

· 孙玉院士技术全集 ·

中国工程院院士文集



数字网专用技术

◎ 孙 玉 编著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

· 孙玉院士技术全集 ·
中国工程院院士文集



数字网专用技术

◎ 孙 玉 编著



人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

数字网专用技术 / 孙玉编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2017. 9

(孙玉院士技术全集)

ISBN 978-7-115-44674-9

I. ①数… II. ①孙… III. ①数字网络体系 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第231998号

内 容 提 要

本书对数字复接、线路集中、话音内插、局钟系统、帧调整、速率适配、复用转换、编码变换、传输码型、回波控制、扰码以及用户二线双向数字传输等数字网专用技术,从基本概念、技术原理、典型应用、国际标准和发展趋势等方面做了简要介绍。

本书可以作为从事数字通信网规划、研究、设计及维护的专业人员的入门参考资料,也可供大专院校电信专业师生阅读参考。

◆ 编 著 孙 玉

责任编辑 杨 凌

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京天宇星印刷厂印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16

彩插: 1

印张: 17.25

2017 年 9 月第 1 版

字数: 300 千字

2017 年 9 月北京第 1 次印刷

定价: 98.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315



孙玉

1962年毕业于清华大学，后被分配到中国电子科技集团第54研究所工作至今。其间，从事军事通信设备研制和通信系统总体工程设计；领导创建了电信网络专业和数字家庭专业；出版电信科技著作13部。1995年当选中国工程院院士。现任，国防电信网络重点实验室科技委主任；兼任，中央军委科技委顾问。

《中国工程院院士文集》总序

二〇一二年暮秋，中国工程院开始组织并陆续出版《中国工程院院士文集》系列丛书。《中国工程院院士文集》收录了院士的传略、学术论文、中外论文及其目录、讲话文稿与科普作品等。其中，既有早年初涉工程科技领域的学术论文，亦有成为学科领军人物后，学术观点日趋成熟的思想硕果。卷卷《文集》在手，众多院士数十载辛勤耕耘的学术人生跃然纸上，透过严谨的工程科技论文，院士笑谈宏论的生动形象历历在目。

中国工程院是中国工程科学技术界的最高荣誉性、咨询性学术机构，由院士组成，致力于促进工程科学技术事业的发展。作为工程科学技术方面的领军人物，院士们在各自的研究领域具有极高的学术造诣，为我国工程科技事业发展做出了重大的、创造性的成就和贡献。《中国工程院院士文集》既是院士们一生事业成果的凝练，也是他们高尚人格情操的写照。工程院出版史上能够留下这样丰富深刻的一笔，余有荣焉。

我向来以为，为中国工程院院士们组织出版《院士文集》之意义，贵在“真善美”三字。他们脚踏实地，放眼未来，自朴实的工程技术升华至引领学术前沿的至高境界，此谓其“真”；他们热爱祖国，提携后进，具有坚定的理想信念和高尚的人格魅力，此谓其“善”；他们治学严谨，著作等身，求真务实，科学创新，此谓其“美”。《院士文集》集真善美于一体，辩而不华，质而不俚，既有“居高声自远”之澹泊意蕴，又有“大济于苍生”之战略胸怀，斯人斯事，斯情斯志，令人阅后难忘。

读一本文集，犹如阅读一段院士的“攀登”高峰的人生。让我们翻

开《中国工程院院士文集》，进入院士们的学术世界。愿后之览者，亦有感于斯文，体味院士们的学术历程。

徐匡迪

二〇一二年

全集序言

20 世纪 70 年代后期，我国的通信网开始模/数转换，当时国内自行研制的 PCM 基群设备和二次群数字复接设备先于国外引进的产品在国内试验并应用，打破了国外的技术封锁。我与孙院士相识也是从那时开始，孙院士在这之前就成功主持了我国第一代散射数字传输系统和第一套 PDH 数字复接设备的研制，我当时负责 PCM 基群复用设备的研制和试验。PCM 基群与 PDH 数字复接设备分属一次群与二次群，在网络上 是上下游的关系，我们连续几年一起参加国际电信联盟（ITU）数字网研究组的标准化会议，后来在各自的工作中又有不少的联系，从中了解了他的学识，也学习了他的做人准则。他在通信工程方面有非常丰富的经验，他对通信网的理解、对通信标准的掌握和治学精神的严谨一直为我所敬佩，他勤于思考和积极探索，善于总结和举一反三，乐于诲人和提携后进，与他共事受益不浅。在这之后他又相继研制成功数字用户程控交换机、ISDN 交换机、B-ISDN 交换机及相应的试验网，还主持研制成功接入网和用户驻地网网络平台，并将上述成果应用到专用通信网和民用通信工程中，很多研发工作都是国内首次完成。

