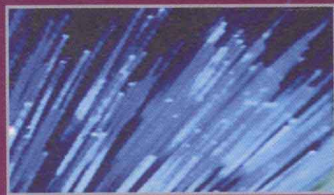


光纤放大原理及 器件优化设计

程 成 程潇羽 编著



科学出版社

光纤放大原理及器件优化设计

程 成 程潇羽 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书首先概述了用于光纤放大器的稀土离子的基本物理性质和光谱特性,介绍了光纤通信中的主力光纤放大器——掺铒光纤放大器的工作原理和研究方法.在简述了纳米晶体(量子点)的基本概念和量子点的理论模型之后,讨论了半导体量子点的光学特性、实验室量子点和量子点光纤的制备、量子点的热稳定性;然后,详细讨论了量子点光纤光谱、单/多掺杂量子点光纤放大器的增益带宽和噪声特性、量子点光纤激光器等.在器件优化设计部分,简述了遗传算法,给出了遗传算法应用于光纤放大器优化设计的一些例子.最后,介绍了光纤通信系统中的器件与集成、光纤放大器的组成及其噪声特性等.

本书有两个特点:一是系统讨论了用量子点代替传统的天然稀土离子作为增益介质的量子点光纤和量子点光纤放大器;二是将具有全局优化特点的遗传算法引入到光纤放大器的优化设计中.

本书可作为物理类光学、光学工程、通信工程、光电子技术等领域的教学参考书,也可供相关科学和工程技术人员参考使用.

图书在版编目(CIP)数据

光纤放大原理及器件优化设计/程成,程潇羽编著. —北京:科学出版社,2011
ISBN 978-7-03-029919-2

I. 光… II. ①程…②程… III. ①光纤放大器-最优设计
IV. ①TN722.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 002511 号

责任编辑:窦京涛 / 责任校对:何艳萍

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

盛 志 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011 年 1 月第 1 次印刷 印张:20

印数:1—2 500

字数:373 000

定价:49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

光纤通信技术是人类通信史上的一个重要突破,2009 年的诺贝尔物理学奖授予了光纤理论物理学家就是一个明证. 在光纤通信系统中,光纤放大器是一个重要的有源器件. 光纤放大器带来了光纤通信领域革命性的进步,促进了波分复用技术、全光网络技术的发展,极大地提高了通信带宽、传输容量和传输速度,是光纤通信技术发展的里程碑.

在光纤通信领域中,目前得到广泛应用的主要是掺铒光纤放大器. 经过 20 多年的不断改进和完善,掺铒光纤放大器已经发展到极致,它的增益、带宽和噪声等都已接近其技术能力之极限. 然而,伴随着信息社会的不断发展,人们对通信网容量和速度的要求不断提高,希望未来的光纤放大器具有更宽的带宽、更低的噪声和更高的平坦增益. 因此,人们期待一种更好的光纤放大器能早日出现.

该书是新型光纤放大器研究上的一次有益尝试. 此前,虽然国内已出版过若干本关于传统掺铒光纤放大器的专门书籍,但关于量子点掺杂的光纤放大器的书籍,据本人所知还是第一次. 尽管量子点掺杂光纤放大器是一种尝试,可能并不完善或有缺陷,但仍然可以视为一种新思维和新技术路线. 另外,将近年来发展得比较快的遗传算法引入光纤放大器的优化设计中,也是一种有益的探索.

该书的第一作者是我回国任“长江学者”之后指导毕业的第一位博士,2004 年获得了全国百篇优秀博士论文奖. 该书指导思想明确,理论体系完整,语言论述严谨,章节安排合理,内容由浅入深,并汇聚了一些作者所在研究小组近年来科研工作的介绍. 我相信,该书的出版,将有助于学生深入了解光纤放大器并掌握相关分析方法. 同时,作为学术研究的参考书,该书还将有助于相关科学和工程技术人员全面了解光纤放大器并开拓研究思路.

