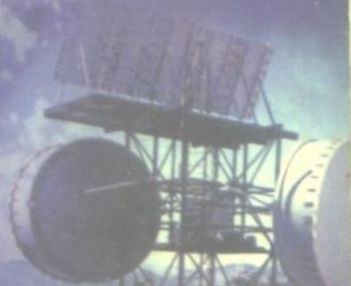


# 现代通信系统原理

张新政 编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



734616  
592  
=1

D658/23

# 现代通信系统原理

张新政 编著

电子工业出版社

## 内 容 简 介

本书系统地论述了现代通信系统的体制、性能和相关理论。主要内容包括模拟通信系统、数字通信系统、通信网、程控交换技术和计算机通信等。主要特点有:(1)内容新,涉及新的调制解调方式和锁相技术等;(2)结构层次分明,各种系统由四条主线贯穿,目的明确,便于自学;(3)各个结论均伴随物理概念解释,易于读者理解和掌握。

本书可作为高校电子工程、通信工程类专业“现代通信系统原理”课程的教材,也可供从事电子工程和通信工程的技术人员阅读参考。

## 现代通信系统原理

张新政 编著

责任编辑:王庆育(特约) 史明生

电子工业出版社出版

北京市海淀区万寿路 173 信箱(100036)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

北京怀柔东晓印刷厂印刷

\*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:18 字数:469 千字

1995 年 11 月第一版 1995 年 11 月北京第一次印刷

印数:4000 册 定价:25.00 元

ISBN7-5053-3190-6/TN·888

## 序 言

世界经济的发展正在从工业化向信息化阶段过渡,以微电子、计算机、通信和软件技术为代表的电子信息产生,正在进一步引起社会经济乃至人们生活方式的急剧变革。现代通信技术是实现信息化的基础。

人们越来越期望了解和掌握现代通信技术。介绍通信原理、通信技术方面的书籍已出版不少,然而不同作者在内容和侧重点上往往有许多差异。张新政老师编著的“现代通信系统原理”一书,是他长期在北京邮电大学、北京联合大学电子工程学院从事通信专业教学和科研卅余年的工作经验总结。我在审阅全部书稿后,觉得有如下特点:

一、基本原理分析透彻、数学分析能与物理概念紧密结合。通信原理涉及数学方面的知识和内容比较多具有一定的深度,该书在第二章确知信号和随机信号中,深入浅出的介绍了相关定理、卷积、功率谱密度、随机过程及其数字特征描述以及随机信号通过线性网络和非线性网络的传输特性,为学习后续各章内容打下了数学基础。

二、结构严谨、层次分明、重点突出。本书全部内容贯穿四条主线,即信号的时域分析—确定信号的产生方法;信号的解调—信号恢复方法;信号的频域分析—传输信道带宽的确定;输出信号噪声功率比与误码率计算—通信系统可靠性指标的确定。重点在以信号的时域分析及频域分析作为工具,对通信制式进行分析,从而确定调制及解调规律,并从系统的主要性能可靠性及有效性来评价通信制式的优劣。

三、立足于应用,反映当代通信技术发展趋势,实用性强。本书在阐述各种通信制式基本原理的同时,还介绍了许多典型的实用电路,介绍了许多调制和解调新技术,介绍了数字化传输等。并在第九章介绍了反映当代通信技术的交换技术、计算机通信网、综合业务数字网以及卫星通信系统、移动通信系统等。

四、文字流畅、深入浅出、简洁明了、可读性强。

该书是作者在原来“通信原理”教学讲义基础上修改而成。原教学讲义经过多届本科生的教学实践,取得很好的教学效果。这次作者对原讲义进行了大幅度的删改,内容更充实,取材更加适当,贯彻了少而精、重点突出的原则,每章后增加了不少习题,更适宜于作为通信工程、电子工程及其它相关专业本科、专科教材,也可供有关工程技术人员参考。

王毓银

94.10.6

## 编者的话

现代通信系统原理是根据作者 30 多年来的教学和科研实践,并在作者编写的《通信系统原理》(讲义)的基础上编写而成的。所遵循的原则是少而精,深入浅出,重点突出,既讲清楚物理概念,也要阐明事物的内在联系,既分析通信体制的基本原理,也要介绍当代通信技术。

在该书编写过程中,受到北京联大电子工程学院领导赵宗英副院长、教务处处长户懋副教授的关心、支持和帮助。无线电工程系系主任王毓银教授担任该书主审。各章中的习题参阅了马芳芳同志编写的习题集(讲义),张颖同志协助做了很多编写、整理工作,在此一并表示感谢。

