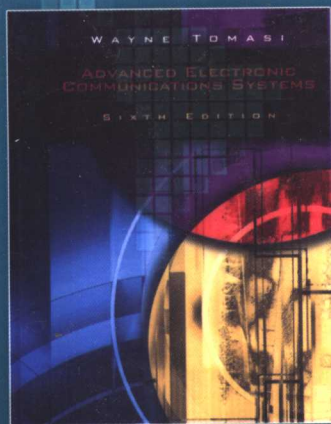


国外电子与通信教材系列

高级电子通信系统 (第六版)

Advanced Electronic Communications Systems
Sixth Edition



[美] Wayne Tomasi 著
王曼珠 崔红跃 张弘 等译
薛荣华 审校

PEARSON
Prentice
Hall



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

高级电子通信系统

(第六版)

Advanced Electronic Communications Systems
Sixth Edition

[美] ~~Wayne Thomas~~ 著

王曼珠 ~~崔红藏~~ 张弘 等译
~~薛荣华~~ 审校

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内容简介

本书是美国大学本科的专业教材,系统讲述了现代电子通信领域的全部内容,包括数字、数据、光纤、微波、卫星,以及蜂窝和 PCS 电话通信系统。全书共 15 章,包括光纤传输媒介、数字调制、数据通信和联网简介、数据通信的基本概念、数据链路协议和数据通信网络、数字传输、数字 T 载波及多路复用、电话装置和信号、电话电路、公用电话网、蜂窝电话概念、蜂窝电话系统、微波通信和系统增益、卫星通信及卫星多址通信等,涉及通信原理、数字和数据通信、电话交换、通信系统等多门课程的内容。其先导课为微积分基础和电子电路。书中包含许多例题,用以强化最基本的概念,此外还有大量的问题和习题供读者复习和练习。

本书可作为通信工程专业的电子通信系统课程的教材,也可用做相关课程的补充教材或有关科技人员的自学参考书。

Simplified Chinese edition Copyright © 2004 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Advanced Electronic Communications Systems, Sixth Edition, ISBN: 0130453501 by Wayne Tomasi. Copyright © 2004. All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和 Pearson Education 培生教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education 培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2003-8571

图书在版编目(CIP)数据

高级电子通信系统(第六版)/(美)托马斯(Tomasi, W)著;王曼珠等译-北京:电子工业出版社,2004.6
(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Advanced Electronic Communications Systems, Sixth Edition

ISBN 7-5053-9890-3

I. 高... II. ①托... ②王... III. 通信系统-教材 IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 039000 号

责任编辑:杜闽燕

印刷:北京智力达印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

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:33.75 字数:929 千字

印次:2004 年 6 月第 1 次印刷

定价:49.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入 21 世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入 WTO 后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在 2000 年至 2001 年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了 40 余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为作好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

- | | | |
|-----|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 主任 | 吴佑寿 | 中国工程院院士、清华大学教授 |
| 副主任 | 林金桐 杨千里 | 北京邮电大学校长、教授、博士生导师 总参通信部副部长、中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事 |
| 委员 | 林孝康 | 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员 |
| | 徐安士 | 北京大学教授、博士生导师、电子学系副主任 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 樊昌信 | 西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士 |
| | 程时昕 | 东南大学教授、博士生导师 移动通信国家重点实验室主任 |
| | 郁道银 | 天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员 |
| | 阮秋琦 | 北方交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 |
| | 张晓林 | 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子工程系主任 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员 |
| | 郑宝玉 | 南京邮电学院副院长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 朱世华 | 西安交通大学教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员 |
| | 彭启琮 | 电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员 |
| | 徐重阳 | 华中科技大学教授、博士生导师、电子科学与技术系主任 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员 |
| | 毛军发 | 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 赵尔沅 | 北京邮电大学教授、教材建设委员会主任 |
| | 钟允若 | 原邮电科学研究院副院长、总工程师 |
| | 刘彩 | 中国通信学会副理事长、秘书长 |
| | 杜振民 | 电子工业出版社副社长 |

