

普通高等教育“十一五”规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANLI XITONG TONGXIN JISHU

# 电力系统通信技术

(第二版)

张淑娥 孔英会 高强 编著



中国电力出版社

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

普通高等教育“十一五”规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANLI XITONG TONGXIN JISHU

# 电力系统通信技术

(第二版)

编著 张淑娥 孔英会 高 强



中国电力出版社

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

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共分9章,主要内容包括通信基础知识、电力线载波通信、光纤通信技术、微波与卫星通信技术、移动通信技术、现代交换技术、现代通信网和接入网技术。本书首先给出电力系统通信网总体构架以及为构造此框架所需的各种通信技术,然后从通信基础出发,从传输、交换、通信网方面论述通信技术。使学生对电力系统通信主要技术和工程应用有全面的了解。在具体介绍每种技术时,尽量给出电力系统通信实例,特别是具体的业务传输过程和线路配置等方面技术细节。

本书可作为电气工程及其自动化专业学生学习通信技术的教材,也可作为电力系统通信工作者的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电力系统通信技术/张淑娥,孔英会,高强编著. —2  
版. —北京:中国电力出版社,2009.10

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-9533-3

I. ①电… II. ①张…②孔…③高… III. ①电力系统-通信技术-高等学校-教材 IV. ①TM73

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第181662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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2005年7月第一版

2009年11月第二版 2009年11月北京第三次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 17.75印张 435千字

定价 28.50元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言

当前通信技术迅猛发展,为我们的生活带来了巨大的变化。因此通信技术课程也越来越受到重视。

电力系统通信是电力行业的一部分,但在技术上又深受电信技术的影响,各种新的电信技术在电力系统通信中处处、时时得以体现,且又有自己的特色,如在光纤通信技术中,广泛使用的是电力特种光缆,电力线载波技术更是行业特色和优势。近年来,随着电力系统信息化的兴起,对电力行业从业人员的素质要求越来越高,在非通信专业人员中普及通信技术教育势在必行。鉴于目前还没有一本适合电力系统非通信专业学生学习通信技术的教材,我们在电力系统通信教材委员会指导下编写了本书。

本教材充分考虑了电力系统通信实际,为适应现代通信技术发展而编写,力求使它具有教材和手册双重特点。

本书的主要特点是结合电力系统实际,全面讲述通信最新技术。书中内容通俗易懂、结合电力系统实际应用,具有行业特色。

本书首先给出通信网总体构架,然后以点线网这一自然发展规律及逻辑思维而编写。在第一章中给出电力系统通信网总体构架以及为构造此框架所需的各种通信技术。然后从通信基础出发,从传输、交换、通信网方面论述通信技术。使学生对电力系统通信主要技术和工程应用有全面的了解。在具体介绍每种技术时,尽量给出电力系统通信实例,特别是具体的业务传输过程和线路配置等方面技术细节。

本教材第一、四、五、六由张淑娥编写,第二、三、九章由孔英会编写,第七、八章由高强编写。全书由张淑娥统稿,全书由侯思祖教授负责审稿。

由于编者水平有限,书中难免有不妥甚至错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

2009.12

## 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 通信、通信系统以及通信网的基本概念.....	1
第二节 电力系统通信的现状.....	3
第三节 电力系统通信网.....	4
第四节 电力系统通信技术.....	6
<b>第二章 通信基础知识</b> .....	9
第一节 通信的基本概念与基本问题.....	9
第二节 信号分析基础 .....	16
第三节 通信中的调制技术 .....	20
第四节 通信中的编码技术 .....	30
第五节 数字基带传输系统 .....	39
第六节 通信中的复用和多址技术 .....	45
第七节 通信中的同步 .....	50
<b>第三章 电力线载波通信</b> .....	52
第一节 概述 .....	52
第二节 电力线载波通信系统 .....	53
第三节 数字电力线载波机 .....	63
第四节 电力线载波通信新技术 .....	67
<b>第四章 光纤通信技术</b> .....	69
第一节 光纤通信概述 .....	69
第二节 光纤和光缆 .....	70
第三节 光源和光检测器 .....	81
第四节 光端机 .....	87
第五节 数字光纤通信系统 .....	90
第六节 同步数字系列(SDH) .....	92
第七节 光纤通信新技术.....	110
<b>第五章 微波与卫星通信技术</b> .....	119
第一节 数字微波通信的概述.....	119
第二节 数字微波通信系统.....	123
第三节 SDH微波通信系统 .....	131
第四节 一点多址微波通信系统.....	134

