



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电力系统通信 与网络技术

钟西炎 主 编
谢伟红 王 锦 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



清华大学出版社
TSINGHUA UNIVERSITY PRESS

电力系统通信 与网络技术

主编 王 强
副主编 王 强 张 坤

清华大学出版社
TSINGHUA UNIVERSITY PRESS



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电力系统通信 与网络技术

主 编 钟西炎
副主编 谢伟红 王 锦
编 写 成绥洲
主 审 侯思祖 张淑娥



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 简 介

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,本书共分六章系统地介绍了现代通信和网络的基本概念、基本原理、系统构成和技术发展趋势。并系统地讨论了电力系统通信网络的基本组成,电力系统通信的主要类型及其工作原理,各种通信及网络新技术在电力系统中的应用及应用中存在的各种问题,并介绍了电网自动化中常用的有关网络协议和通信规约。本书是按照最新的高职高专教学要求来编写的,内容通俗易懂,简洁明了。

本书既可作为电力系统高职高专各相关专业的教材,亦可作为电力系统职工网络通信技术培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统通信与网络技术/钟西炎主编. —北京:中国电力出版社, 2005

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-5083-3597-X

I. 电... II. 钟... III. 电力系统-通信技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TM73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 102850 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 9 月第一版 2005 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 401 千字

印数 0001—3000 册 定价 25.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，同意列为全国电力高等职业教育规划教材，作为高等职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

《电力系统通信与网络技术》是为了提高电力系统高职高专各专业在校学生的综合理论素质，以便适应电力系统自动化发展对通信、计算机网络技术知识的迫切需要而编写的。

本书是按照最新的高职高专教学要求来编写的。教材内容结合现场应用需求，合理编排内容，针对性强。论述力求简明扼要、通俗易懂，尽量避免过深过繁的理论推导和过抽象的协议描述，而侧重概念的说明和整个系统的形成，做到理论够用，可读性强，并具有一定的先进性、系统性和实用性。充分体现现代职业教育的特点，开发学生思维能力、拓展其知识面、增强就业能力。按照学生的认知规律，合理编排教材章节，各章节既相对独立，又可贯穿起来，形成通信和网络的完整体系。

本书内容强调学科的系统性、实用性，围绕电力系统对网络通信知识应用的需求，合理取舍内容。教材注意新知识、新技术的引入。在全面和系统地论述现代通信和网络的基本概念和基本理论的基础上，使学生建立一个完整系统的知识体系。

本书针对性强，结合电力系统通信网络的具体情况，系统的论述和分析了电力系统常用通信方式的特点、基本工作原理、系统主要构成。使学生对电力系统通信网络有一个全面清晰的认识，并了解电力系统通信的发展趋势。

结合配电网综合自动化系统和变电站综合自动化系统中网络通信技术的应用实例，分析广泛使用的现场总线 LonWorks 和 CAN 的特点及应用中存在的各种问题。并介绍电网自动化中常用的通信规约。

为了便于学生学习和理解所学知识，每章后均附有复习思考题。

全书共分六章，其中，第2章及附录由西安电力高等专科学校王锦编写，第3章的3.5、3.6、3.7节由成绥洲编写，第4、第5章由长沙电力职业技术学院谢伟红编写，其余各章节由钟西炎编写并担任主编，负责全书统稿工作。全书由侯思祖、张淑娥主审。

由于编者水平和实践经验有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评和指正。

编 者

2005年5月

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 通信技术的发展.....	1
1.2 计算机通信与网络.....	7
1.3 我国电力系统通信的现状与发展战略.....	10
复习思考题.....	12
第 2 章 通信技术基础	13
2.1 通信的基本概念.....	13
2.2 信号的调制与编码.....	16
2.3 数据的检错与纠错.....	25
2.4 调制解调器.....	30
2.5 多路复用技术.....	34
2.6 数据链路层协议.....	38
2.7 信息交换技术.....	46
2.8 通信网.....	55
复习思考题.....	59
第 3 章 电力系统常用通信方式	61
3.1 音频电缆.....	61
3.2 电力线载波通信.....	62
3.3 光纤通信.....	76
3.4 移动通信.....	93
3.5 数字微波中继通信.....	107
3.6 卫星通信.....	121
3.7 扩频通信.....	130
复习思考题.....	145
第 4 章 计算机网络	147
4.1 计算机网络的基本概念.....	147
4.2 计算机网络的基本组成.....	149
4.3 局域网的组成.....	160
4.4 局域网的介质访问控制.....	164
4.5 常用的网络设备.....	171
4.6 Windows 2000 网络操作系统及其应用.....	174

