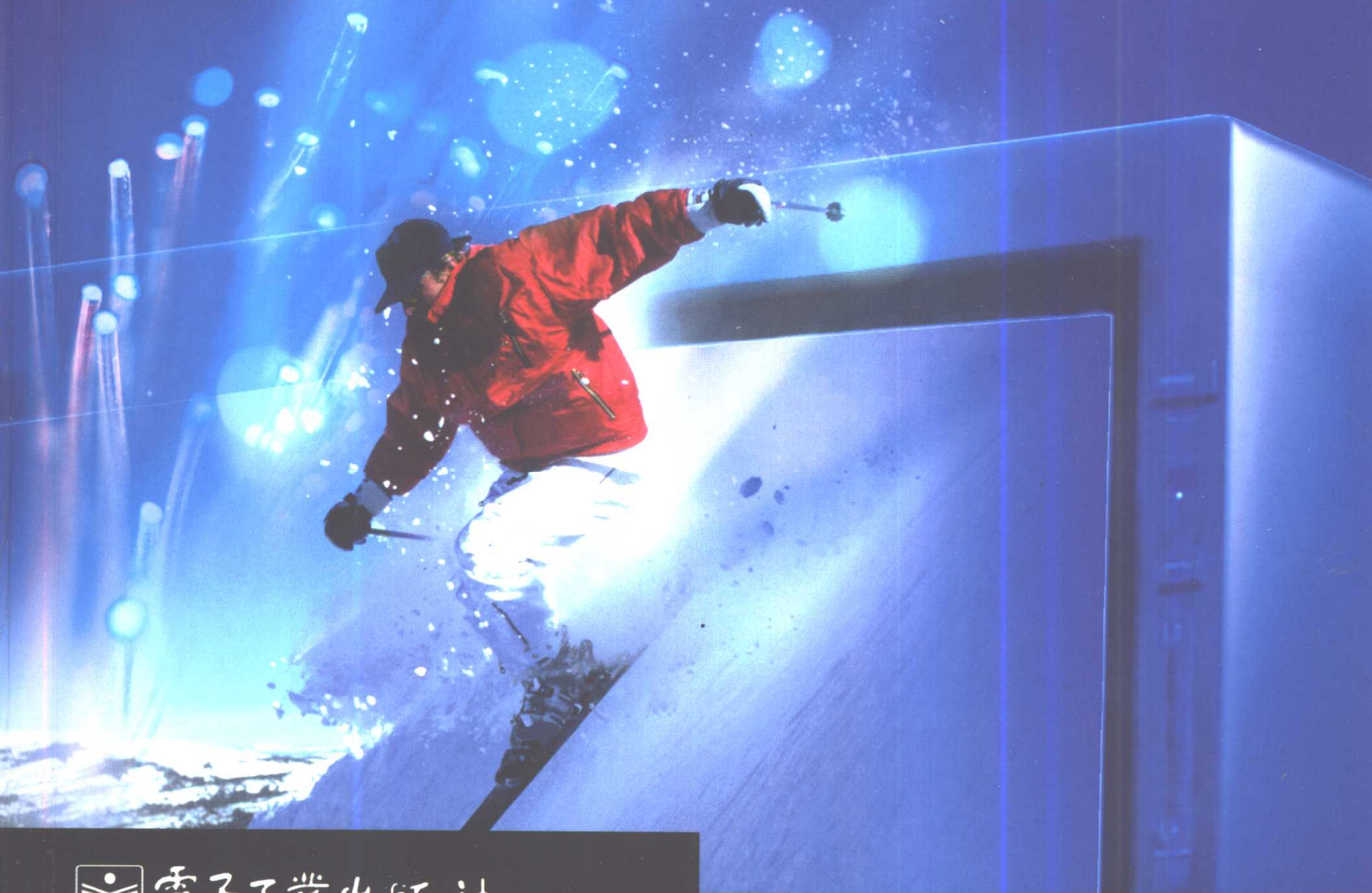




全国高技术重点图书
信息的获取与处理技术领域

光纤电视 传输技术

林如俭 著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

全国高技术重点图书·信息的获取与处理技术领域

光纤电视传输技术

林如俭 著

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

这是一本集科学理论论述、先进技术讲解与工程经验总结为一体的高科技专著,介绍、阐述和讨论光纤技术在电视传输及通信领域的应用。全书共分16章,在介绍光纤传输系统各个部件之后,首先给出电视信号的描述和电视体制的规定,然后分别叙述基带视频光纤传输系统,副载波复用多路电视光纤传输系统,光纤放大器,光纤CATV网的结构、设计、施工与测量。最后介绍光纤电视传输新技术的展望。附录介绍典型测量仪器。

本书适合于广播电视和光纤传输领域的技术人员、管理干部、工程师、科研工作者,以及学校教师、大学生和研究生使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

光纤电视传输技术/林如俭著. —北京:电子工业出版社,2001.9

ISBN 7-5053-5114-1

I. 光... II. 林... III. 电视系统:光波导通信系统—数据传输—技术 IV. TN943.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第053184

书 名:光纤电视传输技术

著 者:林如俭

责任编辑:郭 晓 刘 娜

特约编辑:孙维民

排版制作:电子工业出版社计算机排版室监制

印 刷 者:北京天宇星印刷厂

装 订 者:河北省涿州桃园装订厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:47.25 字数:1209.6千字

