

文章编号: 1001-3806(2013)02-0169-05

基于 VC⁺⁺ 的 EDFA 自动校准及瞬态测试系统的开发

胡晓霜¹ 任海兰^{1,2*}

(1. 武汉邮电科学研究院, 武汉 430074; 2. 光纤通信技术和网络国家重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 为了减少校准测试过程中人为因素引起的误差,提升产品测试的精确度和测试效率,自主开发了一种掺铒光纤放大器自动校准测试系统。根据影响光学指标各因素设计合理的校准测试方案,设计了掺铒光纤放大器测试光路切换开关,利用通用接口总线对设备进行自动化控制,VC⁺⁺实现自动化控制及测试。采用分层的模块化设计,具有高内聚、松耦合的特点,多数子模块封装成动态链接库,软件的兼容性与扩展性强,其维护修改更加容易。经过试验验证,使用自动控制测试设备和光路切换开关的掺铒光纤放大器的研发测试效率提高了60%。结果表明,此自动校准测试系统能有效提高测试效率和测试精度,具有研发生产的实用价值。

关键词: 光纤光学; 光路切换开关; VC⁺⁺; 校准及瞬态测试

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.02.008

EDFA automatic calibration and test system based on VC⁺⁺

HU Xiao-shuang¹ REN Hai-lan^{1,2}

(1. Wuhan Research Institute of Post and Telecommunications, Wuhan 430074, China; 2. State Key Laboratory of Optical Communication Technologies and Networks, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to reduce the error caused by manual operation in test process, improve testing efficiency and accuracy, a new automatic erbium-doped optical fiber amplifier (EDFA) calibration and test system was developed. The optical switch in the testing system was designed according to the factors affecting the optical performance. The automatic device was controlled through general-purpose interface bus (GPIB) interface. The automatic control and test was realized by VC⁺⁺, the software was designed in modular pattern with high cohesion and low coupling characteristics. Major sub-modules were encapsulated as a dynamic link library so that the compatibility and expansibility of software was enhanced, and it's also easier to maintain and modify the software. The efficiency was improved by 60% in the experiments. The result indicates that the testing system is full of practical value for its high test efficiency and accuracy.

Key words: fiber optics; optical switch; visual C⁺⁺; calibration and transient test

引言

随着通信需求量急剧增加,光纤通信已经成为世界上主要的传输方式,而掺铒光纤放大器(erbium-doped optical fiber amplifier, EDFA)的出现是通信史上一次重大转变,它解决了光纤传输过程中损耗问题,推动了密集波分复用(dense wavelength division multiplexing, DWDM)系统的发展与应用,使长距离、高速率、大容量的光纤通信成为可能^[1]。由于EDFA模块制作需要经历盘盒、硬件设计、软件设计、校准、测试等步骤,其中校准的精确性直接影响功率自动控制速度,测试阶段如果采用人工操作耗时长,导致EDFA生

产周期较长,无法满足市场对EDFA模块的需求^[2]。现在多数用于EDFA控制的抽运表和监控功率探测器(power detector, PD)对应光路各点功率的表都是人工手动定标,这极大地制约了EDFA的生产效率,且精度低,并引入了误差^[3]。本文中主要研究基于VC⁺⁺的自动校准和测试系统,目的在于提高EDFA生产效率和测试精度,自主研发了光路开关盒,旨在实现光路自动切换,且实现光谱仪(optical spectrum analysis, OSA)、光功率计(power meter, PM)、示波器、可变光衰减器(variable optical attenuator, VOA)的自动控制,精确校准数据并对瞬态测试过程中掉光时的过冲值进行快速精确的计算。

