

高等学校教材·电子信息

可赠送课件

dingl@tup.tsinghua.edu.cn

光纤通信原理



袁国良 编著



清华大学出版社

高等学校教材·电子信息

光纤通信原理

袁国良 编著

清 社
||
北 京

内 容 简 介

本书主要介绍了光纤通信的发展;光纤通信的物理学基础;光纤的组成及原理;光源、光电检测器的结构和工作原理;光缆和光纤通信器件;光发射机、光接收机以及光纤通信系统的构成、性能和设计;光波分复用技术、相干光通信以及光孤子通信等。

本书力求从基础知识出发,循序渐进,深入浅出,以便读者对本书任何内容的阅读都不会有太大的跳跃性。本书可以作为高等学校本科生和研究生的教材,也可以作为从事光纤通信的科研人员、工程技术人员和其他相关人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信原理/袁国良编著. —北京:清华大学出版社,2004.8

ISBN 7-302-08790-3

I. 光… II. 袁… III. 光纤通信 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 054585 号

出版者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

责任编辑:魏江江

封面设计:杨 兮

印刷者:北京密云胶印厂

装订者:三河市李旗庄少明装订厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:15 字数:370千字

版 次:2004年8月第1版 2005年7月第2次印刷

书 号:ISBN 7-302-08790-3/TN·189

印 数:4001~6500

定 价:23.00元

高等学校教材·电子信息

编审委员会

- 王志功 (东南大学 教授)
- 王成山 (天津大学电气与自动化工程学院 教授)
- 王煦法 (中国科学技术大学信息科学技术学院 教授)
- 王新龙 (南京大学 教授)
- 王成华 (南京航空航天大学 教授)
- 方 勇 (上海大学 教授)
- 方建安 (东华大学信息科学与技术学院 教授)
- 邓元庆 (解放军理工大学理学院基础部 教授)
- 冯久超 (华南理工大学 教授)
- 冯全源 (西南交通大学 教授)
- 刘惟一 (云南大学信息学院 教授)
- 刘复华 (武汉理工大学 教授)
- 朱 杰 (上海交通大学 教授)
- 朱守正 (东北师范大学 教授)
- 张秉权 (沈阳工业学院 教授)
- 张丽英 (长春大学电子信息工程学院 教授)
- 张德民 (重庆邮电学院通信与信息工程学院 教授)
- 迟 岩 (集美大学信息工程学院 教授)
- 严国萍 (华中科技大学 教授)
- 何明一 (西北工业大学 教授)
- 何怡刚 (湖南大学电气与信息工程学院 教授)
- 何 晨 (上海交通大学 教授)
- 余成波 (重庆工学院 教授)
- 林 君 (吉林大学 教授)
- 金炜东 (西南交通大学 教授)
- 郑永果 (山东科技大学信息学院 教授)
- 赵鹤鸣 (苏州大学电子信息学院 教授)
- 徐佩霞 (中国科学技术大学 教授)
- 郭从良 (中国科学技术大学电子科学与技术系 教授)
- 郭维廉 (天津大学电子信息工程学院 教授)

曾凡鑫 (重庆通信学院 教授)
曾喆昭 (长沙理工大学电气与信息工程学院 教授)
曾孝平 (重庆大学通信工程学院 教授)
彭启琮 (电子科技大学 教授)
谢显中 (重庆邮电学院 教授)
樊昌信 (西安电子科技大学通信工程学院 教授)

出版说明

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”,是教育部正在制订的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一,教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合新世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括以下三个系列:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

清华大学出版社经过近二十年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材经过二十多年的精雕细刻,形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

总策划 李家强

策 划 卢先和 丁 岭

清华大学出版社教材编审委员会

E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

luxh@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

自从1966年高锟博士提出光纤通信的概念以来,光纤通信的发展远远超乎人们的想象,它以其独特的优点掀起通信领域的一次革命性的变革。目前,光纤通信已经遍及世界各地,成为现代通信网的主要支柱。光纤通信的发展势头方兴未艾,各种新兴的技术和新型光器件层出不穷,“掺铒光纤放大器(EDFA)+波分复用(WDM)+非零色散光纤(NZDSF)+光电集成(OEIC)”正成为国际上光纤通信的主要发展方向。

