

电 信 新 技 术 实 用 丛 书

SDH 微波通信系统

傅海阳 赵品勇 编著



人民邮电出版社

电信新技术实用丛书

SDH 微波通信系统

傅海阳 赵品勇 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了 SDH 微波通信系统的基本原理和相关技术。全书共分为 10 章,主要内容包括数字信号基带传输、差错控制编码和网格编码调制、SDH 的原理和功能、微波传输常用的数字调制技术、微波传输信道、数字微波传输特性补偿技术、SDH 微波通信设备和系统、SDH 的工程设计、光传输通道、SDH 微波通信网络管理,等等。

本书内容详实、通俗易懂,适合从事各类电信工作的管理人员和技术人员阅读,也可用作电信技术和业务培训班的教材。

电信新技术实用丛书

SDH 微波通信系统

- ◆ 编 著 傅海阳 赵品勇
 责任编辑 马 嘉
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
 北京鸿佳印刷厂印刷
 新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
 印张: 17.5
 字数: 434 千字 2000 年 1 月第 1 版
 印数: 1—5 000 册 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-08196-4/TN·1537

定价: 30.00 元

前 言

90年代以来,随着电信传输技术的不断发展,同步数字系列(SDH)成为新一代数字传输体制。目前,SDH在数字微波传输网中逐步取代了原来所使用的准同步数字系列(PDH)。SDH体制具有传输容量大、组网灵活、长途传输质量高等优点,因而其应用日益广泛,不仅可用于光纤传输系统,而且在微波传输系统中也被大量采用。SDH的广泛应用带动了许多新技术的发展,如对基带信号的新的处理方式、纠错编码在数字微波传输中的应用、自适应的发信功率控制以及高效率的数字微波调制技术等。

目前,介绍SDH技术的相关书籍较多,但完整地阐述SDH微波通信系统的书籍在国内尚不多见。本书详细地介绍了SDH的原理、常用的数字调制技术、实际的工程设计以及SDH微波通信网的管理等方面的内容。本书的特点是内容通俗易懂,不涉及较深的数学原理和冗长的推导过程,内容详实并注重实际应用,有助于读者建立一个完整的系统概念。

全书共分10章,第一、二章分别介绍基带信号传输的原理和技术以及传输中的差错控制方法;第三章阐述了SDH的基本原理和功能;第四章介绍了数字微波传输中常用的数字调制技术;第五、六章对微波传输信道及其传输特性的补偿技术分别进行了说明和介绍;第七、八章介绍了常见的SDH微波通信系统和设备,并对实际的数字微波传输工程设计进行了说明;第九章阐述了光传输设备和相关的技术规范;第十章介绍了整个SDH微波通信网络的管理。

本书在技术论述上深入浅出,注重新技术的普及和应用,是作者多年教学经验和科研成果的总结。由于笔者学识有限,加之时间比较仓促,书中难免有错误和疏漏之处,恳请有关专家与广大读者批评指正。

在本书编写过程中,研究生黄永明、彭江龙、雷莉、李文龙等做了大量的工作,同时得到了南京邮电学院院系各级领导和同事的支持与帮助,在此一关表示衷心的感谢。

作 者

目 录

第一章 数字信号基带传输	1
第一节 基带传输码型	2
一、二元码	2
二、三元码	4
三、多元码	6
第二节 数字基带信号的功率谱	7
第三节 基带信号的波形形成	10
一、形成网络的一般形式	10
二、理想低通传输函数	11
三、余弦滚降传输函数	12
四、网孔均衡器	13
第四节 最佳基带系统的误码性能和眼图	14
一、误码性能	15
二、基带传输的频谱利用率	18
三、眼图	18
第五节 时钟恢复和相位误差	20
一、时钟恢复	20
二、相位抖动和漂移	22
第六节 时域均衡	26
一、时域均衡原理	26
二、均衡效果衡量准则与均衡算法	27
三、自适应判决反馈均衡器(ADFE)	29
第七节 扰码与伪随机序列	30
一、m序列的产生和性质	30
二、扰码与解扰码	33
第二章 差错控制编码和网格编码调制	35
第一节 差错控制编码的分类	35
一、数据错误的类型	35
二、差错控制方式	35
三、差错控制编码分类	36
第二节 分组码	36
一、分组码的基本参数	36
二、校验矩阵与生成矩阵	36
三、校正子	37

