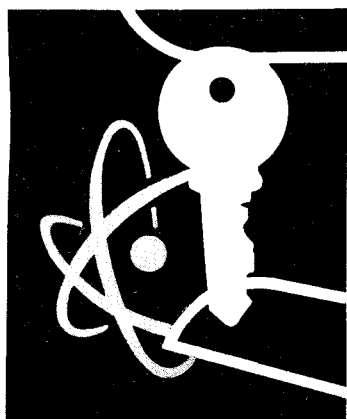


中国电子学会电子技术自修班教材

微波接力通信

郑继禹 主编



宇航出版社

内 容 提 要

本书是电子技术自修班的教材之一。考虑到自修，本书尽量不采用高等数学，对各种必要的概念、术语都加以解释。本书主要内容为：微波接力通信的基本原理与概况、微波通信中常用的几种调制与解调、微波通信设备（包括收/发信机、天线和馈线等）、微波通信中的复接技术、监控系统、微波传播，以及具体的120/300路微波接力通信系统实例介绍。

本书可作为从通信专业的工作者自修、培训班教材、无线电专业的大中专教师、学生参考及广大电子爱好者自学读物。

中国电子学会电子技术自修班教材

微波接力通信

主编 郑继禹

责任编辑：沈 宏

*

宇航出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

一二〇一工厂印刷

*

开本：787×1092¹/₃₂ 印张：14 字数：316千字

1990年元月第1版第1次印刷 印数：1—5000

ISBN7-80034-276-0/TN·016 定价：6.40元

《中国电子学会电子技术自修班
培训教材》编委会

主 编 隋经义
副主编 王明臣 沈成衡 宁云鹤
编 委 高坦弟 陈 忠 刘学达
段玉平 左万昌 赵文续
张道远 李 军

编 著 者

郑继禹(主编) 赵家宾 敖发良
杜家聪 张德琨 谢盛尧 严锁柱

前 言

电子科学技术是一门发展迅速、应用广泛的现代科学技术。目前电子技术已经渗透到国民经济各个部门，以及人民生活的各个方面，电子技术应用的深度和广度，已经成为衡量一个国家现代化的重要标志。

电子科学技术日新月异的发展及其广泛应用，极大地鼓舞了广大青年学习电子技术的热情，为了满足广大青年渴求知识的强烈愿望，更好地普及电子科技知识，我们在全国内举办了电子技术自修班。

目前举办的第四期电子技术自修班开设收录机、电视机、录像机、微型计算机的原理和应用、微波接力通信、卫星通信和移动通信七个专业。各个专业共同学习的基础课有初级无线电数学、电工基础、低频电路原理、高频电路原理，每个专业各有一门专业课。这些课程的教材是适应学员自修的要求，聘请有关院校的教师和科技人员编写的。在编写过程中他们参考了学会普及部举办培训班使用的教材，总结了以往编写教材的经验，并吸取了已结业三期自修班的教师和近26万学员对教材的意见后进行了修订，力求使这套教材能适应学员以自学为主的特点，做到通俗易懂，便于接受。

在如此广阔的范围内举办这样的自修班还是第一次，缺乏编写自修教材的经验，虽经修订而不足之处仍然在所难免。我们恳切希望使用这套教材的学员、辅导教师以及其他读者能够

提出宝贵意见，以便今后加以改进。

预祝自修班学员们取得优异成绩。

中国电子学会普及工作部

1989年7月

目 录

第一章 微波接力通信概述	(1)
第一节 通信的概念.....	(1)
第二节 什么是微波接力通信.....	(10)
第三节 微波接力通信系统的构成.....	(16)
第四节 微波线路的频率设置.....	(21)
第五节 历史与发展.....	(24)
复习题.....	(25)
第二章 微波电话通信原理	(27)
第一节 多路电话通信概述.....	(27)
第二节 频分多路复用方式.....	(30)
第三节 脉冲编码调制.....	(37)
第四节 增量调制(ΔM 调制).....	(49)
第五节 时分多路复用.....	(60)
复习题.....	(65)
第三章 模拟微波通信的调制与解调	(67)
第一节 调频制微波通信概述.....	(67)
第二节 调频原理.....	(73)
第三节 发信中频调制器.....	(82)
第四节 收信中频解调器.....	(88)
第五节 解调过程中的噪声性能.....	(94)
复习题.....	(106)