第五节	卫星通信技术	136
第六节	卫星通信系统的构成	138
<b>第六章</b>	<b>移动通信技术</b>	<b>144</b>
第一节	移动通信概述	144
第二节	移动通信技术	147
第三节	GSM 系统及 GPRS 技术	151
第四节	CDMA 移动通信系统	165
第五节	卫星移动通信系统	169
第六节	第三代移动通信系统	173
<b>第七章</b>	<b>现代交换技术</b>	<b>177</b>
第一节	概述	177
第二节	电话交换技术	179
第三节	分组交换技术	182
第四节	帧中继技术	189
第五节	ATM 技术	193
第六节	多协议标记交换 (MPLS) 技术	204
第七节	软交换技术	208
<b>第八章</b>	<b>通信网</b>	<b>217</b>
第一节	概述	217
第二节	电话网	221
第三节	数据通信网	227
第四节	ISDN 和 ATM 网络	231
第五节	IP 网络技术	234
第六节	网络管理技术	243
第七节	电力系统宽带 IP 网络简介	246
第八节	下一代网络 (NGN)	248
<b>第九章</b>	<b>接入网技术</b>	<b>257</b>
第一节	接入网概述	257
第二节	V5 接口	261
第三节	铜线接入技术	263
第四节	光纤接入技术	265
第五节	混合光纤/同轴接入技术	267
第六节	无线接入技术	268
第七节	以太网接入技术	272
第八节	卫星 Internet 接入技术	272
第九节	电力线接入技术 PLC	274
<b>参考文献</b>		<b>277</b>

# 第一章 绪 论

通信对现代社会的意义十分重要。包括通信在内的信息产业,给我们的日常生活和社会活动带来了许多方便,已成为国民经济和社会发展的重要条件和保障。

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力系统安全、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。

本章将扼要介绍通信、通信系统、通信网的基本概念;电力通信系统的现状与发展;电力通信网的构成以及构成电力通信网所需的通信技术等。

## 第一节 通信、通信系统以及通信网的基本概念

### 一、通信

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止是简单的通电话,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。

### 二、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 1-1 所示为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、图像等非语音信号。

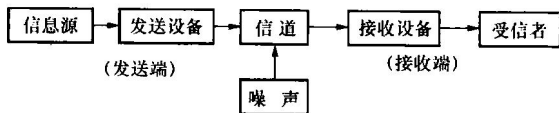


图 1-1 通信系统组成模型

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。

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。不同的频段,利用不同性能的设备 and 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 0.3~3.4kHz 范围内的语音信号, 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、邻频的其他信道的干扰。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淹没掉。

正因为如此, 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 1-1 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连接在一起。

综上所述, 通信系统可解释为从信息源节点(信源)到信息终点节点(信宿)之间完成信息传送全过程的机、线设备的总体, 包括通信终端设备及连接设备之间的传输线所构成的有机体系。

### 三、通信网概念

物理结构上的网, 即为线的集合, 自然界经常见到的蜘蛛网、渔网等都是用线编织而成的。

通信网的定义, 可描述为由各种通信节点(端节点、交换节点、转接点)及连接各节点的传输链路互相依存的有机结合体, 以实现两点及多个规定点间的通信体系。由通信网的定义可看出, 从物理结构或从硬件设施方面去看, 它由终端设备、交换设备及传输链路三大要素组成。终端设备主要包括电话机、PC 机、移动终端、手机和各种数字传输终端设备, 如 PDH 端机、SDH 光端机等。交换节点包括程控交换机、分组交换机、ATM 交换机、移动交换机、路由器、集线器、网关、交叉连接设备等。传输链路即为各种传输信道, 如电缆信道、光缆信道、微波、卫星信道及其他无线传输信道等。通信网构成如图 1-2 所示。

