

Research on Frequency Response Testing Method of Photodetector Based on Offset Phase Lock Servo System

Chao Liu, Xingbang Zhu

The 41st Research Institute of CETC, Qingdao Shandong

Email: chaoshuamo@126.com

Received: Jul. 1st, 2018; accepted: Jul. 17th, 2018; published: Jul. 24th, 2018

Abstract

This paper mainly introduces the method of measuring the frequency response of photodetectors based on off phase lock servo system, which uses optical heterodyne and feedback system to produce more stable beat frequency signals that can be used to test the frequency response of photodetectors. The system uses optical heterodyne to produce beat frequency signal, which is input to off phase lock servo system to lock phase, so that the laser can be tuned to achieve the purpose of stabilizing. The frequency response curve of the photodetector is obtained by scanning the laser in the demand band.

Keywords

Frequency Response, Optical Heterodyne, Offset Phase Lock Servo System, Phase Lock

基于相位偏移伺服系统的光电探测器频响测试方法研究

刘 超, 朱兴邦

中国电子科技集团公司第四十一研究所, 山东 青岛

Email: chaoshuamo@126.com

收稿日期: 2018年7月1日; 录用日期: 2018年7月17日; 发布日期: 2018年7月24日

摘 要

本文主要介绍了基于相位偏移伺服系统的光电探测器频响测试方法, 利用光外差法与反馈系统产生较为

稳定的拍频信号, 主要可以用于光电探测器频响指标测试。该系统采用光外差方法产生拍频信号, 并将拍频信号输入相位伺服系统进行锁相, 对从激光器进行微调从而达到稳频目的。将激光器在需求波段进行扫描, 来得到光电探测器的频率响应曲线。

关键词

频响, 光外差, 相位偏移伺服系统, 相位锁定

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

光电探测器是光纤通信系统中的核心器件, 在军事和国民经济各个领域都有广泛用途。在可见光或近红外波段可以用于探测、工业自动化管控、光电计量等; 在红外波段可以用于激光制导、红外热成像、红外遥控等方面。光电系统一般都是围绕光电探测器的性能进行设计的, 其带宽决定整个系统的传输速率。目前国内外对光电探测器带宽测试都有深远研究和较为成熟的方案, 主要常用的方法有时域法、光波元件分析法和光外差干涉法。

时域法[1]对测量信号和参考信号进行同步采集比较, 可以直观观察测量波形, 但对提供参考信号的标准光源要求苛刻; 随着光电探测器带宽增加, 标准光源带宽指标难以满足测试要求。光波元件分析法[2]是用光波元件分析仪对光电探测器直接扫描测量。其实质是采用矢量网络分析仪、参考光源及配套光接收机构成, 先通过测试标准件比对内部标准数据进行修正, 然后用替代法对被测件测试, 从而得到被测件响应曲线; 这种方法测试速度快、精度高, 常用于产线测试, 但是测试范围受内置矢量网络分析仪带宽限制且价格较为昂贵。全光纤光外差法[3]是目前实验室中光电探测器频响测试的常用测试手段, 其克服了以往空间光外差法装置复杂、波段受限、精确度低等缺点, 可以得到探测器工作波段的频率响应曲线, 但系统受激光器波长稳定性影响较大, 且缺乏用于波长微调的反馈系统。

相位偏移伺服系统[4]采用相位 - 频率检测器, 在其工作频率范围内将一对产生拍频信号的激光器相位进行锁定, 并能对激光器的波长跳变进行修正。本方案通过对全光纤光外差技术进行改进, 监控拍频信号跳变信息, 有效增加信号的稳定性, 降低噪声对测量结果的影响, 实现对光电探测器频响指标的准确测试。