第四章 数字微波通信的调制与解调	(108)
第一节 数字信号及其特征.....	(108)
第二节 数字信号的基带传输.....	(121)
第三节 数字信号的幅度调制与解调.....	(133)
第四节 数字信号的相位调制与解调.....	(137)
第五节 数字信号的频率调制与解调.....	(146)
第六节 几种调制解调方法的误码率.....	(151)
复习题.....	(152)
第五章 天线与馈线系统	(153)
第一节 天线的基本参数.....	(153)
第二节 微波接力通信中的常用天线.....	(160)
第三节 馈线的主要形式与特性.....	(166)
第四节 馈线元件.....	(174)
复习题.....	(177)
第六章 微波接力通信中的收发信机	(178)
第一节 概述.....	(178)
第二节 数字微波发信机.....	(200)
第三节 数字微波收信机.....	(223)
复习题.....	(255)
第七章 微波接力通信中数字复接技术	(257)
第一节 数字复接的概念.....	(257)
第二节 同步复接.....	(260)
第三节 定时系统.....	(270)
第四节 同步技术.....	(282)
第五节 异步复接.....	(295)
第六节 三次群准同步复接举例.....	(302)
复习题.....	(309)

第八章 微波接力线路的监控系统	(310)
第一节 监控系统概说.....	(310)
第二节 监控系统的基本功能.....	(313)
第三节 控制线路.....	(320)
第四节 监制信号.....	(322)
复习题.....	(332)
第九章 微波接力线路的电波传播、设计与测试	(334)
第一节 微波传播.....	(334)
第二节 线路设计与站址选择.....	(354)
第三节 微波接力系统的测试.....	(362)
复习题.....	(387)
第十章 微波接力通信设备实例介绍	(388)
第一节 2GHz 120/300 路调频微波接力通信设备 ...	(388)
第二节 2GHz 32/120路PCM 数字微波接力设备 ...	(409)
第三节 8GHz 480 路数字微波接力设备	(423)
复习题.....	(434)
附 录 传输单位	(435)

第一章 微波接力通信概述

第一节 通信的概念

通信就是把消息从一地传送到另一地。通信的方式很多，古代有烽火台、驿站、金鼓、旌旗，现今有书信、电话、电报、传真、广播、电视等。其中电话、电报、传真与广播、电视等属于用“电”来传递消息的通信方式，称之“电信”。它几乎可在任意的通信距离上实现迅速、有效、准确的消息传递，因而获得非常广泛的应用与发展。

在电通信中，待传递的消息有各种不同的形式，常见的有符号、文字、语言、音乐、数据、图片、活动画面等。除按照消息种类不同，分类外，人们又常按照传递消息的手段或传输媒质来分类。据此通信可分为两大类：一类是有线通信，即消息传递是用导线作传输媒质来完成的通信方式。这里的导线可以是架空明线、电缆、光缆与波导等；另一类为无线通信，它是利用无线电波或光波在空中传播来传递消息，例如新闻广播与电视就是利用无线电波来传送话音与图象消息的单向通信方式。按照使用的无线电波的波长与手段的不同，将无线通信细分，又有短波通信、散射通信、微波接力通信、卫星通信、移动通信等。

一、最基本的通信系统

实际上，无论何种通信方式，把消息从一地(称之发送端)

传递到另一地(称为接收端)的点对点之间单向通信总是最基本的。这种基本通信系统可用图1-1加以概括。图中发送端的信息源的作用是把某种形式的消息转换成原始电信号,例如话筒把话音转换成话音电流,摄像机把图象转换为视频信号。为了使电信号适合在信道(传递电信号的通道)中传输,还需要对原始电信号用发送设备来完成某种变换,然后再送入传输信道。传输信道就是前面所指的有线、无线等形式的传输媒质。在接收端,接收设备的功能与发送设备相反,它将从接收到的信号

