

上海研究生教育用书

数字交换和 现代通信网

主编 黄佩伟

上海交通大学出版社



图书在版编目(CIP)数据

数字交换和现代通信网/黄佩伟主编. - 上海:上海交通大学出版社, 1999.6

ISBN 7-313-01651-4

I. 数… II. 黄… III. ①数据交换 - 基本知识②数字传输系统 - 基本知识 IV. TN913.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 21487 号

数字交换和现代通信网

黄佩伟 主编

上海交通大学出版社出版发行

上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030

电话 64281208 传真 64683798

全国新华书店经销

常熟市印刷二厂·印刷

开本:787×1092(mm) 1/16 印张:16.75 字数:414 千字

版次:1999 年 6 月 第 1 版

印次:1999 年 6 月 第 1 次

ISBN 7-313-01651-4/TN·079

定价:27.00 元

本书任何部分文字及图片,如未获得本社书面同意,

不得用任何方式抄袭、节录或翻印。

(本书如有缺页、破损或装订错误,请寄回本社更换。)

前言

处于信息时代的今天，通信行业正在发生巨大的变革，处于令人振奋的时期，这场变革的驱动因素是技术的突破性进步。

1876 年美国人贝尔 (Alexander Graham Bell) 发明的电话开创了一种实时通信的方式。到本世纪 60 年代，数字技术的发展使信息的处理和传输获得了极大的发展。70 年代超大规模集成电路 (VLSI) 突破性的发展，使电话更加实用、更容易商业管理。80 年代的 UNIX 和 PC 机使计算技术和电信技术互相渗透，宣告了信息时代的到来。在下一个 10 年，通信网络会更加智能化，全球通信将以前所未有的速度发展。

通信网的主体是由用户终端设备、传输设备和交换设备组成的。因此，信息处理、信息传输和信息交换是现代通信网的三个主要环节。

随着科学技术的发展，声音、文字、图像都可以实现数字化，传输和交换的结合也越来越紧密。现代通信网将逐步地实现数字化、智能化，逐步地走向既有话音业务又有非话业务的综合业务数字网 ISDN (Integrated Services Digital Network)，继而向宽带综合业务数字网方向发展。

由于本学科的发展迅速，所以作者编写本书的目的是希望通过深入浅出、循序渐进、系统的描述，激发通信学科学生的志趣和热情；了解数字程控交换的基本原理；提供一种有能力跟上通信领域日新月异发展形势的思想方法。

本书的编写得到中科院院士张煦教授、《数字程控原理》作者史君文、蔡悠华的指导和帮助，现在美国工作的蔡悠华先生为本书提供了不少有益的资料，并在百忙中亲手写了“智能网与个人通信系统”一章，作者对他们表示衷心的感谢！

本书的出版还得到建行湖北分行职工创立的尊师重教基金的支持，在此一并表示感谢。限于水平，书中难免有错误和不妥之处，诚请读者批评指正。

作者

1998 年 10 月

于上海交通大学

目 录

第1章 概述	1
1.1 电话通信网的组成	1
1.2 电话机	2
1.3 局间信号的传输	4
1.4 电话交换机	5
第2章 数字传输	16
2.1 话音信号的数字化——脉冲编码原理	16
2.2 商品化综合PCM编译码器的例子	26
2.3 数字信号的时分多路复接和分路	29
2.4 数字传输中的码型变换和中继再生电路	39
2.5 帧同步	45
2.6 用弹性存储器中的滑帧来消除内、外信号的频差	48
2.7 帧排齐	51
2.8 网同步技术	52
第3章 数字交换网络	57
3.1 数字信号的空间交换(S型接续器)	58
3.2 数字信号的时间交换(T型接续器)	60
3.3 一个有256个时隙交换能力的数字交换部件	63
3.4 商品化的数字交换部件举例	67
3.5 有自动寻址功能的交换部件	72
3.6 数字网的结构形式	77
3.7 数字交换网的寻址	84
3.8 数字交换机中的会议电话模块	92
第4章 用户线与中继线的接口电路	98
4.1 模拟二线用户线接口电路(ALIC或SLIC)	99
4.2 模拟中继线接口	109
4.3 数字二线用户接口	113
4.4 数字中继线的接口电路	114
第5章 信令系统	117
5.1 什么是信令	117
5.2 信令的内容及分类	117
5.3 信令的结构形式及编码	118

5.4	用户信令	120
5.5	国际上推荐的中继信令标准简介	120
5.6	CCITT NO.7信令系统	126
5.7	共路信令网的基本结构	141
5.8	共路信令系统的优点	142
5.9	中国1号信令系统	142
5.10	中国7号信令系统	145
第6章	程控交换机的软件系统	148
✓ 6.1	引言	148
6.2	操作系统设计	152
6.3	呼叫处理程序设计	171
6.4	数据库系统	182
6.5	程控软件开发技术与软件支援系统	186
第7章	程控交换机的管理与维护	202
✓ 7.1	引言	202
7.2	人机接口和MML语言	202
7.3	管理	204
7.4	维护	207
第8章	分组交换	218
8.1	分组交换的概念	218
8.2	分组交换的特点	218
8.3	分组交换的基本模式	219
8.4	分组交换网的业务功能	219
8.5	分组交换网的组成	220
8.6	CCITT的有关建议	220
8.7	中国公用分组交换网(CHINAPAC)	221
第9章	智能网与个人通信系统	223
9.1	引言	223
9.2	智能网的结构	223
9.3	TCAP规程	224
9.4	SSP中智能网功能的实现	229
9.5	800号业务(800 Service)	230
9.6	个人通信业务(PCS)	234
9.7	小结与展望	240

第10章 综合业务数字网	241
10.1 引言	241
10.2 ISDN的基本概念	242
10.3 ISDN的网络接口标准	246
10.4 ISDN交换的分层结构	251
10.5 ISDN的编号计划	252
10.6 ISDN发展概况	253
10.7 ISDN的应用热点	253
第11章 异步转移模式ATM——宽带ISDN	256
11.1 异步转移模式ATM	256
11.2 ATM信元结构和ATM交换	257
11.3 ATM交换机	258
参考文献	260

第 1 章 概 述

随着人类社会的不断进步，人们对通信的要求越来越高，通信业务已渗透到所有的领域，深入到世界、宇宙的各个角落。各国都在积极地建设和完善通信网，以充分发挥和提高社会效益，更快地推动人类进步。