4.7 计算机网络安全与管理	186
4.8 计算机网络系统的集成	190
复习思考题	198
第 5 章 计算机通信接口	199
5.1 RS—232 接口技术	199
5.2 RS449、RS—422 与 RS—485 串行接口标准	205
5.3 其他计算机通信接口	212
复习思考题	214
第 6 章 电力系统中网络通信技术的应用	215
6.1 变电站综合自动化的数据通信系统	215
6.2 配电网综合自动化的通信系统	221
6.3 配电网安全监控和数据采集系统 SCADA	229
6.4 远程自动抄表技术 AMR	232
6.5 现场总线及应用	234
附录 电力系统常用通信规约简介	242
参考文献	256

概 论

引言：为保证电力系统安全、经济的发供电，合理分配电能，保证电力质量指标及防止和及时处理电力系统事故发生，就要高度集中管理和统一调度，建立起与之相适应的专用通信系统。因此，电力通信系统是电力系统的重要组成部分，它是电网实现调度自动化和管理现代化的基础。

电力系统通信方式包括了几乎所有现有的通信手段和种类。此外，计算机网络技术也为调度自动化技术的发展提供了广阔的发展空间。要想学好电力系统通信与网络技术，就必须首先建立通信技术和网络的整体概念，通过学习通信和网络的基本技术和原理，对通信技术的体系框架有一个全面系统地认识，对各种通信技术的概念、原理、系统构成和技术发展有较全面的理解和掌握。

1.1 通信技术的发展

1.1.1 通信发展的历史

通信就是双方或多方信息的传递与交流。通信在人类社会的各种社会活动和经济活动中都起着重要的作用。随着科学技术的不断发展，通信的手段、方式、内容都在发生着巨大的变化，已经形成了一个独立的学科。特别是通信与计算机的紧密结合，使通信技术日新月异，迅速发展。

通信所需传递的信息可以有不同的形式，如语言、文字、图像、数据等。现代传递信息的方式中，以用电或电子的方法传递信息最为广泛。这是因为电气通信可以长距离、迅速、可靠地传递信息。

通信的发展经历了漫长的历史，从远古的烽火通信到今天的计算机通信网络。通信发展的历史也是人类社会文明发展的历史，通信的发展推动了人类的文明与进步。回顾通信发展的历史过程，通信手段的真正革命是从电信开始的。具有代表意义的事件有：1837年摩尔斯发明有线电报，标志着电信时代的开始；1895年马克尼发明无线电报，开创了无线电通信发展的道路；而载波通信的出现，则使在一个物理介质上传送多路音频电话信号成为可能；电视使传输和交流信息从单一的声音发展到实时图像；计算机被认为是20世纪最伟大的发明，它加快了各类科学技术的发展进程；集成电路使人类的信息传输能力和信息处理能力得到了极大提高；光纤通信中，光导纤维的发明，为人们提供了一种全新的通信介质，将使通信容量达到前所未有的地步；卫星通信将人类引入了太空通信时代；蜂窝移动通信则为人们提供了一种灵活、便捷的通信方式；而计算机网络的出现意味着信息时代的到来。

伴随着通信手段的发展，通信的理论也在不断的发展完善。调制理论、信号和噪声理论、信号检测理论、信息论和纠错编码理论等构成了系统科学的通信理论。尤其是脉冲编码技术（PCM）的出现，开辟了数字通信的广阔领域。

1.1.2 通信系统的分类与构成

实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒质的总和称为通信系统。任何通信系统都可以抽象概括为图 1-1 所示的一般通信系统模型。

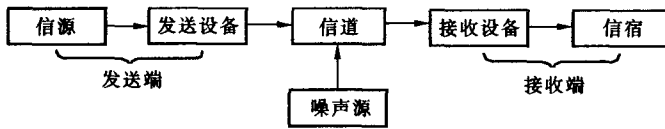


图 1-1 通信系统的模型

图 1-1 中，信源是指原始的信息源。其作用是把原始的消息转换成原始电信号，称之为消息信号或基带信号。常用的信源有电话机、电视摄像机、电传机，以及计算机等各种数字终端设备。信源的

信号通常不适于直接在信道上传输。它需要由发送设备将信源和信道匹配起来，即将信源产生的消息信号变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的，在需要频谱搬移的场合，调制是最常见的变换方式。对数字通信系统来说，发送设备常常又可分为信源编码与信道编码。信道是指传输信息的通道。信道可以是明线、电缆、光纤、波导、无线电波等等。噪声源不是人为加入的设备，而是通信系统中各种设备以及信道中所固有的。噪声的来源是多样的，它可分为内部噪声和外部噪声，为了分析方便，把噪声源视为各处噪声的集中表现而抽象加入到信道。接收设备的作用与发送设备的作用相反，即进行解调、译码、解码等。对接收器的要求是能够从带有干扰的接收信号中最大限度的正确恢复出相应的原始基带信号来，即复现信源的输出。信宿是传输信息的归宿点，即接收消息的人或机器。

