

数字电话通信

北方交通大学 杜国信 主编

高等学校试用教材



862088

高 等 学 校 试 用 教 材

数 字 电 话 通 信

北方交通大学 杜国信 主编
兰州铁道学院 隋作钊 主审

中 国 铁 道 出 版 社

1991年·北京

内 容 简 介

本书主要介绍数字电话通信的基本原理,内容包括:数字通信概论、抽样与量化、群路编解码、单路编解码、定时与同步、传输与再生、传输特性、高次群与复接及PCM与数字通信网。为适应教学要求,每章有小结及习题。

本书为通信专业试用教材,也可供从事有线通信与无线通信工作的科技人员参考。

高等学校试用教材

数字电话通信

北方交通大学 杜国信 主编

*

中国铁道出版社出版、发行
(北京市东单三条14号)

责任编辑 武亚雯 封面设计 王毓平

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 15 字数: 373 千

1991年4月第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,000册

ISBN7-113-00962-X/TN·39 定价: 3.00元

前 言

本书是根据铁路高等院校通信专业教学要求编写的，主要讲述数字电话通信（特别是脉冲编码通信）的基本理论、主要部件与系统构成的有关问题。

本书在讲清基本原理、概念和理论的基础上，兼顾反映本学科的最新科技发展水平，并适当拓宽一些有关数字通信专业的内容，增加了单路编解码、光纤数字传输系统、网同步、数字网与综合业务数字网及 CCITT 有关建议标准等内容。为便于教学，每章还设有小结、思考题与习题。

全书共分九章，内容包括概论、抽样与量化、群路编解码、单路编解码、定时与同步、传输与再生、传输特性、高次群与复接、PCM与数字通信网。全书教学时数约60学时，讲授过程中可根据先修课情况适当调整与选择各章内容。

本书由北方交通大学杜国信主编，并编写第六、八、九章，兰州铁道学院杨树润编写第二、四、七章及附录，上海铁道学院沈文涤编写第一、三、五章。

本书由兰州铁道学院隋作钊主审。北方交通大学、兰州铁道学院、上海铁道学院数字电话通信教学组成员对本书编写提出了不少建议，北京邮电学院、北方交通大学的同志参加了审稿会议，并提出宝贵意见，在此我们谨向他们表示深切的谢意。

编 者

一九八九年六月

目 录

第一章 概 论	1
第一节 数字通信的形成及发展.....	1
第二节 PCM通信的原理	9
本章小结.....	14
思考题与习题.....	15
第二章 抽样与量化	16
第一节 抽样与抽样定理.....	16
第二节 幅度量化及方法.....	25
第三节 非均匀量化的压扩特性.....	27
第四节 A律13折线压扩特性.....	31
第五节 μ 律15折线压扩特性	36
第六节 量化噪声.....	38
本章小结.....	44
思考题与习题.....	44
第三章 群路编解码	46
第一节 编 码.....	46
第二节 解 码.....	65
第三节 增量调制.....	72
本章小结.....	79
思考题与习题.....	79
第四章 单路编解码	81
第一节 单路编解码电路的发展.....	81
第二节 单路编解码基本原理.....	82
第三节 A律压扩特性编解码电路原理	84
第四节 实用单路编解码器.....	88
第五节 单路编解码器的应用和开发	102
本章小结	106
思考题与习题	106
第五章 定时与同步	107

第一节 定时系统	107
第二节 同步系统	124
本章小结	136
思考题与习题	136
第六章 传输与再生	138
第一节 数字信号传输	138
第二节 传输线路	155
第三节 传输码型	161
第四节 波形均衡与再生	165
本章小结	176
思考题与习题	176
第七章 通路传输特性	178
第一节 增益电平特性	178
第二节 衰减频率失真	179
第三节 信号总失真	180
第四节 空闲话路噪声	182
第五节 路际串话	183
第六节 交调失真	184
第七节 谐波失真	184
第八节 电平持恒度	185
第九节 回 损	185
第十节 误码率	186
本章小结	187
思考题与习题	187
第八章 高次群与复接	188
第一节 高次群系统构成	188
第二节 复接原理	190
第三节 同步复接	191
第四节 异步复接	195
第五节 高次群系统介绍	200
本章小结	207
思考题与习题	208
第九章 PCM与数字网	209
第一节 通信网概述	209
第二节 数字网	212
第三节 数字数据网	220

第四节 综合业务数字网 (ISDN)	223
本章小结	227
思考题与习题	228
附录	229
附录一 常用电平符号的意义	229
附录二 测量用数字正弦信号算法	231
参考文献	232
附录三	
附录四	
附录五	
附录六	
附录七	
附录八	
附录九	
附录十	
附录十一	
附录十二	
附录十三	
附录十四	
附录十五	
附录十六	
附录十七	
附录十八	
附录十九	
附录二十	
附录二十一	
附录二十二	
附录二十三	
附录二十四	
附录二十五	
附录二十六	
附录二十七	
附录二十八	
附录二十九	
附录三十	
附录三十一	
附录三十二	
附录三十三	
附录三十四	
附录三十五	
附录三十六	
附录三十七	
附录三十八	
附录三十九	
附录四十	
附录四十一	
附录四十二	
附录四十三	
附录四十四	
附录四十五	
附录四十六	
附录四十七	
附录四十八	
附录四十九	
附录五十	

