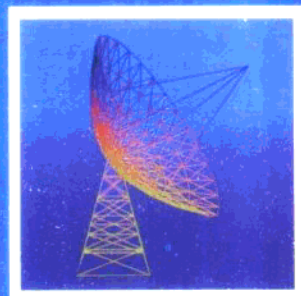


高等学校教材

殷小贡 刘涤尘 主编

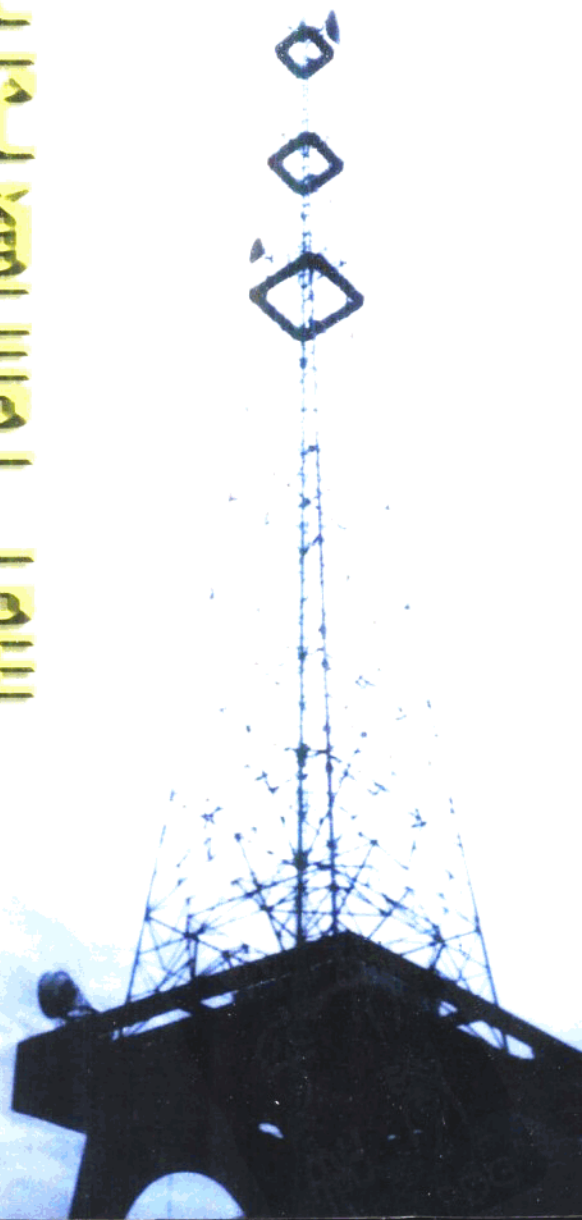
电力系统通信工程



DIANLI
XITONG
TONGXIN
GONGCHENG



武汉水利电力大学出版社



前 言

通信技术和计算机技术的飞速发展,已把我们带进一个崭新的信息时代。信息技术及其产业的发达水平,在很大程度上反映了一个国家的社会、经济及科学技术的发展状况。

对于电气信息类各专业的学生,即使是通信工程以外的各专业,也都会在学习涉及到较多关于通信技术的知识,毕业后的工作也往往要求掌握多方面的信息技术。面对新的世纪,这一点将更加突出。因此,开设一门能比较全面、综合介绍通信技术基本理论以及各种通信系统工作原理的课程,是十分必要的。

长期以来,我们一直开设有电力通信的课程。在学校“211”工程建设的推动下,我们在原有讲义的基础上编成此书。由于在编写时对原讲义作了大量的补充和完善,结构上也做了较大的调整,使本书既能作为电力类专业的通信课程教材,也可作为电子信息类专业的引论性教材。如果对教学内容作适当取舍,亦可成为其它有关专业(如计算机应用、水文水资源等)适用的通信课程教材。

本书编写的指导思想是力求比较简明、全面地介绍数字通信的基本理论,涵盖各种通信系统的主要内容,并着力反映通信技术的最新发展。出于篇幅和学时的限制,在编写中尽量避免原理性教材中的一些复杂的数学推导,而着重从物理概念和系统概念上进行描述。同时,作为《电力系统通信工程》教材,注意反映了“电力”和“工程”的特点,介绍了电力系统特有的通信方式和通信技术在电力系统的应用,以及与工程实际紧密结合等内容。

本书由殷小贡、刘涤尘主编并统稿。绪论和第三、四章由殷小贡执笔,第一、五章由刘晓莉执笔,付微执笔第二、六章,李晶执笔第七章,第八章由刘涤尘执笔。王静描绘了部分插图。郭琮教授仔细审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见,对此,作者表示诚挚的谢意。

在本书的编写、出版过程中,得到了武汉水利电力大学出版社、教务处及电力工程系有关同志的大力帮助,在此一并致以衷心的感谢。

由于作者水平有限、编写时间仓促,书中难免多有错漏,恳请专家、读者不吝指正。

编 者

2000年3月,于武昌东湖

目录

绪论	1
第一章 数字通信基础	10
1.1 数字通信及其特点	10
1.2 信源编码与信道编码	13
1.3 数字基带传输	24
1.4 数字复接技术	32
1.5 数字调制与解调	35
1.6 同步技术	43
本章要点	46
复习题	48
第二章 数字微波中继通信	49
2.1 微波与微波通信	49
2.2 微波通信系统的组成	57
2.3 天线与馈线	64
2.4 抗衰落技术	65
2.5 微波系统设计的参数计算	68
2.6 微波通信系统的测试及维护	71
2.7 微波通信系统的监控系统	74
2.8 一点多址微波通信系统	76
本章要点	78
复习题	79
第三章 光纤通信系统	80
3.1 光波与光通信	80
3.2 光纤与光缆	82
3.3 光源和光发射机	86
3.4 光检测器与光接收机	94
3.5 光纤通信系统及其测量	99
3.6 光纤通信复用技术	101
3.7 SDH传输技术基础	103
本章要点	108
复习题	109
第四章 电力线载波通信	111
4.1 载波通信原理	111
4.2 电力线载波通信系统	116
4.3 电力线载波机主要功能部件	130