根据研究的对象以及所关注的问题不同，图 1-1 模型中的各小方框的内容和作用将有所不同，因而相应有不同形式的更具体的通信模型。今后的讨论就是围绕着通信系统进行的。

现代通信种类繁多，有卫星通信、光纤通信、移动通信、微波通信和扩频跳频通信等方式。时分复用技术、码分多路复用技术、程序控制技术、智能控制等先进技术手段得到广泛的应用，从而实现了以网络为依托的全球通信。通信的分类方法有很多种，可以按通信业务分类，通信系统分为话音通信和非话音通信。按调制方式分类，根据采用调制与否，可将通信系统分为基带传输和频带（调制）传输。所谓基带传输是指信号没有经过调制而直接送到信道中去传输的一种方式，而频带传输是指信号经过调制后再送到信道中传输，收端有相应解调措施的通信系统。按传输媒质分类，通信系统可分为有线通信系统和无线通信系统两大类。按工作波段分类，按通信设备的工作频率不同可分为长波通信、中波通信、短波通信、远红外线通信等。按信号复用方式分类，传输多路信号有三种复用方式，即频分复用 FDM、时分复用 TDM 和码分复用 WDM。频分复用是用频谱搬移的方法使不同信号占据不同的频率范围；时分复用是用脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区间；码分复用是用正交的脉冲序列分别携带不同信号。

另外，通信还有其他一些分类方法，如按多地址方式可分为频分多址通信、时分多址通信、码分多址通信等。按用户类型可分为公用通信和专用通信等。而其中最常用的方法是按信号特征分类，按照信道中所传输的电信号是模拟信号还是数字信号，相应地把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统两大类。

一、模拟通信系统

模拟通信系统是指利用模拟信号来传递信息的通信系统。信源发出的原始电信号是基带

信号，基带信号具有频率很低的频谱分量，不便直接传输，需要把基带信号变换成其频带适合在信道中传输的信号，并可在接收端进行反变换。完成这种变换和反变换作用的通常是调制器和解调器。经过调制以后的信号称为已调信号。模拟通信系统模型如图 1-2 所示。

二、数字通信系统模型

数字通信系统是指利用数字信号来传递信息的通信系统，如图 1-3 所示。这里的发送设备包括信源编码器、信道编码器和数字调制器三

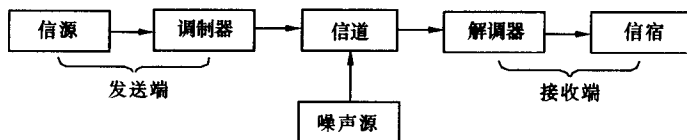


图 1-2 模拟通信系统的模型

部分。信源编码的主要任务是将模拟信号转换成数字信号。模拟信号数字化主要有两种基本形式：一是脉冲编码调制 (PCM)；另一种是增量调制 (ΔM)。而信道编码则是对数字信号进行再次编码，使之具有自动纠错或检错的能力。编码器根据输入的信息码元产生相应的监督码元来实现对差错进行控制，译码器则主要是进行检错与纠错。数字调制就是把数字基带信号对载波进行调制，形成适合在信道中传输的数字调制信号。基本的数字调制方式有振幅键控 ASK、频移键控 FSK、绝对相移键控 PSK、相对 (差分) 相移键控 DPSK。

此外，同步亦是数字通信系统的基本组成部分。同步系统性能的好坏，直接影响着通信系统性能的优劣。所谓同步就是要使数字通信系统的收发两端在时间上保持步调一致。同步的主要内容有载波同步、位同步、帧同步以及网同步。

数字复接则是依据时分复用基本原理把若干个低速数字信号合并成一个高速的数字信号，以扩大传输容量和提高传输效率。复用与复接概念将在以后的章节中介绍。

需要说明的是，图 1-3 是数字通信系统的一般化模型，实际的数字通信系统不一定包括图 1-3 中的所有环节。如在某些有线信道中，若传输距离不太远且通信容量不大时，数字基带信号无需调制，可以直接传送，称之为数字信号的基带传输，其模型中就不包括调制与解调环节。应该指出的是，模拟信号经过数字编码后可以在数字通信系统中传输，数字电话系统就是以数字方式传输模拟语音信号的例子。

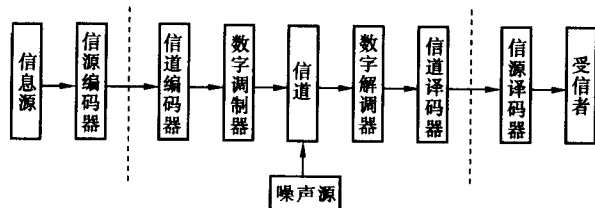


图 1-3 数字通信系统模型

当然，数字信号也可以在模拟通信系统中传输，如计算机数据可以通过模拟电话线路传输，但这时必须使用调制解调器 (Modem) 将数字基带信号进行正弦调制，以适应模拟信道的传输特性。可见，模拟通信与数字通信的区别仅在于信道中传输的信号种类。

