

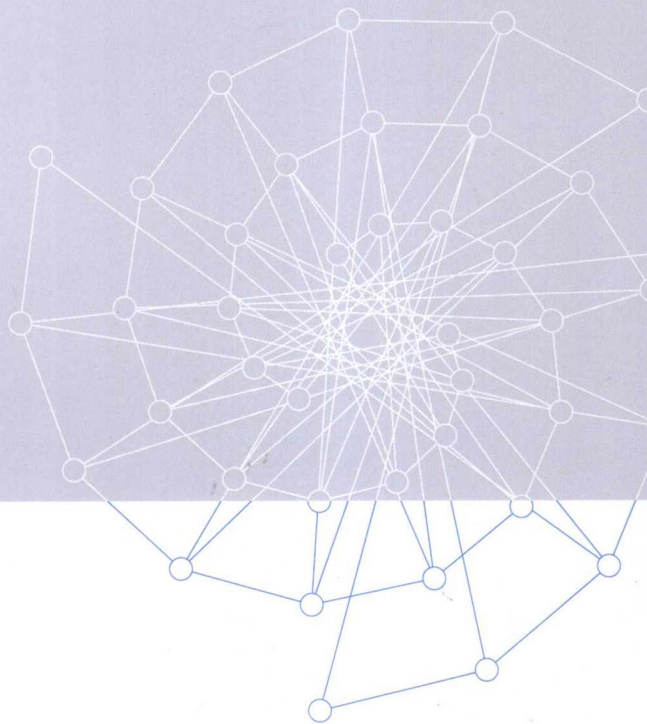


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字微波通信系统

shuzi weibo tongxin xitong

唐贤远 邓兴成



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



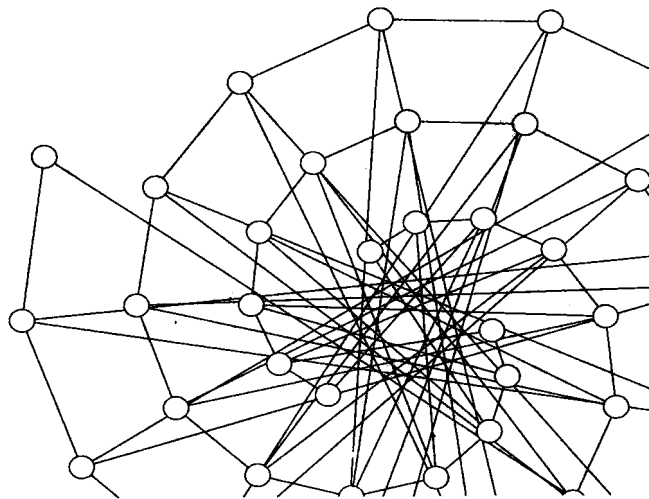
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字微波通信系统

唐贤远 邓兴成



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING



内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书以数字微波中继通信为线索,深入浅出地介绍了数字微波通信系统的基本组成、基本原理、基本知识和技术。

全书共10章,内容包括:数字微波通信系统的基本组成、数字基带传输、PDH和SDH数字复接技术、数字微波调制与解调技术、微波传播、数字微波通信系统的收发信和天线馈线设备、数字微波中继系统的总体设计考虑和整机的重要性能指标的测试方法等。特别介绍了构成微波收发设备的最新微波固态部件的工作原理、设计方法和近况。

本书可作为高等学校通信工程,电子信息科学与技术 and 电子信息工程等专业本科生教材,也可作为研究生的参考教材,对有关专业技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

数字微波通信系统/唐贤远,邓兴成编著. —北京:高等教育出版社, 2011.6
ISBN 978-7-04-031707-7

I. ①数… II. ①唐… ②邓… III. ①数字通信系统:微波通信系统—高等学校—教材 IV. ①TN925

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第120516号

策划编辑	许怀谔	责任编辑	许怀谔	封面设计	于涛	版式设计	范晓红
插图绘制	尹莉	责任校对	刘春萍	责任印制	张泽业		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 中青印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 19
字 数 460千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2011年6月第1版
印 次 2011年6月第1次印刷
定 价 29.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 31707-00

前 言

本书以数字微波中继系统为线索,系统地介绍数字微波通信系统的基本组成、基本原理、基本知识和技术、微波传播、系统设计方法、数字微波中继系统的整机性能测试方法和微波通信的最新成果以及发展方向。

通过数字微波通信系统的学习,不仅让学生了解数字微波通信系统的有关知识,还应初步了解复杂电子系统组成的基本概念,作为一次专业基础知识与实际系统相联系的尝试,有利于学生的能力提高。

本教材具有较强的理论性、实用性、系统性和技术前瞻性;在文字表达上力求条理清楚、深入浅出、通俗易懂、循序渐进。除必要的数学分析外,尽量回避繁琐的数学推导,突出重点,强调物理概念,用直观的图解方法解释物理问题,图文并茂,以便于对讨论内容的理解。

全书共10章:第1章介绍了数字微波通信的发展和特点;第2章介绍了数字基带传输,为本书的完整性而写;第3章介绍了微波通信的最新成果和实用技术;第4章介绍了微波在大气中传播的衰落特性、路由设计和抗衰落技术;第5章介绍了数字微波通信常用的调制和解调方法;第6章至第8章介绍了数字微波通信的发信、收信设备以及微波天线和馈线设备;第9章至第10章介绍有关数字微波中继系统总体设计的一些基本知识以及整机性能测试。

本书自成系统,便于自学,可用作电子信息科学与技术、通信工程、电子工程和其他相近专业的本科生教材、研究生的参考书,也可供从事这方面工作的广大科技工作者阅读和参考。

本书在编写过程中,得到了多位同事的帮助,也得到了电子科技大学教务处的大力支持,在此表示谢意!