本书是为通信工程、电子工程及相关专业大学本科高年级学生编写的。也可供其他工程技术人员参考。限于本人水平,缺点错误在所难免,热情欢迎各界人士批评指正。

编著者 张新政  
于北京 1994.6

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 通信及其分类 .....	1
1.2 通信系统模型 .....	2
1.3 通信系统的性能指标 .....	4
1.4 本书的结构及其特点 .....	6
1.5 通信技术展望 .....	6
习题 .....	8
<b>第二章 确知信号和随机信号</b> .....	9
2.1 概述 .....	9
2.2 能量谱密度和功率谱密度 .....	9
2.3 卷积定理 .....	12
2.4 相关定理 .....	14
2.5 随机过程的基本概念 .....	17
2.6 随机过程的数字特征 .....	19
2.7 平稳随机过程的频谱特性 .....	23
2.8 随机信号在网络中的传输 .....	25
2.9 乘法器对平稳随机过程的响应 .....	26
2.10 噪声的定义 .....	27
2.11 余弦载波加窄带噪声 .....	34
习题 .....	38
<b>第三章 幅度调制系统</b> .....	43
3.1 概述 .....	43
3.2 标准幅度调制 .....	43
3.3 双边带调幅 .....	49
3.4 单边带调幅 .....	51
3.5 残留边带调制 .....	55
3.6 调幅信号的噪声性能 .....	59
3.7 非相干解调器的噪声性能 .....	63
3.8 频分多路复用 .....	65
习题 .....	66
<b>第四章 角度调制系统</b> .....	70
4.1 概述 .....	70
4.2 调频波的性质及其产生 .....	71

4.3	调频波的解调 .....	78
4.4	调频制的噪声性能 .....	79
4.5	调频制系统中的预加重与去加重技术 .....	83
4.6	宽带 FM 中的门限效应 .....	84
4.7	门限扩展技术 .....	88
	习题 .....	89
<b>第五章</b>	<b>模拟信号数字化</b> .....	<b>92</b>
5.1	概述 .....	92
5.2	抽样定理 .....	92
5.3	抽样方法 .....	97
5.4	脉冲编码调制 .....	100
5.5	增量调制(DM 或 $\Delta M$ ) .....	114
5.6	脉冲编码调制和增量调制的噪声性能 .....	119
	习题 .....	123
<b>第六章</b>	<b>数字信号的基带传输系统</b> .....	<b>127</b>
6.1	概述 .....	127
6.2	基带信号波形与传输中常见码型 .....	128
6.3	随机脉冲序列的频谱特性 .....	130
6.4	基带信号的传输 .....	136
6.5	部分响应系统 .....	151
6.6	时域均衡原理 .....	159
	习题 .....	165
<b>第七章</b>	<b>数字信号的频带传输</b> .....	<b>168</b>
7.1	概述 .....	168
7.2	二进制数字信号幅度键控 .....	169
7.3	二进制移相键控 .....	175
7.4	二进制移频键控 .....	184
7.5	二进制数字调制系统比较 .....	188
7.6	四相移相键控 .....	190
7.7	最小移频键控 .....	200
7.8	其他调制方式 .....	210
	习题 .....	216
<b>第八章</b>	<b>数字通信同步技术</b> .....	<b>220</b>
8.1	概述 .....	220
8.2	锁相环的基本原理 .....	220
8.3	载波提取技术 .....	223
8.4	位同步技术 .....	228
8.5	帧同步系统 .....	232

习题 .....	237
<b>第九章 通信网及交换技术 .....</b>	<b>238</b>
9.1 概述 .....	238
9.2 电话通信网 .....	238
9.3 电话交换技术 .....	241
9.4 计算机通信网概述 .....	251
9.5 综合业务数字网 .....	262
9.6 通信系统的应用 .....	265
习题 .....	273
<b>英文缩写名词对照表 .....</b>	<b>274</b>
<b>参考资料 .....</b>	<b>277</b>



# 第一章 绪 论

## 1.1 通信及其分类

所谓通信就是由一个地方向另一个地方传递和交换信息。人类的社会活动离不开信息的传递和交换,随着生产力的飞速发展,人们对获取信息的要求也愈来愈高,对传递消息的形式也愈来愈广泛和复杂。当今的人类社会正在发生重大的变化,而最大的变化是从工业化社会向信息化社会转变。尤其是大规模集成电路技术的发展,计算机技术与通信技术的结合,使人们的视野无论在时间或空间上都大大的扩大了。人们更深刻体会到信息就是力量,时间就是胜利,而这两者都要靠快速、准确、可靠的先进通信技术来赢得。正因如此,我们国家才把信息技术看作为重要的战略资源。而成为高技术群体的先导,并与我国的新能源,新材料工业一起构成现代生产力的三大支柱。