第一章 概 论

数字通信是把原始消息（语言、文字、图像等）转化成简单的数字形式再传送给对方的一种通信方式。它主要包括数字电话通信和数字数据通信两大类。本章主要介绍数字电话通信的概念、原理、主要特点、多路复用的构成及脉冲编码调制（*Pulse Code Modulation*——PCM）通信基础群的帧结构，并简要介绍国内外数字通信发展的概况，以便为学习以后各章打下必要的基础。

第一节 数字通信的形成及发展

一、通信系统的种类

信息的传递是人类在改造自然、征服自然的社会活动中必不可少的工作。通常人们常用语言、文字、图像或编码等方式来传递各种消息，而信息就蕴藏在这些被传递的消息之中。通信系统的作用就是用来传递信息的。代表各种消息的语言、文字、图像或编码必须首先被转化成电信号后才能被传递至远端。所以电信号是消息的载体，而信息寄寓于消息之中。

用来传递消息的电信号有模拟信号和数字信号之分。模拟信号是指代表消息的电信号及其参数（幅度、频率或相位）随着消息连续变化的信号。它主要的特征是在幅度上连续，但在时间上则可以连续也可以是不连续的。例如语音信号、电视图像信号、温度信号等都是时间上连续的模拟信号，而脉冲幅度调制（*Pulse Amplitude Modulation*——PAM）信号、脉冲相位调制（*Pulse Position Modulation*——PPM）信号、脉冲宽度调制（*Pulse Width Modulation*——PWM或PDM）信号，这些都是时间上不连续的模拟信号。如图1—1所示。

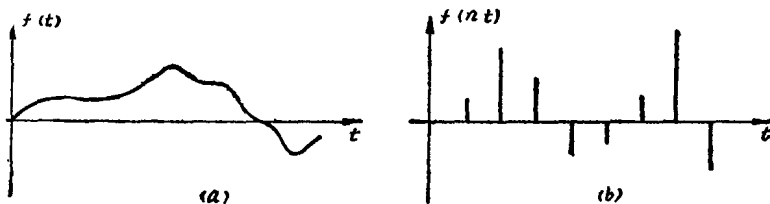


图 1—1 模拟信号

数字信号是指代表消息的电信号不仅在时间上是离散的，而且在幅度上也是离散的。例如电报、计算机输入输出信号、数据信号等。脉冲编码调制的数字电话信号也是数字信号。如图1—2所示。

在通信系统中，既然有模拟信号与数字信号之分，因此有模拟通信和数字通信两种系统。

（一）模拟通信

模拟通信传输的是模拟信号，传输模拟信号的信道称为模拟信道。模拟通信系统按其调

制方式不同可分为连续调制系统和脉冲调制系统。连续调制系统包括振幅调制(Amplitude Modulation——AM)系统、单边带(Single Sideband——SSB)系统、频率调制(Frequency Modulation——FM)系统,相位调制(Phase Modulation——PM)系统等;脉冲调制系统包括脉冲幅度调制(PAM)系统、脉冲相位调制(PPM)系统及脉冲宽度调制(PWM)系统等。

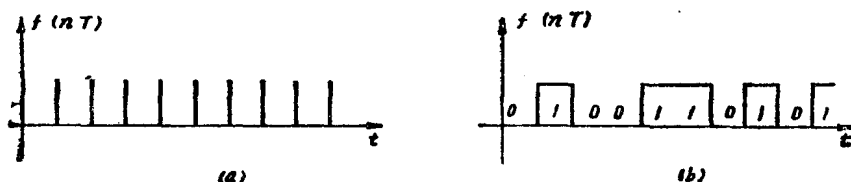


图 1—2 数字信号

为了扩大通信容量,提高信道的利用率,目前广泛采用多路复用的方法,即在同一个信道中同时传输多路信号。多路复用的方法在连续调制系统中多采用频率分割复用(Frequency Division Modulation——FDM),又称频分复用;在脉冲调制系统中,则采用时间分割复用(Time Division Modulation——TDM),又称时分复用。

1. 频分复用

模拟通信的频分复用原理如图 1—3 所示。

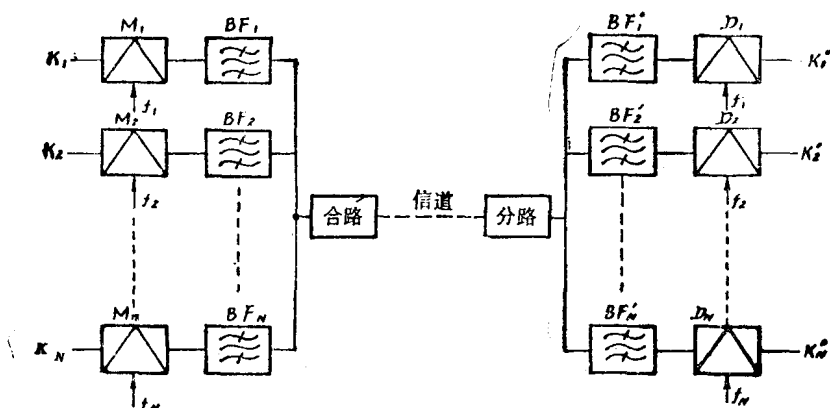


图 1—3 频分复用原理

发送端的音频信号 K_1 、 K_2 、……、 K_N 分别进入通路调制器 M_1 、 M_2 、……、 M_N ,并分别用不同的载频 f_1 、 f_2 、……、 f_N 进行调制。然后再分别用带通滤波器 BF_1 、 BF_2 、……、 BF_N 滤波,选取其中的一个边带(上边带或下边带),各路汇合后由合路器输出的是各路频率互不干扰的群信号,一般称为载波信号。在接收端,群路载波信号由各话路对应的分支带通滤波器 BF'_1 、 BF'_2 、……、 BF'_N 分路,选出与发端相应支路发送的频带,然后由解调器 D_1 、 D_2 、……、 D_N 分别解调,各解调器的载频分别与发端对应话路的载频相同。在解调器的输出端便可获得与发端基本相同的信号 K'_1 、 K'_2 、……、 K'_N 。