4.4 ZDD—12 电力线载波机介绍	136
4.5 数字式电力线载波机简介	141
本章要点	143
复习题	143
第五章 移动通信与卫星通信	145
5.1 移动通信系统概述	145
5.2 蜂窝移动通信系统	150
5.3 集群移动通信系统	155
5.4 卫星通信系统	159
5.5 个人通信	169
本章要点	171
复习题	172
第六章 程控数字交换	174
6.1 交换技术基础	174
6.2 数字交换原理	178
6.3 程序控制原理	183
6.4 程控数字交换机的组成	191
6.5 HARRIS 程控交换机简介	195
6.6 ATM 交换技术简介	198
本章要点	203
复习题	203
第七章 计算机通信网	205
7.1 计算机网络概述	205
7.2 网络通信协议	207
7.3 存取控制技术	210
7.4 网络互连	216
7.5 信息高速公路	223
7.6 计算机网络的应用	226
本章要点	228
复习题	229
第八章 电力系统复用保护通道	230
8.1 概述	230
8.2 电力系统远方保护的特点、要求及其通道工作方式	231
8.3 复用保护通道基本原理及其分类	235
8.4 复用保护通道的应用及运行管理	238
8.5 调度通信网络实现远方保护的信号传递	239
本章要点	243
复习题	243
参考文献	244

绪 论

通信对现代社会的重要意义非常明确。包括通信在内的信息产业的发展,不仅给我们的日常生活和社会活动带来了许多方便,更已成为国民经济和社会发展的主要条件和保障。不可想像,如果没有先进的通信网络的支撑,我们的社会将会成为一个什么样的状态。

作为国民经济发展的先行官——电力工业,其发展也离不开通信技术。随着电力系统自动化的广泛应用,电力通信系统已成为电网安全、稳定、经济运行的三大支柱之一。在未来电力市场的发展中,电力通信网将充当越来越重要的角色。

本绪论将扼要介绍关于通信、通信系统的一些基本概念、发展情况以及电力通信系统的现状与发展等内容。

1 通信与通信系统

1.1 通信与通信网

通信的目的是传送信息。即把信息源产生的信息(语言、文字、数据、图像等)快速、准确地传到收信者。

最普遍、最典型的通信就是打电话。当甲拿起电话机,拨完乙的电话号码后,电信局的交换机将进行一系列的工作,接通乙的电话机并振铃,在乙拿起电话机后,双方就可以通话了。

现代通信的概念已远不只是简单的通电话,而是利用多种通信终端传输各种各样的信息,如数据、图像等。通信者也已不仅仅局限于两个人之间,而是许多人可以同时共享信息。而且,通信的地理范围已基本上不受任何限制,从技术上说,地球上任意两点间均可进行通信。

上述目标的实现,依赖于充分融进计算机技术的通信网络的存在,如电缆通信网、光纤通信系统、微波通信系统、卫星通信系统、移动通信系统、计算机网络以及交换网络等等,它们互相有机地联结在一起,构成了一个覆盖全球的巨大的通信网。各种系统的性能不同,有宽带的,有窄带的;有高速的,有低速的;有固定的,有移动的。利用这些性能,便可以在通信网上实现各自业务不同、目的不同的通信任务。

1.2 通信系统的基本组成与分类

1.2.1 通信系统的基本组成

通信系统由信息发送者(信源)、信息接收者(信宿)和处理、传输信息的各种设备共同组成。图1是通信系统的组成模型。

信源和信宿可以是人,也可以是机器设备(如计算机、传真机等),因而既可以实现人—人通信,也可以实现人—机或机—机通信。信源发出的信号既可以是话音信号,也可以是数字、符号、图像等非话信号。

发信设备对信源发来的信息进行加工处理,使之变换为适合于信道传输的形式,同时将信号功率放大,从信道发送出去。

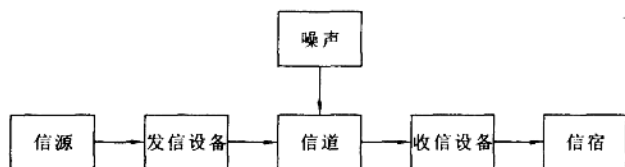


图1 通信系统组成模型

信道是信息的传输媒体。从其物理特性来分，可将信道分为有线和无线两大类。现代的有线信道包括电缆和光缆，无线信道即无线电传输信道，将可用于无线通信的电磁频谱划分为不同的频段，利用不同性能的设备和配置方法，组成不同的无线通信系统，如微波中继通信、卫星通信、移动通信等。不同的信道传输性能不同，传送的信号形式也不同。如频率在 (300~3 400) Hz 的话音信号，通过常规的电缆信道可直接传输；若用光缆传送，则必须将话音信号变换为光信号；若用微波传送，则需要对话音信号进行调制，将信号频谱搬移到微波系统的射频频段上去。发信设备对信源信息进行的加工、处理，其目的就是完成这些变换。另外，信号传输一般都要经过很长的距离，无论是有线还是无线信道，都会使信号能量逐渐衰减。因此，发信设备中一般都包含有功率放大器，将发送信号的信号功率放大到适当水平，使沿信道衰减后，收信设备仍能接收到足够强度的信号。