何赛灵

2010 年 10 月 22 日

前 言

光纤放大器是光纤通信系统中的一个重要器件。虽然 GPS(全球定位系统)无线通信网在全球的通信系统中扮演着越来越重要的角色,但有线光通信网络仍然是目前以及今后相当长一段时间内主要的、基本的通信手段。在有线光网络通信系统中,作为对信号光进行放大的光纤放大器具有一系列的优点,如稳定、可靠、高性价比、高增益、宽带、低噪声、低损耗、全光放大等。光纤放大器技术解决了光纤衰减对光网络传输速率与距离的限制,开创了通信波段的波分复用技术,使得超高速、超大容量、超长距离的波分复用、密集波分复用、全光传输、光孤子传输成为现实或有望成为现实。可以毫不夸张地说,光纤放大器已经成为光纤通信发展史上的一个里程碑。

本书首先概述了构成光纤放大器的掺杂稀土离子的基本物理性质和光谱特性;讨论了目前的主力放大器——掺铒光纤放大器的基本原理和研究方法;简单介绍了另一种掺杂光纤放大器——掺铋光纤放大器;在介绍了纳米晶体量子点的基本概念、量子点的光学特性以及实验室量子点和量子点光纤的制备这些必需内容之后,详细讨论了量子点光纤光谱以及量子点光纤放大器的增益带宽和噪声特性;然后,介绍了遗传算法,论述了近年来遗传算法应用于光纤放大器的优化设计;最后,概述了光纤通信系统中的器件与集成、光纤放大器在光纤通信系统中的组成以及噪声特性。

本书有两个特点:一是系统地论述了用人工纳米晶体量子点代替传统的天然元素,将量子点作为掺杂材料掺入光纤放大器中,研究了由此构成的量子点光纤以及量子点光纤放大器的各种特征参量;二是将具有全局优化特点的遗传算法引入光纤放大器的优化设计中。尽管这两个方面的尝试可能都不很成熟,抑或若干年之后会被更好的创新所代替,但笔者仍然认为这是一种新的学术思想的提出和新技术的尝试,创新本身就是一个后浪推前浪的过程,作为抛砖引玉,值得向广大读者推荐介绍。

博士研究生许周速参与了初稿的校对等工作,硕士研究生江慧绿、王若栋、王孙德、林彦国参与了部分文字录入以及图表绘制等工作。他们为本书的成稿付出了辛勤的劳动,在此表示感谢。

近两年以来,张洪英女士为之度过了许多个寂寞之夜,我心有深深的歉意。值本书完成之际,我甚感欣慰,并以此谨作回报。

本书内容所涉及的研究工作得到了国家自然科学基金项目(No. 60777023、No. 60677049)和浙江省自然科学基金重点项目(No. Z407371)的资助,出版得到了浙江工业大学专著与研究生教材出版基金的部分资助,在此表示衷心感谢.



2009 年 10 月 20 日于杭州朝晖苑

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 光纤通信的发展	2
1.2.1 光纤通信发展简介	2
1.2.2 全光网	3
1.3 光纤放大器	5
1.3.1 光放大器的分类	5
1.3.2 掺铒光纤放大器	5
1.3.3 掺铥光纤放大器	7
1.3.4 掺镨光纤放大器和掺铈光纤放大器(NDFA)	8
1.3.5 量子点光纤放大器(QDFA)的提出	8
1.3.6 非线性光放大器	10
1.3.7 半导体光放大器	12
1.3.8 几种光放大器的比较	13
1.3.9 光纤放大器的增益平坦技术	15
1.4 光纤放大器的市场和发展	16
1.4.1 光纤放大器的市场	16
1.4.2 光纤放大器技术的发展	17
参考文献	17
第 2 章 稀土离子简介	18
2.1 稀土元素原子物理	18
2.1.1 4f 电子壳层	18
2.1.2 4f 电子光谱	20
2.1.3 半经验的原子和晶体场的哈密顿函数	22
2.1.4 能级适配	25
2.2 稀土离子光谱	25

