

邮电中等专业学校通用教材

微波中继通信原理

广东省邮电学校 编

人民邮电出版社



内 容 提 要

本书详细地讲述了微波中继通信系统的构成、特点、基本原理。重点叙述了调频电话和电视信号的主要特性、传输标准及各种噪声和失真对传输质量的影响。还扼要地叙述了数字微波通信的基本原理和基本概念。

本书是中等专业学校微波通信专业教材。内容深入浅出，着重于基本原理和概念的论述，避免了繁琐公式的推导，适于从事微波通信专业的维护人员及工程技术人员阅读。

每章末均附有思考题和习题，供师生参考。

邮电中等专业学校试用教材

微波中继通信原理

广东省邮电学校 编

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1982年8月 第一版

印张：18 8/32页数：292 1982年8月河北第一次印刷

字数：418 千字 印数：1—2,500 册

统一书号：15045·总2572—无6177

定价：1.50 元

前 言

本书是邮电中等专业学校教学用书。为适应邮电教育事业发展的需要，1978年以来，我们组织了部分邮电学校分工编写了微波、载波、市内电话、线路、电报、电源、综合电信和邮政机械等八个专业所用的专业基础课和专业课教学用书，有些已经出版，有些将陆续出版，以满足各邮电中等专业学校教学的需要。

编写教材，是提高教学质量的关键。我们组织编写本教材时，力求以马列主义、毛泽东思想为指导，努力运用辩证唯物主义的观点阐明科学技术的规律，内容上注意了少而精，尽量反映科学技术的新成就。书内难免存在缺点和错误。希望有关教师和同学在使用过程中，把发现的问题提给我们以便修改提高。

邮电部教育局

一九八〇年七月

编者的话

本书作为邮电中等专业学校微波通信专业“微波中继通信原理”的试用教材。它是根据邮电部第十四次教育工作会议确定的教学大纲进行编写的。全书共分四章，第一章概述微波中继通信的特点及微波中继通信系统的构成；第二、三章是本书学习的重点，分别阐述了调频多路电话和电视的传输特性、传输标准以及这些传输标准与各电路设备性能指标的关系，各种噪声和干扰对传输质量的影响等；第四章简要叙述了数字微波通信的基本概念和基本原理，作为了解数字通信的入门。

为了促进学生的智力发展，培养学生理论联系实际以及分析问题和解决问题的能力，每章之后均附有思考题和习题，还提供了一些必要的技术资料，供查阅。

在本书编写过程中，得到邮电部第四研究所、电信传输研究所、邮电五〇六厂等兄弟单位的热情帮助和指导，谨表示衷心感谢。

本书由广东省邮电学校许立勇同志编写，由北京邮电学院王德耀、张燕迪二同志审稿。参加本书绘图、缮稿的有广东省微波总站符泉、罗伟雄等同志。

由于我们水平有限，实践经验不足，时间仓促，难免存在缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

广东省邮电学校

1981年1月

目 录

第一章 微波通信概论	(1)
第一节 基本概念	(1)
一、什么是通信	(1)
二、什么是微波通信	(4)
三、微波通信的种类	(8)
四、微波通信的发展趋势	(13)
第二节 多路通信基本原理	(18)
一、多路通信的概念	(18)
二、实现多路通信的方法	(19)
三、频率复用原理	(19)
四、多路电话信号频谱的组成	(22)
五、导频	(29)
六、二次复用	(30)
第三节 微波中继通信系统的构成	(34)
一、系统构成的考虑	(34)
二、线路组成	(41)
三、站上主要设备的作用和联接	(44)
四、系统指标	(64)
第四节 频率配置和波道干扰	(70)
一、频率配置的基本原则	(70)
二、二频制和四频制	(71)
三、中频的选择	(73)
四、波道干扰	(73)
五、频率配置方案举例	(78)

思考题	(87)
附录1-1 我国微波中继通信系统主要传输性能	(88)
附录1-2 我国微波中继通信系统转接方式及接口 标准	(89)
第二章 调频多路电话传输	(90)
第一节 多路电话信号的主要特性	(90)
一、白噪声主要特性	(91)
二、多路电话信号的主要特性	(96)
第二节 调频波的基本特性	(106)
一、调频与调相	(106)
二、调频波的频谱分析	(109)
三、调频制的门限效应	(121)
第三节 微波通信线路的话路质量及传输标准	(122)
一、话路质量的评定方法和评定标准	(122)
二、噪声的来源和分类	(133)
三、电话通道传输质量指标	(135)
四、噪声指标对话路质量的影响	(144)
五、电话噪声分配	(145)
第四节 热噪声	(149)
一、噪声系数和等效噪声温度	(149)
二、调频热噪声对话路的干扰作用	(156)
三、话路的热噪声功率及其信噪比	(159)
四、话路传输中的加重技术	(164)
五、与衰落无关的热噪声	(169)
六、微波线路基本参数的计算	(173)
第五节 串噪声	(181)
一、串噪声的分类	(181)
二、线性失真和非线性失真	(183)