2. 时分复用

模拟通信中的时分复用原理如图 1—4 所示。

发送端的电子开关 S 和接收端的电子开关 S' 在同步信号的控制下严格按同样速度和相

同顺序进行同步旋转,即开关 S 接通 K_1 的瞬间,开关 S' 刚好接通 K'_1 ,依此类推。只要开关 S 和 S' 的旋转速度满足一定的要求(如通话转速要求为8000r/s),则发送端 K_1 发出的离散话音的中断现象将不会被接收端 K'_1 察觉,也就是说 K'_1 话路听到的话音仍然是连续的。

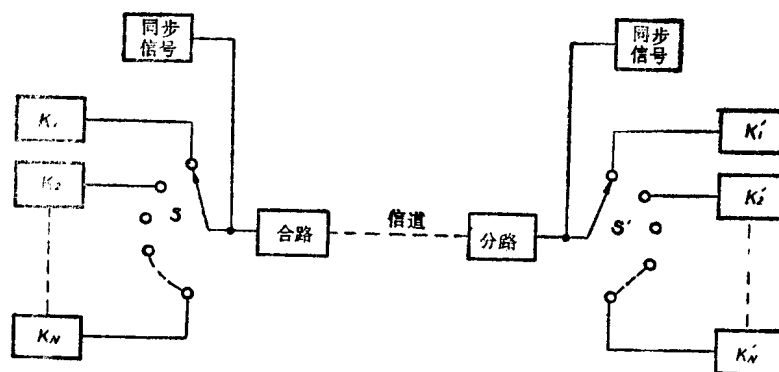


图1-4 时分复用原理

模拟通信方式目前在国内外仍然是一种主要的通信手段。但是随着社会发展的需要,通信容量将大大地增加,而且由于介入的各种干扰,对通信的可靠性和有效性也提出了越来越高的要求。另一方面,随着科学技术的发展,不仅人与人之间要进行通信,而且人与机器、机器与机器之间也要进行通信(例如计算机之间,宇宙飞船与地面站之间)。因此各类新型数字、数据业务必然发展很快,如数字电话通信、数字图像通信、电子计算机通信以及与信息处理相结合具有多功能的综合业务数字网(Integrated Service Digital Network—SDN)均将得到迅速发展。实现上述新型业务的首要条件就是通信数字化。鉴于以上原因,目前国际上通信的方式正在从模拟通信向数字通信发展,我国当然也不例外,所以迅速掌握数字通信技术已是当务之急,刻不容缓。

(二) 数字通信

数字通信首要问题是模拟信号的数字化,常用的方法是采用脉冲编码调制(PCM),这必须经过三个步骤。

1. 抽 样

所谓抽样是将幅度和时间均连续变化的模拟信号变成幅度仍然是连续,但时间上是离散的PAM信号,也就是将连续信号在时间上离散化的过程。模拟信号的抽样如图1-5。

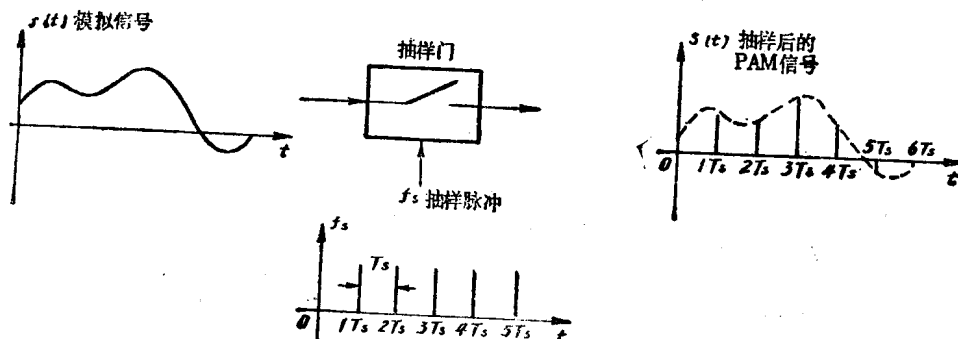


图1-5 抽样过程

被抽样的模拟信号 $f(t)$ 加至抽样门的输入端, 抽样门由一系列抽样周期为 T_s 的抽样窄脉冲控制。对应于每一个抽样窄脉冲, 抽样门输出一个幅度大小与连续模拟信号相对应的瞬时窄脉冲。简单地说, 就是从模拟信号 $f(t)$ 中取出“样品”, 或称“样值”信号。它是一种幅度连续、时间离散的脉冲信号, 即PAM信号。