用户的语音、图像、文字、数据等原始信息，在终端设备中经过处理后，放到有线或无线的信道上传输，到目的地后再经过处理，提供用户使用。这就是一个点到点的通信系统。如果要在不同的点之间传输，就需要通过交换系统把多个通信系统组合起来，形成通信网。也就是说通信网是由用户终端设备、传输设备和交换设备组成的。

通信网承载的业务可以有好多种。电报是最早开放的业务，承载文字的电报网很少要求双向通信，其业务量远低于电话业务。据统计，电话业务约占总通信业务量的 90%。不管是现在还是将来，电话网总是最主要的通信网。数据网是伴随着计算机的飞速发展而发展起来的，其低、中速数据可在电话网中传输。这三种网是通信网的主体。随着通信事业的发展，声音、图像、文字都可以实现数字化，现代通信网将逐步地走向既有语音又有非话业务的综合业务数字网 ISDN (Integrated Services Digital Network)，继而向宽带综合业务数字网方向发展。

作为通信业务量最大的电话网，从 1876 年美国贝尔发明电话以来，经历了从人工到自动、从机械到电子、从布线控制到存储程序控制的变化。在一个现代化的城市里，没有方便、快捷、可靠的电话网是不可想象的。

1.1 电话通信网的组成

电话通信网是由用户电话机、用户到电话局之间的传输线路、电话局以及电话局与电话局之间的传输线路组成的。通常电话机称为网络的通信终端。用户到电话局之间的传输线路称为用户线路。电话局是连接线路的节点，也叫交换中心。电话局到电话局之间的传输线路称为中继线路。

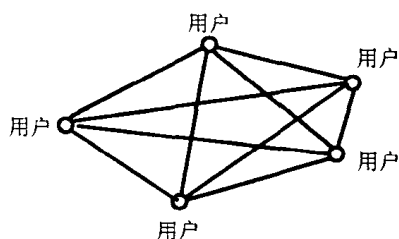


图 1.1 充分互连的网形结构

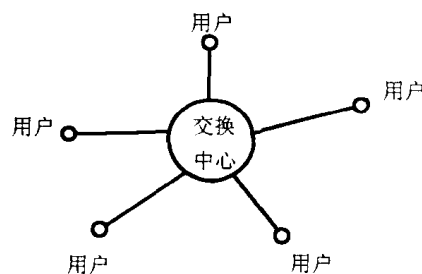


图 1.2 自下而上会聚的星形结构

电话网的基本结构有两种形式：一种叫网形结构。若有 N 个用户，如果要求无阻塞的话，用线路充分互连起来如图 1.1 所示，需要 $N(N-1)/2$ 条线对（即 N 中取 2 的组

合)，如 N 数增大，需要的线对将近似按 N 的平方关系增加；还有一种是星形结构，用于用户电话机与终端电话局之间或下层局与上层局之间，是自下而上会聚而成的，见图 1.2。用户线通过交换中心来接续，线对数可降至 N 对。在电话网的建设中，线路投资费用往往高于设备的投资，因此，这是充分利用线路的好办法。

直接连接用户线路的基层交换局叫做终端局 EO (End Office)，也叫本地局或市话分局。终端局以上都叫中转局 TO (Transit Office)，中转局也叫长途局。但在较大的城市中，终端局数量很大时，市话分局之间互连的线路就十分庞大复杂，通常在终端局与长话局之间设汇接局。若干个市话分局的线路以星形结构的方式会聚于一个汇接局，则汇接局的数量将大为减少，同层汇接局之间的互连就简单得多了，由汇接局到本市长途局也简化了。市话分局与汇接局都属于市话层。

长途局也叫长话交换中心。我国的长话交换网与世界上一些幅员辽阔的国家一样，以四级汇接辐射制为基本组织形式。四级是这样划分的：

一级交换中心 (C1)：设在首都和各大区中心，是全国中心和省间中心，也是与国外进行长途通信的国际汇接中心。

二级交换中心 (C2)：设在除一级交换中心所在地之外的各省会城市或自治区首府，是省中心。

三级交换中心 (C3)：设在各地区所在地，是地区中心。

四级交换中心 (C4)：设在各县所在地，是县中心。

长话的连接关系比市话网复杂，遵照上述的原则，根据实际情况可组织越级的直达路由和必要的迂回路由，市话与长话的连接也常采取与之相类似的方法。

用户线路一般是电缆，通常采用二线制。在高速宽带交换时，需用光缆。长途中继线路通常为频分多路或数字时分多路、收发分开的四线制结构。

除了上述的电话网主体之外，移动无线电话基站中的交换机和不属于邮电部门管理的、由各集团单位拥有的用户交换机 PABX (Private automatic Branch Exchange)，都通过它们的中继线接入公用电话网，而成为公用电话网必不可少的组成部分。

1.2 电话机

电话机是最简单的用户通信终端。从它问世到现在已有 100 多年的历史，但就其工作原理和使用方式来说，没有什么本质上的变化。目前世界上大约 7 亿多部电话机在网中工作。近十年来，电话机电路已基本集成电路化，除最新的多功能数字电话机终端外，大多数是在原来的基础上增加了一些新的功能，使用户使用时感到更方便。不论从最古老的磁石制电话机，还是最新的全电子化的电话机，其用于发话、收话和消除侧音等功能的核心部分线路，都大同小异。图 1.3 所示的是电话机工作的基本原理图。

图中的 X1 和 X2 是电话机接用户线的端口。电铃 DL 经电容 C 接到用户线，被叫选中时振铃。CH1 和 CH2 是电话机的叉簧，平时未提起话机手机时为开路。这种状态称为挂钩 (On Hook)，即处于空闲待命状态。一旦用户拿起手机时，叉簧 CH1 闭合，交换机通过用户线 X1, X2, CH1, B, R1, R2 向话机提供 20mA~80mA 的直流，作为话机的电源。这种状态称为摘钩 (Off Hook)。叉簧 CH2 闭合，因 DL 是高阻器件，可以简单地看成电容 C 并联在电阻 R1 上，构成了平衡网络 $R1 // C + R2$ ，用以平衡用户线的复阻抗。差

