

韦乐平 编著

中国通信学会主编

人民邮电出版社

数字传输网 光同步

通信工程丛书



73.02.163
121

通 信 工 程 丛 书

光 同 步 数 字 传 输 网

韦乐平 编著

中国通信学会主编·人民邮电出版社出版

9310272

登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书从网络和系统的角度出发,全面介绍了光同步数字传输网(SDH/SONET网)的技术内容。主要内容包括SDH帧结构和复用映射结构、传送网结构、各类SDH设备(包括复用器、数字交叉连接设备和光缆线路系统等)的功能和性能要求、物理层(光接口和电接口)参数和规范、传输损伤分析、网同步、网络管理和SDH测试等。内容丰富、取材新颖,有较强的实用性。

本书适合从事电信传输网、光通信系统和数字通信设备的研究开发、规划设计、施工、管理以及维护方面的工程技术人员和管理人员阅读,并可供通信院校相关专业的师生学习参考。

0021/08
通信工程丛书

光同步数字传输网

韦乐平 编著

责任编辑:王晓明

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:850×11681/32 1993年3月 第 一 版

印张:17 页数:272 1993年3月 北京第1次印刷

字数:451千字 插页:5 印数:1—3500 册

ISBN7-115-04818-5/TN·575

定价:17.30元

丛 书 前 言

为了帮助我国通信工程技术人员有系统地掌握有关专业的基础理论知识,提高解决专业科技问题、做好实际工作的能力,了解通信技术的新知识和发展趋势,以便为加快我国通信建设、实现通信现代化作出应有的贡献,我会与人民邮电出版社协作,组织编写这套“通信工程丛书”,陆续出版。

这套丛书的主要读者对象是工作不久的大专院校通信学科各专业毕业生、各通信部门的助理工程师、工程师和其他通信工程技术人员。希望能够有助于他们较快地实际达到通信各专业工程师所应有的理论水平和技术水平。

这套丛书的特点是力求具有理论性、实用性、系统性和方向性。丛书内容从我国实际出发,密切结合当前通信科技工作和未来发展的需要,阐述通信各专业工程师应当掌握的专业知识,包括有关的系统、体制、技术标准、规格、指标、要求,以及技术更新等方面。力求做到资料比较丰富完备,深浅适宜,条理清楚,对专业技术发展有一定的预见性。这套丛书不同于高深专著或一般教材,不仅介绍有关的物理概念和基本原理,而且着重于引导读者把这些概念和原理应用于实际;论证简明扼要,避免繁琐的数学推导。

对于支持编辑出版这套丛书的各个通信部门和专家们,我们表示衷心感谢。殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议,使这套丛书日臻完善。

中国通信学会

前 言

进入 90 年代以来,传输网正面临着从点到点通信的准同步数字传输体制向以光纤为主要传输媒质的同步数字传输网(SDH/SONET 网)体制的转变。国际电报电话咨询委员会(CCITT)于 1988 年通过了有关 SDH 的 3 个基本建议,又用加速程序于 1990 年通过了有关设备方面的 6 个建议,并于 1992 年再次完成 4 个新建议。这种工作速度是 CCITT 历史上罕见的,反映了各国对开发同步传输网的巨大热情。作者近几年参与了 CCITT 有关 SDH 标准方面的会议和工作,深感有必要将这些建议的基本内容及相关知识系统简明地编写成书,供国内从事传输工作的技术人员和管理人员参考。

在编写本书时,作者力求使该书有下述三个特点。第一,注重从网络和系统的角度来组织材料,进行阐述。第二,注重实用性,对于理解和解决实际问题意义不大的理论分析尽可能避免。第三,注重材料的更新,尽量采纳近年来国际上关于数字网与光缆系统的最新研究成果。全书以 CCITT 有关 SDH 的建议以及其他相关建议和文稿为基本素材,以北美有关 SONET 的技术标准,以及散见于国内外学术刊物和会议上的有关论文为参考,概括总结了传输网体制研究和光缆系统设计方面的最新成果(其中也包含了作者及其同事们的部分研究成果)。为了便于读者理解和材料自身的系统完整,不少章节还补充了有关新技术和新概念的背景知识和一些示例。书中许多内容不仅适用于 SDH 网,也同样适用传统的 PDH 网。