如果取出的“样值”足够多, 那末这些“样值”信号的序列就可代表原来的模拟信号, 每秒钟所抽样值的多少由抽样频率 f_s 确定。抽样频率 f_s 的大小已由“抽样定理”作出了明确答复: 一个频带受限于最高频率 f_m 的模拟信号 $f(t)$, 只要使抽样频率按 $f_s \geq 2f_m$ 的速率进行抽样, 则样值信号序列就可以完全代表 $f(t)$ 。接收端只要将这些样值序列通过一个理想低通滤波器, 就可还原成原来的模拟信号 $f(t)$ 。例如话音频带为 $0.3 \sim 3.4\text{kHz}$, 抽样频率一般取 $f_s = 8000\text{Hz}$, 抽样周期为 $T_s = 1/f_s = 125\mu\text{s}$, 即每隔 $125\mu\text{s}$ 抽样一次, 一秒钟共抽样8000次。

2. 量 化

量化是对PAM信号的幅度进行分级、取整, 将每一个抽样瞬时值纳入某一临近的整数级。简单地说, 量化是把幅度连续的样值信号将其幅度离散化, 即化零取整的过程。

抽样后的PAM信号, 由于其幅度仍然是连续信号, 并代表着传输信号的大小, 所以它与模拟通信一样存在易受干扰的缺点, 故需将PAM信号转化成PCM信号, 即进行编码。但由于PAM信号的幅度是连续变化的, 它有无限多个取值, 如果直接变成数字信号, 则要求码组中的码位数无限多, 这在经济上是不可取, 技术上也是办不到的, 为此需要将PAM信号进行分档分级, 化零取整, 将PAM信号的幅度分成有限个数值, 这就是所谓量化过程。

量化所分的级别称为量化级, 量化级数的多少与编码方式有关。例如采用均匀量化(即各量化级之间的级差相等), 如果代表一个样值的码组是由2位二进制码元组成, 则可将输入的样值分成4种量化级; 用3位二进制码元可将样值分成8种量化级。每一个量化级称为一个量化单位, 用 Δ 表示。图1-6为具有8个均匀量化级 Δ 的示意图。

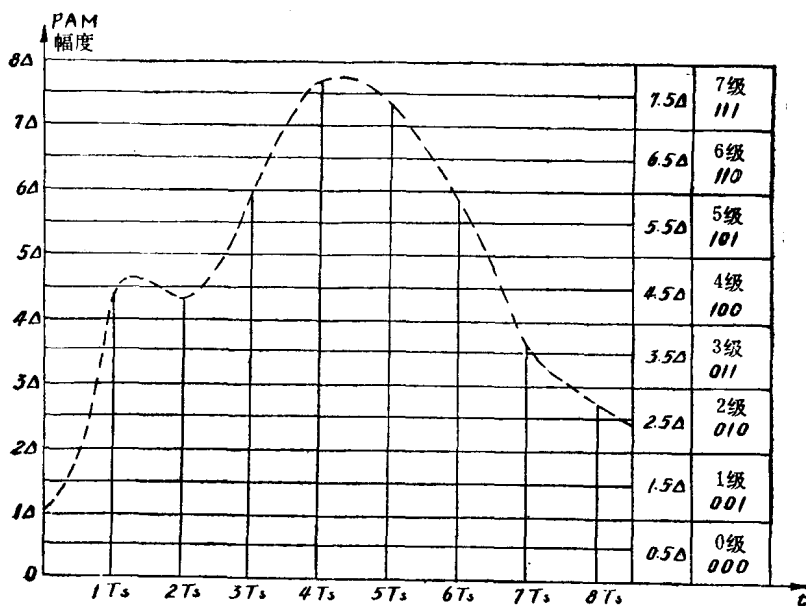


图1-6 均匀量化

由图可见, 8 个量化级的量化值均以每级的中间值表示, 即样值在 $0 \sim \Delta$ 之间时其值为 0.5Δ ; 样值在 $\Delta \sim 2\Delta$ 之间时其值为 1.5Δ ; 依次类推, 样值信号在其余各级的量化值分别为 2.5Δ 、 3.5Δ 、 4.5Δ 、 5.5Δ 、 6.5Δ 、 7.5Δ 。这样在 $0 \sim 8\Delta$ 的范围内共有 8 个量化值, 或称基准值, 输入的每一个样值信号, 都可以用与其邻近的某一个量化级的基准值来表示。图 1—6 中的 8 个样值其对应值分别为 4.5Δ 、 4.5Δ 、 5.5Δ 、 7.5Δ 、 7.5Δ 、 5.5Δ 、 3.5Δ 、 2.5Δ (从左至右)。

量化后由于对样值进行了取整, 即用量化值来代表原样值的幅度, 显然是有区别的, 这就必然会带来误差, 并称其为量化误差。量化误差反映在接收端即为噪声, 称为量化噪声。

由图 1—6 可见, 量化误差的最大值为 $\Delta/2$, 且各级均相同, 这对小信号是不利的。均匀量化的结果必然是小信号的信噪比小于大信号的信噪比。为了提高小信号的信噪比, 在均匀量化中唯一的办法是增加码位数, 以便增加量化级数。例如某样值信号幅度一定时, 用 7 位码可分成 128 个量化级; 若采用 11 位码, 则可分成 2048 个量化级。显然后者分级较细, 量化误差也较前者小, 所以小信号的信噪比得到提高。但码位数越多, 在相同的话路数下, 要求传输的码速越高, 对设备制造的技术要求也越高; 另外, 分级越细小信号的信噪比虽得到了改善, 然而大信号的信噪比也在提高, 这对原来信噪比就有富裕的大信号来说显然是没有必要的。

