

脉码调制原理

杜声孚 谢柏青 芦淑华 编著

人 民 邮 电 出 版 社

1-4/12

2420
257

脉 码 调 制 原 理

杜声孚 谢柏青 芦淑华 编著



4012730

内 容 提 要

本书主要介绍脉冲编码调制(PCM)通信原理和基群设备。书中对脉码调制中的主要过程——抽样、量化、编解码、帧同步等作了全面、深入地分析。此外,还结合一种PCM30/32端机介绍了基群设备的工作原理、电路组成和联试方法。全书共分十章。第一章为脉码调制通信概述,对脉码调制通信原理、工作过程、通信体制作了全面介绍。第二~七章分别介绍脉码调制通信中的基本过程:抽样与量化、编解码、定时与同步等。第八章介绍一种PCM30/32路基群端机。第九、第十章分别介绍了基群端机主要指标的测试方法和专用测试仪器。

本书可供从事数字通信的技术人员、工人和有关院校通信专业的师生参考。

脉 码 调 制 原 理

杜声孚 谢柏青 芦淑华 编著

•

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

•

开本: 787×1092 1/32 1983年5月第一版

印张: 16 页数: 256 1983年5月河北第一次印刷

字数: 365千字 插页: 2 印数: 1—7,300册

统一书号: 15045·总2687-有5282

定价: 1.60元

前 言

脉冲编码调制通信，也简称为脉码调制通信，这是一种数字通信方式。它的原理提出较早，但由于受到当时元件等的限制，因此发展较缓慢。近十多年来，由于对大容量信息高速传输的需求日益增长，加上固体器件、集成电路和毫微秒脉冲技术的发展，脉码调制通信也得到了迅速发展。当前，它是现代数字通信技术中最重要的方式之一。

前几年，我们在研制脉码调制通信的基群设备时，感到为了促进我国数字通信事业的发展，需要为广大读者提供一本较深入地阐述脉码调制通信基本原理及其基群构成原理的书籍。在此目的指导下，我们编写了这本书。同时我们考虑到，由于现代科学技术的飞速发展，脉码调制基群设备的变化也是迅速的。为此，本书用了较大篇幅讲述脉码调制的基本过程和原理。以使读者在掌握其基本原理方面有所裨益。

本书由杜声孚、谢柏青同志执笔。芦淑华同志参加了第五、七章的编写工作。书中有关基群设备的部份是在北京大学数字通信研究小组研制工作的基础上写成的，书中介绍的一些电路及调试方法反映了集体研制的成果。同时也参阅了其它的国内外资料。

由于我们水平有限，本书错误之处难免，切望读者批评指正。

编著者

一九八二年一月于北京
大学无线电电子学系

4012730

目 录

第一章 脉码调制通信概述	(1)
第一节 脉码调制通信方式	(1)
一、基本原理	(1)
二、时分复用和复用体制	(5)
三、脉码调制通信的特点	(11)
第二节 脉码调制数字电话基群端机	(14)
一、基群端机的构成	(14)
二、脉码调制数字电话通信质量的评定	(19)
第二章 抽样与保持	(25)
第一节 抽样定理	(25)
第二节 抽样保持系统的组成	(29)
一、发端的抽样门及保持电路	(30)
二、收端的分路门及保持电路	(32)
第三节 实际的抽样电路	(34)
一、二极管抽样门	(35)
二、三极管抽样门	(38)
三、场效应管抽样门	(42)
四、抽样门的精度分析	(44)
第四节 抽样系统的误差分析	(54)
一、折叠噪声	(54)
二、孔径效应	(55)
三、路际串话	(57)
第三章 话音信号的量化	(61)
第一节 均匀量化	(61)

一、量化失真功率的计算	(61)
二、均匀量化	(65)
第二节 非均匀量化	(69)
一、非均匀量化的特点及基本方法	(69)
二、非均匀量化的量化失真功率	(73)
三、最佳编码律	(75)
第三节 实际的非均匀编码律	(78)
一、对数编码律	(78)
二、折线编码律	(99)
第四节 量化过程中其他的误差因素	(114)
一、解码器输出值不准确	(114)
二、编码器中判定值不精确	(116)
三、比较器存在模糊区	(117)
四、信号相对于编码律的零点偏差	(120)
五、非均匀编码中的误差分配	(124)
第五节 时间离散信号的量化	(126)
一、量化误差波形的功率密度谱	(127)
二、通过PCM系统的量化失真功率	(128)
第四章 语音信号的编码	(133)
第一节 概述	(133)
一、编码码型	(133)
二、编码过程简介	(136)
第二节 话音编码器	(142)
一、并列型编码器	(143)
二、逐次反馈型编码器	(146)
三、折叠级联型编码器	(152)
四、混合型编码器	(164)
五、计数型编码器	(169)