由于本教材涉及专业知识面广、涵盖内容多、技术层次新,加之编者水平有限,书中难免有错误或疏漏之处,诚请读者予以指正。

作 者

2011年4月于电子科技大学

目 录

第1章 数字微波通信概述	1	3.1.3 数字复接方式	33
§ 1.1 数字微波通信发展概况	1	3.1.4 同步复接与异步复接	35
§ 1.2 数字微波通信的主要特点	2	§ 3.2 同步数字系列 SDH	42
§ 1.3 数字微波通信系统的组成与性能	3	3.2.1 SDH 产生的技术背景	42
1.3.1 数字微波通信系统的组成	3	3.2.2 SDH 基本概念和特点	43
1.3.2 数字微波通信系统的性能指标	4	3.2.3 SDH 的速度等级	45
小结	5	3.2.4 SDH 传输系统的组成	46
习题	6	§ 3.3 SDH 的帧结构	47
第2章 数字基带传输	7	3.3.1 帧结构	47
§ 2.1 数字基带信号的码型	7	3.3.2 开销的类型和功能	48
2.1.1 数字信号基带传输码型的要求	8	§ 3.4 同步复用和映射	52
2.1.2 二进码	9	3.4.1 SDH 的复用结构	53
2.1.3 三进码	11	3.4.2 复用单元	54
2.1.4 多元码	14	3.4.3 映射	57
§ 2.2 基带信号的波形形成	15	3.4.4 常用 PDH 群路信号到 SDH 的复用方法	58
2.2.1 数字基带信号传输的基本特点	15	3.4.5 传输网分层模型	60
2.2.2 码间干扰	15	§ 3.5 SDH 对形成新一代数字微波传输方式的影响	61
2.2.3 无码间干扰波形形成网络的一般形式	17	小结	62
2.2.4 理想低通传输函数	19	习题	63
2.2.5 余弦滚降传输函数	20	第4章 数字微波调制与解调技术	64
§ 2.3 部分响应基带传输	21	§ 4.1 相位键控的一般概念	64
§ 2.4 最佳基带系统的误码性能	24	4.1.1 多相相位键控信号的正交展开	64
2.4.1 误码性能	25	4.1.2 相位键控的相位逻辑	66
2.4.2 基带传输的频谱利用率	27	4.1.3 差分编码	69
小结	28	§ 4.2 二进制幅度键控(2ASK)	72
习题	28	§ 4.3 二进制相位键控(2PSK)	74
第3章 PDH 和 SDH 数字复接技术	30	4.3.1 二进制绝对相位键控	74
§ 3.1 PDH 数字复接技术	30	4.3.2 二进制差分相位键控	77
3.1.1 PDH 数字速率等级及容差	30	§ 4.4 多进制相位键控(MPSK)	78
3.1.2 数字复接系统的构成	31	4.4.1 四相绝对相位键控(4PSK)的	

