

程庸铨 编著

数字 微波通信设备

电信职工培训丛书
DIAN XIN ZHI GONG
PEI XUN CONG SHU

人民邮电出版社



625

电信职工培训丛书

数字微波通信设备

程廉铨 编著
周春泉 审校



人民邮电出版社

9410024

登记证号(京)143号

图书在版编目(CIP)数据

数字微波通信设备/程庸铨编著. —北京:人民邮电出版社,

1993.9

ISBN 7-115-04951-3

I. 数…

II. 程…

III. ①微波通信; 数字通信-通信设备 ②数字通信; 微波通信
[34Mbit/s]

IV. TN925

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

北京密云春雷印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 850×1168 1/32 1993年9月 第 1 版

印张: 14 20/32 页数: 234 1993年9月北京第1次印刷

字数: 385 千字 印数: 1—5 000 册

ISBN 7-115-04951-3/TN · 635

定价: 11.20 元

3-10112-1

丛 书 前 言

当今世界通信技术已成为发展最活跃的科技领域之一。今后十年是我国建设社会主义现代化邮电通信网的十分重要的时期。实现邮电通信现代化,一是要依靠科技进步,二是要提高职工素质。现代通信的发展对职工素质和技能的要求越来越高。邮电职工一旦掌握了新的科技知识,其自身的素质和技能就会发生根本性的变化,劳动操作能力必将大大提高。为此,我社组织编写这套“电信职工培训丛书”,陆续出版。

这套丛书紧密结合电信部门的实际,重点介绍近些年来迅速出现、发展起来的新技术、新设备。丛书的特点是结合通信引进、应用、推广和创新的实际,突出实用性,深浅适宜,条理清楚。丛书的主要读者对象是各通信部门的工程技术人员,也可作为相关院校通信专业教学参考用书。

殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议,以便这套丛书日臻完善。

人民邮电出版社

前 言

近年来,我国数字微波通信发展很快。至今,在邮电、电力、石油、煤矿、交通等部门采用国产设备或引进国外设备已建设了大量数字微波电路,其中,中、小容量(34Mbit/s 以下)的数字微波系统占有很大比例。

由于数字微波通信是一种新的传输手段,它的工作原理和设备的构成,虽然与模拟微波通信有类似之处,但毕竟是数字传输方式,许多方面与模拟微波通信有本质区别。对于已建成或正在筹建数字微波电路各部门的管理人员、维护人员及相关技术人员都面临着一个学习和熟悉的过程。本书正是为此目的编写的,它以深入浅出的方式介绍了数字微波通信的原理,以典型的 34Mbit/s 数字微波设备为例,较详细地分析了系统中各组成部分的原理和性能。本书可作为建设部门培训人员的教材,也可作为生产、施工、设计、教学、科研等部门相关技术人员的参考书。

为了使读者对数字微波通信的概貌有一个初步的了解,本书第一、二章介绍了数字传输、数字调制和解调的基本原理以及数字微波通信系统的构成和技术要求。第三、四、五章为数字微波收发信机的微波部件和中频部件,第六、七章为常用的 4PSK 调制器和相干解调器、位同步恢复、差分编译码、比特插入及分离等典型电路,第八章为无损倒换系统和主要部件的典型电路。第九章简单介绍了公务及监控系统。第十章对设备和系统指标的测试、维护及故障处理作了较详细地阐述。

本书所介绍的内容以目前国内生产的设备为主,同时也适当介绍了国外引进设备的部分电路。由于设备内容较多,限于篇幅,不可能给出完整的系统图和电路图,而是以方框图和具体单元电路相结

合的方式来说明设备和部件的构成,着重阐述系统和电路原理。

全书由主任高级工程师周春泉同志作了详细的审阅,提出了不少宝贵的意见。他还担任了第三、四章数字微波收发信机微波部件(除微波振荡源外)的编写工作。微波振荡源这一节是由高级工程师周好开同志编写的。本书在整个编写过程中得到了人民邮电出版社副编审梁素梅同志的大力支持和具体指导。编者对支持、协助本书编写工作的同志表示衷心地感谢。