目前，无论是模拟通信还是数字通信，在不同的通信业务中都得到了广泛的应用。但是，数字通信的发展速度已明显超过模拟通信，成为当代通信技术的主流。与模拟通信相比，数字通信更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求，其特点是：抗干扰能力强、差错可控、可以采用信道编码技术使误码率降低、提高传输的可靠性、易于与各种数字终端接口，用现代计算机技术对信号进行处理、加工、变换、存储，从而形成智能网；易于集成化，从而使通信设备微型化；易于加密处理，且保密性好。

但是，数字通信的许多优点都是用比模拟通信占据更宽的系统频带为代价而换取的。以

电话为例，一路数字电话一般要占据约 20~60kHz 的带宽，而一路模拟电话仅占用约 4 kHz 带宽。如果系统传输带宽一定的话，模拟电话的频带利用率要高出数字电话的 5~15 倍。此外，由于数字通信对同步要求很高，因而系统设备比较复杂。不过，随着新的宽带传输信道（如光导纤维）的采用、窄带调制技术和超大规模集成电路的发展，数字通信的这些缺点已经明显弱化。随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用，数字通信在今后的通信方式中必将逐步取代模拟通信而占据主导地位。

三、数据通信系统

数据通信是在计算机与计算机之间实现的通信，它是计算机技术与通信技术相结合的产物。现代数据通信系统，一般由数据传输系统和数据处理系统两部分组成。在通信过程中依据通信协议，利用数据传输技术（模拟传输或数字传输）在两个功能单元之间传递数据信息。

研究数据通信系统包括两方面内容：一方面研究信道的组成、连接、控制及其使用；另一方面研究信号如何在信道上传输和控制。

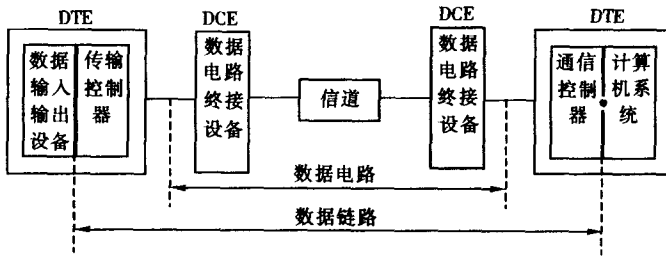


图 1-4 数据通信系统模型

数据通信系统都是由数据终端设备（DTE）、数据电路和计算机系统三部分组成的。图 1-4 是数据通信系统的基本构成。图 1-4 中，数据终端设备（DTE）通过数据电路与计算机系统相连接，数据电路由传输信道和数据电路终接设备（DCE）组成。如果传输信道是模拟信道，DCE 的作用

是将 DTE 送来的数据信号变换为模拟信号再送往信道，或者反过来，将信道送来的模拟信号变换成数据信号再送到 DTE。如果传输信道是数字信道，DCE 的作用是实现信号码型与电平的转换、信道特性的均衡、收发时钟的形成与供给以及线路接续控制等。

数据通信是伴随着计算机技术和通信技术的发展，以及两者之间的相互渗透与结合而发展起来的一种新的通信方式，数据通信有着广泛的应用领域，内容十分丰富，其相关理论也在不断发展和完善之中。作为一门新兴的学科，尚无严格的范围限制。简单来说，数据通信就是数据处理与数据传输。

数据通信系统的信源、信宿处理的都是数字信号，而其传输信道既可以是数字信道也可以是模拟信道。这有别于模拟和数字通信系统，模拟通信系统是以模拟信道传输模拟信号的系统。数字通信系统则是以数字信号的形式传输模拟信号的系统。为了说明三种通信系统之间的区别和联系，如图 1-5 所示，数字通信的产生是为了改善模拟通信的质量，与通信双方接触的仍然是模拟信号。只是它们的信号传输方式有所不同。而数据通信在信号传输上

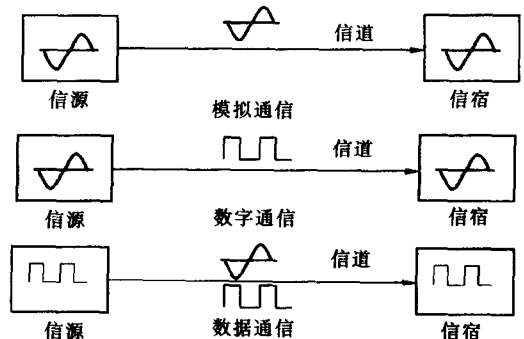
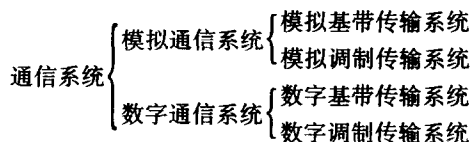


