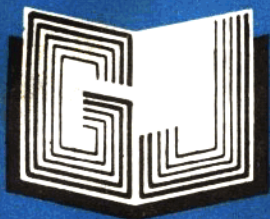


964704

TN914.3
1007



高等学校教材

数字通信系统

华北电力学院 王彦骏 主编



高 等 学 校 教 材

974702-

IS

数 字 通 信 系 统

华北电力学院 王彦骏 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书为高等学校有关数字通信系统方面的教材,全书共八章。本书主要论述了数字通信系统及其组成,同时还对通信网作了初步介绍。

本书主要内容有:数字通信系统的特点,模拟信号数字化过程及方法,时分多路复接及同步,纠错编码,数字信号基带传输,数字信号的调制及解调,数字微波中继通信系统,通信网基本概念及其部分子系统。

本书可作为高等院校通信专业“数字通信系统”课程的专业教材,也可供从事数字通信专业的技术人员参考。



高等学校教材
数 字 通 信 系 统
华北电力学院 王彦骏 主编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 21.75印张 494千字
1993年6月第一版 1993年6月北京第一次印刷

印数 0001—3400 册

ISBN 7-120-01727-6/TP·58

定价5.65元

前 言

本书是根据原“水利电力部高等学校通信工程专业教学协作组”第二次会议通过的“数字通信系统”教学大纲的要求编写的,作为本科通信工程专业的教科书,以供“协作组”所属院校选用。也可供从事数字通信方面的科技人员和有关院校通信专业的师生参考。

本书共分八章。第一章数字通信概述,介绍了数字通信模型、数字信号的传输及其指标、数字通信的特点与发展。第二章信源编码,主要介绍了PCM编码、预测编码的原理、过程及其特点。第三章PCM时分多路复用与多路复接,介绍了PCM一次群、高次群的构成、复接方法以及定时同步问题。第四章纠错编码,介绍了纠错编码的概念及基本原理,同时介绍了几种主要的纠错编码方法。第五章数字信号基带传输,介绍了几种主要基带信号的结构、特性,基带传输系统的特性以及PCM基带信号的传输。第六章数字调制与解调,介绍了数字信号的几种主要调制方式,着重介绍了数字调相信号的产生、解调及其传输性能,也介绍了QAM调制方式。第七章数字微波中继通信系统,主要介绍了数字微波中继通信系统的构成、数字微波中继通信系统设计要考虑的问题以及载波同步信号的提取。第八章通信网,主要介绍了通信网的结构以及通信网的几个子系统:交换、信令及同步等问题。本书后面附有部分习题,以供参考。

本书的第一章,第二章的第一、二、四、五节,第四章、第七、八章由华北电力学院王彦骏老师编写;第五章由吉林电力学院李传伦编写;第三章以及第二章的第三节由华北电力学院范葵老师编写;第六章由王彦骏、李传伦合写。全书由华北电力学院研究生部鲍伟廉审阅,王彦骏担任主编。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,请读者批评指正。

编 者

1991年5月

740.0109

目 录

前 言	
第一章 数字通信概述	1
第一节 模拟通信与数字通信	1
第二节 数字通信系统模型	2
第三节 数字信号传输及传输系统的主要指标	4
第四节 数字通信的特点及其发展	9
习题	12
第二章 信源编码	13
第一节 语声信号的特性及其数字化的方法	13
第二节 抽样及抽样保持	16
第三节 样值信号的幅度量化	28
第四节 PCM编码与解码	51
第五节 预测编码	67
习题	86
第三章 PCM时分复用与多路复接	88
第一节 PCM时分多路复用及其一次群	88
第二节 定时与帧同步	93
第三节 高次群系统	117
习题	131
第四章 纠错编码	132
第一节 纠错编码的基本概念	132
第二节 几种简单的纠错编码	138
第三节 线性分组码	143
第四节 卷积码	158
习题	169
第五章 数字信号基带传输	171
第一节 数字基带信号	171
第二节 数字基带信号传输系统的传输特性	183
第三节 PCM基带传输系统	189
第四节 中继传输性能分析	197
习题	210
第六章 数字调制与解调	212
第一节 概述	212
第二节 线性调制	213
第三节 数字幅度调制及其解调	214
第四节 数字频率调制与解调	221
第五节 数字相位调制	227

第六节 正交调幅 (QAM)	255
第七节 数字调制系统的性能比较	263
习题	264
第七章 数字微波中继通信系统	267
第一节 数字微波中继通信的概述	267
第二节 数字微波系统设计的几个问题	278
第三节 数字微波通信系统中的载波同步和位同步	293
习题	306
第八章 通信网	308
第一节 概述	308
第二节 通信网中的交换问题	311
第三节 通信网的信号系统	316
第四节 通信网中的同步系统	334
习题	341