孙玉院士将研发体会写成著作交由人民邮电出版社出版，他的著作如同他的科技成果一样丰硕，从 20 世纪 80 年代初的《数字复接技术》一书开始，陆续出版了《数字网传输损伤》、*PDH for Telecommunications Network*、《数字网专用技术》《电信网络总体概念讨论》《电信网络安全总体防卫讨论》《应急通信技术总体框架讨论》《数字家庭网络总体技术》《电信网络中的数字方法》和《孙玉院士技术报告文集》，其中《数字复接技术》与《数字网传输损伤》两本书还都出了修订本。这些论著所涉及的领域或视角在当时为国内首次出版。他鼓励我将科研成果也写成书

出版，既可将宝贵的经验与同行共享，也是自身对专业认识的深化过程。我写过一本书，深感要写出自己满意且读者认可的书非要下苦功不可。孙玉院士难能可贵的是笔耕三十年，著作十余本，网聚新技术，敢为世人先。这一系列专著覆盖了电信网的诸多方面，每一本既独立成书但又彼此关联，虽然时间跨度几十年，但就像一气呵成那样连贯，这些著作体现了他的一贯风格，概念清晰准确，思路层次分明，理论与实践结合，解读深入浅出。这些论著在写作上以电信网系统工程为主线，突出了总体设计思想和方法，既有严格的电信标准规范，又有创新性的解决方案，学术思想寓于工程应用中，兼具知识性与实用性，不论是对电信工程师还是相关专业的高校师生都不无裨益，在我国电信网的建设中发挥了重要作用。电信网技术演进很快，但这一系列著作所论述的设计思想及方法论对今后网络发展的认识仍有很好的指导意义，人民邮电出版社提议出版孙玉院士著作全集，更便于广大读者对电信网全局和系统性的了解，这是电信界的一件好事，并得到了中国工程院院士文集出版工作的大力支持，我期待这一全集的隆重问世。

中国工程院院士



2017年6月于北京

全集出版前言

1962—1995 年期间，我在科研生产第一线，有幸参加了我国电信技术数字化的全过程。其间根据科研工作进程的需要，也是创建电信网络专业的需要，我逐年编写并出版了一些著作。

1. 专著《数字复接技术》，人民邮电出版社出版，1983 年第一版；1991 年修订版；1994 年翻译版 *PDH for Telecommunication Network*, IPC.Graphics.U.S.A。这是我 1970—1980 年期间，从事复接技术研究的工作总结。其中提出了准同步数字体系（PDH）数字复用设备的国际通用工程设计方法。令我欣慰的是，这本书居然存活了十余年，创造并保持着人民邮电出版社科技专著销量纪录，让我在我国电信技术界建立了广泛的友谊。

2. 编著《数字网传输损伤》，人民邮电出版社出版，1985 年第一版；1991 年修订版。这是我 1970—1980 年期间，出于电信网络总体工程设计需要，参考国际电信联盟（ITU）文献，编写的工具书。为了便于应用，其中澄清了一些有关传输损伤的基本概念。

3. 编著《数字网专用技术》，人民邮电出版社 1988 年出版。这是为我的硕士研究生们编写的专业科普图书，介绍了一些当时出现不久的技术概念和原理。显然，无技术水平可言。

1995 年之后，我退居科研生产第二线，转入技术支持工作。其间，根据当时的技术问题，以及培育学生和理论研究的需要，我逐年编写并出版了一些著作。

4. 编著《数字家庭网络总体技术》，电子工业出版社 2007 年出版。这是我 2006—2009 年期间，受聘国家数字家庭应用示范产业基地（广州）技术顾问，为广州基地编写的培训教材。其中提出了数字家庭第二代产