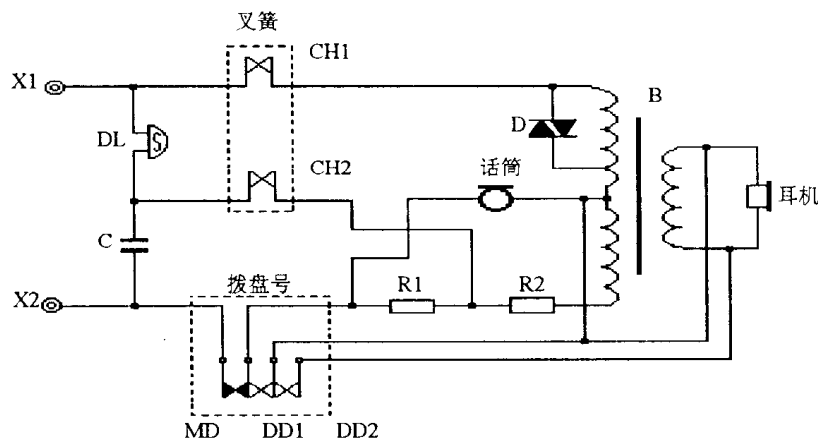


图 1.3 电话号码机的基本原理

接变量器 B 和平衡网络又构成了话机的消侧音电路。本地电话用户讲话时，话筒内炭精粒的电阻随话音的声压变化产生音频电流，由于差接变量器 B 的作用，仅有少部分话音信号到达耳机，大部分流向用户线。而对从用户线上收到的对方用户的话音信号则经差接变量器 B 加到耳机上，从而大大地消除耳机中听到的侧音（即自己听到自己发出的声音，强的侧音容易使人疲劳和听觉下降），保证了电路的稳定度。拨号盘的接点 MD 平时为常闭，拨号时断、续，发出所需要的用户信号，DD1, DD2 平时常开，拨号时闭合话筒和耳机，以屏蔽拨号的喀喇声传入耳机。另一方面 DD1 的闭合又可以提供一个很低的拨号电路内阻。

图中的反向并联二极管是一个简单的双向限幅器，可以限制大幅度的干扰。

电话机有直流脉冲拨号制 DP (Direct Current Pulse) 和双音多频拨号制 DT (Double Tone Multi-Frequency) 两种，以上介绍的是脉冲拨号电话机。如果是双音多频制电话机，我们只要将有按钮键盘的双音多频信号产生器电路的输出，在拨号时，切换入原来话筒的输入位置，将话筒暂时性断开。双音多频信号产生器的电源也由交换机经用户线送来的电流提供。当我们按下键盘上的某一按钮时，话机就能向用户线上发出相应的双音多频信号。电话机采用的按标准排列的拨号键盘，由少数集成芯片组成的拨号器电路再加上一个额外的开关后，就可以方便地选择 DP 或 DT 拨号方式。

除基本功能外，通过改善、提高电路的集成度，可以大大提高电话机的性能。

比如，把电铃换成专用的音调电话芯片，直接驱动的陶瓷压电发声元件，既提高了铃流检测的灵敏度，还可以通过改变音调的组成和颤音间隔，实现在一个办公室有几部电话时，能根据不同的铃声来确定是哪一部电话有呼入。

当用户线长度及线径不同时，摘机后，话机输入端的电压变化会很大。目前数字交换机大都对用户线采取恒流供电，因此，输出电流稳定，保证了电话机工作的稳定。

有些较高档的电话机中还串接有可调的均衡电路以补偿用户线长度变化的增益。或采用消侧音放大器反相输出，结合长度平衡补偿的信号加到接收放大器来抵消侧音。或在话筒到外线输出之间和外线到扬声器之间，分别串联一个可控的发送衰减器或接收衰减器，通过对发、收电平的检测，信号比较器和信噪比检测等电路结合起来同时控制发送和接收衰减器工作于互补状态，使话机能适应不同类型的线路和工作环境。还可以在扬声器电路

中加入低电压压扩器电路，工作于 2.1V~7.0V 时可获得 80dB (−60dB~+20dB) 的动态范围，以提高通话质量。

有些电话机增加某些电路或采用微处理机来处理各种呼叫和储存大量的电话号码，还可以实现缩位拨号、加锁、记忆、免提、录音等功能，给用户带来了方便，也提高了使用效率。

一种由有、无线结合的无绳电话机 (Cordless Telephone 记作 C/T) 引起了用户的兴趣。无绳电话有两个分开的独立部分。一个是座机，接普通电话用户线，可作免提话机独立使用。另有一个手机，它与座机之间通过异频、双工调频无线信道相联系。一般的使用是手机可以通过无线手段经座机的用户线进入电话网。用户可以脱离电话线的束缚，在以座机为中心的 10 多米甚至更大的范围内，通过市话网打电话。这给用户带来很大的方便，但也带来新的问题。其无线工作频率是在超高频段的低端，对障碍物的绕射和穿透能力较强，发射功率的覆盖面不可能严格控制在用户的特定通信距离之内。而总共只有 15 个信道 (CH1~CH15)。在人口密集的居民区 (例高层住宅)，几十米半径的立方体空间中，出现使用相同频道的无绳电话机的可能性还是很大的，就会有窃用号码的问题，只得申请电话加锁功能或在硬件上增加相应的保护电路。

我国规定无绳电话的信道频率如下 (窄带调频)：

座机发、手机收 48.000MHz~48.350MHz，座机本振为 63.300MHz~63.600MHz。

手机发、座机收 74.000MHz~74.350MHz，手机本振为 37.300MHz~37.650MHz。

信道间隔 25MHz，可安排 15 个信道。座机、手机的中频均为 10.7 MHz，收发异频双工，收发信号通过双工器共用一副天线。

1.3 局间信号的传输

用户线上的信号传输一般采用一对 0.4mm~1.0mm 线径的电缆线，在一定的距离内线路损耗不会超过 2dB~7dB。局间信号的传输不宜采用实线，一方面直接传输只能单路通话，线路长时损耗会超过规定标准，另一方面中继线数量多而集中，采用粗线径的铜芯线很不经济。为了充分利用实体线路这项宝贵的公共资源，可以采用多路复用的传输方法。多路传输的主要方法有模拟的频分复用 FDM (Frequency Division Multiplex) 和数字的时分复用 TDM (Time Division Multiplex)。所谓模拟和数字，是指被传输的信号的表达形式。频分复用是把多路话音信号叠加在不同频率的载波上，来实现多路的同时传输。时分复用是分配给每路一定的时间间隙，在不同的时隙里传输不同路的信号，就像交通繁忙的十字路口，两条不同方向的路线在不同的时间里放行一样。数字信号传输质量好，抗干扰性强，便于组成经济合理的网络结构，更能适应各种新业务的发展。