1 EDFA的校准与测试方法

1.1 校准的目的与方法

EDFA要实现稳态和瞬态控制,需要实时监控模

作者简介: 胡晓霜(1987-),女,硕士研究生,主要研究方向为光纤通信。

* 通讯联系人。E-mail: renhl@wri.com.cn

收稿日期: 2012-05-22; 收到修改稿日期: 2012-06-21

块各点的出光功率^[4],当出光未达到要求时应微调抽运功率或者VOA的衰减值。EDFA模块达到某特定增益值时,现场可编程门阵列(field-programmable gate array,FPGA)需要一个抽运初始目标值,在初始值附近进行微调以便快速精确锁定出光功率,而FPGA设置给EDFA模块的初始目标值需要由一个入光光功率对应抽运功率大小的表来给出。通常传统情况下抽运的数模转换(digital to analog converter,DAC)值对应增益表是由人工手动设置抽运功率并用光谱仪扫描,这种方法需要人工手动多次设置抽运的DAC值,直至达到要求的信号出光功率,这种方式不仅耗时长,而且精确度不高。采用软件自动控制方式,其自动控制设备连接如图1所示。另外,为了避免频繁地人为插拔光纤连接器造成误差,自主研发了一款光开关盒,软件实现内部的开关切换。

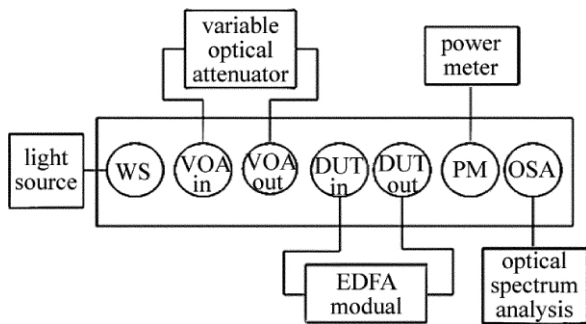


Fig. 1 Device connection picture of EDFA auto-calibration

光源接开关盒的波长开关(wavelength switch,WS)端口,衰减器的输入输出端分别接开关盒的VOA in和VOA out,EDFA模块输入端输出端分别接开关盒的待测产品入端口(device under test,DUT in)和待测产品出端口(device under test,DUT out),最后将功率计和光谱仪接到开关盒的PM和OSA端。开关盒内部可以在功率计与光谱仪之间切换,当切换至PM时,以便调整输入光和得到信号总功率;当切换至OSA时,利用OSA扫描信号谱。

判断校准有效的标准有两个:噪声指数(noise figure,NF)和增益平坦(gain-flattened,GF)。在实际的EDFA模块中,NF的计算公式可用下式表达:

$$f_{NF} = \frac{1}{G} \left(\frac{P_{ASE}}{h\nu\Delta\nu} + 1 \right) \quad (1)$$

式中, G 为增益, P_{ASE} 为放大自发辐射(amplified spontaneous emit,ASE)的功率, h 为普朗克常数, ν 为信号光频率, $\Delta\nu$ 为接收器带宽^[5]。NF指标由光谱仪计算得出。分析(1)式可知,增益 G 越大, f_{NF} 越小,而光路前段部分对 f_{NF} 的影响比较大,故若整体NF超标,调节前端抽运的值增大前段的增益,对改善NF有明显作用。增益平坦GF的影响因素有很多,在增益平坦滤

波器(gain flattening filter,GFF)设计优良,光路设计以及所给纤长合理的情况下,需要微调EDFA内部的VOA衰减值,便可使输出光功率平坦度达到要求。

自动化校准时,各设备仪器通过通用接口总线(general-purpose interface bus,GPIB)与PC通信实现自动化控制,EDFA模块与PC之间使用的是串行外设接口(serial peripheral interface,SPI)通信。自动校准系统结构图如图2所示。

