

电信高技术普及丛书

光纤通信新技术

邮电部科学技术司 主编

韦 乐 平 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书介绍了目前在光纤通信方面已经或将要投入应用的一些新技术。主要内容有:光同步传输网(SDH 网)、光纤用户网、光复用技术、光纤放大器和光孤子通信、相干光通信、光微波副载波复用等。

本书内容新颖,通俗易懂,概念清楚,逻辑性强,语言流畅,文字简练。可供从事电信工作的工程技术人员和管理人员阅读,以了解光纤通信新发展;也可使所有对高技术有兴趣的读者了解光纤通信的优越性。

电信高技术普及丛书

光纤通信新技术

◆ 主 编 邮电部科学技术司

编 著 韦乐平

责任编辑 王晓明

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京崇文区夕照寺街 14 号

北京密云春雷印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/32

印张:4.5

字数:80 千字

1992 年 11 月第 1 版

印数:16 001—20 000 册

1997 年 7 月北京第 5 次印刷

ISBN7-115-04772-3/TN · 553

定价:6.00 元

目 录

一、光纤通信的发展趋势	1
二、新一代的传输体制—SDH 网	7
1. SDH 网的特点	7
2. 统一的网络节点接口	13
3. 标准化的光接口	19
4. 传输网管理的新设备 DXC	21
5. 自愈混合环形网	23
6. SDH 网同步	25
7. SDH 网络管理	28
8. SDH 的关键技术	31
9. SDH 网中的微波	32
10. 现状与发展	33
三、迎接光纤世界—光纤用户网	36
1. 用户网的光纤化	36
2. 光纤用户网的拓扑结构	39
3. 用户网中的光电器件	44
4. 用户网中的光纤和光缆	47
5. 典型的光纤用户网	49
6. 光纤用户网向 B—ISDN 发展	53
7. ATM 在光纤用户网中的应用	54

四、带宽资源的充分利用—光复用技术	57
1. 单模光纤的带宽资源	57
2. 波分复用的特点	60
3. 波分复用器件	64
4. 系统和网络应用	68
5. 频分复用	71
6. 光时分复用	75
五、全光传输—光纤放大器与光孤子通信	78
1. 三种光放大器	78
2. 掺铒光纤放大器	81
3. 关键技术	86
4. 系统和网络应用	89
5. 光孤子通信	94
六、走向外差通信时代—相干光通信	100
1. 相干光通信的特点	101
2. 光调制方式	104
3. 关键技术	106
4. 系统和网络应用	111
七、微波与光波的结合—副载波复用	117
1. 副载波复用的特点	118
2. 调制方式	120
3. 关键技术	123
4. 系统和网络应用	127
八、结束语	135

一、光纤通信的发展趋势

1966年,英国标准电信研究所的华裔科学家高锟博士和霍克海姆(Hockham)大胆预言,只要能设法降低玻璃丝光纤中的杂质,则有可能使当时的光纤衰减水平从 1000dB/km 降低到 20dB/km ,从而有可能用于通信。也就是说,使用像头发一样细的玻璃丝有可能进行电话、数据和图像通信。这一近乎神话的预言在4年后获得证实。美国康宁公司的凯普隆(Kapron)博士及其同事采用高二氧化硅玻璃成功地拉出了世界上第一根衰减水平为 20dB/km 的光纤,从而揭开了光纤通信蓬勃发展的历史。

以光代电并不仅仅是传输手段和形式上的变化,而是电信史上的一场深刻的革命。它不仅为电信网提供了几乎无限的带宽资源,而且触发了一系列观念上的重大转变。迄今为止,尽管光纤通信已经为世界电信的面貌带来了巨大的变化,但其深刻而长远的影响恐怕还在后头。