第三节 语音信号的极性处理	(172)
一、直流偏置法	(172)
二、全波整流法	(173)
三、使用两个比较器的方法	(176)
四、双极性判定值法	(177)
第四节 比较器	(182)
一、比较器的主要指标	(182)
二、语音编码器中使用的比较器	(184)
三、加有自动稳零电路的比较器	(190)
第五章 语音解码器	(192)
第一节 概述	(192)
第二节 解码器电路原理	(196)
一、解码网络	(196)
二、开关电路	(213)
三、恒流源	(218)
四、极性翻转电路	(223)
第三节 解码器精度的讨论	(227)
一、解码网络精度分析	(228)
二、极性翻转电路精度分析	(237)
第四节 几个有关问题	(245)
一、证明误差理论中的几个公式	(245)
二、解码网络的基本形式	(248)
第六章 定时系统	(252)
第一节 发端定时系统	(252)
一、时钟脉冲发生器	(254)
二、位脉冲发生器	(256)
三、路脉冲发生器	(260)
四、时隙及复帧脉冲发生器	(263)

第二节 收端定时提取	(265)
一、谐振槽路提取方式	(265)
二、锁相方式	(273)
第三节 脉冲抖动对通信质量的影响	(286)
第七章 帧同步系统	(290)
第一节 概述	(290)
一、帧同步的实现方法	(290)
二、对帧同步系统的要求	(292)
第二节 帧同步系统电路原理	(294)
一、PCM-24路基群终端机帧同步系统	(294)
二、PCM-30/32路基群终端机帧同步系统	(299)
第三节 帧同步系统的理论分析	(310)
一、帧同步信号的选取	(311)
二、平均同步恢复时间	(325)
三、同步丢失的平均时间间隔	(332)
四、利用等概模型对单极点码组情况进行计算	(334)
第八章 脉码调制基群端机整机分析	(343)
第一节 端机的总体概述	(343)
一、基本特性	(343)
二、帧结构与复帧结构	(344)
三、话路特性	(345)
四、数字接口特性	(346)
五、供电电源与工作环境	(347)
第二节 音频终端	(347)
一、二、四线转换装置	(347)
二、发送话路	(348)
三、接收话路	(353)
第三节 发送端机	(356)

一、群放、整流、折叠级	(356)
二、二次抽样与保持电路	(368)
三、逐次反馈编码电路	(371)
四、比较器	(377)
五、自动稳零电路	(382)
六、汇总电路	(386)
七、线路编码器	(389)
第四节 接收端机	(398)
一、均衡放大与信码再生	(400)
二、同步系统	(408)
三、解码器及解码检测电路	(420)
四、分路门电路	(425)
第九章 PCM基群终端机的联试与主要指标的测试 ..	(430)
第一节 PCM基群终端机的调整步骤与方法	(430)
一、发送端机的调测	(431)
二、接收端机的调测	(439)
三、发、收联调及对主要技术指标的测试	(446)
第二节 PCM基群终端设备主要技术指标的测量 ..	(448)
一、信号总失真比	(448)
二、增益随输入电平的变化	(451)
三、净衰减频率特性	(453)
四、回波损耗(反射衰减)	(455)
五、路际串话	(456)
六、空闲话路噪声	(457)
七、交调失真	(458)
八、谐波失真	(459)
第十章 PCM基群终端机专用调测仪器	(461)
第一节 数字信号发生器	(461)

一、数字信号发生器的基本功能	(461)
二、基本原理	(462)
三、数字信号发生器电路构成	(467)
四、数字正弦信号的信号失真比理论分析	(472)
第二节 极性误码测试仪	(484)
一、极性误码测试仪的基本功能	(484)
二、基本原理及电路构成	(484)
附录一 A律13折线编码表 ($A=87.6$)	(493)
附录二 常用电平符号的意义	(495)
参考资料	(499)

