

数字微波

●
张
政
编



电信新技术培训系列教材

DIANXIN XINJISHU PEIXUN
XILIE JIAOCAI

人民邮电出版社

电信新技术培训系列教材

数 字 微 波

张 政 编

人 民 邮 电 出 版 社

登记证号(京)143号

D105/22
内 容 提 要

本书是为在职人员编写的新技术培训教材。

全书重点讲述了数字微波通信系统中的信号传输、信道设备和信道传输质量等方面的内容。包括数字微波通信的系统组成与特点,数字信号的各种调制与解调方式、数字微波的收发信设备、微波传播、频率选择性衰落、总体考虑与线路参数计算及设备举例等。

本书理论联系实际,内容的可读性强,全书省略了公式推导、便于自学。书中有工程计算的例题,每章都有复习题,供读者复习之用。

本书也可供从事数字微波通信管理、使用和维护人员参考。

数 字 微 波

张 政 编

责任编辑 俞正涛

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

内蒙古邮电印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 1993年2月 第 一 版

印张: 10 12/16 页数: 84 1993年2月 第 1 次印刷

字数: 262千字 插页: 印数: 30001—38000册

ISBN7-115-04894-0/TN·603

定价: 9.60元

1200120

前 言

电信技术的迅速发展,需要进一步提高广大干部和职工的素质与业务、技术、管理水平。为此,在各地举办的各类短期培训班讲义的基础上,我们组织统编了一套“电信新技术培训系列教材”,并将陆续出版,供全国电信干部职工培训和继续教育使用。

“电信新技术培训系列教材”力求以简明通俗的语言和理论联系实际的特点来讲解高深的技术理论,便于广大干部职工在短期培训或自学时使用。由于时间仓促,经验不足,书中难免有缺点与不足之处,希望各地在使用过程中,及时把意见反映给我们,以便今后修订。

邮电部电信总局
邮电部教育司
1992年8月

目 录

第一章 数字微波中继通信概述

1.1 数字微波中继通信的概念	(1)
1.1.1 数字微波通信系统模型	(1)
1.1.2 数字微波通信的特点	(3)
1.1.3 数字微波的使用与发展简况	(4)
1.2 数字信道的传输质量和信道利用率	(6)
1.3 微波站的分类及站上设备连接的特点	(7)
1.4 数字微波通信的射频频率配置	(11)
1.4.1 频率配置的基本原则	(11)
1.4.2 数字微波频率配置方案举例	(12)
1.5 天线馈线系统	(12)
1.5.1 天线馈线系统的型式	(13)
1.5.2 微波天线	(13)
1.6 数字微波通信的监控系统	(16)
1.6.1 监控的概念	(16)
1.6.2 公务电话和监控信息的传输信道	(16)
1.6.3 监控设备的原理方框图	(17)
1.6.4 监控信号的形成	(18)
复习题	(20)

第二章 数字信号的调制与解调

2.1 接口电路及接口码型变换	(22)
2.1.1 数字微波传输的PCM系列	(22)
2.1.2 复用设备接口传输代码及比特容差	(23)
2.1.3 复用设备接口码型变换	(24)
2.1.4 微波信道设备接口码型的变换	(26)
2.2 二进制数字信号的调制与解调	(30)
2.2.1 概述	(30)
2.2.2 幅移键控(ASK)	(31)
2.2.3 频移键控(FSK)	(35)
2.2.4 相移键控(PSK)	(37)
2.3 四相调相系统	(42)

2.3.1 概述	(42)
2.3.2 四相调相原理及电路	(44)
2.3.3 四相调相信号的解调	(48)
2.3.4 相干解调的载波跟踪	(51)
2.4 其它调制方式	(54)
2.4.1 八相调制	(54)
2.4.2 微波调相器	(56)
2.4.3 正交调幅(QAM)	(57)
2.5 各种调制方式的信道频带利用率	(60)
2.6 各种调制方式的误码性能比较	(62)
复习题	(64)

