

3.1 数字传输系统

在数字传输系统中,有两种数字传输系列:一种叫“准同步数字系列”(Plesiochronous Digital Hierarchy,简称PDH),另一种叫“同步数字系列”(Synchronous Digital Hierarchy,简称SDH)。

在数字通信系统中,传送的信号都是数字化的脉冲序列。这些数字信号流在数字交换设备之间传输时,其速率必须完全保持一致,才能保证信息传送的准确无误,这就叫作“同步”。

采用准同步数字系列(PDH)的系统,是在数字通信网的每个节点上都分别设置高精度的时钟,这些时钟的信号都具有统一的标准速率。尽管每个时钟的精度都很高,但总还是有一些微小的差别。为了保证通信的质量,要求这些时钟的差别不能超过规定的范围。因此,这种同步方式严格来说不是真正的同步,所以叫作“准同步”。

3.1.1 SDH 简介

SDH 出现以前,沿用的数字传输设备均属准同步数字系列。这种系列对传统的点到点通信有较好的适应性。而随着数字通信的迅速发展,点到点的直接传输越来越少,而大部分数字传输都要经过转接,要求传送的信息不仅是话音,还有文字、数据、图像和视频等,因而 PDH 系列便不能适合现代电信业务开发的需要以及现代化电信网管理的需要。随着数字通信和计算机技术的发展,在 20 世纪 70 ~ 80 年代陆续出现了 T1(DS1)/E1 载波系统(1.544/2.048Mbps)、X.25 帧中继、ISDN(综合业务数字网)和 FDDI(光纤分布式数据接口)等多种网络技术。人们希望现代信息传输网络能快速、经济、有效地提供各种电路和业务,而上述网络技术由于其业务的单调性、扩展的复杂性、带宽的局限性,仅在原有框架内修改或完善已无济于事。SDH 就是适应这种新的需要而出现的传输体系。

同步数字系列是一种将复接、线路传输及交换功能融为一体、并由统一网管系统操作的综合信息传送网络。最早提出 SDH 概念的是美国贝尔通信研究所,称为光同步网络(SONET)。它是高速、大容量光纤传输技术和高度灵活、又便于管理控制的智能网技术的有机结合。最初的目的是在光路上实现标准化,便于不同厂家的产品能在光路上互通,从

而提高网络的灵活性。国际电话电报咨询委员会(CCITT)(现ITU-T)于1988年接受了SONET概念并重新命名为SDH,这使其成为不仅适用于光纤也适用于微波和卫星传输的通用技术体制。它可实现网络有效管理、实时业务监控、动态网络维护、不同厂商设备间的互通等多项功能,能大大提高网络资源利用率、降低管理及维护费用、实现灵活可靠和高效的网络运行与维护。

在各种宽带光纤接入网技术中,采用SDH技术的接入网系统是应用最普遍的。SDH的诞生解决了由于入户媒质的带宽限制而跟不上骨干网和用户业务需求的发展,而产生了用户与核心网之间的接入“瓶颈”的问题,同时提高了传输网上大量带宽的利用率。SDH技术自从20世纪90年代引入以来,至今已经是一种成熟、标准的技术,在骨干网中被广泛采用,且价格越来越低,在接入网中应用可以将SDH技术在核心网中的巨大带宽优势和技术优势带入接入网领域,充分利用SDH同步复用、标准化的光接口、强大的网管能力、灵活的网络拓扑能力和高可靠性带来好处,在接入网的建设发展中长期受益。SDH技术与一些先进技术相结合,如光波分复用(WDM)、ATM技术、Internet技术(IP over SDH)等,使SDH网络的作用越来越大。SDH已被各国列入21世纪高速通信网的应用项目,是电信界公认的数字传输网的发展方向,具有远大的商用前景。

3.1.2 SDH的特点

SDH是数字传输体制上继PDH之后的一次划时代的飞跃。SDH作为新一代理想的传输体系,具有路由自动选择能力,上下电路方便,维护、控制、管理功能强,标准统一,便于传输更高速率的业务等优点,能很好地适应通信网飞速发展的需要。迄今,SDH得到了空前的应用与发展。在标准化方面,已建立和即将建立的一系列建议已基本上覆盖了SDH的方方面面。在干线网和长途网、中继网、接入网中它开始广泛应用。且在光纤通信、微波通信、卫星通信中也积极开展研究与应用。SDH之所以能够快速发展与它自身的特点是分不开的,其具体特点如下。

(1) SDH传输系统在国际上有统一的帧结构,数字传输标准速率和标准的光路接口,使网管系统互通,因此有很好的横向兼容性,它能与现有的PDH完全兼容,并容纳各种新的业务信号,形成了全球统一的数字传输体制标准,提高了网络的可靠性。SDH体制有标准的信息结构等级,即标准的速率等级。基本的信号传输结构等级是同步传输模块——STM-1,相应的速率是155Mbit/s。高等级的数字信号系列例如:622Mbit/s(STM-4)、2.5Gbit/s(STM-16)等,是通过将低速率等级的信息模块(例如STM-1)通过字节间插同步复接而成,复接的个数是4的倍数,例如:STM-4=4×STM-1,STM-16=4×STM-4。

(2) SDH接入系统的不同等级的码流在帧结构净负荷区内的排列非常有规律,而净负荷与网络是同步的,它利用软件能将高速信号一次直接分插出低速支路信号,实现了一次复用的特性,克服了PDH准同步复用方式对全部高速信号进行逐级分解然后再生复用的过程,由于大大简化了DXC,减少了背靠背的接口复用设备,改善了网络的业务传送透明性。

(3) 由于采用了较先进的分插复用器(ADM)、数字交叉连接(DXC)、网络的自愈功能和重组功能就显得非常强大,具有较强的生存率。SDH信号的帧结构中安排了丰富的用

于运行维护(OAM)功能的开销字节,使网络的监控功能大大加强,即维护的自动化程度大大加强。PDH的信号中开销字节不多,以至于在对线路进行性能监控时,还要通过在线路编码时加入冗余比特来完成。以PCM30/32信号为例,其帧结构中仅有TS0时隙和TS16时隙中的比特是用于OAM功能。SDH信号丰富的开销占用整个帧所有比特的1/20,大大加强了OAM功能。这样就使系统的维护费用大大降低,而在通信设备的综合成本中,维护费用占相当大的一部分,于是SDH系统的综合成本要比PDH系统的综合成本低,据估算仅为PDH系统的65.8%。

(4) 由于SDH有多种网络拓扑结构,它所组成的网络非常灵活,它能增强网监,运行管理和自动配置功能,优化了网络性能,同时也使网络运行灵活、安全、可靠,使网络的功能非常齐全和多样化。

(5) SDH有传输和交换的性能,它的系列设备的构成能通过功能块的自由组合,实现了不同层次和各种拓扑结构的网络,十分灵活。

(6) SDH并不专属于某种传输介质,它可用于双绞线、同轴电缆,但SDH用于传输高数据率则需用光纤。这一特点表明,SDH既适合用作干线通道,也可用作支线通道。例如,我国的国家与省级有线电视干线网就是采用SDH,而且它也便于与光纤电缆混合网(HFC)相兼容。

(7) 从OSI模型的观点来看,SDH属于其最底层的物理层,并未对其高层有严格的限制,便于在SDH上采用各种网络技术,支持ATM或IP传输。

(8) SDH是严格同步的,从而保证了整个网络稳定可靠,误码少,且便于复用和调整。

(9) SDH有很强的兼容性,当组建SDH传输网时,原有的PDH传输网不会作废,两种传输网可以共同存在。异步转移模式的信号(ATM)、FDDI信号等其他体制的信号也可用SDH网来传输。标准的开放型光接口可以在基本光缆段上实现横向兼容,降低了联网成本。

由于以上所述的SDH的众多特性,使其在广域网领域和专用网领域得到了巨大的发展。电信、联通、广电等电信运营商都已经大规模建设了基于SDH的骨干光传输网络。利用大容量的SDH环路承载IP业务、ATM业务或直接以租用电路的方式出租给企、事业单位。而一些大型的专用网络也采用了SDH技术,架设系统内部的SDH光环路,以承载各种业务。比如电力系统,就利用SDH环路承载内部的数据、远控、视频、语音等业务。而对于组网更加迫切而又没有可能架设专用SDH环路的单位,很多都采用了租用电信运营商电路的方式。由于SDH基于物理层的特点,单位可在租用电路上承载各种业务而不受传输的限制。承载方式有很多种,可以是利用基于TDM技术的综合复用设备实现多业务的复用,也可以利用基于IP的设备实现多业务的分组交换。SDH技术可真正实现租用电路的带宽保证,安全性方面也优于VPN等方式。在政府机关和对安全性非常注重的企业,SDH租用线路得到了广泛的应用。一般来说,SDH可提供E1、E3、STM-1或STM-4等接口,完全可以满足各种带宽要求。同时在价格方面,也已经为大部分单位所接受。SDH以其明显的优越性已成为传输网发展的主流。

3.2 SDH 的帧结构和复用

帧结构及相应的信息格式是 SDH 的核心,它的结构会直接影响到传送业务的灵活性、对外兼容性和适应性。各种业务信号复用进 STM - N 的过程都要经历映射、定位和复用三个步骤。

映射:是一种在 SDH 边界处使支路信号适配进虚容器的过程。即各种速率的 G.703 信号先分别经过码速调整装入相应的标准容器,之后再加进低阶或高阶通道开销形成虚容器。

定位:是一种将帧偏移信息收进支路单元或管理单元的过程。低阶虚容器对应支路单元,高阶虚容器对应管理单元。

复用:是一种使多个低阶通道层的信号适配进高阶通道层,或者把多个高阶通道层信号适配进复用层的过程,即以字节交错间插方式把 TU 组织进高阶 VC,或者把 AU 组织进 STM - N 的过程,也称同步复用。