因此,许多高校纷纷开设光纤通信的有关课程,以满足社会的需求。光纤通信是一门综合性的学科,理论性较强,知识面较广,学生的知识结构和层次不尽相同,所以很多学生感到很难掌握。本书力求从基础知识出发,循序渐进,由浅入深,对光纤通信原理进行全面的介绍。本书可以满足高等学校信息与通信工程专业本科生和研究生的教学需要,也可供相关专业的学生学习使用,同时可供从事该领域工作的广大科研与工程技术人员参考。

本书的第1章、第4~9章由袁国良编写,第2章由郑学峰编写,第3章由郭玉彬编写。袁国良同时负责全书的统稿编著工作。

本书在编写过程中采纳了多届本科生、研究生和成人高等教育学员的意见和建议,得到吉林大学领导和广大师生的支持和帮助,并得到上海海事大学信息工程学院的大力协助,在此一起表示深深的感谢。由于作者水平有限,本书中难免会有一些错误或不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2004年6月

目 录

第 1 章 光纤通信概述	1
1.1 什么是光纤通信	1
1.2 光纤通信的发展史	1
1.3 光纤通信的优点	3
1.4 光纤通信系统的组成	4
1.5 光纤通信的发展趋势	5
第 2 章 光的性质	7
2.1 光的电磁理论	8
2.2 光的干涉.....	11
2.3 光的衍射.....	20
2.4 光的偏振.....	26
2.5 光的吸收、色散和散射	31
2.6 光的量子性.....	36
2.7 激光.....	39
第 3 章 光纤	52
3.1 光纤概述.....	52
3.2 光纤的导光原理.....	53
3.3 相对折射指数差 Δ 和数值孔径 NA	54
3.4 阶跃型光纤的波动光学理论.....	56
3.5 阶跃型光纤的标量模.....	58
3.6 可导与截止.....	60
3.7 渐变型光纤的理论分析.....	62
3.8 光纤的损耗特性.....	64
3.9 光纤的色散特性.....	67
3.10 单模光纤	70
3.11 光纤的传输带宽	73
第 4 章 光源和光电检测器	77
4.1 半导体的能带理论.....	77
4.2 PN 结的能带结构	80
4.3 同质结和异质结.....	82
4.4 发光二极管的工作原理.....	84

4.5	半导体激光器的工作原理	85
4.6	LD的工作特性	89
4.7	光电检测器的工作原理和主要要求	91
4.8	PIN和APD的工作原理	92
4.9	光电检测器的工作特性	95
第5章	光缆和光纤通信器件	99
5.1	光纤的温度特性和机械特性	99
5.2	光缆的结构和种类	100
5.3	无源光器件	104
5.4	发光二极管器件简介	109
5.5	半导体激光二极管器件	113
5.6	光电检测器件	118
5.7	其他新型光通信器件简介	121
第6章	光端机	126
6.1	光源与光纤的耦合	126
6.2	光调制	128
6.3	光发射机	132
6.4	光接收机	134
6.5	光接收机的噪声分析	139
6.6	光接收机的误码率和接收灵敏度	143
6.7	光中继器	145
第7章	光纤通信系统	149
7.1	数字光纤通信系统	149
7.2	光纤通信的线路码型	155
7.3	光纤通信系统的性能指标	158
7.4	光纤损耗和色散对系统的限制	160
7.5	光纤局域网	164
7.6	光同步传输网	167
7.7	光纤通信系统设计	174
7.8	光纤通信系统工程	178
第8章	波分复用技术	185
8.1	多信道复用技术	185
8.2	波分复用原理	186
8.3	光发送部分和光接收部分	190
8.4	波分复用器	194

8.5 掺铒光纤放大器	198
8.6 WDM 设计中考虑的重要问题	203
第 9 章 现代光纤通信技术简介	208
9.1 相干光纤通信系统	208
9.2 光纤的非线性效应及光孤子通信	210
9.3 光交换技术和全光通信网	212
附录 SDH 系统光接口标准	216
缩略语 光纤通信常用英文缩写	220
参考文献	226

第 1 章 光纤通信概述

1.1 什么是光纤通信

通信科学的发展历史悠久。近代通信技术分为电通信和光通信两类。电通信又分为有线通信和无线通信,这是两种相当成熟的通信技术。通信技术发展过程中,围绕着增加信息传输的速率和距离,提高通信系统的有效性、可靠性和经济性方面进行了许多工作,取得了卓越的成就。光通信技术就是当代通信技术发展的最新成就,已成为现代通信的基石。