2.2.1	$4f^N$ 跃迁的特征	25
2.2.2	单光子跃迁强度——Judd-Ofelt 理论	25
2.3	基本光学性质	28
2.3.1	跃迁截面	28
2.3.2	能级寿命	34
2.3.3	线型和谱线加宽	36
2.4	Er^{3+} 离子光谱	41
2.4.1	能级结构和光谱	41
2.4.2	能级寿命	42
2.4.3	截面和谱线宽	44
2.5	Er^{3+} - Er^{3+} 的相互作用	48
	参考文献	51
第3章	掺铒光纤放大器	53
3.1	三能级系统	53
3.1.1	三能级模型	53
3.1.2	三能级速率方程	54
3.1.3	小信号增益	56
3.1.4	增益饱和	58
3.1.5	光纤的最佳长度	59
3.1.6	重叠因子	60
3.2	二能级模型	63
3.2.1	二能级近似	63
3.2.2	一般情况下的速率方程	64
3.3	放大的自发辐射	65
3.3.1	噪声功率和噪声带宽	66
3.3.2	噪声系数(NF)	66
3.3.3	噪声功率方程	68
3.4	二能级系统的解析法	68
3.5	包含放大自发辐射的建模	70
3.5.1	速率方程	71
3.5.2	平均反转和均匀展宽	72
3.5.3	非均匀展宽	73
3.6	高浓度掺铒的能级上转换	74
3.6.1	引言	74

3.6.2 能级跃迁和速率方程	75
3.6.3 实验结果及讨论	78
3.7 径向效应	83
3.8 激发态能级的吸收	87
3.8.1 速率方程	87
3.8.2 ESA 存在时模拟计算的结果	88
参考文献	90
第4章 掺铥光纤放大器	91
4.1 掺铥光纤放大器的提出	91
4.2 基本原理	92
4.2.1 概述	92
4.2.2 单波长泵浦	94
4.2.3 双波长泵浦	95
4.3 速率方程	96
4.3.1 能级	96
4.3.2 1050/1560nm 双波长泵浦	97
4.3.3 1400/1560nm 双波长泵浦	99
4.3.4 数值计算	99
4.4 掺铥光纤放大器的放大特性	101
4.4.1 1050/1560nm 双波长泵浦	101
4.4.2 1050/1560nm 双波长泵浦的增益位移	103
4.4.3 1405/1560nm 双波长 LD 泵浦	105
4.4.4 1405/1560nm 双波长泵浦的增益位移	106
4.4.5 1050/1560nm 和 1405/1560nm 双波长泵浦的比较	107
4.4.6 1560nm 泵浦的增益平坦和增益控制	108
4.4.7 小结	108
4.5 参量对掺铥放大器性能的影响	109
4.5.1 光纤参量的影响	109
4.5.2 泵浦光功率的影响	112
4.6 掺铥光纤放大器的应用与扩展	113
4.6.1 应用	113
4.6.2 与拉曼放大器联合	113
4.6.3 C-L-S 三波段联合	114
参考文献	115