业目标——家庭网络平台和多业务系统，被基地和工信部接受。

5. 专著《电信网络总体概念讨论》，人民邮电出版社 2008 年出版。这是我 2005—2008 年期间，从事电信网络机理研究的总结。在我从事电信科研 30 多年之后发现，电信网络技术作为已经存在 160 多年、支撑着遍布全球电信网络的基础技术，居然尚未澄清电信网络机理分类，而且充满了概念混淆。我试图讨论这些问题。其中，澄清了电信网络的形成背景；电信网络技术分类；电信网络机理分类及其属性分析。但是，当我得出电信网络资源利用效率的数学结论时，竟然与我的物理常识大相径庭。为此，我在全国知名电信学府和研究院所做了 50 多场讲座，主要目的是请同行指点我的理论是否有误。这是我的代表著作，令我遗憾的是，这是一本未竟之作。书名称为“讨论”，是期盼后生能够接着讨论这个问题。

6. 编著《电信网络安全总体防卫讨论》，人民邮电出版社 2008 年出版。这是 2004—2005 年期间，我在国务院信息办参加解决“非法插播和电话骚扰问题”时编写的总结报告，经批准出版。其中提出了网络安全概念；建议主管部门不要再利用通信卫星广播电视信号；建议国家发射广播卫星；建议国家建设信源定位系统。这本书曾经令同行误认为我懂得网络安全。其实，我仅仅经历了半年时间，参与解决上述特定问题。

7. 编著《应急通信技术总体框架讨论》，人民邮电出版社 2009 年出版。这是 2008—2009 年期间，在汶川地震前后，我参加国家应急通信技术研究时编写的技术报告。希望澄清应急通信总体概念，然后开展科研工作。可惜，我未能参与后续的工作。

8. 编著《电信网络技术中的数学方法》，人民邮电出版社 2017 年出版。我国电信界普遍认为，在电信技术中应用数学方法非常困难，同时，也看到一旦利用数学方法解决了问题，就会取得明显的工程效果。2009 年我曾建议人民邮电出版社出版《电信技术中的数学方法丛书》。所幸，一经提出就得到了人民邮电出版社和电信同仁的广泛支持。本书作为这套丛书的“靶书”，仅供同行讨论，以寻求编写这套丛书的规范。我认为数学方法对于电信技术的发展和人才的培养具有特殊的意义，我期待着这套丛书出版。

9. 编著《孙玉院士技术报告文集》，人民邮电出版社 2017 年出版。这是我历年技术报告的代表性文本，其中，主要是近年来关于研制和推广应用物联网的相关报告。这些报告多数属于科普报告，主要反映了我对于我国国民经济信息化的期望。

上述著作，出版时间跨越整整 34 年，电信科技内容覆盖了我 50 多年的科研历程。可见，这几本书基本上是一叠陈年旧账。然而，人民邮电出版社决定出版这套全集，也许，他们认为，这套全集大体上能够从电信技术出版业角度，反映出我国电信技术的发展历程；反映出我们这一代电信工程师的工作经历；同时，也反映了与我们同代的电信科技书刊编辑们的奉献。也许，他们认为，作为高技术中的基础学科，电信技术的某些理论和技术成就仍然起着支撑和指导作用。如实而言，不难发现，在我国现实、大量信息系统工程设计中，涉及信息基础设施（电信网络）设计，普遍存在概念性、技术性、机理性甚至常识性错误。我们国家已经走过生存、发展历程，正在走向强大。在我国电信领域，不仅需要加强技术研究（如“863”计划），而且需要加强理论研究（如“973”计划）。期待我国年轻的电信科技精英们，特别是年轻有为的院士们，能够编撰出更好、更多的电信科技著作。



2017 年 6 月于中国电子科技集团公司第 54 研究所

前 言

本书原稿是 1981—1986 年为石家庄通信测控技术研究所数字网专业硕士研究生准备的讲义，编写的目的是为他们补充有关数字网专用技术的基础知识。现经整理以《数字网专用技术》书名出版。

