

文章编号:1005—8788(2001)04—0029—04

全光传输—光放大器与光孤子通信

黄淑芳¹,熊卫东²

(1. 华中科技大学 光电子工程系,湖北 武汉 430074;2. 武汉第一轻工业学校,湖北 武汉 430051)

摘要:介绍了光纤放大器特别是掺铒光纤放大器(EDFA)的性能及其关键技术,并介绍了光孤子的非线性效应和特点,以及光孤子通信系统.

关键词:全光传输;掺铒光纤放大器;光孤子通信

中图分类号:TN929.1 **文献标识码:**A

All-optical transmission—optical fiber amplifier and optical soliton communication

HUANG Shu-fang¹,XIONG Wei-dong²

(1. Dept. of Optoelectronics Eng., HUST, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan No. 1 Light Industry School, Wuhan 430074, China)

Abstract: The performance and key technology of optical fiber amplifier, specially EDFA, are introduced in this paper, the effective and characteristics of nonlinear are given, and optical soliton communication system is introduced.

Key words: all-optical transmission; EDFA; optical soliton communication

1 概 述

光通信技术的发展一直围绕着提高传输容量和扩大全光传输距离等方面展开,提高传输容量主要通过提高信道速率(ETDM 和 OTDM)和增加信道数量(DWDM)等方法来实现.扩大全光传输距离的途径则主要是采用光放大、色散补偿和光孤子传输等技术来克服光信号在光纤中的色散、衰减和非线性效应等因素引起的严重的信号畸变.传统的光纤长途传输系统中,需要隔一定距离就增加一个再生中继器才能保证信号的质量.这种再生中继器的基

本功能是进行光—电—光转换,并在光信号转换为电信号时进行再生、整形和定时处理,恢复信号波形和幅度,然后再转换成光信号沿线路继续传输.显然这种方式十分麻烦,设备复杂,可靠性不高.多年来,人们一直在探索能否去掉上述光—电—光转换过程,实现全光传输.掺铒光纤放大器(EDFA)的实用,在一定程度上解决了光纤衰减对光信号传输的影响,色散补偿技术和新型的非零色散光纤的应用也大大缓解了色散和非线性效应的影响,这些技术使全光传输距离大大增加.但要实现真正的全光传输还存在着很大的技术障碍,光孤子通信技术是有望突破技术障碍、实现全光传输的有效手段之一.

2 光放大器

2.1 几种光放大器的分析与比较

迄今为止,已研制成功三种光纤放大器,即半导体光放大器(SOA)、喇曼光纤放大器(RFA)和掺稀土元素的光纤放大器. SOA 的尺寸最小,频带很宽,增益也很高,易于与其它的光电子器件进行混合集成,可工作于整个光纤的低损耗窗口. 它不仅可用作光放大,还可用作波长转换、锁模和光时钟提取,是光传送网中的关键器件. 但 SOA 最大的弱点是与光纤的耦合损耗很大,噪声也大,且增益对光纤的极化和环境温度很敏感,因此稳定性差. RFA 是利用光纤的非线性光学效应—受激喇曼散射(SRS)效应产生的增益机制而对光信号进行放大的,其优点是传输线路与放大线路同为一体—光纤,因而放大器与线路的耦合损耗很小、噪声较低、增益稳定性也较好,但需要很大的泵浦功率(数百 mW)和很长的光纤(数 km),其次,FRA 的特性对光纤极化也很敏感. FRA 是目前唯一能在 1 260~1 675 nm 的光谱上进行放大的光放大器,目前已成为研究热点,其发展前景看好.

掺稀土元素的光纤放大器是利用在光纤中掺杂稀土元素引起的增益机制实现光放大的,其优点是结构简单、与线路的耦合损耗很小、噪音低、增益高. 光纤放大器的特性与光纤极化状态无关,所以泵浦功率也较低.

综合分析比较上述三种光纤放大器,人们更倾向于掺稀土元素的光放大器,特别是掺铒光纤放大器(EDFA)近年来倍受青睐.

EDFA 已于几年前商用,ITU-T 也已完成了相关的标准化工作. 随着技术经济性能的进一步改进,目前 EDFA 已渗透到光纤通信的各个领域(从长途越洋通信到用户网,从公用电话网到有线电视(CATV)分配网),尤其是促进了 DWDM 技术的发展. 随着 DWDM 系统复用波长数不断增加,EDFA 的增益带宽已从目前商用的 35 nm 带宽进一步扩展到 80 nm 以上,从而使光传输频段从现有的 C 波

段扩展到 L 和 U 波段,大大提高了光纤通信系统的容量和距离. 目前,光纤通信容量的最高实验水平已达到 16 Tbit/s. 可以认为 EDFA 的研制成功是光纤通信发展史上的一个新的里程碑.