信息资源的最大特点就是流通、要使用,要共享。而信息的传递(通信)则起着关键性作用,被誉为信息时代的生命线。通信的重要作用还在于它是信息社会的支柱。所谓信息化社会就是要具有发达的现代化信息网络;通信技术和计算机技术的紧密结合;通信网、计算机和终端设备连成一体。实现人与人,人与机器、机器与机器的信息交流。达到信息资源共享。

通信的分类方法很多,如果按传递信息的使用信道不同可分为有线通信和无线通信。所谓有线通信是用导线(如架空明线、电缆线、同轴电缆线等)作为传递消息手段完成通信的。所谓无线通信是依靠电磁波在空间传播来达到传递消息的目的。如果按工作所用的频段不同可分为长波通信(波长 $10^2\sim 10^3\text{km}$ ,频率 $3\sim 30\text{kHz}$ ),中波通信(波长: $10\sim 1\text{km}$ ,频率: $30\sim 300\text{kHz}$ ),短波通信(波长: $10^3\sim 10^2\text{m}$ ,频率: $300\sim 3000\text{kHz}$ ),甚短波通信(波长: $10^2\sim 10\text{m}$ ,频率: $3\sim 30\text{MHz}$ ),超短波通信(波长: $10\sim 1\text{m}$ ,频率: $30\sim 300\text{MHz}$ ),特短波通信(波长: $10\sim 1\text{cm}$ ,频率: $300\sim 3000\text{MHz}$ ),极短波通信(波长: $10\sim 1\text{cm}$ ,频率: $3\sim 30\text{GHz}$ ),远红外线通信(波长: $10\sim 1\text{mm}$ ,频率: $30\sim 300\text{GHz}$ )。

如果,按基带信号(即调制之前的原信号)的形式不同可分为模拟信号通信和数字信号通信。所谓模拟信号是指在时间特性上状态连续变化的消息,如语音信号、电视图像信号等。如果信道中传送的为模拟信号,则此系统称为模拟通信系统。而数字信号是指在时间特性上状态的变化是离散可数的。如电报符号,数据等,如果信道中传送的为数字信号,则此系统称为数字通信系统。

如果按通信方式不同可分为单工通信、双工通信和半双工(或准双工)通信。所谓单工通信是指通信双方只能单方向传递消息。例如无线电广播就是单工通信的一个例子,只有广播电台向听众传递消息,而听众不能向广播电台传递消息。又如遥控系统和某些告警系统等。所谓双工通信是指通信双方都能同时向各自对方传递消息。例如市内电话,长途无线电话和某些移动电话等。半双工(准双工)通信是指通信双方都能收发消息,但不能同时收发,而只能

轮换收一发消息。例如某种调度用的普通无线电电话机等。

如果按信号的调制制式不同可分为调幅制通信、调频制通信和调相制通信。什么叫调制？为什么要调制？在本书中多次要提到调制的问题，可见，调制在通信中有举足轻重的作用。所谓调制就是载波（运载信息的工具）的某参数随基带信号规律而变化的一种过程。我们通常把基带信号称为调制信号，调制后产生的信号称为已调制信号。如果载波的幅度参数随基带信号规律而变化，我们称这一过程为幅度调制（Amplitude Modulation，用 AM 表示）。如果载波的频率随基带信号规律而变化，我们称它为频率调制（Frequency Modulation，用 FM 表示）。如果载波的相位随基带信号的规律而变化，我们就称它为相位调制（Phase Modulation，用 PM 表示）。如果分别用上述三种已调制信号进行通信的，我们就分别称为幅度调制通信，频率调制通信和相位调制通信。

为什么要通过调制将调制信号变成已调制信号呢？主要有如下原因：

### 1. 实际的需要

我们知道无线通信是依靠天线辐射的电磁波来实现能量传送的。根据天线理论知道，要想有效地发挥天线的辐射能力，要求天线的有效长度约为工作频率波长的四分之一或更长些。已知工作波长的关系为：

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 (\text{米/秒})}{f (\text{赫兹})} \quad (1.1)$$