第一章 脉码调制通信概述

通信系统的作用是用来传送消息的。如果是利用终端设备把消息变成电信号来传送,那就是电通信。按照代表消息的电参量的取值方式可以把信号分为两类:一类称为模拟信号,又称连续信号。其特点是信号电压(电流)取值是连续的时间函数。如电话机送出的话音信号、摄像管产生的图象信号就属此类。另一类是数字信号,又称离散信号。它们只能有有限个离散的取值。如电报用的数字和文字、遥控指令等。传送这两类信号的系统就是模拟通信系统和数字通信系统。此外,模拟信号也可以通过数字化的手段变成数字信号传送,这就是模拟信号的数字通信。将模拟信号数字化的方法有很多种,如脉冲编码调制(简称脉码调制,缩写为PCM)、增量调制(ΔM)、差分脉码调制(DPCM)等。其中脉码调制是发展最早,目前有广泛应用的数字通信方式。本章将对脉码调制通信的工作原理、特点、体制及脉码调制基群终端的构成等基本问题作一介绍。使读者在深入各章内容前,有个整体轮廓了解。

第一节 脉码调制通信方式

一、基本原理

用脉码调制方式进行通信的一个首要问题是把时间连续,取值连续的模拟信号转换成时间离散,取值离散的数字信号传

送。这个数字化过程包括“抽样”、“量化”、“编码”等几个主要步骤。下面以单路电话语音信号的数字化过程为例说明：

首先是抽样，它是把连续语音信号变成时间离散信号的过程。把信号接到由电子开关构成的抽样门上，在抽样脉冲的控制下，抽样门每隔 T_s 秒短促地闭合一下。每闭合一次，抽样门输出一个窄脉冲，这就完成了一次抽样。窄脉冲的幅度正是话

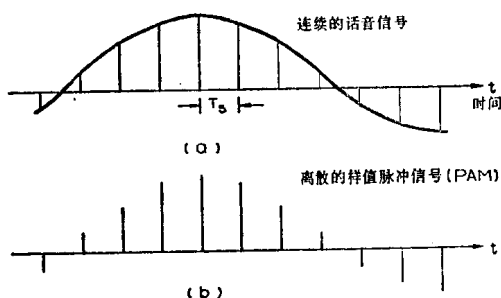


图1-1 抽样过程

音信号在抽样时刻的瞬时幅值，故称此脉冲为语音信号的样值。依次抽样的结果，抽样门输出一周期为 T_s 秒的样值脉冲序列。

这就是通过抽样完成的把连续语音信号变成时间离散信号的过程，可参看图1-1所示。

显然，抽样也可看为一个脉冲调幅过程，被调制的脉冲载波是周期为 T_s 的等幅脉冲信号，调制信号就是输入的语音信号。因此，抽样门输出的样值脉冲序列即可称为脉冲调幅信号（PAM）。

可以想到：只有抽取的样值足够“密”时，才能用离散的样值脉冲序列恢复出原语音信号而不致丢失信息。也就是说，要恰当地选择抽样周期 T_s 或抽样频率 $f_s = \frac{1}{T_s}$ 。例如在图1-1中，由于抽样频率选择的足够高，由此所得的10个样值的包迹是可以显出原信号的波形的。但假设将抽样频率降低为原来的1/6，那么在同样这段时间里就只有两个样值，是不可能重现原信号波形的。适当的抽样频率要根据语音的频谱来确定。

目前，语音抽样频率都定为8000Hz。其道理由抽样定理来证明。

抽样后，已得到时间离散化的PAM信号，但幅度取值仍是连续的，因此还要完成幅度取值的离散化。这就是“量化”的过程。具体说来，在信号幅值的取值范围内，按一定的规则分为若干层，称为量化级。每个量化级都用一个量化值（如取为该层的中间值）来代表。PAM信号落到那一量化级中，其幅值就转换成代表该级的量化值。例如，把信号的取值范围——称为工作范围均匀地分成16个量化级，分段电平称为判定值。若工作范围是正负对称的，判定值可表为 $-8, -7, \dots, -1, 0, 1, \dots, 7, 8$ 等数。在0到1这一级的量化值就取为 $\frac{1}{2}$ ，1到2这一层量化值就取为 $1\frac{1}{2}$ ，……依此类推，如图1-2所示。这样量化后的信号仍是PAM信号，但其幅值只能是所规定的量化值之一，因而完成了幅度取值的离散化。

在量化的过程中，由于把一层内信号的幅值都取成同一个量化值，这类似于数学中把非整数取整，或“四舍五入”的过程，必然会产生误差。我们把原值与量化值之差称为量化误差。量化误差的大小与量化级间隔有关。在工作范围一定的情况下，分级愈多则愈密，量化误差就愈小。