第三章 数字微波的收发信设备

3.1 发信设备的组成与主要性能指标	(66)
3.1.1 发信设备的组成	(66)
3.1.2 发信设备的主要性能指标	(67)
3.2 收信设备的组成与主要性能指标	(68)
3.2.1 收信设备的组成	(68)
3.2.2 收信设备的主要性能指标	(69)
3.3 对热噪声和收信系统噪声系数的讨论	(71)
3.4 收发信设备的几个关键器件	(74)
3.4.1 介质稳频振荡源	(75)
3.4.2 抽样锁相式振荡源	(77)
3.4.3 场效应晶体管低噪声放大器	(83)
3.4.4 场效应晶体管功率放大器	(85)
复习题	(86)

第四章 微波传播

4.1 自由空间的电波传播	(87)
4.2 地面反射对电波传播的影响	(88)
4.2.1 费涅耳区的概念	(89)
4.2.2 地面反射对收信电平的影响	(92)
4.3 对流层对电波传播的影响	(96)
4.3.1 大气折射	(96)
4.3.2 大气折射引起的余隙变化	(100)
4.3.3 复杂球形地面引起电波衰落的计算	(101)
4.4 几种大气和地面效应造成的衰落	(104)
4.4.1 概述	(104)
4.4.2 衰落的种类	(105)
4.4.3 衰落的统计特性	(107)

4.5 频率选择性衰落	(110)
4.5.1 电波的多径传播现象	(110)
4.5.2 频率选择性衰落对微波通信系统传输质量的影响	(112)
4.6 抗衰落技术	(114)
4.6.1 概述	(114)
4.6.2 空间分集	(116)
4.6.3 频率分集	(118)
4.6.4 几种常用的空间分集接收方式	(120)
4.6.5 自适应均衡技术	(123)
复习题	(125)

第五章 数字微波通信的总体考虑及线路参数计算

5.1 数字微波信道的假想参考电路	(127)
5.1.1 数字信道的假想参考电路	(127)
5.1.2 数字微波信道的假想参考电路	(128)
5.2 数字微波通信的线路传输质量标准	(129)
5.2.1 指标的概念	(129)
5.2.2 假想参考电路的误码率指标	(130)
5.2.3 误码率指标的分配	(131)
5.3 数字微波的信道噪声与噪声指标分配	(131)
5.3.1 噪声的分类	(131)
5.3.2 噪声指标分配	(134)
5.3.3 载噪比的计算方法	(136)
5.4 数字微波信道的性能及线路参数计算	(137)
5.4.1 一定误码率要求的门限信噪比理论值	(137)
5.4.2 实际门限载噪比的确定	(138)
5.4.3 一个再生区间的噪声指标分配	(139)
5.4.4 瞬断率指标的分配	(139)
5.4.5 中继段数的确定	(140)
5.4.6 衰落深度的计算	(140)
5.4.7 收信机门限电平的计算	(141)
5.4.8 最低收信电平 $P_{\min}$ 的计算	(142)
5.4.9 中继段的收信电平余量及线路质量评估	(143)
5.5 路由设计概述及天线高度的选取	(143)
5.5.1 路由设计概述	(143)
5.5.2 天线高度的选取	(145)
复习题	(151)

第六章 数字微波通信设备简介

6.1 34Mb/s 数字微波通信设备	(152)
---------------------------	-------

6.1.1	概述	(152)
6.1.2	主要性能指标	(153)
6.1.3	收、发信系统主要设备组成方框图.....	(154)
6.1.4	调制、解调设备.....	(155)
6.1.5	公务信道	(158)
6.1.6	数字微波收发信机	(159)
6.2	几种 140Mb/s 数字微波通信设备性能简介	(160)
	复习题.....	(161)

第一章 数字微波中继通信概述

本章除了对数字微波通信的有关概念、特点、发展简况等进行简要的讲解外,还对设备连接、频率配置、天线馈线系统、监控系统这四部分内容进行了适当的论述。故本章的内容可使读者建立起一个完整的数字微波通信系统的概念。

1.1 数字微波中继通信的概念

微波是指频率在 300MHz 至 300GHz 范围内的电磁波。数字微波通信是指利用微波(射频)携带数字信息,通过电波空间,同时传送若干相互无关信息。并进行再生中继的通信方式。