这是一本数字网专业入门书，对数字复接、线路集中、话音内插、局钟系统、帧调整、速率适配、复用转换、编码变换、传输码型、传输扰码、回波控制、扰码以及用户二线双向数字传输等数字网专用技术，从基本概念、技术原理、典型应用、国际标准和发展趋势等方面做了简要介绍。

从最近几年来我所工作及报考我所硕士研究生的电信专业大学毕业生的专业知识面来看，多数人对数字网专用技术方面的知识比较陌生；从国内交流中也可感受到，近年转入数字网规划、研究、设计、维护和管理的一些工程师们，对于这方面的知识似乎也不甚熟悉。如果这种印象大体不错并有一定普遍性的话，本书所提供的内容也许会起到某些参考作用。

在编写本书的过程中，陈俊璧高级工程师等同志提出了不少宝贵意见；冀克平等研究生给予了多方协助，在此顺致谢意。



于石家庄通信测控技术研究所

1986 年 4 月 14 日

目 录

第 1 章	概述	1
1.1	数字网设备分类	1
1.2	数字网专用技术的分类	2
1.3	数字网专用技术的特点	5
第 2 章	数字复接	7
2.1	数字复接问题	7
2.2	同步复接	9
2.3	准同步复接	19
2.4	CCITT 建议	27
2.5	典型应用	31
第 3 章	线路集中	35
3.1	集线问题	35
3.2	集线工作原理	37
3.3	集线器分类	48
3.4	数字集线器实例	53
第 4 章	话音内插	58
4.1	话音内插问题	58
4.2	话音内插原理	60
4.3	技术性能	64
4.4	过载对策之一	69
4.5	过载对策之二	73
4.6	过载对策之三	77
4.7	典型系统参数	79
第 5 章	局钟系统	80
5.1	系统分类	80
5.2	系统构成	82
5.3	技术性能	92

5.4 典型应用	96
第 6 章 帧调整	98
6.1 帧调整功能	98
6.2 帧调整原理	99
6.3 实现方案	102
6.4 帧调整器实例	106
6.5 控制滞后设计	110
6.6 典型应用	112
第 7 章 速率适配	114
7.1 速率适配问题	114
7.2 同步速率适配	115
7.3 准同步速率适配	119
7.4 低速率异步适配	126
7.5 高速率异步适配	128
7.6 卫星链路与陆地网连接	129
第 8 章 复用群变换	132
8.1 复用群变换问题	132
8.2 复用转换原理	134
8.3 技术设计	139
8.4 技术特性	143
8.5 工程应用	149
第 9 章 话音编码变换	154
9.1 PCM-ADPCM 码变换	154
9.2 A/ μ PCM 码变换	168
第 10 章 接口码型变换	174
10.1 接口码型变换问题	174
10.2 对传输码型的要求	174
10.3 优选传输码型	175
10.4 CCITT 建议码型	181
第 11 章 扰码	189
11.1 扰码问题	189
11.2 扰码原理	192
11.3 自同步扰码器应用	197
11.4 帧复位扰码器的应用	200

第 12 章 回波控制	205
12.1 回波问题	205
12.2 回波容限	207
12.3 回波抑制原理	209
12.4 回波抑制性能	213
12.5 回波消除原理	216
12.6 回波消除性能	222
12.7 回波控制的应用	224
第 13 章 用户二线双向数字传输	229
13.1 问题的提出	229
13.2 系统构成	231
13.3 频分复用 (FDM) 方案	233
13.4 时分复用 (TDM) 方案	234
13.5 自适应数字混合 (ADH) 方案	238
13.6 自动去耦 (AGE) 方案	241
13.7 方案比较	242
结语	247
参考文献	250
全集出版后记	259

第1章 概 述

1.1 数字网设备分类

提到数字网设备，人们自然会想到那些令人瞩目的、也是比较熟悉的设备，例如，各种数字传输系统、各种数字程控交换机以及各种用户终端设备。数字传输系统用于数字信号传输；数字程控交换机用于数字信号交换。数字传输系统和数字交换机构成了数字网主体；用户终端设备用来建立数字通信网与人类之间的联系，使得通信网能够有效地为人类服务。关于这3类设备，作为设备类别，是国际上早已公认了的。