版 次:2001年9月第1版 2001年9月第1次印刷

书 号:ISBN 7-5053-5114-1
TN·1231

印 数:3 000册 定价:78.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

序

世纪交替,新技术革命风起云涌。在建设国家信息基础设施(信息高速公路)的浩大工程中,电视信号的光纤传输无疑是一个重要方面。从基带视频、音频信号的直接传输,到几十、上百套射频电视节目的副载波复用(SCM)传输;从模拟传输到数字传输;从点到点的光纤链路到一点到多点的光纤同轴混合网(HFC),其中涉及了许许多多新技术和工程实践问题,需要广播电视、电信和光电信息产业的从业者学习和研讨。特别是 HFC 网已经在世界范围内被认可为宽带接入网的重要方式,就更应当对这种网络的双向化和电视、数据、电话三大类业务的承载问题进行认真的研究。为此,我认为编写出版一本论述光纤电视传输技术的专著是十分必要的。

本书作者林如俭教授已在上海大学(原上海科学技术大学)任教 40 年,从 1972 年起从事数字通信研究。自 1979 年访美开始其研究范围又扩大至光纤通信领域。教学经验丰富,科研成果卓著。难能可贵的是,他自 1991 年起,在我国倡导光纤有线电视(CATV)事业,做了许多开拓性的工作,并创办科技企业,深入应用实践。在此基础上,总结、编写了这本《光纤电视传输技术》。

本书的特点是系统性强,从光纤通信基础知识、数字传输体制、电视信号特点、压缩编码、数字调制、光纤传输系统、光纤 CATV 一直讲到多功能 HFC 网,努力让读者对这一领域有全面的了解。全书述理清晰,理论联系实际,在不少地方表述了作者的科研成果。

我国迄今出版的光纤通信书籍很少涉及电视传输,现在《光纤电视传输技术》专著的出版将弥补这方面的缺陷,所以我乐于向全国读者推荐。

中国科学院院士,上海交通大学教授



2001 年 6 月于上海

前 言

本书作为光纤电视传输技术的专著,是十多年来特别是七年来著者和同事、学生们在这一领域中从事教学、科研、技术开发和工程实践所获得知识和经验的总结。著者在山东、广东、北京、河北、河南、四川、新疆、湖南各地的讲课形成了本书最初的蓝本。为了便于不同技术层次读者的阅读,本书从广阔的相关领域取舍题材,注重物理概念的描述,在必要时也进行比较严密的数学推导,力求做到由浅入深,理论与实践并重。

第1章至第5章讲述光纤通信的发展史和光纤传输系统的基本部件——光纤、光缆、光源、光探测器和光无源器件。根据应用上的重要性,光纤部分只讲单模光纤;光源部分着重介绍激光器并分析其光谱特性和调制特性;光无源器件部分则强调光纤在线器件和介质平面波导光调制器。

第6章讲解模拟电视信号的特点和视频信号的测试。第7章讲解视频和声音信号的数字化及压缩编码方法,给出CCIR601和MPEG-2数字电视体制。第8章讲述基带数字传输体制PDH和SDH,重点放在SDH。

至此,为光纤电视传输系统的分析打下了基础,接下去将论述各种各样的系统。已有此基础的读者可直接阅读以后章节。

第9章介绍基带数字光纤传输系统,重点是系统误码率分析和光链路设计,推导了改进的系统误码率与接收机灵敏度的高斯逼近算法,得到了光源模式分配与光纤色散条件下的码速距离积公式。讨论了数字光纤传输系统指标的测试。

第10章讲述模拟光纤传输系统,重点是副载波复用(SCM),特别是AM-SCM多路电视光纤传输系统,因为它构成光纤CATV网的基础。对影响这种系统的载噪比和非线性失真的因素进行了详尽、深入的探讨。

第11章讲述光纤放大器和1550 nm光纤传输系统,在给出光纤放大器基本理论的基础上推导了光纤放大器所引入的系统质量损伤。对超长距离1550 nm模拟光纤传输系统的问题给予了特别的关注与论述。

第12章、第13章、第14章注重介绍光纤CATV网的设计、施工和测试专题,包含工程实践经验的总结及尚不为人所熟悉的上行通道设计。

第15章介绍数字调制-SCM光纤传输系统。在介绍各种数字调制体制的基础上,着重讨论QPSK和M-QAM,并把它们放在HFC网双向传输的环境中进行性能分析。探索了HFC网上行通道中侵入干扰的特点及其对数字解调器的影响。还分析了激光器削波所造成的下行通道中模拟信号与数字信号的相互影响,建立了误码率与载噪比的新关系。

第16章讲述信息高速公路与光纤同轴混合网。论述了HFC网在信息高速公路中的地位。介绍了涉及骨干传送网和接入网的各种技术:ATM、IP、xDSL、FTTC和HFC,提出了在HFC网上综合实现IP、电话、VOD和DVB业务的方案。最后重点讲述了Cable Modem的国际标准和实现方法。

参加本书编写的有工程师陈伟斌(第6章)、副研究员吴芳(第11章)、副研究员李力(第14章)和讲师陈健强、宋英雄(第15章、第16章)。另外,姚寿铨副教授为第3章提供了光纤耦

合器与波分复用器的素材和研究成果。

在著述本书的过程中参考了众多的中外文献和书籍,包括著者所在上海大学通信工程系、光纤研究所及上海天博光电技术有限公司的同事们的有关论文。另外还常与黄肇明教授讨论问题,从中获益匪浅。中国科学院院士、上海交通大学张煦教授欣然为本书提笔作序。对所有这些同事、朋友和师长的支持和关怀,著者在此表示衷心的感谢。