在传输信号的同时，自然界存在的各种干扰噪声也同时作用在信道上。这里的噪声主要是各种电磁现象引起的干扰脉冲，如雷电、电晕、电弧等，另外还有邻近/邻频的其它信道的干扰。干扰噪声对信号的传输质量影响很大，如果噪声过强而又没有有效的抗干扰措施，轻则使信号产生失真，重则出错，甚至将有效信号完全湮没掉。

正因如此，收信设备除了应对接收到的信号进行与发信设备的信号加工过程相反的变换以外，还应具有强大的干扰抑制能力，能有效地去除噪声、抑制干扰，准确地恢复原始信号。

图1只是一个单向的点一点通信系统模型。实际大多数的通信系统都是双向的，即两端都有信源和信宿，这就需要在两端都设置有发/收信设备。为了实现多点间的通信，则需要利用交换设备、网络连接设备将上述多个双向系统联接在一起。

从信息学的观点来看，通信系统可以视为由信息生成、信息传递及信息存贮三大模块组成，如图2所示。其中信息生成模块的功能包括信息的创造、处理、加工、编辑、分析、计算、合成等；信息传递模块包括信号处理、收集、交换、发送（含广播）、接收等；信息存贮模块则含有信息的寄存、建库、查询、检索、展示等功能。

1.2.2 通信系统的分类

可从不同角度对通信系统进行分类。

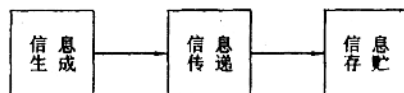


图2 通信系统广义模型

1. 按传输信号性质分类

通常可将通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统两类。在模拟通信系统中, 信道上传输的是模拟信号, 如声音和图像信号。其特点是幅度连续, 即在某一取值范围内幅度可以取无限多个值; 而数字通信系统在信道上传送的是数字信号, 如电报符号、数字数据等信号。其特点是幅值被限制在有限个数值之内, 它不是连续的, 而是离散的。

在模拟通信系统中, 信号频谱较窄, 信道利用率较高, 但信号在传输过程中混入噪声干扰后不易消除, 抗干扰能力差。此外, 设备集成化程度低, 不便与计算机等现代化工具相连, 故在一定程度上限制了它的应用和发展。

虽然数字通信需要的带宽大, 即系统的频带利用率较低, 但由于高效编码和调制技术、数字压缩技术等的高速发展, 以及宽带媒质(光纤)的广泛使用, 已使数字通信的这一劣势得到弥补, 正在迅速取代模拟通信系统。

2. 按传输媒体分类

可分为有线通信系统和无线通信系统两种。

1) 有线通信系统

电缆通信系统。这是指以铜线(或铜缆)作为传输媒质的通信系统, 常规的电话系统(以普通音频电缆、中同轴等作为传输媒质)就属于这一类。有线电视系统严格来说也是一种有线通信系统。另外, 电力系统常用的电力线载波通信系统复用输电线路进行通信, 也可归于这种类型。电缆通信系统的主要特点是传输带宽较窄, 一般用于模拟通信。

光纤通信系统。以光导纤维为传输媒质, 可进行大容量的高速数字通信。与电缆相比, 光纤(多根光纤合为光缆)在带宽、传输损耗、抗干扰能力及原材料资源等方面具有突出的优势。随着新器件、新工艺、新技术的不断推出, 光纤系统的性能正日益完善, 将成为未来通信系统的主要方式。横跨大西洋、太平洋的越洋光缆通信系统的开通, 给我们展示了一个无限美好的前景。

2) 无线通信系统

目前常见的无线通信系统有:

微波中继通信系统。用微波波段(2~13 GHz)进行通信, 带宽和系统容量都较大。由于微波的视距传播特性, 必须相隔几十 km 设一个中继站, 故称为“中继”通信。

卫星通信系统。这是以空间卫星作为中继站的微波通信系统。由于利用三颗同步卫星就可以覆盖全球, 故将是越洋通信及未来个人通信的主要手段之一。

移动通信系统。移动通信系统本来是为车载电台、舰载电台等移动体内的通信终端服务的系统, 近年来随着社会和技术的进步, 已主要用于大量的移动电话(手机)的通信, 并能在世界范围内漫游。

无线寻呼通信系统。是一种单向的无线通信系统, 只限于由局端向寻呼机(俗称 Call 机)发送消息。

另外, 无线电广播、电视系统理论上也是一种单向无线通信系统, 它们各自占用不同的频段, 向覆盖区域内的所有接收终端(收音机、电视机)发送信号。

除上面的分类以外, 计算机网络的兴起, 已使传统的通信系统从概念到应用, 都发生了巨大的变革, 比如网络中的电子邮件、IP 电话等。显然, 计算机网络已经成为新的通信媒体。

若从计算机的角度看,这是一种计算机网络;而若从通信的角度去看,这就是一种数据通信网。计算机技术和通信技术的结合在这里得到了完美的体现。

1.3 通信技术的发展

1.3.1 通信技术的发展历史

古代战争中利用烽火台接力(中继)传递信息就是一种原始的通信系统。现代通信从电报电话发明至今,已经历了 100 多年的历史。其间的重要事件如下:

1838 年,莫尔斯 (S·F·B·Morse) 发明有线电报。

1873 年,麦克斯韦尔 (J·C·Maxwell) 提出电磁波理论。

1876 年,贝尔 (A·G·Bell) 发明电话。

1895 年,马可尼 (G·M·Marconi)、波波夫 (А·Попов) 分别发明无线电报。

进入 20 世纪以后,由于电子管的发明 (1907 年),促使通信技术迅速发展。1918 年调幅广播和超外差收音机问世,1925 年出现了明线三路载波电话。30 年代,调制理论和多路复用技术取得重大进展,调频广播和电视先后开通,话音信号的脉冲编码调制 (PCM) 技术于 1937 年发明。40 年代,香农 (Shannon) 提出信息论;第一台电子计算机于 1946 年问世;1948 年发明晶体管。1950 年,时分多路 (TDM) 技术成功地用于电话系统。1958 年,第一颗通信卫星发射升空。60 年代以后,集成电路 (IC) 的问世极大地促进了通信技术与计算机技术的发展。1962 年第一颗同步通信卫星发射入轨。高速计算机出现。数字传输理论及技术获得迅速发展。1960 年研制成功红宝石激光器,随后光纤通信理论被提出,1970 年低损光纤制造成功,奠定了光纤通信发展的基石。70 年代,出现大规模集成电路 (LSI) 以及微型计算机,微机在通信领域的应用不断扩大,程控数字交换实用化。1977 年,第一条光纤通信线路投入运行。80 年代以后,由于超大规模集成电路 (VLSI) 的出现,使通信技术进入了超常的发展期,导致了各种新型通信系统 (如光纤、移动) 的飞速发展,综合业务数字网的突起,以及计算机网络 (数据通信网) 的广为应用。

1.3.2 通信技术的发展趋势

通信技术与计算机技术、图像技术的结合,使通信技术进入了崭新的发展阶段,促使通信业向数字化、智能化、综合化、宽带化和个人化的方向发展。特别是通信网络 (包括计算机网络) 的互连互通,将导致网络业务数据化、网络技术宽带化、网络设施光纤化、网络接入无线化、网络应用分组化,并形成三网 (电信网、有线电视网、计算机网) 合一的形势。

目前,已经开始和即将应用的通信新技术主要有:

(1) 大容量、高速率的 SDH 传输技术。随着光波分复用技术的应用,实用的传输速率已达 400 Gb/s。

(2) 宽带 ATM 交换技术与 IP 协议技术。使 IP 与 ATM 相结合,IP 与 SDH 相结合,建设宽带多媒体信息网。

(3) 有源和无源相结合的光纤接入技术。

(4) ADSL 宽带接入技术。这是一种充分利用已有铜缆资源,满足用户 VOD、电视会议、电视电话等宽带业务需要的过渡技术。

(5) 固定无线接入技术。可方便地解决偏远山区用户的通信问题。

(6) 三网合一和网络一体化技术。

(7) GSM900/DCS1800 和 CDMA/TACS 双模技术。这两项技术可以解决移动通信中的频段拥挤、网络容量、同频/邻频干扰、城市高层建筑对信号的阻挡以及 TACS 网向数字化过渡等问题。

(8) 第三代移动通信技术。

促进和影响通信技术发展的信息技术最主要的有三项,即硅片集成度、光纤传输能力以及无线频段的容量。目前,这些技术在理论和工程上都得到了迅速发展,必将导致通信技术的新突破。

总之,通信技术的发展一方面是靠光纤网络,以宽带综合业务数字网(B-ISDN)为目标,重点开发宽带图像、视频业务和高速数据通信,结合智能交换和多媒体终端,建设固定的高速光纤通信网,形成真正意义上的信息高速公路;另一方面,则利用卫星、微波等无线信道,积极研究、应用各种高效、高速的调制、编码、复用技术,大力发展移动通信,最终实现全球范围内的个人通信。

1.4 我国通信网现状

改革开放以来,我国的通信事业获得了飞速的发展,取得了惊人的成绩。通信业已由严重制约国民经济发展的瓶颈产业,一跃而成为超前于国民经济发展的先导产业。

我国的通信网络,除了由电信部门管理、运营的公用通信网(电信网)外,还有铁道、电力、军队等部门、系统的专用通信网。单就电信网而言,其规模已超过德国、日本,而成为仅次于美国的世界第二大电信网。目前,公网交换机总容量已达1亿多门;固定电话用户已突破1亿,城市电话普及率已达到约30%;移动电话用户已达3600多万,其中大部分为GSM数字移动电话,能自动漫游到30余个国家和地区;数据通信网已经覆盖全部地级以上城市和大部分县市及部分乡镇,用户数达到约30万。

在总量得到空前发展的同时,我国通信网的技术装备水平也已基本上与发达国家同步。已完成由模拟技术向数字技术的过渡,长途传输数字化比重超过99%,局用电话交换已全部程控化;正在建设的八纵八横光缆骨架建成后,将为全国的宽带通信提供优良的传输平台,除了满足电话通信等基本通信业务外,我国公网已经能够提供信息化所需的计算机通信、图像通信、公用信息业务等多层通信服务;电子信箱、电子数据交换、可视图文、会议电视、传真存储转发、帧中继、计算机互联网等发达国家开办的业务,我国也均已向社会推出。

进入21世纪后,我国通信业将持续高速发展,使通信基础设施更好地服务于社会、经济发展,在国家信息化建设中发挥更大的作用。

2 通信系统的主要质量指标

评价一个通信系统的质量,最主要的是看该系统的有效性和可靠性。有效性是指在给定的信道内能传送多少信息;可靠性是指接收信号的准确程度。对于模拟通信系统和数字通信系统,因其传输的信号型式完全不同,故评价的指标也各不相同。

2.1 模拟通信系统的质量指标

2.1.1 话路数

指在给定的信道,即给定频带宽度内可传多少路模拟电话。

音频电话的频带范围为 300~3 400 Hz, 考虑到边沿的保护带, 一般为每个话路安排 4 kHz 的带宽。以架空明线为例, 其最高传输频率一般定为 150 kHz, 则在其 0~150 kHz 的整个带宽内, 可传输 16 个双向话路 (另有 22 kHz 频带被用作隔离带)。