在频分多路载波通信中，将 N 路基带语音信号 (300~3400Hz) 通过单边带调制术，

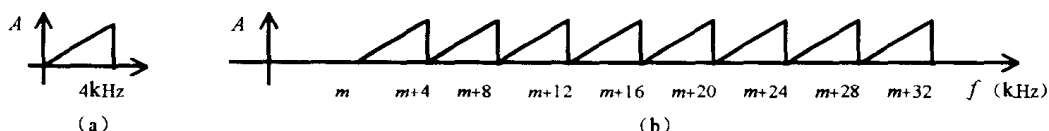


图 1.4 单路话音和载波话音信号的频谱

(a) 语音基带信号的频谱; (b) FDM 信号的频谱

多路复用

将基带话音搬移到 $[m \times 4 \times 10^3 + (300 \sim 3400)]$ Hz 的频段内, 其中 $m=1, 2, \dots, N$ 。每个话路仍然只占用 4kHz 带宽, 其中 300Hz 以下和 3400Hz~4000Hz 频段作为防护频带, 防止话音之间的串扰。FDM 信号的频谱见图 1.4。

FDM 信号通常是按分级组群的方式来传输的。其组群关系如下:

基群 (PG)=12 个话路信道;

超群 (SG)=60 个话路信道=5 个 (PG);

主群 (MG)=300 个话路信道=5 个 (SG);

超主群 (SMG)=900 个话路信道=3 个 (MG)。

在数字传输中, 通常只采用脉冲编码调制的多路时分复用方式 (PCM-TDM)。它们以 30 个话路或 24 个话路为一个基群进行分级组群。在第 3 章中还将叙述。

局间信号的传输一般采用四线制, 发、收方向的信号分开的方法。采用这种方法, 对模拟信号的传输有利于加入中间增音; 对数字信号的传输有利于数字信号的再生。

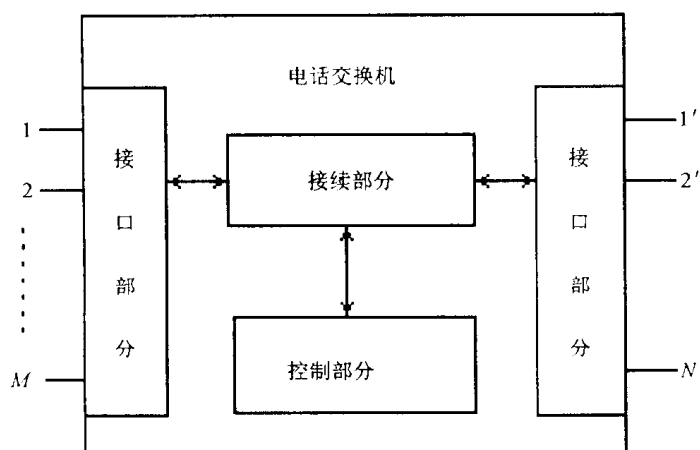
1.4 电话交换机

李跃武 2022 年 4 月 12 日 电话机

10271903

E-mail: chyw007@163.com

电话交换机是电话局中为主叫用户和被叫用户之间接通线路的设备。其中由话务员人



工操作完成接线的叫人工交换机。能根据主叫用户 (发起呼叫的用户) 拨出的被叫用户 (闻铃声接受呼入的用户) 的电话号码自动接通主被叫用户话机线路的交换机, 属于自动电话交换机。根据它们的任务还可以分为市话交换机、长话交换机和用户交换机。

图 1.5 电话交换机结构框图

电话交换机一般由通话接续部分 (交换部

分)、控制部分和各种接口组成。其结构框图见图 1.5。

1.4.1 通话接续部分

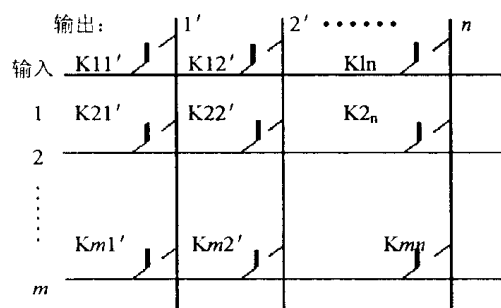


图 1.6 空分接续示意图

话音信号的接续方式主要有空分制和时分制两种。

所谓“空分”是指不同用户的话音电路, 处在不同的空间位置上。采用控制机械接点或大规模集成电路中电子开关的办法来接通主、被叫两个用户间的线路实现通话。图 1.6 是空分接续的示意图。从图中可以看出, 若入线 1 要和出线 2' 接

通，只需控制 K_{12}' 闭合。如同时需要若干条线间的接续，就控制若干个相应的 K 闭合。图中 $m > n$ 时，用于大容量交换网的集线级； $m < n$ 时为扩线级； $m = n$ 时主要用于无阻塞的中心交换网。

下面我们以加拿大敏迪 MITEL 公司的开关阵列芯片 MT8815 为例子，作简单介绍。

这是一个 8×12 的模拟开关阵列芯片。可以传输双向信号。出线 and 入线的关系可以互换，即 8×12 中可以作 8 根入线 12 根出线使用，也可以作 12 根入线 8 根出线使用。图 1.7 是其功能框图。图中右边的 8×12 开关阵列共有 96 个交叉点，也就是有 96 个双向电子开关，由两组地址线来寻址。7 位可编程 128 个地址，只需 96 个，另 32 个地址是无效地址不译出结果。当我们按用户的要求将所需的入、出线地址放到地址线上，再加上选通信号及数据信号，就接通所选中的特定的模拟开关。图中锁存电路是一个由微处理器 (μp) 控制的“只写存储器”，也称控制存储器。 μp 一旦对它写入一个命令（“开”或“关”），就一直执行下去，直到 μp 写入新的命令为止。可见 μp 并不直接控制这些开关的启闭，只在有新情况介入时，才发一条命令。这样 μp 可以腾出时间来做其他许多工作。