第一章 数字通信概述

第一节 模拟通信与数字通信

一、模拟信号与数字信号

人类的活动，社会的发展，通信起着极为重要的作用，或者说它是人类之间活动的纽带。通信就是传递和交换消息的过程。现代通信中，人们常把消息转换成电信号（简称信号），以传递和交换信号的形式来传递和交换消息。我们这里所指的通信，即是已转换成信号的消息的传递和交换过程。

信号是以其某个参量来携带消息，因此根据信号中携带消息参量的取值特点，可以把信号分成模拟信号和数字信号两种。

凡是携带消息的参量有无限种取值的信号叫做模拟信号。模拟信号中携带消息的参量的变化总是准确模拟所携带消息的变化规律，例如，电话机送话器送出的信号，其携带消息的参量是信号的幅度，其幅值的大小直接模拟了发话人的语音强弱的变化。一般来说，模拟信号的时间波形是连续的，称为连续信号。但并不是说，所有的模拟信号的时间波形都是连续的，例如，脉冲幅度调制信号，其携带消息的参量是脉冲幅度，它使脉冲序列的包络模拟了消息的变化状态，它的幅度有无限种取值，所以是模拟信号。但它的时间波形是离散的，而我们把时间波形离散的信号称为离散信号。一般来说，模拟信号用来携带连续消息，而较少用来携带离散消息。

凡是携带消息的参量只能取有限个数值的信号叫数字信号。例如，电传机送出的脉冲信号，其携带消息的参量是脉冲幅度，只有0和A两种取值，分别表示空号和传号。又如，早期莫尔斯电报机拍发的脉冲信号，其携带消息的参量是脉冲宽度，它只有 τ 和 3τ 两种取值，分别表示莫尔斯电码中的“·”和“—”。以上两种信号都是数字信号，也是离散信号。但不是所有的数字信号都是离散信号，如二相相移键控信号（将在第六章讨论），它携带消息的参量是相位，只有 0° 和 180° 两种取值。它既是数字信号，同时也是连续信号。

数字信号既可以携带离散消息又可以近似地携带连续消息，并且数字信号一般是与消息的状态间接对应。

数字信号携带连续消息时，都是先把连续消息转换成相应的模拟信号，然后再把模拟信号转换成数字信号，这一过程叫做模拟-数字转换，记作“A/D”。在还原成消息时，需先把数字信号变换成模拟信号，叫做数字-模拟转换，记作“D/A”。再从模拟信号中恢复原消息。

二、模拟通信与数字通信

通常，根据信道中所传输的信号形式来确定通信方式。把信道中传输模拟信号的通信称为模拟通信，把信道中传输数字信号的通信称为数字通信。

当数字信号携带连续消息时,需进行模拟-数字与数字-模拟转换(记为A/D-D/A)。习惯上把不含有“A/D-D/A”转换的数字通信称为数据通信,而把含有“A/D-D/A”转换的数字通信称为数字电话通信。

数字通信和模拟通信同属通信,但它们除有一般通信系统普遍具有的共性外,还有许多本质上的区别,主要有:

1. 衡量传输质量的准则不同

在模拟通信系统中,要求接收端以高保真度恢复原发送的波形,也即对于模拟系统传输质量的衡量准则是输出信噪比。它表示输出波形与输入波形之间的均方误差,它是一个连续波形的参量估值问题,是模拟信号传输理论的基础。在数字通信系统中,任一瞬间传输的是有限个离散取值之一,要求在接收端能在众多的干扰下正确判别(检测)出发送端发出的是哪一个离散值,而不关心不足以引起判别错误的失真。因此,衡量数字通信系统传输质量的准则是错误判别概率。或者说,数字信号传输的基本理论是统计判决理论。

2. 系统性能参数不同

在数字通信系统中,系统性能参数有错误概率、输入信噪比、传输速率和传输带宽等。在模拟通信系统中,系统性能参数有输出信噪比、输入信噪比和频带展宽等因素。

3. 信号的处理方式不同

在数字通信系统中,由于要对每个接收的信号进行判别,因此在发送端和接收端之间要建立时间轴的“同步”。而在模拟通信系统中,一般来说无需“同步”。另外,数字通信系统中,要对信息进行编码和译码的处理,而在模拟通信系统中,没有编码和译码的问题。再者,两个系统的调制方式往往也不相同,数字通信系统中,多采用调相制。而模拟通信系统多采用调幅或调频制。