图 1-1 给出了一种典型的数字连接。从图中可以看出，这种典型数字连接是由数字传输系统、数字交换机、数字电话机（用户终端设备）、数字复接器、帧调整器和局钟设备组成的。即除了上述数字传输系统、数字程控交换机和用户终端这3类设备之外，还有数字复接器、帧调整器和局钟设备等其他专用设备，这些专用设备不属于上述3类设备中的任何一类。

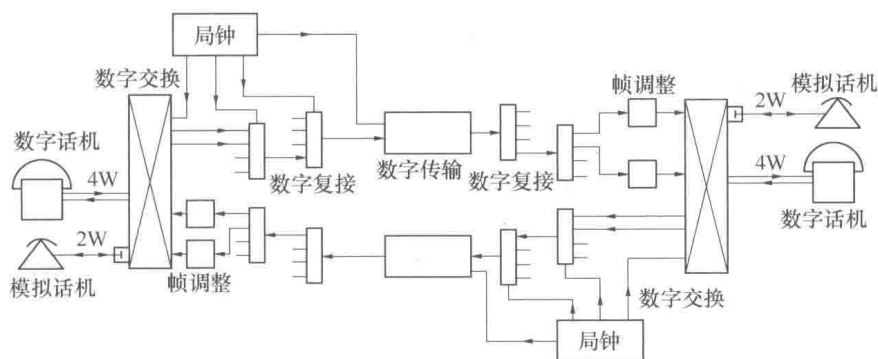


图 1-1 典型数字连接

一般说来，为了把数字传输系统、数字程控交换机及用户终端联成网络，为了使数字网运行更有效，为了使不同类型的电信网络相互沟通，都要用到各式各样的专用设备。这些专用设备有的是组网不可缺少的，有的是对改善网络功能特别有效的。在这些种类繁多的数字网专用设备之中，有一些习惯上称为

数字设备，有一些可以称为网络终端，有一些则没有明确的类别名称。总之，关于这些专用设备，国际上至今尚未做出明确的分类和定义。

本书把除了数字传输、数字交换和用户终端这 3 类设备之外的全部数字网有关设备暂时统称为数字网专用设备。此处这样称呼仅仅出于介绍相关的专用技术方便考虑，最终将以 CCITT 有关电信设备统一分类和定义为准。本书把实现上述数字网专用设备的相关技术称为数字网专用技术。数字通信网工程一般都要用到这些种类繁多，涉及面又相当广泛的数字网专用技术，而目前尚无相应的合适著述。本书的任务就是把这些看来是彼此无关，但是在工程上却要同时配合应用的各项专用技术，综合到一起，形成一本专门的文献。确切地说，本书就是概要介绍除了数字传输技术、数字交换技术和用户终端技术以外的一些数字网专用技术。在这些数字网专用技术之中，凡是已有专门著作论述过的，本书不再重复。

1.2 数字网专用技术的分类

依功能差别，可以把数字网专用技术分为 4 类，即传输效率类、网同步类、损伤控制类和兼容互通类技术。

1. 传输效率类专用技术

这类数字网专用技术的共同功能是提高传输效率，其中包括数字复接技术、线路集中技术、话音内插技术和容量倍增技术。这 4 种传输效率类专用技术的功能简图见图 1-2。

众所周知，在一对实线上，如果不采取什么特别措施，同时只能传输一路信号；如果采用数字复接技术，即采用时分复用技术，每路信号分别固定占用确定时隙，就可以同时传送 m 路信号（其中 $m > 1$ ）；如果采用线路集中技术，即根据需要分配时隙，哪路需要就分给它确定时隙，用完之后再把这个时隙分给别的话路使用，这样就可以为 C 对用户提供服务（其中 $C > m$ ）；如果采用话音内插技术，即把全部复用时隙的通话间断空隙都利用起来，就可以同时传送 I 路信号（其中 $I > m$ ）。显然，把这 3 种技术结合起来使用，还可以进一步提高传输效率。

上述情况是在单个话路编码速率一定的前提下，通过充分利用复用时隙来提高传输效率。如果能把单个话路编码速率降低（同时保证传输话音质量不劣化），确定的传输系统就会增加话路容量。例如，2048kbit/s 传输系统对于 64kbit/s PCM