图 1-5 三种通信系统通信方式示意图

与数字通信大致相同（仅就数字信道传输而言），但它的信息源一般为数字信息（离散信息），所以数据通信在功能上可以认为是数字通信的延伸或分支。因此，从技术体制上看，通信方式仍然只分为模拟通信和数字通信两种。

综上所述，通信系统的分类可表示为：



1.1.3 通信信道与噪声

每一个通信系统都离不开通信信道，信道的特性直接影响到通信的质量。而噪声则以各种形式存在于通信系统之中，是一个不可回避的客观事实。为了保障通信系统的有效性和可靠性，就必须了解和掌握信道和噪声的基本特性。

一、信道的定义和分类

一般来说，信号的传输途径就称为信道。通常将信号的传输介质定义为狭义信道。在通信理论的研究中，信道的范围还可以扩大，各种信号处理电路和设备（发送机、接收机、调制器、解调器、放大器等），均可包含在信道的范围以内。因此，把传输介质和信号必须经过的各种通信设备统称为广义信道。广义信道按照它包括的功能，可以分为调制信道、编码信道等。

信道的一般组成如图 1-6 所示。所谓调制信道是指从调制器的输出端到解调器的输入端所包含的发转换装置、媒质和收转换装置三部分。当研究调制与解调问题时，我们所关心的是调制器输出的信号形式、解调器输入端信号与噪声的最终特性，而并不关心信号的中间变换过程。调制信道输入输出的均是已调信号，既可以是数字已调信号也可以是模拟已调信号。在数字通信系统中，如果研究编码与译码问题时采用编码信道，会使问题的分析更容易。调制信道和编码信道是通信系统中常用的两种广义信道。

狭义信道按照传输介质的特性分为有线信道和无线信道两类。有线信道包括：双绞线、同轴电缆、架空明线、多芯电缆和光纤等可以看得见的、有形的传输介质。无线信道由无线电波和光波作为传输载体。无线电波的传播方式主要包括地面波传播、天波传播、地-电离层波导传播、视距传播、散射传播、外大气层及行星际空间电波传播等几种。狭义信道是广义信道的重要组成部分。

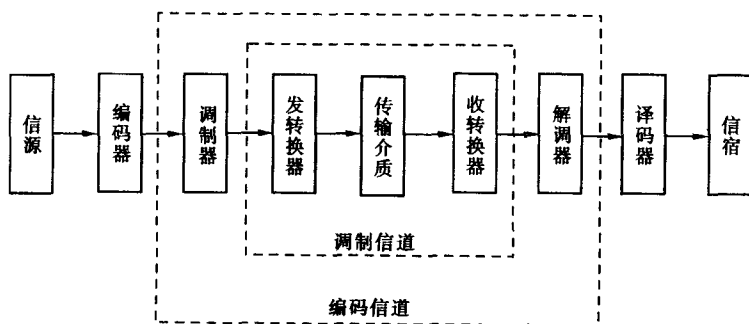


图 1-6 调制信道与编码信道的划分

二、通信噪声的定义与分类

二、通信噪声的定义与分类

从广义上来说，通信系统中不携带有用信息的信号就是噪声。很明显，噪声是相对于有

用信号而言的，一种信号在某种场合是有用信号，而在另一种场合就有可能是噪声。噪声的种类很多，也有很多种分类方法。

据其来源的不同，噪声可分为人为噪声、自然噪声和内部噪声三种。其中，自然噪声是指存在于自然界的各种电磁干扰，如雷电干扰、太阳黑子及其他宇宙噪声；人为噪声是指人类的各种活动产生的噪声，包括工业噪声和无线电噪声，如电焊产生的电火花、车辆或各种机械设备运行时产生的电磁波和电源的波动，尤其是为某种目的而专门设置的干扰源（如电子对抗）。内部噪声指通信系统设备内部由元器件本身产生的热噪声、散弹噪声及电源噪声等。

根据噪声性质，可将噪声分为单频噪声、脉冲噪声和起伏噪声。

➤ **单频噪声**是一种以某一固定频率出现的连续波噪声，主要来源于无线电干扰，如50Hz的交流电噪声。

➤ **脉冲噪声**是一种随机出现的无规律噪声，如电火花、雷电等。

➤ **起伏噪声**主要是内部噪声，而且是一种连续波随机噪声，如热噪声、散弹噪声和宇宙噪声等。其特点是具有很宽的频带并且始终存在，是影响通信质量的重要因素。对它的研究必须借助概率论和随机过程的有关知识。