由于时间仓促,书中难免有错误之处,敬请广大读者批评、指正。

编者

目 录

第一章 数字微波通信的基本原理	1
1.1 数字信号的基本概念	1
1.1.1 数字信号的表示方法	1
1.1.2 数字信号的传输系列	2
1.1.3 传输码型	3
1.2 数字信号的基带传输	7
1.2.1 基带传输中的波形失真	7
1.2.2 码间干扰的消除	12
1.2.3 基带传输误码率的分析	15
1.3 数字信号的载波传输	18
1.3.1 数字信号的调制方式	18
1.3.2 数字信号的解调及最佳检测	30
1.3.3 载波传输系统的误码率	38
第二章 数字微波通信系统的组成及主要性能指标	46
2.1 数字微波通信系统的构成	46
2.1.1 系统各组成部分的功能和特点	46
2.1.2 站型的配置和业务的组织	59
2.1.3 微波站设备的配置	61
2.2 数字微波传输系统的技术要求	70
2.2.1 数字微波通信系统的传输标准	70
2.2.2 数字微波传输系统的技术指标	78
第三章 微波滤波器和微波放大器	88
3.1 微波滤波器	88
3.1.1 低通原型滤波器	89

3.1.2	最平坦响应低通原型	90
3.1.3	切比雪夫响应低通原型	91
3.1.4	低通原型变换为微波带通滤波器	94
3.1.5	微波带通滤波器的实现	97
3.1.6	微波滤波器的相移和时延特性	99
3.2	微波低噪声晶体管放大器	103
3.2.1	微波晶体管	104
3.2.2	微波晶体管的 S 参数	108
3.2.3	微波晶体管放大器的稳定性	113
3.3	微波线性功率晶体管放大器	115
3.3.1	微波功率放大器的交调失真	116
3.3.2	微波线性功率放大器的特点及主要性能指标	117
第四章	微波混频器和微波振荡源	120
4.1	微波收信混频器	121
4.1.1	肖特基势垒二极管	121
4.1.2	微波收信混频器的变频原理	128
4.1.3	微波收信混频器的主要参数	131
4.1.4	微波收信混频器的典型电路	134
4.2	微波发信混频器	142
4.2.1	PN 结变容二极管	142
4.2.2	微波发信混频器的工作原理	148
4.3	微波振荡源	155
4.3.1	概述	155
4.3.2	微波锁相振荡源	157
4.3.3	微波介质振荡源	165
第五章	中频部件	173
5.1	前置中频放大器	173
5.1.1	前置中频放大器的主要功能	173
5.1.2	前置中放的基本电路	175

5.2 主中放	178
5.2.1 主中放的主要功能	178
5.2.2 主中放的基本电路	180
5.2.3 主中放典型电路分析	186
5.3 中频滤波器及群时延均衡器	193
5.3.1 中频滤波器	193
5.3.2 中频群时延均衡器	197
5.3.3 幅度均衡器	200
5.4 发信中放	201
5.4.1 发信中放的构成及功能	201
5.4.2 发信中放自动增益控制电路	203
5.4.3 静噪开关及 70MHz 振荡器	207
5.5 空间分集接收中频合成器	207
5.5.1 中频合成器的构成和基本原理	207
5.5.2 无限移相器	209
5.5.3 相位误差检测及控制电路	213
第六章 四相相位键控调制器和解调器	218
6.1 四相相位键控调制器	218
6.1.1 PSK 信号的相位逻辑关系	218
6.1.2 采用环形调制器的四相调制器	222
6.1.3 采用模拟乘法器的四相调制器	228
6.1.4 $O-QPSK$ 调制方式	234
6.1.5 四相调制器的调相误差	237
6.2 四相相移键控解调器	238
6.2.1 数字基带处理锁相环式解调器的基本原理	239
6.2.2 数字基带处理锁相环解调器的电路分析	244
6.2.3 联合控制环解调器的工作原理	260
6.2.4 联合控制环解调器的电路分析	265
6.2.5 解调器的主要性能指标	282