除了上述不同点外,还有其它一些不同之处,就不一一列举了。

第二节 数字通信系统模型

数字通信系统是利用数字信号形式来传递消息的系统。由消息转换成电信号(以下均简称为信号)以后的结构不同,用途不一,所以数字通信系统种类很多,我们将其综合,见图1-2-1所示的模型。

下面就图1-2-1内各主要方框内容分别进行简介。

1. 发信者(信息源)和受信者

发信者指产生信息者,它可以是人或物体(机器)。受信者是指接收这些信息的人或机器。所以通信可以是人与人的通信、人与机器或机器与机器之间的通信。

2. 编码器和解码器

编码器就是把信息源输出的信号,根据信息的特点和要求,按一定规律编成代码。编码器有两种,即信源编码器和信道编码器。如果信源的输出是模拟信号,则信源编码器的任务是吧模拟信号变换成数字信号,也就是A/D变换。如果信源的输出已是数字信号,有时为了适合传输的某些需要,也要对信源输出的数字信号进行一定的变换。信源编码器将

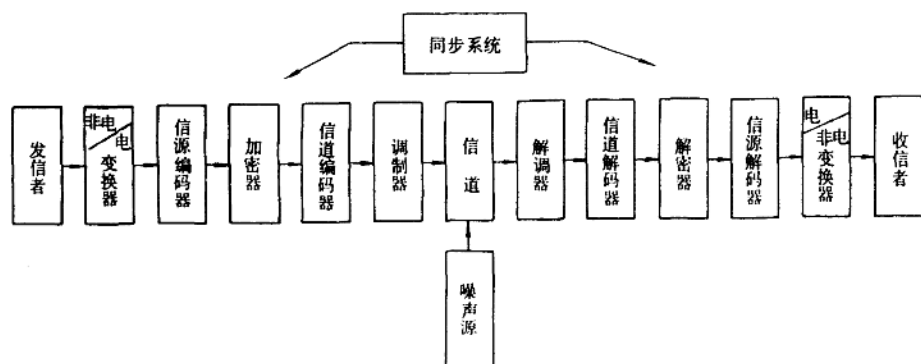


图 1-2-1 数字通信系统模型

模拟信源变换成数字信号时，尽可能做到数码率低，提高数字通信的有效性，即保证一定的传输质量的情况下，减小原信号的冗余度，以提高通信系统的有效性。

信道编码器则主要是解决数字通信传输的可靠性。信号在传输过程中，必然受到随机噪声的干扰，使收端收到的信号与发端的信号不一定能一一对应，这样在判别时，可能产生差错。为了最终减小差错，使在传输中产生差错以后，在收端能识别和纠正，把信源输出的数字信号（或信源编码器输出的数字信号），按照一定的规律再一次进行变换，人为地加入一定数字码，使形成的新的数字信号有一定的规律性，这样在接收端可以根据这种规则来检查和纠正差错。这种人为加入一定的数字码（称为监督码元）而形成的新的数字信号的编码，称为信道编码。信道编码虽然增加了信号的冗余度，但信号传输的可靠性也提高了。信道编码又称为差错控制编码。

至于收端解码器，它是对于相应编码的逆过程。例如将模拟信号变换成数字信号的信源编码器，所对应的解码器就是将数字信号还原成原模拟信号的信源解码器。而信道解码器，则是把在发送端加入的监督码元去掉，恢复成原信源输出端的数字信号。

3. 调制与解调

编码器输出的数字信号都是未经调制的基带信号，而对于大多数信道（如波导、光纤信道、短波信道，超短波信道等）来说，要求信号传输限定在特定的频率范围内，这时就必须对基带信号进行调制，就需加一级调制器，以使传输的数字信号频谱与信道匹配。在接收端的解调器则是将收到的调制信号还原成原数字信号。调制与解调方式的选择，对通信质量的影响是非常大的。它的选择需根据信号的特点、信道的特性以及不同的干扰环境来考虑。

4. 信道与噪声干扰

信道即信号传输通路，或者说是信号的传输媒介。用来传输数字信号的信道有很多，例如：地下电缆、短波或超短波电离层反射、微波视距传播、超短波及微波对流层散射、光纤、人造卫星转发等等。

信号在信道传输中，会受到种种噪声干扰，总括起来有两种：其一是各种信道传输特

性的不完善。例如,信道的振幅-频率特性、相位-频率、频率漂移、多径失真等,都会给传输的信号带来噪声干扰,使信号产生衰减和畸变,这种噪声干扰属于乘性干扰。乘性干扰与所传输的信号之间不是相加关系,并且它依赖于信号的存在,当信道内没有信号时它也随之消失。其二是信道之外的加性噪声干扰,它主要包括随机噪声、脉冲干扰和正弦干扰三种。这种加性干扰与传输信号之间存在着相加的关系,而且它是独立存在的,与传输信号的存在与否无关系。