元器件本身产生的热噪声、散弹噪声都可看成是无数独立的微小电流脉冲的叠加，它们是服从高斯分布的，即热噪声、散弹噪声都是高斯过程。为研究方便，我们称这类噪声为高斯噪声。

除了用概率分布描述噪声的特性外，还可用功率谱密度加以描述。若噪声的功率谱密度在整个频率范围内都是均匀分布的，则称其为白噪声。这是因为其谱密度类似于光学中包含所有可见光光谱的白色光。不是白色噪声的噪声称为带限噪声或有色噪声。而把统计特性服从高斯分布、功率谱密度均匀分布的噪声称为**高斯白噪声**。

三、信道的容量

信道的容量是指单位时间内信道上所能传送的最大信息量，即信道中信息无差错传输的最大速率。在信道模型中定义了两种广义信道：调制信道和编码信道。调制信道是一种连续信道，可以用连续信道的信道容量来表征；编码信道是一种离散信道，可以用离散信道的信道容量来表征。这里，我们只讨论连续信道的信道容量。连续信道的信道容量由香农公式(1-1)决定

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (\text{bit/s}) \quad (1-1)$$

式中： B 为信道带宽(Hz)； S 为信道功率(W)； N 为噪声功率(W)。

由香农公式，可知当信号与信道加性高斯白噪声的平均功率给定时，在具有一定频带宽度的信道上，理论上单位时间内可能传输的信息量的极限数值。只要传输速率小于等于信道容量，则总可以找到一种信道编码方式，实现无差错传输；若传输速率大于信道容量，则不可能实现无差错传输。实际通信系统的最大传输速率小于信道容量。

1.1.4 通信系统的质量指标

通信的基本目的是及时、准确地传递信息。因此，衡量和评价一个通信系统性能优劣的主要指标是系统的有效性和可靠性。**有效性**是指在给定信道内所传输的信息内容的多少，或

者说是传输的“速度”问题。显然，有效性值越高，系统性能越好；可靠性是指接收信息的准确程度，也就是传输的“质量”问题。有效性和可靠性这两项指标通常是相互矛盾的，在实际系统中，提高可靠性往往是以牺牲有效性作为代价来换取的，反之亦然。

模拟通信系统和数字通信系统对这两项指标要求的具体内容有较大区别。

一、模拟通信系统的质量指标

传输带宽是模拟通信系统衡量有效性的质量指标。传输带宽越大，可传输信号速率就越高。模拟通信系统的可靠性用接收终端输出信噪比 (S/N) 来衡量 (即信号平均功率与噪声平均功率之比)。信噪比越大，表示通信质量越高。采用不同调制方式在同样一条信道中得到的输出信噪比是不同的。例如调频 (FM) 信号的抗干扰性能优于调幅 (AM) 信号。但 FM 信号需要的传输带宽却宽于 AM 信号。

二、数字通信系统的质量指标

数字通信系统的有效性用传输速率来衡量。可靠性用误码率来衡量。信道传输信号的能力称为传输指标，有两种：码元传输速率和比特传输速率。

(一) 码元速率 R_B

单位时间传输的码元数定义为码元速率 R_B ，单位波特 (Baud)，常用符号“B”表示。

(二) 信息传输速率 R_b

单位时间传输的信息量定义为比特传输率 R_b ，单位为 bit/s。 R_B 与 R_b 关系为

$$R_b = R_B * \log_2 N (\text{bit/s}) \quad (1-2)$$

或

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 N} (\text{Bd}) \quad (1-3)$$

式中： N 代表码元的进制数。从表达式中可以看出，当 N 等于 2 时， $R_b = R_B$ 。

(三) 误码率 P_e

误码率定义为，在一定时间内接收端指示的错误码元的数目和这段时间内总的码元数之比。

$$P_e = \frac{\text{单位时间内接收的错误码元数}}{\text{单位时间内系统传输的总码元数 (正确码元数 + 错误码元数)}} \quad (1-4)$$

1.2 计算机通信与网络

随着通信的不断发展，尤其是数字化技术的迅速发展，使当今社会最活跃的两个领域 C&C—计算机 (Computer) 与通信 (Communication) 的结合成为现实。计算机的发展促进了通信技术的发展，同时，通信技术的发展也极大的拓展了计算机应用的领域和范围，并对计算机提出了更高的要求。因此，计算机和通信的结合日益密切，两者相互促进，共同发展。取得了令世人瞩目的成就。

计算机与通信的结合主要有两个方面。一方面，通信网络为计算机之间的数据传递提供了必要的手段；另一方面，计算机技术的发展渗透到通信技术中，又提高了通信网络的性能。而计算机网络的发展和壮大，正是这两种技术结合的成果。计算机网络的演变与发展经历了四个阶段：第一阶段是面向终端的计算机网络；第二阶段是计算机—计算机的简单网