2. 总体方案

测试系统主要由主激光器 2、从激光器 1、信号采集系统、信号监测系统、相位偏移伺服系统等组成, 其总体原理示意图如图 1 所示。主激光器与从激光器干涉产生拍频信号输入探测器信号采集系统, 采集系统由被测光电器件 PD1 与频谱仪 ESA1 构成, ESA1 用于记录不同差频下功率值。信号监测系统由标准光电器件 PD2、光谱分析仪 OSA、功分器、频谱仪 ESA2 构成, 光信号即可直接由光谱仪监测, 又可经光电转换后输入频谱仪 ESA2 进行监测, 确保信号准确可靠。相位伺服系统目的是精确控制和快速调节两个激光器的波长, 实现主与从激光器的相位锁定。

系统测量过程如下: 激光器 1 作为从激光器, 而激光器 2 作为波长固定的主激光器。为了监控拍频信号, 激光器 1, 2 分别经过 1×2 光学耦合器 C1、C2 进行分路, 其中两路光信号 b、c, 经耦合器 C3

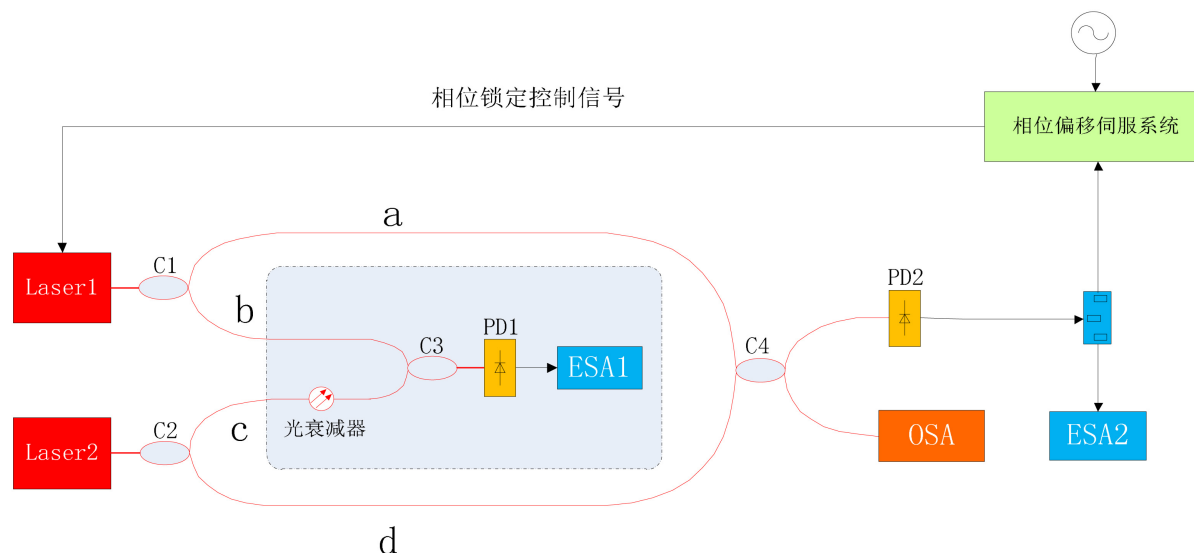


Figure 1. Test schematic diagram

图 1. 测试方案原理示意图

形成拍频信号，在通过被测光电探测器 PD1 后进入频谱仪 ESA1 进行数据采集。而主激光器 2 的另一路信号 d，与从激光器 1 另一路信号 a 经由 2×2 耦合器 C4 后，一路送入光谱仪监测，一路经标准探测器 PD2、功分器一分为二：一半送入频谱仪 ESA2 进行监测；一半作为反馈信号送入相位偏移伺服系统。相位偏移伺服系统将拍频信号的频率与相位锁定在一个基准频率上，基准频率可由外部信号源提供，通过与外部参考信号的对比可以对从激光器 1 的波长进行调控，达到稳频目的[5]。