SDH 帧结构中安排有两大类开销:段开销(SOH)和通道开销(POH),它们分别用于段层和通道层的维护。

3.2.1 STM-N的帧结构

SDH 以字节(8bit)为单位进行传输,它的帧结构是一种以字节结构为基础的矩形块状帧结构。SDH 的矩形帧在光纤上传输时是逐行传输的,在光发送端经并/串转换后逐行进行传输,而在光接收端经串/并转换后还原成矩形块状进行处理。SDH 信号的速率等级表示为 STM - N,其中 N 是正整数。目前 SDH 只能支持一定的 N 值,即 N 只能为 1, 4, 16 和 64,其中最基本、也是最重要的模块信号是 STM - 1,其速率是 155.520Mbit/s,更高等级的 STM - N 信号是将基本模块信号 STM - 1 经过字节间插后得出。

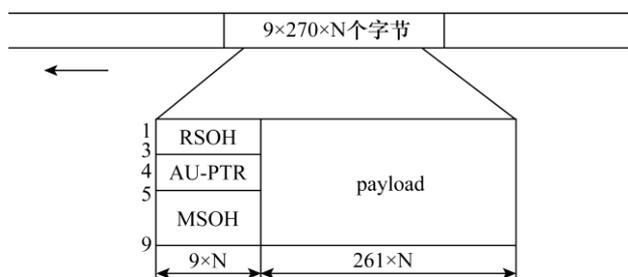


图 3-1 STM - N 帧结构图

STM - N 信号帧结构的安排应尽可能使支路低速信号在一帧内均匀、有规律地分布,以便于从高速信号中直接上/下低速支路信号。因此,ITU - T 规定了 STM - N 的帧是以字节为单位的矩形块状结构,如图 3 - 1 所示。STM - N 的信号是 9 行 \times 270 \times N 列的帧结构。此处的 N 与 STM - N 的 N 相一致,取值范围: 1, 4, 16, 64……表示此信号由 N 个 STM - 1 信号通过字节间插复用而成。由此可知,STM - 1 信号的帧结构是 9 行 \times 270 列的块状帧。

并且,当 N 个STM-1信号通过字节间插复用成STM-N信号时,仅仅是将STM-1信号的列按字节间插复用,行数恒定为9行不变。

STM-N信号的传输也遵循按比特的传输方式,SDH信号帧传输的原则是:按帧结构的顺序从左到右,从上到下逐个字节,并且逐个比特地传输,传完一行再传下一行,传完一帧再传下一帧。ITU-T规定对于任何级别的STM-N帧,信号帧的重复频率都是8000帧/秒,也就是帧的周期为恒定的 $125\mu\text{s}$,帧中每个字节提供的通道速率是 64Kbit/s 。由于帧周期的恒定使STM-N信号的速率有其规律性,例如STM-4的传输数速恒定的等于STM-1信号传输数速的4倍,STM-16恒定等于STM-1的16倍。而PDH中的E2信号速率 \neq E1信号速率的4倍。

STM-N的帧结构由3部分组成:段开销(SOH),包括再生段开销(RSOH)和复用段开销(MSOH);管理单元指针(AU-Ptr);信息净负荷(payload)。

信息净负荷(payload)区域是SDH帧结构中用于存放各种业务信息的地方。横向 $(10\sim 270)\times N$ 列,纵向 $(1\sim 9)$ 行都属于信息净负荷区域,净荷区域包含业务和通道开销POH,POH主要作用就是对低速业务进行监控。

段开销(SOH)是指STM-N帧结构中为了保证信息净负荷正常灵活传送所必需的附加字节,主要用于网络的运行、管理和维护(OAM)字节。段开销又分为再生段开销(RSOH)和复用段开销(MSOH),可分别对相应的段层进行监控,二者的区别在于监管的范围不同。若光纤上传输的是2.5G信号,那么,RSOH监控的是STM-16整体的传输性能,而MSOH则是监控STM-16信号中每一个STM-1的性能情况。再生段开销在STM-N帧中的位置是第一到第三行的第一到第 $9\times N$ 列,共 $3\times 9\times N$ 个字节;复用段开销在STM-N帧中的位置是第5到第9行的第一到第 $9\times N$ 列,共 $5\times 9\times N$ 个字节。

管理单元指针(AU-Ptr)是一种指示符,主要用来指示信息净负荷的第一个字节在STM-N内的准确位置,以便接收端能根据这个位置指示符的值(指针值)准确分离信息净负荷。以便在接收端正确地进行信息分解。它位于STM-N帧结构中 $(1\sim 9)\times N$ 列中的第4行。采用指针方式是SDH的重要创新,可使之在准同步环境中完成复用同步和STM-N信号的帧定位。指针有高、低阶之分,高阶指针是AU-Ptr,低阶指针是TU-Ptr,TU-Ptr的作用类似于AU-Ptr,只不过所指示的信息负荷更小一些。

3.2.2 SDH的复用

SDH的复用包括两种情况:一种是由STM-1信号复用成STM-N信号;另一种是由PDH支路信号(例如 2Mbit/s 、 34Mbit/s 、 140Mbit/s)复用成STM-N信号。

由STM-1信号复用成STM-N信号的方法主要通过字节间插的同步复用方式来完成的,复用的基数是4,即 $4\times\text{STM-1}\rightarrow\text{STM-4}$, $4\times\text{STM-4}\rightarrow\text{STM-16}$ 。在复用过程中保持帧频不变(8000帧/秒),这就意味着高一级的STM-N信号是低一级的STM-n信号速率的4倍。在进行字节间插复用过程中,各帧的信息净负荷和指针字节按原值进行字节间插复用,而STM-N的段开销并不是由所有低阶STM-N帧中的段开销间插复用而成,而是舍弃了某些低阶帧中的段开销。

第二种情况用得最多的就是将 PDH 信号复用进 STM - N 信号中去。传统的将低速信号复用成高速信号的方法有两种。

比特塞入法(又叫作码速调整法)利用固定位置的比特塞入指示来显示塞入的比特是否载有信号数据,允许被复用的净负荷有较大的频率差异(异步复用)。它的缺点是因为存在一个比特塞入和去塞入的过程(码速调整),而不能将支路信号直接接入高速复用信号或从高速信号中分出低速支路信号,即不能直接从高速信号中上/下低速支路信号,要一级一级地进行。这种比特塞入法就是PDH的复用方式。

固定位置映射法利用低速信号在高速信号中的相对固定的位置来携带低速同步信号,要求低速信号与高速信号同步,即帧频相一致。它的特点在于可方便地从高速信号中直接上/下低速支路信号,但当高速信号和低速信号间出现频差和相差(不同步)时,要用 $125\mu\text{s}$ (8000 帧/秒)缓存器来进行频率校正和相位对准,导致信号较大延时和滑动损伤。

这两种复用方式都有一些缺陷,比特塞入法无法直接从高速信号中上/下低速支路信号;固定位置映射法引入的信号时延过大。SDH 网的兼容性要求 SDH 的复用方式既能满足异步复用(例如将 PDH 信号复用进 STM - N),又能满足同步复用(例如 STM - 1 → STM - 4),而且能方便地由高速 STM - N 信号分/插出低速信号,同时不造成较大的信号时延和滑动损伤,SDH 具有独特的复用步骤和复用结构。在这种复用结构中,通过指针调整定位技术来取代 $125\mu\text{s}$ 缓存器用以校正支路信号频差和实现相位对准,各种业务信号复用进 STM - N 帧的过程都要经历映射、定位、复用三个步骤。通过这些步骤可将 PDH 的 3 个系列的数字信号以多种方法复用成 STM - N 信号。ITU - T 规定的复用路线如图 3 - 2 所示。

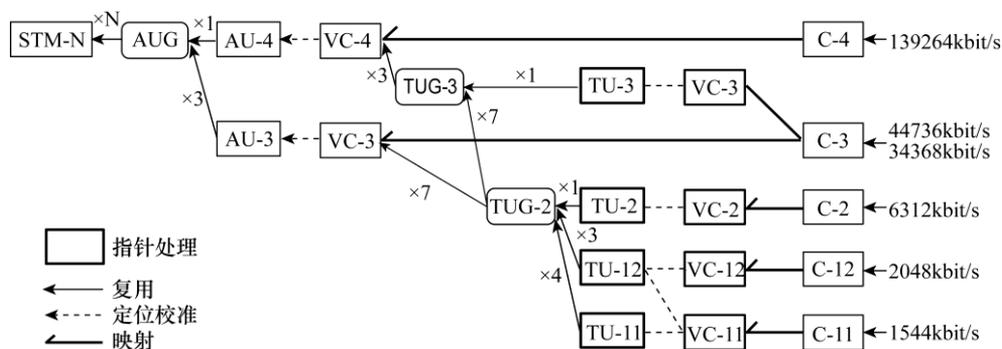


图 3 - 2 G.709 复用映射结构

从图 3 - 2 中可以看到此复用结构包括了一些基本的复用单元: C - 容器、VC - 虚容器、TU - 支路单元、TUG - 支路单元组、AU - 管理单元、AUG - 管理单元组,这些复用单元的下标表示与此复用单元相应的信号级别。在图中从一个有效负荷到 STM - N 的复用路线不是唯一的,有多条路线。例如: 2Mbit / s 的信号有两条复用路线,可用两种方法复用成 STM - N 信号。尽管一种信号复用成 SDH 的 STM - N 信号的路线有多种,但是对于一个国家或地区则必须使复用路线唯一化。我国的光同步传输网技术体制规定了以 2Mbit / s 信号为基础的 PDH 系列(欧洲系列)作为 SDH 的有效负荷,并选用 AU - 4 的复用路线,其结构如图 3 - 3 所示。