1.1.1 数字微波通信系统模型

一、系统模型

数字通信系统的设备组成及其各部分功能,因用途不同而异,综合各种数字通信系统,画出了图 1—1 所示的数字微波通信系统模型。

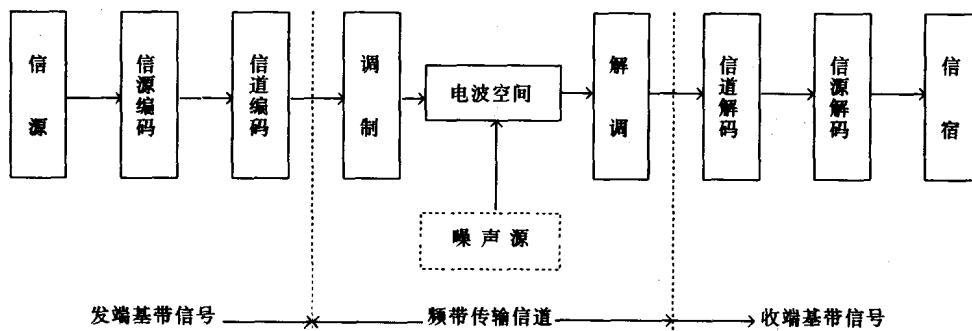


图 1—1 数字微波通信系统模型

发端的信源是提供原始信号的装置。其输出可以是模拟信号,也可以是数字信号。例如常用的电话机就是送出模拟信号的信源;电传机、电子计算机的数字终端装置就是送出数字信号的信源。

信源编码的任务是把模拟信号变换成数字信号,完成模/数变换的任务。如果信源送出的已经是数字信号,则可以省去信源编码装置。

信道编码是为了提高数字信号传输的可靠性。因为信道中不可避免地存在着噪声和干扰,可能使传输的数字信号产生误码。为了在接收端能自动地检查和纠正错误码元,使用信道编码器可在输入的数字序列中,按照一定的规律加入了一些附加的码元(又叫多余码元),称为监督码,并形成了新的数字序列。在接收端,根据新的数字码元序列的规律性来检查接收信号有无误码。

另外,为了实现保密通信,还可在信道编码器的输入端或输出端对所传输的信号加上密码,接收时再在相应的位置上解除密码。加密和解密装置合称保密机。

为了实现数字微波通信,需要把数字信号调制到频率较高的“载频”上去,以便适合无线信道传输。未经调制的数字信号称为基带信号,将基带信号直接送到信道进行传输的方式称为基带传输。明线、电缆等有线信道均可供基带传输。将基带信号经过调制后送到信道进行传输的方式称为频带传输,数字微波中继通信的无线传输信道(包括电波空间)就是频带传输信道。见图 1—1 中两条虚线之间所示出的部分。