当对信号采用不同的调制方法时, 如单/双边带幅度调制、频率调制等, 调制后的信号带宽是不一样的。因此, 同样的信道传输不同调制方法的信号时, 能传输的话路数是不同的。

2.1.2 信噪比 SNR

$$\text{SNR} = P_s / P_n \quad (1)$$

若用分贝值表示则为

$$\text{SNR} = 10 \lg \frac{P_s}{P_n} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

式中 P_s 、 P_n 分别为信号功率和噪声功率。用于衡量模拟通信系统质量时, 具体是指收信设备输出的信号平均功率及噪声平均功率。显然, SNR 越大, 接收到的信号就越清晰, 传输质量就越好。对于电话通信, 一般要求 SNR = (20~50) dB。

2.2 数字通信系统的质量指标

2.2.1 信息传输速率

指在给定信道内单位时间能传输的比特数或码元数。前者称为信息速率, 单位 b/s; 后者称码元速率, 单位为波特 (Baud)。信道的传输速率与其带宽成正比, 带宽越大的信道, 所容许的传输速率也越高。

2.2.2 误码率 (误比特率)

这是数字通信最主要的质量指标, 用于衡量在数字传输过程中接收错误的码元数 (或比特数) 占传输总码元数 (或总比特数) 的比率。用 P_e 及 P_b 分别代表误码率和误比特率, 则

$$P_e = \frac{\text{接收错误码元数}}{\text{传输总码元数}} \times 100\% \quad (3)$$

$$P_b = \frac{\text{接收错误比特数}}{\text{传输总比特数}} \times 100\% \quad (4)$$

一个码元由若干个比特构成。对于同一次传输过程, 其 P_e 和 P_b 一般是不相等的。

数字通信系统对于误码率的要求是很严的。例如 CCITT 规定, 三次群 (8 Mb/s) 光纤数字通信系统中继段的误码率必须小于 10^{-9} 。

对于各种通信系统, 分别用到其它的一些质量、性能指标, 这将在后面的各章节中进行具体介绍。

3 电力通信网及其特点

3.1 电力通信网在电力系统的地位及作用

改革开放以来, 我国电力工业和电力系统的发展取得了举世瞩目的成就, 全国发电装机容量和发电量均已跃居世界第 2 位。六大跨省电网先后建成, 全国联网也将随着长江三峡电站的建成得以实现。装备水平日益提高, 自动化技术已在发电、输电、变电、配电、用电等各个环节广泛采用, 电力市场也正在崛起。

电力工业和电力系统的现代化发展进程,极大地推进了电力通信的发展。自1978年国家根据电力生产的特殊需求,批准建设电力专用通信网以来,我国电力通信事业从小到大、从点到面,迅速形成了覆盖全国的电力通信网。

电力通信的作用主要是:

(1) 传送电力系统运动、保护、负荷控制、调度自动化等运行、控制信息,保障电网的安全、经济运行;

(2) 传输各种生产指挥和企业管理信息,为电力系统的现代化提供高速率、高可靠的信息传输网络。

现在,电网的建设,运行和管理已越来越依赖于电力通信网,电力通信系统和安全稳定控制系统、电网调度自动化系统共同构成了电网安全稳定经济运行的三大支柱,成为现代化电网赖以生存的重要组成部分。

3.2 电力通信网的特点

我国拥有一个规模宏大的公用通信网,为什么还要另建一个专用的电力通信网?这是由电力系统的特殊需要而形成的。

电力系统的特殊性突出表现在电力生产的不容许间断性、事故出现的快速性、以及电力对国民经济影响的严重性。电力生产是连续的,发电机一旦启动,就将在相当长的时间内日夜运转,将电能经电网送出;电力系统事故、特别是输电线路的故障,往往是在瞬间发生,并且不可预知;一旦因事故中断供电,将使得供电区域陷入瘫痪,给国民经济和社会生活带来严重的影响。正因如此,电力系统总是把安全生产放在第一位。

为了保证电力系统的安全运行,就需要有一个有效、可靠的控制系统,借以及时发现系统故障,并迅速采取相关应急措施。而电力系统覆盖面积辽阔,这些控制信息必须借助于快速、可靠的通信网络才能准确、及时地予以传送。由此可见,电力通信系统具有以下特点:

1. 实时性

即信息的传输延时必须很小。这是由电力系统事故的快速性所要求的。如果出了事故不能及时发现,或发现事故后控制命令不能及时下达,将会造成更大的损失。如果利用公网通信,人们常遇到“占线”、“不通”的情况,显然不能满足电力系统的要求。

2. 可靠性

即信息传输必须高度可靠、准确,不能出错。否则,该动作的机构没有动、不该动作的却动了,其后果不堪设想。公网通信的要求可以不那样高,一份传真传送有误,可以再传一次。这在电力通信中是不能容许的。

3. 连续性

由于电力生产的不间断性,电力系统的许多信息(如远动信息)是需要占用专门信道,长期连续传送的,这在公网通信中难以实现。

4. 信息量较少

鉴于电力通信网的特殊用途,主要是传送电力系统的生产、控制、管理信息,故网上传输的信息量比公网少,通信网络的触角也只须伸至基层变电所。这一点决定了电力通信系统的容量势必比公网小。

当然,随着电力市场和电能自动计费的兴起,以及电力通信参与公用电信市场的竞争,

这种格局将逐渐改变。

5. 网络建设可利用电力系统独特的资源

这是电力系统建设通信网的一个突出优势。比如利用高压输电线路进行的载波通信,利用电力杆塔架设 ADSS 光缆等。

3.3 我国电力通信系统现状及未来发展

3.3.1 我国电力通信现状

目前,以数字微波为干线、覆盖全国的电力通信网络已初步形成,光纤通信、卫星通信、移动通信、数字程控交换以及数字数据网等新兴的通信技术,在我国电力通信中也获得了相当水平的应用。下面就我国电力通信的现状作一简单介绍。