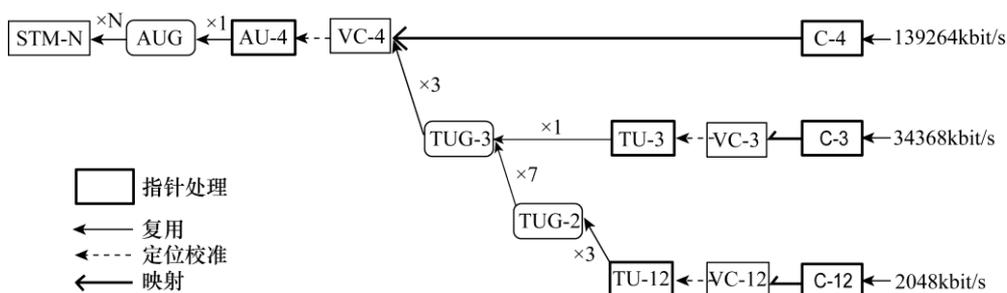


图3-3 我国的SDH基本复用映射结构

3.2.3 2Mbit/s 复用进STM-N信号

当前运用得最多的复用方式是将 2Mbit / s 信号复用进 STM - N 信号中。首先，将 2Mbit / s 的 PDH 信号经过速率适配装载到对应的标准容器 C12 中，为了便于速率的适配采用了复帧的概念，即将 4 个 C12 基帧组成一个复帧。C12 的基帧帧频也是 8000 帧 / 秒，那么 C12 复帧的帧频就成了 2000 帧 / 秒。采用复帧是为了码速适配的方便，例如若 E1 信号的速率是标准的 2.048Mbit / s，PCM30 / 32[E1] 信号也是 8000 帧 / 秒，装入 C12 时每个基帧装入 32 个字节(256 比特)有效信息。但当 E1 信号的速率不是标准速率 2.048Mbit / s 时，装入每个 C12 的平均比特数就不是整数。例如：E1 速率是 2.046Mbit / s 时，将此信号装入 C12 基帧时平均每帧装入的比特数是 $(2.046 \times 106\text{bit} / \text{秒}) / (8000 \text{ 帧} / \text{秒}) = 255.75\text{bit}$ 有效信息，比特数不是整数，因此无法进行装入。若此时取 4 个基帧为一个复帧，正好一个复帧装入的比特数为 $(2.046 \times 106\text{bit} / \text{秒}) / (2000 \text{ 帧} / \text{秒}) = 1023\text{bit}$ ，可在前三个基帧每帧装入 256bit(32 字节)有效信息，在第 4 帧装入 255 个 bit 的有效信息，这样就可将此速率的 E1 信号完整的适配进 C12 中去。

C12 基帧结构是 $9 \times 4 - 2$ 个字节的带缺口的块状帧，4 个基帧组成一个复帧，C12 复帧结构和字节安排如图 3-4 所示。

	Y	W	W		G	W	W		G	W	W		M	N	W
W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
W	第一个 C-12 基帧结构 $9 \times 4 - 2 = 32W + 2Y$		W	W	第二个 C-12 基帧结构 $9 \times 4 - 2 = 32W + 1Y + 1G$		W	W	第三个 C-12 基帧结构 $9 \times 4 - 2 = 32W + 1Y + 1G$		W	W	第四个 C-12 基帧结构 $9 \times 4 - 2 = 31W + 1Y + 1M + 1N$		W
W			W	W			W	W			W	W			W
W			W	W			W	W			W	W			W
W			W	W			W	W			W	W			W
W			W	W			W	W			W	W			W
W	W	Y		W	W	Y		W	W	Y		W	W	Y	

图3-4 C-12复帧结构和字节安排

每格为一个字节(8bit)，各字节的比特类别如下所示。

$W = \text{IIIIIII}$ $Y = \text{RRRRRRRR}$ $G = \text{C1C2OOOORR}$ $M = \text{C1C2RRRRRS1}$ $N = \text{S2IIIIIII}$

I: 信息比特 R: 塞入比特 O: 开销比特

C1: 负调整控制比特 S1: 负调整位置 C1=0 S1 = I; C1=1 S1 = R*

C2: 正调整控制比特 S2: 正调整位置 C2=0 S2 = I; C2=1 S2 = R* R*

表示调整比特, 在收端去调整时, 应忽略调整比特的值, 复帧周期为 $125 \times 4 = 500 \mu\text{s}$ 。复帧中的各字节的内容如图 3-4 所示, 一个复帧共有: $C12 \text{ 复帧} = 4(9 \times 4 - 2) = 136$

字节 $= 127W + 5Y + 2G + 1M + 1N = (1023I + S1 + S2) + 3C1 + 49R + 8O = 1088\text{bit}$, 其中负、正调整控制比特 C1、C2 分别控制负、正调整机会 S1、S2。当 C1C1C1 = 000 时, S1 放有效信息比特 I, 而 C1C1C1 = 111 时, S1 放塞入比特 R, C2 以同样方式控制 S2。复帧可容纳有效信息负荷的允许速率范围是:

$$C-12 \text{ 复帧 max} = (1023 + 1 + 1) \times 2000 = 2.050\text{Mbit/s}$$

$$C-12 \text{ 复帧 min} = (1023 + 0 + 0) \times 2000 = 2.046\text{Mbit/s}$$

当 E1 信号适配进 C12 时, 只要 E1 信号的速率范围在 2.046Mbit/s - 2.050Mbit/s 的范围内, 就可以将其装载进标准的 C12 容器中, 实质上就是经过码速调整将其速率调整成标准的 C12 速率——2.176Mbit/s。

一个复帧的 4 个 C12 基帧是并行搁在一起的, 这 4 个基帧在复用成 STM-1 信号时, 不是复用在同一帧 STM-1 信号中的, 而是复用在连续的 4 帧 STM-1 中。这样为正确分离 2Mbit/s 的信号就有必要知道每个基帧在复帧中的位置即在复帧中的第几个基帧。为了在 SDH 网的传输中能实时监测任意一个 2Mbit/s 通道信号的性能, 需将 C12 再打包——加入相应的通道开销(低阶通道开销), 使其成为 VC12 的信息结构。LP-POH(低阶通道开销)是加在每个基帧左上角的缺口上的, 一个复帧有一组低阶通道开销, 共 4 个字节: V5、J2、N2、K4。因为 VC 可看成是一个独立的实体, 因此对 2Mbit/s 的业务调配是以 VC12 为单位的。一个 C12 复帧装载的是 4 帧 PCM30/32 的信号, 因此, 一组 LP-POH 监控的是 4 帧 PCM30/32 信号的传输状态。

为了使收端能正确定位 VC12 的帧, 在 VC12 复帧的 4 个缺口上再加上 4 个字节的 TU-PTR, 这时信号的信息结构就变成了 TU12, 9 行 × 4 列。TU-PTR 指示复帧中第一个 VC12 的起点在 TU12 复帧中的具体位置。3 个 TU12 经过字节间插复用合成 TUG-2, 此时的帧结构是 9 行 × 12 列。7 个 TUG-2 经过字节间插复用合成 TUG3 的信息结构。7 个 TUG-2 合成的信息结构是 9 行 × 84 列, 为满足 TUG3 的信息结构 9 行 × 86 列, 需在 7 个 TUG-2 合成的信息结构前加入两列固定塞入比特。如图 3-5 所示。

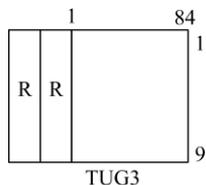


图 3-5 TUG3 的信息结构

从 2Mbit/s 信号复用进 STM-1 信号, STM-1 可容纳 $3 \times 7 \times 3 = 63$ 个 2Mbit/s 信号。从 2Mbit/s 复用进 STM-N 信号的复用步骤可以看出 3 个 TU12 复用成一个 TUG2, 7 个 TUG2 复用成一个 TUG3, 3 个 TUG3 复用进一个 VC4, 一个 VC4 复用进 1 个 STM-1, 2Mbit/s 的复用结构是 3-7-3 结构。由于复用的方式是字节间插方式, 所在在一个 VC4 中的 63 个 VC12 的排列方式不是顺序来排列的。头一个 TU12 的序号和紧跟其后的 TU12 的序号相差 21。计算同一个 VC4 中不同位置 TU12 的序号的公式。

$$\text{VC12 序号} = \text{TUG3 编号} + (\text{TUG2 编号} - 1) \times 3 + (\text{TU12 编号} - 1) \times 21$$

TU12 的位置在 VC4 帧中相邻是指 TUG3 编号相同, TUG2 编号相同, 而 TU12 编号相差为 1 的两个 TU12。此处编号是指 VC4 帧中的位置编号。TUG3 编号范围: 1~3; TUG2 编号范围: 1~7; TU12 编号范围: 1~3。TU12 序号是指本 TU12 是 VC4 帧 63 个 TU12 的按复用先后顺序的第几个 TU12。见图 3-6。

以上讲述的是我国所使用的 PDH 数字系列复用到 STM-N 帧中的方法和步骤, 是提高维护 SDH 设备能力的最基本的知识, 也是接下来深入学习 SDH 技术的基础。

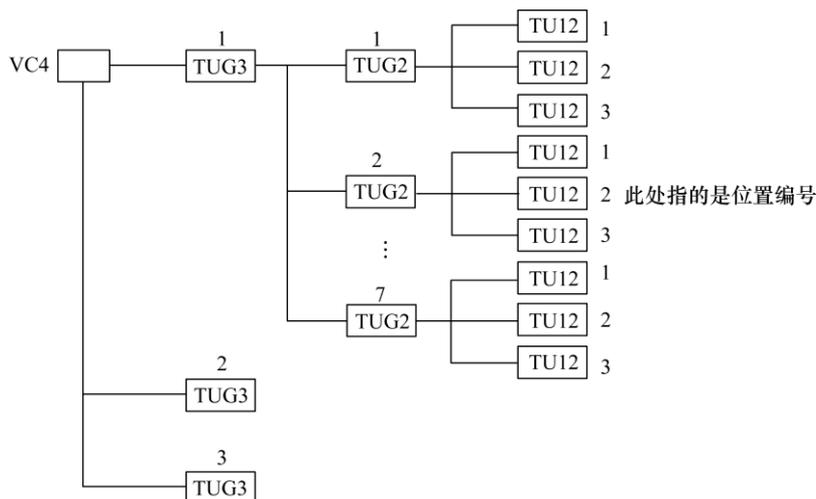


图 3-6 VC4 中 TUG3、TUG2、TU12 的排放结构

3.3 SDH 的常见网元和逻辑功能块

3.3.1 SDH 传送网的分层模型

SDH 传送网的分层模型总共分为四层, 分别是物理层、段层、通道层、电路层。其中物理层为最下层, 电路层为最上层, 下层为上层提供服务, 上层为下层提供服务内容。模型如图 3-7 所示。SDH 传输系统与各层的对应关系如图 3-8 所示。