收端的解调、信道解码、信源解码等几个方框的功能与发端几个方框的功能,是一一对应的反变换。收端的收信者称之为信宿,可以是人,也可以是终端设备。

图中的噪声源是系统内部噪声和系统外部干扰噪声一起折合到信道中的结果,而成为一个总的等效噪声源,这种表示方法给研究问题带来方便。

二、实际的系统设备组成方框图

系统的设备组成方框图见图 1—2。

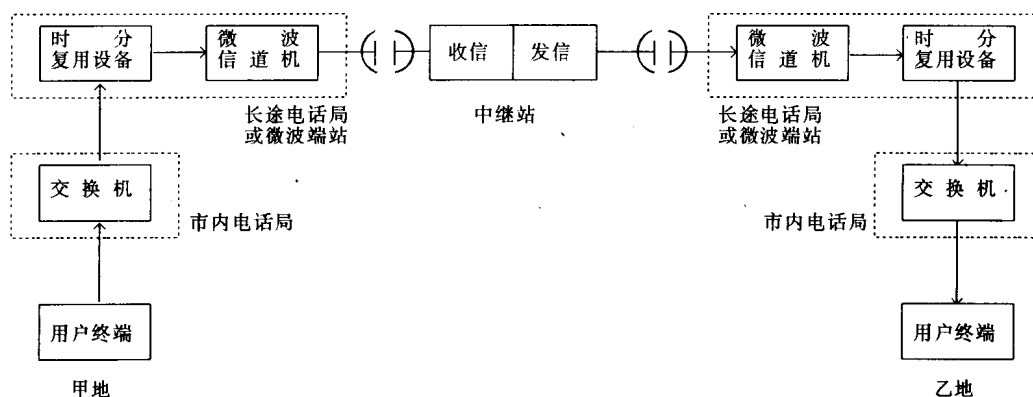


图 1—2 实际的系统设备组成方框图

下面以微波通信用于长途电话传输时系统的简单工作原理为例加以说明：

电话机相当于甲地的用户终端(即信源),人们讲话的声音通过电话机送话器的声/电转换作用,变成电信号,再经过市内电话局的交换机,将电信号送到甲地的长途电话局或微波端站。经时分复用设备完成信源编码和信道编码,并在微波信道机(包括调制机和微波发信机上完成调制、变频和放大作用。微波已调波信号经过中继站转发,到达乙地的长途电话局或微波端站。乙地(收端)方框图中与甲地对应的设备,其功能与作用正好相反。而用户终端(信宿)是电话机的受话器,并完成电/声转换。

1.1.2 数字微波通信的特点

因为数字微波通信是数字信号用微波信道进行传输的通信方式,当然这种通信就兼有数字通信和微波通信的特点。与模拟微波通信相比,具有如下特点:

一、抗干扰性强、线路噪声不累积

经数字微波信道传输的数字信号,要经过微波中继站的多次转发,站上有对数字信号进行处理的再生中继器。而再生中继器是采用抽样判决的办法来接收每一个码元。经过一个中继段传输后,只要干扰噪声还没大到影响对信码判决的程度,经过判决识别后,就可以把干扰噪声清除掉,再生出与发端一样的“干净”波形,而继续传输。这种再生作用使数字微波通信的线路噪声不逐站累积。换句话说,提高了抗干扰性。而模拟微波通信的线路噪声是随线路长度而增加,并逐站累积的。

必须说明的是,一旦噪声干扰对数字信号造成了误码,在继续传输过程中被纠正过来的可能性是很小的,所以误码被认为是逐站累积的。

二、保密性强

数字信号本身就具有一定的保密性,又因为各种信号数字化后形成的信码,可采用不同的规律或方式,方便灵活地加进密码,在线路中传输,收端再按相同的规律解除密码。所以说这种通信方式的保密性强。

三、便于组成数字通信网

目前,很多科学技术发达的国家都在着手建设或正在建设综合业务数字网(ISDN),这个数字网所传输的当然是各种数字信息,并且可以用计算机控制(包括处理、存储、交换)各种信息的交换,数字微波通信是 ISDN 中的一种手段,而模拟微波是无法实现的。

四、设备特点

由于传输数字信号,所以设备可大量采用集成电路,又由于数字集成电路功耗低,耗电少。所以设备便于集成化、固态化、体积小、经济、可靠。

五、系统噪声方面的特点

模拟微波通信的调制方式多数采用调频制。由于调制,解调器的非线性,使多路电话信号各分量之间产生互调,这种失真产物经受信端解调后,其电压成分就是多路电话信号的串噪声。串噪声使多路电话信号之间产生了不可懂串话现象。模拟微波的信道噪声分为热噪声、串噪声、干扰噪声,对三种噪声都要进行噪声指标分配。

数字微波通信的调制方式多数采用相移键控方式。其设备的非线性将使信号幅度和相位产生畸变,其噪声影响归为“固定恶化成分”,见第五章。数字微波的信道噪声基本表现形式是热噪声和干扰噪声。这两种噪声直接参与噪声指标分配。

六、主要缺点

与模拟微波通信系统相比,可归纳为如下两条缺点:

1. 在模拟信号数字化的过程中,不可避免地要产生量化噪声——产生于 PCM 端机中,为了不使量化噪声影响到通话的质量,要求量化级数不能太少。

2. 数字通信比模拟通信占用的信道频带宽。以电话通信为例,一路模拟电话信号通常占用 4kHz 带宽,而一路 PCM 的数字电话却要占用 64kHz 的带宽。显而易见,在信道带宽给定的条件下,数字通信传输的话路容量少,即频谱利用不经济。当采用能提供较宽信道的通信方式,如微波、卫星及光纤通信方式后,再考虑到使用新的调制技术和频带压缩技术,这一缺点就不突出了。