1. 数字微波干线网

我国于 1982 年建成亚洲第一条 1000 余 km (北京——武汉)、480 CH 的数字微波电路。经过十几年的发展,现在电力部门在全国已拥有 3 万多 km 微波电路。其中大部分为 480 CH,部分为 960 CH,近年建设的微波电路已经采用了 SDH 传输技术。通过微波通信,国家电力公司至全国各省区市都有直达电路,形成了以北京为中心的全国性电力通信干线网络。

2. 电力线载波通信

电力线载波通信是电力系统特有的通信方式。目前全国 110 kV 以上电力线载波电路已近 70 万话路公里,如葛洲坝——上海的 1000 余 km ± 500 kV 直流输电线路就开通了载波通信。电力线载波通信主要用于话音、保护和远动信息的传输,近年来随着载波机技术水平的提高,数字载波的研究开发,载波通信有望提供数字业务。

3. 光纤通信

光纤通信技术在电力系统的应用起步较晚,但发展十分迅速。光纤通信应用于电力系统的突出优点是它具有非常高的抗强电磁干扰的能力,同时,由于其带宽大,能方便地实现视频传输,在大量无人值班变电站的“五遥”(即遥测、遥信、遥控、遥调和遥视)中具有独特的意义。特别是电力特种光缆(OPGW、GWWOP、ADSS)的应用,给电力系统通信提供了独特的手段。

目前,电力系统的光缆线路(包括特种和普遍光缆)已有 3000 多 km,各地的在建线路还不少。可以预料,光纤通信必将成为我国电力通信网的主要方式之一。

4. 卫星通信

卫星通信主要用于解决国家电力公司至边远地区的通信。目前电力系统内已有 FM、CVSD、ADPCM 等制式地球站 32 座,基本上形成了系统专用的卫星通信系统,实现了北京对新疆、西藏、云南、海南、广西、福建等边远省区的通信。卫星通信除用作话音通信外,还用来传送调度自动化系统的实时数据。

5. 移动通信

作为电力通信网的补充和延伸,移动通信在电力线维护、事故抢修、行政管理等方面发挥了积极的作用。根据电力部门特点,已在全国若干地区建设了 800MHz 集群移动通信系统,以后将能实现集群移动通信的全国漫游。

6. 自动交换网

已形成以北京为中心的四级汇接(国、大区、省、地)五级交换(国、大区、省、地、县)

的全国性电话自动交换网，在主要节点上实现了程控数字化，并且大部分以数字中继联网。系统内可直拨的交换局达六百多个，总容量达五十多万线，数字化比重超过 80%。

7. 数字数据网 (DDN)

数据传输和交换是电力系统通信的主要业务之一。目前除在局部地区开展较低速率的数据通信以外，已在北京、武汉、上海三点建立了传输速率为 384 kb/s 的高速分组交换网，为调度自动化信息的传递及不同速率、不同类型计算机终端之间的通信和数据资源共享提供服务。以此大三角 DDN 网为骨干，连接全国各省局的全国性数字数据网和分组交换网也已基本形成。

由上所述，我国电力通信已发展为具有多种通信方式、具备一定能力的较为完整的通信网络，但仍存在一些严重的薄弱环节和问题，主要表现在：

网络结构薄弱、网络技术落后；

主干电路设备老化、运行不够稳定，造成传输质量下降，运行效率降低；

传输容量偏小；

通道利用率偏低；

业务种类开展较少；

网络接入系统薄弱；

网络管理系统尚未形成；

通信网发展的体制、标准、规范不够完备。

针对以上问题，必须采取相应的有效措施，才能将我国电力通信网改造、建设成为一个现代化的、能满足电力系统发展要求、与世界通信技术同步的电力通信网。

3.3.2 我国电力通信发展目标

从我国电力通信的实际出发，必须以科技为先导，采用世界上先进、成熟的通信技术和设备，高标准、高起点装备电力通信网，为电力工业提供安全可靠、先进高效的电子信息服务，同时也要面向改革开放的中国市场，面向社会，积极提供最先进的、特殊的电信增值服务。

在 21 世纪最初的几年内，中国电力通信的具体发展目标是：

(1) 积极引进当今先进水平的同步数字序列 (SDH)、异步转移模式 (ATM) 宽带交换和数字移动通信 (GSM、CDMA) 等先进技术及设备。

(2) 充分利用现有物质基础和系统的资源优势，有计划、有步骤地将电力通信主干网改造成以光纤为主微波为辅的网络。新建 220 kV 以上的超高压输电线路，积极采用 OPGW 特殊光缆；现有 110 kV 及以上等级线路，架设 GWWOP 或 ADSS 光缆，以此形成光纤通信主干线。

(3) 加快开发电信新业务，包括可视图文、电子信箱、传真存储转发、电子数据交换以及多媒体服务。

我国电力通信的发展任重道远。跨入新世纪的中国电力通信，既面临着许多新的挑战，也存在着许多机遇，只要坚持改革开放，依靠科技、就一定能获得更为蓬勃的发展。

第一章 数字通信基础

通信系统正向着传输数字化、终端集成化、智能化、线路光缆化、交换程控化的方向发展, 数字通信正在迅速取代模拟通信, 由数字终端、数字传输和数字交换构成的综合业务数字网将逐步取代现存的单一通信网。为适应电力事业发展的需要, 电力系统通信也将组成以数字通信为主的专用通信网。而数字通信的原理和理论, 是数字通信的技术基础, 学习并掌握数字通信的基本理论是十分必要的。本章主要介绍数字通信的基本概念, 信源及信道编码, PCM 基带传输系统, 数字调制、解调技术、数字复接技术和数字通信中的同步技术等内容。

