

韦乐平 编著

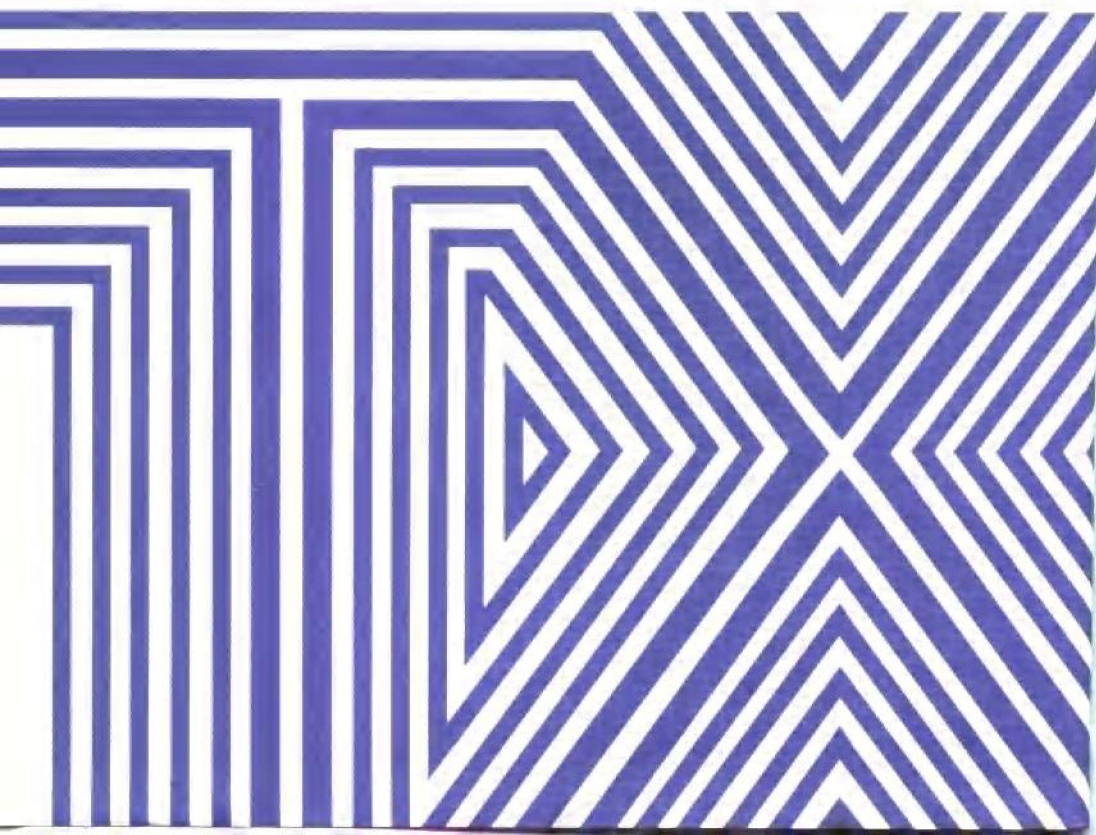
中国通信学会主编

人民邮电出版社

(修订本)

光同步数字传送网

通信工程丛书



通信工程丛书

光同步数字传送网

(修订本)

韦乐平 编 著

中国通信学会主编·人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

光同步数字传送网/韦乐平编著. -2版(修订版). -北京:人民邮电出版社,1998.12

(通信工程丛书/中国通信学会主编)

ISBN 7-115-07344-9

I. 光… II. 韦… III. 光通信-数字传输系统 IV. TN91 3.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 27910 号

通信工程丛书

光同步数字传送网(修订本)

◆ 编 著 韦乐平

责任编辑 王晓明

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

北京朝阳隆昌印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:850×1168 1/32

印张:20.25

插页:2

字数:535 千字

1998 年 12 月第 2 版

印数:30 501-35 500 册

1999 年 9 月北京第 8 次印刷

ISBN 7-115-07344-9/TN·1407

定价:38.00 元

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了光同步传送网体制和光缆 SDH 系统方面的最新成果,内容包括:概述、速率与帧结构、同步复用和映射方法、SDH 传送网结构、SDH 复用设备、SDH 数字交叉连接设备、传输媒质与 SDH 线路系统、物理层、网同步、传输损伤、网络管理和 SDH 测试。修订本按照最新国际标准修订和补充了相关内容,更新和增加了有关网络结构的分析和比较,网络恢复、交叉矩阵、节点延时分析,新型非零色散光纤,超高速 SDH 系统和波分复用系统,多厂家能力和互操作性等内容。