第七章 位同步恢复和基带数字信号处理	288
7.1 位同步恢复	288
7.1.1 位同步恢复电路的构成	288
7.1.2 时钟信号恢复电路的分析	289
7.1.3 时钟信号恢复电路的主要性能指标	299
7.2 发信逻辑电路和收信逻辑电路	302
7.2.1 发信逻辑和收信逻辑的构成方框图	302
7.2.2 扰码器和去扰码器	305
7.2.3 串—并和并—串变换	311
7.2.4 差分编码和差分译码	312
7.3 比特插入和比特分离电路	322
7.3.1 微波帧复接的基本原理	322
7.3.2 比特插入和比特分离设备的构成框图	326
7.3.3 比特插入和比特分离电路主要部件工作原理的分析	328
第八章 数字基带倒换系统	337
8.1 数字基带倒换系统的基本要求	337
8.1.1 数字倒换的特点	337
8.1.2 数字微波基带倒换系统的技术要求	340
8.2 数字微波基带倒换系统的构成	342
8.2.1 1+1 倒换系统的构成	342
8.2.2 $N+1$ 倒换系统的构成	347
8.3 双单变换电路及单双变换电路	352
8.3.1 双单变换电路	352
8.3.2 单双变换电路	363
8.3.3 集成 HDB_3 编译码器	371
8.4 延迟调整及倒换电路	374
8.4.1 延迟调整电路	374
8.4.2 时钟锁相环电路	381

8.4.3 倒换执行电路	387
8.5 误码检测及倒换逻辑电路	388
8.5.1 帧误码检测	388
8.5.2 伪误码检测	397
8.5.3 奇偶校验误码检测	400
8.5.4 倒换控制逻辑电路	402
第九章 公务及监控系统	407
9.1 公务传输通道	407
9.1.1 公务传输通道的主要作用	407
9.1.2 模拟公务传输方式	408
9.1.3 数字公务传输方式	416
9.2 监控系统	422
9.2.1 监控系统的工作原理	422
9.2.2 监控系统的构成	430
9.2.3 监控系统的主要性能指标	433
第十章 数字微波通信系统的测试和维护	435
10.1 设备及系统指标的测试	435
10.1.1 单机指标的测试	435
10.1.2 系统指标的测试	438
10.1.3 现场测试	445
10.2 数字微波设备的维护及故障处理	450
10.2.1 日常维护工作	450
10.2.2 周期性的维护工作	450
10.2.3 维护仪表的配备	450
10.2.4 数字微波设备常见故障及处理	451

第一章 数字微波通信的基本原理

1.1 数字信号的基本概念

1.1.1 数字信号的表示方法

1. 数字信号的特点

数字信号与模拟信号的根本区别就在于数字信号波形幅度的取值是有限的,也就是说数字信号可以用有限个数字来表示。最简单的就是二电平的数字信号。它是用 0、1 两个数字来表示,其波形由高电平(A)和低电平(0 或 $-A$)构成的矩形脉冲,如图 1.1 所示。这种数字信号称为二电平或二进制信号。当然也可以用多电平或多进制来表示数字信号,例如四进制用 0、1、2、3 来表示,如图 1.2 所示。它是四个电平($+3$ 、 $+1$ 、 -1 、 -3)的矩形脉冲。 M 进制的数字信号就用 0、1、2、3…… $M-1$ 个数字来表示,相应的波形就是 M 个不同电平的矩形脉冲。更一般的,数字信号可以用一连串的数字组合来表示,称它为数字信号序列,表示为下述形式:

$$\cdots a_{-n}, a_{-n-1}, \cdots, a_{-1}, a_0, a_1, \cdots, a_k, \cdots, a_n, \cdots$$

