

21 世纪
信息与通信技术教程

新世纪通信技术 简明教程

■ 刘立柱 编著

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

21 世纪信息与通信技术教程

新世纪通信技术简明教程

刘立柱 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

新世纪通信技术简明教程/刘立柱编著. —北京: 人民邮电出版社, 2002.8

(21 世纪信息与通信技术教程)

ISBN 7-115-10312-7

I. 新... II. 刘... III. 通信技术—高等党校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 035478 号

内 容 提 要

本书简明扼要地介绍了通信技术各方面的基本概念、基本原理、特点及其发展动态。内容包括通信技术的基本概念、数字通信、卫星通信、移动通信、通信安全、计算机通信、Internet 网络通信、宽带通信网络、多媒体通信, 以及通信在遥测遥感、数字地球等方面的应用。

本书概念清晰、图文并茂, 不仅简要介绍了通信技术各分支发展历程, 还阐述了基本原理, 给出了部分实用技术知识, 并展望了发展趋势, 这对于从事通信、计算机、控制和遥感遥测等领域的科技工作者、教育工作者及有关专业大学生是十分有益的。

21 世纪信息与通信技术教程

新世纪通信技术简明教程

-
- ◆ 编 著 刘立柱
责任编辑 陈万寿
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67180876
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 10.5
字数: 246 千字 2002 年 8 月第 1 版
印数: 1-5 000 册 2002 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-10312-7/TN · 1885

定价: 18.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

随着新世纪的到来,社会信息化、经济全球化已是大势所趋,竞争日趋激烈。竞争包括政治的、军事的、经济的、科技的、文化的各个方面,是整个社会的全面竞争,但归根到底是人才的竞争。因此,提高全民族的科技文化素质,开阔科教人员的视野、增强开拓意识和创新能力,显然是重要的、紧迫的。

我国已确定了以信息化带动工业化的发展战略,信息化是数字化、网络化、智能化和可视化的发展全过程。信息技术(Information Technology, IT)在这个发展过程中无疑是非常重要的,信息技术的主体是计算机技术、通信技术、控制技术和遥感遥测技术。在知识经济的发展进程中,具有一定文化基础的大众及各领域的各级领导干部都应掌握一些信息技术领域的基础知识,使自己跟上信息化社会发展的步伐。而对于从事计算机、通信、控制和遥感遥测专业的科技工作者和教育工作者及有关专业大学生,除了熟悉本专业外,也应了解其他专业的情况,把握其发展趋势,以适应各学科的互相渗透和融合的发展趋势,拓展思维空间,增强工作能力。正是基于上述考虑,作者对信息技术领域的通信技术及相关技术进行了探索,为了与大家共享专门编写了本书。由于通信技术在信息技术中是最活跃、与公众最息息相关的技术领域之一,它对国民经济和社会发展起了重要的推动作用,因此,本书以通信技术为主线,介绍了通信技术与信息技术的密切关系以及在数字地球中的重要地位。

这本书称之为《新世纪通信技术简明教程》,“新世纪”表明本书主要把内容限定在目前的最新技术和发展动态上,而“简明教程”则是说本书文字简明易懂,适合各个层面、各个领域的读者。本书力求图文并茂、概念清晰,不仅介绍各技术分支发展历史,阐述了基本原理,给出了部分实用技术知识,还展望了发展趋势。

由于笔者水平有限,时间紧迫,不妥之处、疏漏之点都是难免的,敬请读者批评指正。

刘立柱

2002年1月

1/9/04

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 通信的基本概念	1
1.2 有线传输技术	2
1.3 无线传输技术	7
1.4 交换技术	9
1.5 复用技术	12
1.6 通信技术的发展	15
第 2 章 数字通信	16
2.1 概述	16
2.2 数字语音通信	17
2.3 数字传真通信	22
2.4 数据通信	29
2.5 数字视频通信	32
第 3 章 卫星通信	34
3.1 卫星通信概述	34
3.2 卫星通信系统	35
3.3 卫星发射技术	37
3.4 卫星通信的发展与应用	39
第 4 章 移动通信	41
4.1 何谓移动通信	41
4.2 移动通信的发展历程	43
4.3 第三代移动通信系统	45
4.4 卫星移动通信系统	46
4.5 移动通信的发展	47
第 5 章 通信安全	49
5.1 扩展频谱通信	49
5.2 扩频通信的应用与发展	51
5.3 信息隐藏技术	52