### 四、通信系统与通信网间的关系

#### 1. 通信系统与通信网

从以上通信系统和通信网的描述中, 可以明显地看出两种概念及它们之间的密切关系。用通信系统来构架, 通信网即为通信系统的集, 或者说是各种通信系统的综合, 通信网是各种通信系统综合应用的产物。通信网源于通信系统, 又高于通信系统。但是不论通信网的种类、功能、技术如何复杂, 从物理上的硬件设施分析, 通信系统是各种网不可缺少的物质基础, 这是一种自然发展规律, 没有线即不能成网。因此, 通信网是通信系统发展的必然结果。通信系统可以独立地存在, 然而一个通信网是通信系统的扩充, 是多节点各通信系统的综合, 通信网不能离开系统而单独存在。



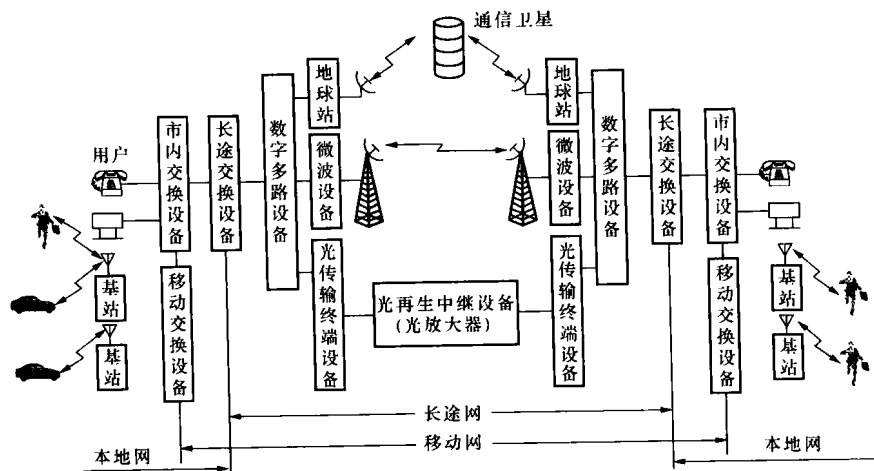


图 1-2 通信网构成

## 2. 现代通信系统与现代通信网

以上我们讲到的通信系统和通信网的基本概念是从物理结构及硬件设施方面去理解和定义的，然而现在的通信系统及通信网已经融入了计算机技术。

现代通信就是数字通信与计算机技术的结合。同样在数字通信系统中融合了计算机硬、软件技术，这样的系统即为现代通信系统，如 SDH 光同步传输系统出现后，在光纤传输设备中有 CPU 进行数据运算处理，并引进了管理比特用计算机进行监控与管理，就构成了所谓的现代通信系统。现在的通信网已实现了数字化，并引入了大量的计算机硬、软件技术，使通信网越来越综合化、智能化，把通信网推向一个新时代，即现代通信网。它产生了更多、更广的功能，适用范围更广，为不断满足人们日益增长的物质文化生活的需要提供了服务平台。我们现在经常谈到的通信网、电话网、数据网、计算机网和移动通信网等都属于现代通信网，也可简称通信网。

## 第二节 电力系统通信的现状

电力系统通信是电力工业的一部分，但在技术上又深受电信技术的影响。各种新的电信技术在电力系统通信中时时处处得以体现，且又有自己的特色和优势，处于两大行业的一个交叉点，随着电网的延伸而延伸，随着通信技术的进步而进步。电力系统通信的主要传输方式从 20 世纪 70 年代的电力线载波、80 年代的模拟微波、90 年代的数字微波，发展到目前的光纤通信。目前，全国电力系统已建成光缆线路约 8.5 万 km，仅 2002 年一年就增加了 4.7 万 km，超过历年来的总和。电力系统光纤通信的时代已真正到来。

光纤通信具有抗电磁干扰能力强、传输容量大、频带宽、传输衰耗小等诸多优点，电力行业发展光纤通信有着得天独厚的优势，利用高压输电线路，可架设地线复合光缆、无金属自承式光缆或缠绕式光缆等电力特种光缆。