全书基本遵循 CCITT 有关 SDH 建议的结构体系,也作了不少调整、删减和扩充。全书共分十二章。第一章概述了光同步数字传输网的基本概念及其特点。第二和第三章分别介绍了 SDH 帧结构和复

用映射结构。第四章讲述 SDH 传送网结构,还特别介绍了自愈网和 SDH 网的发展。第五到第七章介绍 SDH 设备的类型、功能和特性,包括复用设备、数字交叉连接设备和光缆线路系统,也简单介绍了光纤光缆的特性和规范。第八章介绍光同步传输网的物理层,重点讲述光接口参数的规范和测试,并介绍了光传输工程设计方法。第九章介绍网同步,重点是 SDH 的同步结构和各级时钟的要求和应用。第十章讨论传输网的主要传输损伤,尝试结合光纤通信的机理来讲述误码、抖动和漂移的特性和规范。第十一章介绍电信管理网的基本概念和 SDH 网络管理的组织和 ECC 协议栈。第十二章简要介绍 SDH 的特有测试方法。

光同步数字传输网是一种全新的技术体制,不仅内容广泛,而且采用了大量抽象的新概念、新术语以及新的分析和描述方法。其标准仍在不断地修改和完善,网络规划设计和运行的经验还十分有限,再加上笔者学识有限,写作时间仓促,因而奉献在读者面前的只能算是一本光同步数字传输网的概论。希望了解更深入具体内容的读者可以参阅各章后面所列的参考文献和其他有关的资料。需要说明,尽管 SDH 体制标准的部分内容仍会有变化,但本书所讲述的基本原理和体系结构以及绝大部分章节的实质内容是稳定的,可在今后相当长时间内保证其正确性并具有参考价值。最后,书中偏颇谬误之处还望得到读者的指正。

作者

1993 年 2 月于北京邮电部电信传输研究所

目 录

第一章 概述	1
1.1 光同步数字传输网的产生	1
1.2 光同步数字传输网的基本概念	4
1.3 光同步数字传输网的特点	8
1.4 微波在同步数字传输网中的角色和应用	12
1.5 SDH 设备开发策略	13
参考文献	14
第二章 速率与帧结构	17
2.1 网络节点接口	17
2.2 同步数字体系的速率	18
2.3 帧结构	19
2.4 基本复用原理和复用单元	21
2.5 STM-N 的互连规则	26
2.6 开销功能	26
2.7 51.840 Mbit/s 信号帧结构	37
附录 2-A: BIP 的误码检出概率	37
参考文献	39
第三章 同步复用和映射方法	40
3.1 基本复用映射结构	40
3.2 复用方法	43
3.3 指针	53
3.4 通道开销	69
3.5 映射方法	76

3.6 复用映射单元的参数	92
参考文献	94
第四章 SDH 传送网结构	95
4.1 SDH 网的传送功能结构	95
4.2 SDH 网的物理拓扑和自愈网	124
4.3 传送网可用性增强技术	149
4.4 一次群信号映射方式的选择	159
4.5 SDH 网的引入和发展	162
参考文献	172
第五章 数字复用设备	173
5.1 同步复用设备功能的概述	173
5.2 复用设备类型	180
5.3 一般性能要求	186
5.4 功能块特性	188
5.5 抖动和漂移规范	219
5.6 开销接入功能(OHA)	224
5.7 典型复用设备简介	225
参考文献	228
第六章 数字交叉连接设备	230
6.1 DXC 的基本概念和应用	230
6.2 SDXC 设备功能的概述	240
6.3 SDXC 设备类型	242
6.4 一般性能要求	245
6.5 功能块特性	247
6.6 典型 DXC 设备简介	252
参考文献	259
第七章 光缆数字线路系统	260
7.1 概述	260
7.2 传输媒质	261