式中  $c$  为光速；

$f$  为工作频率。

如果直接用天线辐射基带信号（如电话信号），众所周知，基带信号的频谱是从零频附近开始的。是低通型信号。根据式（1.1）计算天线尺寸是不适宜的，更重要是天线尺寸将是惊人的，实际上无法实现。

### 2. 可实现频分多路复用

众所周知，调制的重要作用是实现频谱的搬移。即利用调制可将一些基带信号按频率进行排队，这样，在一个信道中可同时传送多路信号而互不干扰。我们把这种按频率排队，频谱间不发生重叠的多路信号称为频分多路复用信号。载波多路通信就是根据这一原理实现的。

### 3. 可改善通信系统的性能：

我们知道，在一个通信系统中存在有噪声和干扰，它使系统的信号噪声功率比降低和误码率增大，制约通信系统性能的提高。通过一定形式的调制可以限制噪声的影响，有可能改善系统的性能。例如调频波就大大提高信号噪声功率比。

## 1.2 通信系统模型

通信要达到的目的不外乎是传递和交换信息。信息有多种多样的表现形式，诸如文字、数据、语音和图像等等，现代通信系统也是种类繁多，但无论什么样的通信系统所完成任务是相同的，即传递和交换信息。在这总目标下我们将各种通信系统概括成一个模型，就是通信系统模型。如图 1.1 所示。它包括发端机、收端机、信道和噪声源四个大部分。

发端机包括信源和变换器。顾名思义，信源就是发出信息的源泉。如电话通信中，讲话

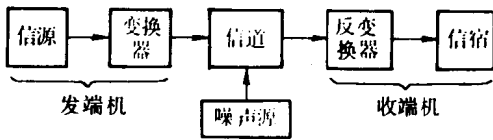


图 1.1 通信系统模型

人就是信源,在数据通信中,计算机或其他机器就是信源。语音、数据、图像等都是要传递的消息。变换器的作用是把信源发出的消息转换成适宜在信道上传输的信号。变换包含两种含意,一是将语音转换成电信

信号,二是为了提高传输质量,还可能进行更完善的变换。例如调制和 A/D 变换等。

收端机包括反变换器和信宿。反变换器是变换器的逆变换,其功能是将信道中传送来的信号恢复成原信息。而信宿是消息的归宿,是消息的接收者。如数据通信中,计算机就是信宿。

信道是指信号传输媒介。由于发端机中变换形式不同,信道也不相同,可以采用明线,电缆等有线信道,也可以利用空间电磁波传播的无线信道。

噪声源是通信系统中客观存在的,它影响信息的处理,以集中形式表示的干扰源。噪声源可以是由外部混入的,也可以由系统中电子设备产生的。在模型中我们把各部分的噪声集中的用一个噪声源表示。这样表示在计算通信系统的指标时也带来方便。

根据我们要研究的信号形式、特点及关心的问题不同,将有不同形式的通信系统模型。下边我们将讨论模拟通信和数字通信两种系统模型。

图 1.2 为模拟通信系统模型。顾名思义该系统传送的是模拟信号,如语音和图像电信号。

在该系统中,正如前述,信源发出的消息是语音和图像,首先转换成语音和图像电信号。这种信号具有低通特性。即信号的频谱从零频附近开始的,例如语音信号 300~3400HZ,图像信号为 0~6MHZ。如果将这种信号直接通过有线传输,称为基带传输。为了适应在不同信道内传输,需要对基带信号作进一步变换。这种变换是由调制器完成的。例如要采用无线信道传输,就必须将基带信号经过调制,将其频率搬到无线信道。在通信系统的收端机要与调制相反的变换。即从已调制信号中恢复原信号,这种变换称为解调。至于信宿和噪声源以及信道已如上所述。

