

基于 LabVIEW 的 EDFA 自动测试系统设计

杨潇君,刘红林,李桂炎,金永兴,金尚忠

(中国计量学院 光学与电子科技学院,杭州 310034)

摘要:开发了一种 EDFA 自动测试系统,按照时域法测量原理设计了硬件系统,利用 GPIB 接口对系统的各个器件进行自动控制,实现了全自动测量,提高了测试效率,降低了测试难度,减少了人为误差。系统软件采用 LabVIEW 编制,采用了分层模块化设计,具有高内聚、松散耦合的特点,软件的修改和维护容易,可重用性和可扩展性强。

关键词:自动测试系统;EDFA;噪声指数;增益

中图分类号:TN722 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2009)07-0011-04

EDFA automated test system based on LabVIEW

YANG Xiao-jun, LIU Hong-lin, LI Gui-yan, JIN Yong-xing, JIN Shang-zhong

(College of Optical & Electronic technology,

China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: A new fully automated EDFA test system was implemented. First the hardware part of the system is configured according to the principle of time domain method, the automatic test for EDFA is realized which by using the GPIB interface. The test efficiency is improved, manual operation is no longer needed and the complexity of EDFA test is reduced. The system software was written in LabVIEW. The software was designed with modular pattern, which is of high cohesion and low coupling. The reusability and extensibility of software is good. It is also easy to maintain and modification. This system could be used for other optical amplifier with only small modification to its hardware and software.

Key words: automated test system, EDFA, noise figure, gain

0 引言

光纤通信是通信网的主要传输方式,目前世界上 80% 的信息是通过光纤传输的^[1]。掺铒光纤放大器(EDFA)的发明引发了光纤通信领域的一次革命,它解决了光-电-光中继放大中固有的“电子瓶颈”问题及信号波长的分用和复用问题。EDFA 具有高增益、低噪声、对信号透明等优点,极大地推动了密集波分复用技术(DWDM)的发展和应用,进而推动了光纤通信技术的迅猛发展^[2,3]。EDFA 是目前最成熟、用量最大的光放大器,其他的光放大器,包括稀土元素掺杂的光纤放大器、半导体光放大器和光纤喇曼放大器等的成熟程度还不能与 EDFA 相比^[4,5]。

收稿日期:2009-03-19。

基金项目:国家自然科学基金(项目编号:60608009)资助;浙江省自然科学基金(项目编号:Y107091)资助。

作者简介:杨潇君(1985-),女,硕士生,主要研究方向为光纤传感与光纤通信。

1 EDFA 的主要性能参数及测量方法

在研发、生产和使用过程中,EDFA 的增益(Gain)和噪声指数(NF, Noise Figure)是表征 EDFA 放大器性能的最基本、最重要的两个指标,它们会直接影响光纤通信系统的性能指标,是研发和应用中需要首先考虑的参数。因此,在研发、生产和应用中,对 EDFA 的增益和噪声指数进行准确快速的测量具有重要的意义^[6]。

1.1 增益和噪声理论

增益表征了 EDFA 放大光信号的能力,被定义为 EDFA 的输出光功率和输入光功率的比值。

$$G = P_{\text{out}} / P_{\text{in}} \quad (1)$$

在实测中,光放大器输出端测得的光功率还包括 ASE 噪声功率,因此考虑 ASE 噪声功率后,式(1)可改写为^[7]:

$$G = (P_{\text{out}} / P_{\text{ase}}) / P_{\text{in}} \quad (2)$$

噪声指数(NF)是描述光放大器对输入信号质量

影响程度的参量,被定义为输入信号的信噪比与经过光学系统后输出信号的信噪比的比值^[8,9],具体在EDFA中,可以用式(3)计算:

$$NF = \frac{P_{ase}}{h\nu\Delta\nu G} + \frac{1}{G} \quad (3)$$

式中 h 为普朗克常数, ν 为信号光频率, $\Delta\nu$ 为接收器带宽。

由前面的分析可以看出,EDFA 的增益和噪声指数都不能直接测得,需要测量 EDFA 的输入光功率,输出光功率和 ASE 噪声功率这三个参数,然后通过计算得出相应的数值。在这三个参数中,ASE 噪声功率最低,而且分布在信号光频率处一定宽度的带宽内,很难与信号光分开,所以测量非常困难,因此对 ASE 的测量就成为 EDFA 测试的关键。

1.2 ASE 测量的基本原理

目前人们已经提出了多种测量方法,大致可以分为光谱测量法和光谱测量法两大类^[10]。光谱测量法中的时域测量法具有能最大程度避免光源对测量值的影响,精确度高等优点,所以在系统设计的时候选择了该方法。时域测量法的测试系统框图如图 1 所示。图 2 是声光调制器(AOM)的相位关系及 EDFA 输出端输出的光能量成分。