其中 a_k 为数字信号序列的基本单元,称为码元, k 代表该码元的序号。各个码元根据所采用的进制,可取多种数值,例如四进制数字信号序列可以写为:

……0 3 1 2 0 1 1 2 3 3 2 0 0 2 2……对于 M 进制的数字信号序列,用 $g(t)$ 表示脉冲波形,幅度由 a_k 来表示,它可为 M 个不同电平

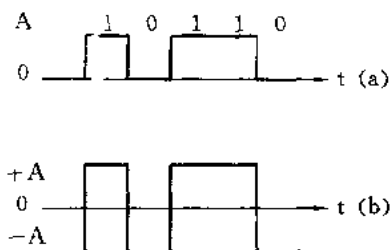


图 1.1 二电平数字信号

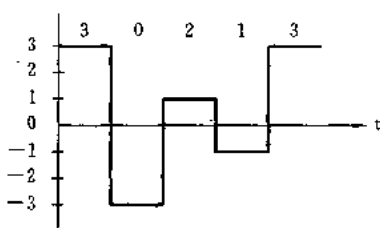


图 1.2 四电平数字信号

中任一个,码元间隔为 T_i ,则可得到数字信号的一般表示形式:

$$u(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} a_k g(t - kT_i) \quad (1.1)$$

2. 比特率和符号速率

一个二进制的码元称为 1 比特(bit),它是数字信息的基本单位。对于多进制码元($M > 2$),每一码元称为 1 个符号。一个 M 进制的码元(或称符号)包含有 $\log_2 M$ 个比特。例如四进制,每一个符号含有两个比特信息,八进制每一符号含有 3 个比特信息,十六进制每一符号含有 4 个比特信息等等。单位时间内传送的信息量称为比特速率或比特率,记为 bit/s, kbit/s 或 Mbit/s,用它来表示数字传输电路的容量。对多进制而言,每秒钟所传送的符号数称为符号速率,用波特(baud 或简写为 Bd)来表示。比特率 R_b 与符号速率 R_s 的关系为:

$$R_b = R_s \log_2 M \quad (1.2)$$

与 R_b 、 R_s 对应的时钟频率记为 f_b 和 f_s 。

1.1.2 数字信号的传输系列

在数字通信线路上所传送的数字信号,有的就是由数字信号源直接产生的,例如计算机数据,电传机输出信号等;有的是由模拟信号转换过来的,例如常见的语音信号,占用频带为 0.3~3.4kHz,在模/数转换时,采用 8kHz 的采样速率,每次采样编为 8 位二进制码,则每个话路的传送比特率为 64kbit/s。

在一条数字通信线路上,当然不能只传一路数字信号。与模拟通信系统一样,要实现多路通信,即多路复用。数字通信系统采用时分复用方式(TDM)。通常习惯以传多少路 64kbit/s 的数字电话来表示复用的级别。现在国际上有两种制式,一种是以 30 路(带业务比特实际上是 32 路)作为一个基群,另一种是以 24 路作为一个基群,从而形成两种标准传输系列。我国采用的是 30/32 路系列标准,等效的 PCM 话路数及比特率列于表 1.1。按照系列等级分别称为一次群(基群)、二次群、三次群……。在我国习惯上把一些低速数据如 $80 \times 600\text{bit/s}$ 、 $40 \times 1200\text{bit/s}$ 、 $20 \times 2400\text{bit/s}$ 或 $10 \times 4800\text{bit/s}$ 等复接成 64kbit/s 的系列称为零次群。

表 1.1 30/32 路传输系列标准

数字传输 系列等级	等效的 PCM 话路数	比 特 率 kbit/s
1	30/32	2048
2	120	8448
3	480	34368
4	1920	139264
5	7680	565148