光纤通信从原理上讲并不复杂,由光源、光纤和光检测器组成。在发端将电信号对光源进行调制,受调光波经光纤传向对端,由光检测器解调为原来的电信号。

然而要使之实用化并不简单。纵观过去的 20 年,可以将光纤通信的发展分为两个阶段:第一阶段是技术准备阶段,花费了近 10 年的时间。这一阶段的主要特点是对基本技术,例如低损光纤,常温激射的半导体激光器和系统技术进行实用化研究和现场试验。第二阶段是开花结果的阶段,也大约花费了 10 年时间。这一阶段的主要特点是使这一高科技成果迅速转化为商品和生产力,从而迅速占领了各国长途网和市话网的市场。到 1990 年为止,全世界已敷设了约 $1.6 \times 10^7 \text{ km}$ 的光纤,可以围绕地球的赤道绕 400 圈。然而,在大量实际应用中,传统的光纤通信也暴露出了一些固有的弱点,例如复用结构缺乏灵活性、光路上无法互通、难以组织统一有效的监控网和支持现代网络管理、不便于引进宽带新业务、光纤带宽资源利用率很低等等。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。唯一的出路是从体制上、从器件技术和系统技术上进行全面革新。为此本书选择了涉及系统和网络技术的 6 个新领域进行重点介绍,即光同步传输网(SDH/SONET 网)、光纤用户网、光复用技术、光纤放大器和光孤子通信、相干光通信和微波副载波复用。在详细介绍这些具体新技术之前,我们先对光纤通信发展的一般性趋势作一简要总结。回顾过去,展望未来可以看出光纤通信发展的几个明显特点:

(1) 传输速率的高速化

当光纤系统采用时分复用(TDM)方式时,每当传

传输速率提高 4 位, 传输每个比特的成本大约下降 $\frac{1}{3}$ 至 $\frac{2}{3}$, 因而高比特率系统的经济效益大致按指数规律增长, 这就是为什么在过去十几年间传输速率一直在不断地按指数规律提高的根本原因, 世界上第一个商用系统的速率为 45Mbit/s (1977 年美国芝加哥), 而目前实际商用系统的速率已高达 2.4Gbit/s, 短短十几年时间, 传输速率提高了 50 倍。光纤系统传输速率的提高比电集成电路的速率增加还要快。实验室光纤系统的传输速率甚至已达 20Gbit/s。可以相信 90 年代中期的商用系统传输速率应能达到 10Gbit/s 水平。理论上, 时分复用方式的传输速率还可以进一步提高到 20~50 Gbit/s, 但考虑实际技术经济性能后, 进一步扩容的手段可能将转向波分复用等其他方式 (参见第四部分)。

(2) 工作区的长波长化

光纤衰减谱的基本趋向是随着波长的 4 次方关系而反比例下降的。最初的光纤系统主要工作在短波长窗口, 即 850nm 附近, 此时光纤的衰减系数大致为 2.5dB/km 左右; 目前光纤系统大多工作在长波长窗口—1310nm 附近, 光纤衰减系数已降低为 0.3~0.4dB/km, 有了很大改善; 将来的光纤系统会逐渐移向长波长窗口—1550nm 附近, 光纤衰减系数可进一步降低至 0.18~0.25dB/km, 使再生段距离可长达几百公里, 例

如法国 140Mbit/s 海缆系统的无中继传输距离可达 220km,意大利 565Mbit/s 海缆系统的无中继传输距离可达 180km。如果采用氟化物玻璃光纤,则工作波长还可以继续延长至红外区($2.5\mu\text{m}$),那里的光纤衰减系数可达 0.01dB/km,无中继传输距离可长达几千公里,十分有吸引力。但遗憾的是尚未找到一种技术能制造出可实用的长光纤来,光源与接收器件也不配套,因此尚不能实用化。

