光学 精密工程
OPTICS AND PRECISION ENGINEERING
核心期刊
主管：中国科学院
主办：中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
中国仪器仪表学会
主编：曹健林

光学精密工程 2013, 21(11) 2737-2743 ISSN: 1004-924X CN: 22-1198/TH DOI:10.3788/OPE.20132111.2737

现代应用光学

高增益散粒噪声探测器的性能改进

周海军,王文哲,郑耀辉*

山西大学 光电研究所 量子光学与光量子器件国家重点实验室

摘要： 针对量子光学实验对低噪声探测器的特殊需求，采用交流电流耦合跨阻抗前置放大电路和ETX500光电二极管设计了高增益散粒噪声探测器。与现有的探测器相比，该探测器在增益、带宽、交直流饱和特性3方面的性能均有明显提升。采用1 064 nm的单频激光器作光源，频谱分析仪作噪声测量工具，测量了探测器的输出特性。在分析频率2 MHz处，测量得到注入探测器的功率为850 μW时，输出的噪声功率谱较电子学噪声谱高10 dB；注入探测器的功率大于1.62 mW时，探测器的带宽达到5 MHz。注入的光功率为0.85~36 mW时，探测器保持良好的交流与直流线性特性。设计的探测器的高增益与较高的交直流饱和特性，为量子光学实验提供了重要的探测工具。

关键词： 量子光学 跨阻抗前置放大电路 散粒噪声探测器 增益 饱和特性

Improvement of high-gain shot-noise detector

ZHOU Hai-jun, WANG Wen-zhe, ZHENG Yao-hui*

State Key Laboratory of Quantum Optics and Quantum Optical Devices, Institute of Opto-electronics, Shanxi University

Abstract: Based on the special demands of quantum optical experiments for low noise detectors, a high gain and shot noise detector was designed by combing an AC current coupled trans-impedance pre-amplify circuit and an ETX500 photodiode. Compared with existing detectors, the designed detector shows better characteristics in gain, bandwidth and AC & DC saturation. The output characteristics of the detector were measured by using a 1 064 nm single frequency laser as a source and a frequency spectrum analyzer as the measuring instrument. Measuring results show that the power noise spectrum of the detector is 10 dB higher than that of electronic noise spectrum when the injecting power for the detector is more than 850 μW at 2 MHz. Furthermore, the bandwidth of the shot noise detector reaches 5 MH when the input infrared laser power is above 1.62 mW. The remarkable linearities for the DC and AC currents are available when the input infrared laser power is increased to 36 mW. Considering its higher gain and better DC & AC saturation characteristics, the detector is advantageous to quantum optic experiments.

Keywords: quantum optics trans-impedance pre-amplify circuit shot noise detector gain saturation characteristic

收稿日期 2013-06-07 修回日期 2013-07-11 网络版发布日期 2013-11-22

基金项目:

低频振动体系中环境能量捕获的关键问题研究;国家自然科学基金科学仪器研究专款;山西省自然科学基金

通讯作者: 郑耀辉

作者简介: 周海军（1987-），男，四川资阳人，博士研究生，2011年于太原科技大学获得学士学位，主要从事激光技术与光量子器件的研究。

作者Email: yhzheng@sxu.edu.cn

参考文献：

[1]彭堃墀.光场压缩态的产生及其亚散粒噪声光学测量和量子信息中的应用[J]. 物理，2001，30(5)：300-305. PENG K C. Generation and application of squeezed state light:sub-shot-noise-limited optical measurement and quantum information[J]. Physics,2001,30(5):300-305.(in Chinese) [2]WU L A, KIMBLE H J, HALL J,et al.. Generation of squeezed states by parametric down conversion[J]. Phys.Rev.Lett.,1986,57(20):2520-2523. [3]HANSEN H,AICHELE T,HETTICH C, et al..Ultrasensitive pulsed,balanced homodyne detector:application to time-domain quantum measurements[J]. Opt.Lett.,2001,26(21):1714-1716. [4]QUINLAN F, FORTIER T M, JIANG H, et al.. Exploiting shot noise correlations in the photodetection of ultrashort optical pulse trains[J]. Nature Photonics, 2013,7:290-293. [5]BACHOR H A, MANSON P J. Practical implications of quantum noise [J]. Journal of Modern Optics, 1990, 37(11): 1727-1740. [6]SCULLY M O,ZUBARY M S.Quantum Optics[M]. Cambridge:Cambridge University Press,1997:128. [7]JIANG Y J,MA J,TAN L Y, et al.. Measurement of optical intensity fluctuation over an 11.8 km turbulent path[J]. Optics Express,2008,16(10): 6963-6967. [8]HEIM B, EISER D,BARTLEY T, et al.. Atmospheric channel characteristics for quantum communication with continuous polarization variables[J]. Appl .Phys. B, 2010(98):635-640. [9]WANG Y J,ZHENG Y H,XIE C D, et al.. High-power low-noise Nd:YAP/LBO laser with dual wavelength outputs[J]. Quantum Electronics,2011(47): 1006-1013. [10] WANG X, JEFFERSON M,HOBBS P C D, et al.. Shot-noise limited detection for surface plasma sensing[J]. Optics Experess, 2010,19(1):107-117. [11]庞春颖,张涛.激光主动成像系统信噪比模型的研究[J]. 光学 精密工程,2008,16(2):319-324. PANG CH Y,ZHANG T. Signal-to-noise ratio mode of laser active imaging system[J]. Opt. Precision Eng.,2008,16(2):319-324.(in Chinese) [12]王兴玲,刘龙飞,于钢,等.全球陆地光学遥感影像获取技术与应用[J]. 光学 精密工程，2012,20（10）：2324-2330. WANG X L,LIU L F,YU G,et al.. Global optical image acquisition technology and its application[J]. Opt. Precision Eng., 2012,20(10):2324-2330. (in Chinese) [13]The LIGO Scientific Collaboration. A gravitational wave observatory operating beyond the quantum shot-noise limit[J]. Nature Physics,2011,7:962-965. [14]李醒飞,王驰,向红标,等.光学外差干涉法检测微弱超声振动[J]. 光学 精密工程，2008，16(7):1158-1162. LI X F,WANG CH,XIANG H B, et al.. Detection of weak ultrasonic signal using optical heterodyne interferometry[J]. Opt. Precision Eng., 2008,16(7):1158-1162.(in Chinese) [15]张合勇,赵帅,郭劲,等.相干和多模热光场的光子统计实验[J]. 光学 精密工程，2012,20（10）：2132-2139. ZHANG H Y,ZHAO SH,GUO J, et al..

Experiment of coherent and multi-mode thermal light statistics[J]. Opt. Precision Eng., 2012,20(10):2132-2139.(in Chinese) [16]俞文凯,姚旭日,刘雪峰,等. 压缩传感用于极弱光计数成像[J]. 光学 精密工程,2012,20(10):2283-2292. YUE W K,YAO X R,LIU X F, et al.. Compressed sensing for ultra-weak light counting imaging[J]. Opt. Precision Eng., 2012,20(10):2283-2292.（in Chinese） [17]王志斌,史国华,何益,等.相干层析技术在光学表面间距测量中的应用[J]. 光学 精密工程，2012,20（7）：1469-1474. WANG ZH B, SHI G H,HE Y, et al.. Application of optical coherence tomography to distance measurement of optical surface [J]. Opt. Precision Eng., 2012,20(7):1469-1474.(in Chinese) [18]TALLOR M A,JANOUSEK J,DARIA V,et al.. Biological measurement beyond the quantum limit[J]. Nature Photonics, 2013,7:229-233. [19]王晶晶,贾晓军,彭堃墀.平衡零拍探测器的改进[J]. 光学学报，2012,32（1）：0127001-1-7. WANG J J,JIA X J,PENG K C. Improvement of balanced homodyne detector[J]. Acta Optica Sinica,2012,32(1):0127001-1-7. (in Chinese) [20]周倩倩,刘建丽,张宽收.量子光学实验中宽带低噪声光电探测器的研制[J]. 量子光学学报，2010，16(2):152-157. ZHOU Q Q, LIU J L, ZHANG K SH. Low-noise, broadband photodetector designs in quantum optics[J]. Acta Scinica Quantum Optics,2010,16(2):152-157. (in Chinese) [21]卜绍芳, 尼启良, 何玲平, 等. 极紫外波段微通道板光子计数探测器\[J\]. 中国光学, 2012,5(3):302-309. BU SH F, NI Q L, HE L P, et al.. Microchannel plate photon counting detector in UV range\[J\]. Chinese Optics, 2012,5(3): 302-309.(in Chinese) [22] GRAY M B, SHADDOCK D A, HARB C C, et al.. Photodetector designs for low-noise, broadband and high-power applications[J]. Rev.Sci.Instrum.,1998,69(11):3755-3762. [23]LAU K S, TAN C H, NG B K, et al.. Excess noise measurement in avalanche photodiodes using a transimpedance amplifier front-end[J]. Meas.Sci.Technol.，2006,17:1941-1946. [24]MENG L,YU L L,PU Y Q, et al.. Design of amplifying circuit for tiny signal [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2006,27(6):1012-1013. [25]胡涛,司汉英.光电探测器前置放大电路设计与研究[J]. 光电技术应用,2010,25(1):52-55. HU T,SI H Y. Design and research of preamplifier circuit for a photoelectric detector[J]. Electro-optic Technology Application, 2010,25(1)：52-55. (in Chinese) [26]JOHNSON M. Photodetection and Measurement: Maximizing Performance in Optical Systems[M]. First edition. New York:McGraw-Hill Professional, 2003.