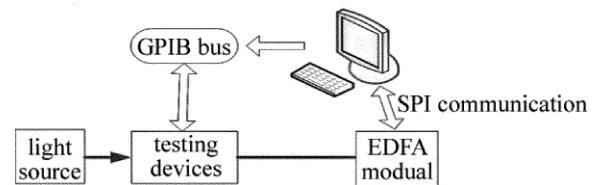


Fig. 2 Structure of EDFA auto-calibration

1.2 EDFA瞬态测试方法

EDFA瞬态测试即模拟实际通信过程中,DWDM系统中在波数突然减少的情况下,能否保证输出功率稳定不过冲^[6]。测试时,通常模拟多个波长突然减少至一个波长,或由一个波长突然增至多个波长的最恶劣情况,并测试波长数减少至一半时的中间情况。

瞬态过程中,有两项关键指标:过冲和稳定时间。

(1)单波输出过冲。在输入光剧烈变化时,单波输出会有大的过冲,FPGA内部根据输入光功率和增益计算出单波的输出功率,并调整抽运功率使输出锁定到要求单波功率,调整过程中会造成单波功率不稳定产生过冲,要求最大过冲不超过要求值。

(2)稳定时间。在实际通信过程中,掉波的直观表现是输入光功率变小^[7],从输入光变化的时刻到稳定输出锁定单波功率值的那一段时间称为稳定时间。瞬态过程的稳定时间要尽量短。

EDFA自动瞬态测试的光路如图3所示。首先函数发生器(function generator,FG)连接光调制器(A/O),多波光源(multi-light source,MLS)和衰减器的组合设备连接调制器,衰减器控制进入EDFA的各波长功率;并有一路可调激光源(tunable laser source,TLS)与多波进行合波,通常情况下测试常用的掉波波长为1529nm,1543nm和1563nm,经过调制器使进入EDFA的波长从多波到单波之间变化,合波后经过分光器(coupler,CPL)分出两路光,一路用于输入接示波器监控,另一路进入主光路经EDFA放大;调制后的波经EDFA后输出,经过分光器分出3路光,分别接1529nm,1543nm和1563nm滤波器,紧接着接示波器监控单波功率。由于光电转换器(optical-to-electrical,O/E)的饱和输出范围有限,超出了其饱和输出光功率的范围,可能导致不能真实地还原单波的谱型,故在示波器之前加一个衰减器