信道的特性及信号传输路径的环境,是在设计一个通信系统时必须掌握的基本要素,这样才能正确选择调制方式及编码方式。

5. 加密器与解密器

有时通信内容需要保密,在数字通信中,对所传输的信号进行保密是较容易实现的。只要使数字信号(未调制前)经过加密器,按照通信双方商定的规则加上一些密码,“搅乱”信源编码器输出的数字信号,就可进行加密。在收端对收到的已加密的数字信号进行反变换即解密,可恢复原数字信号。

6. 同步系统

同步系统是数字通信系统重要组成部分,“同步”也是数字通信系统与模拟通信系统的主要区别之一。同步即是数字通信系统中收发双方严格共同的时间“标准”。例如,收端必须按发端相同的时间间隔选择最佳时刻,来逐个判别已经受到干扰的一个个信号的数值。这一判定时间的选择称为“比例同步”或称“码元同步”。另外“帧同步”以及数字通信网中的“网同步”等。数字通信中的种种同步,都可统称“同步”。在数字通信系统中,收发之间失去了同步的话,那么整个系统就不能正确工作,必须把同步“捕捉”回来,才能正常工作。

上述数字通信系统方框图,是对各种用途的数字通信系统的概括,并不是所有数字通信系统都如上述方框图所示的那样,而要根据各自的需要,有不同的结构形式,在图1-2-1的基础上有所取舍。同时,在一般情况下,各个数字通信系统设备终端都同时具有收发功能,形成双向通信。

本书除对上述点对点的数字通信系统的各主要方面进行讨论外,还将介绍一般由数字通信系统组成的通信网的基本问题。

第三节 数字信号传输及传输系统的主要指标

数字信号的传输,可以分为两种方式。一是从数字终端输出的数字序列为基础,不搬移频率,而只进行简单的频率变换(如形成升余弦,去掉直流分量等)或线路编码,然后再进行传输的方式叫做基带传输。另一种方式即是数字终端输出的数字信号的频谱搬移到某个载频频带上,再进行传输的方式,称为频带传输。或者说用基带信号去调制某个较高频率的载波信号的某个参量再进行传输,所以也称为载波传输。

两种传输方式在理论上,在组成结构上都有较大差异,但在实质上却有许多相似之处。

很多基本问题（如通道带宽对信号传输的影响、信号检测、再生等）都是相同的。

一、基带传输

基带信号一般包含有直流分量和低频分量，要求传输信道具有低通特性。传输基带信号的信道有架空明线、同轴电缆及市话电缆等。图1-3-1为基带传输原理方框图。

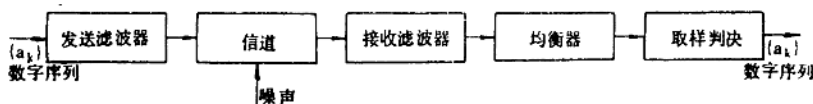


图 1-3-1 基带传输原理方框图

图中 $\{a_k\}$ 是发送端发送的数码流。 a_k 只有两个状态（二进制），也可以有多个状态（多进制）。前后码元可以是独立的，也可以是不独立的。送入发送滤波器的波形 $f(t)$ 公式为

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k g(t - kT_s) \quad (1-3-1)$$

发送滤波器的作用在于限制信号的频带；接收滤波器用来滤除噪声与干扰。这两者加上信道、均衡器共同组成一个网络，称之为基带形成网络。信号通过这样的网络后形成的波形，能保证传输的可靠性和效率。取样判决电路的作用是恢复发端原数码流。

基带传输虽多用于近端（几百米或十几公里）的数字信号的传输。例如，数字终端复用设备至数字微波中继通信设备之间的传输就属于基带传输，但是，基带传输系统中包含着数据传输的许多基本问题，且数字调制中的线性调制的载波传输系统可以等效为基带传输来研究，所以研究基带传输中的基本问题是非常重要的。实质上数字信号的基带传输也是一种载波传输，只不过它是以脉冲为载波的传输系统。一般说来，脉冲载波的调制方式有脉冲振幅调制（PAM）、脉冲宽度调制（PDM）及脉冲位置调制（PPM）。但在这三种调制中，以频带和功率利用率来说，以PAM系统为最高，而我们在第五章讨论的基带传输是把PAM信号进行量化编码成二进制数字信号所进行的传输。