本刊中的类似文章

1．张雷 丁亚林 张洪文 张继超 刘波.基于单帘快门的数字相机调光系统[J]. 光学精密工程, 2013,21(5): 1265-1271

2．张跃, 储海荣.增益调度自动驾驶仪结构特点与变轨迹飞行控制[J]. 光学精密工程, 2012,20(7): 1595-1602

3．张合勇, 赵帅, 郭劲, 王挺峰, 刘海波.相干和多模热光场的光子统计实验[J]. 光学精密工程, 2012,20(10): 2132-2139

4．薛旭成, 石俊霞, 吕恒毅, 马天波, 郭永飞.空间遥感相机TDI CCD积分级数和增益的优化设置[J]. 光学精密工程, 2011,19(4): 857-863

5．章明朝,周跃,隋永新,杨怀江.“日盲”紫外增强型CCD的自动增益控制[J]. 光学精密工程, 2010,18(2): 496-502

6．许江涛, 崔乃刚, 吕世良.协调增益调度的重复使用助推器姿态控制设计[J]. 光学精密工程, 2010,18(12): 2590-2596

7．赵全友,潘保昌,郑胜林.复杂光照下的两步法颜色恒常性算法[J]. 光学精密工程, 2009,17(4): 859-866

8．白雨虹[1,2];杨秀彬[2,3];严 寒[2].量子光学与量子信息领域中的中国[J]. 光学精密工程, 2007,15(5): 684-698

9．颜玢玢[1];王葵如[1];余重秀[1];徐大雄[1];桑新柱[1];刘怡臻[1];忻向军[1];全升学[1];贾亚英[2].增益平坦的多波长泵浦宽带拉曼光纤放大器[J]. 光学精密工程, 2006,14(2): 155-158

10．何春凤[1];路国光[1];单肖楠[1];秦 莉[1];晏长岭[1,2];宁永强[1];李 特[1];孙艳芳[1];王立军[1].高功率980 nm垂直外腔面发射 激光器(VECSEL)的理论研究[J]. 光学精密工程, 2005,13(3): 247-252

11．申作春;鲁建业;高惠德.N_2分子二聚物在352.3 nm处增益特性研究[J]. 光学精密工程, 2005,13(1): 10-15

12．周城, 叶子青, 郑权, 钱龙生.半导体泵浦全固体蓝光激光器的研究进展[J]. 光学精密工程, 2002,10(3): 295-299

13．吉选芒, 安毓英, 刘劲松.光折变晶体两波耦合增益系数强度特性理论研究[J]. 光学精密工程, 2001,9(1): 51-54

14．李耀斌, 林晓梅.一种利用 CCD143A 的黑参考像元实现 AGC 的方法[J]. 光学精密工程, 1998,6(5): 116-121

15．樊仲维, 卢振武, 廖江红.毫米波衍射天线增益的计算[J]. 光学精密工程, 1996,4(4): 106-110