络；第三阶段是开放式标准化的网络；第四阶段是计算机网络的高速化发展阶段。

1.2.1 计算机通信与网络的基本模型

一、定义

计算机通信是面向计算机和数据终端的一种通信方式，可以实现计算机与计算机之间数据信息的生成、存储、处理、传递和交换。用数据通信网将地理位置不同，功能独立的多个计算机互联在一起，以功能完善的网络软件实现网络中资源共享的计算机系统成为计算机通信网。

二、组成

计算机通信网由资源子网和通信子网组成。

负责数据信息处理以实现网络资源共享的计算机与终端属于资源子网；而负责数据通信的设备与通信线路属于通信子网。资源子网是由所有端节点（包括它们所拥有的设备）以及连接这些节点的链路组成。通信子网是由网络节点以及连接这些节点的通信链路组成。网络节点可分为端节点和转接节点。转接节点是指通信设备，如交换机、集中器、集线器（Hub）、路由器（Router）等，而端节点是指用户主机或终端。网络节点的作用是控制信息的传输和在端节点之间转发信息。网络逻辑上以通信子网为中心，说明资源共享是建立在通信基础之上的。转接节点位于通信子网内，负责传递信息。访问节点位于资源子网内，是资源的拥有者。

通信子网分为以下两种类型：

- (1) 点对点通信子网：从信源端发出的信息经过多个交换节点转发到达指定的信宿端，一般用于广域网。
- (2) 广播式通信子网：所有计算机共享同一信道，必须有相应的信道访问控制技术分配信道使用权，一般用于局域网。

如图 1-7 所示，实际的两级子网结构的计算机通信网。图中，用户资源子网包括各种类型的计算机、终端以及数据采集系统，有的请求共享资源，有的可提供资源共享；而通信子网则可以采用电信部门提供的各种网络，支持用户资源子网的接入。

在计算机通信网中，除了物理上选择必要的互联之外，还需要执行网络通信控制的软件，包括网络操作系统、网络通信软件、网络协议和协议软件、网络管理及网络应用软件。

三、分类

计算机网络有多种分类方法。计算机网络从覆盖区域来分，有局域网 LAN (10 ~ 1000m)、城域网 MAN (几十千米)、广域网 WAN (几百千米)、Internet 网 (几千千米)；按网络所有权来分，有公用网、专用网、私有网。按拓扑结构分，有总线形网、星形网、环形网、树形网、网状形网及

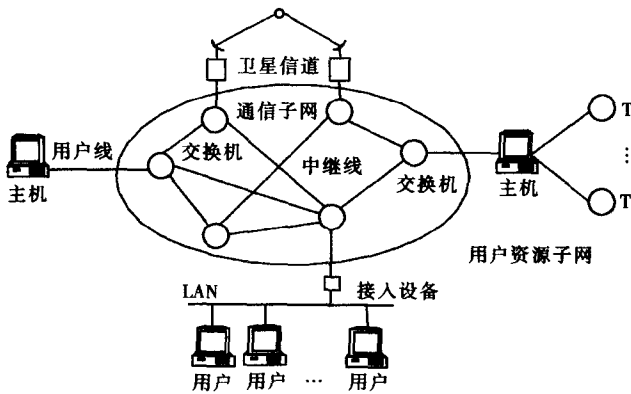


图 1-7 计算机网络的组成

混合形网等；按信息交换方式分，有电路交换网、报文交换网、分组交换网；按组网技术分，有陆地网、卫星网、分组无线网、局域网等；按网络集成规模分，有工作组网、部门级网、企业级网、超企业级网、全球网等；按网络控制方式分，有集中式控制网络和分布式控制网络；这些分类概念上互有交叉，对于一个具体的网络，可能同时具有上面几种类别的特征。

四、计算机通信的特点

与传统的电话通信相比计算机通信具有如下特征：

- (1) 计算机通信以数据通信为主，因此传输的可靠性要求高（误码率 $< 10^{-10} \sim 10^{-9}$ ）；
- (2) 计算机设备出自不同的厂商，又用于不同的目的，故需要具备灵活的通信接口，以适应各类用户需要；
- (3) 数据信息传输效率高；
- (4) 呼叫平均持续时间短，效率高；
- (5) 业务参数随应用环境有较大差别。