二、频带传输

对于需要远距离或利用无线射频信道来传输数字信号，必须采用频带传输，也就是用数字信号对载频进行调制。频带传输和模拟信号调制一样，有幅度调制、频率调制、相位调制以及由上述调制派生出的正交调制、正交部分响应调制等。

由于数字信号的取样是离散的，所以产生的或幅度、或频率、或相位的变化也只能是离散的。类似由两个或多个开关对其进行控制，所以把调幅、调频、调相分别称为幅度键控（ASK）、频率键控（FSK）及相位键控（PSK）。

若基带信号为 $f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k g(t - kT_s)$ ，载波信号 $S_c(t) = \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ，则幅度键控信号的一般表示式为

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k g(t - kT_s) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1-3-2)$$

从式 (1-3-2) 可以看出, 数字调幅实质是把基带信号的频谱搬到以载频 f_0 为中心频率的两个边带上。原基带频谱结构和各个频率相对关系不变, 这是一种线性搬移, 所以这种调制属于线性调制。

用基带信号去控制载波信号的频率的调制称为数字调频, 或称频率键控, 记作 FSK。它的一般表示式为

$$S(t) = A \cos \left\{ \omega_0 t + \omega_d \int_{t_0}^t f(t') dt' + \varphi \right\} \quad (1-3-3)$$

式中

A ——载波振幅;

ω_0 ——载波的中心角频率;

ω_d ——最大角频率偏移;

$\varphi = \omega_0 t + \omega_d \int_{t_0}^t f(t') dt'$ ——载波的瞬时相位。

调频波 $S(t)$ 的瞬时角频率公式为

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \omega_0 + \omega_d f(t) \quad (1-3-4)$$

由于数字信号序列不同取值的交替出现是随机信号序列, 所以在码元转换时刻, 两个高频 (二进制) 振荡相位可以是连续的, 也可以是不连续的。所以它们分别是相位连续的频率键控信号和相位不连续的频率键控信号。

用基带数字信号去控制载波相位的方式称为数字调相, 或称相位键控, 记作 PSK。数字调相也有两种, 以未调载波相位作为基准的调相, 叫做绝对调相; 以相邻的前一个码元的载波相位为基准来确定其相位取值的, 称为相对调相, 记作 DPSK。

在上述三种调制方式中, 数字信号可以是二进制的, 也可以是四进制、八进制等多进制的。现在数字通信中, 数字调相得到广泛应用, 特别是四相调相等多相调制。因为不论从频率利用率, 还是从抗干扰能力来看, 相位调制都优于其它二种调制方式。对于更多进制 (如十六进制及以上), 现在则多采用正交幅度调制 (QAM) 方式。

数字调制信号的解调, 也有相干解调和非相干解调两种。采用何种调制方式要视对通信系统的技术经济要求。从性能看, 相干解调优于非相干解调。

在数字微波中继通信中, 在大容量的情况下, 为了提高频率利用率, 近年来出现了例如十六进制正交调幅技术 (16QAM) 等新技术。十六进制正交调幅属于线性调制技术, 具体来说, 实现十六进制正交调幅方法也有两种, 一种是利用两种四电平信号对正交的载波进行调制合成得到 16QAM; 另一种方法是采用四相调制合成法, 又称 16APK (这将在第七章讨论)。

数字调制传输是数字信号的主要传输方式。它的信道可以是同轴电缆, 数字微波信道, 光纤信道, 卫星信道, 短波和超短波信道等。关于数字调制及数字微波信道等将在第六章和第七章讨论。

三、数字信号传输的主要质量指标

各种通信系统都有很多各自需要研究考虑的问题, 数字通信系统要研究的问题有和其

它通信系统相同的问题，也有数字通信系统独自的问题。例如，传输信道问题、编码问题、调制解调问题、信息交换问题、同步问题等等。因此用来衡量数字通信系统的技术质量指标会有很多。我们在评价系统的性能时，不可能把所有需要研究考虑的问题都包括进去，而只能就其主要的性能指标来衡量系统的优劣。

有效性和可靠性是所有通信系统最基本和最重要的两项性能指标。

有效性是指在给定的信道内所能传递的信息内容的多少，这是通信系统在数量方面的要求。就数字通信系统的信号传输角度来说，有效性主要是指传输速率，同一信道的传输速率越高，则有效性越好。

可靠性是指在给定的信道内所收到的信息的准确度，这是通信系统质量方面的要求。对数字通信系统来说，主要指传输的差错概率。差错概率越小，可靠性就越高。

有效性和可靠性是相互矛盾的两个方面。在实际设计时，要视具体情况来确定。例如，在满足一定差错概率的情况下，尽量提高传输速率。或者在维持一定的传输速率下，使传输的差错率尽量小。