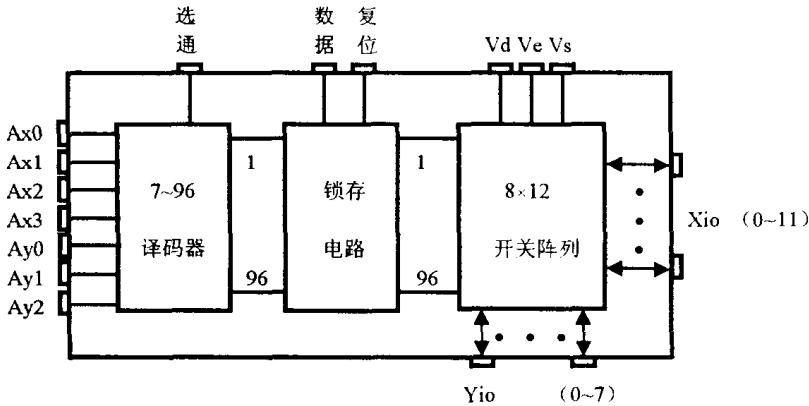


图 1.7 MT8815 模拟开关阵列功能方框图

这种芯片接续速度很快，实际上如改善引入、出线的质量可以交换 20MHz 的信号。

所谓“时分”是指对不同用户的话音信号，占用时分总线上不同时间段的一种接续方式。图 1.8 是时分接续原理简图。按照一定的时序 ($TS_0, TS_1, \dots, TS_{31}$)，依次循环开启 $K_1, K_2, \dots, K_m$ 一段时间，将 $1 \sim m$ 个话路信号写入到时分总线上。再在不同的时间段控制开启 $K_1' \sim K_n$ 中的某一时分开关（时分门）来读出某一路语音。每段开启时间称为一个时隙 (TS)。时隙是很短的一段时间，对 PCM 信号的交换来说正好是一个 8 位编码数字化语音的时间长度，这点将在以后的章节中讨论。时分制中的“开关”还可以采用控制对随机存储器某些特定内存的读或写的方法，将主叫用户时隙中的数字化语音搬移到被叫用户的接收时隙中，实现双方通话。

需要提出的是：语音的数字化形式是 8 位二进制码，这与 8 位二进制码的数据，在形式上是完全一样的。尽管它们各自代表了不同的含意，但可以得出结论：数字交换机完全可以用来交换任何二进制数据，或由图像及其他任何信号转化后的二进制的数字信号。这

是在广义通信领域中发展数字化技术的重要原因。数字交换技术的发展，使交换技术提高到前所未有的新水平。

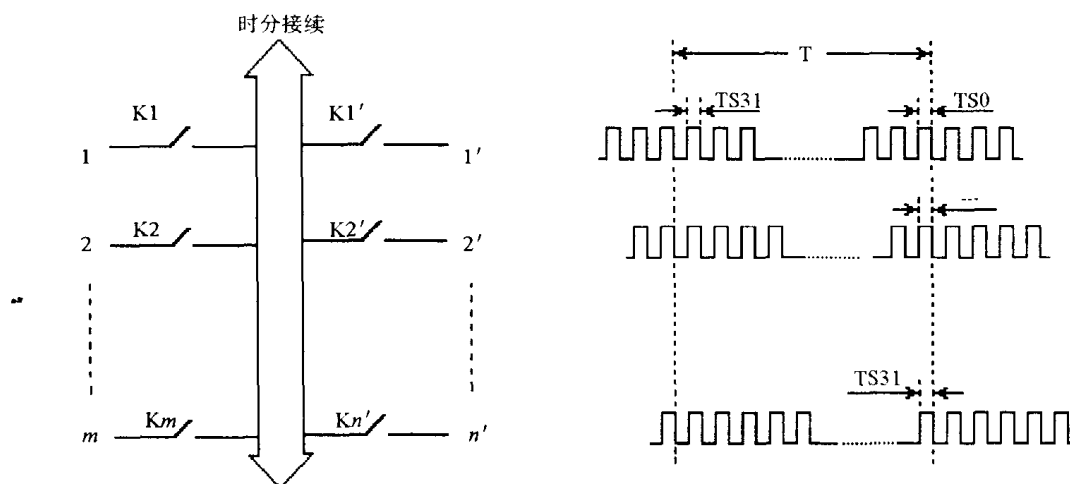


图 1.8 时分接续示意图

1.4.2 交换机的控制部分

交换机实现交换的方式有布控和程控两种。

布控是布线逻辑控制的简称，把控制线路上的信号直接加到控制逻辑电路上，经电路直接操作后输出控制信号驱动执行部件。以前的自动交换机，如步进制、纵横制自动电话交换机等都是采用布控逻辑控制的。

程控是按照控制的要求编制计算机的软件，由计算机按程序来控制执行。程控已经历了集中控制、分散控制和分散及集中控制相结合的发展过程。所谓集中控制即整个交换系统由一台中央计算机来控制，主机可以有两台，但只有一台工作；分散控制是按任务分工和负荷分担的原则，由大量的控制处理器对它们分别进行控制，而主处理机则处理整个系统的管理工作。这样一来，局部出故障不影响全局，而主处理机的小故障也不会影响呼叫接续，但对数据的集中收集和管理速度较慢；分散和集中控制相结合的方案是比较完善的。计算机的使用使交换技术提高到一个崭新的高度。交换机的控制部分采用计算机处理后，不仅仅可以完成交换机中的话路接续，还可以将交换机的输入输出、信令、管理维护、故障诊断等全部置于程控系统的控制下。除此之外，还可以逐步地开发新的电话业务，使电话网向着高智能和综合业务网的方向发展。

1.4.3 空分制交换机的发展

数字交换是本书讨论的主题。在讨论数字交换之前，我们先简单地介绍一下空分制交换机的发展，因为它们之间有一定的共性和继承的关系。

人工电话交换机、机电制自动交换机都属于空分制的接续。

在人工电话交换机中，所有用户线全部接到交换机的用户塞孔上，塞孔上方有呼叫指示灯。话务台上，挂有若干条接线用的“绳路”，以及相对应的板键。每条绳路的一端是应答塞子，另一端是呼叫塞子。板键用来选择连接相应的“绳路”、话务员的送受话器或