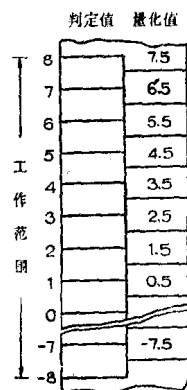


图1-2 量化级和量化值

经过抽样、量化之后，模拟话音信号已完成了在时间和幅值上的离散化，即转换成了数字信号。但这种数字信号并不适于直接传送。这是由于，尽管PAM信号幅值是量化的，但仍可以有很多种取值。直接传送这种信号，在接收端就很容易被判错。所以并不传送量化后的PAM信号，而是把每个样值所

取的量化值编成一组二进制数字来传送，这就是“编码”。大家知道，在二进制中只有“0”和“1”两个数字，如果用 n

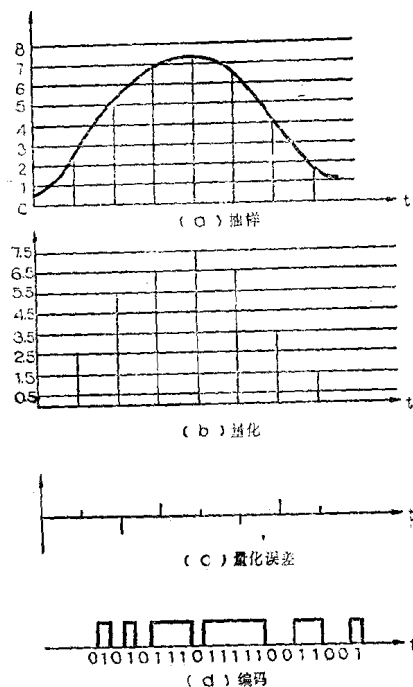


图1-3 语音信号的数字化过程

个二进制数字（简称用 n 个比特，每一比特即代表一个二进制数字）就可以表示 2^n 个不同的数值，或 2^n 种不同的状态。譬如用三个比特为一组，就可有000, 001, 010, ……111等 $2^3 = 8$ 种状态。因此，如果量化级数选为 N ，且 $n = \log_2 N$ 是个整数，那么 N 种量化值中的每一个都可用一组由 n 个比特组成的信号来代表，这组比特也称为码字信号。采用一定的编码规则，量化的PAM信号又转化为一组组二进制的码字信号，即

称为PCM信号。在图1-3中示出了语音信号的数字化过程。

传送PCM信号只需要传送“0”和“1”两种数字，在电路上可以用脉冲的“有”和“无”（或称“传号”和“空号”）来实现。因此传到收端后，很容易被正确地判别出来。在作长距离传送时，由于受到衰减和各种干扰也可使数字信号的波形产生较大的失真，但可以在适当的距离间隔上设置再生中继器，以对信号进行放大，整形，然后继续向下传送。这样就可以做到在整个传输的过程中，传错的比特数占很小的比例，

从而保证了较高的传输质量，这正是数字通信方式所特有的优点。

在收端收到了PCM信号以后，又如何恢复成原来的模拟信号呢？这里也有与发端相对应的解调过程。首先是“解码”，即根据所收到的二进制码字信号，先恢复出所对应的量化值。解码器的输出就是量化了的PAM信号，它们和发端的PAM信号相比存在着量化误差。PAM信号经过低通滤波器滤去话音频带外的分量，从而将脉冲平滑成连续信号，它和发送的模拟话音信号基本上是一致的。

根据上述的脉码调制通信方式的简述，可以画出一个脉码调制数字电话系统示意图如图1-4所示。需要注意：这是一个

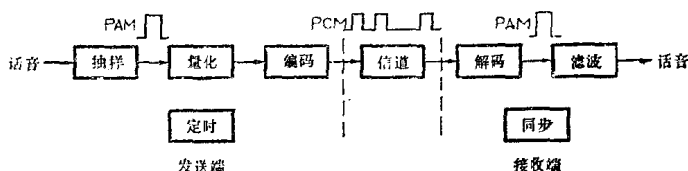


图1-4 PCM单路电话示意图

单路的电话系统，但收、发两端也要作到相互同步，以便把收到的二进制PCM码按一组组的码字信号分开，这就是图1-4中同步系统的作用。

二、时分复用和复用体制

实用的通信系统多是多路化的。所谓多路化或多路通信，就是指把多个不同信源所发出的信号组合成一个群信号，并经由同一信道进行传输，在收端再将之分离并被相应接收。为了在最经济的基础上充分利用信道的传输能力，扩大通信容量，多路化是在通信技术中极为重要的一环。如当前的长途通信基