调制	79	5.6.4 频率分集	132
4.4.2 四相绝对调相信号的解调	83	5.6.5 自适应均衡技术	134
4.4.3 四相相对相位键控的调制和 解调(4DPSK)	85	5.6.6 智能天线(Smart antenna)	136
4.4.4 八相相对相位键控的调制和 解调(8DPSK)	87	小结	138
§4.5 多进制正交幅度调制 (MQAM)	89	习题	139
小结	92	第6章 数字微波通信的发信设备	141
习题	92	§6.1 数字微波通信收发信设备的 典型组成与主要性能指标	141
第5章 微波传播	94	§6.2 数字微波通信发信设备的 典型组成和主要性能指标	143
§5.1 电波在自由空间传播	94	6.2.1 发信设备	143
5.1.1 无线电波频段的划分与传播 方式	94	6.2.2 发信设备的主要性能指标	143
5.1.2 无线电波的基本性质	95	§6.3 高稳定度微波固态振荡源	145
5.1.3 自由空间的传播损耗	96	6.3.1 介质谐振器稳频 FET 振荡器	146
5.1.4 自由空间传播条件下收信 电平的计算	97	6.3.2 锁相式固态源	153
§5.2 微波传播的描述方法	98	§6.4 微波功率变频技术—— 上变频器	154
5.2.1 惠更斯—费涅尔原理	98	6.4.1 变容管上变频器	155
5.2.2 电波传播的费涅尔区	100	6.4.2 双栅场效应上变频器	158
5.2.3 费涅尔区半径和费涅尔带面积	103	§6.5 微波晶体管线性功率 放大器	160
§5.3 地形对电波传播的影响	104	6.5.1 微波线性功率放大器的特点及 主要性能指标	160
5.3.1 在平滑地面上的传播	104	6.5.2 MESFET 管功率放大器	163
5.3.2 电波在球形地面上的传播	106	小结	170
5.3.3 电波在复杂地面上的传播	109	习题	170
§5.4 大气对微波传播的影响	111	第7章 数字微波通信的收信设备	172
5.4.1 大气对微波吸收	111	§7.1 数字微波通信收信设备的 组成与性能指标	172
5.4.2 雨雾引起的衰减	112	7.1.1 收信设备的组成	172
5.4.3 大气使电波发生折射	113	7.1.2 收信设备主要性能指标	173
5.4.4 影响传播余隙的因素	116	§7.2 微波通信系统的噪声	174
§5.5 大气与地面效应造成的衰落 特性	118	7.2.1 微波通信接收系统的噪声 来源	174
5.5.1 衰落的基本概念和特性	118	7.2.2 噪声及其计算	174
5.5.2 平衰落及其瑞利分布统计特性	119	§7.3 微波晶体管低噪声放大器	179
5.5.3 频率选择性衰落	122	7.3.1 低噪声放大器的技术指标	180
§5.6 抗衰落技术	125	7.3.2 低噪声放大器的噪声特性	180
5.6.1 抗衰落技术概述	125	7.3.3 微波晶体管放大器的稳定性	186
5.6.2 空间分集	128	7.3.4 微带线混合集成放大器基本	
5.6.3 几种常用的空间分集接收方式	130		

电路	189	9.4.1 路径的几何表述	247
§ 7.4 微波收信混频电路	198	9.4.2 余隙标准与天线高度	250
7.4.1 微波收信混频器的技术指标	199	9.4.3 大气效应的估计和控制	256
7.4.2 混频器电路结构与工作原理	200	§ 9.5 路由工程设计举例	256
小结	209	9.5.1 路由设计概述	256
习题	209	9.5.2 天线高度的选取	258
第 8 章 微波天线和馈线设备	212	小结	263
§ 8.1 微波天线设备	212	习题	264
8.1.1 微波通信天线的技术要求	212	第 10 章 数字微波中继系统的整机性能	
8.1.2 微波通信天线	216	测试	266
8.1.3 抛物面天线的馈源	217	§ 10.1 微波收发信机性能测试	266
§ 8.2 微波馈线设备	219	10.1.1 发信机性能测试	266
8.2.1 微波馈线类型	219	10.1.2 收信机性能测试	269
8.2.2 数字微波的馈线系统的组成	222	§ 10.2 误码性能测试	272
8.2.3 收发公用器	223	10.2.1 码组发生器	272
§ 8.3 公务和监控系统	224	10.2.2 误码仪	273
8.3.1 公务传输通道的主要作用	224	10.2.3 室内误码测试	275
8.3.2 公务传输方式	225	10.2.4 现场误码测试	277
8.3.3 监控系统	226	§ 10.3 时钟抖动性能测试	278
§ 8.4 备份与无损伤切换	229	10.3.1 时钟抖动测试原理	278
8.4.1 备份工作方式	229	10.3.2 输出端最大剩余抖动的测试	281
8.4.2 切换逻辑	229	10.3.3 输入端抖动容限的测试	282
8.4.3 无损伤切换	230	§ 10.4 抗频率选择性衰落性能的	
小结	233	测试	282
习题	234	10.4.1 多径衰落模拟器	283
第 9 章 数字微波中继系统的总体		10.4.2 实验室模拟测量	284
设计考虑	235	§ 10.5 其他性能测试	286
§ 9.1 假设参考通道与传输质量		10.5.1 基带数字接口测试	286
标准	235	10.5.2 勤务信道测试	286
9.1.1 数字微波信道假设参考通道	235	10.5.3 切换性能测试	286
9.1.2 数字微波通信的线路传输质量		10.5.4 电源测试	287
指标	237	小结	287
§ 9.2 射频波道的频率配置	240	习题	288
§ 9.3 系统性能的估算与指标		主要参考书目	289
分配	242	附录 Q 函数表和误差函数表	290
§ 9.4 路径效应和大气效应的			
估计与控制	247		

第1章 数字微波通信概述

内容提要:本章扼要地介绍了数字微波通信系统的发展概况、系统的基本组成、主要特点以及基本性能指标。

学习目的:为初学者建立一个完整的数字微波通信系统的初型。

微波通信是一种先进的通信方式,它利用微波来携带信息,通过电波空间同时传送若干相互无关的信息,并且还能进行再生中继。它具有传输容量大、长途传输质量稳定、投资少、建设周期短、维护方便等特点,得到了广泛的应用。而建立在微波通信和数字通信基础上的数字微波通信,同时具有数字通信和微波通信的优点,更是受到各国的普遍重视。因此数字微波通信、光纤通信和卫星通信一起被称为现代通信传输的三大主要手段。