采用非均匀量化是提高小信号信噪比的有效方法。它的原理是把小信号的量化级分得细一点, 把大信号的量化级分得粗一些, 这样就提高了小信号的信噪比, 而大信号的信噪比则有一定的下降, 但从整个信号的动态范围来看, 仍有很大的提高。详细分析请看第二章的第三节。

3. 编 码

编码就是把量化后的脉冲样值按幅度大小变换成相应的二进制码, 形成 PCM 信号。此过程又称模/数变换 (A/D)。

图 1—6 中共分 8 个量化级, 用 3 位二进制码编码即可。对应各量化级的二进制码如图 1—6 所示。这里规定 $0 \sim \Delta$ 按零级量化, 编码为 000; $\Delta \sim 2\Delta$ 按 1 级量化, 编码为 001; $2\Delta \sim 3\Delta$ 按 2 级量化, 编码为 010; 依次类推, $7\Delta \sim 8\Delta$ 按 7 级量化, 编码为 111。

经过上述三个步骤之后, 模拟信号已转换成了数字信号, 根据需要可以在数字信号中加入密码, 然后经过码型变换将数字信号变换成适合于信道传输的码型送到对方, 对方接收到传输的信号后, 再经码型反变换 (若发送端加密的话, 还需经过解密), 变成与发端编码器输出相同的数字信号。然后送至解码器恢复成表示样值的 PAM 信号, 再通过一只低通滤波器即可重新获得与发端相似的模拟信号。图 1—7 表示了数字电话通信系统的示意图。

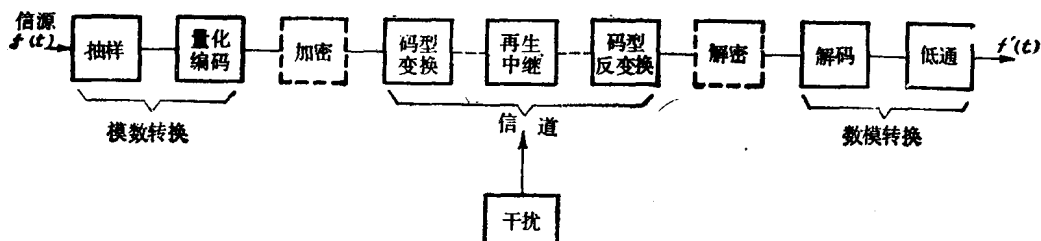


图 1—7 数字电话通信系统

数字信号在信道中传输时, 会产生传输衰耗, 容易受工业和其它通信设备干扰、以及电

磁波引入的干扰等影响。为了确保通信的可靠性,每隔一定距离需安装再生中继器。

此外,在数字通信中,由于数字信息序列是按一定的节拍传输的,因此发与收两端的节拍必须一致,否则就会出现混乱。另外,发送的数字信息序列常常是编组的,在接收端必须知道这些编组的头尾,否则就无法把收到的信息序列恢复成原来的消息。所以在数字电话通信系统中必须设有“定时及同步”电路(图中未画出)。

在数字通信中,多路复用主要是采用时分复用方式。它是将时间分成一个个小段(时间间隔),称为时隙(Time Slot—— TS),数字化了的模拟信号,每个用户(信源)占用一个指定的时隙,在规定的时间内依次接通信道。如图1—8(a)所示。这里的 TS_1 为第1路通话时间, TS_2 为第2路通话时间,……,当所有各路都分配一次通话机会后,再进行第2轮的依次通话,依次往复。PCM将每循环一次的总时间即32个时隙的时间和称为一帧,每一帧的时间 T_s 必须符合抽样定理的要求,对于话音信号来说 T_s 就是 $125\mu s$ 。