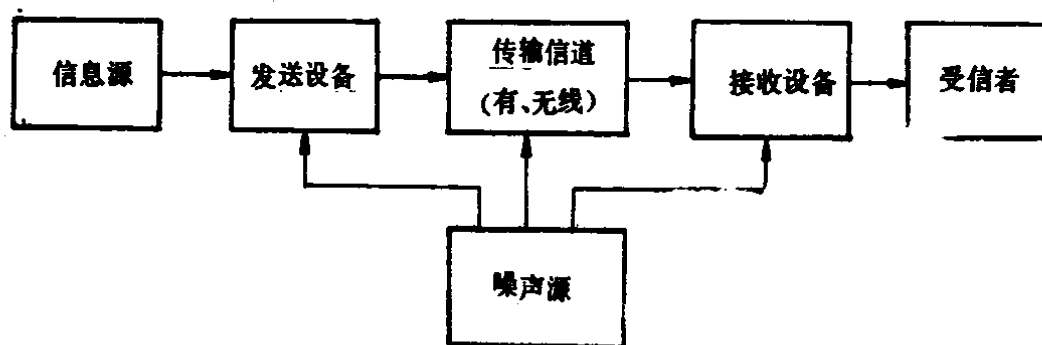


图1-1 基本的通信系统模型

中恢复出发送端的原始电信号,并经某些换能器件将电信号反转换为原始的消息。例如受话器、耳机或扬声器就是简单的电-声转换器。图中的噪声源,是存在于传输信道中及通信系统设备中各种干扰噪声的集中表示。下面以话音传递来说明这个基本系统的通信过程,这对我们进一步掌握通信概念是有益的。

二、话音传递的过程

话音传递——电话通信是最常见的通信方式。话音是声带的振动激动了空气,空气的振动又激动了耳膜,因而使听者有

声音的感觉所形成的。但是，人耳并不是对所有的振动都有声音的感觉，人耳所能感觉到的声音，一般在 20Hz 至 10000Hz 范围，超过这个“音频”范围的振动，人耳是没有声音感觉的。图1-2是话音频率分量的幅度分布图，又称之为话音信号频谱图。若从能听懂讲话人的词句或单词的百分比来衡量各频率分量的影响，发现高于3400Hz 与低于300Hz 的频率分量对单词