1.1 数字通信及其特点

1.1.1 数字通信的基本概念

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的系统。由于信息转换成电信号后的形式不同, 用途不一, 所以数字通信系统的组成形式有多种。但从系统的主要功能和部件看, 可概括为图 1-1 所示的基本模型。

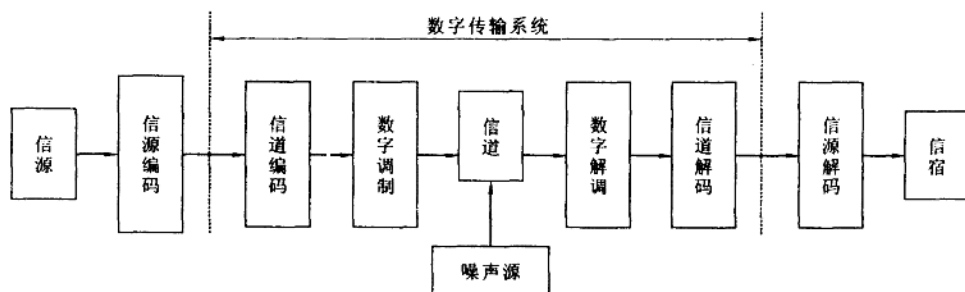


图1-1 数字通信系统模型

信源有产生模拟信号的电话、摄像机等, 以及输出数字信号的各种数字终端, 如电传机、电子计算机等。

信源编码包括模拟信号的数字化和信源压缩编码两个范畴。模拟信号数字化主要有脉码调制 (PCM)、增量调制 (ΔM) 等。信源压缩编码, 是对信号进行压缩处理, 去除或减少冗余度; 或者把能量集中起来, 缩小占据的频带, 以提高通信的有效性。这些编码方法有预测编码、交换编码等。

信道编码主要解决数字通信的传输可靠性问题, 也称作抗干扰编码。具体是在传输中采用差错控制技术, 以达到在接收端发现和纠正错误、减少误码的目的。信道编码有重传反馈 (ARQ)、线性分组码、循环码、卷积码等。

信道是指传输信号的通道。根据传输媒介的不同,可分为有线信道(明线、电缆、光缆信道)和无线信道(短波、微波、卫星中继信道等)两大类。

经过编码的数字序列,称为基带信号。数字基带信号可以直接在明线和电缆中传输,称作基带传输。但大多数信道如微波信道,卫星中继信道等都是带通信道,工作在较高的频段上。因此,数字基带信号必须经过载波调制,把信号的频谱搬移到信道上适当的频带,才能在相应的信道中传输。这称为调制传输或频带传输。频谱搬移的工作是由调制解调器(MODEM)完成的,调制方式主要有幅移键控(ASK)、频移键控(FSK)、相移键控(PSK)及其它改进方式。

数字信道传输数字信号,除图 1-1 所示的几部分之外,中间还需要经过再生中继系统,使在传输过程中衰减和受到噪声干扰的信号被“修整”(重新整形和定时),使之“再生”出与原发端数字信号相同的波形,再继续传输。可见,再生中继传输避免了传输过程中噪声干扰的积累,体现了数字通信线路的优势。

接收端的解调、信道解码、信源解码等几个方框的功能与发送端对应的调制、信道编码、信源编码方框的功能正好相反,这里不再赘述。信源解码后的电信号到达受信者,通常也称为信宿。信宿可以是人,也可以是各种终端设备。

对于具体的数字通信系统,其构成既可以包括图 1-1 的所有组成部分,也可以只是其中的某些部分。例如当以数字终端作为信源时,它本身输出的就是数字信号,故系统中无需进行信源编/解码。又如在基带传输系统中,不需要调制/解调器。

此外,同步装置也是数字通信系统的重要组成部分。没有同步装置,数字通信就无法进行,同步和定时是同步技术的两方面。数字通信系统中除载波同步、位(码元)同步、帧(群)同步之外,在数字通信网中还有网同步。同步技术根据传输要求有不同的实现方案,而同步性能也直接影响到通信的质量。

1.1.2 数字通信的特点

数字通信与模拟通信相比,无论是传输质量,还是技术指标及经济性,都有其显著的优点:

(1) 抗干扰能力强

模拟信号的取值是连续变化的。对于叠加在信号上的噪声,收端无法把它从信号中分离出来。而数字通信中的数字信号是仅有有限个电平(一般为 0、1 或 +1、-1)的一串脉冲。沿通信线路传输时,利用再生技术,可明显地降低干扰和失真对传输质量的影响。此外,数字通信还可利用差错控制编码,进一步提高数字通信的可靠性。

(2) 传输质量与通信线路长度无关

因数字信号在传输过程中可以通过再生消除传输中噪声和失真的影响,故传输质量与通信线路长度无关。

(3) 便于建立综合各种业务的数字通信网

在数字通信中,各种信息(如电报、电话、图像、数据等)以及用来对数字信号的传输情况进行监视、控制的各种信号,都可以通过程控数字交换设备进行数字交换,以实现传输和交换的综合,组成统一的综合业务数字网(ISDN)。这样不仅给实际应用带来了极大便利,而且在数字网中,通路的构成和交换用同一种型号的设备,提高了通信网的经济效益。

(4) 便于加密处理

数字信号可用各种具有复杂规律的密码进行加密,而这种加密只要用简单的逻辑电路就能实现。因此数字通信的加密处理比模拟通信容易得多。

(5) 设备功耗低、体积小、可靠性高

随着微电子技术的飞速发展,数字通信系统中各种数字设备,可以充分利用 VLSI 及 FPGA 等来实现,使设备体积小、功耗低、可靠性高,而且价格低廉。此外,数字通信线路不需要采用体积较大的滤波器,也体现出它的经济性。

