) 测距回波光响应 (Laser echo)。模型将其在 APD 组件内部光电转换放大等过程抽象为两步,第一步是无雪崩倍增光电转换 (含前放), 此过程不受雪崩管偏压影响, 仅受光强、温度、入射光波长, 前置放大器增益等参数影响。C30950E 数据手册中提供的相关参数有, 环境温度 22 °C, 前放 ±6 V 供电, 1 064 nm 光波长入射, 在雪崩点附近 (图中标此时  $M = 120$ ) 雪崩管电压响应度为 140 kV/W, 换算无增益电压响应度  $R$  约为 1.17 kV/W。第二步是雪崩倍增, 图 2 所示为数据手册中给出的 APD 偏压与信号增益曲线, 可见线性放大区坐落在偏压 150 V~390 V 之间。利用图中网格, 纵坐标 10~200 逐行取点, 共取得 11 个离散点坐标: (150, 10), (235, 20), (280, 30), (305, 40), (320, 50), (330, 60), (340, 70), (350, 80), (355, 90), (360, 100), (380, 200)。

将 11 个离散点坐标输入 Matlab, 利用 Curve Fitting 工具箱进行曲线数值拟合。经过不同拟合方式及参

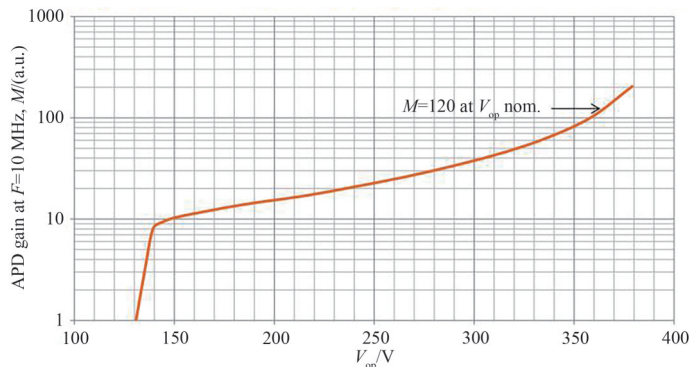


图 2 数据手册中 C30950E 偏压与信号增益关系  
Fig. 2 Signal/APD gain as a function of applied operating voltage, from C30950E datasheet

数配置比较,得到 APD 偏压  $V_{op}$  与信号增益  $M_1$  的最优近似函数

$$M_1 = 1.991 \exp(0.009 827 V_{op}) + 2.643 \times 10^{-8} \exp(0.058 45 V_{op}) \quad (2)$$

拟合相关系数平方值  $R_2 = 0.996 9$ ,均方差误差  $RMSE = 3.382$ ,结果与数据手册中曲线拟合度较好,满足仿真应用需求。输入光信号功率  $P, P \cdot R \cdot M_1(V_{op})$  即为 APD 模型对于测距信号的输出电压。

2)受雪崩增益影响的噪声(Noise1)。主要成分为暗电流引起的散粒噪声。目前关于 APD 偏压与该部分噪声的研究已经较为成熟<sup>[2,14-15]</sup>,总结下来,该部分噪声特点为:APD 不加偏压,或加较低偏压时,噪声幅度很低,仿真中可忽略不计;在偏压升高到雪崩点附近时,噪声半峰值迅速升高到 500 mV 以上,在总输出噪声中占绝大比重。该部分噪声随偏压整体呈指数上升趋势。

由此噪声特点,可建立噪声雪崩放大倍数  $M_2$  与 APD 偏压  $V_{op}$  的函数模型

$$M_2 = a \exp(b V_{op}) \quad (3)$$

式中, $a, b$  是  $M_2(V_{op})$  的指数放大系数,由器件特性决定。本文 APD 选用 C30950E,通过控制变量法,多次测量取平均值,得到了 Noise1 与  $V_{op}$  的一系列离散点数据,并将式(3)和离散点数据带入 Curve Fitting 工具箱进行曲线数值拟合,在常温,黑箱(无背景光)条件下确定系数为  $a = 4.084 \times 10^{-26}, b = 0.163 2$ 。