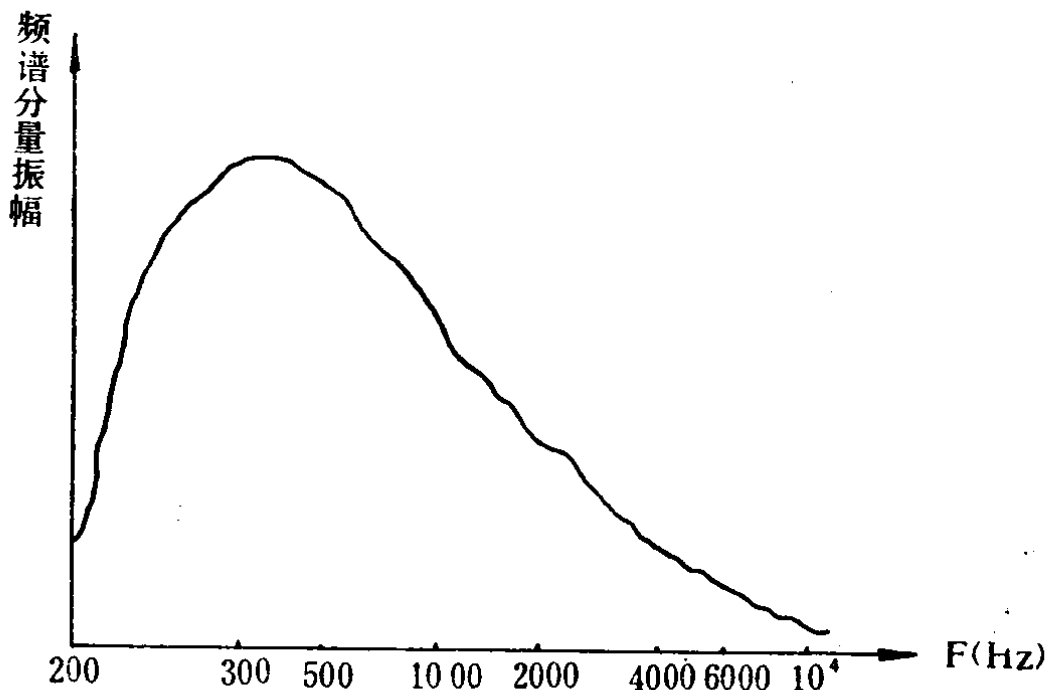


图1-2 话音信号频谱图

的清晰度已没有明显作用，因此作为一般的电话通信、将话音传输频带定为 300~3400Hz。以上是从频率分量组成、即频谱图的观点来观察与分析话音信号，也就是所谓的频域分析法，得到话音传输频带的概念，它对于电话通信是相当重要的。

若将话音传输频带内的许许多多频率分量的时域振动波形合成在一起，就得到一个幅度随时间变化，时大时小的复杂波形，如图1-3所示。通常，我们把波形的最大幅值与最小幅值

之比定义为语音信号的动态范围，即图形上 $A_{max} \sim A_{min}$ ，用分贝(dB)表示，一般有20dB至40dB的量级。

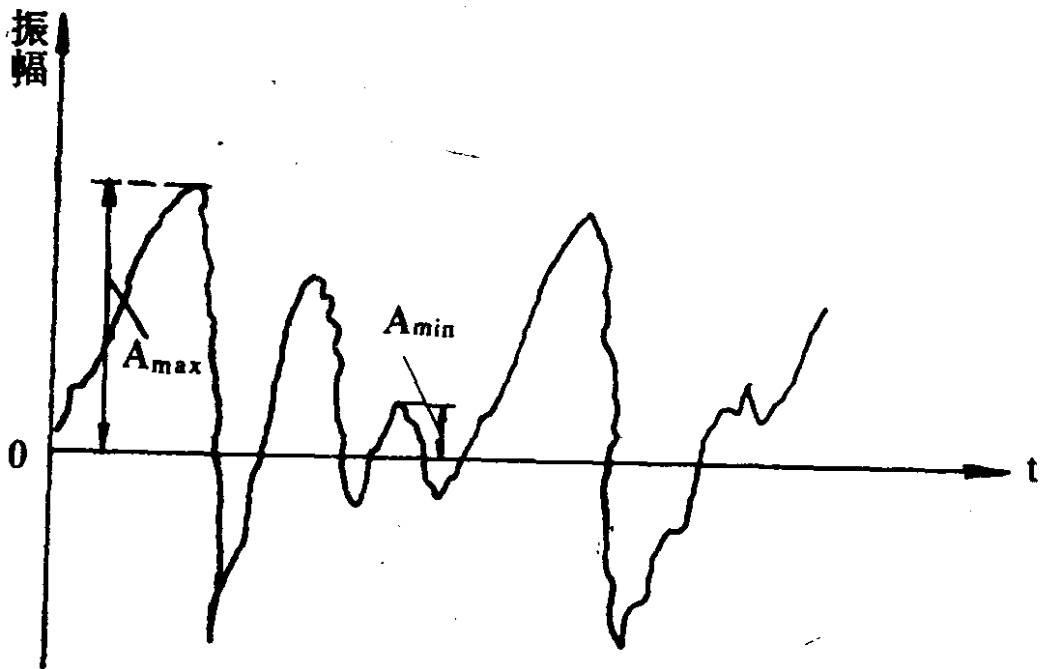


图1-3 语音信号的时间波形图

显然，无论频域的频谱分布与时域上复杂的时间波形，都表征着同一的语音信号的不同侧面，且两者是互相关连着的，只是我们从不同角度来分析与观察语音信号而已。这种频域与时域的分析方法在下面的接力通信内容中将要经常用到。