§ 1.1 数字微波通信发展概况

1931年出现了最初的调幅制微波通信设备,它工作在1.667 GHz。二次世界大战后,由于雷达的发展,也使微波技术和微波中继通信得到迅速的发展。从1947—1951年,相继完成了载波频率4 GHz、可传输480路电话或一个电视波道的多路微波中继通信系统。1951年“TDZ”设备使用,它是工作波长均为7.5 cm、具有6个宽频带双向波道、每个高频波道可通一路电视节目或600路电话的调频制多路微波通信系统;此后又发展为每个波道可通1200路电话,共有10个双向波道的“TD-3”系统。1960年出现了具有8个波道,每个波道容量为2200路电话或一个彩色电视节目再加几百路电话的6 GHz宽频带系统。70年代,调频制微波通信已把每个波道的电话容量扩大到2700路。随着通信领域各种通信方式的出现和数据交换对通信的要求,促进了微波通信的迅速发展。自1965年来,各国相继投入了2、4、6、8、11、15、20 GHz以及毫米波段的数字微波通信系统的研究,其调制方式相继出现2PSK、4PSK、8PSK(相位键控PSK,用数字调制信号的正负控制载波的相位)、16QAM、64QAM(正交调幅)等新型的调制和解调方式,其传输速率可达几百Mbit/s。

我国的数字微波通信研究始于20世纪60年代。在20世纪60年代至70年代初为起步阶段,研制出了小、中容量数字微波通信系统,调制方式以四相相位键控(QPSK)为主,少量设备使用了八相相位键控(8PSK)调制,并很快投入了应用。20世纪80年代,我国数字微波通信的单波道传输速率上升到140 Mbit/s,调制方式一般采用正交幅度调制16QAM,同时自适应均衡、中频合成和空间分集接收等高新技术开始出现。20世纪80年代后期至今,随着同步数字序列(SDH)在传输系统中的推广应用,数字微波通信进入了重要的发展时期。目前,单波道传输速率可达300 Mbit/s以上,为了进一步提高数字微波系统的频谱利用率,使用了同波道交叉极化传

输、多重空间分集接收、无损伤切换等技术。这些新技术的使用将进一步推动数字微波中继通信系统的发展。

§ 1.2 数字微波通信的主要特点

根据所传输基带信号的不同,微波通信又分为两种制式。

用于传输频分多路-调频制(FDM-FM)基带信号的系统叫做模拟制微波通信系统;用于传输数字基带信号的系统叫做数字微波通信系统;后者又进一步分为PDH(准同步数字序列)微波通信和SDH微波通信两种制式。SDH微波通信制式是今后数字微波通信系统发展的主方向。

不管是模拟制微波通信还是数字微波通信,其微波通信最基本的特点可以概括为六个字:微波、多路、接力。

“微波”是指射频为微波频率的电磁波,特点是微波工作频段宽。微波波段频率为300 MHz~300 GHz范围,波长为1 m至1 mm范围变化,它包括了分米波、厘米波和毫米波三个频段。这个频段宽度几乎是长波、中波、短波及特高频各频段总和的1 000倍,所以它可容纳较其他频段多得多的话路而不致互相干扰。

由于微波频率高、波长短,因此微波通信一般使用面式天线。当面式天线的口面积给定后,增益与波长的平方成反比,故微波通信很容易制成高增益天线。当波长比周围物体的尺寸小得多时,电磁波近似于光波特性,可以利用微波天线把电磁波聚集成很窄的波束,得到方向性很强的天线。例如,直径3 m的抛物面天线,当工作波长为 $\lambda = 7.5 \text{ cm}$,天线效率 $\eta = 0.6$ 时,其天线增益可达40 dB,相当于比无方向性天线的发射功率提高了10 000倍。

在微波频段,天电干扰和工业干扰及太阳黑子的变化基本上不起作用,而这些干扰对短波通信的影响却十分严重,所以微波通信的可靠性和稳定性可以做得很高。

“多路”是指微波通信的通信容量大,即微波通信设备的通频带可以做得很宽。例如,对4 GHz的设备而言,其通频带按1%计算,可达40 MHz,所提供的带宽正符合ISDN(综合业务数字网,英文为Integrated Services Digital Network,就是采用的数字交换和数字传输的电信网的简称。中国电信将其俗称为“一线通”。)所要求的宽带传输链路的要求。

“接力”是目前广泛使用于视距微波的通信方式。由于地球是圆的,加之地面上的地貌(山川)所限,使得地球上两点(两个微波站)间不被阻挡的距离有限。为了可靠通信,一条长的微波通信线路就要在线路中间设若干个中继站,采用接力的方式传输发端的信息。

近些年来,由于通信技术的发展及通信设备的数字化,数字微波设备与模拟制微波设备相比,占了绝对多的比重。而数字微波除了具有上面所说的微波通信的普遍特点外,还具有数字通信的特点:

(1) 抗干扰性强、整个线路噪声不累积。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。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错判的程度,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会逐站累积,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。

(2) 保密性强,便于加密。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,接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。