为满足三峡工程送出、西电东送以及全国跨区电网联网等对通信的需要，国家电网公司

组织实施了三大光缆通信项目,建设跨大区电网的光通信干线。以三峡输变电工程为主体的光通信项目,其主要包括北京—郑州—三峡光通信工程、北京—上海光通信工程、重庆—三峡—孝感—上海光通信工程、孝感—汉阳—武昌光通信工程、三峡—荆州—益阳—长沙光通信工程及北京地区光环网等。以大区联网工程为主体的光通信项目,其主要包括华东—福建联网中的上海—福州光通信工程、华北—东北联网中的北京—沈阳—长春—哈尔滨光通信工程。以西电东送工程为主体的光通信项目,其主要包括三峡—广东、武汉—长沙—广东等光通信工程。主干光通信电路的容量为 2.5Gb/s 或 10Gb/s。

各网、省电力公司光缆线路建设以所管辖的电网为覆盖对象。光通信设备大部分为 SDH 制式,SDH 是非常成熟的技术,国际标准化程度高,运行稳定可靠。目前全国电力通信现有 SDH 通信线路中,传输容量最高为 10Gb/s,许多省级干线已形成了 SDH 光环网。对电力系统通信而言,电力特种光缆在电力系统广泛应用。电力系统有大量的不同电压等级的电力杆线资源,OPGW(地线复合光缆)、ADSS(全介质自承式光缆)等电力特种光缆的出现,促进了在电力线上架设大量的电力通信光缆。OPGW 将通信光缆和高压输电线上的架空地线结合成一个整体,将光缆技术和输电线路技术相融合,成为多功能的架空地线,既是避雷线,又是架空光缆,同时还是屏蔽线,在完成高压输电线路施工的同时,也完成了通信线路的建设,非常适用于新建的输电线路,常见于 220、330、500kV 电压等级;ADSS 质轻价优,与输电线路独立,且可带电架设,不影响输电线路的正常运行,非常适合于已建电力线路及新建电力线路,常见于 35、110、220kV 电压等级,特别是 110kV 电压等级基本上都采用 ADSS 光缆。

### 第三节 电力系统通信网

电力系统通信网是国家专用通信网之一,是电力系统不可缺少的重要组成部分,是电网调度自动化、电网运营市场化和电网管理信息化的基础,是确保电网安全、稳定、经济运行的重要手段。其最重要的特点是高度的可靠性和实时性;另一特点是用户分散、容量小、网络复杂。目前电力通信主干网络基本上成树形与星形相结合的复合型网络结构。电力系统通信网按业务的种类分为电话及传真网、数据通信网、图像通信网、可视电视电话网等;按服务区域范围分为本地通信网、长途通信网、移动通信网等等。电力系统通信网中常见的通信网络有电话交换网、电力数据网、电视电话会议网、企业内联网 intranet 等。电力数据网包含传统的远动信息网(SCADA 系统)、EMS、MIS 等。

#### 一、电力电话交换网

电话通信网是进行交互型语音通信,开放电话业务的电信网,简称电话网。它是一种电信业务量最大,服务面积最广的专业网,可兼容其他许多种非话业务网,是电信网的基本形式和基础,包括本地电话网、长途电话网和国际电话网。

电话网采用电话交换方式,主要由发送和接收电话信号的用户终端设备、进行电路交换的交换设备、连接用户终端和交换设备的线路和交换设备之间的链路组成。

我国电力电话网由三级长途交换中心和一级本地网端局组成四级结构。其中一、二、三级的长途交换中心构成长途电话网,由本地网端局和按需要设置的汇接局组成本地电话网。一级交换中心指国家电力通信中心,二级交换中心指网局交换中心,三级交换中心指省一级

的交换中心。

电力系统交换网是独立于公用通信网的专用交换通信网，主要职责是传输和交换电力调度人员的操作命令、经济调度、处理事故、行政管理等信息，它是指挥电力系统安全、稳定、经济运行的重要指挥工具，其质量的优劣直接影响着电网运行的安危。正因为如此，对电力交换网的要求很高，主要要求通信电路稳定可靠、畅通无阻、实时性强、接续速度快、调度功能完善等。为了满足这些要求，在设计通信电路时，重要厂、站要有两条以上独立通信通道，以保证在任何情况下均有电路可用。

## 二、电视电话会议网

会议电视系统就是依托计算机网络在异地多个会场召开电视会议的系统。其国际标准为 H. 32x，主要为 H. 320 和 H. 323。它的网络类型可以是电路交换网络和分组交换网络，它能方便迅速地召开会议。