话筒与耳机是典型的声—电与电—声变换器，它们的工作原理如下：话筒又称送话器、传声器，图1-4是一种电话中常用的送话器的示意图。它的主要构成部分是碳精盒，里面装有碳精砂。当对着话筒讲话时，空气的振动使膜片发生振动，连在膜片中央的前电极也跟着振动，迫使碳精砂时紧时松。于是前电极与后电极之间电阻值产生时大时小的变化。这样，通过送话器的回路电流 i_L 将模仿讲话的声音变化而变化，成为语音

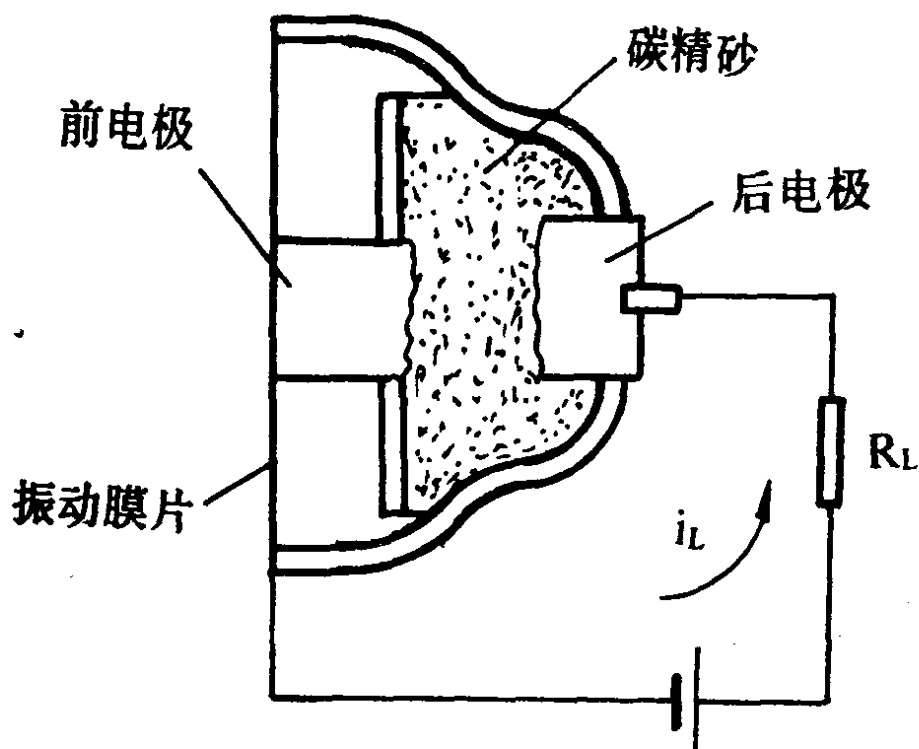


图1-4 话筒结构示意图

电流，完成声—电变换。显然，这种话音电流是一种与话音相似、幅值连续变化的模拟信号。耳机又称受话器，图1-5是一种受话器的结构示意图。它由永久磁铁、线圈、铁质振动膜片所组成。当线圈中无话音电流时，永久磁铁的吸力使振动膜片略有弯曲。当输入话音电流 i_L 时，假定其正向电流在线圈中产生的磁场与永久磁铁的磁场方向一致，对铁质膜片的吸力加强，使膜片更为弯曲；反向电流的作用相反，使膜片的弯曲度减小。因此，膜片将随话音电流的变化而振动，发出声音，完成电—声变换功能。

通常，我们可将送话器产生的模拟话音信号电流通过线路直接送至受话器，由受话器恢复回声波形式，这就是我们日常用得最多的市内电话的基本方式，如果是无线或载波通信则此话音电信号送入发送设备的高频调制器，产生诸如调幅(AM)、