第 5 章 量子点简介	116
5.1 量子点概述	116
5.1.1 基本概念	116
5.1.2 量子点的特殊性质	117
5.1.3 量子点的表征手段	119
5.1.4 量子点的发展简史	121
5.2 量子点的理论模型	121
5.2.1 “球中的粒子”模型	121
5.2.2 有效质量近似	123
5.2.3 经验赝势法	124
5.2.4 紧束缚法	124
5.3 量子点的光学特性	124
5.3.1 量子点的结构	124
5.3.2 量子点的发光模式	127
5.3.3 量子点的吸收和辐射特性	128
5.3.4 吸收截面的估算	132
5.3.5 PbSe、PbS 和 CdSe、CdS 量子点的比较	134
5.4 量子点掺杂对本底折射率的影响	136
5.4.1 本底溶剂的折射率	136
5.4.2 量子点胶体的折射率	137
5.4.3 量子点对本底折射率的影响	137
5.5 量子点和量子点光纤的实验室制备	138
5.5.1 概述	138
5.5.2 熔融法制备 PbSe 量子点玻璃	140
5.5.3 脉冲激光沉积法制备锗纳米薄膜	147
5.5.4 溶胶-凝胶法制备基于 SiO ₂ 光纤的单分散 CdS 量子点	155
5.5.5 实验室量子点光纤制备简介	159
5.6 CdSe/ZnS 量子点的热稳定性研究	164
5.6.1 概述	164
5.6.2 实验和结果	164
5.6.3 实验和理论的比较与讨论	167
5.6.4 小结	170
参考文献	171

第 6 章 量子点光纤及光纤放大器	176
6.1 引言	176
6.2 低浓度掺杂 CdSe/ZnS 量子点光纤荧光光谱特性	177
6.2.1 概述	177
6.2.2 实验制备和测量	178
6.2.3 实验结果与讨论	179
6.3 较高掺杂浓度 CdSe/ZnS 量子点光纤荧光光谱	185
6.3.1 概述	185
6.3.2 实验	186
6.3.3 结果和讨论	187
6.3.4 结论	192
6.4 单掺杂 PbSe 量子点光纤放大器	193
6.4.1 基本工作原理	193
6.4.2 速率方程	195
6.4.3 结果和讨论	199
6.4.4 结论和展望	202
6.5 多粒度掺杂 PbSe 量子点光纤放大器	203
6.5.1 引言	203
6.5.2 能级和叠加谱	203
6.5.3 结果和讨论	205
6.5.4 结论	208
6.6 量子点光纤激光器	208
6.6.1 概述	208
6.6.2 几个问题	209
6.6.3 谐振腔	212
6.6.4 红外量子点光纤激光器的数值模拟	213
6.7 结语与展望	217
6.7.1 拟进一步开展的研究内容	217
6.7.2 量子点浓度、粒度和掺杂数	217
6.7.3 溶胶-凝胶体系	218
6.7.4 展望	219
参考文献	219
第 7 章 优化设计	222
7.1 遗传算法简介	222

7.1.1	概述	222
7.1.2	遗传算法的运算过程	224
7.1.3	遗传算法的特点	225
7.1.4	遗传算法的应用	226
7.2	遗传算法的程序设计	228
7.3	掺铒光纤放大器的优化设计	233
7.3.1	引言	233
7.3.2	设计方法	234
7.3.3	结果和讨论	237
7.3.4	结论	239
7.4	径向分布掺铒光纤放大器的优化设计	239
7.4.1	引言	239
7.4.2	速率方程	240
7.4.3	径向分布函数	240
7.4.4	目标函数与算法	241
7.4.5	结果和讨论	243
7.4.6	结论	245
7.5	双泵浦掺铒光纤放大器的优化设计	245
7.5.1	引言	245
7.5.2	方程和目标函数	246
7.5.3	结果和讨论	247
7.5.4	结论	249
7.6	理想的量子点光纤放大器	250
7.6.1	引言	250
7.6.2	目标函数	250
7.6.3	结语和展望	253
	参考文献	254
第8章	器件与集成	256
8.1	概述	256
8.2	光纤连接器	257
8.3	光纤熔接	260
8.4	泵浦光和信号光的复合	261
8.5	隔离器	262
8.6	环形器	264