本方案是将拍频信号锁定在参考信号上，既要保证激光器波长稳定性，又要保证外部参考信号的稳定可靠。激光器线宽越窄，激光器带宽越高，越容易被锁定，因此本方案中的激光器采用 TOPTICA 公司生产的 CTL1550，其线宽小于 10 kHz。外部参考信号由铷钟提供，其短期稳定性可达到 10~12 数量级，精确度为 5×10^{-11} 。频谱仪与光谱仪分别采用 Keysight 公司的 E4447A 与 YOKOGAWA 公司的 AQ6370C。系统中所有光纤采用保偏光纤，以保证传输过程中偏振态稳定。

3. 相位伺服系统设计

相位偏移伺服系统由分频器、斜波发生器、相频检测器、电荷泵、环路滤波器、压控振荡器等构成。其构成原理图如图 2 所示。

如图 2 所示，拍频信号经分频器进行 $1/N$ 分频后，与参考信号进入相位偏移伺服系统(OLPS)的核心部件——相位 - 频率检测器(PFD)。参考信号可以由内部电压控制振荡器(VCO)或者外部铷钟输入获得。相频检测器会将分频后的拍频信号的相位、频率和参考信号进行比较：当拍频信号与参考信号之间没有相位滑移时，PFD 将输出一个用于锁相的误差信号，误差信号与被比较的两信号的相位差成正比例；当拍频信号与参考信号之间存在相位滑移时，PFD 作为频率比较器，在相位偏移伺服系统中起到辅助锁定的功能。PFD 的信号输出被供给到电荷泵，然后送到环路滤波器，环路滤波器具有可调节的比例/积分/微分反馈(PID)单元和附加的高频滚降频率 ω_{HF} 通过调整 K_p 、 K_i 和 K_d 三个参数的设定使系统更加稳定可靠。

相位偏移伺服系统(OLPS)将输入拍频信号的频率锁定在一个或多个参考频率上，输入的拍频信号在与参考频率比较之前，被分频器进行分频，因此频率锁定公式即为： $offset = N \times Reference\ Frequency$ 。通过调整参考频率或 N，可以精确调整两个激光器的频率差。