本上都是多路通信。

最常见的多路复用体制有两类，一类是频分多路通信系统

(FDM)，另一类是时分多路通信系统(TDM)。对于频分制来说，每路话音信号经过不同频率的载波调制后，各占有不同的频带。各话路间留有防护频带，以使频带互不重叠，可以同时传输线上，如图1-5(a)所示。载波电话就是这种体制。

在时分多路系统中，各路信号是轮流在不同的时刻传输，而所占的频带相同(即占有整个信道的频带，如图1-5(b)所示)。对脉码调制的数字电话来说，采用时分多路通信是很适合的。

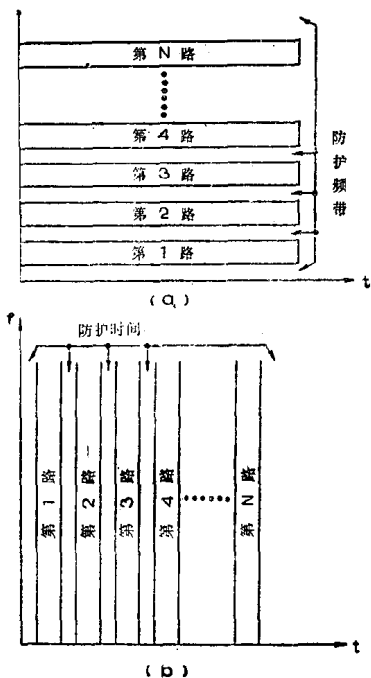


图1-5 频分多路与时分多路

的。上面已提到，对于每路话音信号的抽样频率为8000Hz，也就是每隔 $1/8000=125\mu s$ 抽一次样，但抽出的样值脉冲很窄，只占这段时间中很小的一个时隙。因而完全可以在其余的时间内插入若干路的话音样值脉冲。对由此形成的群PAM信号进行编码并传输这个串行的PCM码流，从而实现了脉码调制时分多路通信。

为形象地说明上述过程，在图1-6中画出一个示意图。设想在发、收两端有一对互相同步的旋转开关K和K'。它们的旋

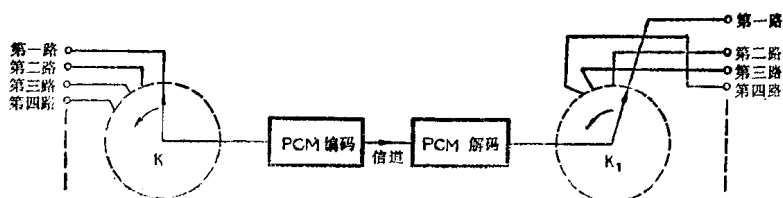


图1-6 脉码调制时分多路通信系统示意图

转速度都是每秒8000转，每转一圈用 $1/8000=125\mu\text{s}$ ，这段时间称为一帧。 K 和 K' 每旋转一圈都顺序接通 N 个话路，所以每个话路每隔一帧时间就被接通 $125/N\mu\text{s}$ ，并在此间隙内被抽样。由于各话路顺序接通，使各路样值按顺序合成为群PAM信号，在编码后送往信道传输。在收端解码后又还原为群PAM信号。由于 K 和 K' 是严格同步的，当 K 接通发端的第1路（或第2路，第3路……）时， K' 也总是接在收端的第1路（或第2路，第3路……）上。从而使群PAM信号按相应的话路分开接收。

为了使发端第 i 路话音信号准确地送到收端第 i 路而不是其它的话路上。作到下述两种同步十分重要： K 和 K' 的旋转速度要严格一致，这称为时钟同步或码元同步；以及 K 和 K' 的瞬时位置总是接在相应的话路上，此称为帧同步。在实际的脉码调制系统中，开关 K 和 K' 的作用将分别由抽样门和分路门来完成，还要采用特殊措施达到收、发两端的时钟同步和帧同步。如由发端在一帧中安排一个间隙发送专门的帧同步码，在收端提取到帧同步信号后，就可以实现收、发双方的帧同步。而时钟同步的实现则可以由信息码中提取同步信号实现。

现在要问：在一对传输线上可以传送多少路PCM数字电话呢？为分析这个问题先看一下传送路数与码率的关系。码率就是指在传输信道上每秒所传的二进制数字即比特数，单位为比