如果本书能对中国广播电视事业的进步和面向 21 世纪的中国信息产业的发展有所帮助的话,著者将感到莫大的欣慰。对于书中的疏漏与错误,欢迎各界朋友不吝指正。

E-mail:rujianlin@sina.com

上海大学通信与信息工程学院

林如俭

2000 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1-1 电磁波与光载波	(1)
1-2 光通信的历史回顾	(2)
1-3 光纤传输的优点	(4)
1-4 光纤传输系统的构成	(5)
1-5 光纤传输系统的分类	(8)
参考文献	(11)
第 2 章 光波导传输原理	(12)
2-1 光纤的构造	(12)
2-2 光纤传输的几何光学描述	(13)
2-3 光纤传输的模式理论	(18)
2-4 单模光纤	(28)
2-5 光纤的传输特性	(30)
2-6 光缆的结构和特性	(48)
参考文献	(52)
第 3 章 光无源器件	(55)
3-1 光纤耦合器	(55)
3-2 光分路器	(69)
3-3 光纤连接器	(70)
3-4 光隔离器	(74)
3-5 光调制器	(76)
参考文献	(87)
第 4 章 光源	(89)
4-1 概述	(89)
4-2 电注入半导体发光	(90)
4-3 典型的半导体激光器结构	(97)
4-4 半导体激光器的特性	(101)
4-5 激光器响应特性的理论分析	(114)
4-6 关于激光器光谱的分析	(118)
4-7 半导体激光器组件	(121)
4-8 半导体激光器的偏置、控制和驱动	(125)
4-9 发光管(LED)	(131)
参考文献	(137)
第 5 章 光探测器	(139)
5-1 概述	(139)

5-2	光探测器的工作原理	(140)
5-3	光探测器的散弹噪声分析	(145)
5-4	光探测器的结构	(147)
	参考文献	(151)
第 6 章	电视信号	(152)
6-1	图像与视觉	(152)
6-2	图像信号的特征	(156)
6-3	图像信号的调制	(162)
6-4	模拟电视信号的测量	(170)
	参考文献	(177)
第 7 章	电视信源编码	(178)
7-1	电视信号的数字化	(178)
7-2	PCM 编码原理	(183)
7-3	电视信号编码参数及编码标准	(191)
7-4	电视信号的压缩编码方法	(208)
7-5	MPEG 与 MPEG-2 标准	(232)
7-6	其他编解码标准	(246)
	参考文献	(249)
第 8 章	基带数字传输体制	(250)
8-1	电话信号的 PCM 编码	(250)
8-2	时分复用(TDM)	(253)
8-3	准同步数字等级(PDH)	(256)
8-4	同步数字等级(SDH)	(260)
8-5	传输损伤	(286)
	参考文献	(294)
第 9 章	数字光纤通信系统设计	(295)
9-1	概述	(295)
9-2	光接收机的噪声分析	(297)
9-3	误码率的高斯逼近算法	(307)
9-4	光接收机电路	(312)
9-5	定时提取与判决再生	(319)
9-6	数字光纤通信系统链路设计	(326)
9-7	线路编码	(335)
9-8	数字光纤传输系统的指标与测试	(350)
	参考文献	(365)
第 10 章	模拟电视光纤传输系统	(369)
10-1	直接调制视频光纤传输系统	(369)
10-2	PFM 电视光纤传输系统	(372)
10-3	副载波复用(SCM)光纤传输系统	(381)
10-4	FM 光纤传输系统	(383)

10-5	AM-VSB 光纤传输系统	(387)
10-6	AM-VSB 外调制光纤传输系统	(414)
	参考文献	(424)
第 11 章	掺铒光纤放大器及 1550 nm AM 光纤传输系统	(428)
11-1	引言	(428)
11-2	掺铒光纤放大器原理	(429)
11-3	速率方程	(434)
11-4	掺铒光纤放大器特性分析	(437)
11-5	掺铒光纤放大器优化设计	(439)
11-6	掺铒光纤放大器的噪声	(442)
11-7	用于电视分配(CATV)网的掺铒光纤放大器	(446)
11-8	铒镱共掺光纤放大器	(456)
11-9	含 EDFA 的模拟光纤传输系统的结构	(459)
11-10	超长距离 1550 nm 模拟光纤传输系统	(462)
	参考文献	(476)
第 12 章	光纤 CATV 网的结构和设计	(478)
12-1	光纤传输用于有线电视的优点	(478)
12-2	光纤 CATV 网的网络拓扑与结构	(479)
12-3	光纤 CATV 网光缆干线的设计	(485)
12-4	光纤 CATV 网上行通道的设计	(489)
	参考文献	(503)
第 13 章	光纤传输线路的施工	(504)
13-1	光缆线路施工准备	(504)
13-2	光缆的敷设	(505)
13-3	光纤与光缆的接续	(516)
	参考文献	(524)
第 14 章	光纤 CATV 网的测量	(525)
14-1	概述	(525)
14-2	载噪比 C/N 的测量	(528)
14-3	组合三阶差拍失真 CTB 的测量	(533)
14-4	组合二阶互调失真 CSO 的测量	(539)
14-5	交扰调制比 CM 的测量	(542)
14-6	哼声 HUM 的测量	(543)
14-7	载波电平及频率的测量	(544)
14-8	光链路的测量	(544)
14-9	激光器相对强度噪声和光调制度的测量	(547)
	参考文献	(555)
第 15 章	数字调制 SCM 光纤传输系统	(556)
15-1	载波数字传输系统基本原理	(556)
15-2	频移键控(FSK)	(557)

15-3	四相相移键控(QPSK)	(560)
15-4	正交幅度调制(M^2 QAM)	(564)
15-5	多电平残留边带调幅(MVSB)	(566)
15-6	各种数字调制方式的比较	(567)
15-7	多载波调制技术	(568)
15-8	同步码分多址技术(SCDMA)	(571)
15-9	HFC 网上行信道的噪声测量与分析	(573)
15-10	上行信道的削波噪声	(585)
15-11	HFC 网上行信道噪声与干扰对 QPSK 调制解调器的影响	(588)
15-12	HFC 网下行信道的削波干扰	(594)
15-13	RS 编码和交织	(605)
	参考文献	(611)
第 16 章	信息高速公路与 HFC 网	(614)
16-1	信息高速公路与 Internet	(614)
16-2	信息高速公路的网络技术	(615)
16-3	双绞铜线接入技术	(626)
16-4	光纤同轴混合(HFC)网	(629)
16-5	计算机网络与 TCP/IP	(634)
16-6	Cable Modem 系统	(644)
16-7	Cable Phone 系统概述	(661)
16-8	数字视频广播(DVB)	(662)
16-9	HDTV 及北美光缆数字视频传输标准	(666)
	参考文献	(674)
附录	光纤电视传输典型测试仪器	(676)