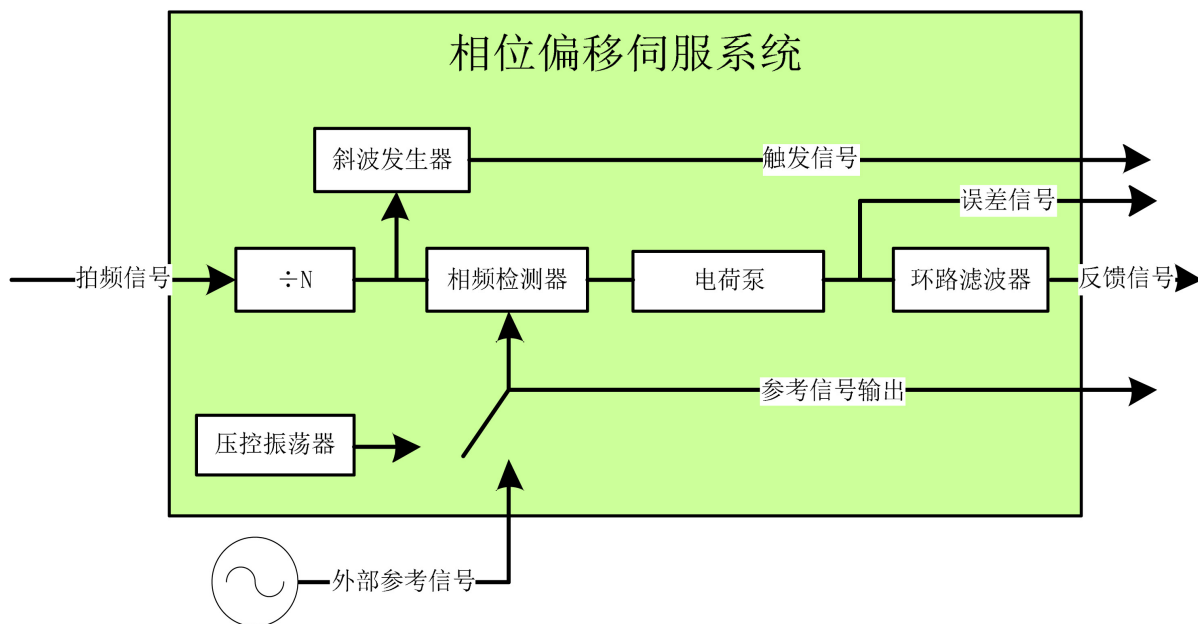


Figure 2. Phase offset servo system
图 2. 相位偏移伺服系统构成图

相位偏移伺服系统核心工作是对拍频信号进行相位锁定，其具体实现过程分两步：

第一步，是在期望的偏移频率处获得具有陡峭斜率的误差信号，来进行基本的信号锁定。将斜坡发生器信号连接到采样示波器的触发输入口，PFD 输出的误差信号经电荷泵(CP)后连接到示波器信号输入。设置分频器参数 N 与电压控制振荡器的工作频率为适当值，通过调整从激光器 1 的功率和波长，将在采样示波器上观察到误差信号。如图 3 所示。

误差信号的反射中心点即是两个激光器频率相同的地方。因为偏移频率的误差信号是偶函数，所以必然存在点满足 $\Delta f = 0$ ， $\Delta f = 0$ 两侧的陡斜率点可用做信号锁定。将此两点的斜率作为特征信号，且斜率点可通过改变 VCO 频率来改变。选择其中一个锁定点移动到示波器中心位置，降低斜坡发生器幅度，环路滤波器介入将特征点锁定。

第二步，对锁定值进行优化。首先对信号优化，观察示波器中的误差信号，降低增益以减小信号中的 RMS 噪声，此时可以在拍频信号监测频谱仪 ESA2 上观察到拍频信号底噪变化。然后对反馈优化，从滚降频率 ω_{HF} 开始，设置 ω_I 为 16 kHz， ω_D 为 64 kHz，通过综合调整比例、积分、微分数值，来获得最佳锁定状态。此时将频谱仪扫描宽度设置为 10 MHz，可以看到如图 4 中的拍频信号。

4. 拍频信号稳定性测量验证

图 5 中显示频谱仪 ESA1 相位锁定前与后的对比图，通过“最大保持”功能，我们可以清楚的看到拍频信号漂移带差异。在 10 分钟数据测试采集后，未锁定状态的信号漂移带大约为 55 MHz，而同周期经锁定的信号漂移小于 100 kHz。

5. 结束语

本方案对全光纤光外差法进行改进，主要误差来源有：主从激光器频率稳定性、主从激光器功率稳定性、参考信号频率准确性，以及示波器捕获的误差信号的准确性等。方案中基于相位偏移伺服系统对拍频信号相位进行锁定，可显著减少相位偏移噪声在测试过程中对拍频信号质量的影响；与未经相位锁