者振铃用的铃流发送器。当主叫用户申请呼叫时，相应的指示灯亮，话务员将一条空闲塞绳的应答塞子插入主叫用户的塞孔中，并扳动相应板键使这条绳路与送受话器相连，话务员询问主叫用户，了解所需的被叫用户后，将这条绳路的呼叫塞子插入被叫用户塞孔中，并将该扳键向另一方向扳压数次，向被叫用户话机振铃。若用户摘钩应答，相应的指示灯亮，话务员将扳键复原于中间位置，主、被叫通话。通话结束，任何一方挂机，指示灯灭，话务员即可撤线，拔出塞绳。人工交换台的扩容是增加交换台的数量、话务员的人数以及增设两个话务台之间中继线方式来实现。

交换台所需要的绳路数决定于呼叫高峰时的统计平均数。用户线数与绳路线之比称之为集线比（Concentration Ratio）。一般在 6~4 之间。

机电制自动电话交换机对“绳路”的选择有了一定的智能。从接收主叫用户拨出的电话号码开始，交换机能根据收到的号码的信息，自动地完成主、被叫用户线路之间的接线任务。世界上第一台自动电话交换机，是美国人司端乔发明，于 1882 年 11 月 3 日在印地安那州投入使用的。由于采用步进制旋转开关和步进制上升开关作为自动选线器（接线器），所以称之为步进制自动电话交换机。步进开关由继电器驱动，主叫用户拨出的断/续的被叫用户电话号码脉冲，使继电器动作，驱动擒纵机构，推动两套齿输随脉冲节拍分别带动电刷作垂直上升运动或作水平旋转运动，自动选择接通被叫用户。释放时，能立即反向回旋或垂直跌落到原始状态。通常第一组号码脉冲作上升扫描，第二组号码脉冲作水平旋转扫描。

1919 年，纵横制自动接线器问世。用户线与绳路的交叉接点由滑动摩擦接触改为压力接触。在电路和压力触点的上层，有一套纵棒和横棒交叉的机械结构，以纵横棒的左右翻动和吸合释放来选择某一对交叉点上的动静触点的闭合和释放。触点闭合后可以机械自锁或电气自锁。在纵横制交换机中，用户线上的电流脉冲不直接控制接线器，用户线电路与控制电路分了开来。控制部分（包括记发器和标志器）主要采用继电器组成的布控逻辑。通话部分由接线器和绳路组成。

机电制交换机接续的电触点是用贵金属做成，接通电阻很小（微欧的数量级）。触点的支撑物是胶木材料，开路绝缘电阻和对地绝缘电阻都很高（兆欧级）。早期的电子电路很难达到要求。CMOS 技术问世之后，模拟电子开关的导通电阻约 $30\ \Omega \sim 100\ \Omega$ ，开路绝缘电阻可高达 $10^9\ \Omega$ 以上，对地绝缘值也在 $10^6\ \Omega$ 以上，可工作于较高的电压（12V 以上）和较大的电流（10mA 以上），频率响应可达 45MHz，空分电子式交换机的接线器是超大规模集成电路（VLSI）的模拟开关阵列。芯片内部除模拟交换阵列之外，还有控制矩阵的附属电路等。目前问世的空分模拟电子开关，3dB 工作带宽可高达 200MHz。

1.4.4 电话交换网

一个终端局可以容纳几千到几万条用户线路。用户线进入交换局之后，先上总配线架，然后经交换机的用户电路接到交换机内部的交换网。在中、大型交换机中交换网总是分为用户线交换级（又称集线级）和中心级（又称组交换级）。由于基本的交换部件的容量不可能很大，不论是那一种交换级，都是由很多交换部件以矩阵的形式级联而成的。每一个交换部件，在线路结构上就是一个小交换矩阵。交换矩阵可以有一定阻塞率，也可以无阻塞。例如集线级的 $M \times N$ 矩阵中（ $M > N$ ），若出现同时有多于 N 个用户呼叫的情况时，此时其他用户就会无法呼出。通常称之为拥塞，或阻塞。在中心交换级中也有两种情

在差

况：如果入线数和出线数相等，则为无阻塞矩阵。若是以“绳路”来连接用户线的工作方式，当绳路数等于用户线数的 $1/2$ 时也为无阻塞矩阵。此外，还有一种三角形折叠式矩阵；矩阵的左侧直接来自用户电路，右侧则依次向上折叠，与水平线相交兼作绳路。只要接通三角形矩阵中的任一个触点组，即可唯一地接通相对应的两条用户线。用户线为 N 的三角形矩阵所需的触点组数为 $N(N-1)/2!$ 。这种结构只适用于仅有一个交换级的小容量交换机。以上几种矩阵形式以及三种矩阵表示的方法示于图 1.9 中。对图中的 $M \times N$ 矩阵，当 $M > N$ 时称之为集线级，反之，当 $M < N$ 时称之为扩线级。