(3) 器件便于固态化和集成化,设备体积小、耗电少。

(4) 便于组成综合业务数字网(ISDN)。

数字微波的主要缺点是要求传输信道带宽较宽,因而产生了频率选择性衰落,其抗衰落技术比模拟制微波复杂。

§ 1.3 数字微波通信系统的组成与性能

1.3.1 数字微波通信系统的组成

数字微波传输线路的组成形式可以是一条主干线,中间有若干分支,也可以是一个枢纽站向若干方向分支。不论哪种形式,主要由微波终端站、中继站和分路站等组成,如图 1-1 所示。但要构成一个完整的数字微波通信系统,还应包括其他部分,数字微波通信系统总是由图 1-2 中给出的几部分组成。

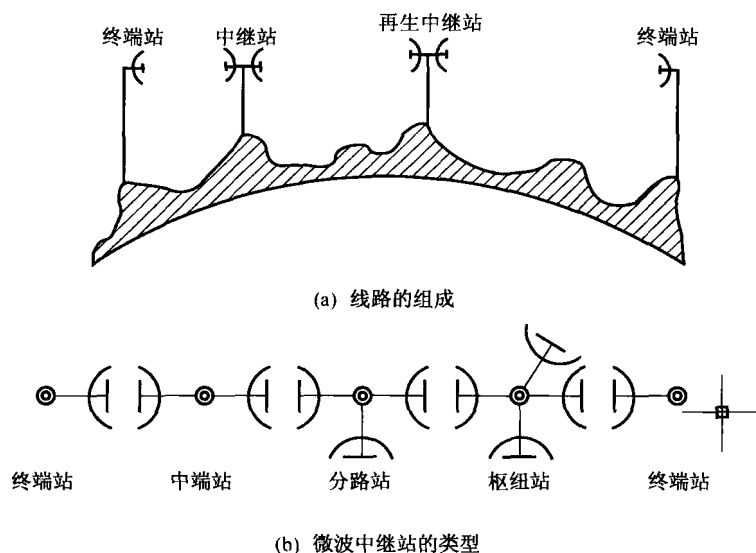


图 1-1 微波通信的信道构成

1. 用户终端

用户终端指直接为用户所使用的终端设备,如自动电话机、电传机、计算机、调度电话机等。

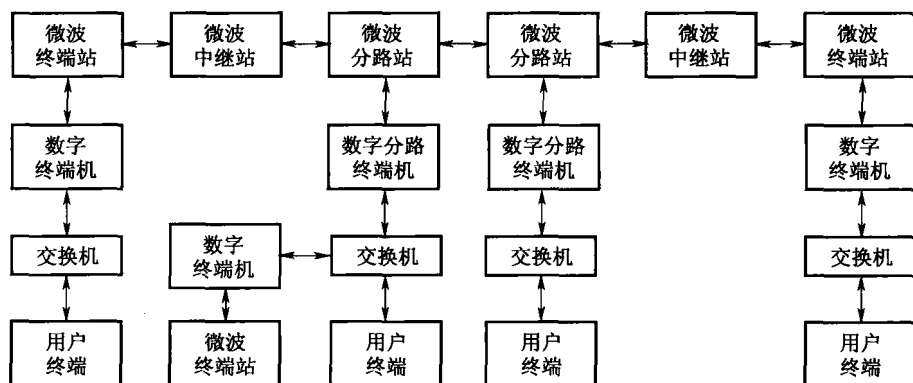


图 1-2 数字微波通信系统方框图

2. 交换机

交换机是用于功能单元、信道或电路的暂时组合以保证按要求进行通信操作的设备。用户可通过交换机进行呼叫连接,建立暂时的通信信道或电路。这种交换可以是模拟交换,也可以是数字交换。

3. 数字终端机

数字终端机的基本功能是把来自交换机的多路音频模拟信号变换成时分多路数字信号,送往数字微波传输信道,以及把数字微波传输信道收到的时分多路数字信号反变换成多路模拟信号,送到交换机。

4. 微波站

微波站的基本功能是传输数字信息。按工作性质不同,可分为数字微波终端站、数字微波中继站和数字微波分路站三类。

(1) 终端站:数字微波终端站的任务是把终端机的时分多路数字基带信号调制到微波频率上,并发射出去;同时,又将接收到的微波信号解调出数字基带信号送到数字终端机。

(2) 中继站:微波信号在传输过程中因传输损耗而衰减,同时有噪声混入而使传输性能恶化,出现误码。中继站的任务就是将信号在性能未恶化之前接收下来,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,并调制到微波频率上继续传输。

(3) 分路站:分路站是微波中继站的一种,除完成中继任务外,它还要完成上、下话路或线路分支任务。

微波站的主要设备包括数字微波发送信号设备、数字微波接收信号设备、天线、馈线、铁塔以及为保障线路正常运行和无人维护所需的监测控制设备、电源设备等。

1.3.2 数字微波通信系统的性能指标

在设计或评价通信系统时,往往要涉及通信系统的主要性能指标,否则就无法衡量其质量的优劣。性能指标也称质量指标,它是对整个系统综合提出或规定的。通信系统的性能指标涉及其有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性等,其中传输信息的有效性和可靠性是通信系统最主要的质量指标。