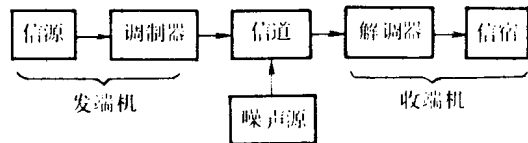


图 1.2 模拟通信系统模型

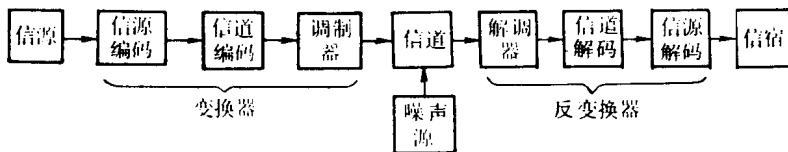


图 1.3 数字通信系统模型

图 1.3 表示的是数字通信系统模型。由图 1.2 和图 1.3 比较可知,数字通信系统模型发端机中多了信源编码和信道编码,而收端机中多了信道解码和信源解码。

信源编码器的作用和任务随信源给的电信号形式不同而不同。如果输入信号为模拟语音信号,信源编码器就要对它抽样、量化和编码使其变换成数字信号。例如脉冲编码调制

(PCM)电话系统就是这种情况。如果信源是并行输出的计算机。则只需将其并行输出数据变换成串行数据即可。

信道编码器是在通信系统中实现自动检错和纠错,提高信号传输质量为目的。从此角度看也可称为差错控制编码。其办法是在信源编码器输出数字序列中以某种规律引进一定位数的数码。这样,必然使数码序列长度增大,可见,提高传输的可靠性是用降低信息传输速率换来的。

信道解码器的作用是按照编码的对应规律自动检纠错。提高传输可靠性。信源解码器的作用与信源编码器作用相反,即将数字信号变换成模拟信号。

目前模拟通信和数字通信系统都有广泛应用,由于器件和技术条件的限制,模拟通信发展较早,随着技术的发展和人们对通信质量要求。数字通信获得飞速发展,并越来越占据重要地位。因为它比模拟通信有许多突出的优点:1. 抗干扰能力强。这可从两方面看,首先数字信号在传输过程可以多次再生,以消除由噪声和信道造成波形失真的积累。其次是由信道编解码自动检纠错;2. 有良好的灵活性和通用性。由于数字技术的发展,计算机广泛采用,数据业务不断增加。各种信号都可以数字化。无论存储、处理、传输和交换都可以统一进行。便于组成综合数字通信网络。大大提高了信息交换的灵活性和通用性;3. 便于加密、信息传输的保密性是人们一直重视的问题,数字通信的加密比模拟通信要容易处理。例如一个要传送的数字序列  $X$  经过一定的逻辑运算就形成了加了密的新的数字序列,即

$$Z = X \oplus Y \quad (1 \cdot 2)$$

式中  $Y$  是密码数字序列;

$\oplus$ 是模 2 加逻辑运算符号;

$Z$  是加了密的数字序列。

如果不掌握密码数字序列  $Y$  是难以从  $Z$  中恢复  $X$ 。但对通信双方已不成问题,接收端只要运用  $Y$  与  $Z$  的逻辑运算就能恢复出  $X$  序列。即

$$\begin{aligned} Z \oplus Y &= X \oplus Y \oplus Y \\ &= X \end{aligned} \quad (1 \cdot 3)$$

4. 数字通信设备易于大规模集成。这样,既减轻了重量,又缩小了体积。解决了设备微型化,这对于战备和空间通信有着重要意义。

### 1.3 通信系统的性能指标

通信系统的性能指标是衡量一个通信系统的质量标准,也是系统设计者的主要依据。主要性能指标涉及多方面、诸如电气性能、工艺性能、操作维修、经济性能指标等。本课程只讨论电气性能,我们把它归结为有效性和可靠性。所谓有效性是指信道一定情况下,通信系统能够传输多少信息内容。它是一个数量指标,显然,传输的信息越多越好。所谓可靠性是表征通信系统传输消息的的质量的优劣,表明该系统收端机恢复信息的准确程度。显然,希望收到的消息错误越少越好。最好不产生错误。但是,由于存在有噪声源,要达到不出现错误是不可能的。同时,有效性和可靠性是一个矛盾的统一体。如果要提高可靠性,势必会降低有效性,例如调频通信系统,它具有很高的可靠性(即输出信号噪声功率比很高),但是这种信号占用很宽的信道带宽,影响其他信息的占用,降低了有效性。又如数字通信中,为了改善质

量,提高可靠性。使用了信道编解码器。但同时,由于在原信息序列中加入一定位数数码元,使传输速率降低了。因此,可靠性提高是依靠降低有效性得到的。

由于模拟信号与数字信号存在着明显的差异,所以,在评定这些性能指标时也有着不同的方法和标准。下边我们来讨论模拟通信系统和数字通信系统关于这两项指标的具体定义。

在模拟通信系统中,其有效性通常是在给定信道带宽情况下,能容纳最大的通信路数、换句话说,有效性可用传送信号的有效带宽去衡量。若系统中每路信号的有效带宽越窄,则信道中可复用的路数越多,系统的信息量越大,有效性越好。反之亦然。可靠性是用通信系统收端机的输出信号噪声功率比(即  $S_o/N_o$ )来衡量。若  $(S_o/N_o)$  高,说明噪声对信号影响小,通信的质量高。不同信号的通信,可靠性要求也不一样,如电话通信,要求信号噪声功率比不低于 20 分贝。对于图像信号,则要求在 50 分贝左右,可靠性指标除了与信道特性有关之外,还与调制制式有关。例如调频制的输出信号噪声功率比就比调幅制要好。