本书可供从事电信传输工作的技术人员和管理人员阅读,也可作为通信高等院校相关专业的教学参考用书。

修订本前言

自从本书初版发行以来,受到国内外广大读者的热烈欢迎,在不到4年时间内再版6次。然而,这5年来,SDH无论作为体制标准,还是作为一种技术和网络都发生了很多变化。首先,SDH作为标准已从当初的13个标准发展成具有31个配套系列标准的完整技术体制,原有的不少标准也有了重要修改。其次,SDH作为技术也有了长足的进展,最主要的是超高速SDH系统(10Gbit/s)和波分复用系统的出现和发展。最后,SDH作为网络已经积累了大量组网经验,并出现了一些新的思路和考虑。因此,在广大读者的恳切要求下,作者在繁忙的公务中抽空对该书作了一次系统全面的修订,主要修改内容有:

- 按照最新国际标准修订和补充了相关内容;
- 更新和增加了网络结构的分析和比较;
- 按原子功能方法重新改写了第五章;
- 第六章增加了网络恢复、交叉矩阵、节点延时分析内容;
- 在相关章节中增加了新型非零色散光纤、超高速SDH系统和波分复用系统的内容;
- 重写了同步网节点时钟一节;
- 网络性能一章中增加了延时一节,并对漂移性能作了重要修改;
- 按最新国际标准改写了网络管理和信息模型等有关章节,并增加了多厂家能力和互操作性一节;
- 改写了光传输设计方法一节。

考虑到本书出版以来,传送网的概念已为越来越多的人所接受和应用,因而在修订时本书更名为《光同步数字传送网》。传送网与传输网的微妙区别,可以参见第四章。

由于作者的研究时间和写作时间均十分有限,因而尽管作了很

大努力,试图将本书修订成一本更加系统全面、丰富实用、能反映SDH领域国内外最新研究成果的著作,但书中肯定仍有很多不尽人意乃至错误偏颇之处,请读者指正为盼。

韦乐平

1998年6月于北京

目 录

第一章 概述	1
1.1 光同步数字传送网的产生	1
1.2 光同步数字传送网的基本概念	4
1.3 光同步数字传送网的特点	8
1.4 微波在同步数字传送网中的角色和应用	12
1.5 SDH 设备开发策略	13
参考文献	15
第二章 速率与帧结构	18
2.1 网络节点接口	18
2.2 同步数字体系的速率	19
2.3 基本复用原理和复用单元	20
2.4 帧结构	26
2.5 STM - N 的互连规则	30
2.6 开销功能	30
2.7 51.840Mbit/s 信号帧结构	41
附录 2 - A BIP 的误码检出概率	43
参考文献	45
第三章 同步复用和映射方法	46
3.1 基本复用映射结构	46
3.2 复用方法	50
3.3 指针	58
3.4 通道开销	71
3.5 映射方法	77
3.6 复用映射单元的参数	91

参考文献	93
第四章 SDH 传送网结构	94
4.1 传送功能结构	94
4.1.1 传送网的基本概念	94
4.1.2 网络结构元件	95
4.1.3 分层和分割	106
4.1.4 网络拓扑和功能结构概念的应用	125
4.2 SDH 自愈网	128
4.2.1 基本物理拓扑	128
4.2.2 自愈网	130
4.3 网络保护和恢复	154
4.3.1 概述	154
4.3.2 保护	155
4.3.3 恢复	161
4.3.4 各种保护/恢复方法的比较和协调	167
4.4 一次群信号映射方式的选择	169
4.5 SDH 网的引入和发展	172
4.6 我国 SDH 的网络结构	181
参考文献	186
第五章 SDH 复用设备	188
5.1 概述	188
5.2 监控过程和管理信息流	200
5.3 层功能描述	208
5.3.1 SDH 物理层	208
5.3.2 再生段层	217
5.3.3 复用段层	219
5.3.4 高阶 SDH 通道(S_n)层	224
5.3.5 低阶 SDH 通道(S_m)层	234
5.4 复合功能	236