数字微波通信是在数字通信和模拟微波通信基础上发展起的一种先进的通信传输手段,所以它兼有数字通信和微波通信的特点。对于数字微波中继通信系统而言,传输性能指标主要包括以下几个方面。

1. 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方法。

(1) 比特传输速率 R_b , 又称比特率或传信率: 即通信系统每秒所传输的信息量, 单位为比特/秒, 记作 bit/s。

(2) 码元传输速率 R_B (又称为传码率): 它指系统每秒所传输的码元数, 即调制速率, 单位为波特, 记作 Baud。

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, $R_b = R_B \log_2 M$ 。

2. 频带利用率

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, 使用了频带利用率 η 这一指标, 它表示单位频带的信息传输速率, 即

$$\eta = \frac{\text{信息传输率}}{\text{频带宽度}} \text{ bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$$

3. 传输质量

传输数字信号时, 由于噪声和其他原因, 对方会判断错误, 传输的差错率代表了传输的可靠性。差错率有两种表示方法:

(1) 比特误码率。比特误码率又称误比特率, 用符号 P_b 表示, 其定义式为

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

(2) 码元误码率。码元误码率简称误码率, 用符号 P_B 表示, 其定义式为

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

显然, 对于二进制系统, $P_b = P_B$ 。由于一般通信系统都是二进制的, 所以本书中没严加区别。

小 结

1. 数字微波通信发展概况。

2. 数字微波通信不仅具有微波通信的“微波、多路、接力”的特点, 而且还具有数字通信的特点: 抗干扰性强、整个线路噪声不累积; 保密性强, 便于加密; 器件便于固态化和集成化, 设备体积小、耗电少; 便于组成综合业务数字网 (ISDN)。

数字微波的主要缺点是要求传输信道带宽较宽, 因而产生了频率选择性衰落, 其抗衰落技术比模拟制微波复杂。

3. 数字微波通信系统由微波终端站、中继站和分路站及空间传输线路等组成。

4. 评价数字通信系统优劣的主要性能指标是: 传输容量、频带利用率、比特误码率等。

习 题

- 1-1 数字微波通信的主要优缺点是什么？
- 1-2 微波通信系统主要由哪些部分构成？
- 1-3 衡量数字微波通信系统的性能主要指标有哪些？怎样定义的？

第2章 数字基带传输

内容提要:本章扼要地介绍了数字微波通信中常用的几种码型:单极性不归零码(NRZ)、单极性归零码(RZ)、双极性不归零码(BPNRZ)、双极性归零码(BPRZ)、差分码、CMI码、AMI码和HDB3码的主要特性及优缺点。并较详细地介绍了HDB3码的编码规则。

较详细地分析了无码间干扰基本波形:理想低通传输波形、升余弦滚降传输波形和第Ⅰ类部分响应波形。最后讨论了最佳基带系统的误码性能。

§ 2.1 数字基带信号的码型

数字信号传输方式一般分为基带传输和频带传输两大类,如图2-1所示;图(a)为基带传输系统,基带传输是把数字基带信号不经调制直接送往信道进行传输的方式;图(b)是频带传输系统,所谓频带传输就是用调制方法,将基带信号的频谱搬移到某一个高频的载波频段内进行传输。因此,学习数字微波通信的主要内容是调制和解调技术、同步信号提取、微波传播和微波中继系统的总体设计等。具体的电路、各种微波电路和天线等知识,仅作简单介绍。

