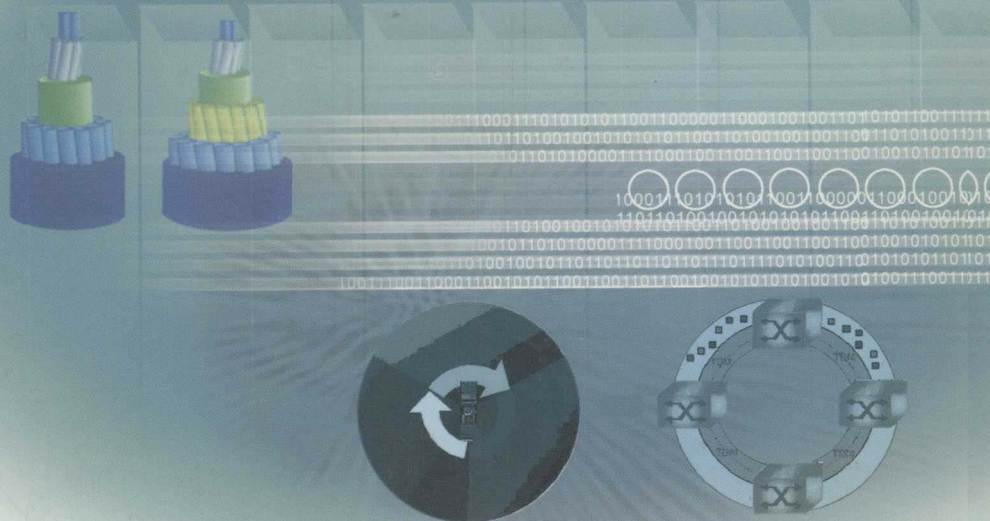


高等学校电子信息类系列教材

光纤通信系统及其应用

The Principle and Application on Optical Fiber Communication System

孙 强 周 虚 编著
李国瑞 主审



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北方交通大学出版社
<http://press.njtu.edu.cn>



高等学校电子信息类系列教材

光纤通信系统及其应用

孙 强 周 虚 编著

李国瑞 主审

清华大学出版社

北方交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从光纤通信技术及应用角度,比较系统地阐述了光纤通信的基本原理和主要新技术,内容包括光纤和光缆、有源光器件和无源光器件、数字光纤通信系统、模拟光纤通信系统、光放大器、光纤通信中的复用技术、光纤通信中的高新技术、光纤通信测量技术等。本书在内容取材上强调系统性、先进性,注重物理概念的阐述,理论联系实际,深入浅出,实用性强。

本书可作为通信类专业的大学本科生或研究生的教材,也可供从事光纤通信技术的科研人员与工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信系统及其应用/孙强,周虚编著. —北京:清华大学出版社;北方交通大学出版社, 2004.1

(高等学校电子信息类系列教材)

ISBN 7-81082-135-0

I. 光… II. ①孙… ②周… III. 光纤通信-高等学校-教材 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 032271 号

责任编辑:郭洁 贾慧娟

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084

北方交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686045, 62237564

经 销:各地新华书店

开 本:787×1 092 1/16 印张:14.5 字数:360 千字

版 次:2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~5 000 册 定价:23.00 元

高等学校电子信息类系列教材

编审委员会成员名单

主 任 谈振辉

副主任 张思东 赵尔沅

委 员 (以姓氏笔画为序)

王志刚	邓忠礼	冯玉珉	冯锡生	卢先河
刘 云	齐立心	朱定华	严国萍	李承恕
汪希时	沙 斐	张有根	张林昌	陈常嘉
郑光信	屈 波	钟章队	徐佩霞	薛 质

总 序

近年来,我国高等教育经历了重大的改革,已经在教育思想和观念上、教育方法和手段上有了长足的进步,在较大范围和较深层次上取得了成果。为了推进课程改革、加快我国大学教育国际化的进程,教学内容和课程体系改革已经是势在必行。特别在通信与信息领域,随着微电子、光电子技术、计算机技术及光纤等相关技术的发展,尤其是计算机技术与通信技术相结合,使得现代通信正经历着一场变革,各种新技术、新业务、新系统和新应用层出不穷,传统的教学内容和课程体系已不能满足要求,同时教材内容也需要更新。在此背景下,我们决定编写一套紧跟国际科技发展又适合我国国情的“高等学校电子信息类系列教材”,以适应我国高等教育改革的新形势。

“高等学校电子信息类系列教材”涉及传输技术、交换技术、IP技术、接入技术、通信网络技术及各种新业务等。我们在取得教学改革成果的基础上,组织了一批具有多年教学经验、从事科研工作的教师参与编写这套专业课程系列教材。

本系列专业课程教材具有以下特色:

- 在编写指导思想上,突出实用性、基础性、先进性和时代特征,强调核心知识,结合实际应用,理论与实践相结合。
- 在教材体系上,强调知识结构的系统性和完整性,强调课程间的有机联系,注重学生知识运用能力和创新意识的培养。
- 在教材内容上,重点阐述系统的基本概念和原理、基本组成、基本功能及基本应用,对一些新技术和新应用做较系统的介绍。内容丰富,层次分明,重点突出,叙述简洁,通俗易懂。

本系列专业课程教材包括:

《现代通信概论》、《通信系统原理》、《通信系统学习指南》、《数字通信》、《现代交换技术》、《光纤通信理论基础》、《光纤通信系统及其应用》、《光接入网技术及其应用》、《现代移动通信系统》、《数字微波通信》、《卫星通信》、《现代通信网》、《自动控制原理》、《单片机原理与应用》、《蓝牙技术原理与协议》、《计算机通信网基础》、《多媒体通信》、《数字图像处理学》、《网络信息安全技术》等。

本系列教材的出版得到北方交通大学教务处的的大力支持,同时也得到北方交通大学出版社、清华大学出版社有关同志的精心指导和全力帮助。

本系列教材适合于高等院校通信及相关专业本科生教育,也可作为从事电信工作的技术人员自学教材及培训教材。

“高等学校电子信息类系列教材”

编审委员会主任

谈振辉

2003年10月

前言

1960 年美国梅曼(T. H. Maiman)发明了红宝石激光器,从而使人们获得了性质与电磁波相同且频率和相位都稳定的光——激光。又经过多年的研究试制,1970 年贝尔研究所的林严雄等人(I. Hayoshi et al)研制出能在室温下连续工作的半导体激光器,这种激光器只有米粒大小。尽管最初的激光器的寿命很短,但这种激光器已被认为可以作为光纤通信的光源。1966 年 7 月,被称为“光通信之父”的英国标准电信研究所的英籍华人高锟(K. C. Kao)博士和霍克哈姆(G. A. Hockham)就光纤传输的前景发表了具有重大历史意义的论文。论文分析了玻璃纤维损耗大的主要原因,同时预言:只要能设法降低玻璃纤维的杂质,就有可能使光纤的损耗从 1000 dB/km 降低到 20 dB/km,从而有可能用于通信。1970 年美国康宁玻璃公司首先研制出衰减为 20 dB/km 的低损耗光纤。由于光纤和激光器在 1970 年的重大突破,使光纤通信有了实现的可能。30 多年以来,光纤通信有了长足的发展,在构成社会信息基础设施方面扮演着重要角色。光纤通信在现代信息科学技术中的举足轻重地位已是有口皆碑,它的出现与迅速发展大大改变了信息技术的面貌。光纤通信很快在世界上得到了广泛的应用,不仅在陆地上使用,而且还应用到了海底通信,它成为国民经济各个领域(如通信、广播、电力、交通、军事等)的主要通信手段。可以毫不夸张地说,光纤通信已经成为现代通信的支柱、世界通信网的骨干。正如有关权威人士所说,纵观影响当今电信业的主要技术,很少有像光纤和光纤通信系统那样能够引发如此剧烈的变革。虽然一般讲光纤技术已经成熟,但其发展势头方兴未艾,各种新技术、新产品、新构思、新应用如雨后春笋般地涌现,推动着光纤通信技术的进一步发展。

21 世纪是通信信息时代,人们正在构建信息高速公路,而信息高速公路的核心就是光纤通信技术。在新一代超高速光纤通信系统中,最具代表性的成就就是在 2000 年光波分复用系统的使用。波分复用技术在一根光纤上实现了 3.28 Tbit/s 的传输速率。光波分复用技术的突出优点是有效地利用单模光纤低损耗区所带来的巨大带宽资源,明显提高系统的传输容量。同时,掺铒光纤放大器、密集波分复用技术、光分插复用技术、光交叉连接技术、波长转换技术、光交换技术、相干光通信技术、光孤子通信技术等新技术得到了广泛的应用和深入的研究。

本书是在北方交通大学电子信息工程学院开设的光纤通信课程讲稿的基础上,结合光纤通信原理及最新技术应用的发展编写而成的。在编写中,我们力求将基本原理和实际应用有机地结合起来,尽量把最新的技术介绍给读者。

全书所包含的内容主要有:光纤和光缆、有源光器件和无源光器件、数字光纤通信系统、模拟光纤通信系统、光放大器、光纤通信中的复用技术、光纤通信中的高新技术、光纤通信测量技术等。

本书第 1 章介绍了光纤通信的基本概念,包括光纤通信使用的频段、光纤通信的优点、光纤通信系统的基本结构、光纤通信系统的应用等。第 2 章介绍了光纤光缆的基础知识,如光纤的基本传输理论、光纤的基本特性、光纤的结构和类型、光纤的最新发展等。第 3 章介绍了有

源光器件和无源光器件,包括发光器和探测器的基本原理和结构、无源光器件的种类(如光纤连接器、光纤分路器、光纤耦合器、光纤隔离器、波分复用器、可变光纤衰减器等)。第4章主要介绍了数字光纤通信系统的原理及典型应用,如线路编码、光源驱动、前置放大、PDH、SDH等。第5章主要介绍了模拟光纤通信系统的基本原理及典型应用,如模拟基带视频调制、多路视频信号调制等。第6章主要介绍了光放大器的原理和典型应用,包括掺铒光纤放大器的基本组成、掺铒光纤放大器的特性、掺铒光纤放大器的基本种类、掺铒光纤放大器的应用、半导体激光放大器的基本原理、半导体激光放大器的主要参量及应用特性、半导体激光放大器的应用等。第7章主要介绍了光纤通信中的复用技术,如波分复用系统、光频分复用系统、光时分复用系统、光空分复用系统、光码分复用系统。第8章主要介绍了光纤通信中的高新技术,如光分插复用技术、光交叉连接技术、波长转换技术、光交换技术、相干光通信技术、光孤子通信技术等。第9章主要介绍了基本的光纤通信测量技术,包括多模光纤传输特性的测量、单模光纤特性参数测量、光纤数字传输系统传输特性的测量、光纤测量中的常用仪器等。

本书从光纤通信技术及应用角度,比较系统地阐述了光纤通信的基本原理和主要新技术,注重物理概念和理论的阐述,力求技术上的新颖性和实用性。本书尽可能地收集国内外的有关成果,对光纤通信领域中的高新技术做了系统而较完整的介绍,使读者对光纤通信的发展方向有一个全面的了解。

本书由孙强主编并编写了第3、4、5、7、8章,第1、2、6、9章由周虚编写。在本书的编写过程中,承蒙李国瑞教授审阅,他提出了许多宝贵的修改意见,在此向他表示真挚的谢意。

由于时间仓促,作者水平有限,书中肯定会存在错误和不足之处,望读者批评指正,提出宝贵意见。

作者

2004年1月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 光纤通信简介	(1)
1.1.1 光纤通信的概念	(1)
1.1.2 光纤通信的发展概况	(1)
1.2 光纤通信使用的频段	(2)
1.3 光纤通信的优点	(3)
1.4 光纤通信系统的基本结构	(4)
1.5 光纤通信系统的应用	(5)
第 2 章 光纤和光缆	(7)
2.1 光纤光缆的优点	(7)
2.2 光纤的基本传输理论	(8)
2.2.1 射线法分析光在光纤中的传输	(8)
2.2.2 波动理论法分析光在阶跃型光纤中的传输	(11)
2.3 光纤的基本特性	(14)
2.3.1 光纤的损耗特性	(14)
2.3.2 光纤的色散特性	(18)
2.3.3 光纤的偏振特性	(20)
2.4 光纤的结构和类型	(21)
2.5 光纤的制造	(22)
2.5.1 光纤材料的提纯工艺	(23)
2.5.2 熔炼工艺	(24)
2.5.3 拉丝工艺	(25)
2.5.4 套塑工艺	(26)
2.6 光纤的最新发展	(26)
2.6.1 光纤新材料	(26)
2.6.2 新型结构的光纤	(28)
2.7 光缆的结构和类型	(29)
2.7.1 光缆的结构和类型	(29)
2.7.2 光缆的特性	(30)
2.8 光缆的型号与命名法	(31)
2.9 新型光缆结构介绍	(33)
2.9.1 大芯数光缆	(34)
2.9.2 海底光缆	(34)
2.9.3 配线光缆	(35)

2.9.4 分支用户光缆	(35)
2.9.5 阻燃光缆	(36)
第3章 有源光器件和无源光器件	(37)
3.1 激光原理的基础知识	(37)
3.1.1 原子能级的跃迁	(37)
3.1.2 半导体中载流子的统计分布	(40)
3.1.3 PN结的能带	(42)
3.2 半导体光源	(44)
3.2.1 半导体激光器	(44)
3.2.2 半导体发光二极管光源	(48)
3.3 光电探测器	(52)
3.3.1 概述	(52)
3.3.2 光电检测器的物理原理	(53)
3.3.3 PIN光电二极管	(53)
3.3.4 雪崩光电二极管	(54)
3.3.5 长波长光电检测器	(58)
3.4 无源光器件	(59)
3.4.1 光纤的连接与光纤连接器	(59)
3.4.2 光纤分路器及耦合器	(66)
3.4.3 光波分复用器	(67)
3.4.4 光隔离器	(68)
3.4.5 光开关	(69)
3.4.6 光可变衰减器	(70)
第4章 数字光纤通信系统	(72)
4.1 数字光发射机	(72)
4.2 线路编码	(73)
4.2.1 mBnB码	(74)
4.2.2 插入码	(76)
4.2.3 扰码	(77)
4.2.4 线路码的主要性能参数	(77)
4.2.5 mB1H码的运用	(78)
4.3 数字光接收机	(82)
4.3.1 光接收机的主要性能指标	(82)
4.3.2 光接收机的组成	(84)
4.3.3 前置放大器	(84)
4.4 两种传输体制	(87)
4.4.1 准同步数字系列PDH	(87)
4.4.2 同步数字系列SDH	(88)
4.5 备用系统与辅助系统	(94)
4.5.1 备用系统	(94)
4.5.2 辅助系统	(94)

4.6 系统的性能指标	(97)
4.6.1 误码率	(97)
4.6.2 抖动	(99)
4.6.3 可靠性	(101)
4.7 光纤通信系统设计概述	(102)
4.7.1 系统部件的选择	(102)
4.7.2 设计光纤通信系统时有关指标的计算和核算	(103)
第5章 模拟光纤通信系统	(108)
5.1 调制方式	(108)
5.1.1 模拟信号的强度调制	(108)
5.1.2 数字信号的强度调制	(111)
5.2 模拟基带直接光强调制光纤传输系统	(111)
5.2.1 特性参数	(112)
5.2.2 光端机	(115)
5.2.3 系统性能	(117)
5.3 多频道视频信号光纤传输系统	(119)
5.3.1 调幅频分多路信号	(119)
5.3.2 调频频分多路信号光纤传输方式	(121)
5.3.3 副载波复用(SCM)数字电视信号光纤传输方式	(122)
5.4 光缆 CATV 网的设计	(124)
5.4.1 确定系统指标	(124)
5.4.2 设计与运行要注意的基本点	(125)
5.4.3 光分路器分光比的确定	(126)
5.4.4 多频道系统中额定频道和实际频道下指标之间的换算	(126)
5.4.5 分系统与总系统指标之间的关系	(127)
5.4.6 光纤 CATV 系统设计举例	(127)
5.5 有线电视频道设置	(129)
第6章 光放大器	(131)
6.1 光纤放大器	(131)
6.1.1 EDFA 的原理	(131)
6.1.2 EDFA 的基本组成	(132)
6.1.3 EDFA 的特性	(133)
6.1.4 EDFA 的基本种类	(135)
6.1.5 EDFA 的应用	(135)
6.2 半导体激光放大器	(136)
6.2.1 基本结构及工作原理	(136)
6.2.2 SLA 的主要参量及应用特性	(137)
6.2.3 SLA 的应用	(141)
第7章 光纤通信中的复用技术	(143)
7.1 波分复用系统	(143)
7.1.1 WDM 技术原理	(144)

7.1.2	WDM 技术的主要特点	(145)
7.1.3	WDM 和 DWDM	(145)
7.1.4	WDM 的技术规范	(147)
7.2	光频分复用系统	(153)
7.3	光时分复用系统	(154)
7.4	光空分复用系统	(155)
7.5	光码分复用系统	(156)
7.5.1	基本原理	(156)
7.5.2	典型的系统方案	(158)
7.5.3	最新解码器结构	(159)
7.5.4	尚待解决的问题	(160)
第 8 章	光纤通信中的高新技术	(161)
8.1	光交换技术	(161)
8.1.1	光交换技术的特点	(161)
8.1.2	光交换原理	(161)
8.1.3	光交换系统分类和组成	(162)
8.2	波长转换技术	(165)
8.2.1	波长转换技术定义	(165)
8.2.2	波长转换技术的特点	(165)
8.2.3	波长转换技术类型	(166)
8.2.4	全光波长转换技术	(167)
8.3	光孤子通信技术	(174)
8.3.1	什么是光孤子	(174)
8.3.2	光孤立子产生的机理	(174)
8.3.3	光孤子通信	(175)
8.3.4	光孤子通信系统的基本组成	(175)
8.3.5	主要技术内容	(176)
8.3.6	光孤子通信的优点	(177)
8.3.7	与普通光纤通信系统不同的技术问题	(177)
8.3.8	光孤子通信的前景	(178)
8.4	相干光通信技术	(178)
8.4.1	相干光通信的基本工作原理	(178)
8.4.2	相干光通信系统的组成	(179)
8.4.3	相干光通信的优点	(180)
8.4.4	相干光通信的关键技术	(181)
8.4.5	相干光通信在超长波长光纤通信系统中的应用	(183)
8.5	光交叉连接技术	(183)
8.5.1	OXC 的特点及应用	(184)
8.5.2	OXC 的结构	(185)
8.5.3	国外 OXC 的发展现状	(186)
8.5.4	研制开发 OXC 的步骤和策略	(187)

8.6 光分插复用技术	(187)
第9章 光纤通信测量技术	(189)
9.1 光纤通信测量概述	(189)
9.1.1 精度要求	(189)
9.1.2 误差产生的原因及解决办法	(189)
9.1.3 测量要注意的方面	(191)
9.2 多模光纤传输特性的测量	(191)
9.2.1 光纤损耗测量	(191)
9.2.2 光纤带宽测量	(195)
9.3 单模光纤特性参数测量	(198)
9.3.1 模场直径的测量	(198)
9.3.2 截止波长的测量	(200)
9.3.3 色散的测量	(202)
9.4 光纤数字传输系统传输特性的测量	(203)
9.4.1 光端机光口指标的测量	(203)
9.4.2 光纤传输系统传输特性的测量	(205)
9.5 光纤测量中的常用仪器	(206)
9.5.1 对光纤测量用主要仪器的要求	(206)
9.5.2 光时域反射计	(207)
9.5.3 光纤熔接机	(210)
9.5.4 光功率计	(211)
9.5.5 数字传输分析仪	(212)
习题	(215)
参考文献	(218)

第1章 概 述

1.1 光纤通信简介

1.1.1 光纤通信的概念

光纤通信是利用半导体激光器(Laser Diode, LD)或半导体发光二极管(LED)作为光源器件,把电信号转换成光信号并将其耦合进石英(或塑料)光纤中进行传输,在接收端使用半导体检测器件(检波器),如雪崩光电二极管(APD)或光电二极管(PIN)等,将光信号再还原为电信号的一种通信方式。

光纤通信技术是20世纪70年代初期兴起的一门高新技术。光纤通信一经问世就异军突起,以其技术上的先进性和巨大的经济效益,对传统的通信手段提出了强劲的挑战,显示了极强的生命力。现在,光纤通信的应用范围,除公用通信网外,在铁路通信、电力通信、军用通信、有线电视、数据通信系统等方面都得到了极其广泛的应用,许多新的应用领域还在不断开拓之中。

实现光纤通信的关键器件与技术如下:

- (1) 低损耗、宽带宽的光纤;
- (2) 高可靠性、长寿命的光源及高响应的光检测器件;
- (3) 光测量及光纤连接技术。

1.1.2 光纤通信的发展概况

人类很早就认识到用光可以传递信息,2000多年前我国就有了用光远距离传递信息的设施——烽火台,后来有了用灯光闪烁、旗语等传递信息的方法。以发明电话而闻名的发明家贝尔也在光通信方面做出过贡献。1880年,他利用太阳作光源,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213 m。由于用大气作为传输介质时损耗很大,而且无法避免自然气象条件的影响和各种外界的干扰,最多只能传几百米远,因此人们不得不寻求可以在封闭状态下传送光信号的办法,例如用波导管、棱镜、透镜折射的光束导管等。不过这些波导结构复杂,难以实现实用导光的目的。

玻璃纤维也是一种能把光信号封闭在其中的光波导,但是它的衰减损耗很大,只能传送很短的距离。直到20世纪60年代,最好的玻璃纤维的衰减损耗仍在1 000 dB/km以上。这是什么概念呢?每公里10 dB损耗就是输入的信号传送1 km后只剩下了10%,20 dB就表示只剩下1%,30 dB是指只剩0.1%……1 000 dB的含义就是只剩下亿万分之一,这是无论如何也不可能用于通信的。因此,当时有很多科学家和发明家认为用玻璃纤维通信希望渺茫,失去了信心,放弃了光纤通信的研究。

就在这种情况下,1966年7月,英国标准电信研究所的英籍华人高锟(K. C. Kao)博士和霍克哈姆(G. A. Hockham)就光纤传输的前景发表了具有重大历史意义的论文。论文分析了玻璃纤维损耗大的主要原因,同时大胆地预言,只要能设法降低玻璃纤维的杂质,就有可能使光纤的损耗从1 000 dB/km降低到20 dB/km,从而有可能用于通信。这篇论文鼓舞了许多科学家为实现低损耗的光纤而努力。1970年,美国康宁(Corning)玻璃公司的卡普隆(Kapron)博士等3人,经过多次的试验,终于研制出传输损耗仅为20 dB/km的光纤。这样低损耗的光纤在当时是惊人的成功,使人们看到了光纤通信的希望。

光纤通信的另一项重要技术是光纤通信用的光源,因为传送光信号不能用普通的光。太阳光、灯光的频率和相位是杂乱的,不能用于大容量的通信。1960年美国人梅曼(T. H. Maiman)发明了红宝石激光器,从而使人们获得了性质与电磁波相同、而且频率和相位都稳定的光——激光,这才使人们进入了近代光通信的时代,但是红宝石激光器还不能在室温条件下连续工作。又经过多年的研究试制,1970年贝尔研究所的林严雄等人(I. Hayoshi, et al)研制出能在室温下连续工作的半导体激光器,这种激光器只有米粒大小。尽管最初的激光器的寿命很短,但这种激光器已被认为可以作为光纤通信的光源。由于光纤和激光器在1970年的重大突破,使光纤通信有了实现的可能,因此1970年被认为是值得纪念的光纤传输元年。

1970年这两项关键技术的重大突破,使光纤通信开始从理想变成可能,立即引起了各国通信科技人员的重视,竞相进行研究和实验。1974年美国贝尔研究所发明了低损耗光纤制作法(MCVD法,即化学汽相沉积法),使光纤损耗降低到1 dB/km;1977年,贝尔研究所和日本电报电话公司几乎同时研制成功寿命达100万小时(实用中10年左右)的半导体激光器,从而有了真正实用的激光器。1977年,世界上第一条光纤通信系统在美国芝加哥市投入商用,速率为45 Mbit/s。

进入实用阶段以后,光纤通信的应用发展极为迅速,应用的光纤通信系统已经多次更新换代。20世纪70年代的光纤通信系统主要是采用多模光纤,应用光纤的短波长(850 nm)波段($1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$);80年代以后逐渐改用长波长(1 310 nm),光纤逐渐采用单模光纤;到90年代初,通信容量扩大了50倍,达到2.5 Gbit/s。进入90年代以后,传输波长又从1 310 nm转向更长的1 550 nm波长,并且开始使用光纤放大器、波分复用(WDM)等新技术,通信容量和中继距离继续成倍增长,广泛地应用于市内电话中继和长途通信干线,成为通信线路的骨干。

我国从1974年开始光纤通信的研究,到20世纪80年代末,光纤通信的关键技术已达到国际先进水平。从1991年起,我国已不再建设长途电缆通信系统,转向大力发展光纤通信。在“八五”期间,建成了含22条光缆干线、总长达33 000 km的“八横八纵”大容量光纤通信干线传输网。1999年1月,我国第一条最高传输速率的国家一级干线(济南——青岛)8×2.5 Gbit/s密集波分复用(DWDM)系统建成,使一对光纤的通信容量又扩大了8倍。

1.2 光纤通信使用的频段

光波也是一种电磁波,其波长在微米级,频率为 10^{14} Hz数量级。由图1-1电磁波谱中可以看出,紫外线、可见光、红外线均属于光波的范畴。目前光纤通信使用的光源的波长范围是在近红外区内,即0.8~1.8 μm 。它可以分为短波长波段和长波长波段,短波段光波的波长为0.85 μm ,长波段光波的波长为1.31 μm 和1.55 μm ,这是目前所采用的三个通信窗口。

1.3 光纤通信的优点

光纤通信之所以发展迅猛,这与光纤通信技术所具有的巨大技术优势和潜力,以及其巨大的经济效益和社会效益是分不开的。

光纤通信最直接、最基本的优点可以从经济和技术两个方面来看。

1. 经济优势

1) 频率资源丰富,通信容量极大

多模光纤的带宽最高可达 7 GHz,远大于同轴电缆。单模光纤的可用带宽高达 200 THz。一对单模光纤的潜在容量达到上亿路电话,几乎是用之不尽的。光纤通信的容量主要受到端机速率的限制。现在世界上最高速率的商用系统为 16 Gbit/s。

2) 无中继通信距离长

以 140 Mbit/s(1 920 路)1.3 μm 单模光纤通信系统为例,在光纤损耗为 0.4 dB/km 时,其中继距离可达 60 km;而 300 路、960 路、1 800 路同轴电缆通信系统,中继距离只有 4~8 km,微波系统中继距离为 50 km。若采用 1.55 μm 波长光纤传输系统时,中继距离可超过 100 km。

由于中继距离长,在长途干线通信中,中继器的数量相应减少,这就大大降低了成本,提高了可靠性,也减少了日常维护的工作量及维护费用。

在市内局间通信中,可以做到局间无中继传输。根据对我国目前城市的抽样调查,市话局间中继线长度小于 15 km 的占 92.9%。显然,若采用光纤通信系统,就能大大地减少中继器的数量,降低通信的成本。

3) 节约铜(铝)和铅

我国乃至世界,铜资源都非常缺乏。1 km 长的 8 管中同轴电缆要耗铜 1.2 t。利用石英玻璃纤维代替同轴电缆实现通信,可以节约大量的铜(铝)和铅。

4) 抗干扰能力强、保密性能好

光纤不受电磁干扰,具有抗电磁辐射的能力,保密性能好。光缆直接埋在电气化铁道的路基上,或与高压线同杆架设,甚至直接制作在 OPGW 中,都不会受到干扰,也不用担心电网故障时地电位升高而带来的一系列问题,因此在电力部门、铁路部门、军事部门得到广泛应用。

5) 光缆耐腐蚀、重量轻、体积小

这是由于光纤的制作材料主要是 SiO_2 的缘故。

2. 技术优势

除了上述的经济优势外,数字光纤传输系统与传统的传输方式相比,在技术上还有许多优势。

(1) 数字光纤传输系统很容易与程控交换机相连接,而主要用于模拟通信的同轴电缆很难满足数字化的要求。

(2) 数字光纤传输设备采用了专用超大规模数字集成电路和混合集成电路,以及表面安

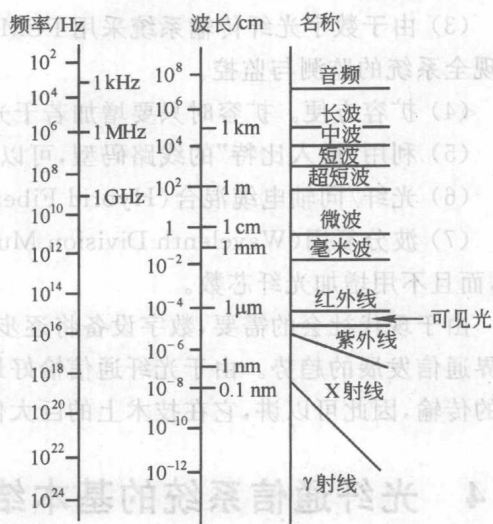


图 1-1 电磁波谱

装技术,使设备的可靠性大大提高。

(3) 由于数字光纤传输系统采用 PCM 技术,因而可以方便地利用终端设备上的计算机,实现全系统的监测与监控。

(4) 扩容方便。扩容时只要增加若干光、电设备,不必更换光缆,不必增加中继站数量。

(5) 利用“插入比特”的线路码型,可以方便地解决“区间通信”问题和任意上下话路问题。

(6) 光纤/同轴电缆混合(Hybrid Fiber Coax, HFC)技术广泛地应用于有线电视网中。

(7) 波分复用(Wavelength Division Multiplex, WDM)技术使得光纤通信的容量大幅度提高,而且不用增加光纤芯数。

由于现代社会的需要,数字设备将逐步取代模拟设备,而建立综合业务数字网已成为当代世界通信发展的趋势。由于光纤通信恰好最能适合实现大容量、长距离的宽带业务和数字信号的传输,因此可以讲,它在技术上的巨大优势和潜力,打开了本世纪的全新通信之门。

1.4 光纤通信系统的基本结构

目前使用的光纤通信系统,普遍采用的是强度调制-直接检波通信系统。强度在这里指光强,是指单位面积上的光功率。所谓强度调制,是用信号电流去直接调制光源的光强,使之随信号电流成线性变化;直接检波是指信号直接在接收机的光频上检测为电信号。

光纤通信系统可以分成两大类:数字光纤通信系统和模拟光纤通信系统。

数字光纤通信系统的示意方框图如图 1-2 所示。

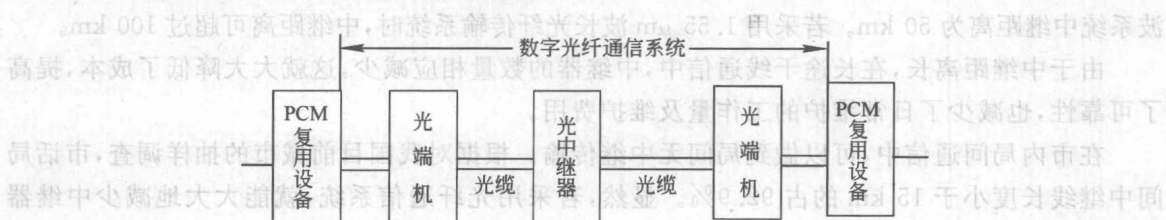


图 1-2 数字光纤通信系统的基本构成

图 1-2 中电端机就是通常的 PCM 多路复用设备,发送光端机是将电信号转换成光信号的光发射机,采用的光源是半导体激光器(LD)或半导体发光二极管(LED),它们都是通过加正向偏置电流而发光的半导体二极管,所不同的是 LD 发出的是激光,而 LED 发出的是荧光。

光发送端机将已调制的光波送入光纤,经光纤传送至光接收端机。光接收端机是将光信号转换成电信号的光接收机。光信号经过光纤传输到达接收端,首先经光电二极管(PIN 或雪崩光电二极管 APD)检波变为电脉冲,然后经放大、均衡、判决等适当处理,恢复为送入发送端时的电信号,再送至接收电端机。

模拟光纤通信系统的示意方框图如图 1-3 所示。

图 1-3 中,前端设备就是有线电视(CATV)中的电视发送设备,它将所传输的信号进行处理或调制,组成基带信号或者按频分多路复用(FDM)方式送至光发射机,光发射机将该电信号转换成光信号送入光纤。由于是模拟电信号,光发射机采用的光源通常是分布反馈式(Distributed Feedback, DFB)激光器,其线性度比较好。

光分路器将光发射机的输出光信号分成几路。

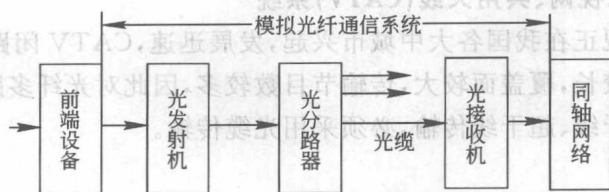


图 1-3 模拟光纤通信系统的基本构成

光接收机将接收到的光信号转换成电信号进行处理,恢复原信号,然后该电信号进入同轴分配网络。

以上就是整个光纤通信的过程。它与一般通信过程所不同的主要有两点:一是传输的信号为光信号,二是利用光纤作为媒质传输手段。强度调制-直接检波系统构成简单,是目前光纤通信所普遍采用的形式。

1.5 光纤通信系统的应用

光纤通信的应用领域是很广泛的,归纳起来,目前大致在下述几方面用得较多。

1. 用于市话中继线

据统计,城市的市话中继线大都在 10~15 km 以内,且地下管道普遍拥挤,随着城市的发展,市话业务量也大增,但又无法新建地下管道,而光纤通信的优点在这里可以充分发挥。今后,光纤通信将逐步取代电缆,得到广泛应用。

2. 用于长途干线通信

在长途通信方面,过去主要靠电缆、微波、卫星通信,现已逐步使用光纤通信并形成了占全球优势的比特传递方法。英国现在长途业务量的 70% 由光纤系统传输,而国际上目前总计则超过了 50%。在经济方面,由于光纤系统具有特有的廉价成本和技术上的先进与成熟等优点,也正在逐步取代电缆。在美国,光纤通信用量居世界之首,光缆干线总长超过 5 万 km。我国的宁—汉—渝光缆工程全长 2 400 km,南沿海工程及京—汉—广长途干线光缆工程的建成和投入使用,对我国长途通信起重要作用。

3. 用于高质量彩色电视传输

目前,在光纤模拟信号传输系统中,传输宽频带电视信号占较大比重,其中 BB-IM、PFM-IM 系统对彩色电视的传输质量可全面达到国家标准甲级技术指标,被广泛用于广播电视台彩电中心至发射台或微波站、卫星地面站之间的光纤短程线。

4. 用于工业生产现场监视和调度

大型工矿企业的工业生产线很长,情况复杂,由总调度室对生产现场全线监视,保证安全生产,合理调度,及时发现问题并及时处理,对保证产品质量、减少事故造成的损失意义重大。尤其调度室距生产现场较远且工业干扰较大时,必须采用光纤传输。

5. 用于交通监视控制指挥

随着城市的现代化,高速公路、地铁和市内交通都变得拥挤,为了提高车辆运行效率,交通管理部门必须加强管理,为了提高车辆流速、减少交通事故,目前都采用最新的光通信技术和计算机,在指挥室指挥十几公里甚至几十公里外的车辆。