四、汉明码	37
第三节 循环码	38
一、循环码的特点	38
二、循环码编译码原理	39
三、编译码电路	39
第四节 BCH 码	41
第五节 交织码	43
第六节 卷积码	43
一、卷积编码器和网格图	44
二、维特比译码	45
三、自由距离(d_f)	47
四、删除型卷积码	47
第七节 纠错编码的性能	48
一、分组码的编码功率增益 G_c	48
二、卷积码的功率增益	49
三、频谱利用率保持不变时的功率增益	50
第八节 8PAM 网格编码调制	50
一、8 电平符号集的集分割	51
二、8 电平信号编码和 TCM 网格图	52
三、编码增益	53
第九节 检错编码	53
一、奇偶校验检错编码	54
二、循环冗余校验码(CRC)	55
第三章 同步数字系列(SDH)	57
第一节 准同步数字系列	57
第二节 复接原理	57
一、同步	58
二、码速调整	58
第三节 PDH 数字传输系统的局限性	61
一、准同步方式	61
二、复接方式	61
三、速率标准	62
四、智能化管理	62
第四节 SDH 的速率等级	62
第五节 SDH 复用原理	63
一、STM-1 的复用原理	63
二、STM-1 的帧结构及开销字节的定义	65
三、N 阶同步传输模块(STM-N)的帧结构和段开销	71
四、指针	71
五、常用 PDH 群路信号到 STM-1 的复用方法	75

第六节 SDH 传输网的分层	78
一、SDH 传输系统的组成	78
二、SDH 传输网分层模型	79
第七节 SDH 设备功能参考模型	79
一、功能块简述	80
二、终端复用设备(TM)	87
三、上/下路复用设备(ADM)	89
四、SDH 交叉连接设备(SDXC)	89
五、再生器	93
第四章 微波传输常用数字调制技术	95
第一节 多进制正交幅度调制(MQAM)	95
一、MQAM 信号和星座图选择	95
二、星座图选择	97
三、MQAM 调制方法	98
四、MQAM 调制的性能	99
第二节 相干载波恢复	103
一、QPSK 载波恢复环路	103
二、MQAM 载波恢复环路	105
三、载波恢复环路的主要技术指标	106
第三节 差分编码	108
一、差分编码原理	108
二、4PSK 信号的差分编译码	109
三、部分四进制差分编码	110
第四节 MQAM 电路组成	111
一、星座点的编码	111
二、调制解调器框图	112
第五节 纠错编码的相位透明性及其选用	113
一、纠错和差分编码的相对位置	113
二、纠错码的相位透明性	114
三、180°相位透明的卷积码	114
第六节 网格编码在 PSK 和 QAM 信号中的应用	115
一、8PSK 和 16QAM 信号的网格编码	115
二、多维 TCM 和删除型 TCM	117
三、网格编码 QAM 标准	120
第七节 多级编码调制(MLCM)	121
一、64QAM MLCM 的工作原理	122
二、多级编码调制的实现	122
三、系统性能分析	125
四、MLCM 的归类	125
第八节 64QAM 信号的 LEE 氏纠错编码	126

一、LEE 氏码的参数和编译码	126
二、LEE 氏码的相位透明性	128
三、QAM 中的应用	129
四、64QAM 八进制(84,81)LEE 氏码	129
第五章 微波传输信道	132
第一节 微波传播	132
一、自由空间传播损耗	132
二、视距传播距离与天线高度	133
三、大气折射和等效地球半径系数	133
四、反射波对收信电平的影响	135
五、反射损耗的频率选择性和二径模型	136
六、路径余隙和菲涅尔区	137
七、大气折射对反射点余隙的影响	139
第二节 传播衰落和系统瞬断率	141
一、传播衰落的分类	141
二、平衰落引入的系统瞬断率	142
三、频率选择性衰落的影响	142
第三节 射频波道的频率配置	144
一、射频波道频率配置方式	144
二、频率配置方式的性能比较	146
三、SDH 常用频段的射频波道配置	147
四、微波中继系统的频率配置	148
第四节 天馈线和收发信分并路系统	149
一、微波天线	149
二、馈线系统	151
三、收、发信波道的分并路	152
第六章 数字微波传输特性补偿技术	154
第一节 频域和时域均衡器	154
第二节 自适应频域均衡器(AFE)	154
一、AFE 的电路框图	155
二、补偿网络	155
第三节 二维时域自适应均衡	157
第四节 均衡器的均衡效果	158
第五节 波道备份和无误码倒换	159
一、倒换误码产生原因及克服方法	160
二、倒换电路的结构	160
三、N:1 波道备份系统	162
四、N:1 倒换系统的倒换程序	163
五、倒换系统技术指标	163
第六节 空间分集接收	164