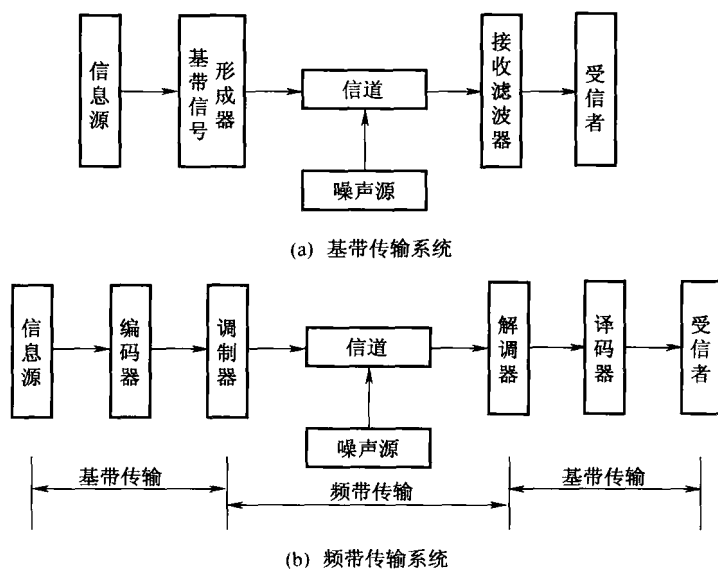


图 2-1 数字通信系统模型

为了使同学们对数字微波通信系统有全面的了解,本章对基带传输作简单介绍,学习过通信原理的同学可跳过此章。

数字通信中,用代码来表示要传送的信息。一般讲,要传送的信息可以用下列形式来代表: $\cdots, a_{-3}, a_{-2}, a_{-1}, a_0, a_1, \cdots, a_{k-1}, a_k, \cdots$, 简记为 $\{a_k\}$ 。其中代码 a_k 是消息的一个基本单元,称为码元或符号。在二进制中, a_k 可取0或1,在多元码中, a_k 可取 $0, 1, 2, \cdots, (M-1)$ 个电平值。二进制的传输速率用比特/秒(bit/s)来表示,此速率称为比特速率。码元的传输速率用每秒传输的符号个数来表示,单位为波特(Baud),称为符号或码元速率。比特为信息量的基本单位。对于 M 进制,每个波特所含的信息量为 $\log_2 M$ (bit)。

实际传输时,用电脉冲来表示代码,将电脉冲的形状称为数字信号波形,而把电脉冲序列的结构形式称为数字信号的码型。数字信号的码型和波形共同决定着它的频谱结构。合理地设计数字信号的码型和波形,使之适应信道的传输要求,这是传输系统中两个十分重要的问题。

2.1.1 数字信号基带传输码型的要求

一个实用的数字传输系统,对传输信码流中“0”和“1”出现的概率应无任何限制,即允许出现全“0”、全“1”或任何组合,称这样的传输系统是透明的。要做到这点并考虑到其他要求(如数字基带信号通常是在电缆线中传输,为了克服传输损耗,每隔一段距离需设立一个中继站,通常采用的是自定时再生式中继器),对传输码型就有一定的要求,其要求如下:

1. 易于从线路码中提取时钟分量(位定时信息)

线路码型频谱中应包含有定时时钟信息或经过简单变换就有定时时钟分量,以便再生中继器或接收端能提取判决再生所需的时钟信息,保证数字通信时钟同步的要求。

2. 线路码型频谱中基带不含直流分量及小的低频分量

线路码型频谱中直流分量应为零(对光纤传输直流分量漂移要小),同时低频成分应尽量小。这是由于实际传输信道一般是交流信道,即传输线路中有变压器,因此,要求线路码型频谱中不应含有直流成分,同时低频成分应尽量少,以减少数字信号的失真。

3. 线路码流中高频分量应尽量少

一条电缆内包含有许多线对,线对间由于电磁辐射的串话是随频率的升高而加剧,因此要求线路码型频谱中高频分量应尽量少,以免限制信号的传输容量或传输距离。

4. 码型变换过程应与信源的统计特性无关

码型变换与信源的统计特性无关,所以对任何信源都具有透明性,也便于时钟提取。只要数码有“1”、“0”变化,就可恢复出定时信号。但如果遇到长时间的连“1”或连“0”不归零码,没有“1”、“0”变化,定时提取有困难。因此,解决长时间的连“1”连“0”也是选择传输码型的重要条件。

5. 经过信道传输后产生的码间干扰应尽量小

数字信号在传输过程中,由于线路分布参数的影响会产生波形的拖尾,从而使得前面的数码干扰后面的数码,引起码间干扰,最终导致误码的产生,因此要求线路码型经过信道传输后产生的码间干扰要小。