1.1.3 传输码型

数字通信中所使用的码型是很多的,现就数字微波通信中常用的码型作一介绍。

1. NRZ 码(非归零码)

这是一种二电平码,是最常见的一种码型。其波形示于图 1.3(a),用电平 A 表示“1”,用电平 0 表示“0”。它的高电平占满了整个码元间隔 T_r ,而在其间电平不回归至零,故称之为非归零码。假设这种码为随机码,且 0,1 等概率,则其功率谱密度可表示为:

$$W(f) = \frac{A^2}{4} T_r \left(\frac{\sin \pi f T_r}{\pi f T_r} \right)^2 \quad (1.3)$$

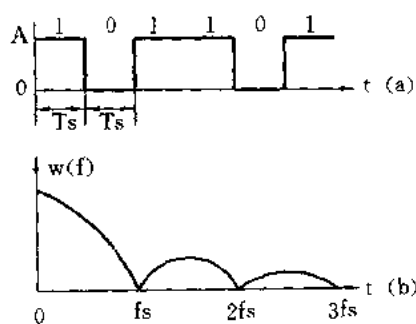


图 1.3 NRZ 码的波形及其功率谱

图 1.3(b)为 $W(f)$ 的形状。从图中可以看出：直流分量不为 0，不能用交流耦合实现无失真传输，因而不适宜作较长距离传输。在 $f = nf_s$ ($n=1, 2, 3, \dots$) 处频谱成分为 0，因而不能直接从信码中提取时钟 f_s 。频谱的拖尾较长，例如第二个峰点只比 $f=0$ 时低 13dB，所以

占用频带较宽。

还有一种 NRZ 码，称为差分码，记为 $DNRZ$ 。它是用相邻码元电平的变化与否来表示“1”和“0”的。若用电平变化表示“1”，电平不变表示“0”，这种差分码称为传号差分码。若用电平的变化表示“0”，电平的不变来表示“1”，称为空号差分码。差分码以后要经常用到的，图 1.4 表示了由 NRZ 码变为 $DNRZ$ 码的波形图。

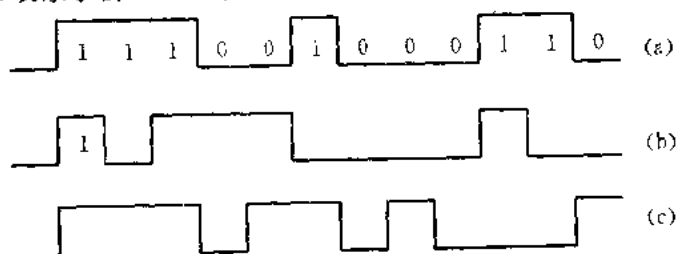


图 1.4 $DNRZ$ 码的波形图

2. RZ 码(归零码)

这种码仍然用电平 A 来表示“1”，用 0 电平来表示“0”，但高电平并不占满整个码元间隔。一般定义脉冲的实际宽度与标称的码元间隔之比为占空比。通常 RZ 码的占空比为 50%。因为这种码是在一个码元间隔 T 的中间回到 0 的，所以称为归零码。其波形图和功率谱密度示于图 1.5。功率谱密度的表达式为：

$$W(f) = \frac{A^2}{16} T_s \left[\frac{\sin \pi f \frac{T_s}{2}}{\pi f \frac{T_s}{2}} \right]^2 \left[1 + \frac{1}{T_s} \sum_{n=1}^{+\infty} (f - nf_s) \right] \quad (1.4)$$