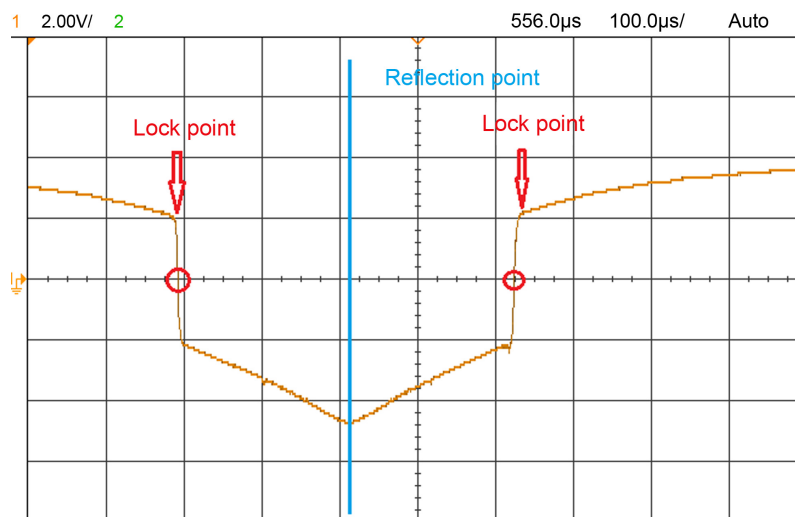


Figure 3. The captured error signal
图 3. 捕获误差信号

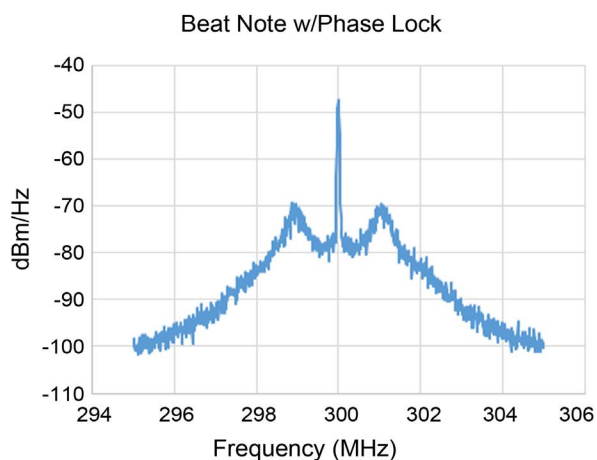


Figure 4. Beat frequency signal after phase-locked optimization
图 4. 经锁相优化后的拍频信号

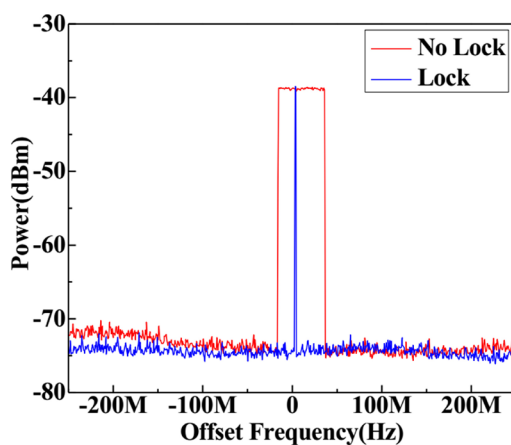


Figure 5. Signal locked before and after
图 5. 锁定前后信号差异对比

定信号比较, 信号偏移带明显减小, 可以提高光电探测器频响测试的准确性与可靠性, 满足当前光电探测器频响测试需求, 为光电探测器频响指标测试提供更加便捷、廉价、可靠的测试手段; 并且也可为后期光通信系统中相位等参数的校准提供有效测试方法。

参考文献

- [1] Thomas Hawkins, R., Jones, M.D. and Pepper, S.H. (1991) Comparison of Fast Photodetector Response Measurements by Optical Heterodyne and Pulse Response Technique. *IEEE Journal of Lightwave Technology*, **9**, 1289-1294. <https://doi.org/10.1109/50.90926>
- [2] Dunsmore, J.P. and Vallelunga, J.V. (1991) 20-GHz Light-Wave Test Set and Accessories. *HP Journal*, **42**, 25-27.
- [3] 费丰, 朱兴邦. 高速光电探测器频率响应测试方法研究[J]. 宇航技术, 1000-7202(2010)01-0053-04.
- [4] Johnson, G.W., Leiner, D.C. and Moore, D.T. (1979) Phase-Locked Interferometry. *SPIE*, 21.
- [5] Black, E.D. (2011) An Introduction to Pound-Drever-Hall Laser Frequency Stabilization. *American Journal of Physics*, **69**, 79-87.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5450, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: oe@hanspub.org