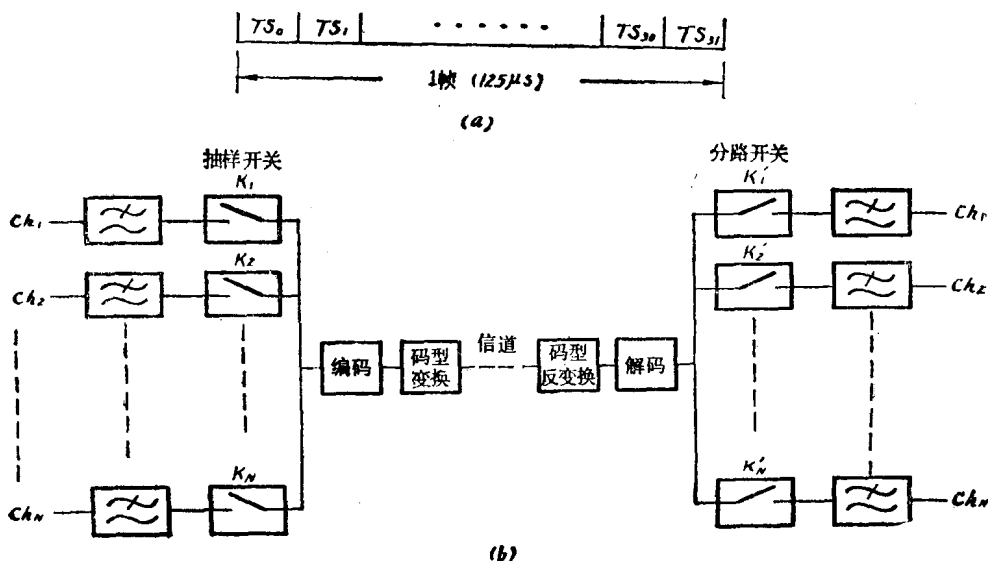


图1—8 PCM数字电话时分复用

PCM数字电话时分复用结构如图1—8(b)所示。各话路话音信号通过低通滤波器将话音信号的频带限制在 3.4kHz 以内,然后由抽样开关 $K_1 \sim K_N$ 分别抽样,抽样周期 T_s 为 $125\mu s$ 。各路的抽样脉冲在时间上是依次错开的,在 $125\mu s$ 时间内,各话路依次被抽样一次,因此各话路互不干扰,达到了时间分割的目的。然后将各路抽样后的PAM信号送至群路量化编码设备进行量化、编码和码型变换后最后送往信道。在接收端首先将收到的数字信号进行码型反变换,再经解码还原成PAM信号,然后通过分路开关 $K'_1 \sim K'_N$ 把各个话路分开,分路开关的开关速度与发端抽样开关相同,并且同步工作,因此抽样开关 K_1 对第1路的抽样值必然通过分路开关 K'_1 进入第1路低通滤波器,在输出端恢复成与发端相似的模拟话音。其它各路在定时及同步电路的控制下依次接通,完成多路复用的任务。

在数字通信网中,为了充分利用信道的传输能力,扩大通信容量,提高经济效益,常常需要把若干个低速数字信号合并为一个高速数字信号(高次群),然后通过高速信道传输,数字复接就是指的这种数字信号的合并。这部分内容将在第8章中详述。

由于数字通信的优越性,近二十年来,数字通信的业务量越来越大,其内容不仅有电

话、数据、还有电视、图像等等，因此，各种各样的数字终端机越来越多，这就迫切地要求建立越来越大的国际统一标准的数字通信网。各种通信业务通过数字化后，都可以按同样的数字形式出现在通信网中，随着大规模及超大规模集成技术的迅速发展，尤其是光纤通信的实现，数字程控设备的采用，以及数字电子计算机的广泛应用，将可使大量的业务能在同一个数字网中传送，有利于建成综合业务数字通信网ISDN。这部分内容将在第九章中详述。

二、数字通信的主要特点

与模拟通信相比较，数字通信有如下几个主要优点。

(一) 抗干扰能力强

电信号在传输过程中必然会受到各种噪声的干扰。对模拟信号来说，干扰信号形成的噪声是叠加在模拟信号上的，噪声和原信号难以分开。在增音站中随着信号的放大，噪声也被放大了，而且噪声的影响将随着增音站的增加而累积。数字通信系统传送的是二进制数字脉冲信号，其信息不是包含在脉冲波形之中，而是包含在脉冲的有无之中，只有当噪声干扰幅度的绝对值在抽样时刻超过某个门限值时，才有可能改变信号的值，即从“有”变成“无”（1—0）或从“无”变成“有”（0—1）。因此数字信号比模拟信号抗干扰能力强。

微小的干扰不足以使数字信号产生误码，而且在传输过程中还可以利用再生中继器将传输过程中受到的噪声干扰加以消除，再生出无噪声干扰的纯洁的信号波形。因此噪声干扰在传输过程中不会积累。

此外，对数字信号还可以进行抗干扰编码，进一步提高传输的可靠性。

(二) 易于加密，保密性强

数字信号的加密比较方便，不需要很多复杂的设备，只需要用简单的逻辑电路就行。图1—9为数字信号加密示意图。

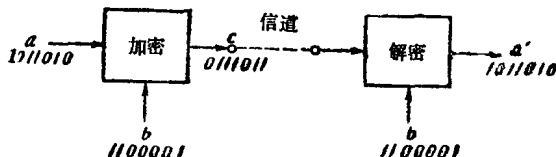


图1—9 数字信号加密

图中 $a = 1011010$ 为已编码的数字信号， $b = 1100001$ 为密码信号，加密电路若是采用异或门电路构成，则加密器输出的信号经“模二加”运算后 $c = 0111011$ 。经信道输送至对方后的已加密信号 c 与密码信号 b 在解密器中再进行一次“模二加”运算，即可恢复成原来的数字信号 $a' = 1011010$ 。

(三) 灵活性高，有利于多种信息的传输和交换

数字通信中，电话、电报、图像和数据等各种信号都可以首先经过数字化，然后利用时分复用原理将数字信号拆散，穿插在一起传输。通信过程中，通信系统对数字信号的传输进行监视，控制所用的信号与所传输的代表消息的信号其形式与处理方法都是相同的。数字信号传输技术还可以与空分或时分交换技术结合起来组成统一的综合业务数字通信网 ISDN。它能对来自各种不同信息源的信号进行变换、综合、传输、处理、储存和分离，实现各种业务的综合，它还便于插入和分支，使用非常灵活方便。

(四) 可以方便地与现代数字计算机连接

由于数字通信中的二进制数字信号与数字电子计算机所采用的数字信号完全一致，所以数字通信线路可以很方便地与电子计算机连接，实现复杂的、远距离的、以计算机为中心的计算机通信网。