电力行业会议电视系统一期工程于 2001 年 3 月建成投运，一期工程开通了省级以上的 22 个点（会场），另外还实现了和原有已建成的 8 个省局会议电视终端的互联互通。电力行业会议电视网络采用星形辐射结构、两级 MCU（多点控制单元）汇接组网，主 MCU 设置在原国家电力公司北京白广路会场，各电力集团公司的从 MCU 和直属省电力公司通过微波或光纤通道与北京主 MCU 相连，其他各省电力公司与其所在区域电力集团公司（分公司）从 MCU 相连。

目前，电力行业会议电视系统卫星工程正在启动，对于地面通道不能直接到达的西藏、新疆等省电力公司将通过卫星网与北京相连。

各省电力公司一般都建设了会议电视电话系统，覆盖各地区供电局（电业局）及各大电厂。

## 三、电力数据通信网

### 1. 国家电力数据通信网

国家电力数据通信网是电力通信网的重要业务网络之一，是电力系统内各种计算机应用系统实现网络化的公共平台，是实现电力信息化的基础。

国家电力数据通信网承载的主要业务有：

- (1) 企业管理信息及办公自动化（含 DMIS、通信 MIS 等）。
- (2) 电力市场信息发布。
- (3) IP 会议电视（会议电视、远程教育、视频监视、协同工作等）。
- (4) 网络通用业务（Web 浏览、E-mail、文件传输、GIS、电子商务等）。
- (5) IP 电话及 IP 电话会议系统。
- (6) 通信网网管数据通信通道（DCN）的备用传输。

国家电力数据通信网的建成，形成了电力专用通信网 IP 业务的综合平台。

### 2. 国家电力调度数据网

为了确保各调度中心之间以及调度中心与厂站之间计算机监控系统等实时数据通信的可靠性和安全性，依照国家经贸委令 [2002] 第 30 号《电网和电厂计算机监控系统及调度数据网络安全防护规定》，建设全国性的统一的国家电力调度数据网，按照“统一规划设计、统一技术体制、统一路由策略、统一组织实施”的原则进行网络工程建设。

国家电力调度数据网的骨干网核心层由国调、6 个网调等 9 个节点组成；汇聚层由除四

川省调以外的 29 个省调节点组成；接入层由各接入厂站及调度中心业务网组成。调度数据网承载的业务主要有以下两类：

(1) 实时监控业务。包括：① EMS 与 RTU 或变电所自动化系统的实时数据；② EMS 之间交换的实时数据；③ 水调自动化数据；④ 实时电力市场辅助控制信息；⑤ 电力系统动态测量数据。

(2) 调度生产直接相关业务。包括：① 发电及联络线交换计划、联络线考核；② 调度票、操作票、检修票等；③ 调度生产运行报表（日报、月报、季报）；④ 电能量计量计费信息；⑤ 故障录波、保护和自动装置有关管理数据；⑥ 电力市场申报数据和交易计划数据。

### 3. 网省公司电力数据通信网

全国大部分网、省电力公司建设了数据通信网，这些数据通信网主要覆盖范围是网、省电力公司直属供电公司、所管辖的电厂和变电所。

## 第四节 电力系统通信技术

电力系统通信网主要由传输、交换、终端三大部分组成。其中传输与交换部分组成通信网络，传输部分为网络的线，交换设备为网络的节点。目前常见的交换方式有电路交换、分组交换、ATM 异步传送模式和帧中继。传输系统以光纤、数字微波传输为主，卫星、电力线载波、电缆、移动通信等多种通信方式并存，实现了对除台湾外所有省（自治区）、直辖市的覆盖，承载的业务涉及语音、数据、远动、继电保护、电力监控、移动通信等领域。

电力系统通信技术主要有以下八种。

### 1. 电力线载波通信

电力线载波通信（Power Line Carrier, PLC）是利用高压输电线作为传输通路的载波通信方式，用于电力系统的调度通信、远动、保护、生产指挥、行政业务通信及各种信息传输。电力线路是为输送 50Hz 强电设计的，线路衰减小，机械强度高，传输可靠，电力线载波通信复用电力线路进行通信不需要通信线路建设的基建投资和日常维护费用，是电力系统特有的通信方式。