一、空间分集信号的合成方式	165
二、最大功率合成和最大信噪比合成	165
三、分集接收天线的间距	168
四、空间分集接收的应用	168
第七节 非线性失真及其补偿技术	169
一、高功放非线性的表示方法	170
二、非线性指标的几种定义	171
三、微波功率放大器线性改善措施	173
四、自适应发信功率控制(ATPC)和自动电平控制(ALC)	175
第七章 SDH 微波通信设备和系统	178
第一节 STM-4 微波通信设备	178
一、终端站设备组成	178
二、中频调制解调器(IF Modem)	179
第二节 NEC 2000S SDH 微波通信设备	182
一、机架配置与端站设备	182
二、TRP-G150MB-900 型微波收、发信机	183
三、MDP-150MB-900 型中频调制解调设备	187
四、OAMP 单元	201
第三节 SDH 微波中继通信系统	203
一、系统组成	203
二、微波站业务和设备配置	204
第八章 SDH 微波通信系统工程设计	206
第一节 SDH 传输误码性能指标及其分配	206
一、SDH 误码性能参数	206
二、误码性能指标及其分配	207
三、PDH 和 SDH 性能指标的比较	209
四、可能性指标	210
五、SDH 系统运行的性能指标	212
第二节 基带信号接口标准	212
一、抖动和漂移指标	212
二、基带信号接口标准	214
第三节 中频数字调制、解调器相关参数	217
一、中频调制方式	218
二、中频频率	218
三、中频接口电平	218
四、中频接口阻抗	218
五、解调比特差错性能	218
六、相干解调器载波捕捉范围	218
第四节 微波收发信设备主要参数	218
一、发信功率	218

二、收信门限电平	219
三、微波收发信本振频率稳准度	219
四、收信噪声系数 N_F	219
五、微波收发信机中频 - 中频三阶交调失真 IM_3	219
六、收发信机中频 - 中频幅频特性	219
七、中频群时延特性峰峰值	220
第五节 SDH 微波通信系统性能估算	220
一、收信门限电平	220
二、收信电平	221
三、衰落储备	221
四、频率分集改善系数 I_{fd}	222
五、系统瞬断率	223
第九章 光传输通道	224
第一节 光传输设备的组成	224
一、光发送部分	225
二、光传输部分	228
三、光接收部分	229
第二节 光接口参数及其规范	230
一、光接口分类	230
二、标准光接口参数	231
第十章 SDH 微波通信网络管理	239
第一节 电信管理网	239
一、TMN 的物理组成	240
二、TMN 管理功能的多层模型	241
第二节 SDH 传输管理网(SMN)	242
一、SMN 的分层和对应的网管设备	242
二、网元层管理功能	243
三、网元管理层的功能	246
四、网络管理层的功能	248
第三节 SDH 管理网的数据传输	249
一、OSI 模型	249
二、SDH 管理网中的数据通信网和接口	251
三、以太网(Ethernet)	254
第四节 SDH 微波通信系统的网络管理	255
一、微波设备管理子网(RMS)的结构	256
二、射频网元管理实体 RP	257
三、网元管理层实体 SP	259
四、运行控制器(OPC)	263

第一章 数字信号基带传输

未经载波调制的数字信号叫数字基带信号。这种信号所占据的频带通常是从直流或接近直流的低频开始。不经过调制,利用数字基带信号进行传输,称为数字基带传输。与此对应,经过调制,将信号频谱搬移到某个载频能通过的信道中进行传输称为数字频带传输,又叫载波传输。

SDH 微波传输系统中的基带数字信号处理部分的工作原理可以用数字信号基带传输的理论进行分析。下面以 STM-1 微波传输系统的基带数字信号处理部分为例介绍基带传输的一些基本概念。假定数字信号处理器(DSP)后接 64 QAM 中频调制解调器。DSP 的电路组成见图 1-1。

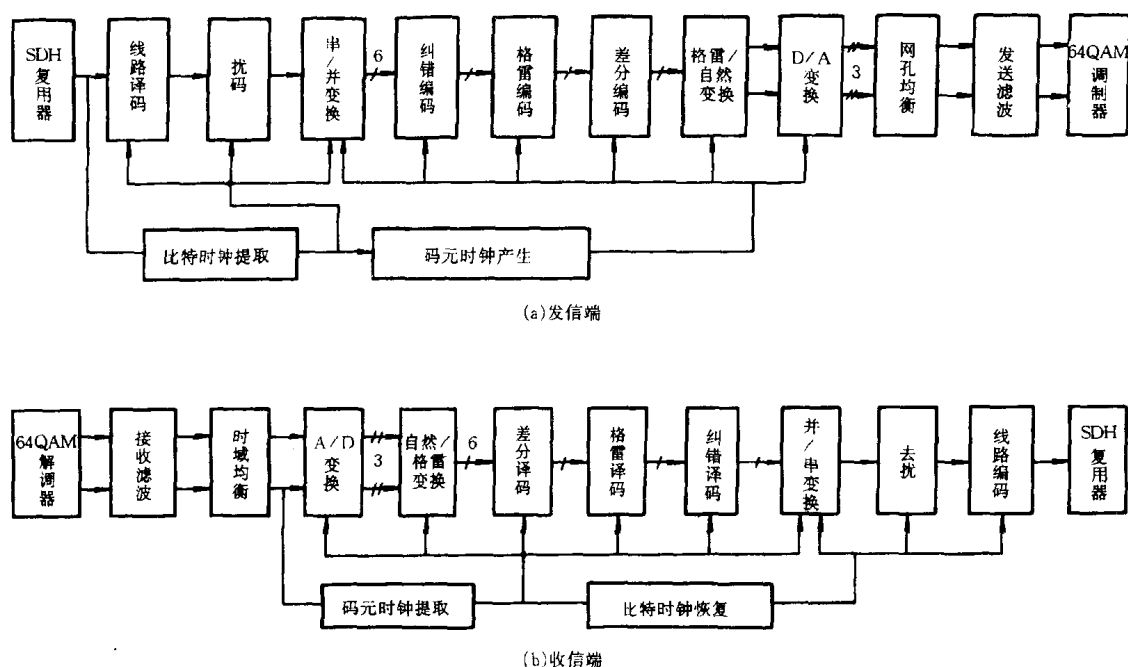


图 1-1 数字微波传输数字信号处理器

假定 STM-1 信号经电信号接口送入微波传输设备。SDH 信号也可能经光接口电路接入系统,此时线路译码电路应改为光/电变换电路。由 SDH 复用设备来的串行码流通常包含直流分量和丰富的低频分量。由于传输信道往往是隔直流的,这就需要设法去掉基带信号的直流分量。这个任务由线路编码器完成。ITU 规定 STM-1 的线路传输码型为编码传号反转码(CMI),其特性见后面的介绍。CMI 码进入线路译码器后,将被变换为适合电路处理用的不归零码(NRZ)。利用比特时钟提取电路从 CMI 串行码流中提出比特时钟,其频率应为 155.52MHz,供串行码流的处理用。码元时钟产生电路将从比特定信号中产生码元定时,供串行/并行变换电路及后续的并行数据流使用。扰码电路将信号数据流变换为伪随机序列,消除信号数据流中的离散谱分量,使其具有类似噪声序列的功率谱,使信号功率能均匀分布在所

分配的传输带宽内。

串/并变换将串行输入码流变换为 6 路并行输出码流,并行路数取决于所选用的调制方式。加入纠错编码以降低系统的误比特率(BER)。在有的系统中采用将纠错编码和调制融为一体的网格编码调制(TCM)方式时,此部分的结构会有所变化。格雷编码完成 6 位二进制码到格雷电平码的映射,采用格雷码传输可以得到较小的传输误比特率(BER)。由于 D/A 变换器一般只能进行自然二进制电平码到 L 个电平的变换,因此在 D/A 变换前,需进行格雷/自然码变换。插入的差分编码用于解决收端载波恢复的相位模糊问题。D/A 变换器将两组 3 位码变换成两路 8 电平信号发送至网孔均衡器。它将 D/A 变换器输出的持续期为 T_s 的多电平码元变换为窄脉冲,以满足系统传输函数 $H(\omega)$ 对输入脉冲的要求。系统传输函数由发送和接收滤波器联合组成,若假定中频和射频频段的滤波器都具有宽带传输特性的话,则 $H(\omega)$ 应具有余弦滚降特性,形成码间干扰为零的升余弦脉冲。收、发信滤波器应具有合理的分配,以限制传输噪声的影响。

收信端的时域均衡器用于校正信号波形失真。A/D 变换应包括抽样、判决和码变换三个过程,将多电平信号变换为自然二进制电平码。经抽样、判决可消除噪声的影响,抽样脉冲为码元时钟。抽样点应取为多电平眼图信号的最大张开点。这样可减少信噪比损失,降低 BER 。A/D 变换以后的信号处理过程为发信端的逆处理。

由图 1-1 可知,数字基带传输原理主要包括如下内容:基带信号的码型、波形设计、功率谱分析、基带系统的最佳设计、误码率计算以及均衡技术等问题。在下面各节中,我们将逐一讨论这些问题。此外,若将调制解调过程看作广义信道的一部分,则任何数字频带传输系统都可等效为基带传输系统。

第一节 基带传输码型

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。在二代码中, a_k 可取 0 或 1,在多元码中, a_k 可取 $0, 1, 2, \cdots, (L-1)$ 个电平值。二代码的传输速率用比特/秒(bit/s)来表示,此速率称为比特速率。多元码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。每个波特所含的信息量为 $\log_2 L$ 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型式称为数字信号的码型。数字信号的波形和码型共同决定着它的频谱结构。合理地设计数字信号的波形和码型,使之适应信道的要求,这是传输系统中两个十分重要的问题。

一、二代码

二代码的矩形脉冲幅度取值只有两种不同电平。图 1-2 给出几种二代码的码型图案。

1. 单极性不归零码(NRZ)

用高电平表示二代码的“1”,用低电平(一般为 0 电平)表示二代码的“0”,在整个码元周期 T_b 内电平保持不变,见图 1-2(a)。

2. 单极性归零码(RZ)

它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 ($\tau < T_b$),其余时

间返回低电平。若 $\tau/T_b = 50\%$, 则称其为 50% 归零码或半占空码。见图 1.2(b)。

3. 双极性不归零码(BPNRZ)

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_b 内保持不变, 见图 1-2(c)。在信码“0”、“1”等概时, 这种二进制码不包含直流分量。

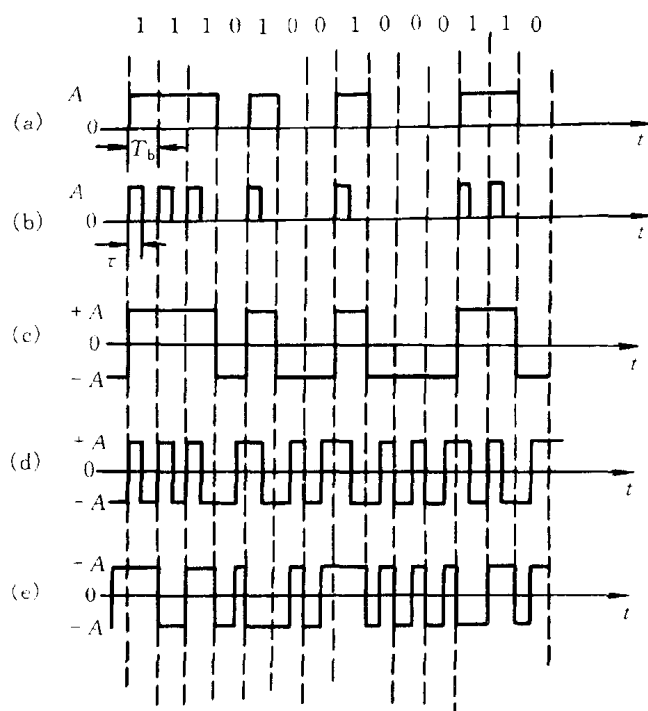


图 1-2 几种二元的码型

上述三种最简单的二进制码其功率谱 $W(f)$ 中有丰富的低频分量和直流分量, 如图 1-3 所示。这对于大多数采用交流耦合的有线信道和放大器来说是很不方便的。NRZ 码主要用于数字逻辑电路; BPNRZ 码不含有直流分量, 占用带宽较窄, 常用于载波调制, 可抑制载波分量。RZ 码含有比特速率的离散频率分量, 常用于比特时钟的提取。图 1-3 中未标出离散谱分量, 在给出功率谱图时, 还应假定比特序列为伪随机序列。

4. 分相码

分相码又称为数字双相码 (Manchester 码)。它的编码规则见表 1-1。这种编码方式实际上是将一位原始码用二位二进制代码表示, 所以称为 1B2B 码。其波形见图 1-2(d)。

分相码的优点是:

- (1) “0”、“1”成对出现, 没有直流分量。
- (2) “0”、“1”变化出现在每一原始码元中, 有利于位定时的恢复。

(3) 收端易实现误码监测。方法之一是用一个初始值“1”的累加器, 收到“0”码时减 1, 收到“1”码时加 1, 无误码时累加数只能是 0、1 或 2。超出范围表示有误码。

分相码的缺点是线路上传输的二进制码速率要提高一倍, 所需频带较宽, 适用于低速率的数据传输。

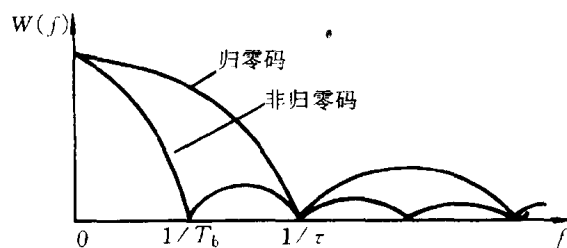


图 1-3 常用二元的功率谱

表 1-1

分相码编码表

原码	分相码
1	10
0	01

5. CMI 码

即编码传号反转码(Coded Mark Inversion),它也是一种 1B2B 码。表 1.2 给出其变换规则。CMI 码的主要优点是:①没有直流分量;②定时提取较方便;③有一定检错能力,因为在 CMI 码流中,只会出现“01”和交替的“00”、“11”。利用这一特点,可以检测部分误码。由于 CMI 码的上述优点,原 CCITT 已建议将其作为准同步数字序列(PDH)四次群和同步传输模块(STM-1)的接口码形。

表 1-2

CMI 码变换规则

原码	CMI 码
0	01
1	00 或 11 交替

从图 1-4 CMI 码的功率谱图中可以看出,这种码型的大部分能量都集中在低频处,主要能量集中在 $f_b/4$ 附近,对信道带宽的要求较低,而且具有 f_b 频率的离散谱分量(未标出)可用于时钟提取。

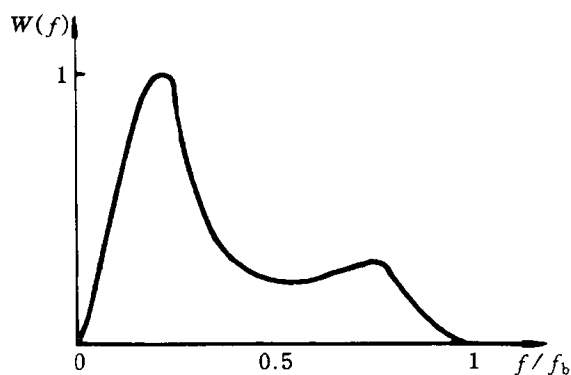


图 1-4 CMI 码的功率谱

二、三元码

在三元码数字基带信号中,信号幅度取值有三个: +1、0、-1。由于实现时并不是将二进制数变为三进制数,而是某种特定取代,因此又称为准三元码或伪三元码。它们的波形图见图 1-5。

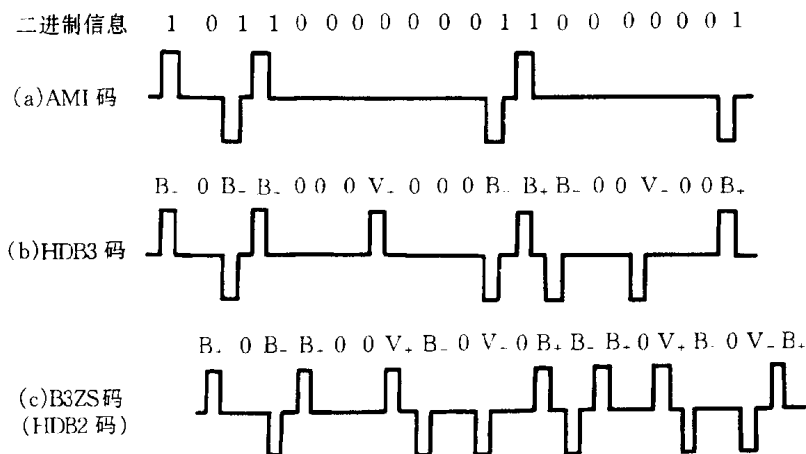


图 1-5 三元码波形

1. 传号交替反转码(AMI)

在 AMI 码中,二进制信息“0”变换为三元码序列中的“0”,二进制信息“1”则交替地变换为“+1”和“-1”的归零码,通常脉冲宽度为码元周期之半。理论分析表明,AMI 码的功率谱如图 1-6 所示,图上还画出二元双极性非归零码的功率谱,以相互比较。AMI 码的功率谱中无直流分量,低频分量较小,能量集中在频率为 $1/2$ 码速之处。具有这种频谱形状的信号易于用交流放大器处理。位定时频率(即码元速率)分量虽然为 0,但只要将基带信号经全波整流变为二元归零码,即可得到位定时信号。AMI 码具有检错能力,如在传输过程中因传号极性交替规律受到破坏而出现误码,则在接收端很容易发现这种错误。