三、非线性失真与微分特性的关系	(185)
四、微分相位失真与群时延失真	(191)
五、串噪声指标计算	(199)
第六节 调幅—调相转换引起的噪声	(217)
一、 $AM-PM$ 转换的基本原理	(218)
二、 $AM-\rho M$ 转换失真引起的噪声	(222)
三、降低 $AM-PM$ 转换失真的一般方法	(228)
第七节 干扰噪声	(229)
一、干扰来源	(230)
二、信号干扰噪声比的计算	(238)
思考题和习题	(254)
附录2-1 信号电平单位和噪声单位	(260)
附录2-2 噪声功率和电平速算简表	(265)
第三章 调频电视传输	(267)
第一节 电视传输网	(268)
一、电视传输方式	(268)
二、电视网的组成	(269)
第二节 电视信号一般介绍	(275)
一、电视制式	(275)
二、全电视信号	(280)
三、调制极性	(284)
四、隔行扫描	(285)
五、电视信号特性 ($PAL-D$)	(287)
六、彩条信号	(296)
第三节 电视传输标准	(299)
一、国际电视转接电路	(299)
二、电视传输假想参考电路	(300)
三、电视通道传输性能	(301)

第四节 电视传输系统的失真和干扰	(307)
一、线性失真	(308)
二、非线性失真	(322)
三、杂波和干扰	(336)
四、回波的影响	(345)
第五节 电视传输中的加重及加权	(350)
一、加重的必要性	(350)
二、加重网络	(352)
三、加权网络及其特性	(353)
四、加重加权系数	(354)
第六节 电视图象失真的叠加规律	(359)
一、假想参考电路的失真叠加规律	(359)
二、失真叠加规律的另一种表达形式	(360)
三、多段电路串接时的失真叠加规律	(363)
四、整个系统的失真叠加规律	(364)
五、计算举例	(365)
思考题和习题	(368)
附录3-1 各种制式的黑白电视信号的主要特性	(371)
附录3-2 几种制式的彩色电视信号的主要特性	(374)
附录3-3 彩色电视图象质量的主观评定	(375)
第四章 数字微波传输	(379)
第一节 概述	(379)
一、数字通信系统的模型	(379)
二、数字微波中继通信的特点	(381)
三、数字通信系统的质量要求	(384)
第二节 模拟信号的数字化——编码调制	(387)
一、脉码调制	(388)
二、增量调制	(422)

三、脉码调制和增量调制的比较	(431)
四、电视信号的数字化	(434)
第三节 数字传输原理	(446)
一、基带传输系统	(447)
二、频带传输系统——调制解调方式	(464)
第四节 数字微波中继系统	(500)
一、数字微波中继系统的构成	(500)
二、传播效应与频率配置	(502)
三、调制解调方式的选择	(511)
四、复用分级与设备系列	(512)
五、模拟系统和数字系统的兼容传输与复用转换	(524)
六、数字微波中继系统的传输质量及指标分配	(530)
七、数字微波收发信设备	(550)
八、辅助系统	(557)
思考题和习题	(569)

第一章 微波通信概论

微波通信是一种重要的无线电通信手段。与短波通信相比，它具有通信容量大、抗干扰性强、稳定可靠、保密性较好等优点。能较高质量地传送多路电话、电视、传真、宽带广播、快速电报和数据传输等多种电信业务。与有线通信相比，它的灵活性大，投资较省，建设速度较快。因此，无论在国际、国内通信中，微波通信都占有重要地位。本章将简要介绍微波多路通信的基本概念，微波中继通信系统的构成及频率配置等方面的问题。

第一节 基本概念

一、什么是通信

通信简单说来就是互通信息。不论用何种方法，通过何种媒介将信息从一地传到另一地，均可称为通信。如我国古代的烽火告警、驿邮传令等就是一些简单的通信方式。

最简单的通信是面对面的交谈，这是一种直接通信方式。人讲话时发出的话音，是信息的来源，称为信源。话音通过空气传到对方，这传递途径称为信道。对方听到后获得信息，这收信者称为信宿。这就完成了互通信息的过程，即构成了一个通信系统。