目前广泛使用的光通信方式是利用光导纤维传输光波信号的通信方式。这种通信方式称为光纤通信。光纤通信工作在近红外区,其波长是 $0.8\sim 1.8\ \mu\text{m}$,对应的频率为 $167\sim 375\ \text{THz}$ 。光纤通信技术的发展十分迅速,已经起到了举足轻重的地位,发展前景十分广阔。

1.2 光纤通信的发展史

利用光进行通信并不是一个新概念,我国古代使用的烽火台就是大气光通信的最好例子。后来的手旗、灯光,甚至交通红绿灯等均可列入光通信的范畴,但可惜它们所能传递的距离和信息量都是十分有限的。

近代光通信的雏形可追溯到 1880 年 Bell 发明的光电话,他用太阳光作为光源、硒晶体作为光接收检测器件,通过 200 m 的大气空间成功地传送了语音信号。虽然在以后的几十年中,科技工作者对 Bell 的光电话具有浓厚的兴趣,但由于缺乏合适的光源及严重的大气衰减,这种大气通信光电话未能像其他电通信方式那样得到发展。

通信的容量通常用 BL 积表示, B 为比特率, L 为中继距离。20 世纪,随着科学技术的进步,比特率-距离积的发展十分迅速。

20 世纪后半叶人们开始认识到,如果用光波作载波, BL 积可能增加几个数量级,然而 20 世纪 50 年代还没有相干光源和合适的传输媒质。1960 年激光器的发明解决了第一个问题,随后人们的注意力集中到寻找用激光进行通信的途径。20 世纪 60 年代提出了许多方法解决光传输通道问题,其中最值得注意的是用气体透镜序列进行光限制传输。1966 年英籍华人高琨博士提出光纤可能是最佳选择,因为它能像铜线传导电子那样导光。主要的问题是光纤的高损耗,20 世纪 60 年代可能得到的光纤损耗超过了 $1000\ \text{dB/km}$ 。1970 年出现了突破,在 $1\ \mu\text{m}$ 附近波长区光纤损耗降低到约 $20\ \text{dB/km}$ 。几乎在同时,室温下运行的 GaAs 半导体激光器研究成功。小型光源和低损耗光纤的同时问世,在全世界范围内掀起了发展光纤通信的高潮。进展确实很快,在不到 20 年的时间内,比特率-距离积增加了几个数量级,在技术上经历了各具特点的 5 个发展阶段(或五代光波通信系统)。图 1-2-1 展示了自 1974 年后光波通信系统性能的变化,曲线显示了五代光纤通信系统比特率-距离积的

增长。

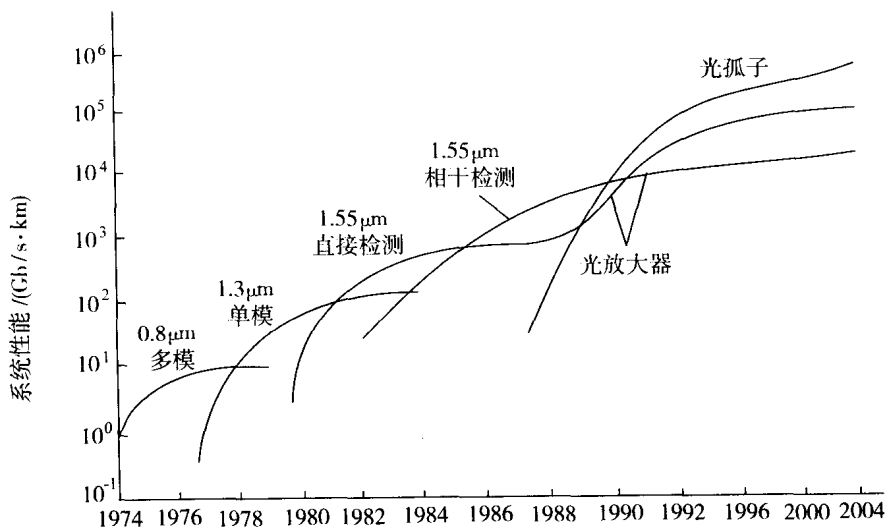


图 1-2-1 光波通信技术的进展

紧随研究与发展的步伐,经过许多现场试验后,1978年工作于 $0.8\ \mu\text{m}$ 的第一代光波系统正式投入商业应用,其比特率在 $20\sim 100\ \text{Mb/s}$ 之间,最大中继间距约 $10\ \text{km}$,最大通信容量(BL)约 $500\ \text{Mb/s}\cdot\text{km}$ 。与同轴系统相比,它中继间距长,投资和维护费用低,是工程和商业运营的追求目标。