$M_1$  和  $M_2$  的曲线图见图 3。由图 3 可知,  $V_{op}$  较小时  $M_2$  较小,  $V_{op}$  上升到 365 V 左右时曲线斜率开始明显变大,当  $V_{op}$  上升到 375 V 左右时其斜率增大到与  $M_1(V_{op})$  相当,随后其上升加速度超过  $M_1(V_{op})$ ,并于 395 V 处与  $M_1(V_{op})$  交汇。拟制函数符合实际,满足仿真应用需求。设置好噪声源  $V_{noise1}$  参数,  $V_{noise1} \cdot M_2(V_{op})$  即为 APD 模型对于此部分噪声的输出电压。

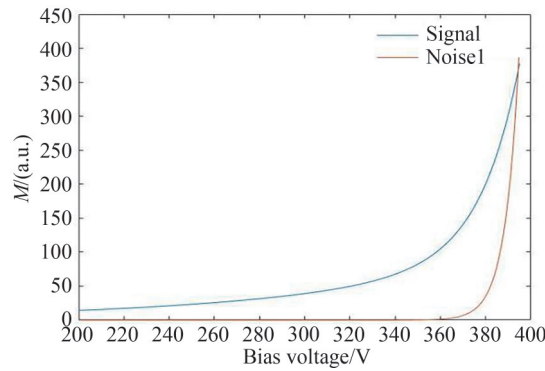


图 3 模型的偏压-信号(噪声1)放大特性曲线

Fig. 3 Bias-signal (noise 1) amplification characteristic curve of the model

3)不受雪崩增益影响的噪声(Noise2)。主要由电路热噪声和放大电路噪声等系统本底噪声组成。该部分噪声幅度较为均匀,与 APD 工作偏压无关,设置好噪声源  $V_{noise2}$  参数,在 APD 模型输出级与其他两部分直接叠加即可。

将上述数学模型移入 Multisim 14.2 进行电路仿真。利用非线性相关源(Nonlinear dependent source)对上述函数进行电路封装实现,如图 4 所示。非线性相关源输出是输入的函数,函数关系可以在器件属性框中设置。

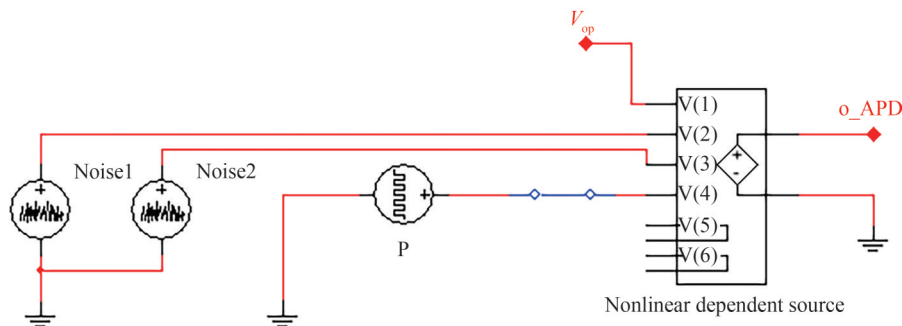


图 4 APD 电路仿真模型

Fig. 4 Circuit simulation model of APD

## 1.2 恒虚警测距电路全闭环模型

本文建立的恒虚警激光测距电路全闭环仿真模型实现的功能为:将接收到的微弱激光回波信号转换为电信号并放大,经整形后输入后端逻辑单元进行距离解算,同时整形输出联合自动增益控制(Automatic Gain Control, AGC)信号,对电路进行恒虚警调节及防近程散射自动增益控制<sup>[2-3,16-17]</sup>,使电路自适应地工作在最佳工作点。图5是其原理框图,主要由雪崩管探测器组件、放大器、成形级、时间程序增益控制和恒虚警雪崩管偏压自动控制电路组成。

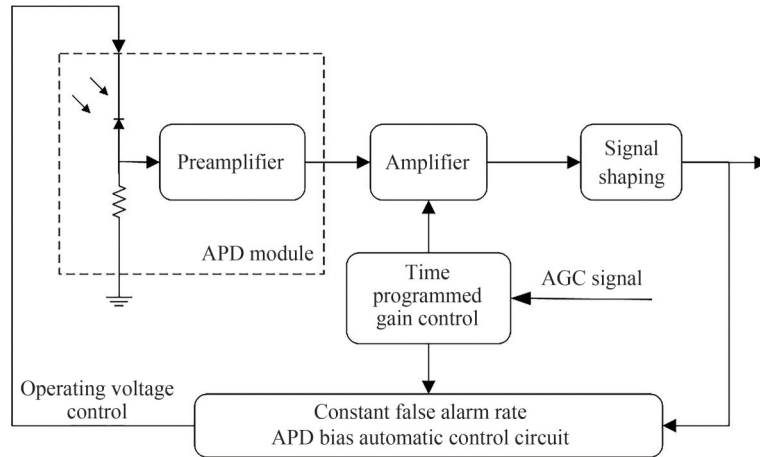


图5 测距电路模型原理框图

Fig. 5 Principle block diagram of ranging circuit model

电路工作分两个状态:待机状态和测距工作状态。待机状态无AGC信号和光信号输入,系统仅受噪声影响,APD偏压自动捕捉雪崩点并围绕其小幅度波动,电路处于恒虚警状态;测距工作状态下,系统接收光信号及AGC信号,AGC信号到来前,电路处于恒虚警状态,AGC信号到来后,APD偏压小幅度下降至雪崩点以下,为测距做准备,在AGC信号消失(测距激光发射时刻)的同时,电路重新回到恒虚警率控制状态,APD偏压逐渐拉升到雪崩点附近,从而实现最佳灵敏度探测,充分发挥APD的作用。

在下文的仿真分析中,噪声信号测试点位于放大器的输出端。

## 2 仿真试验

利用Multisim14.2软件对恒虚警测距电路进行全闭环仿真分析。试验仿真条件

1) APD模型适用于常温环境(25℃左右),雪崩点设置在375V左右,黑箱条件下(无背景光干扰)。经过调试,噪声源Noise1和Noise2的噪声比均设为5时,APD输出噪声半峰值在无AGC信号APD偏压较低条件下约为25mV,偏压临近雪崩点时快速上升到1V以上,与文献<sup>[2,14-15]</sup>及相关试验相符,故后续仿真采用此噪声比。APD初始偏压为400V,接受恒虚警闭环电路控制。

2) 放大器增益在AGC控制信号范围内为1.66dB,AGC信号消失后9.2μs内增益上升至46.5dB,其中增益大小及上升时间可调,用以实现时间程序增益控制。

3) 输入的AGC信号为脉宽250μs,周期50ms的负脉冲。光信号为脉宽100ns,周期50ms的正脉冲,相比AGC信号上升沿(激光发射时刻)延迟100μs,模拟15公里回波。

图6为仿真电路在待机状态下,恒虚警全闭环工作的信号波形,时基1ms/Div。其中A通道(从上数第1条线,绿色,纵轴200V/Div,偏置-2格)显示APD偏压波形,B通道(从上数第2条线,橙色,纵轴1V/Div,偏置0格)显示APD输出噪声波形,C通道(从上数第3条线,蓝色,纵轴5V/Div,偏置-2格)显示成形级输出波形。

由图6可知,APD偏压在370V~380V范围内波动(见标尺1和标尺2),雪崩点设定值375V,实测约382V(见标尺2)。输出噪声跟随偏压变化,当APD偏压达到雪崩点时,APD输出的噪声大幅度上升,由放大器放大后输出噪声电压超过成形级阈值,导致成形级产生脉冲输出,脉冲输出经由恒虚警反馈回路调节