(1) 物理层: 完成 STM-N 线路光接口信号与逻辑电平信号之间的转换。

(2) 段层: 分为再生段层和复用段层。

① 再生段层: 用于传递再生中继器之间, 以及再生中继器与复用终端之间信息的网络。

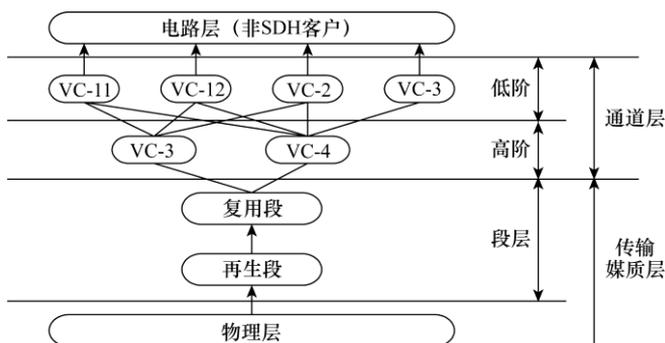


图3-7 SDH传送网的分层模型

② 复用段层: 用于传送复用终端之间信息的网络, 如负责向通道层提供同步信息, 同时完成有关复用段开销的处理和传递等工作。

(3) 通道层: 为电路层网络节点如交换机提供透明的通道, 即电路群。

(4) 电路层: 是面向公用交换业务的网络, 如电路交换业务、分组交换、租用线业务和B-ISDN虚通路等。

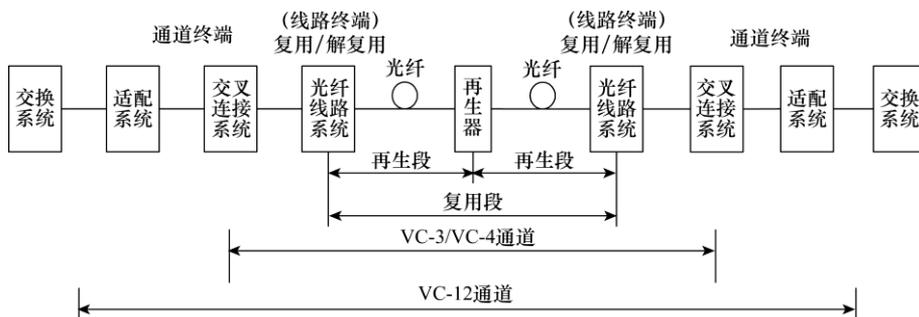


图3-8 SDH传输系统与各层的对应关系

3.3.2 SDH 网络的常见网元

SDH 传输网是由不同类型的网元通过光缆线路的连接组成的, 通过不同的网元完成SDH网的传送功能: 上/下业务、交叉连接业务、网络故障自愈等。

1. TM——终端复用器

终端复用器用在网络的终端站点上, 例如一条链的两个端点上, 终端复用器是一个双端口器件, 如图3-9所示。

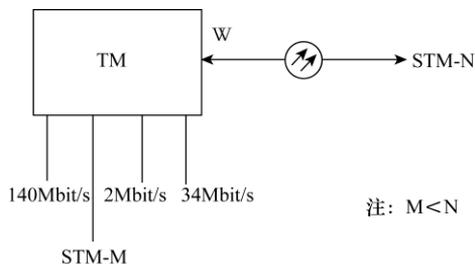


图3-9 TM模型

终端复用器的作用是将支路端口的低速信号复用到线路端口的高速信号 STM-N 中, 或从 STM-N 的信号中分出低速支路信号。终端复用器的线路端口输入/输出一路 STM-N 信号, 而支路端口却可以输出/输入多路低速支路信号。在将低速支路信号复用进 STM-N 帧(将低速信号复用到线路)上时, 有一个交叉的功能, 例如: 可将支路的一个 STM-1 信号复用进线路上的 STM-16 信号中的任意位置上, 即复用在 1~16 个 STM-1 的任一个位置上。将支路的 2Mbit/s 信号可复用到一个 STM-1 中 63 个 VC12 的任一个位置上去。TM 的线路端口(光口)一般以西向端口默认表示。

2. ADM——分/插复用器

分/插复用器用于 SDH 传输网络的转接站点处, 例如链的中间结点或环上结点, 是 SDH 网上使用最多、最重要的一种网元, 分/插复用器是一个三端口的器件, 如图 3-10 所示。

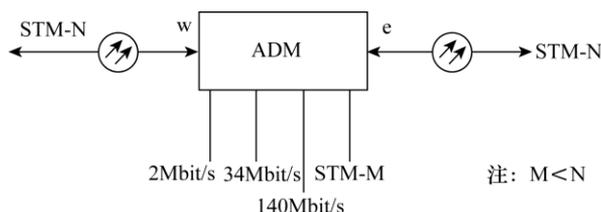


图 3-10 ADM 模型

ADM 有两个线路端口和一个支路端口。两个线路端口各接一侧的光缆(每侧收/发共两根光纤), 为了描述方便将其分为西(W)向、东向(E)两个线路端口。ADM 的作用是将低速支路信号交叉复用进东或西向线路上去, 或从东或西侧线路端口收的线路信号中拆分出低速支路信号。另外, 还可将东/西向线路侧的 STM-N 信号进行交叉连接, 例如将东向 STM-16 中的 3#STM-1 与西向 STM-16 中的 15#STM-1 相连接。ADM 是 SDH 最重要的一种网元, 通过它可等效成其他网元, 即能完成其他网元的功能, 例如: 一个 ADM 可等效成两个 TM。

3. REG——再生中继器

光传输网的再生中继器有两种, 一种是光再生中继器, 主要进行光功率放大以延长光传输距离; 另一种是电再生中继器, 主要用于脉冲再生整形, 通过光/电变换、电信号抽样、判决、再生整形、电/光变换, 以达到不积累线路噪声, 保证线路上传送信号波形的完好性。此处讲的是后一种再生中继器, REG 是双端口器件, 只有两个线路端口——W、E。如图 3-11 所示。



图 3-11 电再生中继器

再生中继器的作用是将 w/e 侧的光信号经 O/E、抽样、判决、再生整形、E/O 在 e 或 w 侧发出。REG 与 ADM 相比仅少了支路端口, 所以 ADM 若本地不上/下话路(支路不上/下信号)时完全可以等效一个 REG。真正的 REG 只需处理 STM-N 帧中的 RSOH, 且不需要交叉连接功能(w-e 直通即可), 而 ADM 和 TM 因为要完成将低速支路信号分/插到

STM - N 中, 所以不仅要处理 RSOH, 而且还要处理 MSOH; 另外 ADM 和 TM 都具有交叉复用能力(有交叉连接功能), 因此用 ADM 来等效 REG 有点大材小用了。

4. DXC——数字交叉连接设备

数字交叉连接设备完成的主要是 STM - N 信号的交叉连接功能, 数字交叉连接设备是一个多端口器件, 它实际上相当于一个交叉矩阵, 完成各个信号间的交叉连接, 如图 3-12 所示。

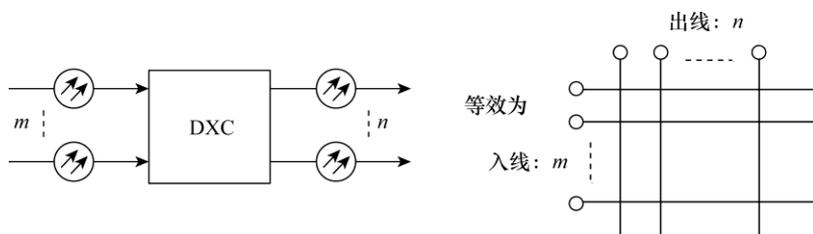


图 3-12 DXC 功能图

DXC 可将输入的 m 路 STM - N 信号交叉连接到输出的 n 路 STM - N 信号上, 图 3-12 中表示有 m 条入光纤和 n 条出光纤。DXC 的核心是交叉连接, 功能强的 DXC 能完成高速(例 STM - 16)信号在交叉矩阵内的低级别交叉(例如 VC12 级别的交叉)。通常用 $DXC_{m/n}$ 来表示一个 DXC 的类型和性能(注 $m \geq n$), m 表示可接入 DXC 的最高速率等级, n 表示在交叉矩阵中能够进行交叉连接的最低速率级别。 m 越大表示 DXC 的承载容量越大; n 越小表示 DXC 的交叉灵活性越大。 m 和 n 的相应数值的含义如表 3-1 所示。

表 3-1 m 、 n 数值与速率对应表

m 或 n	0	1	2	3	4	5	6
速率	64kbit/s	2Mbit/s	8Mbit/s	34Mbit/s	140Mbit/s 155Mbit/s	622Mbit/s	2.5Gbit/s

3.3.3 SDH 的逻辑功能块

SDH 体制要求不同厂家的产品实现横向兼容, 这就必然会要求设备的实现要按照标准的规范。ITU - T 采用功能参考模型的方法对 SDH 设备进行规范, 它将设备所应完成的功能分解为各种基本的标准功能块, 功能块的实现与设备的物理实现无关, 不同的设备由这些基本的功能块灵活组合而成, 以完成设备不同的功能。通过基本功能块的标准化, 来规范了设备的标准化, 同时也使规范具有普遍性, 叙述清晰简单。

下面以一个 TM 设备的典型功能块组成, 来讲述各个基本功能块的作用、每个功能块所监测的告警、性能事件及其检测机理。如图 3-13 所示。

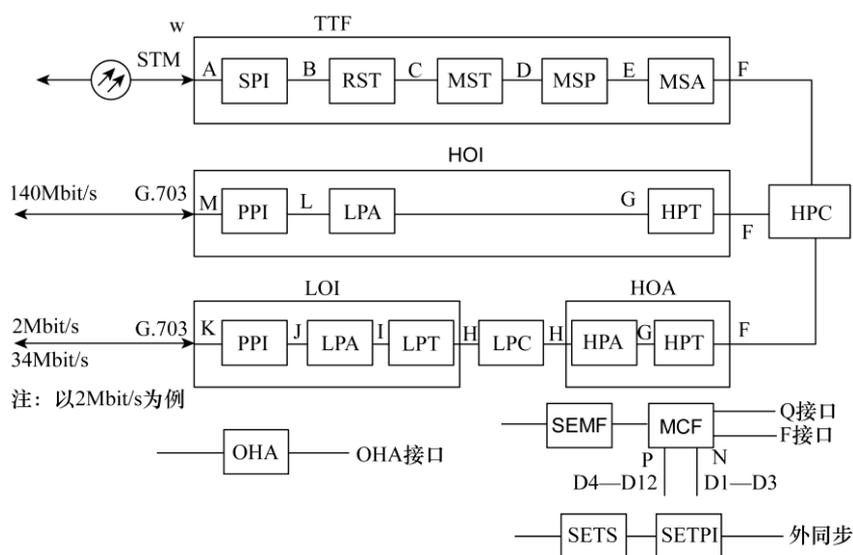


图3-13 SDH设备的逻辑功能构成

为了更好地理解上图，对图中出现的功能块名称说明如下。

- | | |
|---------------|-------------------|
| SPI: SDH 物理接口 | TTF: 传送终端功能 |
| RST: 再生段终端 | HOI: 高阶接口 |
| MST: 复用段终端 | LOI: 低阶接口 |
| MSP: 复用段保护 | HOA: 高阶组装器 |
| MSA: 复用段适配 | HPC: 高阶通道连接 |
| PPI: PDH 物理接口 | OHA: 开销接入功能 |
| LPA: 低阶通道适配 | SEMF: 同步设备管理功能 |
| LPT: 低阶通道终端 | MCF: 消息通信功能 |
| LPC: 低阶通道连接 | SETS: 同步设备时钟源 |
| HPA: 高阶通道适配 | SETPI: 同步设备定时物理接口 |
| HPT: 高阶通道终端 | |

图3-13为一个TM的功能块组成图，其信号流程是线路上的STM-N信号从设备的A参考点进入设备，依次经过A→B→C→D→E→F→G→L→M，拆分成140Mbit/s的PDH信号；经过A→B→C→D→E→F→G→H→I→J→K，拆分成2Mbit/s或34Mbit/s的PDH信号（这里以2Mbit/s信号为例），在这里将其定义为设备的收方向。相应的发方向就是沿这两条路径的反方向将140Mbit/s和2Mbit/s、34Mbit/s的PDH信号复用到线路上的STM-N信号帧中。设备的这些功能是由各个基本功能块共同完成的。

SPI: SDH物理接口功能块

SPI是设备和光路的接口，主要完成光/电变换、电/光变换，提取线路定时以及相应告警的检测。

信号流从A到B——收方向

光/电转换，同时提取线路定时信号并将其传给SETS(同步设备定时源功能块)锁相，

锁定频率后由 SETS 再将定时信号传给其他功能块, 以此作为它们工作的定时时钟。当 A 点的 STM-N 信号失效(例如: 无光或光功率过低, 传输性能劣化使 BER 劣于 10^{-3}), SPI 产生 R-LOS 告警(接收信号丢失), 并将 R-LOS 状态告知 SEMF(同步设备管理功能块)。

信号流从 B 到 A——发方向

电/光变换, 同时, 定时信息附着在线路信号中。

RST: 再生段终端功能块

RST 是 RSOH 开销的源和宿, 即 RST 功能块在构成 SDH 帧信号的过程中产生 RSOH(发方向), 并在相反方向(收方向)处理(终结)RSOH。

收方向——信号流 B 到 C

STM-N 的电信号及定时信号或 R-LOS 告警信号由 B 点送至 RST, 若 RST 收到的是 R-LOS 告警信号, 即在 C 点处插入全“1”(AIS)信号。若在 B 点收的是正常信号流, RST 开始搜寻 A1 和 A2 字节进行定帧, 帧定位就是不断检测帧信号是否与帧头位置相吻合。若连续 5 帧以上无法正确定位帧头, 设备进入帧失步状态, RST 功能块上报接收信号帧失步告警 R-OOF。在帧失步时, 若连续两帧正确定帧则退出 R-OOF 状态。R-OOF 持续了 3ms 以上设备进入帧丢失状态, RST 上报 R-LOF(帧丢失)告警, 并使 C 点处出现全“1”信号。RST 对 B 点输入的信号进行了正确帧定位后, RST 对 STM-N 帧中除 RSOH 第一行字节外的所有字节进行解扰, 解扰后提取 RSOH 并进行处理。RST 校验 B1 字节, 若检测出有误码块, 则本端产生 RS-BBE; RST 同时将 E1、F1 字节提取出传给 OHA(开销接入功能块)处理公务联络电话; 将 D1~D3 提取传给 SEMF, 处理 D1~D3 上的再生段 OAM 命令信息。

发方向——信号流从 C 到 B

RST 写 RSOH, 计算 B1 字节, 并对除 RSOH 第一行字节外的所有字节进行扰码。设备在 A 点、B 点、C 点处的信号帧结构如图 3-14 所示。

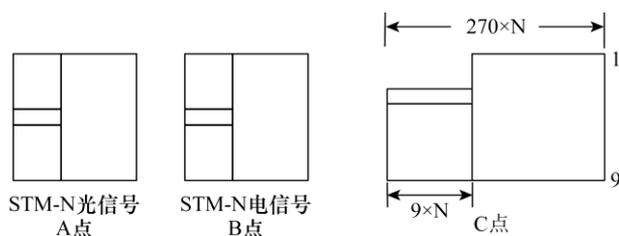


图 3-14 A、B、C 点处的信号帧结构图

MST: 复用段终端功能块

MST 是复用段开销的源和宿, 在接收方向处理(终结)MSOH, 在发方向产生 MSOH。

收方向——信号流从 C 到 D

若在 C 点的信号中 K2 为 110, 则判断为这是对端设备回送回来的对告信号: MS-RDI(复用段远端失效指示), 表示对端设备在接收信号时出现 MS-AIS、B2 误码过大等劣化告警。MST 功能块校验 B2 字节, 检测复用段信号的传输误码块, 若有误块检测出, 则本端设备在 MS-BBE 性能事件中显示误块数, 向对端发对告信息 MS-REI, 由 M1 字节

回告对方接收端收到的误块数。若检测到 MS - AIS 或 B2 检测的误码块数超越门限(此时 MST 上报一个 B2 误码超限告警 MS - EXC), 则在点 D 处使信号出现全“1”。另外, MST 将同步状态信息 S1(b5 ~ b8) 恢复, 将所得的同步质量等级信息传给 SEMF。同时 MST 将 D4 - D12 字节提取传给 SEMF, 供其处理复用段 OAM 信息; 将 E2 提取出来传给 OHA, 供其处理复用段公务联络信息。

发方向——信号流从 D 到 C

MST 写入 MSOH: 从 OHA 来的 E2; 从 SEMF 来的 D4 ~ D12; 从 MSP 来的 K1、K2 写入相应 B2 字节、S1 字节、M1 等字节。若 MST 在收方向检测到 MS - AIS 或 MS - EXC (B2), 那么在发方向上将 K2 字节 b6 ~ b8 设为 110。D 点处的信号帧结构如图 3-15 所示。

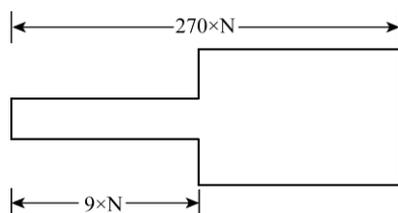


图3-15 D点处的信号帧结构图

MSP: (复用段保护功能块)

MSP 用在复用段内保护 STM - N 信号, 防止随路故障, 它通过对 STM - N 信号的监测、系统状态评价, 将故障信道的信号切换到保护信道上(复用段倒换)。ITU - T 规定保护倒换的时间控制在 50ms 以内。复用段倒换的故障条件是 R - LOS、R - LOF、MS - AIS 和 MS - EXC(B2), 要进行复用段保护倒换, 设备必须要有冗余(备用) 的信道。以两个端对端的 TM 为例进行说明, 如图 3 - 16 所示。

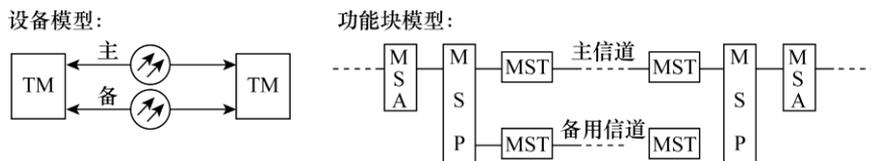


图3-16 TM的复用段保护

收方向——信号流从 D 到 E

若 MSP 收到 MST 传来的 MS - AIS 或 SEMF 发来的倒换命令, 将进行信息的主备倒换, 正常情况下信号流从 D 透明传到 E。

发方向——信号流从 E 到 D

E 点的信号流透明的传至 D, E 点处信号波形同 D 点。

MSA: 复用段适配功能块

MSA 的功能是处理和产生 AU - PTR, 以及组合/分解整个 STM - N 帧, 即将 AUG 组合/分解为 VC4。

收方向——信号流从 E 到 F

首先, MSA 对 AUG 进行消间插, 将 AUG 分成 N 个 AU - 4 结构, 然后处理这 N 个

AU-4 的 AU 指针, 若 AU-PTR 的值连续 8 帧为无效指针值或 AU-PTR 连续 8 帧为 NDF 反转, 此时 MSA 上相应的 AU-4 产生 AU-LOP 告警, 并使信号在 F 点的相应的通道上 (VC4) 输出为全“1”。若 MSA 连续 3 帧检测出 H1、H2、H3 字节全为 1, 则认为 E 点输入的为全“1”信号, 此时 MSA 使信号在 F 点的相应的 VC4 上输出为全“1”, 并产生相应 AU-4 的 AU-AIS 告警。

发方向——信号流从 F 到 E

F 点的信号经 MSA 定位和加入标准的 AU-PTR 成为 AU-4, N 个 AU-4 经过字节间插复用成 AUG。F 点的信号帧结构如图 3-17 所示。

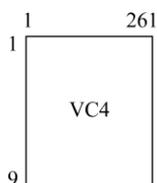


图3-17 F点的信号帧结构图

TTF: 传送终端功能块

多个基本功能经过灵活组合, 可形成复合功能块, 以完成一些较复杂的工作。SPI、RST、MST、MSA 一起构成了复合功能块 TTF, 它的作用是在收方向对 STM-N 光线路进行光/电变换 (SPI)、处理 RSOH (RST)、处理 MSOH (MST)、对复用段信号进行保护 (MSP)、对 AUG 消间插并处理指针 AU-PTR, 最后输出 N 个 VC4 信号; 发方向与此过程相反, 进入 TTF 的是 VC4 信号, 从 TTF 输出的是 STM-N 的光信号。

HPC: 高阶通道连接功能块

HPC 实际上相当于一个交叉矩阵, 它完成对高阶通道 VC4 进行交叉连接的功能, 除了信号的交叉连接外, 信号流在 HPC 中是透明传输的 (所以 HPC 的两端都用 F 点表示)。HPC 是实现高阶通道 DXC 和 ADM 的关键, 其交叉连接功能仅指选择或改变 VC4 的路由, 不对信号进行处理。一种 SDH 设备功能的强大与否主要是由其交叉能力决定的, 而交叉能力又是由交叉连接功能块即高阶 HPC、低阶 LPC 来决定的。为了保证业务的全交叉, HPC 的交叉容量最小应为 $2MVC4 \times 2MVC4$, 相当于 $2N$ 条 VC4 入线, $2N$ 条 VC4 出线。

HPT: 高阶通道终端功能块

从 HPC 中出来的信号分成了两种路由: 一种进 HOI 复合功能块, 输出 140Mbit/s 的 PDH 信号; 一种进 HOA 复合功能块, 再经 LOI 复合功能块最终输出 2Mbit/s 的 PDH 信号。走哪一种路由都要先经过 HPT 功能块, 两种路由 HPT 的功能是一样的。HPT 是高阶通道开销的源和宿, 形成和终结高阶虚容器。

收方向——信号流从 F 到 G

终结 POH, 检验 B3, 若有误码块则在本端性能事件中 HP-BBE 显示检出的误块数, 同时在回送给对端的信号中, 将 G1 字节的 b1~b4 设置为检测出的误块数, 以便发端在性能事件 HP-REI 中显示相应的误块数。HPT 检测 J1 和 C2 字节, 若失配 (应收的和所收的不一致) 则产生 HP-TIM、HP-SLM 告警, 使信号在 G 点相应的通道上输出为全“1”, 同时通过 G1 的 b5 往发端回传一个相应通道的 HP-RDI 告警。若检查到 C2 字节的内容连续

5 帧为 00000000, 则判断该 VC4 通道未装载, 于是使信号在 G 点相应的通道上输出为全“1”, HPT 在相应的 VC4 通道上产生 HP-UNEQ 告警。H4 字节的内容包含有复帧位置指示信息, HPT 将其传给 HOA 复合功能块的 HPA 功能块(因为 H4 的复帧位置指示信息仅对 2Mbit/s 有用, 对 140Mbit/s 的信号无用)。

发方向——信号流从 G 到 F

HPT 写入 POH, 计算 B3, 由 SEMF 传相应的 J1 和 C2 给 HPT 写入 POH 中。G 点的信号形状实际上是 C4 信号的帧, 这个 C4 信号一种情况是由 140Mbit/s 适配成的; 另一种情况是由 2Mbit/s 信号经 C12→VC12→TU-12→TUG-2→TUG3→C4 这种结构复用而来的。

下面讲述由 2Mbit/s 复用进 C4 的情况。

HPA: 高阶通道适配功能块

此时, G 点处的信号实际上是由 TUG3 通过字节间插而成的 C4 信号, 而 TUG3 又是由 TUG2 通过字节间插复合而成的, TUG2 又是由 TU12 复合而成, TU12 由 VC12 + TU-PTR 组成的。HPA 的作用有点类似 MSA, 只不过进行的是通道级的处理 / 产生 TU-PTR, 将 C4 这种信息结构拆分成 TU12(对 2Mbit/s 的信号而言)。

收方向——信号流从 G 到 H

首先将 C4 进行消间插成 63 个 TU-12, 然后处理 TU-PTR, 进行 VC12 在 TU-12 中的定位、分离, 从 H 点流出的信号是 63 个 VC12 信号。HPA 若连续 3 帧检测到 V1、V2、V3 全为“1”, 则判定为相应通道的 TU-AIS 告警, 在 H 点使相应 VC12 通道信号输出全为“1”。若 HPA 连续 8 帧检测到 TU-PTR 为无效指针或 NDF 反转, 则 HPA 产生相应通道的 TU-LOP 告警, 并在 H 点使相应 VC12 通道信号输出全为“1”。HPA 根据从 HPT 收到的 H4 字节做复帧指示, 将 H4 的值与复帧序列中单帧的预期值相比较, 若连续几帧不吻合则上报 TU-LOM 支路单元复帧丢失告警, 若 H4 字节的值为无效值: 在 01H ~ 04H 之外, 则也会出现 TU-LOM 告警。

发方向——信号流从 H 到 G

HPA 先对输入的 VC12 进行标准定位——加上 TU-PTR, 然后将 63 个 TU-12 通过字节间插复用: TUG2→TUG3→C4。

HOA: 高阶组装器

高阶组装器的作用是将 2Mbit/s 和 34Mbit/s 的 POH 信号通过映射、定位、复用, 装入 C4 帧中, 或从 C4 中拆分出 2Mbit/s 和 34Mbit/s 的信号。H 点处的信号帧结构图如图 3-18 所示。

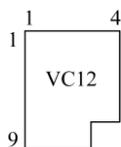


图3-18 H点处的信号帧结构图

LPC: 低阶通道连接功能块

与 HPC 类似, LPC 也是一个交叉连接矩阵, 不过它是完成对低阶 VC(VC12/VC3) 进行交叉连接的功能, 可实现低阶 VC 之间灵活的分配和连接。一个设备若要具有全级别交

叉能力,就一定要包括 HPC 和 LPC。例如 DXC4 / 1 就应能完成 VC4 级别的交叉连接和 VC3、VC12 级别的交叉连接,即 DXC4 / 1 必须要包括 HPC 功能块和 LPC 功能块。信号流在 LPC 功能块处是透明传输的(所以 LPC 两端参考点都为 H)。

LPT: 低阶通道终端功能块。

LPT 是低阶 POH 的源和宿,对 VC12 而言就是处理和产生 V5、J2、N2、K4 四个 POH 字节。

收方向——信号流从 **H** 到 **J**

LPT 处理 LP-POH,通过 V5 字节的 b1~b2 进行 BIP-2 的检验,若检测出 VC12 的误码块,则在本端性能事件 LP-BBE 中显示误块数,同时通过 V5 的 b3 回告对端设备,并在对端设备的性能事件 LP-REI(低阶通道远端误块指示)中显示相应的误块数。检测 J2 和 V5 的 b5~b7,若失配(应收的和实际所收的不一致)则在本端产生 LP-TIM(低阶通道踪迹字节失配)、LP-SLM(低阶通道信号标识失配),此时 LPT 使 I 点处使相应通道的信号输出为全“1”,同时通过 V5 的 b8 回送给对端一个 LP-RDI(低阶通道远端失效指示)告警,使对端了解本接收端相应的 VC12 通道信号时出现劣化。若连续 5 帧检测到 V5 的 b5~b7 为 000,则判定为相应通道来装载,本端相应通道出现 LP-UNEQ(低阶通道未装载)告警。I 点处的信号实际上已成为 C12 信号,帧结构如图 3-19 所示。

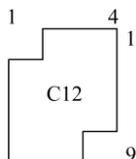


图3-19 I点处的信号帧结构图

LPA: 低阶通道适配功能块

低阶通道适配功能块的作用与前面所讲的一样,就是将 PDH 信号(2Mbit/s)装入/拆出 C12 容器,相当于将货物打包/拆包的过程。此时 J 点的信号实际上已是 PDH 的 2Mbit/s 信号。

PPI: PDH 物理接口功能块

PPI 主要完成码型变换的接口功能,以及提取支路定时供系统使用的功能。

LOI: 低阶接口功能块

低阶接口功能块主要完成将 VC12 信号拆包成 PDH 2Mbit/s 的信号(收方向),或将 PDH 的 2Mbit/s 信号打包成 VC12 信号,同时完成设备和线路的接口功能——码型变换;PPI 完成映射和解映射功能。

设备组成的基本功能块就是这些,不过通过它们的灵活组合,可构成不同的设备,例如组成:REG、TM、ADM 和 DXC,并完成相应的功能。设备还有一些辅助功能块,它们携同基本功能块一起完成设备所要求的功能,这些辅助功能块是:SEMF、MCF、OHA、SETS、SETPI。

SEMF: 同步设备管理功能块

它的作用是收集其他功能块的状态信息,进行相应的管理操作。这就包括了本站向各

个功能块下发命令, 搜集各功能块的告警、性能事件, 通过 DCC 通道向其他网元传送 OAM 信息, 向网络管理终端上报设备告警、性能数据以及响应网管终端下发的命令。DCC (D1 ~ D12)通道的 OAM 内容是由 SEMF 决定的, 并通过 MCF 在 RST 和 MST 中写入相应的字节, 或通过 MCF 功能块在 RST 和 MST 提取 D1 ~ D12 字节, 传给 SEMF 处理。

MCF: 消息通信功能块

MCF 功能块实际上是 SEMF 和其他功能块和网管终端的一个通信接口, 通过 MCF、SEMF 可以和网管进行消息通信(F 接口、Q 接口), 以及通过 N 接口和 P 接口分别与 RST 和 MST 上的 DCC 通道交换 OAM 信息, 实现网元和网元间的 OAM 信息的互通。

MCF 上的 N 接口传送 D1 ~ D3 字节(DCCR), P 接口传送 D4 ~ D12 字节(DCCM), F 接口和 Q 接口都是与网管终端的接口, 通过它们可使网管能对本设备及至整个网络的网元进行统一管理。

SETS: 同步设备定时源功能块

数字网都需要一个定时时钟以保证网络的同步, 使设备能正常运行。而 SETS 功能块的作用就是提供 SDH 网元乃至 SDH 系统的定时时钟信号。

SETS 时钟信号的来源有 4 个

- 由 SPI 功能块从线路上的 STM - N 信号中提取的时钟信号。
- 由 PPI 从 PDH 支路信号中提取的时钟信号。
- 由 SETPI(同步设备定时物理接口)提取的外部时钟源, 如 2MHz 方波信号或 2Mbit/s。
- 当这些时钟信号源都劣化后, 为保证设备的定时, 由 SETS 的内置振荡器产生的时钟。

SETS 对这些时钟进行锁相后, 选择其中一路高质量时钟信号, 传给设备中除 SPI 和 PPI 外的所有功能块使用。同时 SETS 通过 SETPI 功能块向外提供 2Mbit/s 和 2MHz 的时钟信号, 可供其他设备——交换机、SDH 网元等作为外部时钟源使用。

SETPI: 同步设备定时物理接口

作用 SETS 与外部时钟源的物理接口, SETS 通过它接收外部时钟信号或提供外部时钟信号。

OHA: 开销接入功能块

OHA 的作用是从 RST 和 MST 中提取或写入相应 E1、E2、F1 公务联络字节, 进行相应的处理。

前面讲述了组成设备的基本功能块, 以及这些功能块所监测的告警性能事件及其监测机理。深入了解各个功能块上监测的告警、性能事件, 以及这些事件的产生机理, 是以后在维护设备时能正确分析、定位故障的关键所在。由于这部分内容较零散, 现将其综合起来, 以便能找出其内在的联系。以下是 SDH 设备各功能块产生的主要告警维护信号以及有关的开销字节。

- SPI: LOS
- RST: LOF(A1、A2), OOF(A1、A2), RS - BBE(B1)
- MST: MS - AIS(K2[b6—b8]), MS - RDI(K2[b6—b8]), MS - REI(M1), MS -

- BBE(B2), MS-EXC(B2)
- MSA: AU-AIS(H1、H2、H3), AU-LOP(H1、H2)
 - HP-T**: HP-RDI(G1[b5]), HP-REI(G1[b1-b4]), HP-TIM(J1), HP-SLM(C2), HP-UNEQ(C2), HP-BBE(B3)
 - HPA: TU-AIS(V1、V2、V3), TU-LOP(V1、V2), TU-LOM(H4)
 - LPT: LP-RDI(V5[b8]), LP-REI(V5[b3]), LP-TIM(J2), LP-SLM(V5[b5-b7]), LP-UNEQ(V5[b5-b7]), LP-BBE(V5[b1-b2])
 - 以上这些告警维护信号产生机理的简要说明如下。
 - ITU-T 建议规定了各告警信号的含义。
 - LOS: 信号丢失, 输入无光功率、光功率过低、光功率过高, 使 BER 劣于 10^{-3} 。
 - OOF: 帧失步, 搜索不到 A1、A2 字节, 时间超过 $625\mu\text{s}$ 。
 - LOF: 帧丢失, OOF 持续 3ms 以上。
 - RS-BBE: 再生段背景误码块, B1 校验到再生段——STM-N 的误码块。
 - MS-AIS: 复用段告警指示信号, K2[6-8] = 111 超过 3 帧。
 - MS-RDI: 复用段远端劣化指示, 对端检测到 MS-AIS、MS-EXC, 由 K2[6-8] 回发过来。
 - MS-REI**: 复用段远端误码指示, 由对端通过 M1 字节回发, 由 B2 检测出的复用段误码数。
 - MS-BBE: 复用段背景误码块, 由 B2 检测。
 - MS-EXC: 复用段误码过量, 由 B2 检测。
 - AU-AIS: 管理单元告警指示信号, 整个 AU 为全“1”(包括 AU-PTR)。
 - AU-LOP: 管理单元指针丢失, 连续 8 帧收到无效指针或 NDF。
 - HP-RDI: 高阶通道远端劣化指示, 收到 HP-TIM、HP-SLM。
 - HP-REI: 高阶通道远端误码指示, 回送给发端由收端 B3 字节检测出的误码数。
 - HP-BBE: 高阶通道背景误码块, 显示本端由 B3 字节检测出的误码数。
 - HP-TIM: 高阶通道踪迹字节失配, J1 应收和实际所收的不一致。
 - HP-SLM: 高阶通道信号标记失配, C2 应收和实际所收的不一致。
 - HP-UNEQ: 高阶通道未装载, C2 = 00H 超过了 5 帧。
 - TU-AIS: 支路单元告警指示信号, 整个 TU 为全“1”(包括 TU 指针)。
 - TU-LOP: 支路单元指针丢失, 连续 8 帧收到无效指针或 NDF。
 - TU-LOM: 支路单元复帧丢失, H4 连续 2-10 帧不等于复帧次序或无效的 H4 值。
 - LP-RDI: 低阶通道远端劣化指示, 接收到 TU-AIS 或 LP-SLM、LP-TIM。
 - LP-REI: 低阶通道远端误码指示, 由 V5[1-2] 检测。
 - LP-TIM: 低阶通道踪迹字节失配, 由 J2 检测。
 - LP-SLM: 低阶通道信号标记字节适配, 由 V5[5-7] 检测。
 - LP-UNEQ**: 低阶通道未装载, V5[5-7] = 000 超过了 5 帧。为了理顺告警维护信号的内在关系, 下面列出了两个告警流程图。

图 3-20 是简明的 TU-AIS 告警产生流程图。可以方便地定位 TU-AIS 及其他相关告

警的故障点和原因。

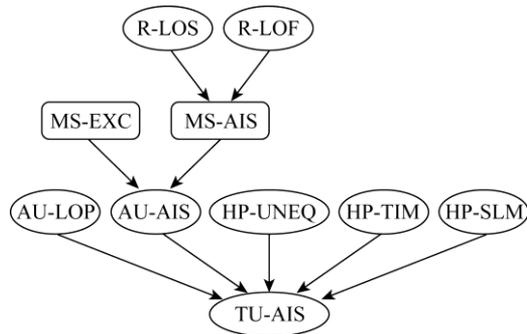


图3-20 简明TU-AIS告警产生流程图

图3-21是详细的SDH设备各功能块告警流程图，通过它可看出SDH设备各功能块产生告警维护信号的相互关系。

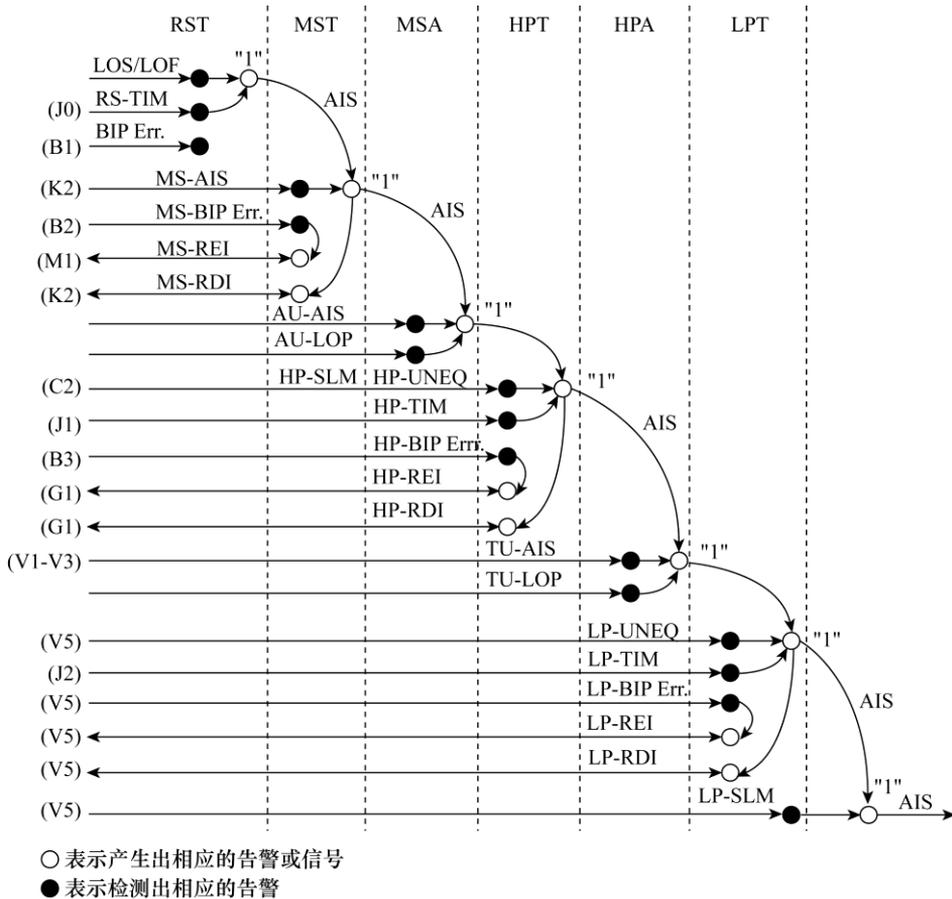


图3-21 SDH各功能块告警流程图

前面讲过SDH的常见网元，下面分析这几种网元是由哪些功能块组成的，从这些功能块的组成上，可以轻而易举地掌握每个网元所能完成的功能。

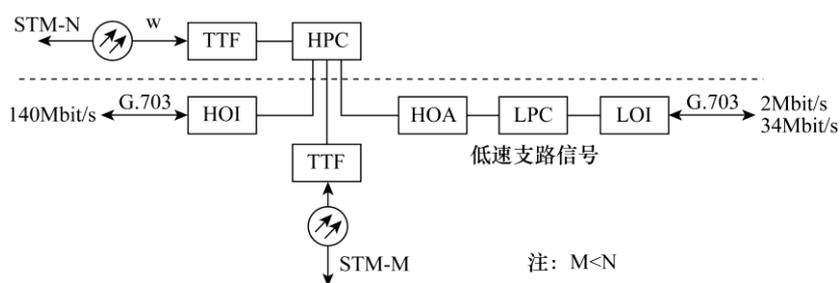


图 3-22 TM 功能示意图

TM——终端复用器

TM 的作用是将低速支路信号 PDH、STM - N ($M < N$) 交叉复用成高速线路信号 STM - N。因为有 HPC 和 LPC 功能块，所以此 TM 有高、低阶 VC 的交叉复用功能。