1970年人们就认识到,使光波系统工作于 $1.3\ \mu\text{m}$ 时,光纤损耗 $<1.0\ \text{dB/km}$,且有最低色散,可大大增加中断距离,这推动了全世界努力发展 $1.3\ \mu\text{m}$ 的InGaAs半导体激光器和检测器。1977年研制成功这种激光器。接着在20世纪80年代初,早期的采用多模光纤的第二代光波通信系统问世,其中继距离超过了 $20\ \text{km}$,但由于多模光纤的模间色散,早期系统的比特率限制在 $100\ \text{Mb/s}$ 以下。采用单模光纤能克服这种限制,一个实验室于1981年演示了比特率为 $2\ \text{Gb/s}$,传输距离为 $44\ \text{km}$ 的单模光波实验系统,并很快进入商业系统,至1987年 $1.3\ \mu\text{m}$ 单模第二代光波系统开始投入商业运营,其比特率高达 $1.7\ \text{Gb/s}$,中继距离约 $50\ \text{km}$ 。

第二代光波系统中继距离受 $1.3\ \mu\text{m}$ 附近光纤损耗(典型值为 $0.5\ \text{dB/km}$)限制,理论研究发现,石英光纤最低损耗在 $1.55\ \mu\text{m}$ 附近,实验技术上于1979年就达到了 $0.2\ \text{dB/km}$ 的低损耗。然而由于 $1.55\ \mu\text{m}$ 处高的光纤色散,及当时多纵模同时振荡的常规InGaAsP半导体激光器的谱展宽问题尚未解决,这两个因素,推迟了第三代光波系统的问世。后来的研究发现,色散问题可以通过使用设计在 $1.5\ \mu\text{m}$ 附近,具有最小色散的色散位移光纤(DSF)与采用单纵模激光器来克服。在20世纪80年代这两种技术都得到了发展,1985年的传输试验显示,其比特率达到 $4\ \text{Gb/s}$,中继距离超过 $100\ \text{km}$ 。至1990年,工作于 $2.4\ \text{Gb/s}$, $1.55\ \mu\text{m}$ 的第三代光波系统已能提供通信商业业务。这样的第三代光波系统,通过精心设计激光器和光接收机,其比特率能超过 $10\ \text{Gb/s}$ 。后来 $10\ \text{Gb/s}$ 的光波系统在一些国家得到了重点发展。

第四代光波系统以采用光放大器(OA)增加中继距离和采用频分与波分复用(FDM与WDM)增加比特率为特征,这种系统有时采用零差或外差方案,称为相干光波通信系统,于

20世纪80年代在全世界得到了发展。在一次试验中利用星形耦合器实现100路622 Gb/s数据复用,传输距离50 km,其信道间串音可以忽略。在另一次试验中,单信道速率2.5 Gb/s,不用再生器,光纤损耗用光纤放大器(EDFA)补偿,放大器间距为80 km,传输距离达2223 km。光波系统采用相干检测技术并不是使用EDFA的先决条件。有的实验室曾使用常规非相干技术,实现了2.5 Gb/s,4500 km和10 Gb/s,1500 km的数据传输。另一实验曾使用循环回路实现了2.4 Gb/s,21000 km和5 Gb/s,14000 km数据传输。20世纪90年代初期,光纤放大器的问世已引起了光纤通信领域的重大变革。

第五代光波通信系统的研究与发展也经历了20多年历程,已取得突破性进展。它基于光纤非线性压缩抵消光纤色散展宽的新概念产生的光孤子,实现光脉冲信号保形传输,虽然这种基本思想1973年就已提出,但直到1988年才由贝尔(Bell)实验室采用受激喇曼散射增益补偿光纤损耗,将数据传输了4000 km,次年又将传输距离延长到6000 km。EDFA用于光孤子放大开始于1989年,它在工程实际中有更大的优点,自那以后,国际上一些著名实验室纷纷开始验证光孤子通信作为高速长距离通信的巨大潜力。1990~1992年在美国与英国的实验室,采用循环回路曾将2.5 Gb/s与5 Gb/s的数据传输10000 km以上。日本的实验室则将10 Gb/s的数据传输 10^6 km。1995年,法国的实验室则将20 Gb/s的数据传输 10^6 km,中继距离达140 km。1995年线形试验也将20 Gb/s的数据传输8100 km,40 Gb/s传输5000 km。线形光孤子系统的现场试验也在日本东京周围的城域网中进行,分别将10 Gb/s与20 Gb/s的数据传输了2500 km与1000 km。1994年和1995年80 Gb/s和160 Gb/s的高速数据也分别传输500 km和200 km。