(3) 联网应用的普及化

传统的 PDH 系统是用来进行点到点传输的,而实际网络调查的结果却表明,只有少量信号是真正点到点传输的,大多数信号的传输需要一次以上的转接。因此数字网迫切需要一种新的适于联网应用的传输体制,这就是同步传输网(SDH 网)体制(参见第二部分)。可以相信,随着 SDH 的引入,特别是分插复用器和数字交叉连接设备的引入,联网应用将越来越普及,网络的效益和灵活性也将随之越来越高。

(4) 系统的集成化

超大规模集成电路(VLSI)技术的迅速发展已经使得单个芯片的集成度越来越高,例如采用亚微米 CMOS 集成电路已经可以在单个芯片上集成 40 万个等效门电路,90 年代中期可望达到 100 万个的水平。这就为整个系统集成在一块芯片上创造了条件。目前在

PDH 系统中,利用 $1.5\mu\text{m}$ CMOS 技术已能将整个复用器集成在一块芯片上。在 SDH 系统中,利用亚微米 CMOS 技术已能将映射、开销处理和指针调整等十分复杂的功能(6~7 万个等效门电路)实现单片集成。

随着传输速率的越来越高,波长和元器件尺寸和连线已经可以比拟,(例如 10GHz 时,波长仅 1cm),为了避免宽带范围的匹配问题,需要采用混合集成电路(HIC)和光电集成电路(OEIC),两者的基本差别在于元件间连线的耦合阻抗不同,前者主要为感性,后者主要为金属和半导体之间连线的电阻,因此 OEIC 工作稳定,波形好,是主要发展方向。目前采用半隔离铟磷基底,用光电二极管和结型场效应管已制成 1.2Gbit/s 的芯片,面积仅 $0.6\times 0.6\text{mm}^2$,传输距离达 52.5km。实现低成本高可靠的 OEIC 已成为大规模开发光纤用户网和局域网的关键之一。

(5) 电信网的光纤化

从过去十几年的电信网发展情况看,电信网的光纤化已成为不可逆转的大趋势。以长途网为例,目前世界上最大的三个长途电信公司—美国的 AT&T 公司、美国的 MCI 公司和美国的 SPRINT 公司的光纤化程度已分别高达约 100%,88%和 100%。市话局间中继网的情况也差不多,目前最难实现光纤化的部分是用户网,特别是配线部分和引入线部分。主干电缆段的光纤化正以每年 35%左右的速率增长,基本实现光纤化已为期

不远；而配线部分和引入线部分将成为全网的“瓶颈”，这一“瓶颈”部分的解决有赖于光纤用户网技术的进展，估计 90 年代中期会有突破。届时整个电信网的光纤化将进入最后的阶段。可以预计再过 20—30 年，多数发达国家的电信网将基本完成全网光纤化的进程，电信传输将进入全光网络时代。

二、新一代的传输体制—SDH 网

迄今为止,电信网中所用的数字传输系统都属于准同步数字系列(PDH),这种系统可以很好地适应传统的点对点通信,却无法适应动态联网要求,也难以支持新业务的开发和现代网络管理。这种形势下,光同步传输网(Synchronous Digital Hierarchy,缩写为 SDH)应运而生,成为新一代的公认理想传输体制。

1. SDH 网的特点

(1) SDH 产生的历史背景

随着电信网的迅速发展和对灵活联网要求的日益提高,传统 PDH 系统正暴露出一些固有弱点:

①全世界存在三种不同的地区性数字体制标准,三者互不兼容,造成国际互通的困难。

②没有统一的标准光接口规范,导致各个厂家自行开发的专用光接口大量滋生,不同厂家的设备唯有转换成标准电接口(G. 703)才能互通,在光路上无法实现互通和调配电路,限制了联网应用的灵活性,增加了网络

运营成本。

③目前的准同步系统的复用结构多数采用异步复用,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信号一步一步地解复用到所要的低速信号等级,再一步一步地复用至高速信号,结构复杂,硬件数量大,上下业务费用高。