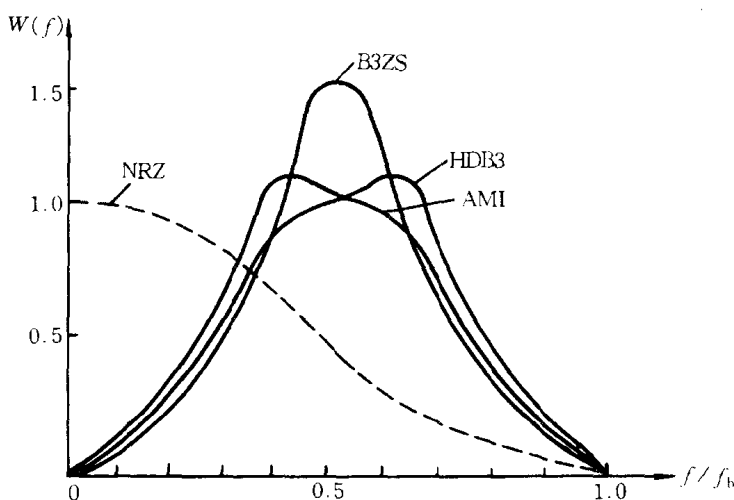


图 1-6 HDB₃ 和 AMI 码的功率谱

要注意的是,当信息中出现连“0”码时,由于 AMI 码中长时间不出现电平跳变,因而定时提取遇到困难。通常数字信号传输线路中不允许连“0”码超过 15 个,否则位定时就要遭到破坏,信号不能正常再生。解决连“0”码问题的一种有效办法是用特定的码组来取代固定长度的连“0”码,由此得到其它各种目前广为应用的三元码型。

2. HDB_n 码

HDB_n 码是 n 阶高密度双极性码的缩写。在 HDB_n 码中信息“1”交替地变换为 +1 与 -1 的半占空归零码,但与 AMI 码不同的是: HDB_n 码中的连“0”数被限制为小于或等于 n 。当信息中出现 $n+1$ 个连“0”码时就用特定码组来取代,这种特定码组称为取代节。为了在接收端识别出取代节,人为地在取代节中设置“破坏点”,在这些“破坏点”使传号极性交替规律受到破坏。

HDB_n 码是一种模态取代码,它有两种取代节:

$$\underbrace{B0\cdots0V}_{n+1\text{位}} \text{ 和 } \underbrace{00\cdots0V}_{n+1\text{位}}$$

其中 B 表示符合极性交替规律的传号, V 表示破坏极性交替规律的传号, V 就是破坏点。这两种取代节的选取原则是:使任意两个相邻 V 脉冲间的 B 脉冲数目为奇数。这样,相邻 V 脉冲的极性也满足交替规律,因而整个信号仍保持无直流分量。

HDB_n 码中应用最广泛的是 3 阶高密度双极性码,即 HDB₃ 码。在 HDB₃ 中每当出现 4 个连“0”码时用取代节 B00V 或 000V 代替。根据上述替代原则,可得到表 1.3。

表 1-3

取代节选择规则

前一破坏点的极性	+	-	+	-
4 连“0”码前一脉冲的极性	+	-	-	+
取代节码组	-00-	+00+	000-	000+
	B,00V ₊	B ₊ ,00V ₊	000V ₋	000V ₊

HDB₃ 编码波形示于图 1-5(b)中,它是在信息序列前一破坏点为 V₋,且它至第一个连“0”串前有奇数个 B 情况下得到的。HDB₃ 码的功率谱图形见图 1-6,CCITT 规定它是 PDH 三次群及低次群速率的接口码型。

3. B3ZS 码

B3ZS 码是 BNZS 码(N=3)时的一个特例。BNZS 是 N 连 0 取代双极性码的缩记。与 HDB_n 码相类似,BNZS 也是一种变形的 AMI 码。当连“0”数小于 N 时,遵从传号极性交替规律,但当连“0”数为 N 或超过 N 时,则用带有破坏点的取代节来替代。B3ZS 码有两种取代节:00V 和 BOV。这两种取代节的选取原则与 HDB_n 码相同,即任意两相邻 V 脉冲间的 B 脉冲数目为奇数。这种具有两种模态的 B3ZS 码实际上就是 HDB2 码,其编码波形见图 1-5(c)。B3ZS 码的功率谱仍然保留了 AMI 码的基本特点,即无直流分量且低频分量较小,如图 1-6 所示。B3ZS 已被定为同步数字系列子 STM-1(Sub-STM-1)速率的接口码型。

三、多元码

在实际应用中,常取图 1-1 中串/并变换输出的比特数大于 1,构成多元码的基带传输系统。采用多元码可提高每赫带宽传送的比特速率。下面以多元码的四电平码为例,说明多元码的组成,见图 1-7。我们一个传送周期内的数字信号称为码元,也称为符号。对于四电平码,每个符号有四种状态,编码规律见表 1-4。由波形图中可以看出,由于 $T_s = 2T_b$,所以每秒传送的符号数减少了一半,因此所需带宽也减少了一半。一般来说,L 电平传输时频谱利用率为二电平传输的 $\log_2 L$ 倍。