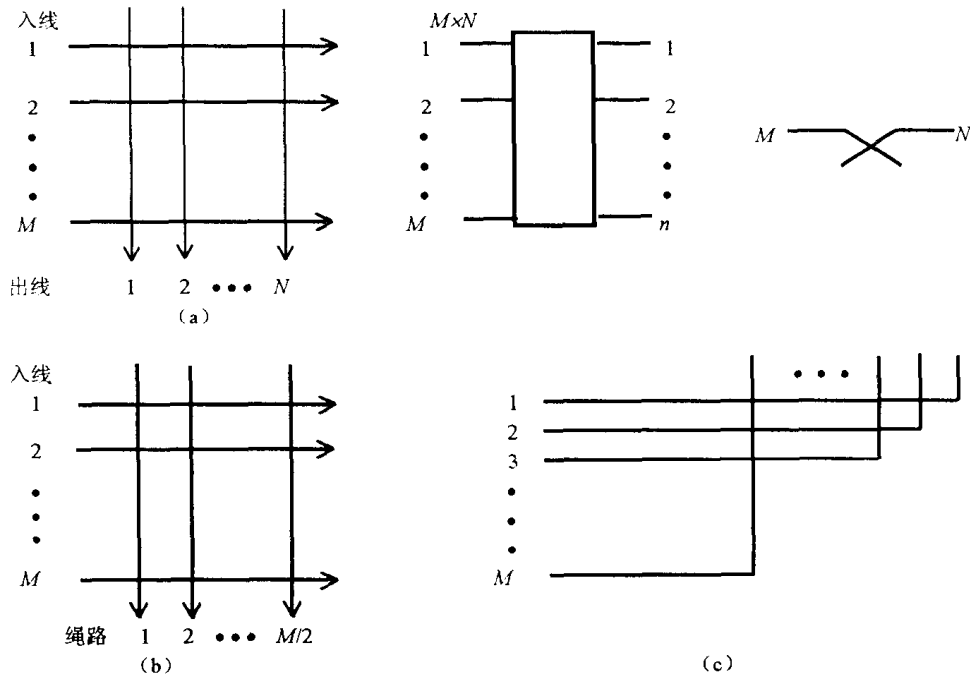


图 1.9 各种形式交换矩阵的表示方法

(a) $M \times N$ 矩阵的表示方法； (b) 绳路数为入线数一半时无阻塞矩阵； (c) 三角形矩阵表示方法

1.4.5 交换矩阵的级联和克洛斯 (clos) 网

小容量的用户交换机，采用图 1.9 所示的单级无阻塞交换矩阵即可满足要求，且费用也不高。对于 200 门以上的用户交换机如也采用单级无阻塞矩阵，就可能需要采用 $M \times M/2$ 个交叉点的矩阵，即具有 $200 \times 200/2 = 20000$ 个交叉接点的矩阵。如果我们选用 8×8 的模拟开关阵列的 CMOS 芯片来组建，就要用 $(200 \div 8)(100 \div 8) \approx 325$ 个芯片。若我们仍采用 8×8 的芯片作为交换部件，但采用 5 个 8×8 的阵列构成一个用户级，采用 15 个 8×8 的阵列作为中心矩阵。然后把 5 个这样的用户级并联起来，每个用户级的 40 条入线接 40 条用户线，再将这用户级中每个阵列的 8 根出线全部按相同编号并联起来得到 40 个 8×8 用户线都能共享的 8 个去中心级的中继线。这样我们就得到了一个 40×8 的用户级。5 个这样的平行的用户级的 $5 \times 40 = 200$ 根入线，可按 200 条来自用户电路的用户线路。5 个平行用户级的 $8 \times 5 = 40$ 条中继线接到一个如图 1.9b 所示形式无阻塞的中心交换级。我们用 $5 \times 3 = 15$ 个 8×8 的阵列芯片构成 $(5 \times 8) \times (3 \times 8) = 40 \times 24$ 的实际矩阵（见图 1.10c）。这样用户级

仅用了 25 个芯片，中心级用了 15 个芯片，一共 40 个芯片。可见几乎相差了一个数量级。这是一个合乎实际的设计例子。

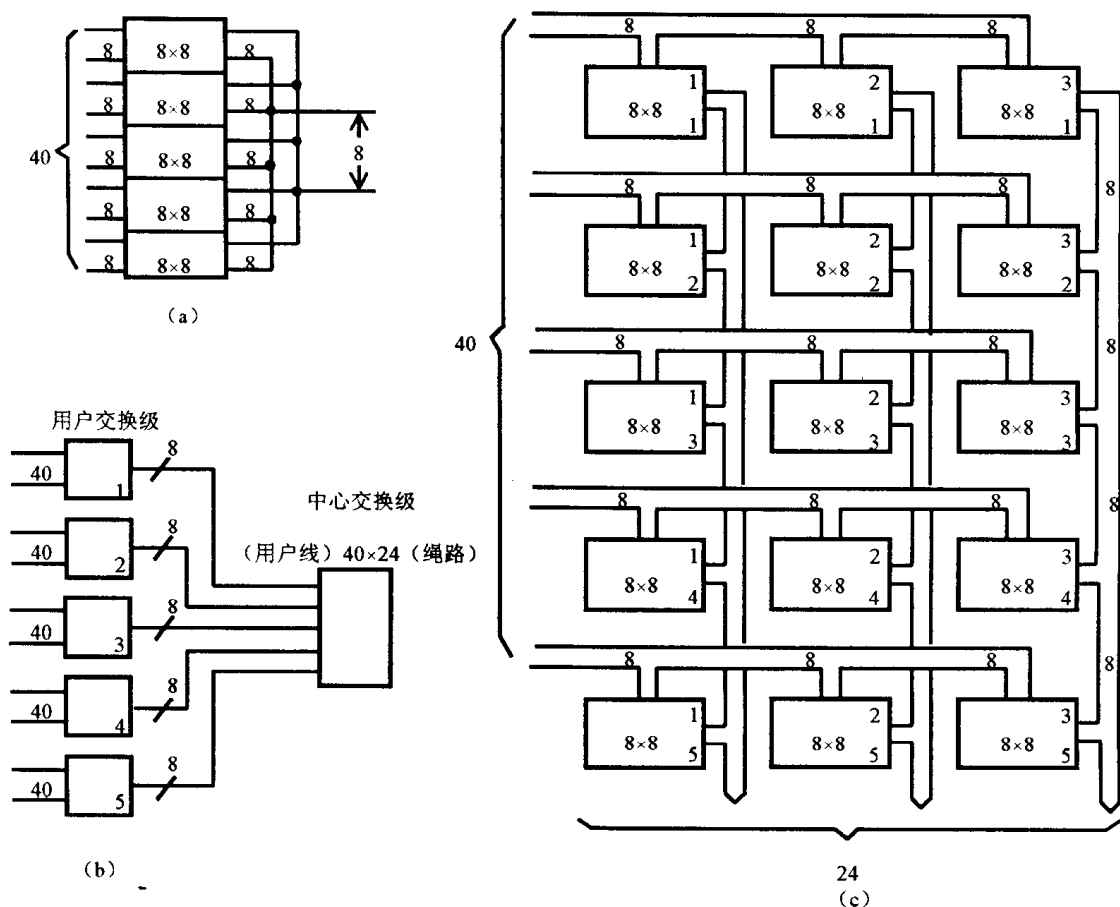


图 1.10 两级空分交换网的结构和组网形式

(a) 40x8 的用户交换级 (集线级矩阵); (b) 用用户级和中心交换级的组网形式; (c) 40x24 中心交换矩阵

但是带来两个问题：一个是通路中原来只要经过两个串联的触点组，串入的电阻约为 140Ω 。而改成两级结构之后，要经过四个串联的触点组，串入的电阻为 280Ω 。这问题在将用户级变量器的次级阻抗提高到 2400Ω 后，交换网的介入衰耗仍可以在 1dB 以下。第二个问题是插入了集线比为 5:1 的用户级后，整个交换网就变成一个有阻塞的交换网，在后面的章节中我们再讨论阻塞率的问题。当然，在实际设计安排时要根据输入的总平均业务量、允许的阻塞率以及设备的呼叫处理能力来决定。