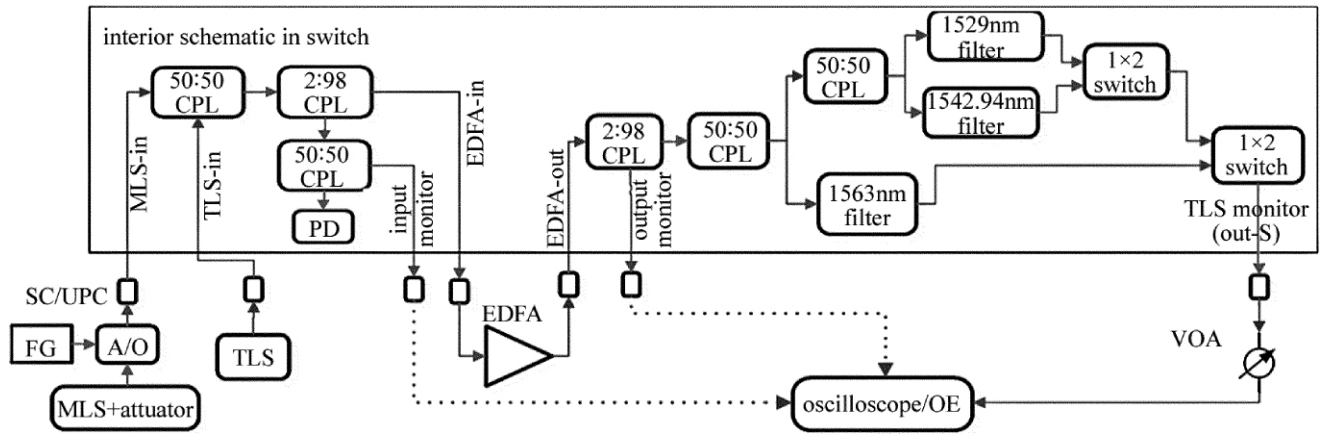


Fig. 3 Switch structure of transient testing

用于调整输出光的大小。瞬态测试的要求是在输入光为上升沿和下降沿时,输出的单波功率不会产生过大的上冲或者下冲,且有较短的稳定时间^[8]。

调制时的高电平为多波情况,低电平为掉波的情况,所需要观察的就是在上升沿及下降沿变化的瞬间,单波输出是否有大的过冲^[9]。通常情况下,要求单波功率在各种变化情况下保证过冲不超过 1dB,稳定时间不超过 100μs。

2 软件设计

EDFA 校准测试系统的软件采用 VC++ 编写,采用多线程实现模块化编程^[9]。整个测试系统分为 Xmodem 下载模块、串口通信模块、设备控制模块、校准模块、瞬态测试模块。

(1) Xmodem 下载模块

Xmodem 是一种传输协议,Xmodem 模块是将校准产生的各类用于 FPGA 控制的表打包成 bin 文件格式,下载到 EDFA 模块内部的 Flash 中,模块运行时便于微控制单元(micro control unit, MCU)或者 FPGA 读取。

(2) 串口通信模块

此模块用于下发命令给下位机,便于校准过程中的灵活控制。

(3) 设备控制模块

自动测试需要用到各类相关设备,如光谱仪、光功率计、衰减器、示波器、开关盒等,采用 GPIB 线与 PC 通信。

(4) 校准、瞬态测试模块

校准时首先判断输出功率是否达到要求,如果不满足输出要求则通过串口下发命令,调整抽运功率大小,若功率达标,接着判断输出谱形的 GF 是否满足客户要求说明书的要求,GF 平坦通过模块内部 VOA 调整,最后校准的原始数据进行拟合生成的表项用于 FPGA 查询控制,具体流程控制图如图 4 所示。瞬