1.1.3 数字微波的使用与发展简况

数字微波通信起步于 20 世纪 50 年代,经过了 20 多年的历史,直到 70 年代初,才造成小容量、低频段的数字微波通信系统。70 年代末得到了迅速发展,并形成了一个完整的技术系统。从实用化的 70 年代算起至今的 20 年中,调制方式由 (2° PSK) 的相移键控,发展到 (4° QAM) 的正交调幅方式,其频谱利用率大大提高。目前由于新的调制方式及频带压缩技术的使用,已使数字微波的频谱利用率大大提高。传输一路码流为 64kb/s 的数字电话,已被压缩到与一路模拟电话(带宽 4kHz)所占用的信道频谱利用率相当。

我国在 70 年代初开始数字微波的研制与发展,限于原有的技术基础及其它方面的原因,直到 1987 年才建成了我国第一条国产的 34Mb/s、480 路数字微波电路。最近我国自行研制的 140Mb/s 数字微波系统已获成功,正在朝实用化方向发展。

为了提高数字微波信道的传输质量和进一步提高频谱利用率,对新技术的研制和使用可概括为如下几个方面:

一、多载频多电平调制技术

目前数字微波通信系统的 4PSK、8PSK、16QAM 及 64QAM 调制方式设备中,一个波道的发信机(或收信机)只使用一个载频(即射频)。为了减小数字微波通信的多径衰落,把传输频谱变窄是一种有效的方法。因此提出了在 256QAM 系统中采用多载频的传输方式。例如采用 4 个载频,使每个载频都用 256QAM 调制方式去传输 100Mb/s 的信息,这样,一个波道的 4 个载频同时传送,就可传输 400Mb/s 的信息了。而其占用的频谱却与只用一个载频传输 100Mb/s 占用的频谱相当。同样,对于 1024QAM 系统,一个波道可使用更多载频,使数字微波朝着既扩大容量,又不占用较大的信道带宽方向发展。

二、干扰信号抵消技术

20 世纪 80 年代中期,国外在数字微波通信系统中使用了这种技术。因干扰噪声是数字微波通信系统中一种主要噪声,所以当信道中存在干扰信号时,可设法把干扰信号提取出来。或用另外的方法由其它地方获得干扰信号,然后,加入到原信道去抵消存在的干扰。只要使提取的干扰信号与存在的干扰电平相等、相位相反,就可使原信道中的干扰成分大大减

小,提高了信道的传输质量。

三、微波射频频率再用技术

长期以来,微波通信系统用于多波道工作时,在两个微波站之间,往同一方向的多个发信频率(对应多个波道)间要有一定的频率间隔。例如我国 4GHz 960 路干线模拟微波,波道间隔为 29MHz。为了提高数字微波通信系统的频谱利用率,提出了射频频率再用方案,如图 1—3 所示。

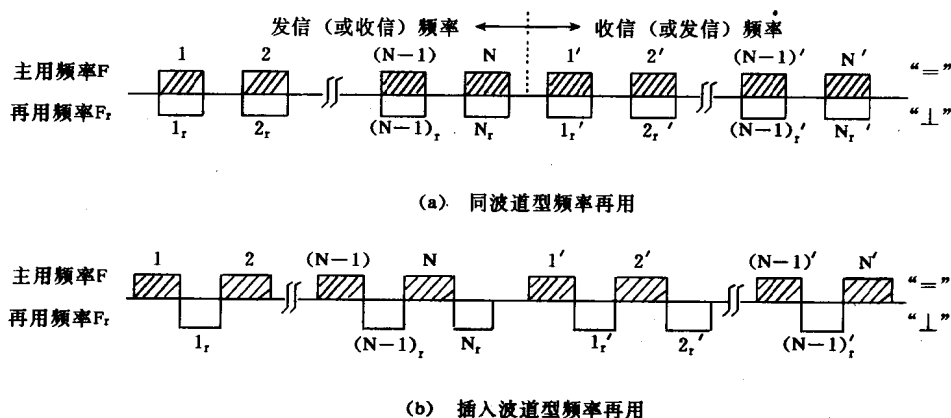


图 1—3 微波射频频率再用方案

图(a)为同波道型频率再用。在这种方案中,同一个微波频率可水平极化(图中用“=”表示)用作射频,同时又可以垂直极化(图中用“⊥”表示)用来作另一个射频,在图中分别用 F 和 F_r 表示。这样一来系统的频谱利用率就提高了一倍。这种使用之所以可行,是因为数字微波的抗干扰性强,更由于可以在收信端采用上面提到的干扰信号抵消技术,将有效地压低同一微波频率经不同极化造成的同频干扰。