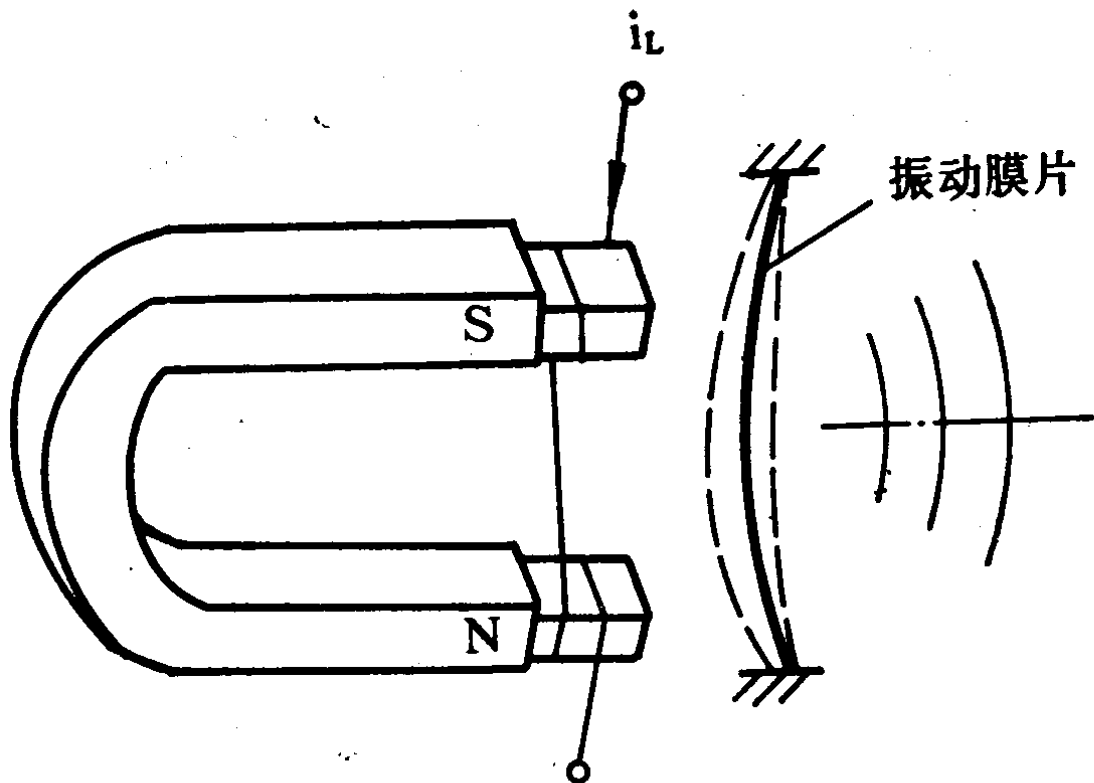


图1-5 耳机结构示意图

调频(FM)形式的高频已调信号，经传输信道传送。这种通信方式由于传递的是模拟电信号，故称为模拟通信。显然，点对点的模拟通信系统模型可有图1-6所示形式。

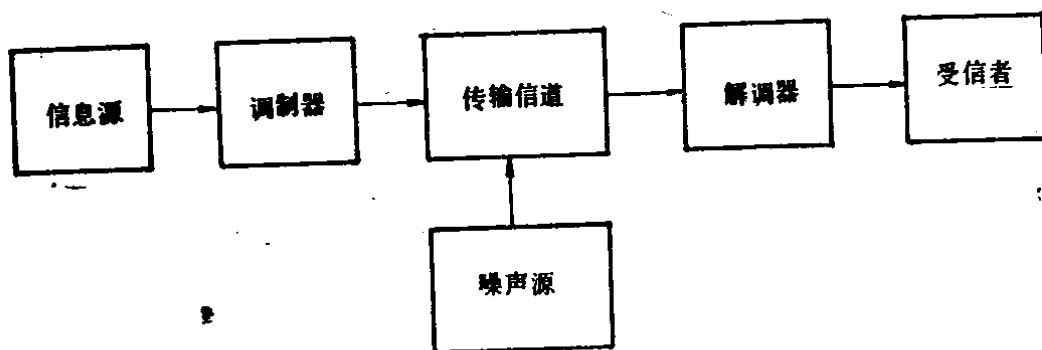


图1-6 模拟通信系统模型

反过来，如将模拟话音信号送入高频调制器之前，先经过数字化处理，包括对模拟信号取样，变成时间上离散的“样品”，离散化样品值就是取样时刻的信号振幅值，其大小是任意的，