光波通信技术得到巨大发展,现在世界通信业务的90%需经光纤传输。随着光波通信技术的发展,光波系统在通信网中的应用得到了相应的发展。现在世界上许多国家都将光波系统引入了公用电信网、中继网和接入网中。但是目前这种奇特媒质的真正应用还仅仅是在现有电信网络内用光纤代替铜线,使通信网的性能得到了某种改善,降低了成本,而网络的拓扑基本上还是光波通信出现之前的模式,光波通信的潜力尚未完全发挥。在目前的通信网中光纤通信技术应用尚属于一种经典应用,在通信的发展中属于第二代通信网(第一代纯电信网)。进入20世纪90年代后,随着光纤与光波电子技术的发展,光子开关、光逻辑门、光互连、变频、路由器等许多新颖光纤与半导体功能光器件相继问世,在全世界范围内掀起了发展第三代通信网——全光通信网的潮流。这种通信网中,不仅用光波系统传输信号,交换、复用、控制与路由选择等也全部在光域完成,由此构建真正的光波通信网。

光波通信的发展至今不过40年,但其进展之快,对通信技术影响之大,始所未料,目前大量新的理论与技术研究和发工作正在继续进行。

1.3 光纤通信的优点

光纤通信具有下列优点:

(1) 传输频带宽,通信容量大。目前使用的光波频率比微波高 $10^3 \sim 10^4$ 倍,通信容量约可增加 $10^3 \sim 10^4$ 倍。理论上两根光纤可传送上百万个电话和上百套电视节目。目前已试验成可通数万路电话的系统。

(2) 中继距离远。光纤通信无中继的直通距离可比金属线缆远得多,目前可达 100 km 以上,比同轴电缆大几十倍。

(3) 抗电磁干扰能力强,无串话。光纤是非金属的光导纤维,即使工作在强电磁场附近或处于核爆炸后强大的电磁干扰的环境中,光纤也不会产生感应电压、电流。这有利于传动态图像(如可视电话和电视节目)。靠近高压输电线和与电气化铁道并行铺设,通信也不受干扰,适于在工厂内部的自动控制和监视系统应用,也有利于在多雷地区、飞机上以及保密性要求高的军政单位使用。由于光纤信息限制在光纤内传输,不会逸出光纤,所以光缆的光纤之间不会“串话”,即没有纤间串扰,不易被窃听。

(4) 光纤细,光缆轻。光纤直径一般只有几微米至上百微米数量级,相同容量话路光缆,要比电缆轻 90%~95%(光缆的重量仅为电缆的 1/10~1/20),直径不到电缆的 1/5,故运输和铺设均比铜线电缆方便,并利于在军用战斗机上作信号控制用。

(5) 资源丰富,节约有色金属和能源。光纤的纤芯和包层的主要原料是二氧化硅,资源丰富且价格便宜,取之不尽。而电缆所需的铜、铝矿产则是有限的,采用光纤后可节省大量的铜材。制造 10000 km 光纤比 10000 km 单管同轴铜线节约能源 2.64×10^{11} J,折合标准煤为 9×10^5 kg。

(6) 均衡容易。在工作频带内,光纤对每一频率成分的损耗几乎是相等的,一般不需在中继站和接收端采取幅度均衡措施。若需要均衡,一般也容易达到要求。

(7) 经济效益好。由于其通信容量大,中继距离长,节省有色金属和铺设方便等优点,因此,经济效益十分明显。34 Gb/s 以上光纤通信系统的价格比同轴电缆便宜 30% 以上。

(8) 抗腐蚀、不怕潮湿。即使光纤的外保护层有小孔、裂缝而进水或受潮,也不会影响光的传递,但进水和受潮对金属导线意味着接地和短路。光纤系统也不存在发生火花危险,安全性好。

1.4 光纤通信系统的组成

光纤通信系统工作原理如图 1-4-1 所示。系统主要包括 3 大部分,即光发送设备、光接收设备和光传输设备。光发送设备主要有驱动器和光源,其作用是把电端机输入的电信号对光源进行调制,使光源产生出与电信号相对应的光信号进入光纤。光接收设备主要有光检测器和放大器。当光信号通过光纤到达光接收设备时,光检测器把光信号转换为相应的