图(b)为插入波道型频率再用。在这种方案中,再用波道插在两个主用波道之间,与原来的频率配置方案相比,系统的频谱利用率也提高了一倍,这种方案两个不同极化波的干扰程度比图(a)方案低。

四、收、发微波射频单频制技术

在收、发共用同一天线、馈线的系统中,收、发微波射频频率是不同的。在已建成的微波线路中,要求收、发之间的去耦度不小于 30dB。在我国 4GHz 960 设备中,收、发频率相差 213MHz。

若采用收、发频率分开的两个天线、馈线系统,上述收、发之间的去耦度可达到 70~80dB。这就使从两频制进展到单频制成为可能,当然要求收、发频率要采用不同的极化方式。

采用单频制后,重点要解决的问题是站内本系统收、发之间的同频干扰和来自其它站的越站干扰问题。包括使用高性能的两个天线、馈线系统,对收、发信设备加强屏蔽和去耦,采用干扰信号抵消技术等措施。收、发微波射频单频制技术也使系统的频谱利用率提高一倍。

五、多径分集技术

由于电波空间的多径传输现象,造成了微波通信中的频率选择性衰落。这是因为多径传输的反射波、折射波和直射波各以不同的方向和时延到达收信点而进行矢量相加的结果。而多径传输的电波却载有相同的有用信息,所以人们想用数字分析的方法和信号处理技术,把有用信号分离出来,并加以利用,这就是多径分集技术的设想。由于实现的难度较大,所以其进展程度不快。

1.2 数字信道的传输质量和信道利用率

在数字微波通信中,数字信道包括基带信道和微波信道两部分。虽然对数字信道可提出多项技术要求,但是从性能上,却可以归纳为传输容量和传输质量这两个方面的要求。其中传输质量是由误码率体现的,而误码的原因又取决于噪声干扰、码间干扰及定时抖动。其中噪声干扰是主要因素。

一、传输容量

传输容量是用传输速率来表示的,有两种表示传输速率的单位。

1. 比特传输速率 R_b

又称比特率或传信率。它指每秒钟通信系统所传输的信息量,单位为比特/秒,记为 b/s 。

2. 码元传输速率 R_B

又称传码率,它指系统每秒钟所传输的码元数,单位为波特,记作 B ,这个单位已含有 $1/\text{秒}$ 的概念。

对于二进制而言,比特速率与码元速率相等,即 $R_b = R_B$;

对于 m 进制 $R_b = R_B \log_2 m$ (1-1)

例如在四相调制中,基带信号经串/并变换后,双比特码元四种组合方式(对应的模为 0. 1. 2. 3)就是四进制系统,(1-1)式中的 $m = 4, \log_2 m = 2$

$$R_b = 2R_B$$

即码元速率是比特速率的二分之一。

二、传输质量

传输质量是用差错率的大小来表示的,也有两种表示差错率(误码)的单位。

1. 比特误码率

又称误比特率,用符号 P_{eb} 表示,其定义式为

$$P_{eb} = \frac{\text{错误接收的比特数}}{\text{信道传输的总比特数}}$$

2. 码元误码率

又简称误码率,用符号 P_e 表示,其定义式为:

$$P_e = \frac{\text{错误接收的码元数}}{\text{信道传输的总码元数}}$$

对于二进制系统,因为一比特等于一码元,所以 $P_{eb} = P_e$,但是多进制系统, $P_{eb} \neq P_e$ 。

使用中,为了便于比较,不管是二进制还是多进制系统,常常都在二进制脉冲序列上统

计误码,而且都用比特误码率 P_b 来定义误码。

三、信道利用率

模拟通信的信道带宽是用赫(Hz)为单位的。数字通信在信号传输时,传输速率越高,所占用的信道频带也越宽。为了能体现出信息的传输效率,说明传输数字信号时频带的利用情况,使用了信道利用率这一指标,它表示单位频带的信息传输速率。单位为:

比特/秒/赫(b/s/Hz)