第1章 绪论

1-1 电磁波与光载波

自从古代以来,人类的主要兴趣之一是发明通信系统,以便把消息从一个地方传送到另一个遥远的地方。任何一个通信系统的基本组成如图 1-1 所示。它包含一个把消息递交给发送机的信息源,一个把消息送上传输信道的发送机(载送消息的信号形式必须与信道的传递特性相匹配)和一个把消息从信号中取出来递交到目的地的接收机。信道是连接发送机与接收机的媒质,它可以是一个引导性的传输线,例如铜线或波导,或者是一个大气的或空间的通道。当信号跨越信道时,它会随着距离的增长而逐渐地被衰减并产生畸变,例如,当电信号沿铜线流通时,电功率通过热的产生而损失;光信号的功率在大气信道中则由于空气分子的散射和吸收而衰减。接收机的功能是从信道提取已减弱和畸变的信号,放大它并恢复原来的消息形式,再交给消息目的地。

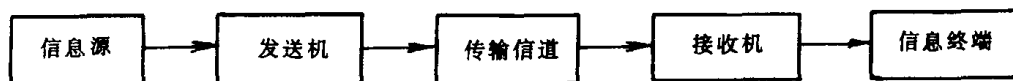


图 1-1 通信系统的基本组成要素

随着年代的更迭已经出现了许多种形式的通信系统。在每一种新系统后面的主要推动力不是改进传输保真度就是增加传输数据率或带宽,以达到更大的传输容量,或者是增大中继站间的传输距离。同时满足上述要求受到技术上和经济上的各种限制,而人类对这些方面的不断追求就写出了和正在延续一部辉煌的通信发展史。

在 19 世纪以前,所有的通信系统都是极低速率的,基本上只涉及像信号灯或喇叭之类的光学或声学工具。例如,人们知道得最早的光传输链路之一是公元前 8 世纪的希腊人使用烽火信号来传送警报、呼救或宣布某些重要事件。到公元前约 150 年时,利用字母对这种光信号进行编码已经能够传送任何信息。但是,用人类的眼睛作为接收机不容许高的通信速率;传输路径必须在视距以内;雾和雨之类的大气影响使传输的可靠性极差。所有这些技术限制,使这种可见光通信不可能发展成为有效的通信方式。

1838 年,莫尔斯发明的电报宣告了电通信(Telecommunication)纪元的开始。1844 年,利用电缆建立了第一条商用电报线路。1878 年,在美国康涅狄格州的纽黑文安装了第一台电话交换机,扩大了电缆在传输信息方面的应用。自 19 世纪中叶,麦克斯韦和法拉第预言了电磁辐射的性质,1887 年赫兹发现长波辐射和 1895 年马可尼发明无线电之后,在原理上整个电磁频谱的电磁波已经可以作为通信的媒介。从那时起,通信信号传输的历史主要是关于不断利用更短波长电磁波直到微波方面进步的记录。利用电磁波谱中越来越宽的频段,把信息从一个地方传送到另一个地方,其方法是把代表信息的信号调制在称为“载波”的、做正弦变化的电磁波上,就可以通过信道传输信息。在终端,从载波中提取信息,并按照需要对信息进行处理。由于能够传输的信息量与载波的频段直接有关,因此增加载波的频率就增加了可以使用的传输带

宽,从而可以提供较大的信息容量。

图 1-2 示出了电磁波谱中用于电信的频段。在这个电磁波谱中使用的传输介质有:无线电波、铜线、微波波导和毫米波波导。相应的通信系统是电话、调幅和调频通信、民用无线电广播、电视、雷达和卫星链路。应用的频率范围由音频频带中的约 300 Hz 到毫米波波段的约 90 GHz。