表 1.4 中格雷编码的特点是相邻电平所对应的二进制码只有 1 比特不同。多电平信号传输时,由于噪声影响,收端容易误判为它的相邻电平,按格雷码恢复为二进制码时,只错一个比特。如果采用自然二进制编码,则“01”对应“1”,“10”对应“2”,当“1”误判为“2”时,对应二进制码组的两个比特都错了。

表 1-4

四电平码编码表

四电平码	格雷码	自然码
0	00	00
1	01	01
2	11	10
3	10	11

图 1-7(b)中所示四电平码是单极性不归零码,实际上常采用双极性不归零码,如(c)图

中实线所示。例如取 $\pm 1, \pm 3$ 四种电平。通过限带系统后,接收端取样判决前的波形见图 1-7(c)中的虚线。若在正确时间取样,样值是四电平之一,其它时间则不然。

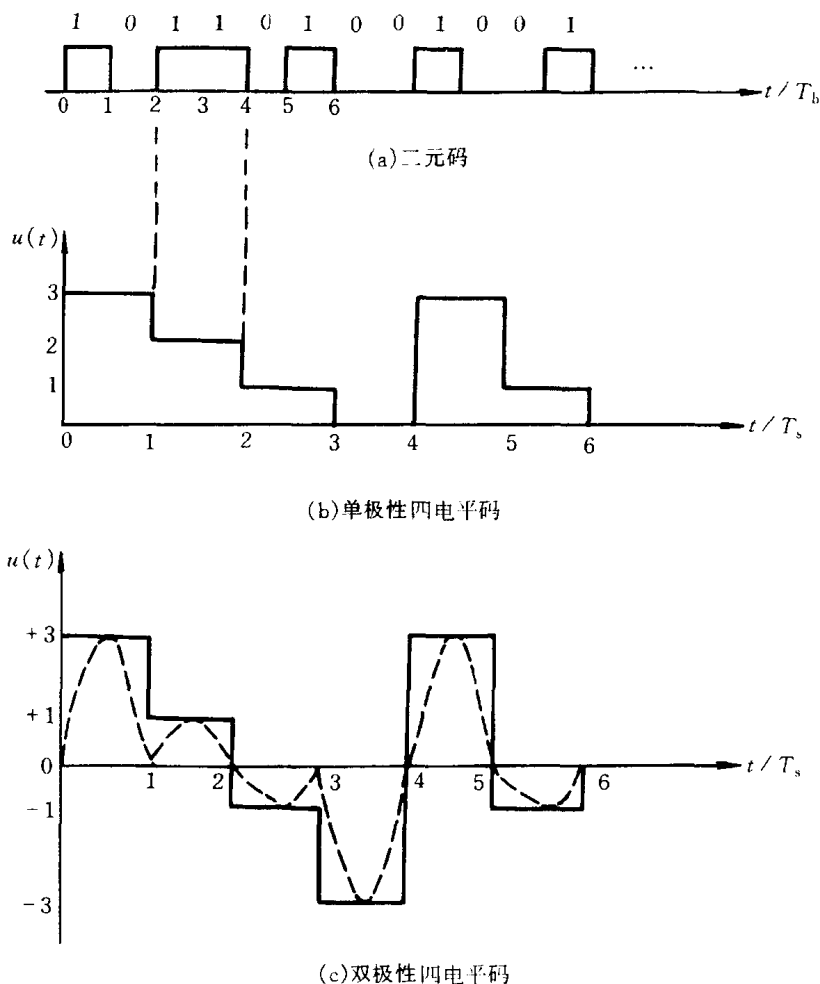


图 1-7 四电平码波形图

第二节 数字基带信号的功率谱

分析数字基带信号功率谱的目的,为的是了解信号能量在频域内的分布情况,以便确定信号应当占用的传输带宽,估计它对相邻信道的干扰等。这对于系统设计是不可缺少的。

数字基带信号的功率谱不仅与其码元波形有关,而且与码元序列的统计特性密切相关。对于任意给定的数字基带信号,要求取它的功率谱一般不是一件容易的事。为了方便数字基带信号功率谱的求取,需要假定信码序列是各态历经,广义平稳的随机序列。信源序列经扰码后,一般都满足这个假定。

基带信号的单个码元波形并非一定是矩形的,根据实际需要可以有多种形式,如升余弦脉冲等。假设 m 元信号 $S(t)$ 的各码元波形是 m 种可能出现的波形 $g_1(t), g_2(t), \dots, g_i(t), \dots, g_m(t)$ 之一,则该信号的数学表达式可写为

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g_{ik}(t - kT_s) \quad (1.1)$$