从工程角度看，可以按下面五项指标来衡量数字通信系统的有效性和可靠性。

1. 传输速率

数字传输速率是指在单位时间里，数字传输系统中在两个相应的设备之间传递的比特、码元、字符或数据块的平均数。通常有以下三种不同的定义：

(1) 码元速率 R_B 。指单位时间(s)内所传输的码元数目，单位为波特(Bd)，又称为调制速率。

(2) 信息速率 R_b 。指单位时间(s)内所传输的信息量，单位为比特/秒(bit/s)。也可称为传信率或比特率。在这里的信息量和在信息论中所定义的信息量是不完全相同的。实用中以二进制作为数字化消息度量的单位，一个二进制码元就是1 bit。由于数字通信中最终都是采用最简单的二进制来表示和传输各种各样的数字消息，所以用二进制来表示数字化消息的单位是很自然的，这样，信息率就是指单位时间(s)内所传输的二进制码元数。

必须注意，信息速率与码元速率是不同的，只有在二进制的情况下，一个码元就是1 bit。所以，在二进制的情况下，每秒传输的码元数即波特数，就等于每秒传输的比特数。但对多进制信号就不一样，如四进制信号，它有四种可能状态。如果用二进制码来表示的话，则每个状态需要两位二进制码来代表。即00、01、10、11。从这里可以看出，一个四进制信号的码元就相当两个二进制信号的码；或者说，一个四进制码包含的信息量为2 bit。例如，若每秒传输一个四进制码元，即码元速率为1 Bd，但其信息速率为2 bit/s。对M进制信号，每个码元的信息量为 $\log_2 M$ bit/s。码元速率和信息速率可以用下面关系式来表示

$$R_b = R_B \log_2 M \quad (\text{bit/s}) \quad (1.3.5)$$

由此可见，采用多进制码传输，可提高信息传输速率。

(3) 消息速率 R_M 。指单位时间(s)内所传输的消息的数目，例如，传送文字时单位是“字/s”。在构成消息时可采用不同的码元基数及不同的长度。因此消息速率与码元

速率的关系，对于不同的系统是不同的。另外在传送消息时还要传送一些不同的同步码元，也要影响两者的关系。它还涉及到传输频率。消息速率与信息速率的关系可用下式来表示

$$R_M = \eta R_b \text{ (bit/s)} \quad (1-3-6)$$

式中 η ——传输效率；

其余符号含义同前。

通常在数字信号传输过程中，总是要加入一些多余的码元。这些多余的码元携带的不是消息源发出的数字信号，而是为可靠传输服务的，所以传输效率总是小于1。

在以上三种速率指标中，一般以信息速率作为衡量指标。

2. 频带利用率

除了用信息速率和码元速率来反映传输效率外，频带利用率也是反映传输效率的另一个重要标志。

频带利用率是指单位频带内所能传输的码元速率 R_B 或信息速率 u_b

$$R_B = \frac{R_B}{W} \text{ (Bd/Hz)} \quad (1-3-7)$$

或

$$u_b = \frac{R_b}{W} \text{ (bit/s} \cdot \text{Hz)} \quad (1-3-8)$$

式中 W ——信道带宽；

其余符号含义同前。

3. 差错率

差错率是指所传送的内容被错误接收的概率。这种用来衡量传输可靠性的指标也有三种不同的定义方法。

(1) 误码率。误码率是指传送的码元总数中发生错误码元所占的比例，用符号 P_e 表示，其公式为

$$P_e = \frac{\text{错误接收的码元数}}{\text{发送的总码元数}} \quad (1-3-9)$$

(2) 误比特率。它是指在传送的总比特数中其错误比特所占的比例，以 P_b 表示，其公式为

$$P_b = \frac{\text{错误接收的比特数}}{\text{发送的总比特数}} \quad (1-3-10)$$

对二进制来说， $P_e = P_b$ 。通常在采用二进制时，不论表示误码率或是误比特率，均采用误码率这一叫法。所以在二进制时，见到误码率这一叫法，有时表示的是误码率，有时表示的是误比特率。不论用哪个表示，数值是相等的。

(3) 误字率。误字率指传送的字的总数中发生错误的字所占的比例，用 P_M 表示。若一个字中有 k bit，且每比特用一码元传输，则误字率表示为

$$P_M = 1 - (1 - P_e)^k \quad (1-3-11)$$

差错率是用来衡量通信传输系统可靠性的一种质量指标。传输系统可靠性有时还用可

用度和中断率来衡量。可用度是指在全部工作时间内,系统在规定的指标范围内,传输的时间所占的百分比,记作 P_T ;中断率指在全部可用时间内传输中断时间所占的百分比,记作 ε 。