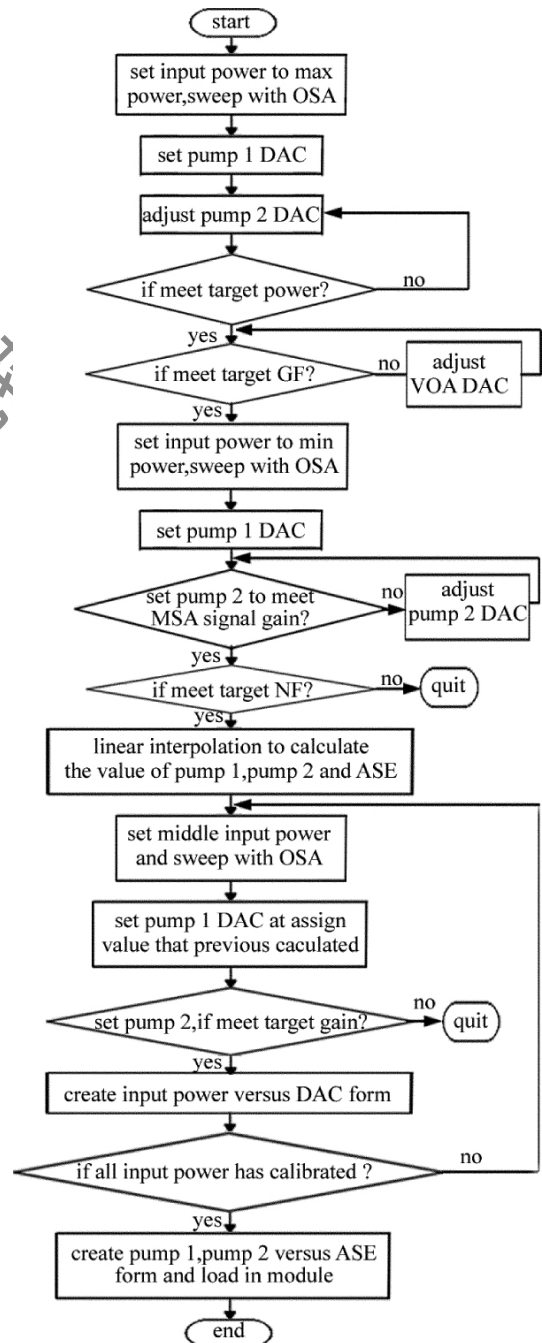


Fig. 4 Flow chart of software calibration

态测试模块根据掉波功率自动配置多波和单波功率,打开调制开关,自动捕捉示波器掉波及上波的波形变化,捕获示波器的波形存储于指定路径下,便于后期数据分析。瞬态测试流程如图5所示。

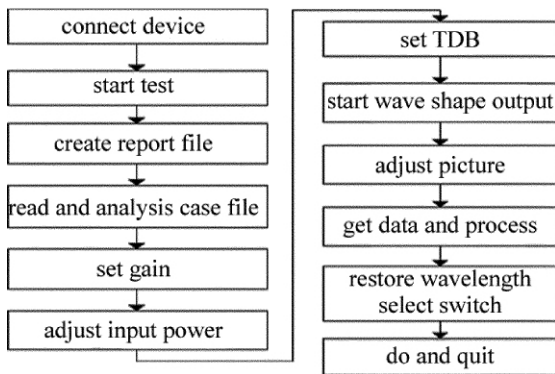


Fig. 5 Flow chart of transient testing

3 实验

3.1 测试过程中问题及解决方案

自动校准测试系统测试过程中出现一些问题。

(1) 开关盒引入的插损

由于 EDFA 模块是通过测试开关盒连接到 OSA 和功率计进行校准的,而测试开关盒内部有一定的插损^[10],因此,每隔一段时间应该进行一次开关盒内部系统校准,将内部插损补偿到出光功率中,如此保证实际 OSA 扫描的信号功率真实反映实际输出光功率。

(2) 功率计探测范围限制

受到功率计探头探测光功率的范围限制(有的探头的最大探测功率上限只有 15dBm),致使高功率的光探测不准确,影响测试精度。在输入光为 -9.5dBm、增益锁定 27.5dB 情况下,功率计探测到的功率只有 15.1dBm,与期待输出光相差很大。系统采用了在 DUT out 端前加一个可调的衰减器,人为将输出光功率降低,再接到功率计上进行探测,在系统校准时记录下可调衰减器的衰减量,实际光功率则为功率计读数加上这个衰减量,这种方式探测到的光功率实际值为 18.06dBm。

(3) 开关切换速度与程序运行速度匹配问题

Windows 界面下开发的自动化校准测试程序运行速度很快,而开关盒内部开关切换速度跟不上程序运行速度,导致无输出光。因此每次在切换开关时,将程序挂起一段时间,等待开关完全切换完成之后再运行,一般设置挂起时间为 600ms。

以往人工手动校准测试时间至少需要 15h,而采用此自动校准测试系统后,只需要 6h 即可完成所有工作,其效率提高了 60%。

3.2 实验结果

3.2.1 增益平坦谱 校准测试 EDFA 模块常温下的测试结果如图6所示:波长在 1529.53nm ~ 1563.84nm 范围内,输入光功率分别为 -9.5dBm 和 -28.5dBm 下的 GF 谱线,满足平均增益 27.5dB 的要求,平坦度都在 0.9dB 以内。