例如,比特速率为 8Mb/s 的基带信号,通过 4MHz 的信道传输,其信道利用率 2b/s/Hz。

1.3 微波站的分类及站上设备连接的特点

一、微波站的分类

一条数字微波中继信道由终端站、中间站、和再生中继站及电波空间构成,站距与模拟微波相似,一般为 50km 左右,当射频工作频段较高时,站距应适当缩短。其信道构成如图 1—4 所示。

二、数字微波通信信道保护的特点

1. 数字微波通信容量的划分

目前对数字微波通信容量的划分是:10Mb/s 以下为小容量系统;10Mb/s~100Mb/s 为中容量系统;100Mb/s 以上为大容量系统。

对于中、小容量的数字微波通信系统,当用于单波道工作或用于

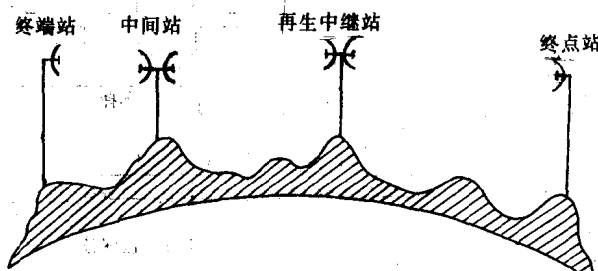


图 1-4 数字微波中继信道

专用线路时,常采用一备一的信道保护方式(记作 1:1)。大容量的数字微波系统当由多波道并行工作时,常采用 n:1 的保护方式,即 n 个主用波道,一个备用波道。

目前我国建成的数字微波系统多数采用 1:1 的备用方式(见图 1—6)。

信道切换可以在射频上进行,也可以在中频或基带上进行。在中频或基带上进行切换,具有切换设备体积小,以及高速、可靠、稳定、经济等优点。从目前设备的使用情况看,数字微波多数是在基带上进行切换的。

2. 1+1 无损伤切换的概念

1:1 的信道保护方式,很多生产厂家又称为 1+1 无损伤切换方式。

当一个波道发生故障,需要切换到另外一个波道工作时,其切换情况是这样的:由于两个微波信道传输条件有差别(因为两个微波射频不同),以及馈线长度、中频电缆长度及工作

环境等方面的差异,就使解调输出的两路 PCM 数据流之间存在着时延差。尤其当电波空间的气象条件发生变化时,这种时延差还将随时间而发生变化。如果在有时延差的情况下进行切换,就会给切换后的数据流造成多码(重码)或少码(漏码)。图 1—5 示出了切换时输出码流示意图。

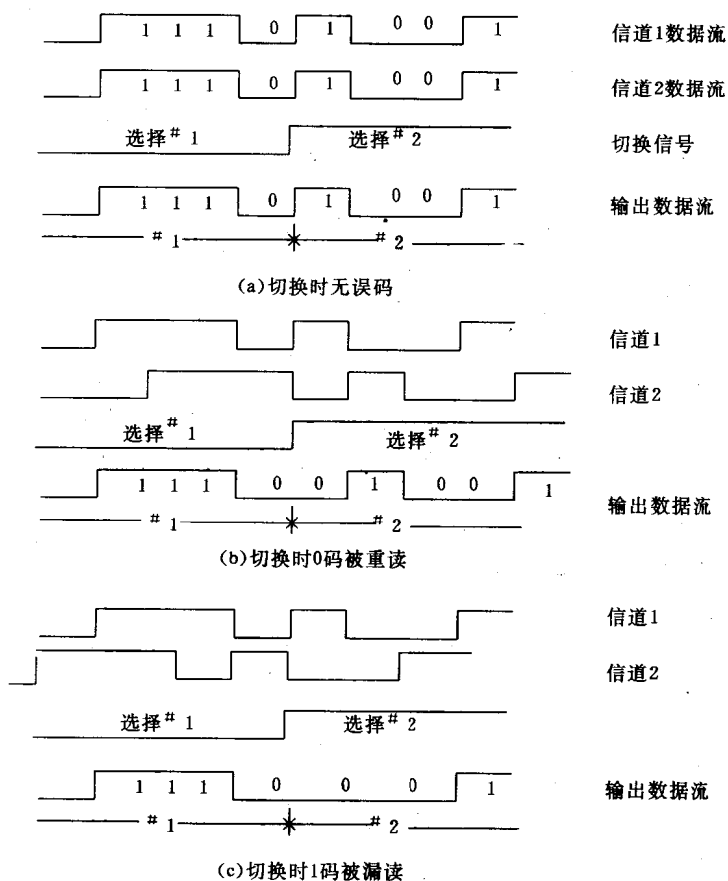


图 1—5 切换时输出码流示意图

图(a)中,因解调后输出的两路数据流无时延差,故切换时,输出的 PCM 数据流无误码;