7.3 总体设计特性	270
7.4 传输开销	274
7.5 一般性能要求	279
7.6 运行、管理和维护	287
7.7 典型的 STM-16 线路系统简介	288
参考文献	292
第八章 物理层	294
8.1 概述	294
8.2 物理层分类	295
8.3 光接口参数的规范和测量	297
8.4 光传输设计方法	324
8.5 电接口参数的规范和测量	336
附录 8-A:不同谱宽定义的关系	342
附录 8-B:色散代价的计算曲线	344
参考文献	345
第九章 网同步	348
9.1 网同步的基本原理	348
9.2 SDH 网同步结构和方式	353
9.3 时钟的定时要求	364
参考文献	378
第十章 传输损伤	380
10.1 假设参考连接	380
10.2 各类指标的关系	382
10.3 误码特性	386
10.4 抖动特性	405
10.5 漂移特性	434
参考文献	443
第十一章 网络管理	446
11.1 TMN 的基本概念	446

11.2 SDH 网的一般管理能力	462
11.3 SDH 管理网	463
11.4 SDH 信息模型	471
11.5 管理功能	472
11.6 OSI 模型和 ECC 协议栈	478
11.7 ECC 的互通	490
11.8 操作运行接口	491
11.9 典型网管等级和系统简介	493
参考文献.....	503
第十二章 SDH 测试	506
12.1 概述	506
12.2 传送能力测试	508
12.3 指针测试	510
12.4 嵌入开销测试	512
12.5 线路接口参数测试	515
12.6 典型测试设备简介	515
参考文献.....	518
附录:术语	520

第一章 概 述

光同步数字传输网(SDH/SONET 网)是新一代的传输网体制,它的出现和发展并不是偶然的。本章将简要介绍其产生的技术背景,基本概念和初步应用,以及主要特点。

1.1 光同步数字传输网的产生

80 年代中期以来,光纤通信在电信网中获得了大规模应用。其应用场合已逐步从长途通信、市话局间中继通信转向用户网。光纤通信的廉价、优良的带宽特性正使之成为电信网的主要传输手段。然而,随着电信网的发展和用户要求的提高,目前这类基于点对点传输的准同步(PDH)系统正暴露出一些固有的弱点:

(1)只有地区性的数字信号速率和帧结构标准,而不存在世界性标准。例如北美的速率标准是 1.5Mbit/s — 6.3Mbit/s — 45Mbit/s — $N \times 45\text{Mbit/s}$,同样体制的日本的标准是 1.5Mbit/s — 6.3Mbit/s — 32Mbit/s — 100Mbit/s — 400Mbit/s ,而欧洲的标准则为 2Mbit/s — 8Mbit/s — 34Mbit/s — 140Mbit/s 。三者互不兼容,造成国际互通的困难。

(2)没有世界性的标准光接口规范,导致各个厂家自行开发的专用光接口大量滋生。这些专用光接口无法在光路上互通,唯有通过光/电转换成标准电接口(G. 703 接口)才能互通,限制了联网应用的灵活性,也增加了网络复杂性和运营成本。

(3)准同步系统的复用结构除了几个低速率等级的信号(北美为

• 1 •

9310272

1.5Mbit/s,日本为 1.5Mbit/s 和 6.3Mbit/s,欧洲为 2Mbit/s)采用同步复用外,其他多数等级的信号采用异步复用,即靠塞入一些额外比特使各支路信号与复用设备同步并复用成高速信号。这种方式难以从高速信号中识别和提取低速支路信号。为了上下电路,唯一的办法就是将整个高速线路信号一步一步地解复用到所要取出的低速支路信号等级,上下支路信号后,再一步一步地复用至高速线路信号进行传输。可见复用结构不仅复杂,也缺乏灵活性,硬件数量大,上下业务费用高,数字交叉连接功能(DXC)的实现十分复杂。

(4)传统的准同步系统的网络运行、管理和维护(OAM)主要靠人工的数字信号交叉连接和停业务测试,因而复用信号帧结构中不需要安排很多用于网络 OAM 的比特。而今天,这种辅助比特的严重缺乏已成了进一步改进网络 OAM 能力的重要障碍,使传统的准同步系统无法适应不断演变的电信网要求,更难以很好支持新一代的网络。