故仍属模拟信号范畴；为便于编码，要先将任意大小的样品值取“整”。我们常把取“整”的过程叫做“量化”；量化后样品值可用多个二进制(或多进制)数码的组合排列来表示。二进制数码指的是“0”符号脉冲(一般指低电平脉冲)与“1”符号脉冲(一般指高电平脉冲)，这种数码组合排列过程称做编码。所以数字化处理包括取样、量化、编码三个过程，其示意图如图1-7所

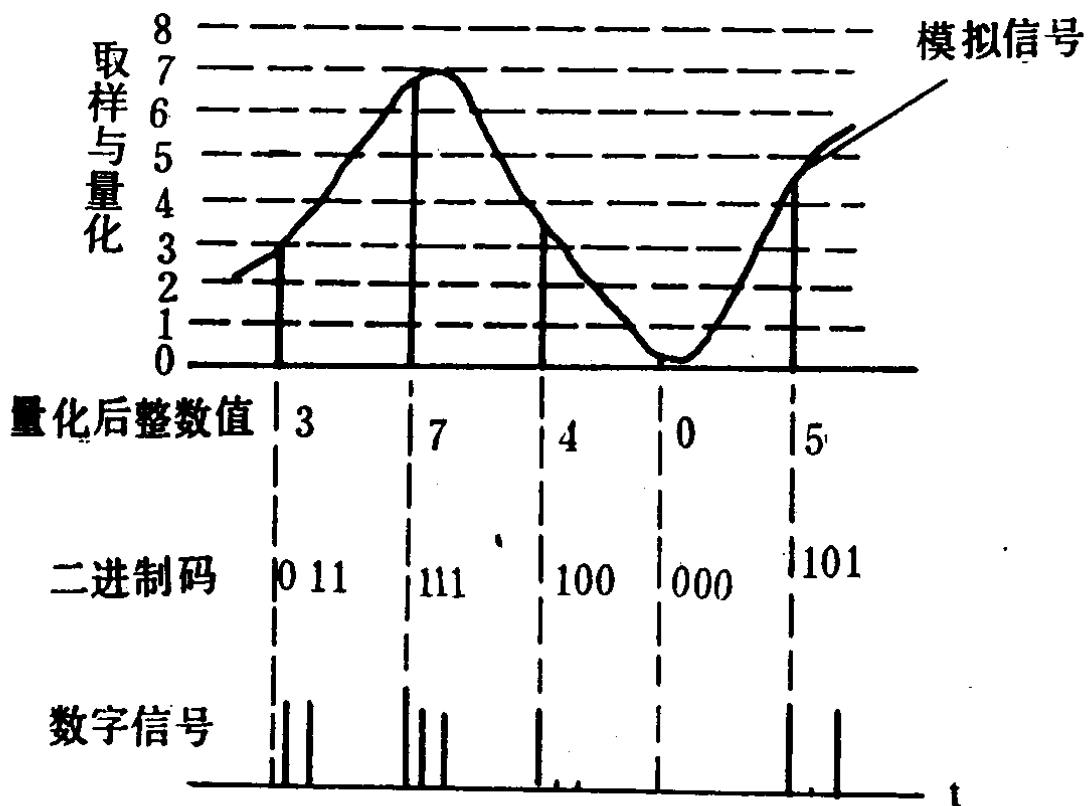


图1-7 数字化处理过程

示。经数字化处理后的信号称做数字信号，将数字信号送入高频调制器，再经信道传递的通信方式称做数字通信。当然，计算机或数字终端设备直接送入的数据脉冲也是数字信号，传送这类数字信号也是数字通信。数字通信系统模型如图1-8所示。