在数字通信系统中,有效性往往用传输速率来表示。传输速率可分为码元传输速率和信息传输速率。所谓码元传输速率是单位时间(每秒钟)能传送的码元数,单位为波特(Baud),每个码元所占的时间  $T_B$  叫做码长,若码元传输速率为  $R_B$ ,则此  $R_B=1/T_B$ 。值得注意的是,定义码元传输速率  $R_B$  并没有限定是什么进制码元。实际系统中可能不同点上采用不同进制,所以,在给出传码率时应说明码元是什么进制,如果采用二进制则用  $R_{B2}$  表示, $M$  进制用  $R_{BM}$  表示。 $M$  进制与二进制是可以相互表示的,当  $M=4$  时,则  $M$  进制的每个符号可用两位二进制符号表示,即  $M=2^k(k=1,2,3,\dots)$  时,  $R_{B2}$  与  $R_{BM}$  有如下关系

$$R_{B2} = R_{BM} \cdot \log_2 M \text{ 波特} \quad (1 \cdot 4)$$

信息传输速率是单位时间(每秒)内通信系统所传输的信息量,记作  $R_b$ ,其单位是比特/秒(或 bits/s)。它又叫传信率或比特率。“比特”是信息论中度量信息量的单位,一个二进制码元(一个“1”或一个“0”)所含有信息量就是一个比特。所以,传信率  $R_b$  也可用每秒钟传送的二进制码元数表示。例如数据传输中,其传信率  $R_b=1200$  比特/秒,这说明该机每秒钟传送 1200 个二进制脉冲数。因此,在二进制情况下,传信率和传码率在数值上是相等的,只是含意和单位不同。前者单位是 bits/s,后者为波特。在  $M$  进制时,传信率和传码率的关系为

$$R_b = R_{BM} \log_2 M \quad \text{比特 / 秒} \quad (1 \cdot 5)$$

或

$$R_{BM} = R_b / \log_2 M \quad \text{波特} \quad (1 \cdot 6)$$

数字通信系统的可靠性用错误概率去衡量。显然,错误概率愈小,可靠性愈好。错误概率可用误码率  $P_e$  和误比特率  $P_b$  表示。

误码率  $P_e$  是指收端机接收到的错误码元数目同发端机发出的总的码元数目之比。即

$$P_e = \frac{\text{接收错误码元数}}{\text{发出总的码元数}} \quad (1 \cdot 7)$$

误比特率  $P_b$  是指收端接收到的错误比特数同发端机发出的总的比特数之比。即

$$P_b = \frac{\text{接收错误比特数}}{\text{发出的总的比特数}} \quad (1 \cdot 8)$$

误码率(或误比特率)的值与信道噪声大小有关,如果系统的信号噪声功率比高,则  $P_e$  (或  $P_b$ ) 就低。

对于二进制码元讲,一个码元就是一个比特,故  $P_e=P_b$ 。对于多进制(如  $M>2$ )码元讲,

误码率  $P_e$  和误比特率  $P_b$  有如下关系

$$P_b = \frac{M}{2(M-1)} P_e \quad (1 \cdot 9)$$

## 1.4 本书的结构及其特点

现代通信原理是理论和技术相结合的一门课程,侧重于总体系统的讲解。因此,要求读者具有信号与系统、模拟电子电路和数字电路的基础。由于涉及系统的噪声性能的分析,最好读者有随机数学的基础。为了满足更多读者的需要,在本书第二章中概括介绍了确知和随机信号的相关内容,以备有些读者阅读和查找。

本书主要内容是论述模拟通信系统和数字通信系统的基本原理、分析方法和体制性能。重点放在发展迅速,应用广泛的数字通信、计算机通信、通信网和交换技术等方面。

现代通信原理是一门知识面广、比较难学的课程,为了减轻读者的负担,真正学到手,作者根据教学实践,力图处理好各种通信系统的共性和个性,归纳出两条线索四个主要问题。只要紧紧抓住两条线。其他问题也就迎刃而解了。两条线索是:一是信号;二是系统。二者是完成通信的主体,系统是信号处理、传输和交换的工具,系统离开信号,便失去系统的意义。信号是消息的表现形式,也是系统要处理的对象,信号离开系统,通信也就终止了。四个主要问题是:(1)信号的时域分析,由此得到信号产生方案;(2)信号的频域分析由此确定传输信道带宽,即系统有效性计算;(3)系统收端机信号的还原—信号的解调;(4)系统可靠性的确定—系统输出信号噪声功率比和误码率计算。