### 2. 光纤通信

光纤通信是以光波为载波，以光纤为传输媒介的一种通信方式。在我国电力通信领域普遍使用电力特种光缆，主要包括全介质自承式光缆 ADSS、架空地线复合光缆 OPGW、缠绕式光缆 GWWOP。电力特种光缆是适应电力系统特殊的应用环境而发展起来的一种架空光缆体系，它将光缆技术和输电线技术相结合，架设在 10~500kV 不同电压等级的电力杆塔和输电线路路上，具有高可靠、长寿命等突出优点。

### 3. 微波通信

微波通信是指利用微波（射频）作载波携带信息，通过无线电波空间进行中继（接力）的通信方式。常用微波通信的频率范围为 1~40GHz。微波按直线传播，若要进行远程通信，则需在高山、铁塔或高层建筑物顶上安装微波转发设备进行中继通信。

### 4. 卫星通信

卫星通信是在微波中继通信的基础上发展起来的。它是利用人造地球卫星作为中继站来

转发无线电波，从而进行两个或多个地面站之间的通信。卫星通信主要用于解决国家电网公司至边远地区的通信。目前电力系统内已有地球站 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

移动通信是指通信的双方中至少有一方是在移动中进行信息交换的通信方式。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着积极的作用。

#### 6. 现代交换方式

现代交换方式包括电路交换、分组交换、ATM 异步传送模式、帧中继和多协议标记交换（MPLS）技术。电路交换和分组交换是两种不同的交换方式，是代表两大范畴的传送模式，帧中继和 ATM 异步传送模式则属于快速分组交换的范畴。

电路交换是固定分配带宽的，连接建立后，即使无信息传送也需占电路，电路利用率低；要预先建立连接，有一定的连接建立时延，通路建立后可实时传送信息，传输时延一般可以不计；无差错控制措施。因此，电路交换适合于电话交换、文件传送及高速传真，不适合突发业务和对差错敏感的数据业务。

分组交换是一种存储转发的交换方式。它将需要传送的信息划分为一定长度的包，也称为分组，以分组为单位进行存储转发。而每个分组信息都包含源地址和目的地址的标识，在传送数据分组之前，必须首先建立虚电路，然后依序传送。

在分组交换网中可以在一条实际的电路上，能够传输许多对用户终端间的数据。其基本原理是把一条电路分成若干条逻辑信道，对每一条逻辑信道有一个编号，称为逻辑信道号，将两个用户终端之间的若干段逻辑信道经交换机链接起来构成虚电路。

分组交换最基本的思想就是实现通信资源的共享。分组交换最适合数据通信。数据通信网几乎全部采用分组交换。

快速分组交换为简化协议，只具有核心的网络功能，以提供高速、高吞吐量和低时延服务。

帧中继（Frame Relay, FR）技术是在 OSI 第二层上用简化的方法传送和交换数据单元的一种技术。

异步传送模式（Asynchronous Transfer Mode, ATM）是电信网络发展的一个重要技术，是为解决远程通信时兼容电路交换和分组交换而设计的技术体系。

多协议标记交换（MPLS）技术是一种新兴的路由交换技术。MPLS 技术是结合二层交换和三层路由的 L2/L3 集成数据传输技术，不仅支持网络层的多种协议，还可以兼容第二层上的多种链路层技术。采用 MPLS 技术的 IP 路由器以及 ATM、FR 交换机统称为标记交换路由器（LSR），使用 LSR 的网络相对简化了网络层复杂度，兼容现有的主流网络技术，降低了网络升级的成本。此外，业界还普遍看好用 MPLS 提供 VPN 服务，实现负载均衡的网络流量工程。

#### 7. 现代通信网

现代通信网按功能划分可以分为传输网、支撑网。

支撑网是使业务网正常运行，增强网络功能，提供全网服务质量，以满足用户要求的网

络。在各个支撑网中传送相应的控制、检测信号。支撑网包括信令网、同步网和电信管理网。

(1) 信令网。在采用公共信道信令系统之后,除原有的用户业务之外,还有一个起支撑作用的、专门传送信令的网络——信令网。信令网的功能是实现网络节点间(包括交换局、网络管理中心等)信令的传输和转接。

(2) 同步网。实现数字传输后,在数字交换局之间、数字交换局和传输设备之间均需要实现信号时钟的同步。同步网的功能就是实现这些设备之间的信号时钟同步。

(3) 电信管理网。电信管理网是为提高全网质量和充分利用网络设备而设置的。网络管理实时或近实时地监视电信网络的运行,必要时采取控制措施,以达到任何情况下,最大限度地使用网络中一切可以利用的设备,使尽可能多的通信业务得以实现。