4. 经济性

经济指标是我们在设计实用传输系统时应考虑的另一重要因素,甚至是制约因素。搞工程技术必须有工程头脑,要讲究经济效益,要本着既好又省的原则去设计整个系统。因此我们用性能价格比来衡量传输系统的经济性。如在误码率一定的条件下,可用每一秒钟内把1 bit传输1 km所需的费用作为经济指标。

一般来说,设备复杂,技术性能高,所需费用也高。我们应该在经济费用可能的情况下,用设备复杂的高费用来换取信道更有效的工作。

对于传输系统各个指标的实现,相互之间往往存在着矛盾。我们应该根据实际情况分清主次,充分论证,进行合理调整。

第四节 数字通信的特点及其发展

一、数字通信的特点

在早期的莫尔斯电报中,传输的就是数字信号。而PCM通信原理在30年代后期就被提出,但由于当时的技术条件限制,因而迟迟得不到发展。直到50年代后期至60年代中,小容量、短距离的PCM设备已获得广泛应用。近十年来由于对大容量信息高速传输的需要日益增长,加上各种规模集成电路及毫微秒脉冲技术的发展,更加促进了PCM通信的迅速发展。

数字通信之所以受到重视和飞速发展,是由于它与常用模拟通信技术相比,具有许多模拟通信所不能比拟的重要特点。现介绍如下:

1. 抗干扰能力强,传输精度高

模拟信号的取值是连续变化的,它在一定范围内可取所有可能的值。因此,模拟信号在传输过程中,叠加在信号上的噪声,收端是无法把它从信号中分离出来而恢复原信号。而数字通信之所以抗干扰能力强,其原因就在于数字信号携带消息的参数仅有有限个取值。通常数字通信系统传送的是二元数字信号,它的取值仅是有无脉冲两种情况,其波形并不包含所传送的消息。所以,只有在抽样时刻噪声的绝对值与判决电位相比较超过某个门限时,才可能产生对信号的错误判决,即噪声才会起作用,否则通过再生可恢复原信号。

此外,数字通信还可以进行差错控制编码,进一步提高数字通信的可靠性。由于数字信号的抗干扰能力强,在类似的信道条件下,数字通信的传输精度比模拟通信高得多。若要求两者具有相同的精度,则数字通信对信道的要求就可以低些。

2. 可采用再生中继方式实现远距离高质量的通信

由于模拟信号在传输过程中的噪声无法消除。随着传输距离的增长,信号衰减愈大,而噪声的干扰就愈显著,信噪比将会降低(即使在一定距离加增音机,但信号和噪声是同等的放大,对信噪比无改善)。或者说,由于噪声对模拟信号的干扰是随传输距离增加而

积累的。因此,传输质量随传输距离增加而下降。而数字通信系统传输的是二元数字信号,它在传输过程中,通过再生中继方式,可以消除两个中继站之间信号传输过程中受到的干扰,并且再生出未受噪声干扰的“纯净”的信号波形,而继续向下站传输。其原理方框和波形如图1-4-1所示。

如图1-4-1(b)所示的二元数字信号在传输当中受到干扰,而当它通过再生中继器的幅度识别时,在如图1-4-1(d)所示的判决信号所对应的时刻,只要幅度超过规定的判决电平 U_c 时,见图1-4-1(c),就判为“1”,否则就判为“0”。这样幅度判别器的输出再生脉冲就消除了干扰,如图1-4-1(e)所示。数字信号在远距离传输时,可以多次再生中继,并不会因传输距离增加而使质量变坏。从理论上说,数字信号在有再生中继器的情况下,可以传输到任意远的距离,而不使质量显著变坏(但误码是会累积的,所以也不能传输无限远)。