（五）设备简单、经济、便于集成

数字电路主要由电子开关和逻辑电路构成，它没有像模拟通信那样需要大量高质量的滤波器及深负反馈放大器等设备。所以数字电路比模拟电路容易集成化，可采用中、大规模甚至超大规模的集成电路，制成体积小、功耗低、重量轻、成本低的设备。

数字通信的主要缺点是占用的信道频带宽。以数字电话为例，一个话路的模拟电话约占4kHz带宽，若采用PCM系统传输时，抽样频率为8kHz，用8位二进制码元编码，则数码率为64kbit/s。通常数码率愈高，所需信道的频带也愈宽，根据奈奎斯特第一准则，一个话路的数字信号约占32kHz带宽，远大于模拟带宽4kHz。其它业务的数字信号与模拟信号相比，也有同样的缺点。不过随着频带压缩技术的应用和宽带传输线路的发展，这一缺点将可以逐步得到解决。

三、数字通信的发展及应用

早在1835年，莫尔斯发明了电报机，不久电报通信就迅速普及，至1858年开通了大西洋海底长距离电缆国际通信业务。当时人们对通信的概念就是以电报为代表的数字通信方式。

直到1876年，贝尔发明了电话机，才开始有直接传送原始消息的模拟电话通信。1906年真空电子管发明以后，电话通信得到了迅速发展。到三十年代已进入了以载波电话为主体的模拟通信全盛时代。

1937年英国的A·H里维斯在PAM和PPM的基础上提出了PCM方式。1944年贝尔研究所按照PCM理论用电子管电路进行了基础实验研究，并在1946年采用编码管编码和压扩器完成了96路实验性设备，以12路为一群，实装24路，在微波线路上试验。但由于电子管的缺点很难克服设备体积大、功耗大、成本高、传输可靠性差的问题，因此PCM通信没有获得迅速发展。

1948年晶体管问世后，贝尔研究所重新加强了对PCM通信设备的研究，并于1962年制成了晶体管的PCM-24路设备。此后一些通信发达的国家也先后开始对PCM设备进行研制。发展很快。

PCM通信方式开始用于小容量短距离的传输，尤其是用于扩充市话中继线的容量。除此以外，目前各国已逐步开始在长途通信中采用长距离大容量的PCM设备。

数字通信主要利用电缆和光缆进行传输，近年来光纤与光缆数字通信发展很快，不仅在市话中继网上大量采用多模短波长光纤开通PCM一次群（30路）或二次群（120路），而且已发展到大容量系统（单模长波长光纤），并在长途通信中使用。如美国1981年架设的第一条光纤长途路由费城至波士顿，全长983km，采用多模光纤线路。在一对光纤上可开通44.7Mbit/s、672路PCM电话，在一条光缆内可同时传送8万个话路。同时从1980年开始进行1.3μm单模光缆系统的现场试验，其最大中继距离64.9km，432Mbit/s、全长约340km，并计划在东部和西部另新建两条长距离光缆通信干线；英国1981年也建成了140Mbit/s、1.3μm的单模光缆系统74km，并计划数年内建成15条光纤通信线路。从1982年开始已不再新建同轴电缆和新增添模拟载波设备，只建光缆，传输140Mbit/s的1920路PCM，同时正在研制560Mbit/s的设备，预计到1992年全部实现数字化；西德在1985年前主要发展多模光缆数字通信，现已开始在7个城市进行“光岛”试验工程，计划接入干线网；日本在1982年完成了长为480km、400Mbit/s、中继距离为20km的1.3μm单模光缆数字通信系统；法国正在比

利亚茨兴建一条能为用户提供可视电话、电视会议电话、可视数据、彩色电视等服务项目的
光纤数字通信网络，并计划到1993年实现全部长途通信数字化。

我国于六十年代初期已开始对PCM通信进行研究，并先后试制出基群样机。七十年代初，邮电部的十多个省局已普遍试制了基群设备，并开始了对二次群和三次群的研究。目前我国除PCM基群系统外，在对称电缆和微同轴电缆上传输PCM120路二次群的设备已经研制完成，480路三次群系统以及1920路四次群系统也已研制成功。近年来也已积极开展光纤通信系统的研制工作，已建立了短波长光缆作为市话中继线路，传输8Mbit/s的PCM120路二次群。并正在试验开通速率为34Mbit/s的PCM480路三次群和140Mbit/s的PCM1920路四次群系统。今后光缆将成为国内传输数字的主要信道，新建的数字通信系统不再使用同轴电缆作为信道。

各国在发展数字通信中，目前的主要动向是：

(1) 不断研制新的数字设备。采用高速大规模超大规模的集成电路制成模块，进一步使设备小型化、降低功耗、降低成本、提高可靠性。

(2) 研制更大容量的PCM系统。国外已试验了传输速率为560Mbit/s的7680路五次群PCM系统，并结合光纤通信向更高次群发展。如日本正在研制速率为1600~2000Mbit/s的超大容量系统，有上万个话路。

(3) 积极开展数字通信基本理论和基本技术的研究。如数字信号处理技术、编码技术、数字传输技术、数据压缩技术以及其它新技术的研究。

(4) 积极开展数模兼容技术的研究。因为目前无论是国内还是国外，主要的通信任务仍然是由模拟通信系统担当的。模拟通信向数字通信的过渡需要有一定的时间，这就需要解决模拟通信与数字通信兼容的问题，即在模拟信道中传输数字信号、在数字信道中传输模拟信号。目前国外正在普遍研制TDM/FDM复用设备，有些国家如法国、美国、日本等国已基本上研制成功，我国也正在积极研制中。