5.5	定时功能	238
5.6	抖动和漂移规范	241
5.7	开销接入功能	247
5.8	复用设备类型和工作方式	247
5.8.1	复用设备类型	247
5.8.2	带宽管理和时隙编程	253
5.8.3	接入和连接方式	257
	参考文献	259
第六章	SDH 数字交叉连接设备	260
6.1	DXC 的基本概念和应用	260
6.1.1	DXC 的基本概念	260
6.1.2	DXC 的基本功能和特点	262
6.1.3	DXC 的发展趋势	264
6.1.4	SDXC 的应用	266
6.2	SDXC 连接分类	269
6.3	SDXC 设备类型	270
6.4	交叉连接矩阵	273
6.5	传送节点结构	276
6.6	DXC 的延时	279
6.7	恢复时间的物理限制	283
	参考文献	286
第七章	传输媒质与 SDH 线路系统	287
7.1	概述	287
7.2	传输媒质	288
7.2.1	传输媒质的种类	288
7.2.2	主要参数的定义	289
7.2.3	主要参数的规范	292
7.2.4	光纤的非线性	297
7.3	系统总体设计特性	301

7.4 再生器功能与传输开销	305
7.5 一般性能要求	309
7.5.1 再生器的定时	309
7.5.2 抖动性能要求	309
7.5.3 误码性能要求	313
7.6 运行、管理和维护	314
参考文献	317
第八章 物理层	319
8.1 概述	319
8.2 物理层分类	320
8.3 光接口参数的规范和测量	322
8.3.1 光线路码型	323
8.3.2 系统工作波长范围	324
8.3.3 发送机	328
8.3.4 光通道	339
8.3.5 接收机	346
8.4 光传输设计方法	352
8.4.1 最坏值设计法	352
8.4.2 统计法设计	357
8.4.3 系统的升级扩容	363
8.5 电接口参数的规范和测量	365
8.6 超高速光纤传输系统	370
8.6.1 系统传输距离限制	371
8.6.2 克服功率预算限制的方法——光放大器	376
8.6.3 克服色散限制的主要方法	381
8.6.4 10Gbit/s 系统的硬件技术	389
8.6.5 使用光纤放大器的系统的光接口	391
8.7 波分复用光纤传输系统	404
8.7.1 波分复用原理	404

8.7.2 波分复用器件	406
8.7.3 光源	410
8.7.4 增益平坦的光纤放大器	411
8.7.5 波分复用系统的光纤选型	413
8.7.6 波分复用系统的光接口	416
附录 8-A 不同谱宽定义的关系	425
附录 8-B 色散代价的计算曲线	427
参考文献	429
第九章 网同步	432
9.1 网同步的基本原理	432
9.1.1 同步方式	432
9.1.2 时钟类型和工作模式	435
9.2 SDH 网同步结构和方式	437
9.2.1 SDH 的引入对网同步的影响	437
9.2.2 SDH 网同步结构	438
9.2.3 SDH 网同步方式	441
9.2.4 同步网定时基准传输链	442
9.2.5 同步策略和可靠性	443
9.2.6 净负荷的抖动和漂移	446
9.2.7 SDH/PDH 的互通	449
9.2.8 分布式定时	450
9.3 时钟的定时要求	451
9.3.1 时钟参数	452
9.3.2 基准主时钟的定时要求	454
9.3.3 节点从时钟的定时要求	457
9.3.4 SDH 网元时钟的定时要求	458
9.3.5 SDH 时钟的应用	468
参考文献	473
第十章 传输损伤	474