## 1.5 通信技术展望

通信技术自十九世纪 30 年代问世以来,有了突飞猛进的发展,发生了巨大的变化,已渗透到国民经济的多个领域,成为社会活动不可缺少的组成部分。通信从 1838 年莫尔斯发明有线电报开始,事隔 20 多年,1864 年麦克斯韦尔提出了电磁辐射方程。从此为无线电的发展奠定了理论基础。1876 年贝尔发明了电话机。1896 年,马克尼发明了无线电报。1906 年,真空电子管诞生。只有十几年的光景,就于 1918 年,AM 广播和超外差接收机问世。

1925 年,多路载波通信出现与应用。

1936 年,FM 广播开播。

1937 年,发明了脉冲编码调制通信。

1938 年,出现了电视。

1948 年,发明了晶体三极管,统计理论建立,香农提出了信息论:

1950 年,时分多路通信应用于电话通信。

1957 年,发射第一颗人造卫星。

1958 年,发射第一颗通信卫星。

1960 年,发明了激光。

1961 年,集成电路制造出来。

1960—1970 年间相继解决了采电、飞船登月、高速计算机开始应用。80 年代至现在,超

大规模集成电路的大量使用,计算机和通信正向着兼容互相补充的方向发展,这就引导人们去开发一种把所有的通信业务综合在一起,构成以计算机为主体的综合业务数字网络(Integrated Services Digital Network 简写成 ISDN)。它把传统的电报、电话、电传、传真图文,图像等都综合为一体,以高速数字通信为基础,通过计算机之间连网,向各种用户提供各种通信业务。多媒体正是将声、图、文一体化的一个例子。

从通信技术发展进程不难得到如下结论。

1. 通信自 1828 年问世以来,只经历了一百多年的时间就发展到当今水平,这不能不说通信是一个非常年轻,发展飞速的高科学技术。

2. 从发展速度看,前一阶段(1838~1948)110 年发展缓慢,后一阶段(1948~现在)不足 50 年发展迅速,究其原因我个人认为除与工业基础和器件制造业有关外,还存在人们认识上的局限性,有一种倾向掩盖另一种倾向的问题,从 1906 年真空电子管诞生,直到 1948 年半导体三极管出现,真空管时代整整统治达 42 年之久。由于真空管体积大且重,限制了一些技术的发展,尤其是空间通信,为什么第一颗人造卫星发生在 1957 年,主要是器件更新,为促进卫星技术的发展创造了条件,尤其是大规模集成技术的出现带动了计算机技术的发展。同时,计算机与通信结合出现新的突变,使通信技术发展到一个新的阶段,这是值得高兴的。

3. 通信技术的发展涉及面很宽,通信业务面也不断扩大。从电话、电报到数据传真图象等,传输手段也多种多样。

电缆通信是最早发展起来的通信方式。在当今通信技术高度发展的今天,它仍占有一定地位。它主要用于模拟通信中频分多路复用方式。其主要特点:(1)通信容量大,如干线同轴电缆可达 1800 路;(2)电路稳定可靠;(3)保密性好;(4)建设投资大,架设困难。正因有如此多的优点,所以电缆通信还会在一定时间内与其他通信方式并存。

微波中继通信是二十世纪 60 年代发展起来的大容量无线通信方式,早期的微波设备为频分多路复用模拟 FM 制,随着数字通信的发展,数字微波技术有了突飞猛进的发展,除了引进日本 NEC 公司的 480、960 路数字微波中继系统外,我国有关厂家也制作了 120 路、480 路等多路通信系统,在我国通信事业中发挥着重大作用。数字微波机中广泛采用新的数字调制方式,如移相键控 PSK、DQPSK 等。其主要特点是:(1)容量大;(2)电路稳定;(3)抗干扰能力强;(4)建设投资相对同轴电缆为少,是当前我国通信的主要方式之一。

卫星通信也是 70 年代发展起来的主要通信方式,它实际是微波中继通信的一种特殊形式,这就是说它是将中继站搬到卫星体上。因此,卫星通信除具备微波中继通信的特点外,它的造价更低。因此它是我国和世界发达国家注目的通信方式,已成为通信的发展方向。