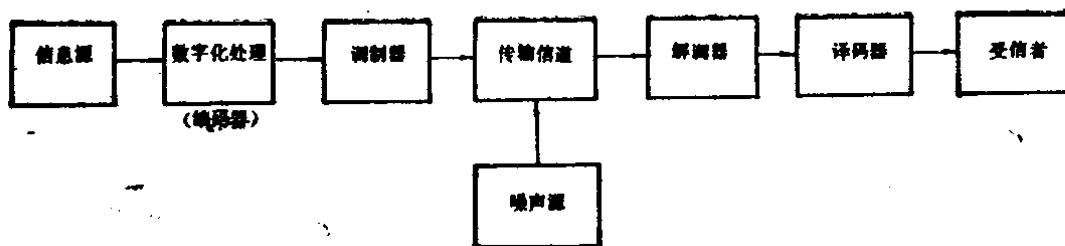


图1-8 数字通信系统模型

三、衡量通信性能的指标

衡量一个通信系统的质量有很多指标，包括电气性能、工艺结构、操作维修等项目，这里我们主要介绍一下衡量通信系统电气性能的指标。最主要的性能指标是通信系统传输信号的有效性与可靠性。前面曾谈到，话音信号有一个 $300\sim 3400\text{Hz}$ 的传输频带，为着使话音在通信系统中传送，系统也应有相应的、可容纳单路或多路话音(多路话音复用下面将详细介绍)信号的传输频带。所谓系统传输信号的有效性就是指给定的系统传输频带内能够传输的消息内容数量；而所谓可靠性指的是在给定的系统传输频带内接收到消息的准确程度。

对于模拟通信和数字通信，有效性与可靠性的衡量方法是不同的。在模拟通信系统中，有效性通常用系统有效传输频带来衡量。例如本书要叙述的频分多路微波接力通信系统，是将各路话音传输频带用频谱搬移方法排列起来，再经微波调制后放置在系统有效传输频带内传输。所以系统元件的有效传输频带被单路话音传输频带除，就得到系统可传输的电话路数。显然，系统容许的有效传输频带愈宽，可同时传输的电话路数就愈多，系统有效性就愈高。模拟通信系统的传输可靠性通常用整个系统，也即接收端的输出信噪比来衡量。由于信道内存在着噪

声，因此接收端输出的信号实际上是信号与噪声的混合物。噪声对话音信号的影响可用同一输出点上信号功率与噪声功率之比来衡量。这就是输出信噪比。例如，收看电视节目时，为使画面细节看得清楚，要求电视机输出信噪比高达40至60dB。同理，电话通信中，输出信噪比愈高，话音就愈清晰。

在数字通信系统中，传输的是离散的数字信号，因此传输有效性用信号(或数字符号)传输速率来衡量。如果数字信号采用的是二进制数字脉冲，则信号传输速率(简称传信率) R_b 可以比特/秒(bit/s)作单位。比特有特定含义，在这里可理解为二进制数字脉冲的数量。例如，传信率为4800 bit/s，可理解为每秒钟内传送4800个二进制数字脉冲符号。显然，传信率愈高，传输的有效性就愈高。如果采用的是多进制数字信号，则可转换为二进制脉冲来计算。通常，1个多进制脉冲可转换成 $\log_2 M$ 个二进制脉冲(M 为多进制数)。若以 R_B 表示多进制脉冲传输速率(单位称波特)，则多进制传输的系统有效性为

$$R_b = R_B \log_2 M$$

例如，系统传输 $M = 4$ 进制的符号脉冲速率为75波特，则系统传信率 R_b 为

$$R_b = 75 \cdot \log_2 4 = 150 \text{ bit/s}$$

数字通信系统的传输可靠性用误码率来衡量，它表示接收到的数字脉冲符号出现错误的机率。误码率 P_e 定义为

$$P_e = \frac{\text{错误的码元数}}{\text{传输的总码元数}}$$

例如，传输了10000码元^①，错了4个，则 $P_e = 4 \times 10^{-5}$ 。在

① 所谓“码元”是参加编码的最基本单元，也可说是数字信号的基本单元，例如，在进制码中它的“0”与“1”(低电平脉冲或高电平脉冲)即是一个码元。