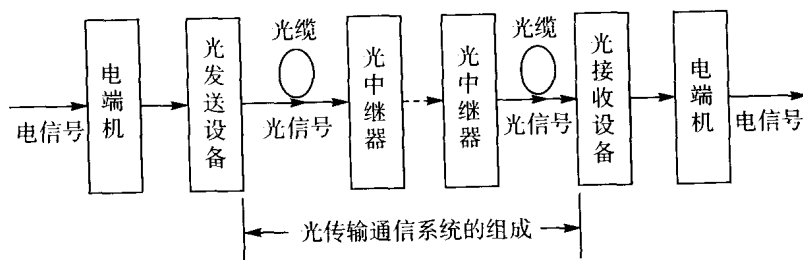


图 1-4-1 光纤通信系统的组成

电信号,经放大后进入电端机。在没有中继器的短距离通信系统中,传输设备指的是光缆。在远距离通信系统中,为了补偿光纤的损耗并消除信号失真与噪声的影响,光缆经过一定距离需加装中继器。中继器由光检测器、电信号放大器、判决再生电路、驱动器和光源等组成,其作用是将光信号变成电信号,经过放大和再生,然后再转换成光信号送入下一段光纤中。

1.5 光纤通信的发展趋势

光载波有无比巨大的通信容量,预测光通信的容量可达 40000 Gb/s,如此巨大的天文数字通信容量正在奇迹般地一步一步变为现实。光纤通信未来的发展仍具有巨大的潜力。

1. 电时分复用技术

目前单通路光纤通信系统的实用化水平可达 10 Gb/s。采用外调制技术、色散补偿技术和放大自发辐射(ASE)滤波等技术,可以达到 40 Gb/s。目前可靠且无误码地传输 40 Gb/s 信号乃至 40 Gb/s 以上的信号的技术还处于实验阶段,马上成为商用系统还有一定的困难,随着科技的不断进步将逐步商品化。

2. 光波分复用(WDM)

WDM 系统目前从 1528.77~1560.61 nm 信道间隔 50 GHz,可配置 80 个信道,考虑到未来光网络的接器规范,只采用 64 波复用。考虑到多通道 WDM 受 EDFA 的可用带宽和窄带光滤波器成本等各种技术上和经济上的限制,目前的实用水平已达 40×10 Gb/s。实验室水平远远超过这一水平,西门子公司实验室已经完成了 80×40 Gb/s 的传输实验;朗讯公司则采用 80 nm 谱宽的光放大器创造了波长达 1022 波复用的记录。WDM 技术的发展方兴未艾,据估计 160×40 Gb/s 的商用技术在不久的将来也将成为现实。

3. 全光通信网络

由于光放大与光中继、色散补偿和抑制光纤非线性效应、光交换、光复用、全光纤器件和光互连与光处理等技术的发展,全光通信网络成为必然的发展趋势。

作为电信网的光纤接入网是当前研究的重要课题,光纤接入网直接面向用户,通过光纤到路边(FTTC)、光纤到大楼(FTTB)、光纤到家庭(FTTH)等手段,为用户提供各种业务。

以上技术的实现取决于近些年来光电子器件的迅速发展。由于光电子器件的发展,光纤通信的试验水平不断发展必将带动光纤通信商用系统水平的提高。

小结

1. 光纤通信

光纤通信是利用光导纤维传输光波信号的通信方式。

2. 光纤通信的发展史

早在古代人们就利用光来进行通信,但光纤通信的理论是 1966 年提出的。1978 年第一代光波系统正式投入商用。20 世纪 80 年代初各国建设本国的光纤通信网络,目前光纤通信已经成为通信领域最主要的传输手段。

3. 光纤通信的优点

4. 光纤通信系统的组成

5. 光纤通信的发展趋势

- 单信道光纤通信系统已达 10 Gb/s,实验室已达 40 Gb/s,不久将实用化。
- WDM 实用水平已达 40×10 Gb/s,实验室发展水平更高。
- 全光通信网络是发展的必然趋势,光纤接入网也是当前研究的重要课题。
- 光电子器件不断发展。

习题

1-1 什么是光纤通信?

1-2 光纤通信工作在什么区,其波长和频率是什么?

1-3 BL 积中 B 和 L 分别是什么含义?

1-4 光纤通信的主要优点是什么?

1-5 试画出光纤通信系统组成的方框图。

1-6 试叙述光纤通信的现状和发展趋势。