8.7 滤波器	264
8.8 光纤光栅	265
8.8.1 概述	265
8.8.2 布拉格光栅的应用	267
8.8.3 长周期光栅	268
8.9 信号多路复用/分离器	268
8.10 信号分插组件	270
8.11 色散补偿元件	270
8.12 器件集成	272
8.13 泵浦激光器	272
8.13.1 1480nm 和 980nm 二极管激光器	272
8.13.2 主振荡功率放大器	276
8.13.3 光纤激光器	277
参考文献	280
第9章 光纤通信系统中的光放大器	282
9.1 光放大器在系统中的组成方式	282
9.2 器件的光学噪声	283
9.2.1 光放大器中的噪声的推导	283
9.2.2 光放大器的输出噪声	285
9.2.3 信号-自发辐射拍频噪声	286
9.2.4 自发辐射-自发辐射拍频噪声	286
9.3 系统的光学噪声	288
9.3.1 接收器	288
9.3.2 光纤前置放大器的噪声系数及灵敏度	289
9.3.3 单一在线中继放大器的信噪比	293
9.3.4 在线中继放大器在放大器链路中的位置选择	293
9.3.5 级联放大器链的信噪比	295
9.3.6 在线中继放大器链的噪声系数	298
9.3.7 光功率放大器的噪声	299
参考文献	300
附录 本书主要物理量符号对照表	301

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

虽然通过全球定位系统(GPS)的无线通信网在全球的通信系统中扮演着越来越重要的角色,但有线光通信网络仍然是目前及今后相当长一段时间内主要的、基本的通信手段. 在有线光网络通信系统中,光纤放大器是一个至关重要的部件. 光纤放大器不但可对光信号进行直接放大,同时还具有实时、高增益、宽带、在线、低噪声、低损耗、全光放大和稳定可靠等特点. 光纤放大器技术解决了衰减对光网络传输速率与距离的限制,更重要的是它开创了通信波段的波分复用,从而使得超高速、超大容量、超长距离的波分复用(WDM)、密集波分复用(DWDM)、全光传输、光孤子传输成为现实或有望成为现实,它已经成为光纤通信发展史上的一个里程碑. 在目前实用化的光纤放大器中,主要有掺铒光纤放大器(EDFA)、半导体光放大器(SOA)和光纤拉曼放大器(FRA)等,其中 EDFA 以其优越的性能和高性价比,现已广泛应用于长距离、大容量、高速率的光纤通信系统,在接入网、光纤闭路电视(CATV)网、军用系统(雷达多路数据复接、数据传输、制导等)等领域,也有许多重要的应用.

光放大器有许多类型. 根据不同基本工作原理,可以将光放大器分成两类:第一类是采用稀土元素掺杂或半导体材料的光纤放大器或光放大器,这一类放大器利用稀土离子或半导体在泵源作用下产生的受激辐射来实现光的放大,例如掺铒光纤放大器、掺铥光纤放大器、掺镨光纤放大器、半导体光放大器等;第二类是利用石英光纤的非线性效应,在泵源的作用下产生受激散射来实现光的放大,这一类放大器有光纤拉曼放大器和光纤布里渊放大器.

光纤放大器一般由增益介质、泵浦光和输入输出耦合器件组成. 在光网络中,光纤放大器有三种不同的用途:在发射机端用作功率放大器,以便提高发射功率;在接收机之前用作前置放大器,以便提高光接收机的灵敏度;在光纤传输线路中用作中继放大器,以便补偿光纤传输损耗、延长传输距离.

本章将简短回顾光纤通信的发展和全光网,概述光放大器的分类,简要讨论几种主要的光纤放大器,包括掺杂光纤放大器、非线性光放大器和半导体光放大器,简述 WDM 中的光纤放大器的增益平坦技术,介绍光纤放大器的市场以及光纤放大器技术的发展,最后评述量子点光纤放大器的研究进展.

