

同步数字系列(SDH) 原理与应用

刘安青 编著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书面向广大工程技术人员,结合实际,从实用的角度简明而又全面地介绍 SDH 的产生、特点和 SDH 的速率等级、帧结构、映射,以及 SDH 网络的结构、业务保护、同步、管理等方面的基本原理与概念;结合实际设备,详细介绍了典型的 ADM、TM、REG 及其管理设备的组成、原理和操作维护;同时对 SDH 系统性能指标、测试方法和测试仪表进行了说明。

本书可作为中等专业学校及电信部门职工培训教材,也可供广大工程技术人员和管理人员参考。

同步数字系列(SDH)原理与应用

◆ 编 著 刘安青

责任编辑 滑 玉

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京崇文区夕照寺街 14 号

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/32

印张:9.375

字数:214 千字

1997 年 12 月第 1 版

印数:1-4 000 册

1997 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-06650-7/TN·1244

定价:12.00 元

编 者 的 话

SDH 技术作为一种新的传输体制,虽然从国际标准的提出到今天还不到十年的时间,但其发展和应用速度十分惊人,应用领域也在不断拓展。由于 SDH 技术应用时间较短,势头又猛,这方面的书籍,尤其是面向广大工程技术人员的书籍十分缺乏。编者根据自己的教学和工程实践,在原有教学讲义的基础上编写了本书。全书力求简明实用,避免枯燥的理论分析和推导,尽量做到理论与工程实践相结合。

全书共分八章,第一章简要介绍了 SDH 产生的技术背景、特点和技术现状。第二章至第六章详细介绍了 SDH 速率等级、帧结构、映射、网络结构、自愈环、业务保护、网络同步、网络管理及技术指标等方面的基本原理和概念。第七章以我国目前最长的一条东西向干线:上海——武汉——重庆系统所采用的设备和全国 32 套培训设备为典型设备,系统地介绍了 SMA 系列,ADM、SL 系列 TM 和 REG 及其配套的管理设备 LT、OT 和 E-MOS 的特点、组成、原理、应用和操作与维护。第八章介绍了系统的测试内容、方法和典型测试仪表。

由于 SDH 尚是一门正在迅速发展和不断完善的技术,设备的技术升级,尤其是软件升级十分频繁,对于与本书介绍的不同版本的软件和硬件,读者可参阅相应的技术手册。目前我国开发 SDH 设备的厂家和型号繁多,但各种设备基本上大同小异,本书不一一介绍了。

目 录

第一章 概述	1
第一节 SDH 的产生	1
第二节 SDH 优点	4
第三节 SDH 技术的发展	7
第二章 SDH 复接	10
第一节 SDH 速率等级及帧结构	10
第二节 同步复接结构	18
第三节 139264kbit/s 信号复用进 STM- N	22
第四节 34368kbit/s 信号复用进 STM- N	34
第五节 2048kbit/s 信号复用进 STM- N	41
第三章 SDH 网络	55
第一节 SDH 网络结构	55
第二节 自愈环	62
第三节 SDH 网络恢复	71
第四节 SDH 网络规划	78
第四章 SDH 网络同步	84
第一节 概述	84
第二节 SDH 网同步结构与方式	90
第三节 同步时钟的定时要求	98
第五章 SDH 网络管理	102
第一节 网络管理概述.....	102
第二节 SDH 管理网络结构	109

第三节	典型的 SDH 管理系统	112
第六章	SDH 系统技术指标	117
第一节	SDH 网络性能指标	117
第二节	SDH 电接口指标	129
第三节	SDH 光接口指标	133
第七章	SDH 设备	145
第一节	概述	145
第二节	SMA 系列 ADM 设备	152
第三节	SL 系列线路设备	173
第四节	本地终端的操作	193
第五节	SL-16 的管理操作	210
第六节	EMOS 操作	239
第八章	SDH 测试	262
第一节	概述	262
第二节	SDH 测试方法	265
第三节	SDH 测试仪表	282
附录	英文缩写对照表	289

第一章 概 述

同步数字系列 SDH 技术是在传统的数字通信基础上发展起来的一种新的传输技术体制。本章介绍其产生的技术背景,优点及发展情况。

第一节 SDH 的产生

近十几年来,数字通信技术得到了迅速地发展,特别是大带宽、低成本、高质量的光纤通信技术的成熟为数字传输插上了翅膀,数字通信被广泛地用于长途传输、市话传输及用户网(接入网)等许多场合,光纤通信成了电信网的主要传输手段。然而,随着数字通信的普及以及用户要求的提高,目前所采用的点到点传输的准同步数字序列(PDH)技术体制的弱点也就逐渐地暴露了出来。PDH 的不足主要表现在以下几个方面:

(1) 没有全球统一的速率标准,给国际电信网的互联带来了困难。由于历史的原因,PDH 存在如下三个速率等级:

欧洲速率等级: 2Mbit/s — 8Mbit/s — 34Mbit/s — 140Mbit/s 。

日本速率等级: 1.5Mbit/s — 6.3Mbit/s — 32Mbit/s — 100Mbit/s 。

北美速率等级：1.5Mbit/s—6.3Mbit/s—45Mbit/s—274Mbit/s。

我国采用欧洲速率等级。

(2) 没有标准光接口。由于 CCITT 在对 PDH 进行规范时，仅建立了电接口标准，未制定光接口标准，致使各个厂家的设备都有一套自己的光接口，甚至同一厂家的同一速率等级的设备也有一种以上的光接口。大量光接口的产生使得 PDH 在光接口上无法实现不同厂家设备的横向兼容，只有进行光/电转换以后在电接口上进行互联，限制了设备选择的灵活性，也增加了网络的复杂性和运营成本。

(3) 准同步复接，上下电路不太方便。由于 PDH 采用的高次群复接方式为准同步方式，每进行一次复接均要进行一次码速调整，加入一个新的帧头。按该方式复接起来的信号是不透明的，也就是不能直接在高速信号中将支路信号分出或插入，要从高速率信号中上下话路需将所有高速分号进行分接，如图 1.1.1 所示：

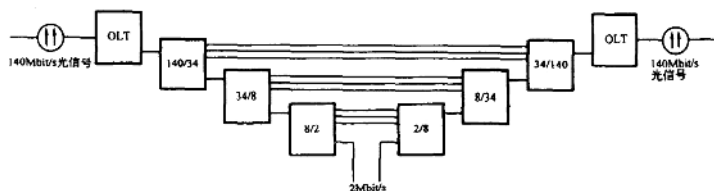


图 1.1.1 PDH 上下话路

(4) 网络结构缺乏灵活性。PDH 是建立在点到点传输基础之上的，网络结构比较单一，难以实现交叉连接以及在业务保护时路由的优化选择。

(5) 辅助比特缺乏，限制了网络维护与管理(OAM)功能的

改进与完善。由于 PDH 网的运行管理与维护主要是人工实现的,如中断业务测试、人工电路调度等,因此,在 PDH 的帧结构中不需要许多用于 OAM 的辅助比特。随着电信网的不断演变,PDH 已很难满足网络现代化对 OAM 的需要。

此外,随着通信技术的发展和用户需求的增加,新业务不断出现,PDH 也无法满足新技术对传输的需要,如在目前的 PDH 信号中就难以对 ATM 信元进行直接传输。

为了适应技术发展对传输的要求,弥补 PDH 的不足,美国贝尔通信研究所(Bellcore)于 1984 年提出了一种取代北美现行传输体制的新的技术体制,当时被称作同步传输(SYNTRAN),后来又扩展到日本和欧洲的各 PDH 信号,更名为同步光网络(SONET)。它由一套标准的数字传送结构组成,适于各种经适配处理的净负荷在物理媒介中传输。1988 年,美国国家标准化协会(ANSI)采用了 SONT 技术并通过了相关标准。

国际电信联盟电信标准化部(ITU-T)即原国际电报电话咨询委员会于 1988 年接受了 SONET 的概念,并重新将其命名为同步数字序列(SDH),使之成为同时适于光纤、微波和卫星等多种媒介传输的一种技术体制。为了建立全球性的标准,ITU-T 在设备功能和性能、光接口,管理控制及协议和信令等方面作了一些重要的修改和扩展,并于 1988 年至 1995 年期间通过了 16 个有关 SDH 的标准建议,其内容涉及比特率、网络节点接口、复用结构、帧结构、复用设备、网络管理、线路系统及光接口、SDH 信息模型、传送网结构、抖动性能、误码性能等。尽管有关建议还在补充完善之中,但到目前为止,有关 SDH 各方面的标准已相对完善,SDH 技术应用的时机已相对成熟。

第二节 SDH 优点

SDH 是一种新的传输体制,SDH 网络是由一些 SDH 网元 (NE)组成,在光纤、微波上进行同步信息传输、复用、分插和交叉连接的网络。它具有全球统一的网络节点接口 (NNI),从而简化了信号互通及传输、复用、交叉连接过程。它有一套标准的信息结构等级,被称作同步传送模块 (STM- N),STM- N 具有块状帧结构,允许安排丰富的辅助比特—开销 (OH,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。SDH 的基本网元有终端复用器 (TM)、再生中继器 (REG)、分插复用器 (ADM)和同步交叉连接器 (DXC 或 SDXC)等。这些网元功能各异、但都具有标准的光接口,能够在光缆段上实现横向兼容。SDH 技术有一套特殊的复用结构,允许 PDH、ATM 信号进入其帧结构,具有较强的适应性。

在 SDH 中,设备之间的时钟保持高质量的同步,而且采用按字节复接代替 PDH 中的按比特复接。在复接时,不仅信息净荷由复接产生,帧定位等辅助信息也由复接产生,不需另外产生一个新的帧头。这样复接起来的信号具有高度的透明性,即每一支路信号在群路信号中都有一个明确的位置,可以方便地分出和插入。此外,SDH 还具有一系列优点,主要表现在以下方面:

(1) 灵活的上下电路技术。由于 SDH 采用了同步复接方式和灵活的复用结构,各不同级别的信号在 STM- N 帧结构中都是透明的,可以直接从高速率信号中分出或插入,如图 1.2.1 所示。从而避免了 PDH 网络中的大量背靠背设备,网络结构得以简化。ADM 还可以方便地组成自愈环,提高了网络的生存能

力,增强了运营者在竞争中的地位。

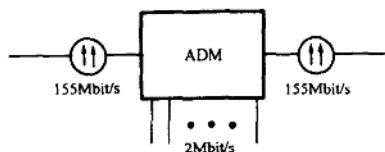


图 1.2.1 SDH 上下电路

(2) 交叉连接功能。SDH 设备利用同步复接的优势还可以方便地完成交叉连接功能。所谓交叉连接就是直接完成多个高速率信号或高速信号中部分或全部支路信号之间的互联,无需对信号进行分接。利用该功能可以在一个 DXC 中完成多条光缆方向上全部电路在不同速率等级上的互联,省去了 PDH 中大量分/复接设备、数字配线架(DDF)及复杂的同轴跳线,使数字传输中心局的设备得以大大的简化。由于 DXC 是在软件控制下实现的智能化、半永久连接,既省去了用于转接的光、电设备及 DDF,又可以在通信网络出现故障时,在极短时间内迅速进行电路调度以完成业务的有效保护。SDH 的交叉连接如图 1.2.2 所示。

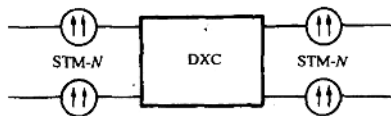


图 1.2.2 SDH 交叉连接

(3) 标准化。从 1988 年以来,ITU-T 已制定了一系列的建议,其内容涉及 SDH 的各方面,足以支持 SDH 成为一个全球统一的系统,使得在同一数字段内混合使用不同厂家的设备成为

可能,为电信网的组织、系统可靠性的提高及成本的降低创造了条件。

(4) 完善的网管系统。在 PDH 中由于开销比特极少,几乎不能提供网络状态信息;而 SDH 的矩形帧结构中安排了丰富的开销比特,可以用来传输大量的网管信息,使得网络的操作管理与维护能力大大加强。对于智能化的 DXC 和 ADM 在开销所传送的管理信息控制下,可以实现网络的自动迂回和保护倒换,使网络成为具有高度可靠性的“自愈”网。此外,标准化的网络管理系统信息模型及其接口,也使得运营者可以方便地建立起一个全省乃至全国的管理网,使电信网的管理水平大大提高。

(5) 完全的兼容能力。SDH 作为一种新技术,它具有完全的前向和后向兼容能力。一方面 SDH 允许 1.5Mbit/s 和 2Mbit/s 两种体制下的 PDH 支路信号灵活接入,并在 155Mbit/s 等级上实现了统一;同时 155Mbit/s 和 622Mbit/s 信号又和异步转移模式(ATM)的用户环路信元的速率相一致,其具有宽带业务的支撑能力,满足电信网向宽带综合业务数字网(B-ISDN)方向发展对传输的要求。

(6) 大量的利用软件技术。在 PDH 中,软件所占的比重不足 5%,而在 SDH 中,软件所占的比重上升到了 40%以上。大量的使用软件使设备升级,增加业务与功能都变得十分容易,避免了大量硬件淘汰与改造所带来的浪费。

尽管 SDH 具有诸优点,但也存在着一些不足。其一就是为了实现 1.5Mbit/s 和 2Mbit/s 两大系列的统一,使 SDH 的频带利用率有所下降,如在一个 155Mbit/s 的 SDH 信号中,可以收容 PDH 的容量为一个 140Mbit/s、或 3 个 34Mbit/s、或 63 个 2Mbit/s,也就是说网络的灵活性是以牺牲频带利用率为代价的。其二,在 SDH 中采用指针调整技术来完成不同 SDH 网络之

间的同步,指针调整使电路的复杂性增加,同时字节调整所带来的输出信号抖动也大于 PDH。其三,大量的集中化软件控制,使人为操作失误、软件故障,乃至计算机病毒都可能导致网络的重大故障,甚至造成全网瘫痪。

第三节 SDH 技术的发展

自 1988 年 ITU-T 正式命名 SDH 并制定相关建议以来,SDH 技术得到了飞速发展,各大厂商的设备相继问世,SDH 技术的应用已进入高潮。

SDH 是一项先有标准,后开发设备的一种具有高度标准化的传输技术,因而,标准化工作对 SDH 设备的开发与技术应用显得十分重要。ITU-T 十分重视 SDH 的标准化工作,已制定了一套基本成熟的系列化建议用来指导设备的研制和网络建设。除了已有的 16 个建议外,将在近期讨论的建议还有关于 SDH 时钟的 G. 81S 建议、关于环形网互通的 G. SHR-2 建议、关于 SDH 信息模型的 G. 774 系列建议等。总的来说,到目前为止 SDH 体制的标准已相对完善,但也还有些方面有待于进一步规范,其主要表现在以下方面:SDH 抖动和漂动的指标和测试方法、SDH 时钟指标和测试方法、自愈环的互通、SDH 网络层信息模型、光纤放大器的光接口以及 10Gbit/s 系统等。

SDH 标准出现以后,世界上各大电信设备制造厂商无不投入巨资进行 SDH 设备的研究与开发,以期抢先占领市场。目前大约有 20 家左右的公司声称可以提供 SDH 设备,但其中只有几个厂家可以提供全系列的产品,其余的多数厂家以生产复用设备和线路设备为主。目前市场上的设备已基本符合要求,可以

正常地工作,但也存在各种各样的缺陷需要改进。要获得比较完满地满足 ITU-T 最新标准的设备尚待一些时间,而要满足多厂家产品环境下的横向兼容,则需要更长的时间。而且,大多数厂家提供的 2.4Gbit/s 的 ADM 设备都是在原有的 622Mbit/s 设备基础上通过对线路板的改造而得的,其交叉矩阵的容量、上下电路数量都有一定的限制。

欧美发达国家在 90 年代初就开始使用 SDH 设备装备电信网,到 1995 年止,日本已完成总投资 22 亿美元,遍及全国的 SONET 网络;美国 Sprint 公司也建设覆盖大半个美国的 2.4Gbit/s 网络。MCI 完成了 10Gbit/s 系统的现场试验、AT&T 公司正计划在长途网中大规模采用同步交叉连接器;西欧诸国的 SDH 网也均在建设之中。

我国从 80 年代后期进行 SDH 技术的跟踪研究,作为 863 计划的 155Mbit/s 和 622Mbit/s 的 SDH 分插复用器分别于 1994 年和 1995 年完成了科研样机和生产样机的鉴定。这两种速率的设备及网管系统已经在成都—西昌—攀枝花 715km 示范工程上投入使用。1996 年,2.4Gbit/s 的 SDH 终端复用器科研样机也通过了鉴定,使我国在 SDH 设备开发方面达到国外九十年代初的水平,跻身世界上少数能生产 SDH 成套设备的国家行列。

1994 年我国开始率先在宁—汉光缆干线上引入了以色列 ECI 公司的 622Mbit/s 的 SDH 设备,通过该工程取得了经验,熟悉了技术、锻炼了队伍。1995 年起,在全国干线中开始大规模采用 SDH 技术。与此同时,多数省、市、自治区也签订了 SDH 设备供货合同,我国已成为少数几个大规模建设 SDH 网络的国家。

思考题

1. 与 PDH 相比 SDH 有哪些优点?
2. SDH 技术应用的现状如何?

第二章 SDH 复接

本章介绍 SDH 的速率等级、帧结构及 PDH 信号映射入 STM-N 中的方法。

为了保证全球范围内对 PDH 信号的兼容及映射的灵活性,ITU-T 提供了一个复杂的 SDH 复接结构,各国可根据自己的具体情况进行选用。邮电部根据我国情况,在《光同步传输技术体制》中对 ITU-T 的复接结构进行了简化,删除了部分不适用于我国使用的 PDH 支路,并将复接路径唯一化。本章仅对我国复接结构中各信号的映射、复接与定位进行了介绍,我国未采用的复接路径、ATM 信元映射等在本章内均未介绍。

第一节 SDH 速率等级及帧结构

在 SDH 中,最基本的模块信息被称作同步传送模块——STM。其第一级即为 STM-1,它由信息净荷、段开销(SOH)和管理单元指针(AU PTR)组成,每帧的传输周期为 $125\mu\text{s}$,速率为 155.52Mbit/s 。扰码后的 STM-1 信号经过电/光转换就可以得到光线路接口的 STM-1 信号。

将 4 个 STM-1 信号同步按字节复接起来就得到了 STM-4,将 4 个 STM-4 或 16 个 STM-1 同步按字节复接起来就得到

了 STM-16。由于 STM- N 复接时信息净荷和帧定位等辅助信息均由复接产生,不另外增加帧头和其他辅助信息,因此,STM-4 和 STM-16 的速率分别为 STM-1 的 4 倍和 16 倍。即:

STM-1 :155.52Mbit/s

STM-4 :622.08Mbit/s

STM-16 :2488.32Mbit/s

包含 64 个 STM-1 的更高速率的 STM-64 (9953.28 Mbit/s)的标准也正在研究之中。

一、SDH 帧结构

SDH 的帧结构是一种矩形结构,在媒介中由左向右、由上向下串行向前传输,如图 2.1.1 所示。

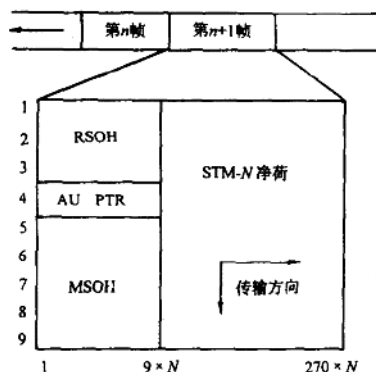


图 2.1.1 STM-N 帧结构

一个 STM- N 帧共有 9 行、每行 $270 \times N$ 字节,每帧的周期均为 $125\mu\text{s}$,即每秒钟传送 8000 帧。在 STM- N 帧中,大致可分为三种不同的功能区:

(1) 信息净荷。信息净荷就是所要传输的信息。常见的信息净荷由 PDH 支路信号加上部分用于通道监视、管理和控制的通道开销(POH)组成。通常 POH 被作为净荷的一部分并与其一起传输,直到该净荷被分接。

(2) 段开销(SOH)。段开销是在 STM- N 帧结构中安排的一些辅助信息,其是保证信息的灵活有效传输所必需的,主要用于进行网络运行的操作维护与管理。段开销包括再生段开销(RSOH)和复用段开销(MSOH)。

(3) 管理单元指针(Au PTR)。管理单元指针用来指示净荷中信息的起始字节的位置,以便在接收端可以灵活、准确地进行分接。同时通过指针调整,也可以使采用不同时钟的 SDH 网络之间的互联得以实现,消除时钟频率偏差的影响。

二、SOH 功能

在 SDH 帧结构及数据中安排有两大类不同的开销,即 STM- N 中的段开销(SOH)和滤容器(VC)中的通道开销,分别用于段和通道的操作维护和管理,有关通道开销的内容将在以后介绍。

SOH 包含有帧定位信息、用于维护和性能监视的信息及其他相关操作功能。SOH 又分为二类:

(1) 终结于再生器和复用器的再生段开销(RSOH),其可以由再生器接入,也可以由终端设备接入。

(2) 透明地经过再生器,终接于终端设备的复用段开销(MSOH),其只能由终端设备接入。

SDH 的 SOH 占据了 STM- N 帧结构中的前 1 至 $9 \times N$ 列,如图 2.1.2 所示:

在 SOH 中,第一行的 $9 \times N$ 个字节为未扰码字节,“*”字