这样简单的通信方式显然不能满足实际通信的要求，因为

单用语言不能够表示所要传送的多种信息，而且也不能克服通信距离的限制。因此，为了达到联系的目的，人们借助电的技术来传送语言、文字、图表、甚至彩色活动图象等多种信息，这过程就称为电气通信，简称电信。现代通信的主要方式无不属于电信的范畴。它的一般模型可用图1-1来表示，包括有信源、信宿、信道、变换器、反变换器和干扰源等六部分。现分别说明如下。

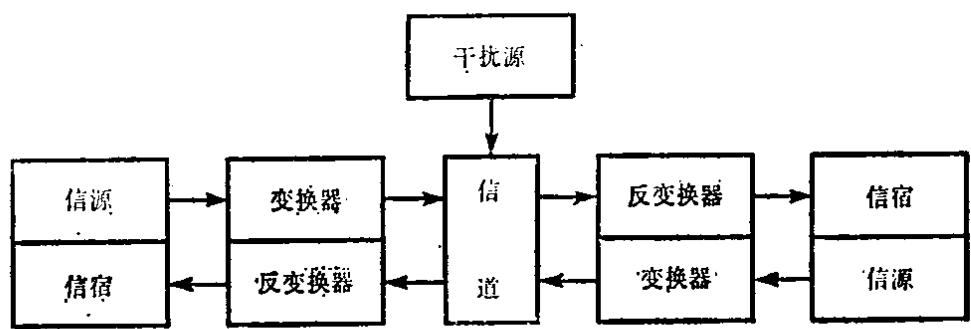


图 1-1 通信的一般模型

信源中所包括的信息，是我们要传送的对象，不同的信源就构成不同的通信系统。现代长途通信要求传送的信息有很多种，包括语声信息（电话、广播），数字信息（电报、数传）和图象信息（传真、可视电话、电视）等。因此，电信按其业务内容可分为电报、电话、传真、广播、电视、数据传输等通信系统。

为了传送信息，通常必须通过终端设备将信源信息变为电信号，简称信号。在信道中传送的信号，是以其某个参量的变化来代表信息的，按照此参量的取值和反映信息的方式，常将信号分为两类：一类是模拟信号，又称连续信号，如电话机送出的话音信号、摄象管产生的图象信号以及许多物理量的遥测信号等，它们逼真地模拟原始信息的变化，其特点是电压（或电流）的取值为时间的连续函数，故称为模拟信号；另一类是

数字信号，又称离散信号，如电报数字和文字，雷达、计算机数据、遥控指令等，它们只能是有限个离散的取值。图 1-2 的 (a) 和 (b) 分别示出了这两种不同的信号形式。其中图 (b) 示出的是一种最常见的二进制数字信号。通常把传输模拟信号的系统称为模拟通信系统，把传送数字信号的系统称为数字通信系统。

信宿，即收信者，他接受并利用所传送的信息。在现代通信中，信源和信宿，可以是人，也可以是机器(如计算机等)，从而构成了人—人，机器—机器以及人—机器之间的通信。

信道是沟通信源（发信者）与信宿（收信者）的桥梁或渠道，是传送信息的主要手段。不同的信道也构成不同的通信系统。通常信道有两种形式：一种是沿导线传播；另一种是在自由空间传播（即无线电波传播）。沿导线传播的信道，称为有线信道，如架空明线、平衡电缆、同轴电缆、波导管、光纤等。在自由空间传播的信道，称为无线信道，如短波电离层反射、视距微波传播、对流层散射、超视距绕射、人造卫星中继、流量余迹散射等。

有时，还根据信道特性参量受外界影响时变化的情况，将上述信道区分为“恒参”和“变参”信道两类。恒参信道就是指表征其传输特性的参量变化很小、很慢，在相当长的时间内可以把它们的参量看成是基本不变的。上述有线信道就属于此

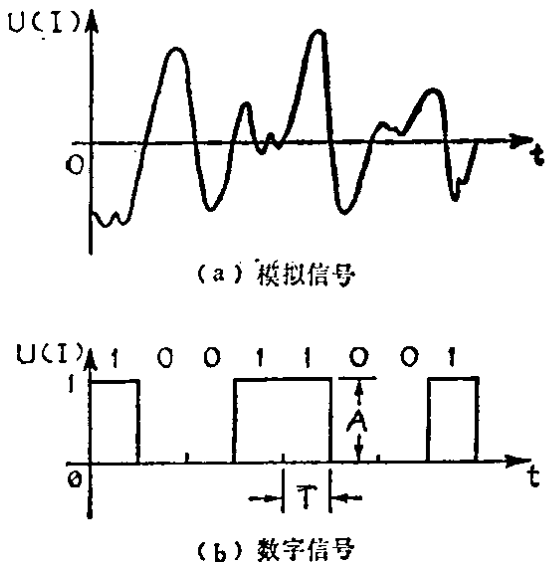


图 1-2 两种信号形式

类信道，通常也把微波视距传播和卫星中继看作恒参信道。其它各种无线信道则属于变参信道，其传输特性是随时间变化较急剧的。当然，这样的区分是粗略的，绝对的“恒参”信道在自然界是不存在的。