6. 线路码型具有一定的误码检测能力

数字信号经过传输后会产生误码,要求通过检测接收到的线路码流能粗略地判断误码的情

况,以便于维护,因此要求线路码型有特定的规律性。

7. 设备简单

码型变换设备简单,易于实现码型变换和码型反变换。

数字基带信号的码型种类很多,并不是所有的码型都能满足上述要求,往往是根据实际需要进行选择。下面介绍几种目前应用广泛的重要码型。

2.1.2 二元码

二元码的矩形脉冲幅度取值只有两种不同电平。图 2-2 给出几种二元码的码型图案。

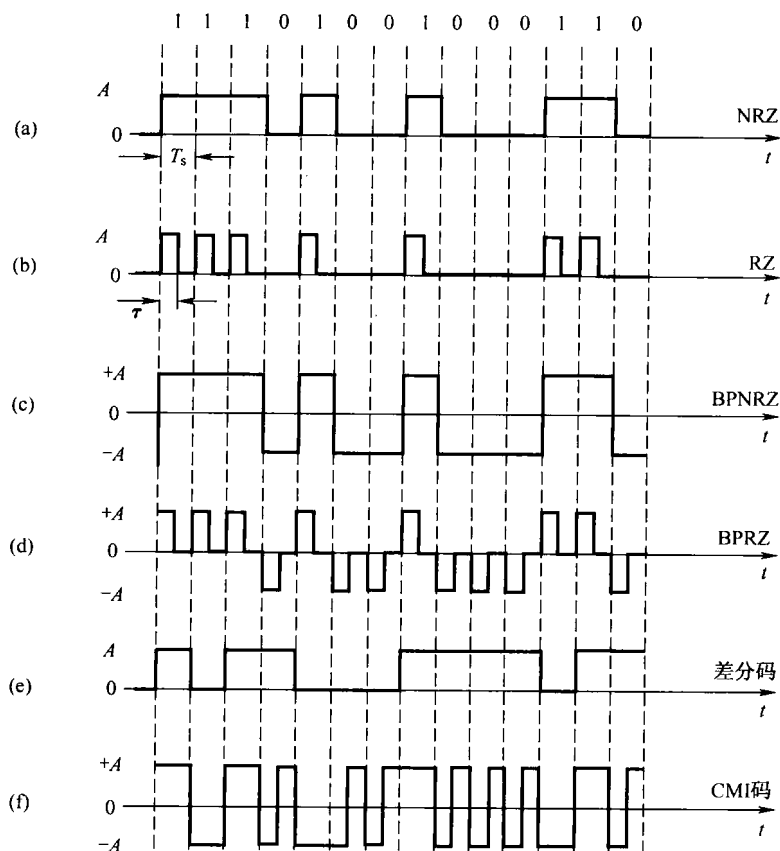


图 2-2 几种二元码的传输信号的编码

1. 单极性不归零码(NRZ)

用高电平表示二元码的“1”,用低电平(一般为 0 电平)表示二元码的“0”,在整个码元周期 T_s 内电平保持不变,见图 2-2(a)。电传机、计算机等输出的二进制序列通常是这种信号。

NRZ 码的功率谱如图 2-3 所示。由图 2-3 可见,单极性 NRZ 码的功率频谱由连续谱和离散谱两部分组成。连续谱频率成分非常丰富,它分布于整个频率轴上,其包络线如图中实线所示。可以看出直流分量离散谱是始终存在,而时钟频率 f_s 这根离散谱不存在。NRZ 码码型的缺点是:

(1) 有直流成分,且信号能量大部分集中在低频。

(2) 无主时钟频率 f_s 成分,不能直接提取时钟信号。

(3) 码间干扰大。这是因为占空比为 100%,经过传输后前面码元的拖尾比较长,必然影响后面的码元。

(4) 无自动误码检测能力。语音或其他信源的随机性必然导致信码流的随机性,从而导致码型无规律,给误码检测带来不便。

综合以上所述,单极性 NRZ 码是不适宜作为线路码型进行基带传输的。

2. 单极性归零码(RZ)

单极性归零码与单极性不归零码不同的是在一个码元周期内,高电平的持续时间为 τ ($\tau < T_s$),其余时间返回低电平。若 $\tau/T_s = 50\%$,则称其为 50% 归零码或半占空码。见图 2-2(b)。

图 2-4 为 RZ 码的功率谱图。由图可知,实际语音信号编成的 RZ 码频谱也包括离散谱和连续谱两部分。RZ 码同 NRZ 码相比,有时钟频率 f_s 成分,但其他缺点依然存在,所以单极性 RZ 码也不适合做线路码型。由于 NRZ 和 RZ 码码型简单,容易实现,一般在机内使用。

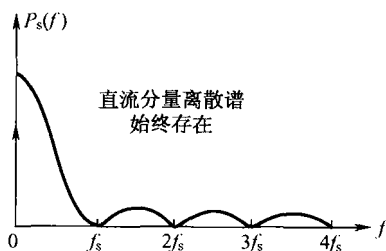


图 2-3 单极性不归零码的功率谱

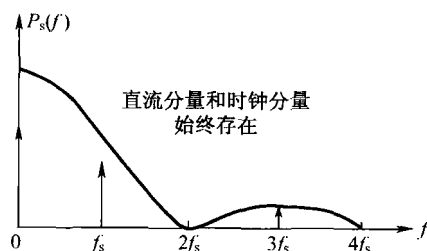


图 2-4 单极性归零码的功率谱

3. 双极性不归零码(BPNRZ)和双极性归零码(BPRZ)

双极性不归零码用正电平表示“1”,用负电平表示“0”,正负电平绝对值相等,在整个码元周期 T_s 内保持不变,见图 2-2(c)。双极性归零码($\tau/T_s = 50\%$,半占空码),见图 2-2(d)。两种码型的功率谱如图 2-5 和图 2-6 所示,当信码“0”、“1”等概时,双极性码不含直流分量,不适合做线路码型。

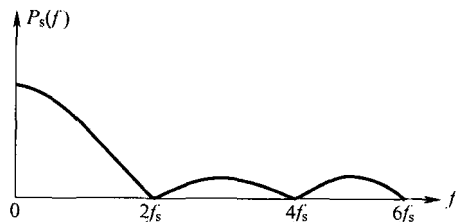


图 2-5 双极性归零码的功率谱

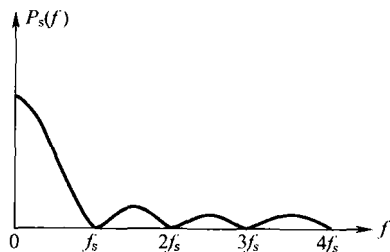


图 2-6 双极性不归零码的功率谱

在 ITU-T (国际电信联盟远程通信标准化组织,ITU-T for ITU Telecommunication Standardization Sector,它是国际电信联盟管理下的专门制定远程通信相关国际标准的组织。)制订的 V.24 接口标准中指定为 RS-232 接口的码型。