1.2 光纤通信的发展

1.2.1 光纤通信发展简介^[1~3]

光纤通信的诞生与发展是电信史上的一次重要革命。近几年来,随着技术的进步,电信体制的改革以及电信市场的逐步全面开放,特别是英特网地址(IP)的爆炸式增长所带来的对带宽的巨大需求,光纤通信呈现了蓬勃发展的新局面,其发展速度不仅超过了摩尔定律所限定的交换机和路由器的发展速度,而且也超过了数据业务的增长速度,成为近几年来发展速度最快的技术之一。

通信技术的发展可追溯到 19 世纪。1837 年莫尔斯发明了电报,用点、划和空适当组合的代码表示字母和数字,这种代码称为莫尔斯电码。1876 年贝尔发明了电话,直接将声信号转变为电信号沿导线传送。1880 年,贝尔利用太阳光作光源,大气为传输媒质,用硒晶体作为光接收器件,成功地进行了光电话的实验,通话距离最远达到了 213m。19 世纪末,人们又致力于研究用电磁波传送电信号,赫兹、波波夫、马可尼等在这方面都做出了贡献。开始时,传输距离仅数百米。1901 年,马可尼成功地实现了横跨大西洋的无线电通信。从此,传输电信号的通信方式得到了广泛应用和迅速发展。

20 世纪 20 年代,通信建设和应用广泛开展,人们开始利用铜线实现市内和长途有线通信,又利用短波实现远距离无线通信和国际通信。

20 世纪三四十年代,利用铜线传输载波电话,使长途通信容量加大,电信号和频分多路技术开始步入实用。

20 世纪五六十年代,电子计算机应用增多,数据通信开始兴起,电话编码技术得到应用,模拟通信开始向数字通信过渡。激光器问世后不久,在 1963 年,有人用激光做大气光通信实验,未取得满意结果。1966 年英籍华人高锟提出用光导纤维实现光通信的设想。

20 世纪 70 年代,玻璃光纤拉制成功,导致传输网络开始从电缆通信向光纤通信过渡。1970 年 8 月美国康宁(Corning)公司研制出损耗为 $20\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}$ 的石英玻璃纤维,使光纤通信开始步入实用阶段。

20 世纪 80 年代,美、英、法合建穿过大西洋海底光缆铺设成功,并于 1989 年投入商业使用,这条光缆长达 6000 多千米,可使 8 万人在大西洋两岸同时通电话。自此光纤通信在世界各国迅猛发展起来。

我国光纤通信研究始于 1972 年前后,1979 年开始在上海、北京、武汉、南京铺设的光纤通信线路至今运行良好。

光纤通信是我国高新技术中与国际差距较小的领域之一。光纤通信由于其具有

的一系列特点,以其巨大的潜在带宽、良好的抗干扰和保密性能等诸多优点,在传输平台中居于十分重要的地位. 自 20 世纪 70 年代至今 30 余年,其发展速度之快已经大大超过了人们的想象. 虽然目前移动通信,甚至卫星移动通信的热浪再现高波,但国际通信联盟(ITU)历次国际电信博览会表明,光纤通信仍然是最主要的传输手段,特别是在核心网方面更加突出. 在北美,信息量的 80% 以上是通过光纤网来传输的. 在我国光纤通信也得到广泛的应用,全国通信网的传输光纤化比例已高达 82%. 光纤通信技术的应用基本达到国际同期水平,自主开发的光纤通信产品也基本接近国际同类产品的水平.

1.2.2 全光网

为了合理利用光纤的巨大潜在带容量,以创造更多的效益,光纤传输速率不断提高. 这种速率的提高带来了一个新的问题:在超高速传输的网络中,如果网络节点处仍以电信号处理信息的速率进行交换,就会受到所谓“电子瓶颈”的限制,节点将变得庞大而复杂,超高速传输所带来的效益将被昂贵的光-电和电-光转换所抵消. 为了解决这一问题,人们提出了全光网的概念.