5.4	保密通信	55
5.5	数字签证	59
第 6 章	计算机网络与通信网络	60
6.1	网络与网络技术	60
6.2	局域网与广域网	64
6.3	综合业务数字网(ISDN)	68
6.4	智能网	73
第 7 章	Internet 网络通信	76
7.1	Internet 网概述	76
7.2	Internet 网的协议	77
7.3	Internet 网关设备	84
7.4	Internet 传真通信	86
7.5	Internet 电话	90
7.6	Internet 网的发展	91
第 8 章	宽带通信网络	93
8.1	宽带通信网络产生的背景	93
8.2	宽带通信网络的结构(B-ISDN)	94
8.3	光纤通信与光纤接入网	101
8.4	ADSL 和 VDSL 技术	106
8.5	广播电视网与宽带接入网合璧	110
第 9 章	多媒体通信	113
9.1	多种媒体信息与多媒体信息	113
9.2	多媒体信息处理	115
9.3	多媒体通信协议	119
9.4	多媒体电子邮件	123
第 10 章	通信与信息技术	127
10.1	传感器	127
10.2	通信与遥测遥控	129
10.3	通信与水声探测	136
10.4	遥感系统	140
10.5	通信与计算机技术	144
第 11 章	通信与数字地球	148
11.1	数字地球的基本概念	148

11.2 数字地球的主要技术	150
11.3 数字地球的应用与科技发展国策	153
参考文献	156

第 1 章 概 论

1.1 通信的基本概念

通信，即信息的交流。对于出差在外或已在异国他乡的人来说，如果想念远在千里之外的亲人，可打电话与家人交谈，述说自己的心情。也可给他(她)发一份传真，表述一下离别后的感受和思念。发一个电子邮件(E-mail)也是可行的选择方案。

通信的理想目标就是，任何一个人不管在何时何地都可与另外的任何人以各种方式进行任何种类的信息交流。为实现这一目标所开发的技术都称之为通信技术。通信技术包括信息传输技术和信息处理技术等。

传递信息所采用的一切技术设备被总称为通信系统，一般模型(单向)如图 1.1 所示。

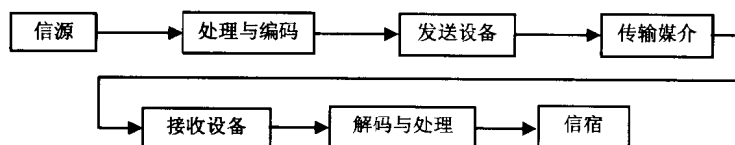


图 1.1 通信系统模型

- 信源，发出信息的源。信源可发出各种各样的信号，模拟的或数字的，连续的或离散的。从表示媒体来看，又可分为语音、传真、图像、文字、数据等。

- 信息处理，包括把模拟信号变成数字信号的编码，例如 PCM、ADPCM、 ΔM 等等，当信源发出的信号本身就是数字信号时，还要进行数据压缩。总之，信息处理的内容是相当广泛的。

- 发送设备，它所起的作用是：把信源发出的信号，经处理后的数据变成适合信道传输的信号，一般包括调制解调或数传设备。

- 传输介质，一般为有线或无线。有线介质包括金属线、金属电缆、光纤、光缆等。无线包括短波、超短波、微波、激光等。应该指出的是：每一种传输介质，作为传输信息的手段，都必须配置相应的技术措施，构成一种传输方式。如光纤通信、卫星通信等等。

- 接收方，进行与发送方互逆的处理。

应该指出：信息传输系统包括收、发设备及传输介质。具有信源、信宿功能的设备就是通常所说的终端设备。

如果我们把通信分类，按信源发出的信号属性可分为模拟通信、数据通信、数字通信。比如：打普通电话，一般来说在用户线部分就是模拟通信，发电子邮件为数据通信，利用三类传真机发一份传真属数字通信。按信源的运动状态分，有移动通信和固定通信。按业务来

分，有语音通信、电报通信、图像通信、传真通信、数据通信、多媒体通信等。按信号的传输方式来分，有短波通信、散射通信、微波通信、移动通信、卫星通信等。

1.2 有线传输技术

传输线，是指从一点到另一点传输电信号的一种设备。它引导表示信息内容和信号能量的电磁波沿着它延伸的方向前进，因此，传输线有时被称之为导线。传输线有金属传输线（架空明线回路、对称电缆回路、同轴电缆回路）、光纤、金属波导管等。

传输线的传输特性，可用电磁场理论来分析，也可用电路理论进行分析。电磁场理论分析方法，是从马氏方程出发得出满足边界条件的波动方程，从而获得传输线上电场和磁场的表示式，进而可分析传输线的传输特性。这种方法具有普遍性，既适用于金属波导管和光纤，也适用于二线传输线。电路理论分析方法，是利用正弦稳态的条件下，“场”和“路”之间存在的对应关系，将电磁场的问题转化为电路问题来处理，这种方法简化了分析方法、有利于直观理解，但是它仅仅适用于二线传输线，而且这时的传输线应看作为分布参数电路。分布参数电路，是相对于集中参数电路而言的。集中参数电路的特点是：电磁场能量集中在电路的各个元件以内，而且电磁状态的持续时间比电磁状态本身变化的时间小得多，因此，在分析时可不考虑持续时间问题，这就意味着，集中参数电路的电压、电流只是时间的函数，与空间坐标的变化无关。分布参数电路则不同，该电路中的电压、电流既是时间的函数，也是空间坐标的函数，即电磁波在这种电路中传输时必须考虑时间和空间的关系。

集中参数电路与分布参数电路区分的主要依据是：根据导线长度与信号波长的相对关系，当信号波长远大于导线长度时，此时的导线为“短线”；反之，导线为“长线”。如图 1.2 所给出的例子，形象地说明了这个概念。一个信号的波长 $\lambda = 3\text{km}$ ，此时 30 km 的传输线路为长线；而对频率为 50Hz 的交流电来说，其波长 $\lambda = 6000\text{km}$ ，此时的 30 km 的传输线路则为短线。也就是说，在分析传输线特性时，当波长远大于导线长度时，电量可认为是不变化的，这样就可把这段导线看作是集中参数电路，如图 1.2 (a) 中的线段 AB 就可以看作为集中参数电路。

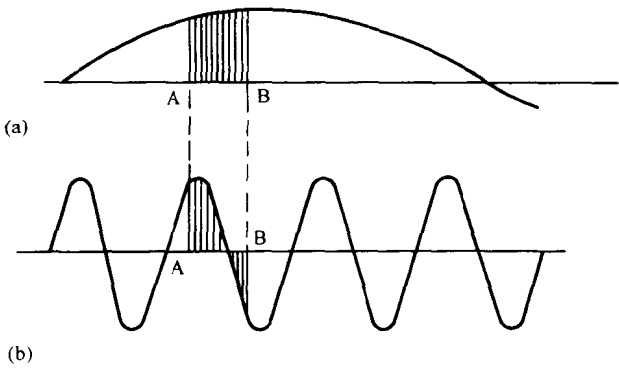


图 1.2 正弦电压沿线相位变化示意图

对于高频信号来说，在导线之间存在着不可忽视的电感、电容，以及分布电阻。电磁状态传输的持续时间已不能忽略，若用集中参数的概念来分析，则研究的长度只能取 dx ，因为只有这样才能把它的电阻、电容、电感看作是集中参数，其电压才能仅是时间的函数而与长度无关。当然实际的通信线路都是比较长的，研究时必须理解为是由无限多个 dx 长的小段连接而成。

传输线根据它的结构是否一致，可分为均匀传输线和不均匀传输线。当组成回路的两导体的几何形状、相对位置、周围的介质在整个长度上保持不变时，为均匀传输线；反之，则为不均匀传输线。

1. 明线回路的传输特性

这里需研究回路中的电磁场，可以运用马克斯威尔(Maxwell)方程，我们不准采用这种方法，只是原理性地给出必要的解释。对明线回路来说，由于两线距远大于线径，故两导线间的影响可以忽略，因此用单导线进行研究即可获得整个回路电磁场情况。传输线的物理参数有：(1)单位长度的电阻 R ，单位： Ω/km ，(2)单位长度的电感 L ，单位： H/km ，(3)单位长度的电容 C ，单位： F/km ，(4)单位长度的电导 G ，单位： S/km 。 R 和 L 影响纵向电压的变化， C 和 G 影响横向电流的变化。它们都关系着信号能量的传输。其中电阻 R 由直流电阻和交流电阻组成。直流电阻决定于材料的导电率、截面积大小和环境温度；交流电阻除上述条件外，还与导线的导磁率、信号频率以及周围其他金属材料的性质和相对位置有关。这是因为导线上通过交流时，它将在导线内及其周围其他金属内引起涡流，使部分能量被消耗，这相当于增加了导线的电阻值。一般有三种情况：(1)集肤效应，即导线截面上信号电流向表面集中的一种现象；(2)靠近效应，是指导线截面上的电流趋向于回路两导线间互相靠近的一侧，如图 1.3 所示。图中的 I_B 为导体内的涡流；(3)近邻金属效应，是指导线的外磁力线不仅在本回路的另一导线上产生涡流而造成损耗，在其他金属材料，如相邻的其他回路及其金属护套中，也会有能量损耗。

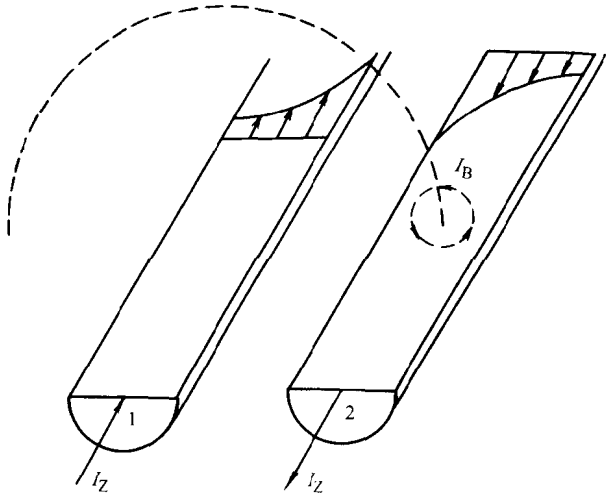


图 1.3 靠近效应示意图

2. 对称电缆回路的传输特性

对称电缆回路的电磁场分布与明线回路不同，由于两导线相距较近，靠近效应不可忽视，且导线内外电磁场的分布均不与本导线的轴心相对称。如图 1.4 和图 1.5 所示。其交流附加电阻不仅有集肤效应电阻，还有靠近效应和邻近效应所引起的电阻，因此有效电阻 $R = R_{直} + R_{集} + R_{近} + R_{靠}$ 。电感和电容的计算公式比较复杂。

在图 1.5 中以导体 a 为例，给出了实际的 H_{ϕ}' 和按圆柱坐标几何中心分解出的 H_r 和 H_{ϕ} 。r 为导体半径， O_a 、 O_b 为导体 a、b 的几何轴心， O_a' 、 O_b' 为某磁力线偏移后的等效轴心， H_{ϕ}' 是以 O_a' 为等效轴心时任意点 A 的磁场切线分量， H_r 、 H_{ϕ} 是 H_{ϕ}' 对导线几何轴心分解出的切线和法线磁场分量。可见，此时以几何中心为原点的 H_r 分量不再为零。

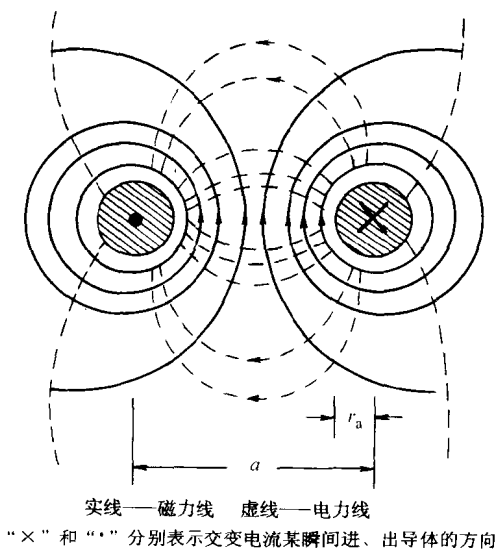


图 1.4 对称回路导线间电磁场分布

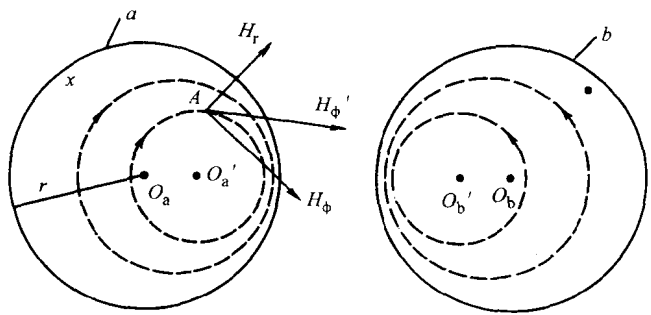


图 1.5 对称回路导线截面上磁场分布图

3. 同轴回路的传输特性

同轴电缆回路的内导体相当于明线回路的一根导线，同样存在着集肤效应，而外导体在内导体外磁场的作用下，愈靠近内表面的电流密度愈大，这就是同轴回路的靠近效应，如图 1.6 所示，图中的 I_H 为导体内的涡流。同轴回路内导体的集肤效应与外导体上的靠近效应也是与电流的频率有关，当频率越高时其效应就越强。同轴回路的外导体可限制本身电磁场对外界的干扰，还能使邻近传输回路或其他干扰源的高频干扰电磁场仅仅沿着外导体的外表面传输，这样就产生了屏蔽作用，如图 1.7 所示。这一优点在高频时尤为突出。

4. 回路间的串音

串音，即在通话过程中可听到非通信双方的话音，可分为“路际串音”和“制际串音”。同一载波系统(如 60 路载波系统)内各电路间的串音叫“路际串音”；各个载波系统之间的串音被称之为“制际串音”。一般而言，一个通信回路对应一个载波系统的传输，因此，“制际

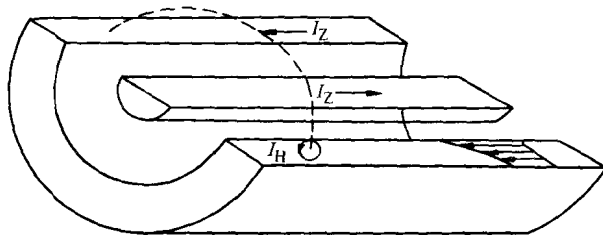


图 1.6 同轴回路的靠近效应

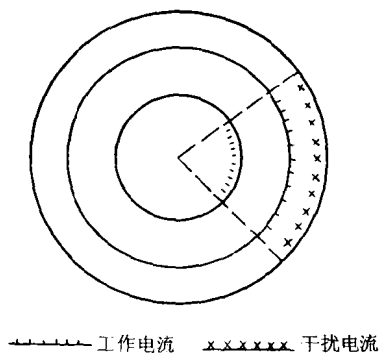


图 1.7 同轴回路中的工作电流和干扰电流

串音”可理解为回路间的串音。串音，可分为“易懂串音”和“不可懂串音”。“易懂串音”就是能听懂语言含义的串音，故可造成通信泄密；“不可懂串音”形成杂音而降低通信质量。在通信线路中，根据各个回路中开通载波机的频谱配置，当传输频谱相同的回路之间产生了串音，将是易懂串音；反之，就是不可懂串音，即杂音。实际上，通信线路各回路的载波机既有相同传输频谱的，也有频谱倒置或相互异配的，所以各回路之间易懂串音和不可懂串音都存在。

5. 明线回路的串音抑制

为了有效地消除串音，针对不同的回路可采用不同的技术措施。明线回路通常采用的技术之一就是回路交叉技术。所谓交叉，是指回路的两根导线沿着线路长度交换其相对位置。在一个电杆上交换导线位置的，被称为点式交叉；沿着线路进行的方向，按右手螺旋方向在杆档内翻转导线位置的，叫做滚式交叉。在相互干扰回路中将其中一个回路作交叉(回路 3、4)，就可改变下一段线路的耦合符号，从而使得两段回路间的耦合符号相反，因此，使串音消除或降低，这被称为有效交叉，如图 1.8 (a)所示。若在两个回路上都作交叉，则第二段耦合的符号仍与第一段相同，故等于不作交叉，被称为无效交叉，如图 1.8 (b)所示。

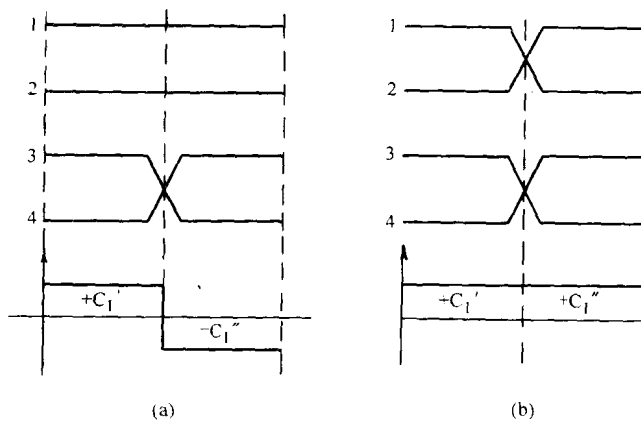


图 1.8 交叉的作用示意图

6. 对称电缆回路间的串音抑制

电缆，就是在一个防护套内包含许多电话线，每对电话线都是双绞线。这样做的目的，是从降低对称电缆回路间的串音来考虑的，在音频范围内磁耦合的影响很小，可忽略不计。而对电耦合来说只有电容耦合。随着频率的升高，磁耦合的比重增大。从 35kHz 开始，电感耦合与电容耦合逐渐相等。在高频对称电缆中，回路之间的电磁耦合具有机遇性和系统性，分别称为“机遇性耦合”和“系统性耦合”。所谓“机遇性耦合”，是指在电缆生产过程中，由于扭绞机运行的不均匀，使个别扭绞节距发生偏差；或由于芯线绝缘层厚薄不均匀而改变了线间的距离；或由于介质材料的介电常数不均匀而使线间的介电常数不均匀等等，使得回路间产生串音，由于这些耦合是不可预见的，因此把这种耦合统称为机遇性耦合。

电缆的扭绞类似于明线的滚式交叉，它是沿电缆的轴线方向来改变导线间的相对位置。回路或线组沿轴线方向旋转一周的轴线长度叫做节距。电缆在制造过程中，芯线按照一定的扭绞节距扭绞成线对或四线组；相邻层又采用相同或不相同节距按照相同或相反方向绕包成缆，可改善组内回路间的间接耦合；不同的组采用不同的节距，还可以改善组间回路的耦合。为了使组内、组间的干扰都达到最小，必须使扭绞节距得到良好的配合。

7. 同轴电缆回路间的串音抑制

对于同轴电缆，由于外导体具有屏蔽和回归导体的双重作用，所以一般没有横向的电磁耦合。所以，两个回路间的干扰是通过两个同轴管的外导体所形成的第三回路(Ⅲ)来实现的，如图 1.9 所示。当主串同轴管(Ⅰ)有信号电流通过时，外导体外表面上产生的电压降形成纵向电场分量 E_{21} ，使得在Ⅰ和Ⅱ同轴管外导体构成的中间回路Ⅲ中产生电流，从而在被串同轴管的外导体的外表面上产生电场 E_{32} ，内表面形成电场 E_{22} 。该 E_{22} 在被串同轴回路中产生的电流就是从同轴回路Ⅰ串到同轴回路Ⅱ的干扰电流，其大小取决于主串同轴管外导体表面的电场强度，即 E_{21} 越大干扰电流也就越大。

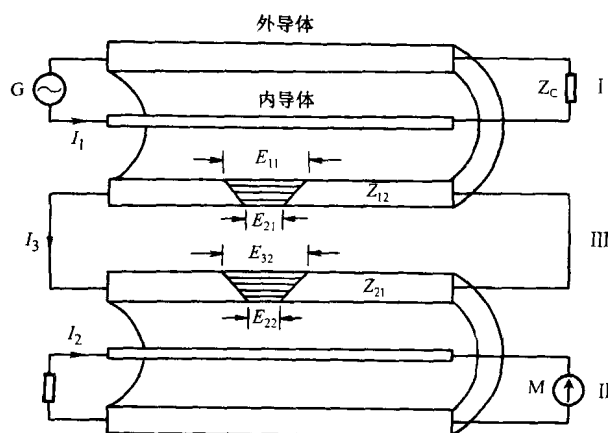


图 1.9 同轴回路间的干扰

应该指出： E_{21} 的大小与频率有关，在低频时最大，对邻近回路的干扰也最大。随着频率的升高， E_{21} 的值逐步下降，直至趋于零。可见，同轴对间的相互干扰，当最低传输频率

达到标准时，即可满足整个传输频带的要求。这是它与对称回路在串音特性方面的重要区别。降低串音的措施与对称回路也不同，只能从外导体的构造、厚度、材料及它们的相互位置等方面研究解决。一般为了提高低频段(60~300kHz)内的抗干扰能力，同轴回路用厚度为0.15~0.20mm的钢带进行屏蔽。钢带为双层螺旋绕包，也可采用三层屏蔽结构。这样可大大减少串音干扰。

1.3 无线传输技术

无线电波，是信息传输中一种非常重要的媒质，适合于空间传输的无线电波是一种电磁波，其传输速度就等于光速，即 3×10^8 米/秒。无线电波按频率或波长可分段命名，具体划分和命名如表 1.1 中所示。从表中可见，分米波、厘米波、毫米波其波长均小于 1 米，称之为微波。由于各波段的传播特性不同，例如中波主要沿地面传播，绕射能力比较强，适合于广播和海上通信；短波具有较强的电离层反射能力，适合于环球通信；超短波和微波以直线传播为主，因此可作视距或超视距中继通信。

表 1.1 无线电波段划分

波段名称		波长范围	频段名称	频率范围	代号
长波		1000 ~ 10000m	低频	30 ~ 300kHz	LF
中波		100 ~ 1000m	中频	300 ~ 3000kHz	MF
短波		10 ~ 100m	高频	3 ~ 30MHz	HF
超短波		1 ~ 10m	甚高频	30 ~ 300MHz	VHF
微波	分米波	1 ~ 10dm	特高频	300 ~ 3000MHz	UHF
	厘米波	1 ~ 10cm	超高频	3 ~ 30GHz	SHF
	毫米波	1 ~ 10mm	极高频	30 ~ 300GHz	EHF

下面介绍自由空间的电波传播，所谓自由空间是指充满理想介质的无限空间，在这个空间里，不存在电波的受阻挡、反射、折射、绕射、散射和吸收。电波传播时其能量会因扩散而衰减，这种衰减被称为自由空间传输损耗。

微波的传播特性如同光波，在传播途径上没有(或基本上没有)阻挡，绕射可忽略，因而是一种“视距”传播。与利用电离层散射进行的“超视距”传播相比，视距微波的传播特性稳定、外界干扰也比较小。

假设发射天线各向同性向外辐射，发射功率为 P_T ，则以发射源为中心、 d 为半径的球面上单位面积上的功率，即功率密度为 $S = P_T/4\pi d^2$ ，实际上天线都是有方向性的，其辐射能量向主射束方向集中的程度，用天线增益 G_T 表示： $G_T = S_A/S_1$ ，式中 S_A 是距发射源 d 处、对准定向天线主瓣方向某点得到的功率密度， S_1 为使用全向天线时、同一 d 处得到的功率密度。那么，可得到天线主射束方向在此处的功率密度为： $S = G_T P_T/4\pi d^2$ ，若接收天线为一抛物面天线，其口径有效面积为 A ，则该接收天线所截获的功率为： $P_R = A \times S = A G_T P_T/4\pi d^2$ ，式中 $A = G_R \lambda^2/4\pi$ ，式中 G_R 是抛物面天线增益， λ 为发射源的自由空间波长。

实际上微波接力通信，电波是在低层大气中传播的，电波不仅会受到地球曲率的影响，而且还会受到反射、折射、散射和吸收等影响，从而使接收点的场强产生附加的损耗。地球曲率对视距通信的影响，如图 1.10 所示。假设通信两端 A 和 B 的天线高度分别为 h_1 和 h_2 ，当 AB 和地球相切时的距离 d 就是最大视线距离。相切点 C 相对应的 AC 和 CB 近似等于弧长 d_1 和 d_2 （因为 d_1 、 d_2 与地球的半径 R_0 相比是很小的， $R_0 \approx 6370$ 公里）。由图中的几何关系可见，

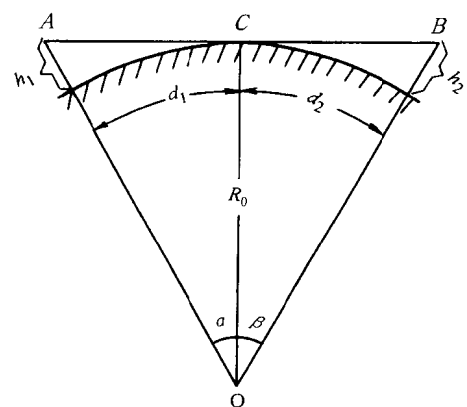


图 1.10 地球曲率对视距的影响

$$d_1 \approx AC = \sqrt{(h_1 + R_0)^2 - R_0^2} \approx \sqrt{2R_0 h_1}$$

$$d_2 \approx CB = \sqrt{(h_2 + R_0)^2 - R_0^2} \approx \sqrt{2R_0 h_2}$$

在天线高度 h_1 和 h_2 给定时，最大视距为：

$$d_m = d_1 + d_2 = \sqrt{2R_0} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

可见天线越高，视距就越大。在平原地带可利用铁塔或高层建筑物为基础提高天线的高度。而在山区，可借助于山峰架设天线，这样可增加视线距离。不同天线高度的最大视距如表 1.2 所示。

表 1.2 天线高度与最大视距对照

h (m)	10	20	30	40	50	60	70
d_m (km)	23	32	39	45	50	55	60

低层大气是一种非均匀介质，其介电常数受到大气成分、气压、温度和湿度的影响，当这些参数随时间和高度变化时，介质的介电常数也随之而变化。对于水平方向传播的电波，影响最大的是相对介电常数 $\epsilon_r(h)$ ，它随高度 h 而变化，即 $n = \sqrt{\epsilon_r(h)}$ ，也就是说，不同高度的介质折射率也不同，根据折射定律可知，电波的传播速度 v 与大气折射率 n 成反比。因此，由于不同高度的电波传输速度不同，射束会产生弯曲。弯曲的方向和程度决定于大气折射率的垂直梯度 dn/dh ，电波折射的波束轨迹如图 1.11 所示。当 $dn/dh = 0$ 时，表示在均匀大气层中传播，电波射束的轨迹为直线，称之为无折射，如图 1.11 (a) 所示。图 1.11 (b) 给出了 $dn/dh > 0$ 时所发生的现象，由于大气折射率随 h 的增大而上升，电波通过这种非均匀大气层时，电波波前上部传播速度较小，使得电波射束向上弯曲，被称之为负折射现象。图 1.11 (c) 中的情况与 (b) 相反，称为正折射现象。由于正负折射使得射束与地球间的

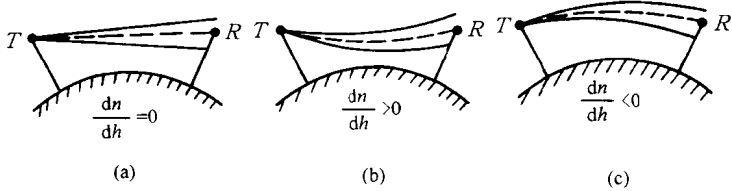


图 1.11 电波折射的波束轨迹

空隙产生变化，最终使得有效传播距离变小(负折射)或变大(正折射)。这是微波通信线路设计中值得注意的问题。

微波中继传输系统选用的频率范围通常是 300MHz ~ 30GHz，即分米波和厘米波段。在微波中继通信系统中，经过接力可实现远距离双向传输，为了使双向传输的信号互相无干扰，通常采用双频制，如图 1.12 (a) 所示。为了减少干扰可采用四频制频率配制，如图 1.12 (b) 所示。采用双频制时，前站来的 f_1 射频到达本站后，必须变换成另一个射频 f_1' 后向后发送，下一站收到 f_1' 后再变换为 f_1 而继续发送。反向传输也需同样处理。这种交叉式双频制可避免前站来的射频越过本站后直接窜入下站接收机。但是它也存在如图 1.12 (a) 中所标示的背向干扰(虚线路径 N1)、邻站干扰(虚线路径 N2)和越站干扰(虚线路径 N3)。

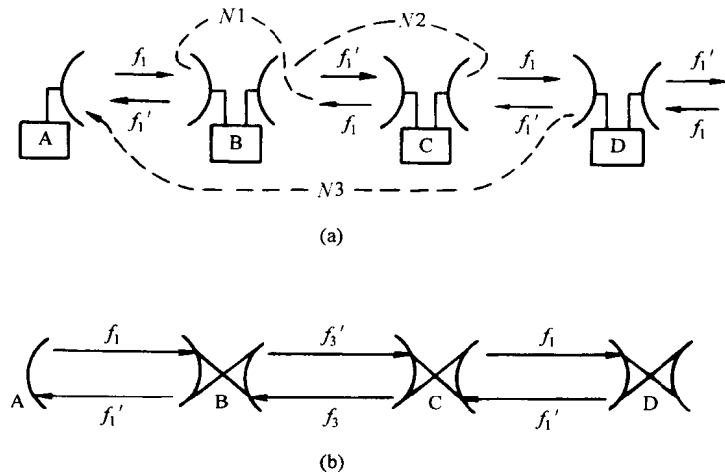


图 1.12 双向传输频率配置

1.4 交换技术

公用电话交换网(PSTN)由传输线路、用户终端和交换机等部分组成。本节将介绍电路交换与分组交换的基本概念。目前，电话网的交换方式是属于电路交换方式，它的主要特征是：交换网为每次通信提供一条固定的通信链路，所传输的信号经过交换机不会带来时延。电路交换方式的链路建立、拆除过程是：当主叫用户发出呼叫申请时，本地交换局回送拨音号，然后主叫用户开始发送被叫用户号码；与被叫号码相关的交换局就在主叫和被叫之间建立一条固定的通路，双方即可通话，当其中一个用户表示通信完毕需要拆线时，这条链路上各个交换机将该次通信所占用的机件和通路释放，以供后续呼叫使用。电路交换属于电路资源预分配系统，一次接续就是一次分配。在一次接续中电路就分配给一对用户固定使用，不管这条电路是否有信号，电路一直被占用，直到双方通信完毕拆除连接为止。电路交换方式原理如图 1.13 所示。由于电路交换的接续路径是采用物理连接的，当电路接通后，电路的控制与传输的信息无关。

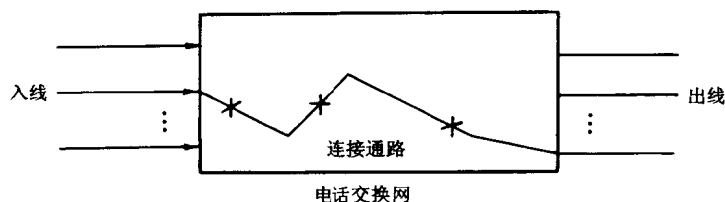


图 1.13 电路交换方式原理图

分组交换的概念可以从三个方面来说明：

(1) 分组交换不采用直接交换方式，而是采用存储—转发交换方式，即首先把来自用户的信息、文电存于存储装置中，待处理并确定适当路由后转送发出。

(2) 将收到并经存储的用户信息划分为多个一定长度的分组(packet)，每个分组前边都加上固定格式的分组标题，用于指明分组的发端地址、接收端地址及分组序号等。

(3) 将分组后的分组文电送于可达目的地的多个路由上，这些分组可以在网内独立地传输，也可以由多个路由传输，到达接收端交换机后，把这些分组信息文电按分组号重组合并，并去掉所加的分组标题。

分组交换方式实现的基本原理如图 1.14 所示。由数据终端设备发出的数据通过用户线送到交换机 α 暂时存储，如果数据信息较长，则在交换机 α 内分成具有一定长度的分组，并在每一分组上指明该分组发信地址、收端地址及分组序号的分组标题。交换机 α 为了把这样的分组转发给接收局交换机 P，就需要选择空闲路由，因为信息分组各具有指明发端地址、收端地址及分组序号的分组标题，所以没有必要将这三个分组通过一个路由传送，而可根据交换网的状态给每个分组选择不同的路由。也就是说，可以根据某一瞬间交换网络内路由的忙闲情况来选择空闲路由。所以，不会出现仅仅因为某一路由过忙而不能转发的情况。由于

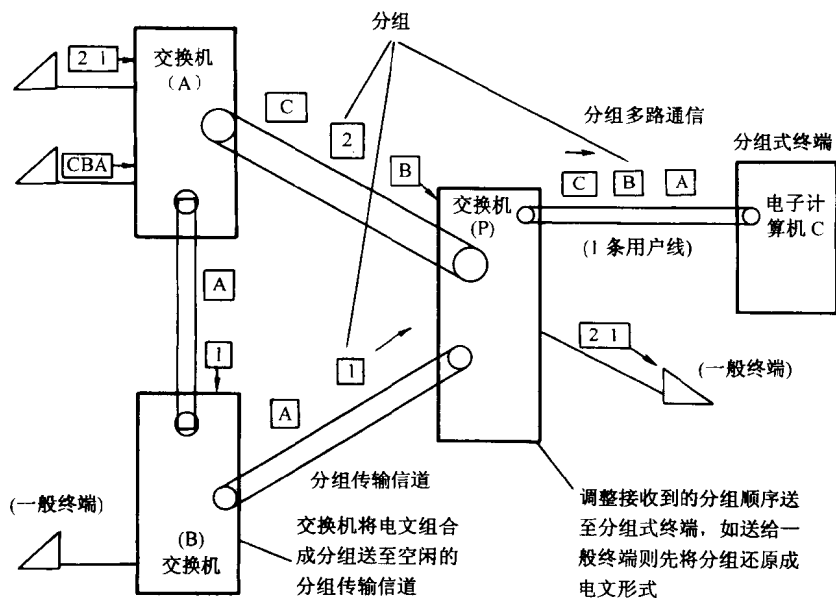


图 1.14 分组交换原理图