在上述例子中，采用了 5:1 的集线器带来了一定的网络阻塞，要降低阻塞率就需增大交换矩阵的尺寸。而作为矩阵的大小总是随着入线数的平方关系增加的。对大容量的交换机来说，即使采用集线的用户级之后，一级中心级矩阵网的尺寸仍然会十分庞大。这是由于在一级网中，触点的利用率不高。若 $100 \times (100/2)$ 的矩阵共有 5000 个触点，即使出现 100 个用户同时工作的情况也只用了 200 个触点。如果我们用较小的矩阵来组建一级矩阵就可以有效地降低所需要的触点数。例如用由 8 个 4×4 组成的二级交换矩阵来代替一级 16×16 的交换矩阵。见图 1.11 所示。触点数就从 $16 \times 16 = 256$ 下降到 $(4 \times 4) \times 8 = 128$ ，节约了一半触点。图 1.12 表示了三级矩阵之间的级联。

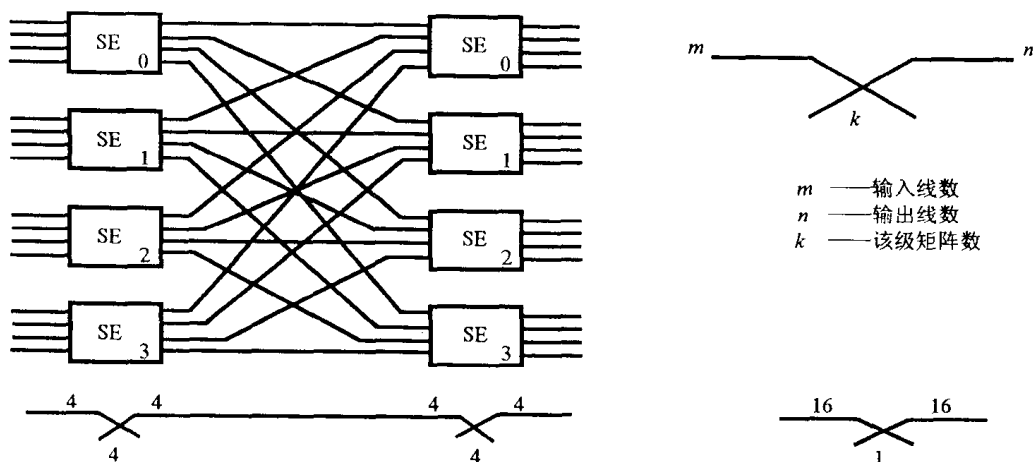


图 1.11 两级矩阵之间的线路连接

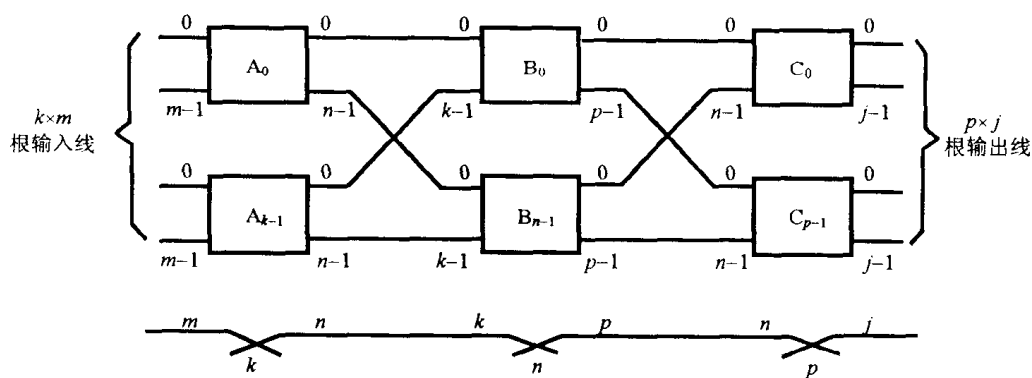


图 1.12 三级交换矩阵之间的线路连接

在大容量的交换网中，还可以将子矩阵组成矩阵分组，然后再将矩阵分组级联成最后形式的交换网。图 1.13 是 S-1240 系统最后两级连接方式的示意图。

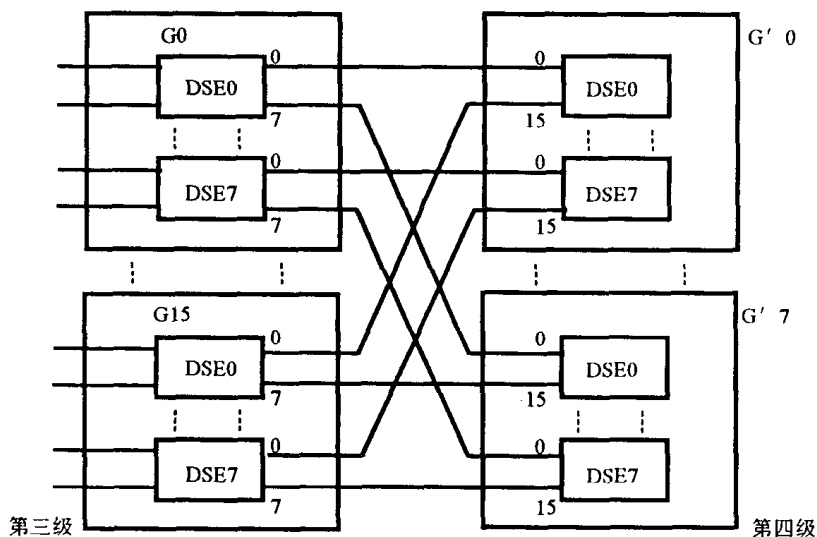


图 1.13 由子矩阵组成矩阵分组的级联