#### 8. 接入网

接入网是由业务节点接口和用户网络接口之间的一系列传送实体(如线路设施和传输设施)组成的、为传送电信业务提供所需传送承载能力的实施系统,可经由 Q3 接口进行配置与管理。接入的传输媒体可以是多种多样的,可灵活支持混合的、不同的接入类型和业务。G.963 规定,接入网作为本地交换机与用户端设备之间的实施系统,可以部分或全部代替传统的用户本地线路网,可含复用、交叉连接和传输功能。

通信技术与计算机技术、控制技术、数字信号处理技术等相结合是现代通信技术的典型标志。随着电力系统信息化的兴起,电力系统通信技术的发展趋势可概括为数字化、综合化、宽带化、智能化和个人化。电力系统通信技术大发展时代已经开始。

## 第二章 通信基础知识

### 第一节 通信的基本概念与基本问题

#### 一、通信系统模型

图 1-1 给出的是通信系统的一般模型,反映了通信系统的共性,根据研究的对象和关注的问题不同,各方框的内容和作用有所不同。按照信道中传输的信号是模拟信号还是数字信号,可将通信系统分为模拟通信系统与数字通信系统。

##### (一) 模拟通信系统模型

凡信号参量的取值是连续的或取无穷多个值的,且直接与消息相对应的信号,均称为模拟信号,如电话机送出的语音信号、电视摄像机输出的图像信号等。模拟信号有时也称连续信号,这个连续是指信号的某一参量可以连续变化,或者说在某一取值范围内可以取无穷多个值,而不一定在时间上也连续,如抽样信号。信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统。模拟通信系统的模型如图 2-1 所示。

模拟通信系统模型由图 1-1 演变而成,调制器和解调器就代表图 1-1 中的发送设备和接收设备。

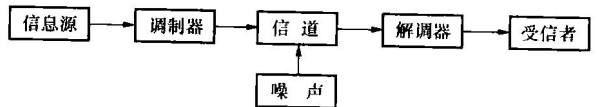


图 2-1 模拟通信系统模型

##### (二) 数字通信系统模型

凡信号参量只能取有限个值,并且常常不直接与消息相对应的信号,均称为数字信号,如电报信号、计算机输入/输出信号、PCM 信号等。数字信号有时也称离散信号,这个离散是指信号的某一参量是离散变化的,而不一定在时间上也离散,如 2PSK 信号。信道中传输数字信号的系统称为数字通信系统。数字通信系统的模型如图 2-2 所示。

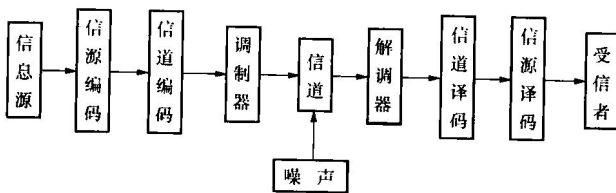


图 2-2 数字通信系统模型

数字通信涉及的技术问题很多,其中主要有信源编码/译码、信道编码/译码、数字调制/解调、数字复接、同步以及加密等。

其中信源编码的作用之一是设法减少码元数目和降低码元速率,即通常所说的数据压缩,码元速率将直接影响传输所占的带宽,而传输带宽又直接反映了通信的有效性;作用之二是,当信息源给出的是模拟信号时,信源编码器将其转换成数字信号,以实现模拟信号的数字化传输。模拟信号数字化传输主要有两种方式:脉冲编码调制(PCM)和增量调制( $\Delta M$ )。信源译码是信源编码的逆过程。

信道编码是为了降低误码率,提高数字通信的可靠性而采取的编码。基本思想是通过对信息序列作某种变换,使原来彼此独立,相关性极小的信息码元产生某种相关性,从而在接收端利用这种规律检查或纠正信息码元在信道传输中所造成的差错。

数字调制就是把数字基带信号的频谱搬移到高频处,形成适合在信道中传输的频带信号。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。对这些信号可以采用相干解调或非相干解调还原为数字基带信号。