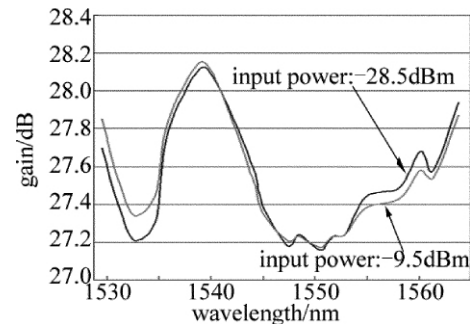


Fig. 6 Gain flatness contrast between high input power and low input power

3.2.2 瞬态结果 示波器自动抓取的瞬态图如图7所示,其中曲线1为监控的单波功率,曲线2为输入光功率监控。由图7a中可看出,当输入波长掉至单波的情况下,单波功率会有一个大的向上过冲,随后逐渐趋于平稳。图7b是FPGA控制方法改善后的上波情况,过冲得到很大的改善。

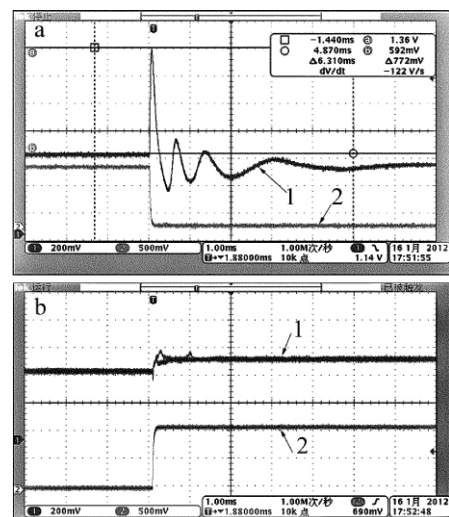


Fig. 7 Contrast picture of FPGA process
a—before processed b—after processed

4 结论

设计了一套自动校准测试 EDFA 的软件系统,实现了所需表项的自动生成功能,为 FPGA 提供了控制参考值,在瞬态自动测试中能捕捉清晰准确反映瞬态过程的图谱。此系统采用 GPIB 接口控制测试设备,降低了测试过程中的人工干预,降低了测量误差,提高了工作效率。

参 考 文 献

- [1] WANG Z H, ZHENG K R. Application of phase-shifted long period grating in EDFA gain flatness [J]. *Journal of Apto-Electronic Engineering*, 2012, 39(2): 7-11(in Chinese).
- [2] LI N, WANG J, PENG Y X, *et al.* High power Er/Yb co-doped fiber amplifiers with optimum fiber length [J]. *Laser Technology*, 2010, 34(6): 757-760(in Chinese).
- [3] YANG X J, LIU H L, LI G Y, *et al.* EDFA automated test system based on LabVIEW [J]. *Journal of Optical Communication Technology*, 2009, 33(7): 11-14(in Chinese).
- [4] GAO Y D, XIAO T J, WANG G, *et al.* The design of remote test system based on GPIB interface [J]. *Journal of Microcomputer Information*, 2008, 24(10): 234-236(in Chinese).
- [5] WANG X, DING L. Automatic gain control of EDFA cascades in WDM system [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2003, 14(10): 1038-1042(in Chinese).
- [6] ZHOU W J, WANG R B, LI Z R. Experiment study of distributed fiber raman amplifier [J]. *Laser Technology*, 2010, 34(3): 373-376(in Chinese).
- [7] YU X Y, CAO W H. EDFA-based ultrashort optical pulse amplification and its development [J]. *Journal of Laser and Infrared*, 2009, 39(7): 703-706(in Chinese).
- [8] FEI H F, YU Z H, JI C J. Characteristics of L-band EDFA and its optimization design [J]. *Journal of Quantum Electronics*, 2008, 25(1): 94-98(in Chinese).
- [9] CHENG L, ZHANG J. Transmission document design based on serial port definition agreement [J]. *Journal of Computer Technology and Development*, 2012, 22(2): 45-48(in Chinese).
- [10] XIAO P P, QI M. Research of eletro-optics switches based on twice attenuated total reflection configuration [J]. *Laser Technology*, 2012, 36(1): 84-86(in Chinese).

版权所有 © 《激光技术》编辑部