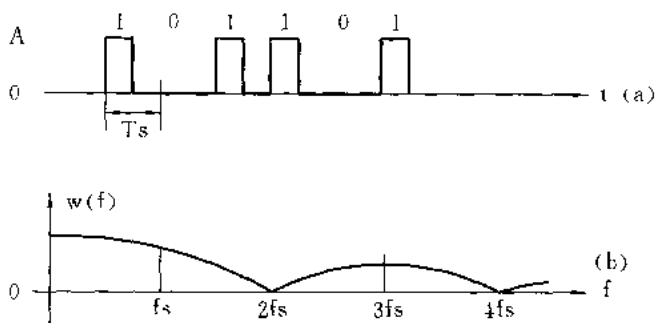


图 1.5 RZ 码的波形和功率谱

其功率谱包括两部分：第一部分为连续谱，第二部分为线谱，在 $f = nf_s$ ($n=1, 3, 5, \dots$) 处存在，可以直接从信码中提取时钟 f_s 。整个频谱比 NRZ 码延伸得更宽，变得更为平坦一些，直流成分减小了。若占空比再小，直流成分更小，频谱更为平坦，直至单位脉冲（占空比为 0），频谱在 $0 \sim \infty$ 范围内均匀分布。这种码也只适用于机器内部，不能作线路码。

3. AMI 码(传号交替反转码)

为了使得信码能在线路上传输，必须使其频谱中直流成分为零。AMI 码就是这种类型码之一。在信码中通常把“1”称为传号，把“0”称为空号。AMI 码的传号交替用 $+A$ 和 $-A$ 来表示，空号仍然用 0 电平来表示。传号的占空比为 50%。这是一种双极性码，其波形和功率谱示于图 1.6，功率谱表示式为：

$$W(f) = \frac{A^2}{4} T_s n^2 (\pi f T_s) \left[\frac{\sin \pi f \frac{T_s}{2}}{\pi f \frac{T_s}{2}} \right]^2 \quad (1.5)$$

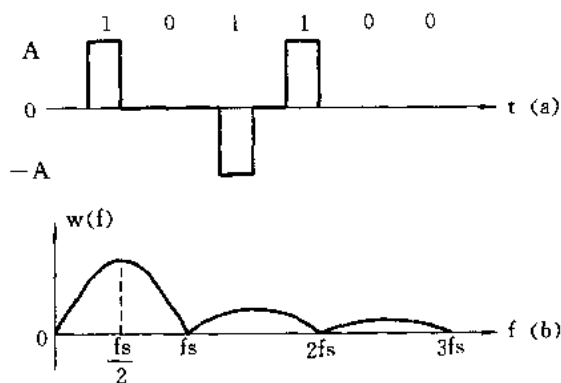


图 1.6 AMI 码的波形和功率谱

频谱中不包含直流成分, 频谱能量主要集中在 $f = \frac{f_s}{2}$ 附近。

4. HDB_3 码(三阶高密度双极性码)

AMI 虽然可以做线路码, 但有可能出现长连 0, 这时若转换为 RZ 码时不利于时钟的提取。为了克服 AMI 码长连 0 的缺点, 设计 $3HDB_3$ 码。当信码中出现四连 0 串时, 需在第 4 个 0 处人为插进去一个传号码。为了便于在接收端识别这种人为加入的传号码, 编码时使这个传号码与前一信息传号码同极性。这样就破坏了传号交替的规则, 所以这个人为插进去的码称为破坏码, 用 V 来表示。为了不引入直流成分, V 码也应符合交替插入的原则, 即相邻 V 码是反极性的。图 1.7 表示了 NRZ 码变换为 HDB_3 码的波形, 这样编码规律适

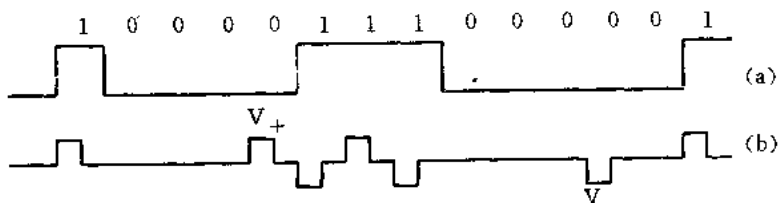


图 1.7 两个相邻四连 0 串之间传号为奇数时的 HDB_3 码

用于两个相邻的四连 0 串中间的传号码为奇数的情况。若两个相邻