变换器的功能在于把信源来的信息变换成适合于信道上传输的电信号。这一般是分两步来完成：首先是把非电信号变成电信号，如像话筒那样把声音转换成电信号；然后再对这电信号进行处理，使信号适于在给定的信道上传输。最简单的处理是用放大器把电信号放大，使它在信道中传输时，干扰的影响可相对地减弱。有时需要进行调制，使电信号的频率或其它性能有所改变，以适合于信道。比如，当给定的信道是微波信道时，就需要把信号的频谱搬移到指定的微波频段上去。这种信号频谱的搬移，就是一种调制。

反变换器是变换器的逆过程，其功能一般也是用两部分设备来完成。有解调器与调制器相对应，将信道来的信号恢复成调制前的信号；还有把信号恢复成原始信息的终端设备。

变换器和反变换器是构成通信系统的主要设备。不同的通信系统，就要求有不同的变换设备。

信息总是在有干扰作用下进行传输的。干扰可能发生在变换和反变换过程中，也可能发生在信道传输过程中。为了研究方便，一般把干扰都集中等效在信道上来表示。

以上只是简略地介绍了通信的一般模型及其传输过程。但应注意，在实际系统中，图 1-1 各方框之间还会有各种不同的接口设备。

二、什么是微波通信

微波一般指波长为 1 米至 1 毫米或频率从 300 兆赫到 300 吉

赫范围的电磁波。利用微波传播进行的通信称为微波通信。

微波的频率很高，波长很短。为了便于比较，现将部分电磁波谱列于表1-1。

微波通信是一种新兴的通信技术，它具有一系列的特点，归纳起来主要有以下几点：

1. 微波的波长很短，它具有类似光波的传播特性，一般沿直线传播，绕射能力很弱，容易被反射。于是，它不能象中波那样，可以沿地球表面传播，因为地面很快就把它吸收掉

表 1-1

分 类	频 率	波 长
工 业 用 电	50 赫	6000公里
长 波	30~300千赫	10000~1000米
中 波	300~3000千赫	1000~100米
短 波	3~30兆赫	100~10米
米 波	30~300兆赫	10~1米
微波（包括分米波、厘米波、毫米波）	0.3~300吉赫*	1米~1毫米
亚 毫 米 波	300~3000吉赫	1~0.1毫米
红 外 波	$750\sim4\times10^5$ 吉赫	0.4毫米~7600埃**
可 见 光	$4\times10^5\sim7.5\times10^5$ 吉赫	7600~4000埃

* 1 吉赫 = 1000 兆赫

** 埃是一种衡量长度的极小单位,1埃等于1厘米的1亿分之一,即1埃 = 10^{-8} 厘米。

了；它也不能象短波那样，可以由电离层反射传播到地面上较远的地方，因为它能够穿透电离层而射入深空。由于波长很短，即使遇到尺寸较小的障碍物也会被反射，而地球表面是弯曲的，所以，微波只能在视线范围内传播。为了避开途中的障碍物，需要竖立比较高的微波天线塔，或在高山顶上建站。要

想实现长距离通信，则需要采用“接力”的方式，将信号多次转发。因此，通常把这种通信称为微波接力通信，或称微波中继通信。

2. 微波波段有很宽的频带。频带宽，可容纳的通道多，可传送的信息也就多。从表1-1可见，无线电波中的长波、中波、短波、米波、分米波等，统统加在一起，频宽只有1吉赫；而微波的频宽却宽达299吉赫。因此在微波波段可以容纳多得多的无线电信道。

另一方面，在微波通信中，微波是作为“载波”来使用的。载波本身不带有什么信息，只是用它来“运载”电话、电报、图象等信息的。载波的频率（载频）越高，从工程设计角度出发，通信设备的通频带就容易作得越宽，通信容量就愈大。这样就可以利用它来传输多路电话（如960路、1800路）以及数据通信、宽频带广播、快速电报、高速传真等多种宽带业务。此外，微波通信可以采用调频和脉冲编码调制等新的调制方式，以提高通信系统的抗干扰性和其它指标性能。