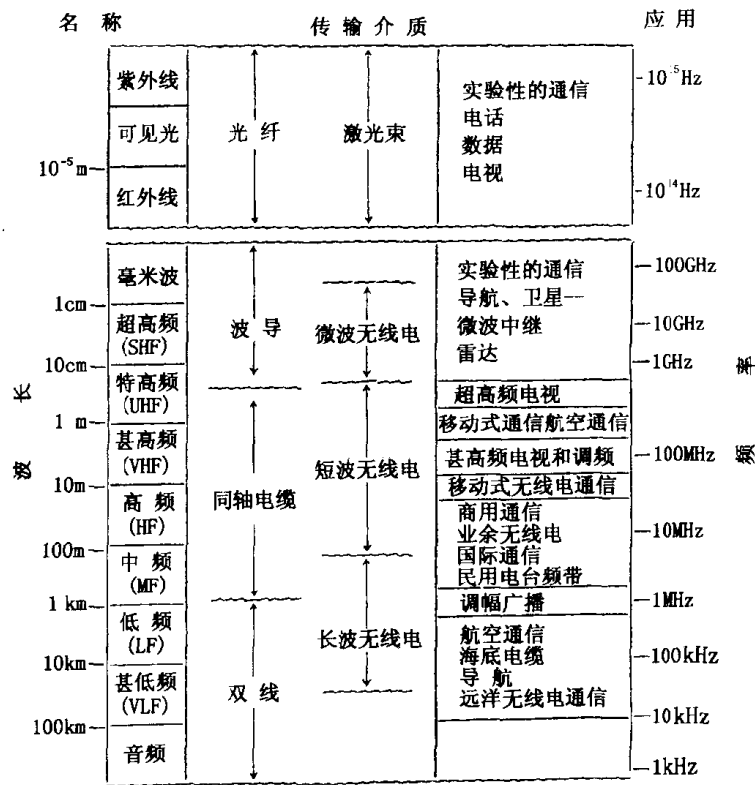


图 1-2 通信系统使用的电磁波谱

较高频率电磁波的顺序利用和它们所提供的带宽的不断增长,促使有远见的科学家和工程师们超越从第二次世界大战开始的微波时代,去展望下一个逻辑发展步骤——把更高频率的电磁波用于通信。在亚毫米波波段遇到许多挫折和困难之后,人们在光波波段看到了希望。图 1-2 所示的光波区域是电磁波谱的另一个重要部分。在这个区域中,通常用波长表示所考虑的波段,而不是像无线电波区域中那样用频率表示。光谱范围由 50 nm 左右(紫外线)到 100 μ m 左右(远红外线),可见光光谱则位于 400~700 nm 范围。与无线电波波段类似,在光波波段也可以使用大气信道和导波信道两种传输介质。

1-2 光通信的历史回顾

1960 年,美国人 T. H. Maiman 发明了激光器,这种相干光源的诞生激起了人们对实现光频通信的浓厚兴趣。因为光的频率约为 5×10^{14} Hz,因此从理论上来说,激光系统的信息容量是微波系统的 10^5 倍以上,大约相当于一千万路电视频道。

在 20 世纪 80 年代初,美国贝尔电话实验室的 R. Kompfner, S. Miller 和他们的同事们开始实施一个庞大的研究计划,去探索光波传输系统的基本问题和光波通信系统的元件。同时,固态物理学家和化学家们发起了对固体的前所未知和未曾探索的光学特性的深入研究,发现

和开发了新的激光器、发光管、光探测器和非线性光学材料。这些研究努力提供了新的光电子技术的基础,推进了光波通信的诞生。

但是传输媒质的问题还没有解决。在 20 世纪 60 年代进行了利用大气通道传输激光的若干实验。这些实验表明,对相干光载波进行调制是可能的,然而需要很高的设备和元件费用。雨、雾、雪和灰尘对大气信道的限制及视距传输的易被阻碍,造成了大气激光通信的不可靠性。因此除了用于飞行器的自由空间激光通信系统以外,对于地面通信人们把注意力转向了寻求一种优良的介质光波导。一开始玻璃纤维就成为一种选择对象,但是玻璃损耗系数高达 1000 dB/km,似乎没有实用可能。1996 年,在英国标准电信实验室工作的英籍华人高锟博士和他的同事提出,依靠材料的提纯,玻璃(SiO_2)纤维的损耗系数有可能达到 20 dB/km,这个预言引发了许多机构的研究计划,到 1970 年美国康宁(Corning)玻璃公司宣布制成了世界上第一根光纤,损耗系数低于 20 dB/km。紧接着的几年之中,贝尔电话实验室和康宁公司合作,迅速把光纤损耗系数降低到 1 dB/km 以下。在美国、日本、英国、德国相继出现了好几种生产光纤的工艺。

在这个时期,电气工程师、物理学家、材料科学家和工程师的跨学科合作为人类开创了一个崭新的光通信领域。到 1976 年,美国在亚特兰大安装了第一套商用的数字光纤通信系统,码率为 44 Mbit/s,传输距离为 10 km。到 1980 年世界上许多国家都研制成了商用的光纤通信系统。

在 20 世纪 80 年代光纤通信大踏步地走入商用的过程中,也出现了一些波折。在 80 年代初使用多模光纤并用激光器作光源时,出现了所谓“模式噪声”,其现象是光纤有微量的机械振动则接收的光信号会有随机的起伏,使通信恶化甚至不能进行下去。当时有人认为光纤通信出现危机。幸而不久单模光纤取得了突破性的进展。在单模光纤中不会出现因不同空间模式的干涉而产生的模式噪声。于是用做传输介质的单模光纤和用做光源的半导体激光器就成为光纤通信的重要支柱。80 年代中期,人们发现 FP 型半导体激光器在数百兆比特的高速调制下不能保持单谱线的相干性,其结果使光纤输出信号中含有“模式分配噪声”,从而使光纤通信的传输容量和距离受到限制。针对这个问题,先后研制出所谓动态单纵模激光器,如分布反馈(DFB)激光器和多量子阱(MQW)激光器,使 100 Gb/(s·km)以上的无中继光纤通信成为可能。

当今世界上光纤通信已广泛应用,不仅在陆地上使用,而且还建成了跨越大西洋和太平洋的海底光缆线路。到 2000 年底,全世界光纤用量已超过 2 亿公里,光缆几乎包围了整个地球。

我国于 20 世纪 70 年代初开始从事光纤通信研究。到 70 年代末,已能制造多模光纤($1.3\text{ }\mu\text{m}$ 波长损耗系数 4 dB/km)、发光二极管和激光器以及 Si 光电二极管,并先后在上海和武汉建立了多模光纤 8 Mbit/s 和 34 Mbit/s 的数字光纤通信试验系统。1980 年在黄宏嘉教授主持下中国第一根单模光纤在上海科学技术大学研制成功,到 1986 年国产单模光纤在 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 波长的损耗系数达到 0.5 dB/km,色散达到 3.5 ps/(nm·km)。同时先后在上海、武汉、桂林、成都研制成功 140 Mbit/s 数字单模光纤或多模光纤的传输系统(电话或电视)。到 80 年代末武汉邮电科学研究院的国产 140 Mbit/s 数字光纤通信系统开始进入商业化生产和实际敷设使用阶段。至今全国已敷设光缆 100 万公里。我国已有一定规模的光纤通信产业,能生产光纤、光缆、光电器件、光端机和仪表,规模虽不够大,但体系比较完整。光纤损耗系数($1.3\text{ }\mu\text{m}$ 波长)达 0.35 dB/km,年产量超过 300 万公里。长波长半导体激光器和光探测器品种齐全,已能满足商用要求,激光器寿命已达 20 万小时。国产数字光端机速率已达 10 Gbit/s,新的密