第二节 PCM通信的原理

上一节介绍了通信系统的种类、数字通信的组成、特点以及数字通信发展的概况。这一节将着重讨论PCM通信的数码率及原理，并以PCM30/32路终端机的框图为例，进一步介绍它的整机结构、各主要部件的作用，以便使读者建立一个整体的概念。

一、PCM30/32路基础群的数码率

为了求得PCM30/32路基础群的总数码率，必须首先了解其帧结构。通常将每次循环复接的一组数字时隙或数字信号称为帧。所谓帧结构就是指一帧内的时隙分配。PCM30/32路基础群有帧和复帧之分，下面分别说明之。

(一) 帧结构

为了正确无误地传送频率为0.3~3.4kHz的话音信号，根据抽样定理，每秒钟必需抽样8000次，即每隔125μs抽样一次，每个样值编为8位二进制码。在PCM30/32路系统中，每传送一个8位码组实际上只占125μs/32=3.91μs，称为一个“时隙”(TS)，每位码占3.91μs/8=0.488μs。在125μs(1帧)时间内，每一话路轮流传送8位码组一次。所以一帧由32个

时隙组成, 分别记作 TS_0 、 TS_1 、 TS_2 、……、 TS_{31} , 其中 $TS_1 \sim TS_{15}$, $TS_{17} \sim TS_{31}$ 为话路时隙共30个, 供通话用, TS_0 为帧同步时隙, TS_{16} 为标志时隙, 故通常记为PCM30/32。各时隙的安排如图1—10所示。

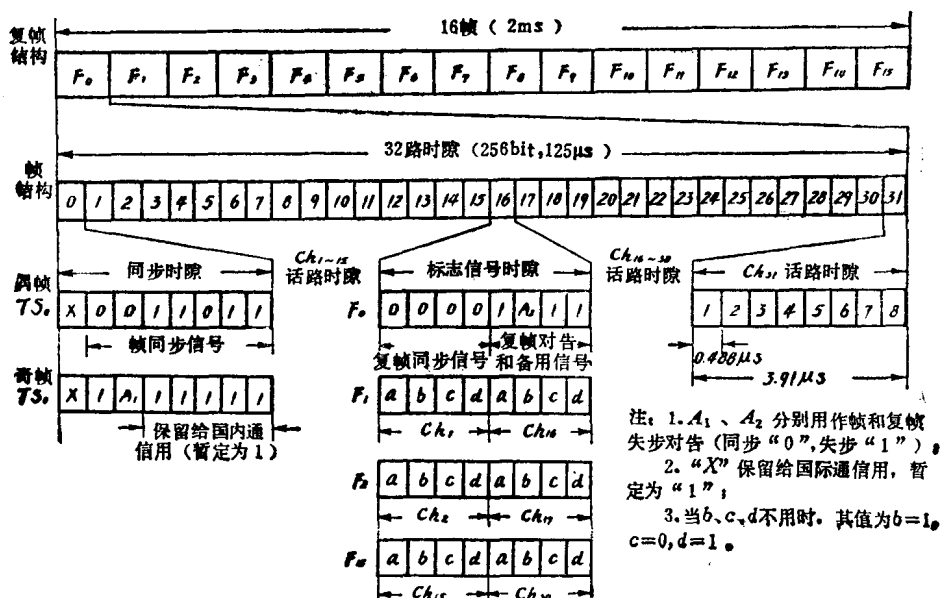


图1—10 PCM30/32路帧结构

1. 话路时隙

话路时隙分别发送30个话路的8位码组。其中 $TS_1 \sim TS_{15}$ 分别传送第1~15话路; $TS_{17} \sim TS_{31}$ 分别传送第16~30话路。每个路时隙由8位二进制码元组成, 每个码元称为一比特(bit)。

2. TS_0 时隙

偶数帧 TS_0 时隙的第2~8位码发送帧同步码组, 以便使收发两端同步工作。第1位码供国际通信用, 不用时暂定为“1”。

奇数帧 TS_0 时隙的第3位码 A_1 为失步对告码, 收发两端同步时发“0”, 失步时发“1”; 第2位码是奇帧监视码, 固定为“1”, 以避免在奇数帧 TS_0 时隙的第2~8位出现假同步码; 第4~8位码为国内通信用, 暂定为“1”; 第1位码是供国际通信用, 暂定为“1”。

3. TS_{16} 时隙

此时隙是用来发30个话路的标志信号的, 一般情况下, 传送一个话路的标志信号用4位码就足够了, 虽然发送30个话路的标志信号只用一个 TS_{16} 时隙中的8位码肯定是不够的。那末, 30个话路的标志信号又是如何被发送的呢? 这需要引出“复帧”的概念。

(二) 复帧结构

标志信号的频率是很低的, 没有必要每秒也抽样8000次, 实际上抽样频率每秒500次就足够了, 也就是说每个话路的标志信号只要每隔16帧传送一次就可以了, 30个话路的标志信号在16帧中被轮流传送一遍, 即每16帧重复一次。因此每16帧又称为个“复帧”。复帧中的各帧从0~15顺序编号, 记作 F_0 、 F_1 、……、 F_{15} 。因为复帧的抽样频率是500Hz, 所以