2.2 EDFA 的性能与关键技术

一个典型的 EDFA 由掺铒光纤、泵浦源和波分复用器组成. 其中掺铒光纤提供放大,泵浦源提供足够强的泵浦功率,波分复用器起信号光与泵浦光混合的作用.

2.2.1 主要性能

(1) 功率增益

光纤放大器的功率增益指输出功率与输入功率之比,通常为 15~40 dB,最高值达 46.5 dB.

(2) 输出饱和功率

输出功率并不总是与输入功率成正比增加的,而是呈现饱和趋势,通常将信号功率增益相对于非饱和状态增益跌落 3 dB 点的功率看作是最高输出信号功率,一般为 8~15 dB. 该值随泵浦功率的增加而增加,因而,为了获取高功率输出,要求输入功率大且泵浦功率强.

(3) 噪声系数

光纤放大器的噪声来自信号、自发辐射、反射以及自发辐射之间的差拍噪声. 其中,差拍噪声起主导作用. 差拍噪声是自发辐射光之间,以及被放大的光信号与自发辐射光之间产生的. 通常,大部分自发辐射之间的差拍噪声可以利用光带通滤波器滤除. 目前商用的 EDFA 噪声系数约为 3~5 dB.

2.2.2 关键技术

光纤放大器的主要关键技术是掺铒光纤和泵浦源,作为信号光和泵浦光复用的光耦合技术也很重要.

(1) 掺铒光纤

光纤放大器能够有放大作用的关键是具有增益特性的掺铒光纤,因而使掺铒光纤的设计最佳化是主要技术关键.

在实际制作掺铒光纤时可以有多种制造方法,但要注意控制掺杂剖面避免发生聚焦,掺杂离子浓度也应限制在 100×10^{-6} 以下.

掺铒光纤的长度选择也很重要,为使信号光和泵浦光能有效地交换能量,要求光纤有一定的长度使信号能充分地从离子系统吸收能量,但光纤长度过长会使泵浦功率迅速下降,最终使信号光不仅不能获取能量,反而被吸收能量,因而存在一最佳的光纤长度范围,约几十 m,该长度还与掺杂浓度有关。

(2) 泵浦源

对泵浦源的基本要求是高功率和长寿命。它是保证光纤放大器性能的主要因素,目前泵浦源多选用 1 480 nm 的 MQWInGaAsP 激光器,其输出功率可达 100 mW。当然,泵浦功率也不宜太大,主要受限于光纤的布里渊散射。

(3) 光复用技术

光纤放大器的复用器的作用是使泵浦光与信号光进行混合并具有最小的损耗,因而适用的 WDM 器件主要有两类,即熔融拉锥形光纤耦合器和干涉滤波器,两者都适用于光纤放大器应用。

3 光孤子通信

3.1 孤子非线性效应

光孤子是一种光强达到和超过非线性阈值的脉冲,它的非线性光强导致光纤的折射率产生非线性效应。光孤子的非线性效应可以抵消色散对脉冲的展宽,但是光纤在传输光信号过程中,脉冲能量仍存在损耗,可以使脉冲的光强越传越弱,在光强低于非线性阈值时,就变成了线性脉冲,与普通的光通信没有区别,光纤色散仍然会展宽脉冲使之变形,传输的信息就会失真,为此需要采用光放大器进行能量放大,使其光强恢复到原来设计的要求。这样光孤子脉冲的非线性效应又可起作用,自行缩窄,以保证光孤子沿光纤周期性而稳定地传播到数千 km 之外。

3.2 孤子的特点

(1) 光孤子的脉冲很窄,可以窄到几个 ps,使脉冲间隔是脉宽的 10 倍,传输速率可达 $10 \sim 100$ Gbit/s,比常规的单信道通信高 1~2 个数量级。

(2) 光孤子非线性系统,适用孤子激光器发射

脉冲,发射波长和脉冲都很稳定,且系统检测分辨率高。

(3) 光孤子脉冲能量高,每个脉冲含 10^6 个光子,所以在常规系统接收检测中由于光子数少,而引起的统计误码问题的恒定威胁绝对不会出现,而且信号能量高,允许降低检测器灵敏度来提高响应速度,保证高速传输检测。

(4) 信号能量高的另一个好处是在系统分支处只需放出百分之几的脉冲能量,就可提供易于检测的低误码信号。而分出能量给传输带来的损失,通过少许提高喇曼泵浦光增益来补偿。