光纤通信也是近年来发起来的大容量通信方式。由于抗干扰能力强,成本低和容量大而将逐渐取代同轴电缆通信,成为我国重要发展方向之一。

移动通信是现代通信发展最快的一种通信手段。由于这种通信方式灵活机动,投资少、见效快、效益高、功能全,特别是由于计算机技术的推动,不仅功能扩充,而且将有线、无线融为一体,固定通信和移动通信互联成全国通信网络。在国民经济发展中将起着举足轻重的作用。

随着现代人机动性增加和现代职业及私人生活的需要,人们对通信能力的直接性和及时性要求越来越高,通信不仅在两地之间进行,而且更强调人与人之间的通信。有人利用编码分割多通道(CDMA)技术,设计出称为 Globalstar 系统,该系统有 48 个低轨道卫星组成,

卫星分布在 1406km 高的圆形轨道的 8 个轨道平面上,每个轨道平面上分布有 6 个卫星。该系统有太空部分,地面站和用户部门三大部分组成。使用波段已选定。本设计在美国已获取制造许可证,预计 1995 年将完成地区系统(超过 150 个蜂巢式规定点和控制器)1997 年发射卫星,2002 年市场上达到 500 万用户。该系统的建成,可以使任何人在任何地方任何时间里都能进行声音、数据和传真多种业务通信。可想而知,十年后的今天通信状况是什么样将难以估量的。到那时,人们要获取信息的需求将得到充分的满足。

## 习 题

- 1.1 模拟信号与数字信号之间的主要区别是什么? 试举例说明之。
- 1.2 试述数字通信的特点有哪些? 为什么?
- 1.3 在数字通信系统中,其可靠性和有效性指的是什么?
- 1.4 今设在  $125\mu\text{s}$  内传输 256 个二进制码元,计算信息传输速率是多少? 若该信码在 2 秒内有 3 个码元产生误码,试问其误码率等于多少?
- 1.5 已知 535~1605kHz 为 AM 广播电台专用,若每台需占用 10kHz 有效频带,问最多能同时收听多少电台的节目?
- 1.6 已知 88~108MHz 为 FM 广播电台专用,若每台需占用 180kHz 有效频带,问最多能同时收听多少电台的节目?



## 第二章 确知信号和随机信号

### 2.1 概 述

本课程为现代通信系统原理。通信系统的任务是要有效地、可靠地完成信号的传递工作。这就要求设计的通信系统在信号传输上能处于最佳状态。如何能达到这个要求则是通信系统要研究的基本问题。概括起来,一个通信系统要研究三个主要问题:(1)信号的特性;(2)系统的特性;(3)当信号通过系统传输时,对信号产生影响的噪声特性。

一个系统如图 2.1 表示,它具有传递信号的功能,它的特性通常用其传递函数  $H(\omega)$  和冲激响应  $h(t)$  去表征。众所周知,二者是一对富里叶变换,即

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2.1)$$

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (2.1)$$

在系统的输入端有输入信号  $f(t)$  和输入噪声  $n(t)$ , 它们都分别有自己的频谱, 如  $F_s(\omega)$  和  $S_N(\omega)$ 。输出端有输出信号  $f_0(t)$  和输出噪声  $n_0(t)$ , 当然也会有其频谱  $F_0(\omega)$  和  $S_{N_0}(\omega)$ 。在研究通信系统原理之前, 我们需要解决以下几个问题:

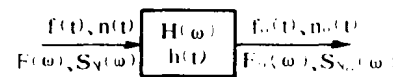


图 2.1 系统传递示意图

(1) 输入输出信号和噪声具有什么样特性? 如何表示?

示?

(2) 系统中输入输出信号和噪声存在什么关系?

(3) 系统具有什么样的特性, 信号的传输才处于最佳状态?

要解决这些问题, 无疑都涉及数学的处理方法, 本章主要介绍通信系统原理所用到的信号和噪声的分析方法。

### 2.2 能量谱密度和功率谱密度

在本课程中, 常常会涉及到信号的能量, 功率, 能量谱密度和功率谱密等概念。

一个信号波形的能量可以通过对电压和电流的乘积(瞬时功率)在要研究的整个时间间隔上积分求得, 即

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} U(t)i(t)dt \quad (2.3)$$

如果我们研究的负载电阻为一欧姆, 根据我们熟悉的欧姆定律可知, 信号电压和信号电流是一样的, 并以  $f(t)$  表示, 这时的信号能量称为归一化信号能量。即