同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的不可缺少的前提条件。同步使收、发两端的信号在时间上保持步调一致。按照同步的功能不同,可分为载波同步、位同步、群同步和网同步。

数字复接就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。

对两种通信系统来说,数字通信是发展的主流,因为数字通信具有以下优点:

- (1) 抗干扰能力强,数字信号可以再生从而消除噪声累积。
- (2) 便于进行各种数字信号处理。
- (3) 便于实现集成化。
- (4) 便于加密处理。
- (5) 便于综合传递各种信息,实现综合业务数字网。

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,一路模拟电话通常只占据 4kHz 带宽,但一路接近同样话音质量的数字电话可能要占据 64kHz 的带宽,因此数字通信的频带利用率不高。另外,由于数字通信对同步要求高,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、信息压缩等技术的发展,数字通信的这些缺点已经弱化。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主导地位。

需要说明的是,上述模型图中只给出了点到点的单向通信系统,实际在大多数场合通信系统需要双向进行,信源兼为受信者,通信设备包括发信设备和收信设备。此外,通信系统除了完成信息传输外,还必须进行信息的交换,传输系统和交换系统共同组成一个完整的通信系统,乃至通信网。

### (三) 信息、消息与信号

学习通信概念及理论过程中要区分信息、消息与信号几个名词。

(1) 信息。信息是一种不确定度的描述,是语言、文字、数据或图像中所包含的人们知道的内容,是内在的实质的东西。

(2) 消息。消息是具体的,有不同的形式。消息中包含了信息,如符号、文字、语音、数据、图像等,根据所传输的消息不同形成了目前的各种通信业务,我们可以从消息中提取信息。因此,通信的根本目的在于传输含有信息的消息,否则,就失去了通信的意义。基于这种认识,“通信”也就是“信息传输”或“消息传输”。

(3) 信号。信号为消息的表示形式,在通信系统中传输的实际是表现为各种消息形式的电信号。

## 二、通信系统的分类

根据讨论问题的侧重点不同,通信系统有不同的分类方法,这里从通信系统模型展开介绍。



### (一) 按通信业务不同分类

按照目前通信业务的不同可将通信系统分为电报通信系统、电话通信系统、传真通信系统、数据通信系统、可视电话系统、无线寻呼系统等。另外从广义的角度来看,广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也应列入通信的范畴,因为它们都满足通信的定义。由于广播、电视、雷达、导航等的不断发展,目前它们已从通信中派生出来,形成了独立的学科。

这些系统可以是专用的,但通常是兼容的或并存的,趋势是发展综合业务数字网,各种类型的信息都能在一个统一的通信网中传输、交换和处理。

### (二) 按调制方式不同分类

根据是否采用调制,可将通信系统分为基带传输系统和频带传输(或称载波传输)系统。基带传输系统指不经过调制直接传输,而频带传输系统可以采用表 2-1 所示的各种调制方式。

表 2-1 常用的调制方式

调制方式		用途	
连续波调制	线性调制	常规双边带调幅 AM	广播
		抑制载波双边带调制 DSB	立体声广播
		单边带调制 SSB	载波通信、无线电台、数据传输
		残留边带调制 VSB	电视广播、数据传输、传真
	非线性调制	频率调制 FM	微波中继、卫星通信、广播
		相位调制 PM	中间调制方式
	数字调制	幅度键控 ASK	数据传输
		频移键控 FSK	数据传输
相位键控 PSK、DPSK QPSK 等		数据传输、数字微波、空间通信	
其他高效数字调制 QAM、MSK		数字微波、空间通信	
脉冲调制	脉冲模拟调制	脉幅调制 PAM	中间调制方式、遥测
		脉宽调制 PDM (PWM)	中间调制方式
		脉位调制 PPM	遥测、光纤传输
	脉冲数字调制	脉码调制 PCM	市话、卫星、空间通信
		增量调制 DM	军用、民用电话
		差分脉码调制 DPCM	电视电话、图像编码
		ADPCM、APC、LPC	中低速数字电话

### (三) 按传输信号的特征分类

按照信道中所传输的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。

### (四) 按传送信号的复用方式分类

传输多路信号有频分复用(FDM)、时分复用(TDM)、码分复用(CDM)、波分复用(WDM)和空分复用(SDM)。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。传统的模拟通信中都采用频分复用,随着数字通信的发展,时分