图(b)中,信道 1 的数据流超前信道 2 数据流 1 比特,切换的结果,使输出的 PCM 数据流发生多码(“0”码被重读)。

图(c)中,信道 1 的数据流滞后信道 2 数据流 1 比特,切换的结果,使输出的 PCM 数据流发生少码(“1”码被漏读)。

为了在切换时不产生误码,就要求两路 PCM 数据流无时延差(或相位一致)再进行切换。这个功能是由解调器中的时延调整盘和比特组合盘完成的。

这种不发生误码(多码或少码)的切换就叫做无损伤切换。

3. 站上的设备连接

(1) 终端站信道设备方框图

终端站是指一条微波电路的首、尾两站。其信道设备方框图见图 1—6。终端站只对一个方向收信和发信,并共用一副天线,信道设备为一备一方式,收信系统在解调之后采用无损伤切换。分并网络一般由分波道滤波器和环行器组成。复用设备即 PCM 端机。

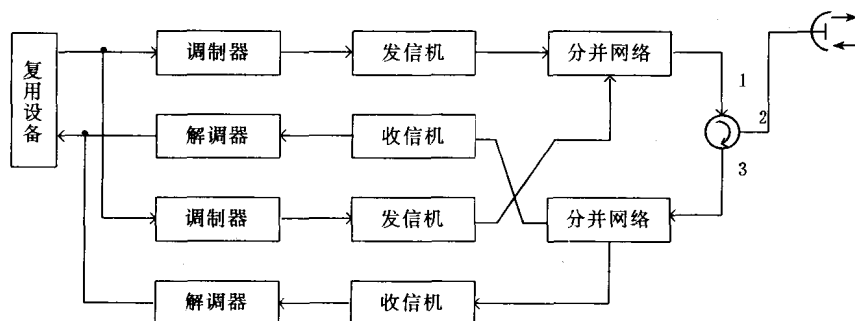


图 1—6 终端站信道设备方框图

(2) 中频转接中间站方框图

方框图见图 1—7。因为在中频上进行转接,所以这种站没有复用设备。又因为中间站要对两个方向都要收发信号,所以站上有两套主、备用信道设备,两个方向都要有天、馈线系统。

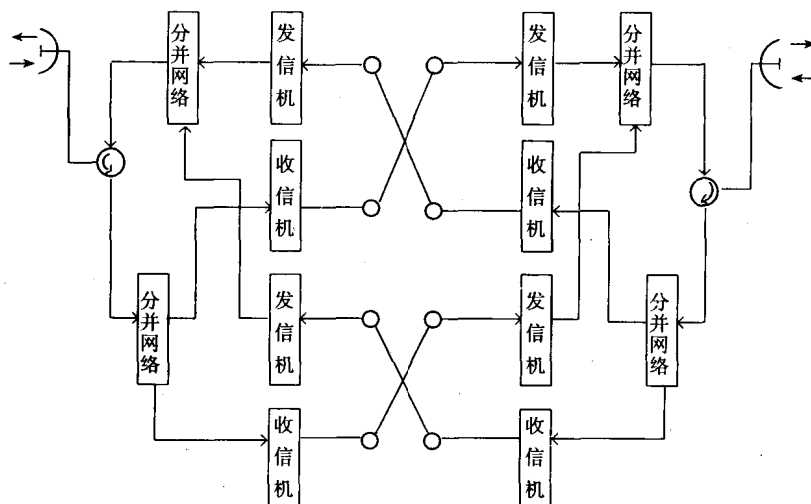


图 1—7 中频转接中间站方框图

(3) 基群转接再生中继站方框图

方框图见图 1—8。再生中继站除了具有中频转接中间站功能,还有使信码流再生的功能。所以站上有复用设备,可以上、下话路及对基带信号进行分路与合路。