光时域法的关键是 EDFA 中铒离子在亚稳态上有较长的驰豫时间,驰豫时间 $> 10\text{ms}$,当输入光调制器的频率足够高时,且在 AOM1 关断时,虽然没有信号光输入,但输出 P_{ase} 仍能反映出输入信号光功率为 P_{in} 时的噪声状况^[11]。

输入信号光通过 AOM1 输入 EDFA,再经过第二个 AOM2 输出。在 AOM1 打开时,EDFA 末端输出的能量有信号光和 ASE 噪声。在 AOM1 关闭时,由于铒离子的驰豫时间大于 10ms ,在 AOM 频率达到 100kHz



图 1 ASE 测量时域法光路

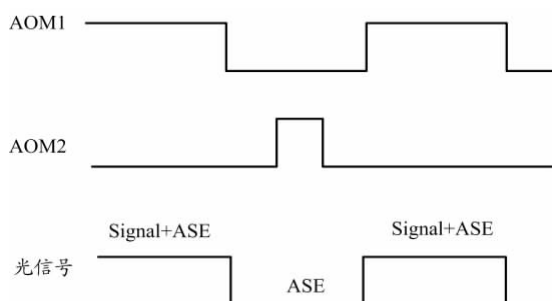


图 2 ASE 时域法时域信号图

以上时,EDFA 的 ASE 噪声情况和正常工作时一样,此时 EDFA 末端输出的只有 ASE 噪声。如图 2 所示,测量 ASE 噪声时的两个光调制器的相位关系是相反的,因此对于 AOM2 输出端来说,信号光永远是关断的,在 AOM2 端输出的只有 ASE 噪声。第三条曲线是 EDFA 末端输出的光信号的能量,而不是 AOM2 末端输出的信号。这就是时域法测量 ASE 噪声的基本原理。

2 系统设计

测量输入光功率,输出光功率和 ASE 噪声功率这三个参数时,光路都不相同。以往掺铒光纤放大器的参数测量往往要靠手工调整光路,不仅费时费力,而且在光路手工切换的过程中还容易引入误差,效率低,精度低。本文的自动测试系统实现了计算机对光路的自动切换,并控制光源和衰减器的相关参数,控制光谱分析仪测量被测量信号的值。EDFA 自动测试系统的基本装置如图 3 所示。微机连接 GPIB-USB 卡, GPIB 卡以串联的方式连接各个的仪器,实现对仪器的控制。

EDFA 自动测试系统的光路设置如图 4 所示:光信号从可调谐光源(ECL)发出,经过光衰减器(ATT)和声光调制器 1 (AOM1),接下来是两个 1×2 光开关(OSW1 和 OSW2)的互联,中间接入 EDFA,光开关

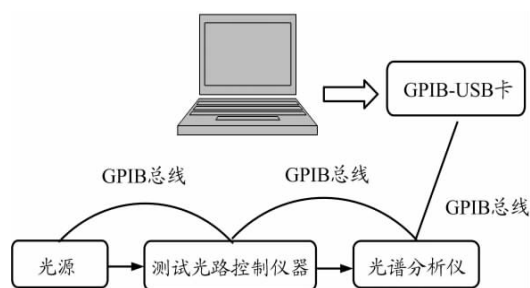


图 3 光纤放大器自动测试系统结构图

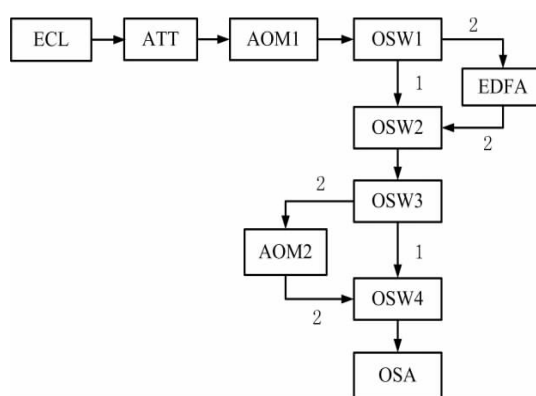


图 4 光纤放大器自动测试系统光路

OSW1 和 OSW2 用于控制信号光是否通过 EDFA。紧接着还是两个 1×2 光开关(OSW3 和 OSW4),中间接入声光调制器 2(AOM2),控制信号光是否通过声光调制器 2。最后连接光谱分析仪,测量从 OSW4 出来的光功率。计算机是通过 GPIB 总线控制光开关,实现光开关的自动切换,从而控制 EDFA 和 AOM2 是否接入测量光路,实现 EDFA 测量光路的自动切换。

EDFA 自动测试中需要切换的光路有以下三种:

(1)输入信号光测量光路 可调谐光源(ECL)→光衰减器(ATT)→声光调制器 1(AOM1)→光开关 1(OSW1)和光开关 2(OSW2)的 1 口→光开关 3(OSW3)和光开关 4 (OSW4) 的 1 口→光谱分析仪 (OSA)。此时光开关 OSW1~4 都置于开关 1 口状态。直接测得的光源功率相当于 EDFA 工作时入射光功率。

(2)放大后信号光测量光路 可调谐光源(ECL)→光衰减器 (ATT)→声光调制器 1 (AOM1)→光开关 1 (OSW1)和光开关 2(OSW2)的 2 口→EDFA→光开关 3 (OSW3)和光开关 4(OSW4)的 1 口→光谱分析仪(OSA)。光开关 OSW1~2 开关状态设为 2,OSW3~4 开关状态设为 1,此时信号光通过 EDFA,而不通过 AOM2。OSA 测得经 EDFA 放大后的信号功率。

(3)ASE 噪声测量光路 可调谐光源(ECL)→光衰减器(ATT)→声光调制器 1(AOM1)→光开关 1(OSW1)和光开关 2(OSW2)的 2 口→光开关 3(OSW3)和光开关 4 (OSW4)的 2 口→光谱分析仪(OSA)。光开关 OSW1~4 开关状态都设为 2,光开关 1 处连接的光纤处于断开状态,此时信号光同时通过 EDFA 和 AOM2,此时测量到的是 EDFA 的 ASE 噪声功率。

3 软件设计

EDFA 自动测试系统的软件采用 LabVIEW 编写,并利用了队列状态机模型,实现了模块化编程。测试系统的状态机如图 5 所示,程序开始运行时进入初始化状态,在初始化状态结束后,判断初始化是否完成,如完成进入下一状态——等待测量状态。等待测量状态是测试系统待机时的状态,如果没有按钮按下,将一直维持这个状态,当有测量按钮按下时进入相应的测量状态,当程序结束按钮按下时,程序进入程序结束状态,关闭所有仪器,程序推出运行。测量状态是增益测量和噪声指数测量的执行状态,测量完成后进入数据存储和处理状态和报告生成状态,最后回到等待测量状态,等待下一个命令。

队列状态机的实现基于生产者/消费者模型,是队

列和状态机模型的结合,是 LabVIEW 大型应用程序设计中常用的流程控制模型。这样可以及时响应对前面板产生的事件,将前面板事件和后台测试程序分离,从而避免在程序运行时不响应虚拟仪器前面板事件的假死现象。

4 实验结果

4.1 增益测量

增益测量将对各个波长的 EDFA 输入光功率和输出光功率进行测量,求得增益后在增益图上显示。图 6 是入射光功率在 -40dBm~-20dBm,输入光功率间隔 5dB 时 EDFA 的增益图。可以看到在 1538~1560nm 的范围内,EDFA 的增益稳定在 33~36dB 波动,具有较高的线性,是理想 WDM 光纤放大器。随着入射光功率的增大,在 1530~1538nm 波段增益趋近于 35dB,这是由于随着入射光功率增大,光放大器的增益趋近与饱和。测量结果与 EDFA 标称的增益一致。