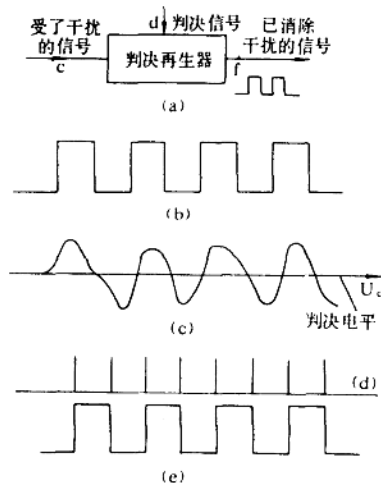


图 1-4-1 信号再生方框

图及波形图

- (a) 判决再生器; (b) 发送信号;
(c) c点受了干扰的信号及判决电平;
(d) d点判决信号; (e) f点
已消除干扰的信号

3. 数字信号易于加密

数字信号可用各种极其复杂规律的密码进行加密,使信号具有很高的保密性。而这种加密只要用简单的逻辑电路就能实现,这是数字通信的又一个优点。

4. 灵活性、通用性能好, 易实现综合通信

在数字通信中,各种消息(电报、电话、图像和数据)以及在通过程中,用来对数字信号传输情况进行监视、控制和用于业务等信号,都可以与所传输的代表消息的信号采用相同的形式和处理方法。将数字信号传输技术与电子时分交换技术结合起来,就可组成统一的综合业务数字通信网(Integrated Service Digital Networks—ISDN)。它将对来自各方的消息进行交换、综合、传输、处理、贮存和分离,进行各种综合业务,这对实际应用带来极大的便利。

5. 数字通信便于自动化、智能化

由于数字通信与计算机采用同样形式的数字信号,所以数字通信能应用计算机技术,使数字通信系统趋向于自动化、智能化。

数字通信还有其它方面的优点,不一一列举。数字通信也有不足之处,其中之一就是它占用的系统带宽要比模拟通信宽。例如,一路模拟电话信号通常只占4kHz,而一路数字电话信号却占用64kHz;其二是数字通信设备比较复杂,末端装置种类繁多。上述不足之处,随着更高频段的开发利用,随着对频带压缩技术的不断提高以及通信设置元部件集成化程度的提高,上述缺点比起其优点来,越来越显得次要了。

二、数字通信的发展及其在电力系统通信中的地位

社会的需要,科学技术的发展,促进了数字通信的飞速发展。目前数字通信系统正朝

着下面几个方向发展。

1. 宽频带大容量数字通信系统

在数字通信的信源编码中,按语音信号的波形编码存在预测编码调制(DPCM)和脉冲编码调制(PCM)两种制式,其中以PCM方式得到更大的发展。目前在发达国家,PCM的四次群、五次群已相继完成并已实用化,其中通信路数为5700路,数码率为400Mb/s的五次群在1977年已投入使用。今后随着光缆技术的超电导同轴技术的发展,传输容量为每秒数百兆比特甚至更高的速率,更大容量的数字通信系统也将会付诸实用。

2. 低数码率数字通信系统

上面谈到,PCM通信方式的主要不足之处就在于占用频带宽,如何压缩单路话路占用频带的问题是数字通信向更大容量发展的一个重要问题。目前人们研制一种统称为声码器的对话声信号进行压缩方式的编码。这是一种根据语音特征的信息参量来进行编码,到达接收端再进行解码,然后根据译出的这些参量合成为近似的原始的语音信号。这种声码器方式很多,实用化的程度已达到每个话路的数码率为4kb/s和12kb/s,更低的数码率的声码器也正在研制中。这方面的研究必将给数字通信带来更大的发展。

3. 系统的小型化与微型化

随着电子技术及微电子技术的发展,为数字通信小型化与微型化开辟了新的途径,例如,PCM的单路片子和 ΔM 大规模集成单片,都为数字通信的上述目的提供了条件,也为电话用户和移动通信等数字化创造了方便的条件。

4. 数字通信系统的应用开发

数字通信的发展,不仅为电话用户提供价廉方便的条件,同时也对于各种遥测数据及计算机与计算机之间的数据信息的传输提供了可靠的通道。数字通信系统借助于程控交换机的发展和广泛应用,使点对点的数字通信系统走向综合数字通信网(IDN)和综合业务数字通信网。

数字通信在电力系统通信中的地位:原水利电力部在《电力系统通信管理规程》(SD227-87)的总则的第四条规定:“电力系统通信电路以数字微波和电力线载波为主,积极采用数字光纤通信和数字程控交换技术;……最终实现综合业务数字通信网(ISDN)。”可见电力系统通信将组成以数字通信为主要手段的专用通信网。

电力系统通信电路的建设:在“七五”期间,将建成以北京为中心,北经山海关、沈阳、长春到哈尔滨;东经天津、济南、合肥、南京、上海到杭州;南经郑州、武汉、长沙到南宁;西经太原、西安、兰州、西宁到龙羊峡的以数字微波为主的干线网络。在1.9万km的微波电路中,数字微波的比重占70%左右,而且还正在对原有模拟微波线路进行更新,使其逐渐数字化。在干线微波均选用容量为480路,省内支线一般为120路。最主要干线可能扩容至四次群。

电力系统通信中的数字通信,不仅用来传送话路,而且利用或即将利用其通道传送远方保护,计算机数据、传真、图像、可视图文等信息的综合数字通信网(IDN),以及最终全网实现综合业务数字通信网(ISDN)。