④传统的准同步系统的网络运行、管理和维护(OAM)靠人工的数字信号配线和停业务测试,因而复用信号帧结构中不需要安排很多管理维护比特。而今天,这种管理维护比特的缺乏已成了进一步改进网络OAM能力的主要障碍,使网络无法适应不断演变的电信网的要求,更难以支持新一代的网络。

⑤传统的准同步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。例如北美的调查结果表明大约有 77% 的 45Mbit/s 信号的传输需要一次以上的转接,仅有 23% 的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技术体制是无法提供最佳的路由选择的。

另一方面,用户和网络的要求正在不断变化,现代电信网要求能迅速地、经济地为用户提供电路和业务。以微处理器支持的智能网络单元(NE)的出现有力地促进了网络技术的发展,电信网正向着高度灵活、动态和

智能化的方向发展。这样,高速大容量光纤传输技术和高度灵活、便于管理控制的智能网络技术的有机结合便孕育产生了一种新的传输网体制—光同步传输网。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(即 SONET),其主要目的是阻止互不兼容的光终端的大量滋生,在光路上实现标准化,便于不同厂家产品在光路上互通,从而增加了网络灵活性。这种要求在北美这样开放的竞争的市场是十分必要的,然而在不少由邮电部垄断电信部门的国家似乎并不急迫,因而在国际上一开始反应比较冷淡。经过多次国际会议的协调,国际电报电话咨询委员会(CCITT)才于1988年正式接收了 SONET 概念,并重新命名为同步数字系列(即 SDH),使之成为不仅适于光纤,也适于微波和卫星传输的技术体制,而且使 SDH 在网络管理功能方面大大增强了。可见 SONET 和 SDH 基本上是一回事,只是在细节规定上略有差异,我们以后统称为光同步传输网,或 SDH/SONET 网,或简称 SDH 网。从1988年至1992年这短短几年中,CCITT 通过了有关 SDH 的 13 个建议,并计划于 1993 年再通过几个有关建议。这种工作速度是 CCITT 历史上罕见的,集中反映了各国对开发 SDH 网的巨大热情。目前,各发达国家都在加紧研制,或者进行现场试验,或者开始网络规划,或者已开始大量建设。SDH/SONET 网已成为近年来国际学术论坛和 CCITT 研究工作的热点,也成为公认

的新一代的理想传输体制。

✓(2) SDH 的基本概念

所谓 SDH/SONET 网就是由一些网络单元(例如复用器、数字交叉连接设备 DXC 等)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。其关键是:

- 具有全世界统一的网络节点接口(NNI)。

- 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。

- 其帧结构中具有丰富的用于维护管理的比特,因而具有强大的网络管理功能。

- 所有网络单元都有标准光接口,因而可以在光路上实现互通。

- 大量采用软件进行网络配置和控制。

下面以从 140Mbit/s 码流中分插一个 2Mbit/s 支路信号的任务为例比较 PDH 与 SDH 的工作过程,两者的信号流图同时显示在图 2.1 上。

由图可知,在传统准同步系统中,为了从 140 Mbit/s 中分插一个 2Mbit/s 支路信号,需要经过 140/34Mbit/s、34/8Mbit/s 和 8/2Mbit/s 三次解复用和复用过程,而采用 SDH 分插复用器(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。