集波分复用同步数字等级(SDH)光端机已经开发成功。用于有线电视传输的宽带 AM 光端机已有商品生产。光纤无源器件(光纤活动连接器、光纤耦合器、波分复用器等)和仪表机具(光功率计、光纤熔接机、光时域反射仪等)均已达到或接近国际商品水平。

光纤通信的前 20 年,世界上主要发展和应用了数字光纤通信系统,其应用领域主要是公用(邮电)通信网络及铁道、电力等通信线路。在公用通信网络中光纤通信首先应用于电话交换局间的中继线路,然后应用于城市间和国家间的长途通信干线。在用户环路方面,虽然工业先进国家进行了一些光纤到户(FTTH)的试验,但从用户经济承受能力着眼,现在国际上已公认,在未来 20 年内发展光纤到路边(FTTC)或光纤到大楼(FTTB)是适宜的。

除公用或专用电话网络以外,自 20 世纪 80 年代末以来,光纤电视分配网络在世界上迅猛发展,已经形成光纤产业的第二大民用市场。光纤的低损耗、宽频带特性对视频信号的传输非常有利,因此从光纤诞生开始,人们在研究数字电话光纤通信的同时就进行了模拟图像光纤传输的实验。到 80 年代初,直接强度调制和脉冲频率调制视频光纤传输系统已经成熟,我国自 1984 年开始就有这样的产品问世。这样的系统适用于电视台、站之间的节目传输或工业、交通监控领域的信号传输,一般一路信号需用一根光纤。能不能用一根光纤传输多路信号?这个问题引发了许多研究兴趣。采用副载波复用调频制的多路视频光纤传输设备商品于 80 年代中期在国外出现,但应用不多,其主要原因是调频制信号不能为家用电视机所接收,因此有线电视(CATV)网的发展呼唤着副载波复用调幅制多路电视光纤传输系统的诞生。这种系统对光源提出了极苛刻的要求,诸如功率大、线性好、光谱纯、频带宽等等。1989 年美国 Ortel 公司研制成大功率、高线性的 DFB 激光器,使通过一根光纤同时传输几十路电视的梦想成为现实。这一创举使 AM 光纤传输技术于 90 年代风靡世界。掺铒光纤放大器的成熟和视频数字压缩技术的进步又为大容量、大范围的有线电视联网增加了强有力的手段。1992 年上海科学技术大学在上海嘉定倡导完成中国第一个城域光纤有线电视示范网,随后上海市、无锡市开通了光纤有线电视网,由此在我国掀起了按光纤到结点(FTTF)模型建设光纤同轴电缆混合网(HFC)的热潮。光纤通信在中国出现了新的局面。

自从美国政府提出“信息高速公路”的计划以来,建设一个国家的信息基础设施已成为世界各国追求经济增长和社会进步的杠杆。信息高速公路包括连接全国各地的大容量通信干线和各地的宽带综合业务接入网。后者要把每一个家庭和公众机构连接在一起,并提供各种信息服务,包括广播电视、图文信息、付费电视、视频点播、可视电话、会议电视、计算机数据业务、远程教育、远程医疗、电子邮政、电子购物等等。信息高速公路的基本传输媒介是光缆和光纤同轴电缆混合网,并辅之以卫星、微波、移动通信等多种手段,以实现邮电、广播电视和计算机的三网互通或融合,创造一个崭新的信息社会。

1-3 光纤传输的优点

与其他通信传输方式(有线和无线)相比较,光纤传输具有下列优点:

1) 损耗极低。商品石英光纤现已达到的损耗水平是在 $1.3\ \mu\text{m}$ 波长 $0.35\ \text{dB/km}$, 在 $1.55\ \mu\text{m}$ 波长 $0.20\ \text{dB/km}$, 这比最好的同轴电缆的损耗的百分之一还要低。这意味着通过光纤通信系统可以跨越更大的无中继距离;对于一个长途传输线路,由于中继站数目的减少,系统成本和复杂性可以大大降低。

2) 频带极宽。光纤比铜线或电缆有大得多的传输带宽,特别是单模光纤,对于一个光源,

其 3 dB 带宽可以超过 10 GHz。若采用多个光源的波分复用,则带宽更大。这就容许建立超大容量的通信系统。巨大的带宽潜力使单模光纤成为宽带综合业务信息网的首选介质。

3) 抗电磁干扰。与光纤的介质本质相联系的一个重要的特性是光波导对电磁干扰的免疫力,它不会与其他信号传输线路、闪电和工业电力干扰产生感应耦合。这一点对于强电领域(如电力传输线路和电气化铁道)的通信系统特别有利。由于能免除电磁脉冲效应,光纤传输系统还特别适合于军事应用。

4) 对电气绝缘。因为光纤是用玻璃材料构造的,它是电气绝缘体,因而不需担心接地回路。光纤之间的串扰非常之小。设备接口问题也简化了。光纤在电气危险环境中的应用是很吸引人的,因为它不会产生电弧和火花。

5) 有信号保密性。因为光信号被完善地限制在光波导结构中,而任何泄漏的射线都被环绕光纤的不透明包皮所吸收,因此光纤可以提供高度的数据保密性。这对于在信息安全性十分重要的场合,例如银行、计算机网络和军事系统的应用是非常有利的。