10.1	假设参考连接	474
10.2	各类指标间的关系	477
10.3	误码特性	480
10.3.1	误码的概念和影响	480
10.3.2	误码的产生和分布	482
10.3.3	误码性能的规范	484
10.3.4	误码的积累	495
10.3.5	误码的减少	498
10.3.6	误码的测量	499
10.4	抖动特性	501
10.4.1	抖动的概念和影响	501
10.4.2	抖动的产生	502
10.4.3	抖动性能的规范	506
10.4.4	抖动的积累	513
10.4.5	抖动的减少	521
10.4.6	抖动测量	528
10.5	漂移特性	532
10.5.1	漂移的概念和影响	532
10.5.2	漂移的产生	533
10.5.3	漂移性能的规范	535
10.5.4	漂移的积累	541
10.5.5	漂移的测量	544
10.6	延时特性	545
10.6.1	延时的概念和影响	545
10.6.2	延时的产生	546
10.6.3	延时性能的规范	550
	参考文献	552
第十一章	网络管理	555
11.1	TMN 基础	555

11.1.1	TMN 的结构	556
11.1.2	TMN 的功能	571
11.2	SDH 网的一般管理能力	573
11.3	SDH 管理网	575
11.4	SDH 信息模型	580
11.5	SDH 管理功能	584
11.6	OSI 模型和 ECC 协议栈	589
11.6.1	OSI 分层模型的基本概念	589
11.6.2	ECC 协议栈描述	593
11.6.3	各层协议的规定	598
11.7	操作运行接口	601
11.8	典型网管分级	602
11.9	多厂家能力和互操作性	606
	参考文献	612
第十二章	SDH 测试	614
12.1	概述	614
12.2	传送能力测试	616
12.3	指针测试	618
12.4	嵌入开销测试	620
12.5	线路接口参数测试	622
	参考文献	623
	附录 术语	624

第一章 概 述

光同步数字传送网(SDH/SONET网)是新一代的传送网体制,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 光同步数字传送网的产生

一、PDH的弱点和SDH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接入网。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和 $N \times 45\text{Mbit/s}$,同样体制的日本的标准是1.5Mbit/s、6.3Mbit/s、32Mbit/s、100Mbit/s和400Mbit/s,而欧洲的标准则为2Mbit/s、8Mbit/s、34Mbit/s和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/电转换变换成标准电接口(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1.5Mbit/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,使得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——光同步传送网应运而生。

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。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送网技术体制。

国际电信联盟标准化部门 ITU-T(即原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,ITU-T 于 1988 年至 1998 年共完成了有关 SDH 的 31 个标准^{[1]—[31]},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、SDH 信息模型、网络结构和抖动性能、误码性能和网络保护结构等。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,体制标准随着实际应用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。SDH 正在全世界范围内进入发展高潮。

二、SONET 和 SDH 的异同

从 SONET 到 SDH,其实质内容和主要规范并没有很大变化,而且随着国际标准化工作的不断进行,两者也越来越趋于一致,因此一般统称为(光)同步数字传送网,过去则多称为光同步传输网。两者的微妙差异参见第 4 章,实用中往往不作区别,目前倾向于用光同步传送网。然而,由于历史的原因,在少数细节的规定上仍有一些差别,例如速率等级,SDH 目前只有 4 种,即 155/622/2488/9953 Mbit/s;而 SONET 有 9 种,即 52/155/466/622/933/1244/1866/2488/9953 Mbit/s,但用的最多的也是 SDH 的 4 种等级。SDH 与 SONET 两者在 STM-1 速率上尽管帧结构格式一致,但在指针安排和处理方法上略有不同。两者在净负荷类型安排上也略有差别,SDH 不支持 SONET

的 VT3,而 SONET 也不支持 SDH 的 VC-12 和 VC-3。此外,两者在少数字节的用法、规定和参数准则上不尽相同,在时钟规范上目前也不能兼容。这些差别导致两者尚不能完全互通兼容,但其基本原理和主要规范是一致的。下面以 SDH 体制为主进行讲述。

1.2 光同步数字传送网的基本概念

光同步数字传送网是由一些 SDH 网元(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、STM-16、STM-64,并具有一种块状帧结构,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;它的基本网元有终端复用器(TM)、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。

光同步数字传送网早期应用时,最重要的两个网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/光转换变换为 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