(3) SDH 的技术特点

作为一种新的传输体制,其主要特点可以总结如

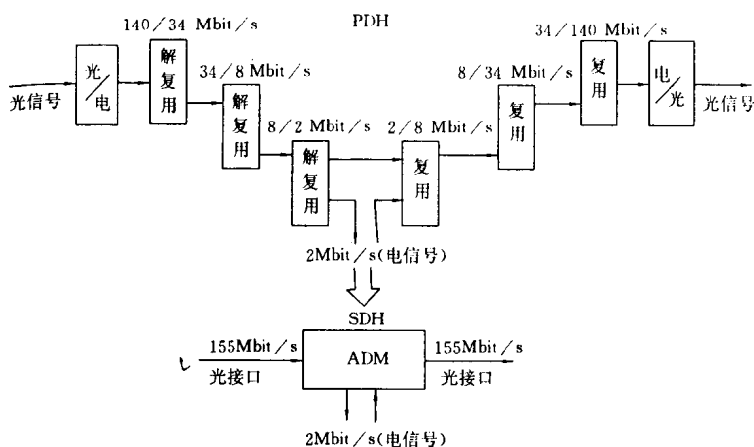


图 2.1 分插信号流图的比较

下：

①使三个地区性数字传输体制在 STM-1 等级以上获得了统一,真正实现了数字传输体制上的世界性标准。

②其复用结构使不同等级的码流在 STM 帧结构内的排列是有规律的,而净负荷是与网络同步的,因而利用软件可以从高速信号中一次分插出低速支路信号,避免了需要对全部高速信号进行解复用的作法,省去了全套背靠背复用设备,不仅使上下业务十分容易,而且使 DXC 的实现大大简化了。

③帧结构中安排的丰富维护管理比特(大约占信号 5%)使网络的维护管理能力大大加强,诸如故障检测、

区段定位、端到端性能监视和单端维护能力等都可以实现。

④由于将标准光接口综合进各种不同的网络单元,减少了将传输和复用分开的需要,简化了硬件。同时,光接口成为开放型接口,在光路上实现横向兼容,即使得不同厂家产品在光路上可以互通,可以使网络成本节约10%到20%。

⑤SDH 信号结构的设计已经考虑了网络传输和交换应用的最佳化,因而在电信网的各个部分(长途、市话和用户网)中都能提供简单的、经济的和灵活的信号互连和管理,使得传统电信网的各个部分的差别正在渐渐消失,彼此的直接互连变得十分简单和有效,从而有可能出现一个单一的 SDH/SONET 基本网络设施,并最终使电信网工作于多厂家产品环境。

⑥SDH/SONET 网与现有 PDH 网能完全兼容,同时还能容纳各种新的业务信号,例如局域网中的光纤分布式数据接口(FDDI)信号,城域网中的分布排队双总线(DQDB)信号,以及宽带 ISDN 中的异步传递模式(ATM)信元。简言之,SDH/SONET 网具有完全的后向兼容性和前向兼容性。

当然,作为一种新的技术体制,不可能尽善尽美也必然有先天的不足之处,例如:

①频带利用率不如传统的 PDH 系统。以 34Mbit/s 为例,PDH 的 140Mbit/s 可以收容 4 个 34Mbit/s,而

SDH 的 155Mbit/s 仅能收容 3 个, 频带利用率从 99% 下降到 66%。

②SDH 采用了所谓的指针调整技术, 增加了设备复杂性, 以 2Mbit/s 支路为例共需 6~7 万个等效门电路, 必须采用先进的亚微米 CMOS 超大规模集成电路。

③由于指针调整会产生很大的相位跃变, 使得 SDH/PDH 边界的抖动性能较难满足网络性能要求, 需采取特殊措施才行(例如自适应的比特泄漏技术等)。

④由于大规模采用软件控制和将业务量集中在少数几个高速链路和交叉连接点上, 使得软件几乎可以控制网络中所有的设备。这样, 网络层上的人为错误、软件故障、乃至计算机病毒的侵入可能导致网络的重大故障, 甚至造成全网瘫痪。为此需要对软件进行严格的测试并选用高可靠性的网络拓扑。

综上所述, SDH 网尽管有其不足之处, 但毕竟比传统的 PDH 网有明显的优越性。毫无疑问, 它必将最终代替 PDH 传输体制, 并为 B-ISDN 的发展铺平道路。

2. 统一的网络节点接口

建立一个统一的网络节点接口是实现 SDH 网的关键, 而定义一套必须共同遵守的速率和数据格式是首要任务。

(1) 网络节点接口

从宏观上看, 传输网是由两种基本设备构成的, 即