(5) 可实现全光传输,成本低、稳定性好、分辨率高,大大提高传输的质量。

3.3 光孤子通信系统

光孤子通信系统由激光器(孤子源)、光调制器、光放大器、光探测器、解调器和光纤等组成。在光孤子通信系统中,由于光孤子脉冲的非线性效应,脉冲能自行缩窄整形等,理论分析表明,采用光孤子通信技术后,传输速率可高达 1 000 Gbit/s(1 Tbit/s),Bell 实验室的专家们还认为这种信号波长大于光纤零色散波长的全光孤子系统是超长距离、超高速全光传输的唯一解决方案。在光孤子通信系统中,光放大器是非常关键的技术。Bell 实验室提出每隔一段距离(30~100 km),以喇曼泵浦光耦合入光纤,对光信号进行喇曼放大。近几年来,也发展了用 EDFA 预增强技术来替代喇曼放大,取得了较好的效果。采用光放大器会不可避免地引入自发辐射噪声,这种噪声与孤子相互作用后引起孤子中心频率的随机抖动,从而产生孤子到达接收端时间的抖动(戈登—豪斯效应),这种效应是影响光孤子通信系统容量、放大器间距和全光传输距离的重要因素。

从世界范围来看,光孤子通信技术已取得了很大的进展,例如,Bell 实验室已实现了以 5 Gbit/s 速率传输 15 000 km 的单信道孤子系统;瑞典、意大利等国已进行了一些高水平的现场试验。目前光孤子通信技术的研究热点是光孤子波分复用系统,如日本 NTT 进行了以 640 Gbit/s(16×40 Gbit/s)传输 1 000 km 的 DWDM 孤子传输实验;法国也进行了

1.02 Tbit/s (51×20 Gbit/s) 传输 1 000 km 的 DWDM 孤子传输实验. 在今后 5~10 年内, 这种优越的全光通信系统将可能商用.

4 结束语

光纤放大器, 尤其是 EDFA, 已进入实用化阶段, 它在光纤传输系统中被广泛应用, 大大提高了光纤传输系统性能, 是实现长距离传输的关键器件, 是

光纤通信发展史上的一个新的里程碑. 光孤子通信系统是实现超长距离、超高速传输的全光通信系统, 具有无限广阔的应用前景. 当然光孤子通信系统要真正进入实用化尚需解决一系列实际应用的具体问题, 这并不容易, 但其无比巨大的应用潜力是很吸引人的, 我们相信, 这种吸引力将会促使科研人员努力解决实用化过程中的难题, 从而加速其实用化的进程.

参考文献:

[1] 韦乐平. 光纤通信技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1994.
[2] 雷肇彬. 光纤通信基础 [M]. 北京: 电子科技大学出版社, 1997.



※ 简 讯 ※

烽火公司 ADSL 设备获得信息产业部入网证

烽火公司推出的 ADSL 局端 (AN2100) 和远端设备 (AN1020) 近期顺利获得信息产业部颁发的电信设备进网许可证. 该系列 ADSL 局端设备支持全速率 ADSL (G. DMT) 和 G. lite, 设备测试结果各项指标优良. 同时, 该设备还在用户现场顺利实现了和烽火公司原有 IBAS 系统的互通, 再次丰富了 IBAS 系统的功能. 该系统的推出为客户提供了由窄带向宽带接入网过渡的基于现有铜线的优选方案, 进一步丰富了烽火公司的接入网产品系列.

本次推出的 AN2100 ADSL 系统, 包括 ADSL 局端集线、控制设备和远端用户接入设备, 它们可以堆叠, 可以实现多路访问, 提供多种业务. 局端由控制器、集线器和以太网交换机组成. 为减少建设成本, 该系统集成了全面的第 2 层、第 3 层远程管理功能. 扩展的网络管理使得设备即插即用安装、自动配置、语音和数据网络的透明集成都变得简单.

对于运营商和服务提供商而言, 通过 AN2100 平台优异的带宽性能来提供新的增值服务, 是一个十分理想的解决方案. 系统的主要特性如下:

支持多种 WAN 接口: OC3/STM1, T1/E1, SDSL, 10/100BASE-T 和 V. 35. 在 CO 侧可通过以太网接口、ATM 接口或其它各种数据接口和各种局端网络相连, 以适应不同的网络环境; 通过现有的传统电话铜缆即可同时进行即时语音和高速数据传送; 增强 ADSL: 下传速度可达 15 Mbit/s.; 对于 VDSL 用户, 带宽可升级至 52 Mbit/s; 通过用户管理功能可为每个帐户预先分配带宽; 堆叠和扩展功能可灵活满足用户对端口的需求; 使用 56 K 的拨入调制解调器可进行远程管理; 通过全面的 WINDOWS 图形化管理软件, 可进行授权、预备、监视、软件升级和其它的管理任务.

(魏 智 程 凯)