相对于模拟通信,数字通信的主要缺点是占用频带宽。如一路模拟电话只需占 4 kHz 带宽,而一路数字电话则要占据约 (20~60) kHz 带宽。在系统频率资源紧张的情况下,这一缺点影响了数字通信的使用。近年来随着大容量宽带信道(如光缆)的开发应用,以及频带技术的发展,使这一问题显得并不突出。而且随着现代社会对通信质量、容量、保密性能、以及与计算机联网的要求不断提高,数字通信已成为现代通信的发展方向,其前景是十分广阔的。

1.1.3 数字通信系统的主要性能指标

有效性和可靠性通常是衡量通信系统优劣程度的最基本、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送的信息的多少。对于数字通信系统,有效性主要是指传输速率。可靠性是指在给定信道内所收到的信息的准确度,即传输的差错概率。

有效性和可靠性是相互矛盾的两个方面,在实际应用中,要视具体情况综合考虑。

1.1.3.1 有效性指标

(1) 码元传输速率 R_b

携带信息的信号单元称为码元,单位时间内通过信道传输的码元数称为码元速率,又称为符号速率、传码率或波特率,单位是波特 (Baud 或 Bd)。

(2) 信息传输速率 R_b

单位时间内通过信道传输的信息量的多少,称为信息传输速率,也称为传信率或比特率。码元传输速率和信息传输速率的概念不同,不能混淆。对于 N 进制的调制而言,两者的关系为:

$$R_b = R_b \log_2 N \quad (1-1)$$

显然,在二进制调制中, $R_b = R_b$ 。此时的一个二进制比特,也就是一个码元。例如当码元速率为 600 Bd 时,若为二进制调制,则 $R_b = 600$ b/s; 四进制调制时为 1 200 b/s; 八进制时为 1 800 b/s。

(3) 频带利用率

指单位频带内每单位时间传输信息量的多少。用 ρ 表示。

$$\rho = \text{码元速率/频带宽度 (Baud/Hz)} \quad (1-2)$$

$$\rho = \text{信息速率/频带宽度 (b/s/Hz)} \quad (1-3)$$

通常,系统的频带利用率越高,其有效性越好。在二进制基带系统中,频带利用率 $\rho = 2$ b/s/Hz,而在频带传输系统中, ρ 值随调制方式和二进制或多进制的不同而可能不同。

1.1.3.2 可靠性指标

即误码率和误比特率。

1.2 信源编码与信道编码

1.2.1 信源编码

在数字通信系统中,当信源发出的信号为模拟量时,必须先将模拟信号变换为数字信号,这就是信源编码。在目前的通信技术中,脉冲编码调制(PCM)和自适应差分脉码调制(ADPCM)是两种最主要的编码方法。

1.2.1.1 脉冲编码调制(PCM)

脉冲编码调制包括对模拟信号的“抽样”、“量化”和“编码”三个过程,图1-2表示了通信中语音信号的处理过程。

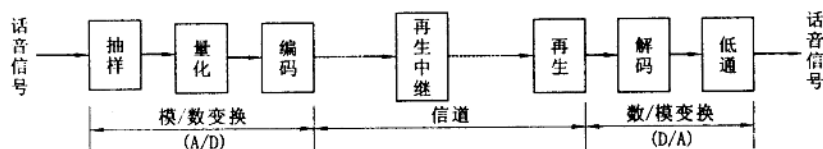


图1-2 PCM基带传输通信系统

1. 抽样

抽样就是每隔一定的时间间隔 T , 抽取模拟信号的一个瞬时幅度值(样值), 得到一串在时间上离散的样值序列。要从抽样信号重建模拟波形, 必须满足抽样定理。

抽样定理: 一个频带限于 B Hz 的信号 $f(t)$, 可以唯一地用时间每隔 $\frac{1}{2B}$ 秒的抽样值序列来确定。

抽样定理说明, 要从抽样值完全不失真地恢复原始信号, 抽样频率必须满足条件:

$$f_s \geq 2B \text{ 或 } T_s \leq \frac{1}{2B} \quad (1-4)$$

通常称 f_s 为奈奎斯特频率 (Nyquist Frequency), T_s 为奈奎斯特间隔。

假如原始信号频谱如图1-3(a)所示。当 $f_s < 2B$ 时, 抽样后的信号频谱将发生重叠(图1-3(b)), 形成折叠噪声, 这是不允许的。当 $f_s = 2B$ 时, 不存在防卫带, 因而对接收滤波器要求严格(图1-3(c))。为了便于滤波器的制作, 一般留出一点防卫带, 取 $f_s > 2B$ (图1-3(d))。

如果语音信号的最高频率限制在 3400 Hz, 则 $f_{s,\min} = 2 \times 3400 \text{ Hz} = 6800 \text{ Hz}$, CCITT 规定语音信号的抽样频率 $f_s = 8000 \text{ Hz}$, $T_s = \frac{1}{f_s} = 125 \mu\text{s}$, 这样滤波器的防卫带 $f_s - 2B = 8000 - 6800 = 1200 \text{ Hz}$

另外, 抽样频率 f_s 并不是越高越好, 那样会降低信道的利用率。

如果连续信号的频谱不是限制在 $(0 \sim B)$ Hz 之间, 而是限制在 f_1 与 f_2 之间 ($f_2 > f_1$) 的带通信号(如载波机的群路信号)。假如我们仍采用 $f_s = 2f_1$ 的抽样频率, 将会使 $(0 \sim f_1)$ 的频段造成浪费(如图1-4所示)。为提高信道的利用率, 并降低抽样频率, 带通信号的抽样定理如下: