



普通高等教育“十三五”规划教材

光纤通信技术

Fiber Optic Communications

陈海燕 陈 聪 罗江华 黄春雄 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育“十三五”规划教材

光纤通信技术

陈海燕 陈 聪 罗江华 黄春雄 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统地介绍了光纤通信系统的基本构成、基本原理和相关技术,内容包括光纤通信技术基础、光纤/光缆与光传输、光发射机与接收机、光纤通信系统设计、同步数字系列 SDH、光网络、光纤通信新技术以及光纤通信系统仿真举例。本书着重光纤通信系统的论述,叙述深入浅出,并配有大量自测题、思考题与习题,便于自学。

本书可作为高等院校光电子技术、光信息技术、应用物理等专业本、专科生教材,也可以作为光学工程、物理电子学等专业研究生的参考书,并可供高等院校相关专业师生及从事光通信技术的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信技术/陈海燕等编著. —北京:国防工业出版社,2016.7
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-118-10904-7

I. ①光… II. ①陈… III. ①光纤通信—高等学校—教材 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 148259 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13½ 字数 333 千字

2016 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 34.80 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776

发行业务:(010)88540717

前 言

本书是在编者多年讲授“光纤通信技术”课程讲义基础上,经过全新修改、补充完成的。本书系统地介绍了光纤通信系统的基本构成、基本原理和相关技术。

本教材的参考学时数为48学时。全书共分为8章。第1章光纤通信技术基础,主要讨论光纤通信系统中的基本概念;第2章光纤/光缆与光传输,主要讨论光波在光纤中的传输、光纤/光缆结构与制作;第3章光发射机与接收机,主要讨论光发射机与接收机的基本组成、特性参数;第4章光纤通信系统设计,主要讨论模拟与数字光纤通信系统的设计方法与关键技术;第5章同步数字系列SDH,主要讨论SDH帧结构与SDH网络结构;第6章光网络,主要讨论光网络基本结构与关键技术;第7章光纤通信新技术,主要讨论光纤通信系统近些年出现的新技术,如WDM技术、TDM技术、色散补偿技术等;第8章光纤通信系统仿真,主要介绍一些基于OptiSystem仿真系统的实例。

本书是根据全国高等院校工科电子信息类光电信息专业的教学大纲编写的专业课教材,具有基础光学、通信原理等基础知识的读者可以顺利阅读。本书适用于高等院校通信工程、光电技术、光信息技术、应用物理等专业本、专科生教材,也可以作为光学工程、物理电子学等专业研究生的参考书,并可供高等院校相关专业师生及从事光电子技术的科技人员参考。本书内容较多,各校可从教学的实际情况出发,有所侧重地选择讲授的内容,加*号的章节可以略去而不影响课程体系的系统性。全书配有大量自测题、习题与思考题,供学生练习。

本书第1章、2.4~2.7节、第3~5、8章由陈海燕执笔;2.1~2.3节由罗江华执笔;第7章由黄春雄执笔;第6章由陈聪执笔。陈海燕负责统编全稿。

本书在编写过程中,参阅了一些编著者的著作和论文,在参考文献中未能一一列出,在此谨向他们表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编著者

目 录

第1章 光纤通信技术基础	1
1.1 光纤通信系统的基本组成	1
1.1.1 光纤语音通信系统实例	1
1.1.2 光纤通信系统基本组成	3
1.2 光纤通信技术发展历史	7
1.2.1 光纤通信技术发展历史	7
1.2.2 光纤通信系统发展趋势	9
1.3 光纤通信的基本概念	10
1.3.1 模拟信号与数字信号	10
1.3.2 传输速率	12
1.3.3 归零码与非归零码	13
1.3.4 系统容量	13
1.3.5 调制方式	14
1.3.6 信道复用	16
1.3.7 眼图	18
1.4 计算机通信网简介	20
1.4.1 计算机通信网与 TCP/IP 互联	20
1.4.2 OSI 与 TCP/IP 分层模型	20
1.4.3 IP 地址技术	22
1.4.4 IP 技术的发展现状	23
1.4.5 IP 业务简介	24
1.5 光纤通信网络概述	25
1.6 光纤通信系统计算机辅助设计工具简介	27
1.6.1 OptiSystem 简介	27
1.6.2 OptiSystem 系统资源库	29
练习1	30
第2章 光纤/光缆与光传输	33
2.1 光纤	33
2.1.1 光纤结构和类型	34
2.1.2 光纤制备工艺	36
2.1.3 光纤连接器与接头	38
2.2 光缆	41
2.2.1 光缆的基本结构	41

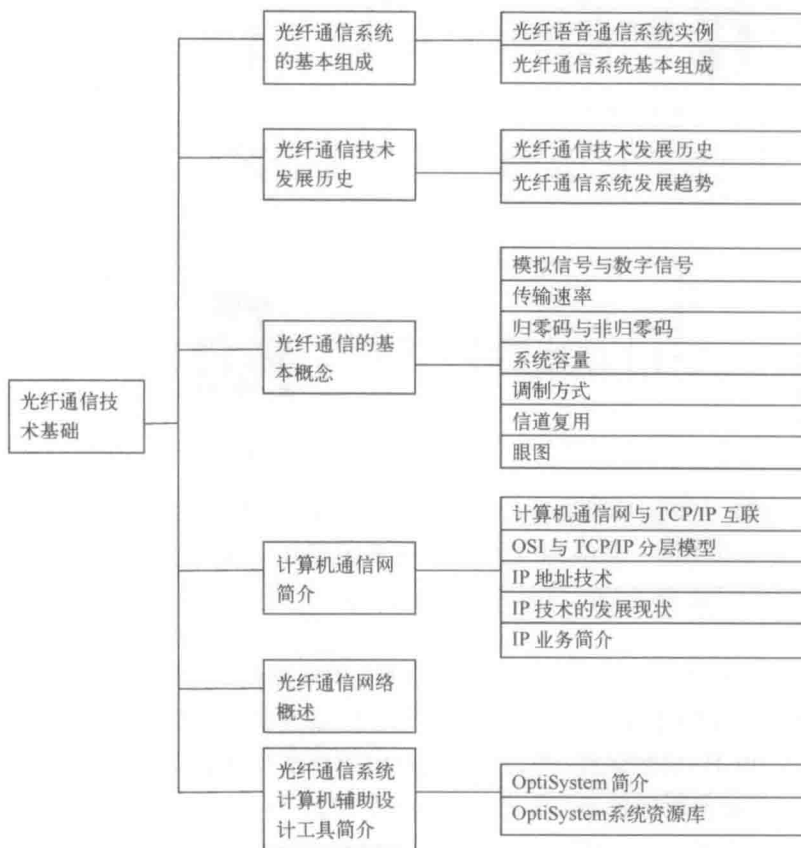
2.2.2	光缆分类	43
2.3	光纤线性传输特性分析	48
2.3.1	光纤传输的几何光学分析	49
2.3.2	光纤传输的波动理论分析	52
2.3.3	光纤的损耗与色散特性	54
2.4	光纤非线性传输特性*	58
2.4.1	光纤非线性效应的影响	58
2.4.2	色散的影响	59
2.5	非线性薛定谔方程的分步傅里叶求解方法*	61
2.6	NLSE 软件包*	63
2.7	10Gb/s 传输系统实验	65
2.7.1	单波长信号传输实验	65
2.7.2	双波长信号传输实验	66
练习 2		67
第 3 章	光发射机与接收机	69
3.1	光发射机	69
3.1.1	光发射机实例	69
3.1.2	光发射机基本组成	70
3.1.3	光源	71
3.1.4	光发射机技术性能	80
3.1.5	光源驱动电路	82
3.1.6	调制电路	83
3.2	光接收机	85
3.2.1	光接收机基本组成	85
3.2.2	光电检测器	86
3.2.3	误码率	87
3.2.4	灵敏度	88
3.2.5	自动增益控制	89
3.3	线路编码与解码	90
练习 3		95
第 4 章	光纤通信系统设计	97
4.1	光纤通信系统结构	97
4.1.1	点对点传输	97
4.1.2	光纤分配网	98
4.1.3	局域网	99
4.2	光纤通信系统设计概述	101
4.2.1	总体设计考虑因素	101
4.2.2	计算最大中继距离所涉及的因素	102
4.3	光纤通信系统中的光器件	105
4.3.1	光纤放大器	105

4.3.2	光无源器件	106
4.4	模拟光纤通信系统	110
4.4.1	调制方式	110
4.4.2	模拟基带直接光强调制光纤传输系统	112
4.4.3	副载波复用光纤传输系统	114
4.5	数字光纤通信系统	116
4.5.1	系统的性能指标	116
4.5.2	数字光纤通信系统设计	118
4.6	光载无线技术简介	120
4.6.1	移动通信简介	120
4.6.2	光载无线技术简介	120
练习4		123
第5章	同步数字系列	124
5.1	两种传输体制	124
5.1.1	准同步数字系列	124
5.1.2	同步数字系列	126
5.2	SDH 传输网	127
5.3	SDH 速率与帧结构	129
5.3.1	SDH 速率	129
5.3.2	SDH 帧结构	129
5.3.3	SDH 复用与映射	131
5.4	SDH 系统基本结构	134
5.4.1	SDH 基本的网络拓扑结构	134
5.4.2	SDH 自愈环	136
5.4.3	我国的SDH传输网结构	140
5.5	SDH 设备介绍	141
5.5.1	TM——终端复用器	141
5.5.2	REG——再生中继器	142
5.5.3	ADM——分插复用器	142
5.5.4	DXC——数字交叉连接设备	143
练习5		144
第6章	光网络	145
6.1	光网络发展状况	145
6.2	光传输网(OTN)	150
6.2.1	光传输网的分层结构	150
6.2.2	光传输网的节点结构	152
6.3	光接入网	154
6.3.1	光接入网(OAN)概念	154
6.3.2	无源光网络	155
6.3.3	有源光网络(AON)	159

6.4	光分组交换(OPS)网	160
6.5	光突发交换(OBS)网	161
6.6	智能光网络	163
6.6.1	ASON 的概念、特点及功能	164
6.6.2	ASON 网络体系结构	164
6.6.3	ASON 的控制协议	167
练习 6		170
第 7 章	光纤通信新技术	171
7.1	大容量波分复用系统超长传输技术	171
7.1.1	波分复用的基本概念及结构	171
7.1.2	WDM 系统的构成	173
7.1.3	WDM 系统的关键技术及相关器件	174
7.1.4	WDM 系统的研发现状	177
7.2	色散和偏振模色散补偿	178
7.2.1	光纤色散的基本概念	178
7.2.2	光纤色散的补偿	179
7.2.3	偏振模色散的补偿	180
7.3	光时分复用技术	182
7.4	量子通信	184
7.4.1	量子光通信基础	184
7.4.2	量子光通信的研究进展	185
7.5	相干光通信技术	187
7.5.1	相干光通信的基本工作原理	187
7.5.2	相干光通信系统结构	189
7.5.3	相干光通信系统的优点	190
7.5.4	相干光通信系统中的关键技术	190
练习 7		192
第 8 章	光纤通信系统仿真	193
8.1	光电子器件仿真	193
8.1.1	激光外调制	193
8.1.2	半导体激光器调制响应	195
8.1.3	VCSEL 激光器的调制特性	197
8.1.4	1550nm LED 光谱分布	197
8.1.5	1300nm LED 调制响应	199
8.2	10Gb/s 单模光纤传输系统	201
8.3	16 信道 NRZ 40Gb/s 传输系统仿真	202
练习 8		206
参考文献		207

第 1 章 光纤通信技术基础

【本章知识结构图】



通信即传送信息/消息。根据载波频率的不同,通信系统可分为电通信系统与光通信系统。光通信系统包括光纤通信系统与空间光通信系统两种,光纤通信是以光波(约 100THz)载运信息,用光纤作传输媒体,实现通信,它是现代主要通信技术。

1.1 光纤通信系统的基本组成

本节以语音通信为例介绍光纤通信系统的基本组成。

1.1.1 光纤语音通信系统实例

光纤通信与移动通信是现代社会中的两种重要通信技术。利用电话机(座机)打电话是一种传统的通信方式,其通话过程可概括为:(1)建立通道,呼叫方拿起电话机的听筒、拨号,被叫方响铃、摘话筒,此时系统就建立了一条呼叫方与被叫方进行通信的通道;(2)通信,系统

先将呼叫方的声音转化为电信号(模拟信号),该信号转化为数字信号并进行编码,经编码的数字信号经调制器加载到光源(半导体激光器或发光二极管)发出的光波上,经光纤传输到达接收端,在接收端经光电探测,将光信号转化为电信号,经解调、电声转化后传递给被叫方,该过程是双向的,完成一次通话,如图 1-1 所示。我国常用的用户信号音如拨号音、忙音、回铃音均采用 450Hz 频率。长途自动接续中对信号音的发送地点有统一规定,对于忙音的发送地点为发端本地局。

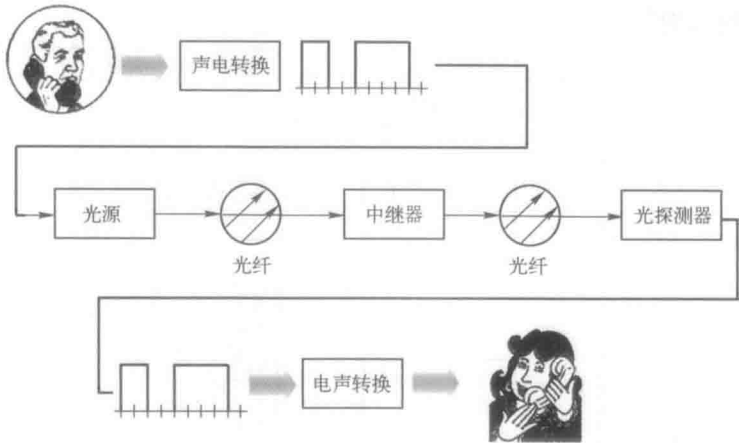


图 1-1 光纤语音通信系统示意图

由图 1-1 可知,光纤通信系统是为了满足人们对高速率、高容量通信需求而在传统电信系统基础上发展起来的。其中,由光纤连接起来的部分(光源—中继器—光探测器)是光纤通信系统特有的组成部分,随着“宽带中国”概念的提出,光探测器将离用户越来越近,逐步进入用户家庭。

光纤通信系统与其他通信系统的区别从原理上讲只是载波频率的不同及相应传输媒介不同,通信波段划分及相应传输媒介如图 1-2 所示。光载波的频率在 100THz 的数量级,微波载波的频率在 1~10GHz 的数量级,光通信的信息容量是微波通信系统的 10⁵ 倍,调制带宽可达 1Tb/s 量级。光纤通信所用载波波段为 0.85μm、1.31μm、1.55μm 波段(又称 C 波段 1.535~

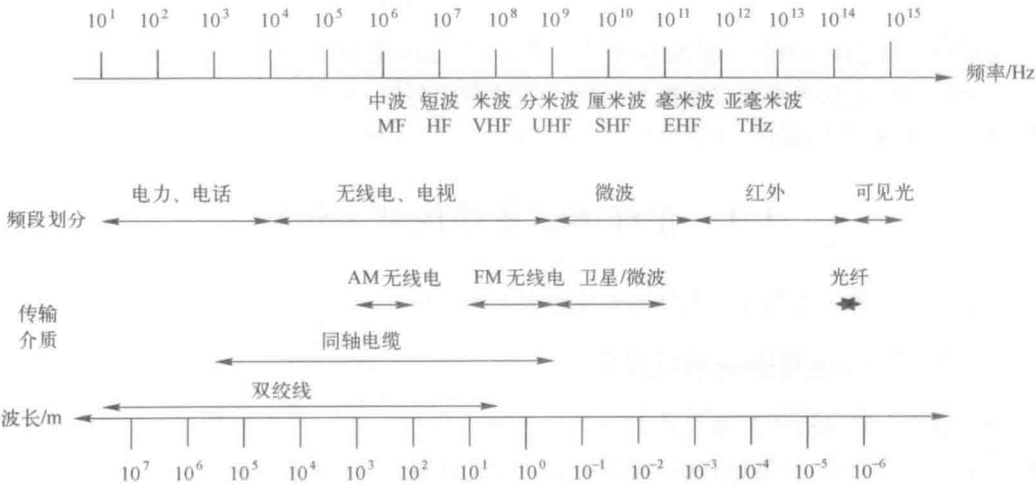


图 1-2 通信波段划分及相应传输媒介

1.565 μm),我国移动通信网(GSM)所用频段为900MHz/1800MHz,对于1800MHz无线电波,其穿透建筑物时的穿透损耗要比900MHz电波高5~10dB,GSM的多址方式为频分复用(FDMA)与时分复用(TDMA)混合技术。

通信工程师用频率来处理带宽,物理学家用波长来处理带宽。波长带宽 $\Delta\lambda$ 与对应的频率带宽 $\Delta\nu$ 之间的关系为

$$\Delta\lambda = \frac{c}{\nu^2} \Delta\nu \quad (1-1)$$

式中: c 为真空中的光速; ν 为光波中心频率。

例题 1-1 有一工作于1.55 μm 波段的波分复用系统,若其信道宽度为50GHz,则所对应的波长宽度是多少?

解:根据式(1-1),可得

$$\Delta\lambda = \frac{c}{\nu^2} \Delta\nu = \frac{\lambda^2}{c} \Delta\nu = \frac{(1.55\mu\text{m})^2}{3 \times 10^8} \cdot 50 \times 10^9 = 0.4\text{nm}$$

1.1.2 光纤通信系统基本组成

光纤通信系统是由光发射机、光接收机以及由光纤(或光缆)和各种有源与无源器件组成的基本光纤传输系统三部分组成,图1-3为单纤传输光纤通信系统组成示意图。

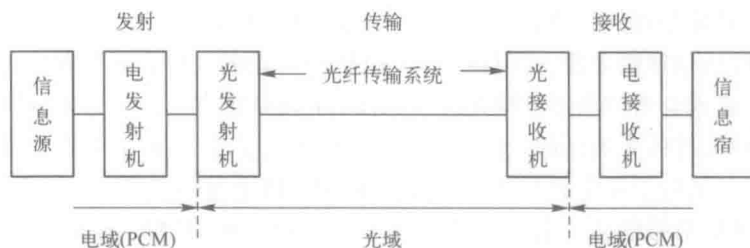


图 1-3 单纤光纤通信系统基本组成(PCM:脉冲编码调制)

人们对通信系统传输容量的需求促进了光纤通信技术的发展。光纤通信的电信应用大致可以分为长途通信和短途通信两类。在长途通信系统中,干线上要求具有很高的传输容量,光纤通信系统正好满足这个要求,特别是光纤放大器的应用,实现了无光电转换的长距离传输。短途通信应用包括城域网络与局域网络系统,这类系统通常具有较低的速率和较短的传输距离(<50km)。在这种应用中采用多信道和多种业务结构。宽带综合业务数字网(B-ISDN)需要一种高比特率的光纤通信系统,该系统能提供电话、计算机数据、多媒体等多种服务。

1. 光发射机

光发射机的作用是将电信号转变成光信号,并将光信号耦合进入传输光纤中。图1-4为光发射机的原理结构示意图,它主要由光源、调制器和信道耦合器组成,其中光源是光发射机的核心,在光纤通信系统中,普遍采用半导体激光器或发光二极管作为光源。光信号通过对光载波的调制而获得,调制方式分为直接调制和外调制两种,在直接调制下,输入电信号直接加到光源的驱动电路上;而在外调制下,输入电信号通过调制器加到光源输出的载波上,外调制可实现高速调制。信道耦合器通常是一个微透镜,它可最大限度地光信号耦合到光纤中。

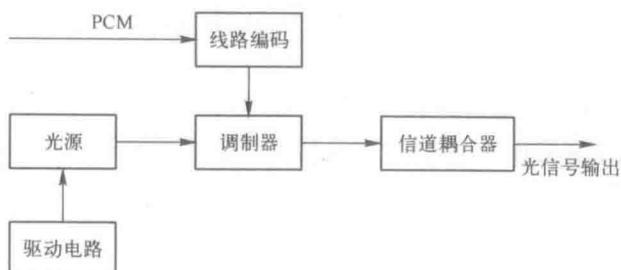


图 1-4 光发射机结构

光发射机的一个重要参数是发射光功率,单位是以 1mW 为基准的 dBm。发光二极管的发射功率较低,且调制能力有限;而半导体激光器的发射光功率可以达到 10dBm,调制性能好,高性能的光纤通信系统大多采用半导体激光器作为光源。光发射机的速率一般是受限于电子电路而不是半导体激光器本身,通过优化设计,光发射机的速率可达 10 ~ 15Gb/s。

例题 1-2 在光通信技术中,常用 dBm 作为光功率单位,任意功率 P 转换为 dBm 单位的变换式为: $P = 10\lg(P(\text{mW})/1\text{mW})(\text{dBm})$ 。1mW 的光功率相当于多少 dBm?

解:代入公式 $P = 10\lg(P(\text{mW})/1\text{mW})(\text{dBm})$ 可得:1mW 的光功率相当于 0dBm。

2. 光接收机

光接收机的功能是将接收到的光信号恢复成原来的电信号,图 1-5 给出了光接收机的结构示意图,它主要由信道耦合器、光电探测器(包括 PIN 光电二极管和雪崩光电二极管)和解调电路构成。信道耦合器的作用是将光信号耦合到光电探测器上。光电探测器是光接收机的主要部件,它能将光纤传来的已调光信号转变成相应的电信号,经放大后送入解码电路进行处理。解码器的设计依赖于系统的调制方式,它的作用是将光电探测器送来的信号进行判决、解码,恢复出原来的电信号信息。光电探测(检测)分为直接检测和相干检测两种方式。

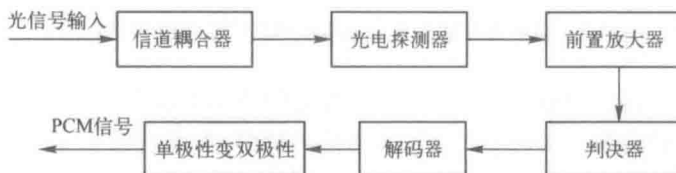


图 1-5 光接收机结构

数字光纤传输的性能用误码率来表征,它定义为在接收机上出现误码的几率,这样, 10^{-9} 的误码率就相当于 10^9 个码中平均来说会有一个误码。大多数光纤通信系统要求误码率 $\leq 10^{-9}$,有些系统甚至要求误码率小至 10^{-14} 。

接收灵敏度是光接收机的一个重要参数,对于数字系统,定义为在一定误码率下的最小平均接收光功率;而对于模拟系统,它的定义为在一定信噪比下的最小平均接收光功率。它与系统的信噪比有关,而信噪比又与使接收信号劣化的各种噪声源的大小有关,噪声包括接收机内部噪声(如热噪声和放大噪声)、光发射机的噪声(如相对强度噪声)以及光信号在光纤内传输过程中引入的噪声等。接收灵敏度由在判决电路上引起信噪比降低的所有可能噪声的累加效应决定,它一般与码率有关,因为有些噪声(如点噪声)是与信号的带宽有关的。

3. 光传输部分

在光纤通信系统中,光传输部分主要由光纤(或光缆)和中继器组成。

1) 光纤

光纤作为通信信道,它的作用是将光信号从发射机不失真地传送到接收机。光纤的三个重要参数是损耗、色散与非线性,它们都影响光纤通信系统的传输距离与传输容量。光纤的损耗直接决定着长途光纤通信的中继距离。图 1-6 为石英光纤损耗特性曲线。目前,石英光纤的损耗已接近理论极限,短波段达 2.1dB/km ,长波段可达 0.184dB/km 以下,损耗最小点在 $1.55\mu\text{m}$ 波长左右,约为 0.20dB/km ,波长 $1.65\mu\text{m}$ 以上的损耗迅速增加。由于 OH^- 的吸收作用,在 $0.90 \sim 1.30\mu\text{m}$ 和 $1.34 \sim 1.52\mu\text{m}$ 波长范围内都有损耗高峰。光纤的色散使得光脉冲在光纤中传输时发生展宽,如果脉冲展宽严重,就会对邻近码产生影响,形成码间干扰。通过控制光源光谱的谱宽,可以减小这种展宽效应的影响。尽管如此,材料色散仍然是光纤通信系统中限制码速和传输距离的重要因素。一般石英光纤的零色散波长在 1310nm 波长左右,在 $1.55\mu\text{m}$ 波段,其色散值为 $17 \sim 20\text{ps/km/nm}$ 。在高速光纤通信系统与波分复用系统中,光纤非线性效应会使系统特性劣化,光纤非线性系数典型值约为 $2.0(\text{W} \cdot \text{km})^{-1}$ 。

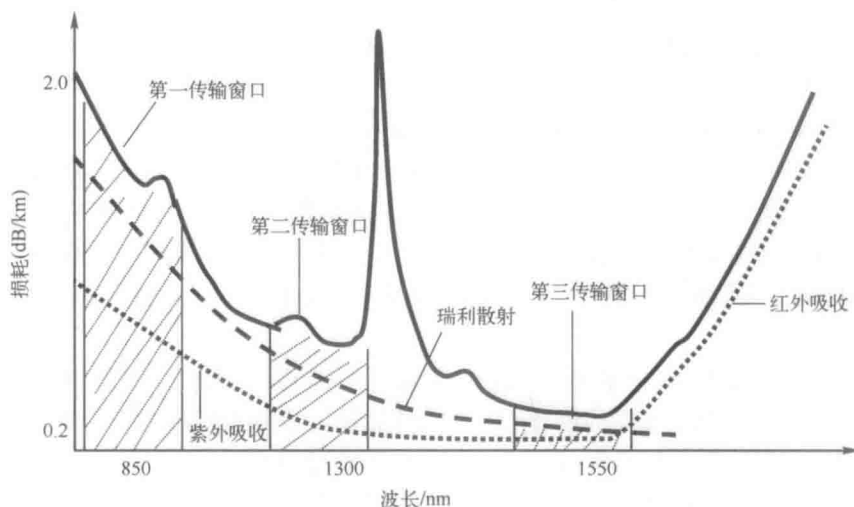


图 1-6 石英光纤损耗特性曲线

损耗对数单位(dB)与线性单位之间的变换关系为

$$\alpha(\text{dB/km}) = 4.343\alpha(1/\text{km}) \quad (1-2)$$

例题 1-3 如输入信号的功率为 1mW , 光纤损耗为 0.2dB/km , 传输 100km , 问输出功率为多少?

解法 1: 光纤总损耗为 $0.2\text{dB/km} \times 100 = 20\text{dB}$

输出功率为 $0\text{dBm} - 20\text{dB} = -20\text{dBm} = 0.01\text{mW}$

解法 2: 光纤损耗系数为 $0.2/4.343 = 0.04605/\text{km}$

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} \exp(-0.04605 \times 100) = P_{\text{in}} \exp(-4.605) = 0.01 P_{\text{in}} = 0.01\text{mW}$$

市场上销售的光纤有裸纤、 $\phi 0.9\text{mm}$ 、 $\phi 3\text{mm}$ 三种型号。根据国际电信同盟(ITU-T)公布的光纤标准,光纤分为以下几种:

(1) G.651:多模渐变型光纤。

(2) G.652:常规单模光纤,零色散波长在 $1.3\mu\text{m}$ 。G.652 光纤/光缆主要应用于城域网和接入网,不需要采用大复用路数的密集波分复用的骨干网也常采用 G.652 光纤/光缆。对于速率较高、距离很长的系统,应采用有小偏振模色散(PMD)的 G.652B 光纤/光缆。

(3) G.653:色散位移光纤(DSF),零色散移到 $1.55\mu\text{m}$,它的零色散波长范围为 $1.50 \sim 1.60\mu\text{m}$,与光纤的低损耗区一致。但是,多信道时会发生四波混频(FWM)现象,色散为零时,FWM 的干扰会十分严重。G.653 光纤/光缆仅用于单信道高速率系统,不用于波分复用系统。

(4) G.654:在 $1.55\mu\text{m}$ 损耗最小的光纤,仅为 0.185dB/km ,一般用于长距离海底光缆系统,陆地传输一般不采用。

(5) G.655:非零色散位移单模光纤 NZ-DSF,在 $1.55\mu\text{m}$ 处有微量($17 \sim 20\text{ps/km/nm}$)色散,FWM 的干扰反而会减小。根据对 PMD 和色散的不同要求,G.655 光纤/光缆又分为 G.655A、G.655B 和 G.655C 三种。它们支持速率大于 10Gb/s 、有光放大器的单波长信道系统,速率大于 2.5Gb/s 、有光放大器的多波长信道系统,和 10Gb/s 局间应用系统以及光传输网系统。

(6) G.656:宽带光传送的非零色散光纤,在 $1460 \sim 1624\text{nm}$ 波长范围具有大于非零值的正色散系数值,能有效抑制密集波分复用系统的非线性效应,其最小色散值在 $1460 \sim 1550\text{nm}$ 波长区域为 $1.00 \sim 3.60\text{ps/nm} \cdot \text{km}$,在 $1550 \sim 1625\text{nm}$ 波长区域为 $3.60 \sim 4.58\text{ps/nm} \cdot \text{km}$;最大色散值在 $1460 \sim 1550\text{nm}$ 波长区域为 $4.60 \sim 9.28\text{ps/nm} \cdot \text{km}$,在 $1550 \sim 1625\text{nm}$ 波长区域为 $9.28 \sim 14\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ 。这种光纤非常适合于 $1460 \sim 1624\text{nm}$ (S+C+L 三个波段)波长范围的粗波分复用和密集波分复用。与 G.652 光纤比较,G.656 能支持更小的色散系数,与 G.655 光纤比较,G.656 光纤能支持更宽的工作波长。G.656 光纤可保证通道间隔 100GHz 、 40Gb/s 系统至少传 400km 。人们预测 G.656 光纤可能成为继 G.652 和 G.655 之后的又一个广泛应用的光纤。

(7) G.657:接入网用弯曲衰减不敏感单模光纤。G.657 光纤是为了实现光纤到户的目标,在 G.652 光纤的基础上开发的最新的一个光纤品种。这类光纤最主要的特性是具有优异的耐弯曲特性,其弯曲半径可实现常规的 G.652 光纤的弯曲半径的 $1/4 \sim 1/2$ 。G.657 光纤分 A、B 两个子类,其中 G.657A 型光纤的性能及其应用环境和 G.652D 型光纤相近,可以在 $1260 \sim 1625\text{nm}$ 的宽波长范围内工作;G.657B 型光纤主要工作在 1310nm 、 1550nm 和 1625nm 三个波长窗口,其更适用于实现“光纤到家”的信息传送、安装在室内或大楼等狭窄的场所。

2) 中继器

中继是指在传输过程中对光信号的适当补偿。光信号在光纤中传输一段距离后,由于各种损耗的作用,光信号将变得越来越弱,同时受到光纤色散的影响,光脉冲展宽而引起信号失真,因此,在长途干线上,每隔一定距离,就需要对衰减并失真的光信号进行放大、整形和重新定时,然后再进行传输,完成这项工作的器件称为中继器。