3. 设备小。由于微波的波长很短，微波设备可以作得比较小，特别是可以用较小的尺寸制成方向性很强的天线。我们知道，无线电天线的尺寸必须比波长长若干倍，才能有较好的方向性。当波长较长时，想要使天线有较好的方向性，就必须使用很大的天线，这是很不方便的。但微波的波长甚短，因而可以用尺寸较小的天线，把电磁波聚集成一个很尖锐的波束，象探照灯的光束那样，按照指定的方向发射出去，而其它方向辐射的电磁波功率却很小。用这样的微波天线进行发射或接收，和无方向性天线比较，相当于把发射功率或接收功率提高了10000倍（40dB）左右。因此，在微波波段，发信机一般只需要发射几瓦的功率就够了。此外，由于天线的方向性很强，

因而通信中互相干扰的现象也就大为减弱。

4. 通信稳定可靠。在微波波段，天电干扰、工业干扰以及太阳黑子的变化基本上不起作用。实验表明，当频率高于100兆赫时，这些干扰的影响就极小。因此，微波通信的传输质量和稳定性可以做得很高。

微波通信是点与点之间的连接，比起有线载波通信来，在抗洪水、冰凌、台风、地震等自然灾害方面，有较大的可靠性。

5. 建设投资省、速度快、灵活性大。微波通信线路的建设费用比同轴电缆线路小得多。在通信容量相近的情况下，按相同的路公里数（话路数乘公里数）平均计算，微波线路的建设费用只有同轴电缆线路的 $\frac{1}{3}$ 到 $\frac{1}{2}$ ，而且可节省大量的铜、铅等有色金属。

建设微波线路所需时间，比建设电缆线路要短。微波通信较易适应山区、海峡、水面以及有断层的特殊地形，而这些地形敷设电缆线路是很困难的，故有较大的灵活性。

当然，微波传输也有缺点，如保密性较电缆线路差；微波视距传播的特点，又决定了必须采用接力方式来进行远距离通信，因而需要大量中继站，日常维护费用也要大些。

综上所述，微波通信线路在各国长途通信中所占比重都迅速增加，很多国家都已超过50%。在长距离电视传输方面，各个国家几乎全都采用微波线路。此外，因微波通信具有投资少、建设快、机动灵活等特点，因此，在国防、铁道、广播、石油、电力、冶金、煤炭、气象等部门的专用通信中也得到广泛的应用。

三、微波通信的种类

微波通信，若按所采用的中继方式来分，可分为：地面微波中继通信、微波卫星通信和微波散射通信；若按所用信源形式来分，可分为：模拟微波通信和数字微波通信。

(一)地面微波中继通信

如上所述，微波在空中是沿着直线传播的。但地球是一个椭球体，地球表面是椭球面，两地间距离稍远，就不能直接通信，所以微波只能在视距范围内约50公里传播。同时微波在空间传播过程中要受到多种因素的影响，如地面反射，对流层折射、障碍物绕射等影响，致使信号大小和相位缓慢或急剧变化。因此对于视距微波通信，为了获得比较稳定的传播特性，微波传播的距离也不宜太远。为了使微波能作长距离通信，就需要每隔50公里左右设置一个微波中继站。中继站的接收天线把前一站传来的微波信号接收下来。加以变频和放大处理，再从另一天线转发到下一站，如此一个接一个地依次传递下去，直到终端站，组成了一条中继线路，如图1-3所示。

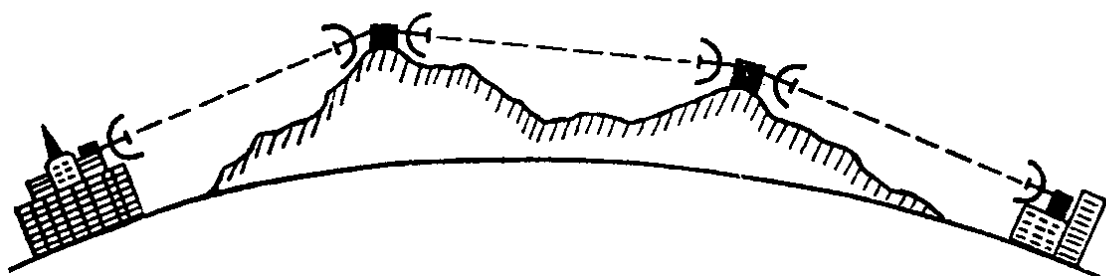


图 1-3 地面微波中继通信示意图

地面微波中继通信按站间距离的大小，可分为视距中继通信和超视距中继通信。我国现已建设的近二万公里的微波干线，就是采用视距微波中继通信方式的。利用刀劈山头作为绕