1.2.2 计算机通信技术的应用

计算机通信技术的迅速发展，使计算机网络得到了飞速发展。在进入信息化时代的今天，计算机通信技术已经渗透到人们生活、工作、学习的各个角落，几乎无所不在。由于计算机网络在资源共享和信息交换等方面所具有的功能是其他系统所不能替代的。因此，得到了广泛的应用。如：军事自动化指挥控制系统，铁路运输指挥控制系统，电力网控制系统，城市交通管制系统，气象预报及灾情控制及预报系统等等。它满足了人们的交互需求。如电子银行，网上购物，在线新闻阅读，图书资料检索，电子邮件，虚拟会议等，此外，网络游戏亦是当今网络发展的一大热点。

可以说，人们已离不开计算机网络，计算机网络正在深刻地改变人们的生活方式、工作方式，促进了人类社会的进步和发展。

1.2.3 标准化组织

计算机网络从第三阶段开始进入了标准化阶段。由于计算机网络涉及的硬件、软件种类繁多，如果没有标准，很难将它们组织在一起协调一致地工作。因此，网络的标准化是一个非常重要的课题。

计算机网络技术中的标准有两大类，即法定标准和事实标准。法定标准是由权威的国际标准化组织制定的标准。事实标准，不是权威组织制定的，事先也没有作过周密规划，但已在实际应用中广泛采用。

目前国际上制定通信与计算机网络标准的几个权威组织是：

- ISO (International Standards Organization)：国际标准化组织。
- CCITT (International Telephone and Telegraph Consultative Committee)：国际电话与电报咨询委员会（现已改名为 ITU, International Telecommunications Union, 国际电信联盟）。
- ANSI (American National Standard Institute)：美国国家标准协会。
- EIA (Electronic Industries Association)：美国电子工业协会。
- IEEE (Institute of Electric and Electronic Engineer)：电气与电子工程师学会。

这些组织为通信与计算机网络制定了一系列的标准供业界参照执行。

网络标准化工作经过长期的努力,目前有三个常用的体系结构模型,是人们研究和实现网络的参照标准。

(1) ISO/OSI 七层模型:是从网络理论出发设计出来的标准,层次比较清晰,功能分明,是人们讨论网络问题的基本参照系。

(2) TCP/IP 协议簇:是 Internet (因特网)的协议标准,经过长期的实践发展起来的。

(3) 局域网标准集 IEEE802.x:集合了各种局域网技术,是标准化程度最为规范和成熟的一套协议。

这些网络的标准和三个模型是计算机网络学习的重点。

1.3 我国电力系统通信的现状与发展战略

电力系统通信是现代电力系统的重要组成部分。电力系统通信网是为了保证电力系统的安全稳定运行而配置的。它同电力系统的安全稳定控制系统、调度自动化系统被人们合称为电力系统安全稳定运行的三大支柱。目前,它更是电网调度自动化、网络运营市场化和管理现代化的基础;是确保电网安全、稳定、经济运行的重要手段;是电力系统的重要基础设施。由于电力通信网对通信的可靠性、保护控制信息传送的快速性和准确性具有极其严格的要求,并且电力部门拥有发展通信的特殊资源优势,因此,世界上大多数国家的电力公司都以自建为主的方式建立了电力系统专用通信网。我国的电力通信网经过几十年的建设,已经初具规模,通过卫星、微波、载波、光缆等多种通信手段构建而成了一个以北京为中心覆盖全国 30 个省(市、区)的立体交叉通信网。

1.3.1 电力系统通信的主要内容

电力系统中信息的内容种类繁多,按其业务划分为:关键运行业务和事务管理业务两大类。其中关键运行业务是指远动信号、数据采集与监视控制系统、能量管理系统、继电保护信号和调度电话等。事务管理业务包括行政电话、会议电话和会议电视、管理信息数据等。

1.3.2 电力系统通信网的结构

根据电力系统生产对通信的要求和特点,电力系统通信网是按电力网网络结构和调度管理体制组成的专用通信网,而以邮电通信网作为辅助和备用通信。

考虑到电力系统生产的组织与管理,通信网一般是以网局(或省局)调度所为通信中心,主要发电厂、变电站为通信枢纽的分层多级结构。如图 1-8 所示。

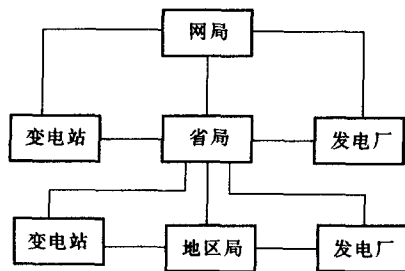


图 1-8 电力通信网络体系

主要发电厂、变电站为通信枢纽的分层多级结构。如图 1-8 所示。

电力系统通信网是电力系统专用的电信网,是为满足电力生产指挥调度及管理等特殊通信需求而建的,因此,具有其他公用电信网不可替代的作用。其主要特点有:

- 要求通信有较高的可靠性和灵活性;
- 网络结构较复杂,信息种类多,且实时性要求