光中继方式有光—电—光和全光两种方式。光—电—光中继方式是指在中继器中,先将需要处理的光信号转换成电信号,在电域进行放大、整形和重新定时,然后再转换成光信号,该方式结构复杂、成本高。此外,由于电带宽的限制,形成了光纤通信系统的“瓶颈”。全光中继方式中采用光放大器(光纤放大器、半导体光放大器)补偿光信号的衰减,目前,波分复用通信系统中普遍采用这种中继方式。

自测练习

- 1-1 光纤通信是以_____为传输媒质。以_____为载波的通信方式。光纤的工作波长为_____、_____和_____。
- 1-2 我国常用的用户信号音如拨号音、忙音、回铃音均采用_____。
(A) 540Hz (B) 450Hz (C) 双频 (D) 1980Hz
- 1-3 长途自动接续中对信号音的发送地点有统一规定,对于忙音的发送地点为_____。
(A) 长途局 (B) 本地汇接局 (C) 发端本地局 (D) 终端本地局
- 1-4 GSM 的多址方式为_____。
(A) FDMA (B) TDMA
(C) CDMA (D) FDMA - TDMA 混合技术
- 1-5 我国的移动通信网(GSM)采用的频段为_____ MHz。
(A) 900/1800 (B) 800/1600 (C) 1000/2000 (D) 900/1500
- 1-6 一般二氧化硅光纤的零色散波长在 1310nm 左右,而损耗最小点在_____波长左右。
- 1-7 当工作波长 $\lambda = 1.31\mu\text{m}$,某光纤的损耗为 0.5dB/km,如果最初射入光纤的光功率是 0.5mW,试问经过 4km 以后,以 dB 为单位的功率电平是_____。
- 1-8 在某个实验中,光功率计测得某光信号的功率为 -30dBm,等于_____ W。
(A) 1×10^{-6} (B) 1×10^{-3} (C) 30 (D) -30
- 1-9 超短波 VHF 频段的频率范围为_____。
(A) 3 ~ 30MHz (B) 30 ~ 300MHz (C) 300 ~ 3000MHz (D) 300 ~ 3000MHz
- 1-10 对于 1800MHz 无线电波,其穿透建筑物时的穿透损耗要比 900MHz 电波_____。
(A) 低 5 ~ 10dB (B) 高 5 ~ 10dB (C) 相同 (D) 高 3dB
- 1-11 光纤的损耗因素主要有本征损耗、_____和附加损耗等。
(A) 制造损耗 (B) 连接 (C) 耦合损耗 (D) 散射损耗

1.2 光纤通信技术发展历史

1.2.1 光纤通信技术发展历史

用光传递信息可以追溯到古代,那时很多国家用烟、信号灯、信号旗等来传递信息。19 世纪 30 年代人类发明了电报,用电代替光,通过采用莫尔斯码等编码技术,比特率 B 可以达到 10b/s,在中继站的支持下,传输距离可达千公里。1866 年世界上开通了第一条电报电缆,1876 年贝尔发明了电话,1880 年他又发明了光电话,电话采用连续变化的电流来“模拟”地传递声音信息,此后,模拟电通信技术在通信系统中占统治地位长达一个世纪之久。

20 世纪,全球范围电话网的发展,导致了电通信系统里不断出现新的设计,用同轴电缆代替双绞线,使系统容量大大增加。由于通信系统的带宽受限于其载波频率,导致了微波系统的产生,1948 年第一个微波系统投入使用,此后同轴电缆系统和微波系统都得到了较大发展,到 1970 年,通信系统的容量 BL (速率 - 距离乘积)达到约 100(Mb/s) · km,然后电通信系统的容

量就基本上被限制在这个水平上。比特率(B)、传输距离(L),以及比特率-距离乘积(BL)是衡量通信系统整体性能的重要指标。此外,对于波分复用系统还有频率效率(信道比特率/信道间隔, b/Hz)指标。

20 世纪后半期,人们意识到如果采用光波作为载波,通信容量可望有几个数量级的提高,但直到 50 年代末仍然没找到相干光源和合适的传输介质。1960 年发明了激光器,解决了第一个问题,1966 年光纤被提出可以作为光波系统的最佳传输介质,但当时光纤具有高达 1000dB/km 的巨大损耗,同年,被称为“光纤之父”的高锟博士发表了可能实现光纤通信的划时代论文,论文指出,如果提高石英光纤的纯度,可以大大降低其损耗,他因此获得了 2009 年的诺贝尔物理学奖。1970 年光纤损耗得到突破,美国康宁公司拉制出世界上第一根衰减 20dB/km 的光纤,同年美国贝尔实验室制成可在常温下工作的铝镓砷 (AlGaAs) 半导体激光器(光源)。1973 年左右,各种波长范围的高效率、高速率光电检测器件(PIN, APD)陆续问世,导致了光纤通信系统的迅速发展。1974 年左右,许多国家都进行了各种室内的光纤通信传输实验。1976 年后,出现了各种实用的光纤通信系统。1979 年,单模光纤在 1550nm 波长上的损耗已降到 0.2dB/km ,已接近石英光纤的理论损耗极限。1980 年,美国 AT&T 公司的 45Mb/s 光纤通信系统 FT-3 实现商用,光纤通信进入高速发展时期。

光纤通信系统(又称光波系统)的发展大致可以分为五个阶段:

第一代光波系统于 1978 年投入使用,光源采用波长为 $0.85\mu\text{m}$ (短波长,损耗 3.5dB/km) 的铝镓砷 (AlGaAs) 半导体激光器,硅材料 PIN 或 APD 光检测器,采用多模光纤,系统的传输速率为 $50 \sim 100\text{Mb/s}$,中继距离为 10km 。与同轴电缆相比,较大的中继距离对系统设计者来说是一个巨大的鼓舞,可以减小对中继站的安装与维护费用。

第二代光波系统出现在 20 世纪 80 年代早期,光源采用波长为 $1.3\mu\text{m}$ (长波长)的铟镓砷磷/铟磷 (InGaAsP/InP) 半导体激光器,锗材料 PIN 或 APD 光检测器,采用多模光纤,中继距离超过 20km ,但由于受多模光纤中模式色散的影响,系统的传输速率被限制在 100Mb/s 以下。1987 年实现了中继距离为 50km ,传输速率为 1.7Gb/s 的 $1.3\mu\text{m}$ 单模光纤通信系统。

第三代光波系统出现在 1990 年,光源采用波长为 $1.55\mu\text{m}$ 的半导体激光器,采用单模光纤与色散位移光纤,中继距离超过 100km ,传输速率为 2.4Gb/s 。

第四代光波系统以波分复用增加速率和用光放大器增加中继距离为标志,进行色散管理,可以采用或不采用相干检测方式,采用直接检测方式,实现了在 2.5Gb/s 速率上传输 4500km 和 10Gb/s 速率上传输 1500km 。从 1990 年开始,光放大器正引起光纤通信领域里发生着一次变革。

目前,人们已涉足第五代光波系统的研发,这种系统基于一个基本概念——光孤子,即由于光纤非线性效应与光纤色散效应相互抵消,使光脉冲在无损耗的光纤中保持其形状不变地传输的现象。1989 年,掺铒光纤放大器开始用于光孤子放大,后来许多系统实验证实了光孤子通信的可能性,但自今尚无商业化传输系统。

与电通信相比,光纤通信具有如下优点:(1)通信容量大、传输距离远;(2)信号串扰小、保密性好;(3)抗电磁干扰、传输质量佳;(4)光纤尺寸小、重量轻,便于敷设和运输;(5)节约有色金属等。缺点是:(1)光纤的连接比电缆困难;(2)信号的处理(交换、路由)比电信号复杂;(3)一般用于长途干线通信中。

1.2.2 光纤通信系统发展趋势

光纤通信系统的发展趋势是网络化、大容量与高速化、全光化、多媒体化和器件集成化。

1. 网络化

信息化是 21 世纪的时代特征,信息化的基础是网络化。光纤通信向联网化方向发展已成为必然趋势,其中尤以同步数字体系(SDH)传送网和光纤接入网为典型代表。

SDH 是一种以联网为基本特征的新型传输体系,SDH 网络是一个将复接、线路传输及交换功能融为一体并由统一网管系统进行自动化管理的综合信息网。

光纤接入网作为电信网的一部分,直接面向用户,通过先进的光纤传输为用户提供各种业务服务。

2. 大容量与高速化

实现大容量与高速化的主要手段是采用复用技术,电复用鉴于电器件性能已达极限,很难超过 2.5Gb/s,因此电复用向光复用转移已成定论。光复用有以下几种。

光时分复用(OTDM),它需较复杂的光子器件,离实用化尚有一段距离。

光频分复用(OFDM),将彼此光频靠得很近的光信号组合起来实现大容量传输,尤其是与相干光通信技术相结合,可大大提高复用信道数。

光波分复用(OWDM),将载有信息的各波长光信号复用传输,以实现大容量、多用途的目标,目前已得到广泛应用。目前商用的密集光波分复用(DWDM)系统的波长数已达到 160 个(实验室已做到 1000 个)。

波分复用(WDM),可以大大提高通信容量,相邻波长间隔越小,总的传输容量就越大,因此,减小 WDM 系统的波长间隔是人们努力的方向。普通的点到点 WDM 系统虽然有巨大的通信容量,但只提供了原始的传输带宽,必须要有灵活的节点才能实现高效灵活的组网。因此,光节点的开发十分重要。光分插复用器(OADM)和光交叉连接器(OXC)依靠光层上的波长连接解决节点的容量扩展问题,使单个节点容量从 160Gb/s 增加到 10Tb/s。

3. 全光化

能消除电—光转换这一瓶颈。光放大技术实现对光信号的直接放大,更新传统的光/电/光中继器结构;光孤子传输将光纤的非线性效应与色散效应有机结合,实现无脉冲展宽的长距离传输;光交换技术直接对光信号的进出进行控制,实现全光信号的直接交换。

4. 传送业务的多媒体化

人们已经不能满足单一的语音通信,传送业务必须包括语音、数据、图像等多媒体业务。

5. 器件集成化

目前器件发展的方向是高速率、高性能、多用途、组件化和单片集成化。系统端机的集成化与模块化可提高传输速率与性能、简化结构、降低成本。

光传送网的最新发展趋势是自动交换光网络,使光联网从静态光联网发展到智能光网络,它将交换功能引入到光层,传送与交换在光层的进行。

自 测 练 习

1-12 英国人_____在 1899 年和 1901 年分别实现了横跨英吉利海峡和大西洋的通信。