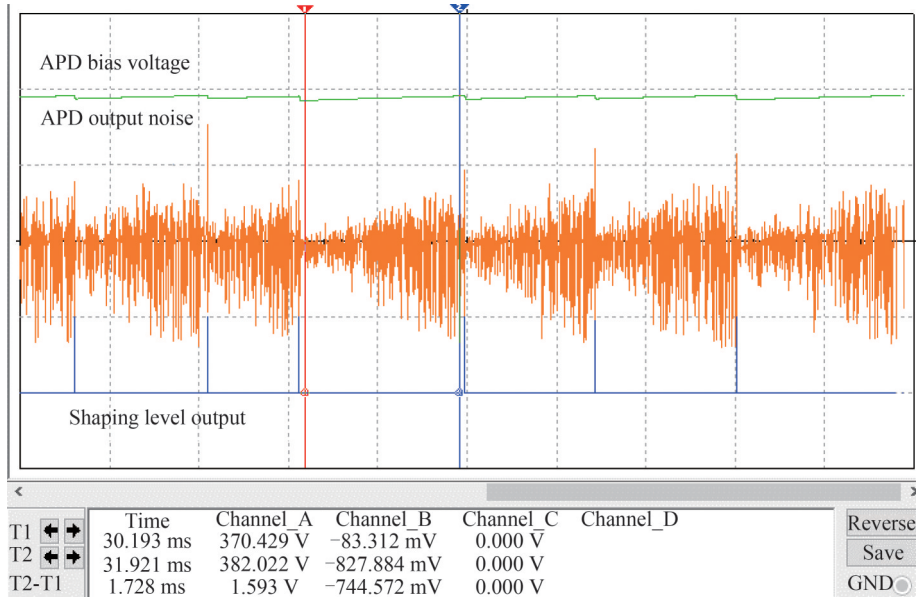


图6 待机工作状态信号波形

Fig. 6 Signal waveform of standby operating status

APD 偏压下降;当偏压低于雪崩点时,噪声电平达不到成形级触发阈值,成形级无脉冲输出,致使 APD 偏压再次升高。当电压升高至雪崩点以上时,又重复上述过程。虚警率定义为单位时间内由噪声引起的成形级输出脉冲个数。让电路在此状态下连续运行,取 20 组数据,每组数据时间长度 100 ms,经过统计,系统虚警率为每百毫秒 65 次。系统输出经反馈回路作用于系统输入,实现了自适应全闭环调节,且实测数据与设计值相近,验证了该闭环模型的准确性。

图 7 为电路在测距工作状态下的信号波形,时基 20 ms/Div。其中 A 通道(从上数第 4 条线,蓝色,纵轴 5 V/Div,偏置 -2.4 格)显示成形级输出波形,B 通道(从上数第 2 条线,红色,纵轴 5 V/Div,偏置 0 格)显示输入 AGC 信号波形,C 通道(从上数第 3 条线,橙色,纵轴 100 nV/Div,偏置 -1 格)显示输入系统的测距信号波形,D 通道(从上数第 1 条线,绿色,纵轴 200 V/Div,偏置 1 格)显示 APD 偏压波形。

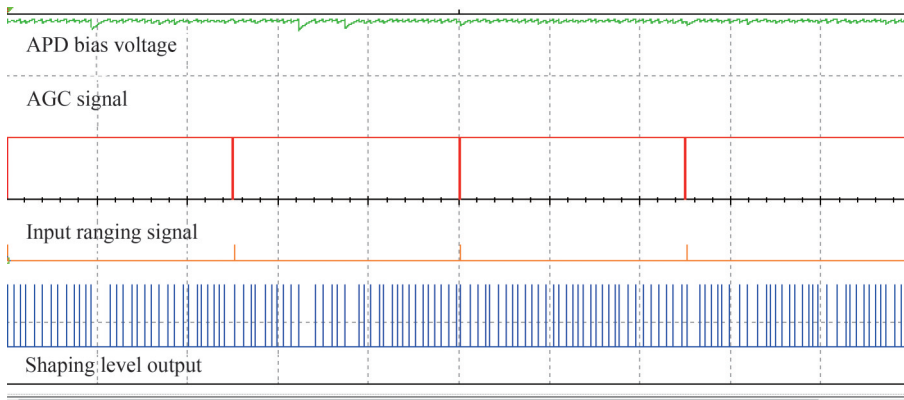


图7 测距工作状态信号波形

Fig. 7 Signal waveform of ranging operating status

由图 7 可知,在 AGC 控制信号范围外,电路处于恒虚警工作状态,AGC 信号到来后,APD 偏压下降约 10 V,在 AGC 信号消失(激光测距信号发射时刻)的同时,APD 偏压再由电路自动控制重新拉回到最佳工作电压。

图 8 为系统探测灵敏度测试的相关信号波形,经测试,输入光功率 25 nW 为系统的探测灵敏度极限。示波器时基 1 ms/Div,其中 A 通道(从上数第 4 条线,蓝色,10 mV/Div,偏置 -2 格)显示 APD 输出波形,B 通道(从上数第 2 条线,红色,纵轴 5 V/Div,偏置 1 格)显示输入 AGC 信号波形,C 通道(从上数第 3 条线,橙色,

纵轴 20 nV/Div, 偏置 -1 格) 显示输入系统的测距信号波形, D 通道(从上数第 1 条线, 绿色, 纵轴 5 V/Div, 偏置 2 格) 显示成形级输出波形。

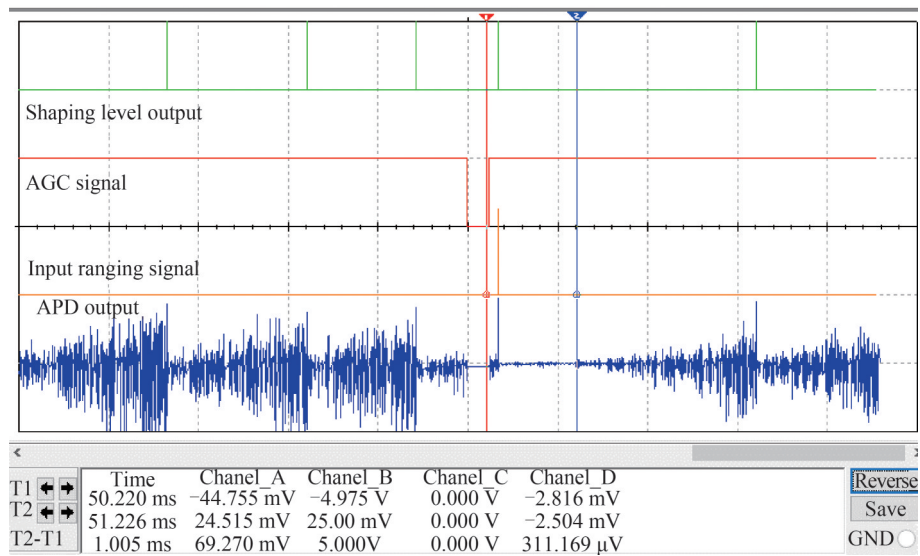


图 8 系统灵敏度测试相关波形

Fig. 8 System sensitivity test related waveform

由图 8 可知, 系统可成功从繁杂的噪声中捕获输入的微弱光信号。让电路在此状态下连续运行, 在 150 km 测程内(对应 AGC 信号消失后 1 ms 内, 见标尺 1 和标尺 2), 取 20 组数据, 经过统计, 测程内系统虚警率均为 0。

### 3 结论

本文建立了一种基于非线性相关源的雪崩管模型, 利用此模型在 Multisim14.2 软件环境中实现了恒虚警激光测距电路的全闭环动态仿真, 测试了系统探测灵敏度、虚警率等指标。仿真结果表明, 基于该仿真模型实现了 25 nW 的最小光功率探测, 测程内虚警率为 0, 测程外虚警率约为每百毫秒 65 次。仿真结果与实际值相近, 验证了仿真模型的正确性和准确性, 为 APD 恒虚警激光测距接收电路的研发提供了设计优化途径, 整体建模及仿真思路亦对其他 OEIC 电路的计算机辅助分析设计有指导意义。

#### 参考文献

- [1] HUANG Zhen. Research on pulse laser ranging receiver circuit and timing method [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.  
黄震. 脉冲激光测距接收电路与计时方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [2] TAN Xianyu. Research on the optimal working state and receiving sensitivity of avalanche photodiode for pulsed laser rangefinder[J]. Optoelectronic Technology, 2001, 21(2): 129-137.  
谭显裕. 脉冲激光测距仪雪崩光电探测器最佳工作状态和接收灵敏度研究[J]. 光电子技术, 2001, 21(2): 129-137.
- [3] QIU Xiulian. Application of silicon avalanche photodiode-preamplifier assembly in laser rangefinder[J]. Laser and Infrared, 1988(6): 31-34.  
邱秀莲. 硅雪崩光电二极管-前置放大器组件在激光测距机中的应用[J]. 激光与红外, 1988(6): 31-34.
- [4] CHEN Weiyou. PIN avalanche photodiode model for circuit simulation [J]. Research and Progress in Solid State Electronics, 1997, 17(3): 242-250.  
陈维友. 用于电路模拟的 PIN 雪崩光电二极管模型[J]. 固体电子学研究进展, 1997, 17(3): 242-250.
- [5] ZARIFKAR A, SOROOSH M. Circuit modeling of separate absorption, charge and multiplication avalanche photodiode (SACM-APD)[C]. International Conference on Laser & Fiber-optical Networks Modeling, IEEE Xplore, 2004: 213-219.
- [6] GROVES C, DAVID J, REES G. Gain dependent avalanche duration and gain $\times$ bandwidth product in an avalanche photodiode[C]. IEEE NSOD, 2004: 30-31.
- [7] WANG Zhiyuan. Circuit modeling and simulation analysis of APD preamplifier module[J]. Information Technology, 2007, (12): 44-46.

- 王致远. APD前置放大模块电路建模与仿真分析[J]. 信息技术, 2007, (12): 44-46.
- [8] SHI Hao, LU Ming. PSPICE sub-circuit model of PIN diode[J]. Power Electronics Technology, 2003, (3): 91-94.  
施浩, 陆鸣. PIN二极管的PSPICE子电路模型[J]. 电力电子技术, 2003, (3): 91-94.
- [9] CHEN Xiangbin. Research on image detection method of linear optical current transformer [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2018.  
陈翔斌. 线性光学电流互感器的图像检测方法研究[D]. 福州: 福州大学, 2018.
- [10] KOU Songfeng. Research on APD photon counting imaging technology [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2010.  
寇松峰. APD光子计数成像技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- [11] CHENG Tao. Partial parameter optimization and device simulation based on quantum key light source and detection [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2006.  
程涛. 基于量子密钥光源与探测的部分参数优化与器件模拟[D]. 广州: 广东工业大学, 2006.
- [12] GAO Xinjiang, ZHANG Xiuchuan, CHEN Yang. Device model and numerical simulation of InGaAs/InP SAGCM-APD [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2007, (5): 617-622.  
高新江, 张秀川, 陈扬. InGaAs/InP SAGCM-APD的器件模型及其数值模拟[J]. 半导体光电, 2007, (5): 617-622.
- [13] YE Ling. Research on key technologies of photon counting lidar [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2019.  
叶凌. 光子计数激光雷达关键技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2019.
- [14] SUN Chao. Study on noise characteristics of Si-APD in lidar under the action of background light [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014.  
孙超. 背景光作用下激光雷达中Si-APD噪声特性研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- [15] LIU Hexiong, ZHOU Bing, HE Xuan, et al. Influence of temperature on APD multiplication factor under constant false alarm compensation [J]. Laser and Infrared, 2019, 49(4): 487-492.  
刘贺雄, 周冰, 贺宣, 等. 温度对恒虚警补偿下APD倍增因子的影响[J]. 激光与红外, 2019, 49(4): 487-492.
- [16] HUO Lianzheng, YU Yongqi. Time-programmed gain controlled transistor low-noise broadband amplifier [J]. Laser and Infrared, 1980, (4): 58-61.  
霍联正, 余永琦. 时间程序增益控制的晶体管低噪声宽带放大器[J]. 激光与红外, 1980, (4): 58-61.
- [17] YU Nong, PAN Lianan, LI Yushu. ESM adaptive constant false alarm circuit and its fault monitoring [J]. Aerospace Electronic Countermeasures, 1992, (3): 32-36.  
余农, 潘联安, 李予蜀. ESM自适应恒虚警电路及其故障监测[J]. 航天电子对抗, 1992, (3): 32-36.