6) 温度稳定性好、寿命长。与铜线和同轴电缆比,光纤的温度系数极小,其传输特性基本不随温度而变,故光纤传输系统十分稳定可靠,而且不易老化。

7) 尺寸小,重量轻。光纤的轻量和头发丝一样的粗细相对于沉重而庞大的电缆是一个显著的优点,它使拥塞的城市地下管道或天花板电缆架可以继续用来扩容,它对于飞机、飞船、卫星和舰船等体积、重量要求苛刻的场合也是格外重要的。在战术军事应用中,大量的电缆必须从电缆盘放出来又迅速地重新绕起,如果采用光缆则操作和运动要轻便得多。

8) 材量丰富,价格低。二氧化硅(SiO_2)是构造光纤的主要材料,它来源于地球上最丰富而价廉的矿物——砂粒。制造实际光纤的主要费用由从原始材料制取超纯玻璃的工艺过程决定。

1-4 光纤传输系统的构成

一个光纤传输链路由图 1-3 所示的部件组成。

关键的部件有:由光源及其驱动电路组成的光发送机、包含光纤在内并为其提供机械和环境保护的光缆、由光探测器及后续放大和信号恢复电路构成的光接收机。附加的元件包括光纤连接器、熔接头、光耦合器、光分路器和中继器等等。如像将在第 2 章中看到的那样,成缆的光纤(即光缆)是一条光纤链路中最重要的部件之一,它除了在敷设和服务时保护玻璃纤维以外,还可以包含为中继器供电的铜丝。当链路跨越非常长的距离时,需要一系列对信号作周期性电放大和整形的光电中继器或仅作光放大的光中继器,因此遥距供电有时是必需的。光缆一般包含若干根圆柱形如头发般细的光纤,每一根都是独立的通信通道。

与铜电缆相似,光缆可以架空敷设,通过管道或直埋于地下,也可以放置于水下或海底,如图 1-4 所示。受敷设和制造的限制,一根光缆的长度范围是几百米到几千米。在决定一个光缆段的实际长度时,还要考虑诸如光缆盘尺寸和光缆重量等实际因素。穿过管道的光缆倾向于设计得较短,而架空和直埋的则可以较长。完整的长距传输线路是把不同的光缆段熔接或连接在一起而形成的。

光纤的主要特性之一是其损耗对波长的依赖关系,如图 1-5 所示。在早期,人们发现光纤的损耗曲线在 800~900 nm 波长有一个局部极小值,而在这样的波长光源与光探测器已经找到,所以早期的光纤通信系统都工作在这一波长范围(称为短波长区域或第一窗口)。依靠减少

光纤材料中的 OH 根和金属杂质离子,后来制造出的光纤在 1100~1600 nm 区域有非常低的损耗,这个光谱区域称为长波长区域,其中有两个低损耗窗口——中心位于 1310 nm 的第二窗口和中心位于 1550 nm 的第三窗口。现在的光纤通信系统都工作在这两个窗口。

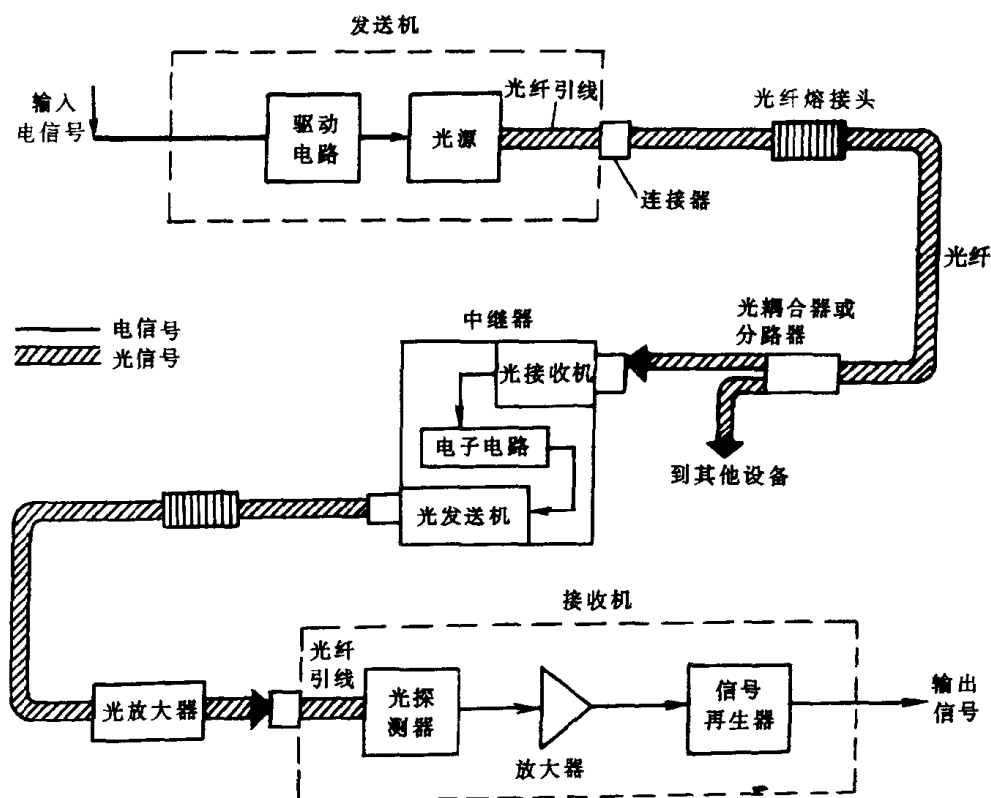


图 1-3 光纤传输链路的构成

在光缆敷设好之后,用一个尺寸与光纤芯配合的光源把光功率发射进光纤。半导体发光二极管(LED)和激光二极管(LD)适合作为发送机光源,因为靠简单地变化其偏置电流,它们的光输出就能够迅速地被调制。加到光发送机上的输入电信号可以是数字形式的,也可以是模拟形式的。光发送机通过调变流过光源的电流将电信号转变为光信号。光源是一个平方律器件,这意味着驱动电流的线性变化产生相应的输出光功率的线性变化。这个情况称为直接的“光强调制”或“强度调制”。在 800~900 nm 区域光源材料为 GaAlAs,而在长波长区域主要的光源材料为 InGaAsP 四元组合材料。光源的问题在第 4 章讨论。