4.2 噪声指数谱

测量输入输出光功率和 ASE 功率。根据式(3)可计算出 EDFA 的噪声指数。

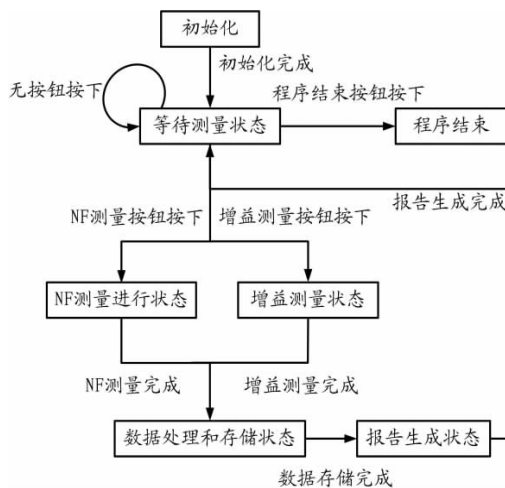


图5 队列状态机

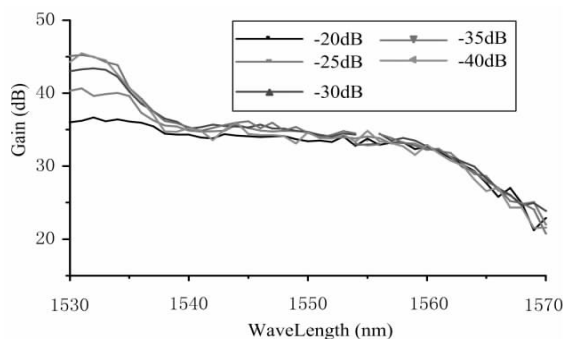


图6 入射光功率在-40dBm~-20dBm,输入光功率间隔 5dB 时 EDFA 的增益图

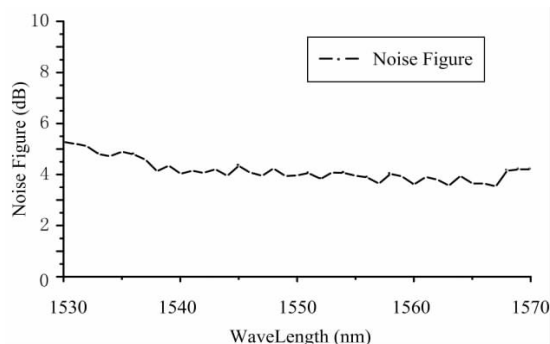


图7 光源入射光功率为 -19dBm 时,
1530~1570nm波段的噪声指数

光源入射光功率为 -19dBm 时,1530~1570nm波段的噪声指数如图7所示。从图中可以看到,噪声指数在4~6dB之间波动,与产品标称的噪声指数值相符。

5 结束语

本文设计的一套基于虚拟仪器的EDFA自动测试系统,实现了EDFA的增益和噪声指数的自动化测量。本系统减少了EDFA测试过程中的人工干预,降低了对操作人员素质的要求,提高了测试效率。本系统采用了时域法测量EDFA的ASE噪声功率,在保证ASE噪声通过的前提下关断了信号光,避免了ASE测量过程中信号光的干扰,提高了ASE测量的精度,从而提高了EDFA的增益和噪声指数的测量精度。硬件和软

件系统做少量修改即可用于光纤喇曼放大器等其他光纤放大器的自动测试系统。

参考文献:

- [1] 张成云,何振江,徐慧梁,等.光纤通信技术的发展现状和趋势[J].激光与光电子学进展,2004,41(3):26-29.
- [2] 张惠铎.光纤通信技术现状和发展[J].光通信研究,2003,(5):53-55.
- [3] 曹茂虹,刘礼.光纤通信技术的现状及发展趋势[J].光机电信息,2007,(3):
- [4] 时书丽.对EDFA增益和自发辐射噪声的研究[J].光纤与光缆及其应用技术,2003,(5):8-10.
- [5] 齐志勇.掺铒光纤放大器的模拟器研究[D].武汉:华中科技大学硕士学位论文,2004.5.
- [6] 杨建虎,戴世勋,胡丽丽,等.光纤放大器应用及研究进展[J].激光与光电子学进展,2003,40(5):33-38.
- [7] COKRAK A Cem, ALTUNCU Ahmet. Gain and noise figure performance of Erbium-doped fiber amplifiers (EDFA) [J]. Journal of electrical & electronics engineering, 2004,4(2):1111-1122.
- [8] 林风华,彭俊珍.掺铒光纤放大器(EDFA)特性与技术介绍[J].科技创业月刊,2007,(7):196-197.
- [9] 丁炜. EDFA 光纤放大器原理及应用(3): EDFA 的性能指标[J].有线电视技术,2005,(17):62-66.
- [10] 何华杰.EDFA 增益及噪声系数测试方法比较 [J]. 广东通信技术,1999,19(2):38-39.
- [11] DOUGLAS M Baney. Theory and measurement techniques for the noise figure of optical amplifiers [J]. Optical fiber technology,2000,6(2):122-154.

参考文献著录规则(二)——图书和期刊的著录格式

◆原著的著录格式:

[序号] 著者. 书名[M]. 版本(1版不著录). 出版地:出版者,出版年:起-止页码.

[1] 原荣. 光纤通信[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

[2] CRAWFORD GORMAN M. Future libraries: dreams, madness, & reality[M]. Chicago: America Library Association, 1995.

◆译著的著录格式:

[序号] 著者. 书名[M]. 译者,译. 出版地:出版者,出版年:起-止页码.

[1] AGRAWAL G P. 非线性光纤光学[M]. 胡国绛,黄超,译. 天津:天津大学出版社,1992.

◆期刊的著录格式:

[序号] 著者. 题名[J]. 刊名, 出版年份, 卷(期):起-止页码.

[1] 蒋超,张沛,张永军,等.基于SRLG不相关的共享通路保护算法[J].光通信技术,2007,31(7):4-6.

[2] DIANOV E M, BUFETOV I A, BUBNOV M M, et al. Three-cascaded 1407nm Raman laser based on phosphorus-doped silica fiber[J]. OPTICS LETTERS, 2000,26(6):402-404.

◆期刊(无卷)的著录格式:

[序号] 著者. 题名[J]. 刊名, 出版年份(期):起-止页码.

[1] 周可,冯丹,王芳,等.网络磁盘阵列流水调度研究[J].计算机学报,2005(3):319-325.