(5)由于建立在点对点传输基础上的复用结构缺乏灵活性,使数字通道设备的利用率很低,非最短的通道路由占了业务流量的大部分。例如北美大约有 77%的 DS—3(45Mbit/s)速率信号的传输需要一次以上的转接,仅有 23%的 DS—3 速率信号是点到点传输的。可见目前这种建立在点到点传输基础上的体制无法提供最佳的路由选择,也难以经济地提供不断出现的各种新业务。

另一方面,用户和网络的要求正在不断变化,一个现代电信网要求能迅速地、经济地为用户提供电路和业务,甚至最终希望能对电路带宽和业务提供在线实时控制。

显然,要想完满地在原有技术体制和技术框架内解决这些问题是事倍功半、得不偿失的。唯一的出路是从技术体制上进行根本的改革。以微处理器支持的智能网络单元的出现有力地支持了这种网络技术体制上的重大变革,一种有机地结合了高速大容量光纤传输技术和智能网络技术的新体制——光同步传输网应运而生。

最初,这一概念是由美国贝尔通信研究所提出来的,并称之为同

步光网络(SONET)。它是由一整套分等级的标准数字传送结构组成的,适于各种经适配处理的净负荷(即网络节点接口比特流中可用于电信业务的部分)在物理媒质上进行传送。美国国家标准协会(ANSI)于1988年通过了最早的两个SONET标准^{[1][2]},即关于光接口速率和格式的标准ANSI T1.105—1988和关于光接口规范的标准ANSI T1.106—1988。随着研究工作的深入,上述两个标准的内容正逐步扩展成一整套第二阶段的SONET标准,即关于短距离通信光参数的标准ANSI T1.10X—1990、增强的功能(ANSI T1.105—1988补充)、STS—1和STS—3的电接口(ANSI T1.102—1987的再版),以及二个全新的有关运行、管理和维护的标准^{[3][4]}。制订SONET标准的最初目的是为了阻止互不兼容的光接口的大量滋生,实现标准光接口,便于各厂家设备在光路上互通。这对北美这样开放和竞争的市场是十分必要的。然而以后的发展已大大超过了这一最初的目标,SONET已扩展为一个全新的传输网技术体制。

国际电报电话咨询委员会(CCITT)于1988年接受了SONET概念,并重新命名为同步数字体系(SDH),使之成为不仅适于光纤也适于微波和卫星传输的通用技术体制。为了建立世界性的统一标准,CCITT在光电接口、设备功能和性能、管理控制以及协议和信令方面进行了重要修改和扩展,并于1988年至1990年分别通过了有关SDH的9个标准^{[5]—[13]},涉及比特率、网络节点接口、复用结构、复用设备*、网络管理、线路系统和光接口。1992年又通过了4个有关SDH信息模型、网络结构和抖动性能的新建议^{[14]—[17]}。1993年还计划通过2个新建议^{[18][19]}。至此,已经在世界范围内就SDH的基本软硬件问题都达成了一致协议。当然,就体制标准而言,随着实际经验的积累还会不断进行修改。随着实际应用的需要还会有新的标准出现,但基本框架和主要问题已经解决。各制造厂家不仅已经可以

* 复用设备建议 G.781~G.783 于1992年扩展为包括DXC在内的SDH设备建议。

据此生产制造符合 SDH 标准的硬件产品,而且可以开始实现不同厂家产品管理功能的互通。SDH 的发展将进入一个崭新的阶段。

尽管 SONET 和 SDH 的规范略有差别,但两者的基本原理完全相同,标准也将互相兼容。因此在本书中我们统称为(光)同步数字传输网,或 SDH/SONET 网,讲述则以 SDH 体制为主。