光信号进入光纤之后,由于光波导中的散射、吸收和色散机构的作用,它会逐渐地衰减和畸变。在光纤链路的终点,已衰减和已畸变的强度调制光信号被接收机的光探测器检测出来。与光源相似,光探测器也是一个平方律器件,它把接收光功率直接转化为输出电流(光电流),这个情况称为“直接检测”。在光纤传输中,半导体光电二极管(PIN)和雪崩光电管(APD)是两种主要的光探测器。它们都具有高的转换效率和响应速度。在接收低功率光信号的应用场合,通常利用 APD,因为它有一个固有的内部增益机构(雪崩效应)而使光接收机有较高的灵敏度。硅的光探测器用在 800~900 nm 区域。在长波长区域,有好多种光探测器可以利用,主要的材料是 InGaAs 组合。这些光探测器将在第 5 章中讲解。

当一个光信号沿着光纤行进了一定距离之后,它已经衰减和畸变到这样的程度,以至必须在传输线路中加一个中继器来把信号放大和整形。一个光电中继器由一个光接收机和一个光发送机背靠背组成。光接收段探测光信号,把它转换为电信号并加以放大和整形,然后送到光发送段。光发送段把这个电信号转回光信号,再向后续的光纤发送。这种中继方式若用于数字

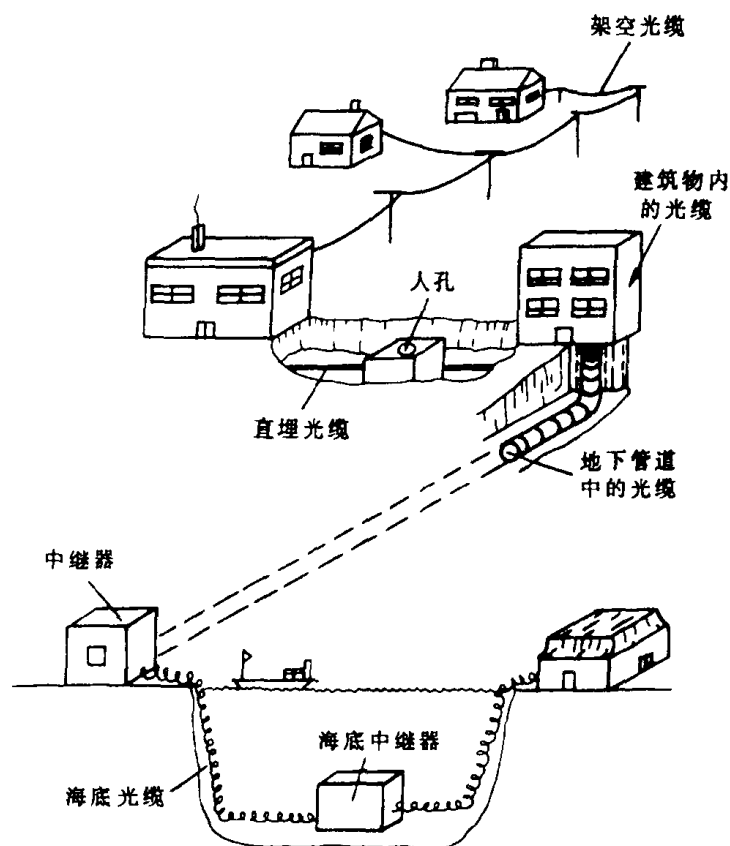


图 1-4 光缆的敷设方式

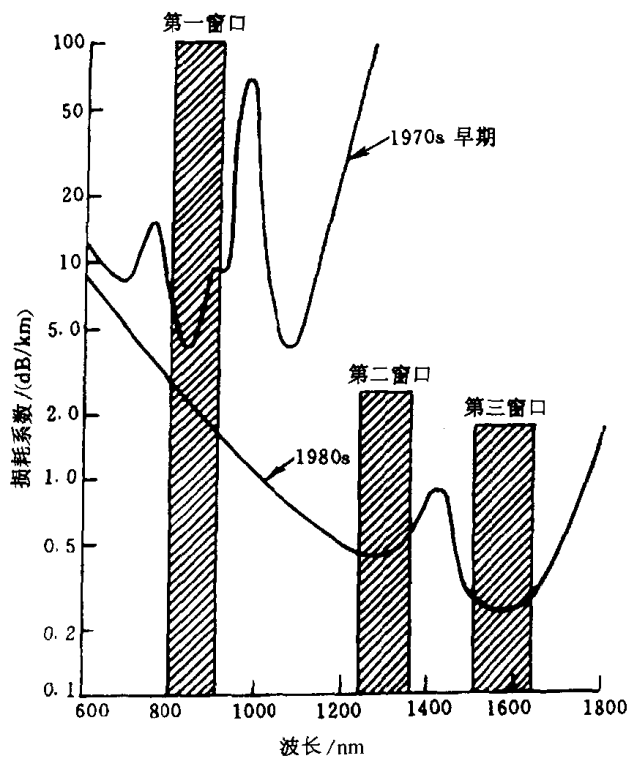


图 1-5 石英光纤的衰减谱曲线

信号的传输,由于整形过程将原始电信号的波形准确再生,故不导致噪声的累积,只引入误码概率和定时抖动的累积,容许中继许多次数,所以总的传输距离可以达到很大的数值(如几千公里)。若用于模拟信号的传输,则不存在整形过程。由于放大过程导致噪声的累积,故中继将