所谓全光网就是在整个通信网中,直到端用户节点之间的信号通道仍然保持光的形式,即端到端全光路,中间没有光电转换. 这样,网内光信号的流动就没有光电转换的障碍,信息传递过程无需面对电子器件速率难以提高的困难. 全光网由全光的内部和外部控制两部分组成,如图 1.2.1 所示. 内部全光网含有波长路由功能的光交叉连接设备,能容纳多种业务格式,网络节点可以通过选择合适的波长进行发送或从别的节点处接收. 通过对波长路由的光交叉连接(OXC)进行适当配置,光传输可以扩展到更大的距离. 外部控制部分可实现网络的重构,使得波长和容量在整个网络内动态分配以满足通信量、业务和性能需求的变化,并提供一个生存性好、容错能力强的网络.

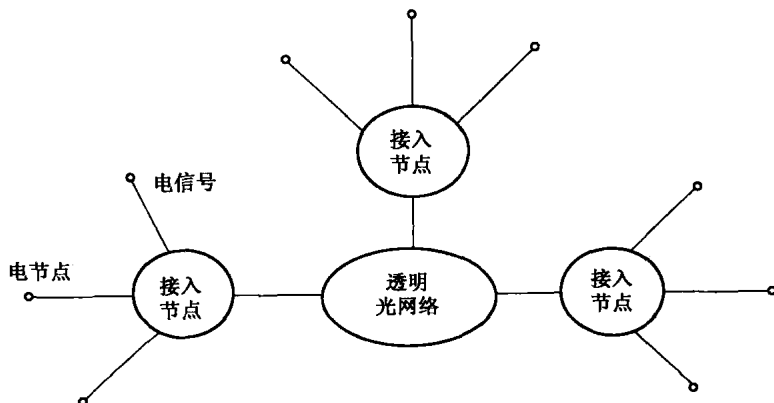


图 1.2.1 全光网络示意图

全光网络的基本技术有全光交换、全光交叉连接、光复用和全光中继等。

1. 全光交换

现有的光交换机有基于热学、液晶和声学的光交换机。

2. 全光交叉连接

全光交叉连接是具有多个标准的光纤接口,可将任一光纤的信号(或其各波长信号)与其他光纤的信号进行可控的连接和再连接,用于物理网络管理和波长管理。

3. 光复用技术

1) 光时分复用

光时分复用(OTDM)是在同一光载波波长上,把时间分割成周期性的帧,每一个帧再分割成若干个时隙,然后根据一定的时隙分配原则,使每个光网络单元在每帧内只能在指定的时隙向上行信号发送信号,在满足定时和同步的条件下,光交换网络可以从各个时隙中分别接收到各光网络单元的信号而不混淆。在光时分复用系统中,与信号有关的所有电子设备均工作在基带比特速率下,因而不存在“电子瓶颈”问题。

2) 光分插复用

光分插复用器(OADM)用于 WDM 系统中有选择地处理上/下所需速率、格式和协议类型的光波长信号。它不像在传统长距离系统中使用的常规光耦合器那样将所有波长信号全部解复用,而是在节点上只分接/插入所需的波长信号,其他波长信号则光学透明地通过这个节点。动态(灵活、可重构或可编程)的 OADM 是城域光网络得以实现的根本。

3) 光波分复用

光波分复用是多个信源的电信号调制各自的光载波,经复用后在一根光纤上传输,在接收端可用外差检测的相干通信方式或调谐无源滤波器直接检测的常规通信方式实现信道的选择。采用 WDM 技术不仅可以扩大通信容量,还可以为通信带来巨大的经济效益。

4. 全光中继

任何光纤通信系统的传输距离都受到损耗和色散的限制,损耗导致光信号能量的降低,而色散则使光脉冲发生展宽。常规单模光纤通信无中继距离为 40~80km,相干光纤通信的无中继距离也只能达到 150~200km。在长距离光纤传输系统中,当光纤传输一段距离后,必须利用中继器对已衰减和失真的光信号进行处理和放大。传统的光纤通信系统采用的是光电中继的方式,光信号首先由光电二极管转变成电信号,经电路整形放大后再重新驱动一个光源,从而实现光信号的再生。光电中继方式对于损耗和色散都有补偿作用,但装置复杂、体积大、耗能多,在多信道复用系统