1.2 光同步数字传输网的基本概念

所谓光同步数字传输网是由一些 SDH 网络单元(NE)组成的,在光纤上进行同步信息传输、复用和交叉连接的网络。它有全世界统一的网络节点接口(NNI),从而简化了信号的互通以及信号的传输、复用、交叉连接和交换过程;它有一套标准化的信息结构等级,称为同步传送模块 STM—1、STM—4 和 STM—16,并具有有一种块状帧结构,允许安排丰富的开销比特(即网络节点接口比特流中扣除净负荷后的剩余部分)用于网络的 OAM;它的基本网络单元有同步光缆线路系统、同步复用器(SM)、分插复用器(ADM)和同步数字交叉连接设备(SDXC)等等,其功能各异,但都有统一的标准光接口,能够在基本光缆段上实现横向兼容性,即允许不同厂家设备在光路上互通;它有一套特殊的复用结构,允许现存准同步数字体系、同步数字体系和 B-ISDN 信号都能进入其帧结构,因而具有广泛的适应性;它大量采用软件进行网络配置和控制,使得新功能和特性的增加比较方便,适于将来的不断发展。

光同步数字传输网早期应用时最重要的两个网络单元是终端复用器和分插复用器。以 STM—1 等级为例,其各自功能如图 1.2.1 和图 1.2.2 所示。终端复用器的主要任务是将低速支路电信号和 155Mbit/s 电信号纳入 STM—1 帧结构,并经电/光转换为 STM—1 光线路信号,其逆过程正好相反。而分插复用器是一种新型的网络单

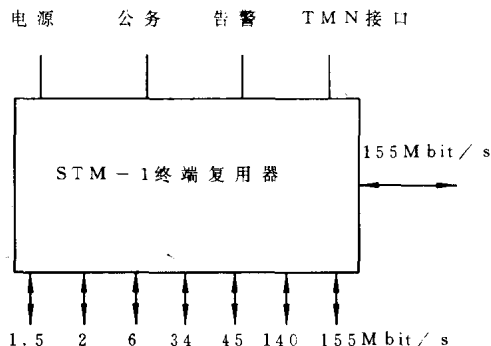


图 1.2.1 STM-1 终端复用器功能

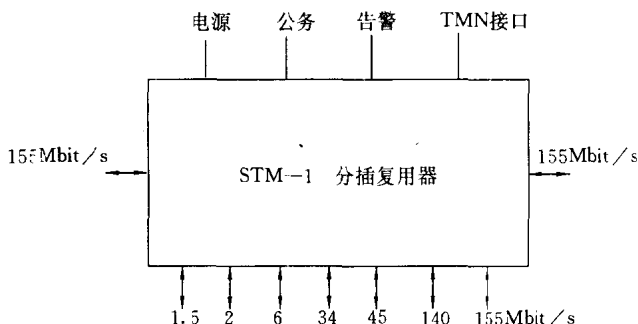


图 1.2.2 STM-1 分插复用器功能

元,它将同步复用和数字交叉连接功能综合于一体,具有灵活地分插任意支路信号的能力,在网络设计上有很大灵活性。

以从 140Mbit/s 码流中分插一个 2Mbit/s 低速支路信号为例,我们将采用传统准同步复用器和 SDH 分插复用器的信号流图同时表示在图 1.2.3 中,以便对比。

由图 1.2.3 可知,在传统准同步系统中,为了从 140Mbit/s 码流中分插一个 2Mbit/s 低速支路信号,需要经过 $140/34$ Mbit/s, $34/8$ Mbit/s 和 $8/2$ Mbit/s 三次解复用和复用过程,而采用 ADM 后,可以利用软件直接一次分插出 2Mbit/s 支路信号,十分简单和方便。