## Simulation Test Research of Constant False Alarm Laser Ranging Circuit Based on Nonlinear Dependent Source APD Model

WANG Wei<sup>1,2</sup>, ZHAO Qihang<sup>1,2</sup>, YANG Sen<sup>1,2</sup>, ZHANG Ke<sup>1,2</sup>, LIU Xingbo<sup>1,2</sup>, LIU Tongyu<sup>3</sup>

(1 Key Laboratory of Photonic Control Technology, Department of Precision Instrument, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

(2 State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Department of Precision Instrument, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

(3 Science and Technology on Electro-Optical Information Security Control Laboratory, 53rd Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Tianjin 300308, China)

**Abstract:** Avalanche Photodiode (APD), with its advantages of small size, fast speed, and high sensitivity, stands out from a large number of photoelectric detection devices and is widely used in pulsed laser ranging reception. In the field of engineering practice and academic research, reasonable modeling of APD devices and full closed loop simulation of Constant False Alarm Rate (CFAR) laser ranging receiving circuit using this model can greatly improve system design efficiency, reduce research and development costs, which is of great significance to the performance evaluation of laser ranging receiving system. At present, many institutions at domestic and abroad have established a variety of APD circuit simulation models. Most of these models are based on the carrier rate equation. After proper and reasonable approximation, the APD is equivalent to a three terminal circuit composed entirely of electronic components through mathematical simulation. However, the establishment of these models is based on

devices' internal parameters and material properties, involving intellectual property rights, trade secrets and other reasons, which are usually not provided by manufacturers. Therefore, these models are suitable for the research and development process of devices, and not for the full closed loop dynamic simulation of CFAR laser ranging circuit. On the market, APD device manufacturers often only disclose the external characteristics of the device, which makes the existing models difficult to use effectively in the actual scientific research work. Therefore, how to use the limited device parameters to explore new modeling methods, carry out mathematical modeling and circuit packaging for external characteristic parameters, establish the APD circuit simulation model, and realize the full closed loop dynamic simulation of CFAR laser ranging circuit is still a problem to be solved. In this paper, an avalanche tube model based on a nonlinear correlation source is established to solve the above problems, and the full closed loop simulation test of CFAR laser ranging circuit is carried out using this model. Taking the C30950E avalanche tube assembly, a product of EG&G Canada, as an example, the paper first refers to the C30950E data manual, and uses the Curve Fitting toolbox in Matlab to perform curve numerical fitting according to the correlation between avalanche gain, noise (temperature) and bias voltage. Through fitting, the exponential function model of APD input, output and bias voltage control is established; Then, on the basis of this mathematical model, the nonlinear correlation source control in Multisim 14.2 software is used for circuit encapsulation; Finally, the range receiving amplifier circuit with APD constant false alarm bias automatic control and short-range scattering time gain control is designed, and the automatic gain control (AGC) signal is added. The full closed loop circuit of the constant false alarm laser range receiving amplifier circuit is built using the above APD circuit simulation model, and simulation research is carried out for the system detection sensitivity, false alarm rate and other indicators. The simulation results show that the CFAR ranging circuit can automatically capture the optimal avalanche gain operating bias voltage of APD according to the design value of the false alarm rate. Based on the simulation model, the minimum optical power detection of 25nW is realized. The false alarm rate within the measurement range is 0, and the false alarm rate outside the measurement range is about 65 times per hundred milliseconds. The results are close to the actual values. The simulation tests verify the correctness and accuracy of the simulation model. The simulation provides a design optimization approach for the research and development of APD constant false alarm laser ranging receiver circuit, and the overall modeling and simulation ideas are also instructive for the computer-aided analysis and design of other OEIC circuits.

**Key words:** Avalanche photodiode; Nonlinear dependent source; Constant false alarm laser ranging circuit; Full closed-loop simulation; Anti-short-range scattering

**OCIS Codes:** 250.0040; 250.1345; 140.3538