译者序

随着现代电子通信领域的扩展和日益完善,广大读者迫切需要一本系统讲述该领域全面内容的教科书。基于这个目的,本书作者撰写了《高级电子通信系统(第六版)》一书,从版次的数量上可以看到本书在国际有关电子通信教材中的地位是相当重要的。

本书作为美国大学本科的专业教材,旨在将读者的知识扩展到现代数字与数据通信系统及网络、光纤通信系统、陆地与卫星无线电系统,以及有线与无线电话通信系统,涉及通信原理、数字和数据通信、电话交换、通信系统等多门课程的内容。其先导课为微积分基础和电子电路。书中包含许多例题,用以强化最基本的概念,此外还有大量的问题和习题供读者复习和练习。由于本书内容涉及面较广,教学过程中可以按照通信专业已开设课程的情况做适当删减。

本书可作为通信工程专业的电子通信系统课程的教材,也可用做相关课程的补充教材或有关科技人员的自学参考书。

本书由王曼珠(第1章,第13章至第15章)、王曼珠和曾萍(第2章,第11章至第12章)、崔红跃(第3章至第6章)、张弘(第7章至第10章)等翻译,由薛荣华教授负责审校和统稿工作。翻译过程中发现的原书中的一些印刷错误,翻译时已经加以修订,书中不再一一注明。参加本书录校工作并给予大力协助的还有许萍、张喆民、杨亚涛、丁轲佳、王德元、张淑洁、程代伟、刘凤武、许莉、李士强、邢科家、闫慧娟、曹汉征、许秀英、王泰东、李可、郭森、矫克民、薛姗、王曼佳、阎光泽、蔡红志、刘东顺、王建成、薛亮、沈兰英等同志,电子工业出版社的编辑们为本书的出版做了大量艰苦细致的工作,译者谨向所有为本书的出版提供帮助的同志表示由衷的谢意。由于译者水平有限,译文中难免有不妥之处,欢迎读者批评指正。

前 言

本书的目的是将读者的知识扩展到现代数字与数据通信系统及网络、光纤通信系统、陆地与卫星无线电系统,以及有线与无线电话通信系统。作者编写本书时认为读者已具备基本电子学和电子通信原理的知识以及微积分基本概念的数学基础,这样对课题的理解不会感到困难。书中有许多例题以强化最重要的概念,每章最后包含问题和习题,书的末尾提供了部分习题的答案。

这一版中提供了现代电子通信领域的全面内容。本版添加了许多重要内容,比如,三章有关电话电路和系统的新内容、两章有关蜂窝电话和PCS电话系统的新内容以及三章有关数据通信和联网的基本概念。此外,添加了大量的图表,许多图表已经更新。

第1章介绍光纤传输线和光波传播的基本概念。第2章描述数字调制的基本概念,包括振幅键控(ASK)、频移键控(FSK)、相移键控(PSK)、正交幅度调制(QAM)和差分相移键控(DPSK)。第2章还介绍了格状编码调制并给出差错概率、误码率和差错性能的全面描述。

第3章到第5章介绍数据通信电路的基本概念并描述基本的联网基础知识,如拓扑、差错控制、协议、硬件、评定技术和网络体系结构。

第6章和第7章描述数字传输与多路复用的基本概念。第6章描述脉冲编码调制,第7章描述PCM编码信号的时分复用,并解释北美数字层次和北美FDM层次。第7章还介绍了光波的波分复用。

第8章到第10章给出公用电话网中使用的电话装置、信号和有선系统的全面描述。第11章和第12章描述无线电话系统的基本概念,包括蜂窝电话和PCS。

第13章到第15章描述陆地和卫星微波无线通信的基本概念。第13章描述模拟陆地微波系统,第14章和第15章描述数字卫星系统。

目 录

| | |
|-----------------------------------|----|
| 第 1 章 光纤传输 | 1 |
| 1.1 引言 | 1 |
| 1.2 光纤通信的发展历史 | 2 |
| 1.3 光导纤维与金属电缆设施的比较 | 2 |
| 1.4 电磁波的频谱 | 4 |
| 1.5 光纤通信系统框图 | 5 |
| 1.6 光纤类型 | 5 |
| 1.7 光的传播 | 7 |
| 1.8 光纤的模式结构 | 15 |
| 1.9 光纤的分类 | 16 |
| 1.10 光纤的损耗 | 19 |
| 1.11 光源 | 26 |
| 1.12 发光器 | 26 |
| 1.13 光电检测器 | 32 |
| 1.14 激光 | 34 |
| 1.15 光纤系统链路设计 | 35 |
| 第 2 章 数字调制 | 40 |
| 2.1 引言 | 40 |
| 2.2 信息容量、比特、比特率、波特和 M 元编码 | 42 |
| 2.3 振幅键控 | 44 |
| 2.4 频移键控 | 45 |
| 2.5 相移键控 | 51 |
| 2.6 正交调幅 | 66 |
| 2.7 带宽效率 | 72 |
| 2.8 载波恢复 | 73 |
| 2.9 时钟恢复 | 75 |
| 2.10 差分相移键控 | 75 |
| 2.11 格状编码调制 | 77 |
| 2.12 差错概率和误码率 | 80 |
| 2.13 误码性能 | 82 |
| 第 3 章 数据通信和联网概述 | 90 |
| 3.1 引言 | 90 |
| 3.2 数据通信的历史 | 91 |

| | | |
|------------|-----------------------------|------------|
| 3.3 | 数据通信网络体系结构、协议和标准 | 93 |
| 3.4 | 数据通信的标准组织 | 95 |
| 3.5 | 分层的网络体系结构 | 97 |
| 3.6 | 开放系统互连 | 98 |
| 3.7 | 数据通信电路 | 103 |
| 3.8 | 串行和并行数据传输 | 104 |
| 3.9 | 数据通信电路安排 | 105 |
| 3.10 | 数据通信网络 | 105 |
| 3.11 | 候选的协议组 | 118 |
| 第4章 | 数据通信的基本概念 | 120 |
| 4.1 | 引言 | 120 |
| 4.2 | 数据通信代码 | 120 |
| 4.3 | 条形码 | 127 |
| 4.4 | 差错控制 | 131 |
| 4.5 | 检错 | 131 |
| 4.6 | 纠错 | 135 |
| 4.7 | 字符同步 | 137 |
| 4.8 | 数据通信硬件 | 139 |
| 4.9 | 数据通信电路 | 140 |
| 4.10 | 线路控制单元 | 142 |
| 4.11 | 串行接口 | 150 |
| 4.12 | 数据通信调制解调器 | 163 |
| 4.13 | ITU-T 调制解调器建议 | 168 |
| 第5章 | 数据链路协议和数据通信网 | 175 |
| 5.1 | 引言 | 175 |
| 5.2 | 数据链路协议功能 | 175 |
| 5.3 | 面向字符的和面向比特的数据链路协议 | 180 |
| 5.4 | 异步数据链路协议 | 180 |
| 5.5 | 同步数据链路协议 | 182 |
| 5.6 | 同步数据链路控制 | 186 |
| 5.7 | 高级数据链路控制 | 196 |
| 5.8 | 公共交换数据网 | 198 |
| 5.9 | CCITT X.25 用户到网络的接口协议 | 200 |
| 5.10 | 综合业务数字网 | 203 |
| 5.11 | 异步传输模式 | 209 |
| 5.12 | 局域网 | 212 |
| 5.13 | 以太网 | 217 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 第 6 章 数字传输 | 227 |
| 6.1 引言 | 227 |
| 6.2 脉冲调制 | 228 |
| 6.3 PCM | 229 |
| 6.4 PCM 采样 | 230 |
| 6.5 信号与量化噪声比 | 240 |
| 6.6 线性与非线性 PCM 编码 | 241 |
| 6.7 空闲信道噪声 | 242 |
| 6.8 编码方法 | 242 |
| 6.9 压缩扩展 | 243 |
| 6.10 声码器 | 252 |
| 6.11 PCM 线速率 | 252 |
| 6.12 增量调制 PCM | 253 |
| 6.13 自适应增量调制 PCM | 255 |
| 6.14 差分 PCM | 255 |
| 6.15 脉冲传输 | 256 |
| 6.16 二进制数字信号中的信号功率 | 259 |
| 第 7 章 数字 T 载波和多路复用 | 264 |
| 7.1 引言 | 264 |
| 7.2 时分复用 | 264 |
| 7.3 T1 数字载波 | 266 |
| 7.4 北美数字层次 | 272 |
| 7.5 数字载波线路编码 | 275 |
| 7.6 T 载波系统 | 279 |
| 7.7 欧洲数字载波系统 | 282 |
| 7.8 数字载波帧同步 | 284 |
| 7.9 位交织和字交织 | 285 |
| 7.10 统计时分复用 | 285 |
| 7.11 编译码器和组合芯片 | 287 |
| 7.12 频分复用 | 294 |
| 7.13 AT&T 的 FDM 层次 | 296 |
| 7.14 复合基带信号 | 297 |
| 7.15 主群格式 | 300 |
| 7.16 波分复用 | 303 |
| 第 8 章 电话装置和信号 | 310 |
| 8.1 引言 | 310 |
| 8.2 用户环路 | 311 |
| 8.3 标准电话机 | 311 |

| | | |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 8.4 | 基本电话呼叫过程 | 315 |
| 8.5 | 呼叫进行音和信号 | 316 |
| 8.6 | 无绳电话 | 321 |
| 8.7 | 主叫 ID | 323 |
| 8.8 | 电子电话 | 324 |
| 8.9 | 寻呼系统 | 325 |
| 第 9 章 | 电话电路 | 328 |
| 9.1 | 引言 | 328 |
| 9.2 | 本地用户环路 | 328 |
| 9.3 | 电话消息信道噪声和噪声加权 | 331 |
| 9.4 | 功率测量单位 | 333 |
| 9.5 | 传输参数和专线电路 | 336 |
| 9.6 | 语音频率电路安排 | 348 |
| 9.7 | 串音 | 352 |
| 第 10 章 | 公用电话网 | 356 |
| 10.1 | 引言 | 356 |
| 10.2 | 电话传输系统环境 | 356 |
| 10.3 | 公用电话网 | 357 |
| 10.4 | 用户设备、本地环路、中继电路和交换局 | 357 |
| 10.5 | 本地中心局电话交换 | 358 |
| 10.6 | 话务员协助的本地交换 | 360 |
| 10.7 | 自动中心局交换机和交换局 | 361 |
| 10.8 | 北美电话编号计划区 | 366 |
| 10.9 | 电话业务 | 369 |
| 10.10 | 北美电话交换层次 | 370 |
| 10.11 | 7号公共信道信令系统和解体后的北美交换层次 | 373 |
| 第 11 章 | 蜂窝电话概念 | 379 |
| 11.1 | 引言 | 379 |
| 11.2 | 移动电话业务 | 379 |
| 11.3 | 蜂窝电话的发展 | 381 |
| 11.4 | 蜂窝电话 | 381 |
| 11.5 | 频率复用 | 383 |
| 11.6 | 干扰 | 385 |
| 11.7 | 蜂房分割、扇区、分割与二元划分 | 387 |
| 11.8 | 蜂窝系统布局 | 390 |
| 11.9 | 漫游和切换 | 391 |
| 11.10 | 蜂窝电话网络构成 | 393 |
| 11.11 | 蜂窝电话呼叫处理 | 394 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 第 12 章 蜂窝电话系统 | 397 |
| 12.1 引言 | 397 |
| 12.2 第一代模拟蜂窝电话 | 398 |
| 12.3 个人通信系统 | 404 |
| 12.4 第二代蜂窝电话系统 | 406 |
| 12.5 N-AMPS | 406 |
| 12.6 数字蜂窝电话 | 407 |
| 12.7 过渡标准 95 (IS-95) | 416 |
| 12.8 北美蜂窝电话和 PCS 概要 | 420 |
| 12.9 全球移动通信系统 | 421 |
| 12.10 个人通信卫星系统 | 423 |
| 第 13 章 微波通信和系统增益 | 428 |
| 13.1 引言 | 428 |
| 13.2 微波通信系统的优缺点 | 430 |
| 13.3 模拟微波与数字微波 | 430 |
| 13.4 频率调制与幅度调制 | 430 |
| 13.5 调频微波系统 | 431 |
| 13.6 调频微波中继 | 432 |
| 13.7 分集 | 435 |
| 13.8 保护切换 | 437 |
| 13.9 FM 微波站 | 439 |
| 13.10 微波中继站 | 441 |
| 13.11 通道特性 | 445 |
| 13.12 微波系统增益 | 449 |
| 第 14 章 卫星通信 | 457 |
| 14.1 引言 | 457 |
| 14.2 卫星发展简史 | 458 |
| 14.3 开普勒定律 | 459 |
| 14.4 轨道模式 | 460 |
| 14.5 静止卫星 | 464 |
| 14.6 天线覆盖角 | 467 |
| 14.7 卫星分类、轨道空间和频率分配 | 471 |
| 14.8 卫星天线方向图: 覆盖图 | 473 |
| 14.9 卫星系统链路模型 | 475 |
| 14.10 卫星通信系统参数 | 477 |
| 14.11 卫星通信系统链路方程 | 485 |
| 14.12 链路计划 | 486 |
| 第 15 章 卫星多址通信 | 495 |
| 15.1 引言 | 495 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 15.2 FDM/FM 卫星系统..... | 495 |
| 15.3 多址联接 | 497 |
| 15.4 信道容量 | 507 |
| 15.5 卫星导航 | 508 |
| 部分习题答案..... | 519 |

第1章 光纤传输

目标

- 定义光纤通信
- 介绍光纤及光纤通信的历史概要
- 比较光缆与金属电缆的优缺点
- 定义电磁波的频谱和波长谱
- 描述光纤结构的几种类型
- 解释光学物理中的术语：传播速度、折射、折射率、临界角、接受角、接受光锥和数值孔径
- 描述光波是如何在光纤中进行传播的
- 定义传播模式和折射率剖面图
- 描述三种光纤的构造形式：单模阶跃型、多模阶跃型和多模渐变型
- 描述光缆中的各种损耗
- 定义光源和光功率
- 描述下列光源：发光二极管和注入式二极管
- 描述下列光检测器：PIN 二极管和雪崩光敏二极管
- 描述激光的工作方式
- 解释如何考虑光纤系统的链路预算

1.1 引言

光纤是最新也是最有前途的一种波导传输介质,它适用于数字以及数据通信的各种形式,包括局域网、城域网以及广域网。使用光缆传输时,是由透明材料组成的介质波导引导电磁波通过的,不再利用电流的流动。电磁光波在光纤这种介质中的传播在许多方面与无线电信号通过地球大气层的传播是相同的。

光纤通信系统实质上是用光波承载信息的通信系统。然而利用光波在地球大气层中传播信息是很困难的而且也不现实,因此,光纤通信系统利用玻璃或塑料纤维制成的光缆将光波汇聚并在其中传导光波信息,光信息的传输类似于电磁波在金属电缆中的传输。

各种通信系统的通信容量与系统带宽成正比。对于实际应用的光纤来说,它有极宽的带宽。因此,比起电缆或所有的传输介质,甚至最灵活的无线通信信道来,光纤能够承载更多的信息量。

通常为了便于比较系统容量,系统带宽常用载频的百分比来表示,有时也称为带宽利用系数。例如,一个载波工作频率为 100 MHz 的甚高频 (VHF) 无线电系统,如果带宽利用系数为 10%,则系统带宽为 10 MHz;而对于载波工作频率为 10 GHz 的微波无线电系统,若带宽利用系数仍为 10%,系统可利用的带宽就有 1 GHz。显然系统的载波频率越高,可用频带就越宽,通信容量就越大。光纤通信系统中传输的光频一般在 1×10^{14} Hz ~ 4×10^{14} Hz (100 000 GHz 至 400 000 GHz) 范围之间,在带宽利用系数仍为 10% 的情况下,系统可利用的带宽能达到 10 000 GHz 至 40 000 GHz 的范围。

1.2 光纤通信的发展历史

早在 1880 年, 亚历山大·格雷厄姆·贝尔 (Alexander Graham Bell) 就研制了一种他本人称之为光电话 (photophone) 的设备用来传送语音, 这种设备由镜子和硒检测器构成, 通过光束传输声波。当时它不仅笨拙、也谈不上可靠性, 而且没有真正的使用价值。事实上在电子通信诞生之前可见光早已用做通信手段, 例如在很久以前, 就用烽火台上的烟雾信号和镜子来传送简短的消息。尽管如此, 贝尔仍然是用光束传送信息的先驱。

由于空气中的水蒸气、氧气和悬浮粒子对光频的传播有吸收和扩散的作用, 使得在有效距离内通过地球大气层传输光波难以实现。因此, 惟一实用的光通信就是使用光导纤维的系统。1930 年, 英国科学家贝尔德 (J. L. Baird) 和美国科学家汉塞尔 (C. W. Hansell) 获得了用无包层的纤维光缆扫描并传输电视图像的专利; 几年以后一名德国科学家拉姆 (H. Lamm) 又成功地实现了用单根玻璃纤维传输图像。在当时大多数人都只把光纤看成是一种玩具或实验室的展品。因此, 在 20 世纪 50 年代之前, 光导纤维领域没有任何实质性的突破。

1951 年, 荷兰的 A. C. S. van Heel 和英国的 H. H. Hopkins 及 N. S. Kapany 用纤维束进行光传导的实验, 他们的研究促进了医学领域中应用极广的柔性纤维镜的发展。1956 年 Kapany 还创造了“光导纤维”这一术语。

1958 年, 美国的查尔斯 (Charles H. Townes) 和加拿大的亚瑟 (Arthur L. Schawlow) 发表了一篇论文, 说明利用受激辐射放大光波 (激光, laser) 以及微波 (微波激光器, maser) 是可能的。两年后, 科学家西奥多 (Theodore H. Maiman) 同休斯飞机公司制成了第一台光微波激光器。

激光器 (受激辐射光频放大器) 是 1960 年发明的。由于激光具有高输出功率、高工作频率和对超宽带信号的承载能力, 对于大容量的通信系统激光是最理想的选择。激光器的发明确实大大促进了光纤通信的研究, 尽管直到 1967 年, 英国标准电信实验室的 K. C. Kao 和 G. A. Bockham 才建议使用金属包层的纤维光缆作为新的通信媒介。

20 世纪 60 年代的光导纤维损耗很大 (大于 1000 dB/km), 这就使光通信的传输距离限制在短距离内。1970 年, 纽约 Corning 玻璃厂的 Kapron、Keck 和 Maurer 发明了一种损耗在 2 dB/km 以内的光纤, 这是光纤通信系统在实际应用中的一大突破。自 1970 年以后, 光纤技术以指数规律快速向前发展。最近, 贝尔实验室又成功地用一根光缆而不用转发器将 1000 Mbps 信息传输了 600 英里 (1 英里 = 1609.295 米)。

在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初, 光缆的精加工、高质量光源和检测器的发展为光纤通信系统向高质量、大容量和更经济有效的方向发展铺平了道路。20 世纪 80 年代后期, 光纤损耗可以降低到 0.16 dB/km 以下。1988 年 NEC 公司装配了一套最新的创长距离传输最高记录的光缆, 将每秒 10 吉字节的信息传输了 80.1 km。同一年, 美国国家标准学会 (ANSI) 公布了同步光纤网络 (SONET, Synchronous Optical Network)。20 世纪 90 年代中期, 在美国以及许多国家已经广泛使用光缆组建话音和数据传输网络。

1.3 光导纤维与金属电缆设施的比较

对于远距离通信以及用于计算机网络, 使用玻璃或塑料纤维光缆比使用传统的金属或同轴电缆有明显的优势。

1.3.1 光纤系统的优点

使用光纤的优点如下所示:

1. 具有较宽的带宽以及通信容量大。由于光波的可用带宽很宽,带宽一般都在几千GHz以上,使得光纤的通信容量比金属电缆的通信容量大很多。由于金属电缆中存在着分布电阻、分布电感和分布电容,它们在线路中实际起到了低通滤波器的作用,使传输频率、带宽、比特率以及信息承载能力受到限制。现代光纤通信系统能够将传输速率为每秒几吉比特以上的信息传输上百英里,允许大约数百万条话音和数据信道同时在一根光缆中传输。
2. 抗电磁干扰。由玻璃、塑料这些绝缘材料制成的光纤可避免由传导电流引起的互相干扰,因此在光纤的周围不存在交变的电磁场。在邻近的金属电缆之间产生相互间电磁干扰的主要原因是这种交变的电磁场。
3. 抗噪声干扰。光纤不导电的特性还避免了光缆受到闪电、电机、继电器、荧光灯及其他(人为产生的)电噪声源的电磁干扰(EMI)。同样由于不导电特性,光缆也不向外辐射电磁能量。
4. 适应环境。光纤对恶劣环境(包括气候的变化)有较强的抵抗能力。它比金属电缆更能适应温度的变化,而且,腐蚀性的液体或气体对其影响较小。
5. 安全又便捷。光缆的安装和维护比金属电缆要安全、简单,这是因为:首先,玻璃或塑料都不导电,没有电流通过或电压的干扰;其次,它可以在易挥发的液体和气体周围使用而不必担心会引起爆炸或起火;第三,它比相应的金属电缆体积小、重量轻、紧凑便捷。由于光纤的易变形性使它便于施工操作,而且它占用的存储空间小,运输也廉价,安装和维护很方便。
6. 低传输损耗。光缆的信号损耗比金属电缆低得多。光纤的最新制作工艺可以将损耗降低到每公里零点几个分贝。因此,光纤的再生器和放大器相隔的距离可以比金属传输线远很多。
7. 保密。如果对光缆没有深入的了解,很难用金属感应器对光缆进行窃听,因此,它比常用的铜缆保密性强。这也是光纤系统对军事应用具有吸引力的又一方面。
8. 耐用性和可靠性。由于光缆具有更强的适应环境变化的能力和抗腐蚀能力。光纤系统远比金属电缆的使用寿命长、可靠性高。
9. 经济。光缆与金属电缆的造价基本相同,而光缆的传输损耗低,因此,光纤系统仅需要少量的中继器。少量的中继器使光纤系统的总成本比相应的金属电缆系统要低,可靠性得到提高。

1.3.2 光纤系统的缺点

尽管光纤系统的优点很突出,了解光纤使用中的局限性也很重要。光纤存在的缺点如下所示:

1. 接口昂贵。光纤本身的实用价值并不高,而要在实际中得到利用,需要昂贵的接口器件将光纤接到标准的电子设备上。
2. 强度差。光缆本身与同轴电缆相比抗拉强度要低得多。这可以通过使用标准的光纤包层PVC得到改善。另外,玻璃纤维比铜线容易碰碎,在硬件需要便携的场合很少使用光纤。
3. 不能传送电力。有时需要为远处的接口或再生设备提供电能,光缆显然不能胜任,在光缆系统中还必须额外使用金属电缆。
4. 光纤对由弯折引入的损耗非常敏感。电磁波在光纤中以折射或反射进行传播。因此,光纤的弯折引起光纤截面的不规则,导致信号能量的损失。光纤本身还存在多余的制作瑕疵,正是由于这微小的瑕疵引起了信号能量的额外损耗。
5. 专用的工具、设备以及培训。需要使用专用工具完成光纤的焊接以及维修;需要专用测试设备进行常规测量;光缆的维修既复杂又昂贵,从事光缆工作的技术人员需要通过相应的技术培训并掌握一定专业技能。另外,由于不存在电信号,在光纤中检测故障是很困难的。