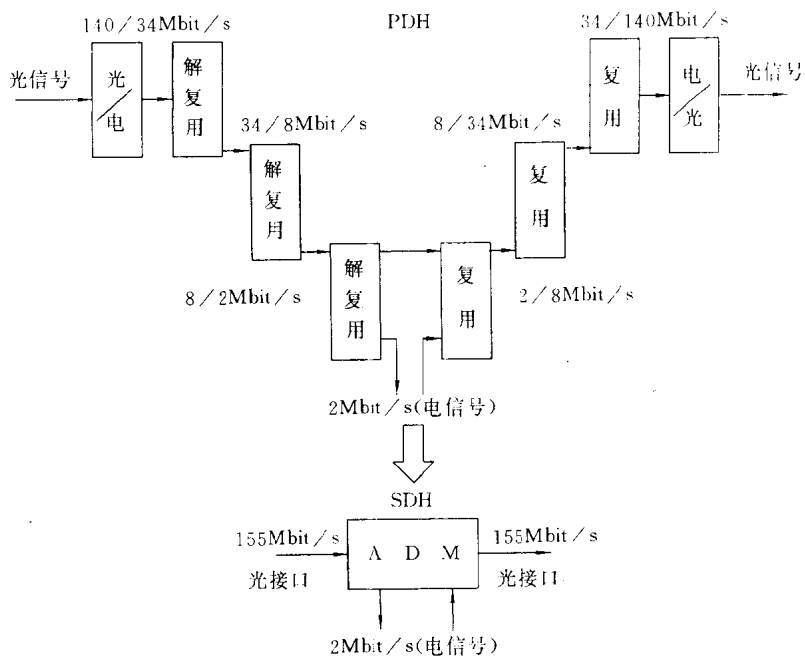


图 1.2.3 分插信号流图的比较

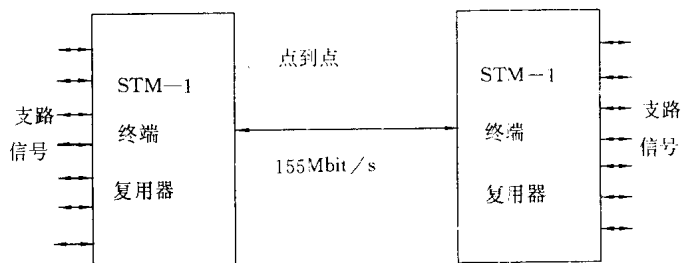


图 1.2.4 点到点应用

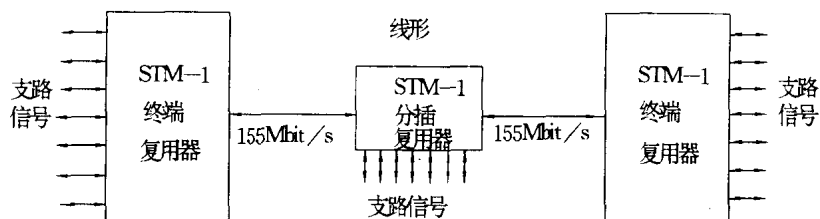


图 1.2.5 线形应用

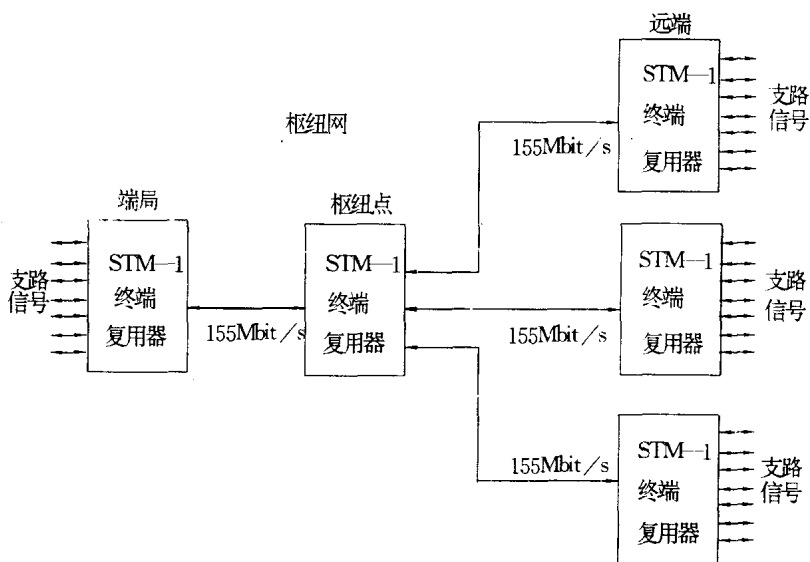


图 1.2.6 枢纽网应用

由上述两个基本网络单元组成的典型网络应用有多种形式,诸如点到点传输(如图 1.2.4)、线形(如图 1.2.5)、枢纽网(如图 1.2.6)和环形网(如图 1.2.7)。当然实际应用时还可能出现别的形