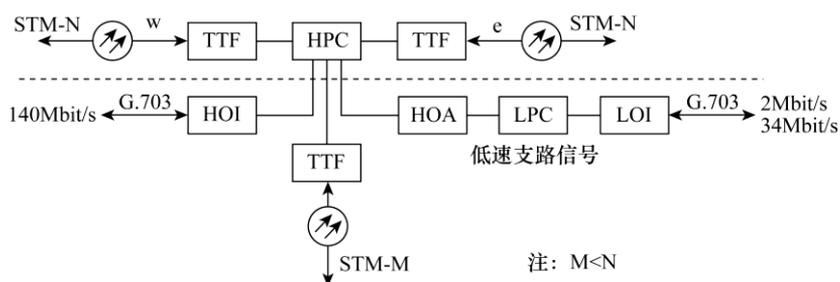


图 3-23 ADM 功能示意图

ADM——分/插复用器

ADM 的作用是将低速支路信号 (PDH、STM - M) 交叉复用到东 / 西向线路的 STM - N 信号中，以及东 / 西线路的 STM - N 信号间进行交叉连接。

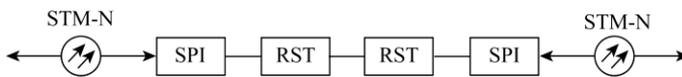


图 3-24 REG 功能示意图

REG——再生中继器

REG 的作用是完成信号的再生整形，将东 / 西侧的 STM - N 信号传到西 / 东侧线路上去。注意：此处不用交叉能力。

DXC——数字交叉连接设备

DXC 的逻辑结构类似于 ADM，只不过其交叉矩阵的功能更强大，能完成多条线路信号和多条支路信号的交叉 (比 ADM 的交叉能力要强大得多)，如图 3 - 25 所示。

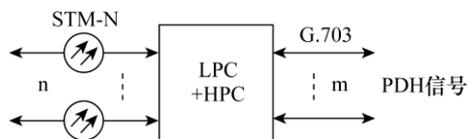


图 3-25 DXC 功能示意图

以上讲述了 SDH 网络的常见网元、设备的逻辑功能块组成。其中,重点是各功能块对告警维护信号的监控机理。

3.4 SDH 网络拓扑结构和自愈保护机理

3.4.1 基本的网络拓扑结构

SDH 网是由 SDH 网元设备通过光缆互连而成的,网络节点(网元)和传输线路的几何排列就构成了网络的拓扑结构。网络的有效性(信道的利用率)、可靠性和经济性在很大程度上与其拓扑结构有关。

网络拓扑的基本结构有链形、星形、树形、环形和网孔形,如图 3-26 所示。

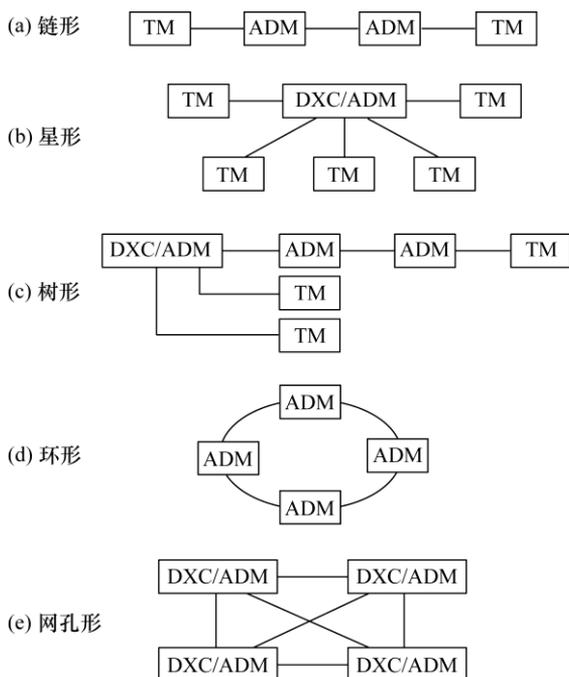


图 3-26 基本网络拓扑图

链形网。此种网络拓扑是将网中的所有节点一一串联,而首尾两端开放。这种拓扑的特点是较经济,在 SDH 网的早期用得较多,主要用于专网如铁路网中。

星形网。此种网络拓扑是将网中一网元作为特殊节点与其他各网元节点相连,其他各网元节点互不相连,网元节点的业务都要经过这个特殊节点转接。这种网络拓扑的特点是通过特殊节点来统一管理其他网络节点,利于分配带宽,节约成本,但存在特殊节点的安全保障和处理能力的潜在瓶颈问题。特殊节点的作用类似交换网的汇接局,此种拓扑多用于本地网如接入网和用户网。

树形网。此种网络拓扑可看成是链形拓扑和星形拓扑的结合,也存在特殊节点的安全保障和处理能力的潜在瓶颈。

环形网。环形拓扑实际上是指将链形拓扑首尾相连,从而使网上任何一个网元节点都不对外开放的网络拓扑形式。这是当前使用最多的网络拓扑形式,主要是因为它具有很强的生存性,即自愈功能较强。环形网常用于本地网(接入网和用户网)、局间中继网。

网孔形网。将所有网元节点两两相连,就形成了网孔形网络拓扑。这种网络拓扑为两网元节点间提供多个传输路由,使网络的可靠更强,不存在瓶颈问题和失效问题。但是由于系统的冗余度高,必会使系统有效性降低,成本高且结构复杂。网孔形网主要用于长途网中,以提供网络的高可靠性。

当前用得最多的网络拓扑是链形和环形,通过它们的灵活组合,可构成更加复杂的网络。

3.4.2 链形网

传输网上的业务按流向可分为单向业务和双向业务。以环网为例说明单向业务和双向业务的区别。如图 3-27 所示。

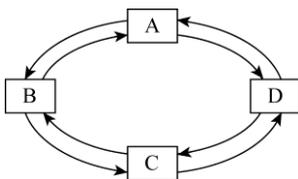


图 3-27 环形网络

若 A 和 C 之间互通业务, A 到 C 的业务路由假定是 A→B→C, 若此时 C 到 A 的业务路由是 C→B→A, 则业务从 A 到 C 和从 C 到 A 的路由相同, 称为一致路由。若此时 C 到 A 的路由是 C→D→A, 那么业务从 A 到 C 和业务从 C 到 A 的路由不同, 称为分离路由。一致路由的业务为双向业务, 分离路由的业务为单向业务。常见组网的业务方向和路由如表 3-2 所示。

表 3-2 常见组网的业务方向和路由表

组网类型		路由	业务方向
链形网		一致路由	双向
环形网	双向通道环	一致路由	双向
	双向复用段环	一致路由	双向
	单向通道环	分离路由	单向
	单向复用段环	分离路由	单向

典型的链形网如图 3-28 所示。

链形网的特点是具有时隙复用功能, 即线路 STM-N 信号中某一序号的 VC 可在不同的传输光缆段上重复利用。如图 3-28 中 A-B、B-C、C-D 以及 A-D 之间通有业务, 这时可将 A-B 之间的业务占用 A-B 光缆段 X 时隙(序号为 X 的 VC, 例如 3VC4 的第 48 个 VC12), 将 B-C 的业务占用 B-C 光缆段的 X 时隙(第 3VC4 的第 48VC12), 将 C-D

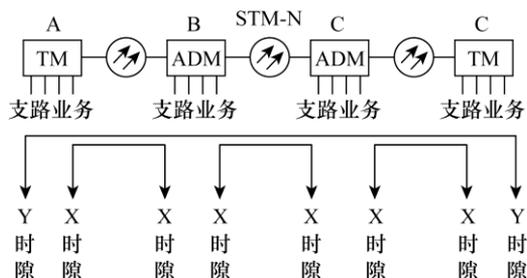


图 3-28 链形网络图

的业务占用 C-D 光缆段的 X 时隙(第 3VC4 的第 48 个 VC12), 这种情况就是时隙重复利用。这时 A-D 的业务因为光缆的 X 时隙已被占用, 所以只能占用光路上的其他时隙 Y 时隙, 例如第 3VC4 的第 49VC12 或者第 7VC4 的第 48 个 VC12。

链网的这种时隙重复利用功能, 使网络的业务容量较大。网络的业务容量指能在网上传输的业务总量。网络的业务容量和网络拓扑、网络的自愈方式和网元节点间业务分布关系有关。

链网的最小业务量发生在链网的端站为业务主站的情况下, 所谓业务主站是指各网元都与主站互通业务, 其余网元间无业务互通。以图 3-28 为例, 若 A 为业务主站, 那么 B、C、D 之间无业务互通。此时, C、B、D 分别与网元 A 通信。这时由于 A-B 光缆段上的最大容量为 STM-N(因系统的速率级别为 STM-N), 则网络的业务容量为 STM-N。链网达到业务容量最大的条件是链网中只存在相邻网元间的业务。如图 3-28 所示, 此时网络中只有 A-B、B-C、C-D 的业务不存在 A-D 的业务。这时可时隙重复利用, 那么在每一个光缆段上业务都可占用整个 STM-N 的所有时隙, 若链网有 M 个网元, 此时网上的业务最大容量为 $(M-1) \times \text{STM-N}$, $M-1$ 为光缆段数。常见的链网有二纤链——不提供业务的保护功能(不提供自愈功能); 四纤链——一般提供业务的 1+1 或 1:1 保护。四纤链中两根光纤收/发作主用信道, 另外两根收/发作备用信道。

3.4.3 环网——自愈环的分类

当今社会各行各业对信息的依赖愈来愈大, 要求通信网络能及时准确地传递信息。随着网上传输的信息越来越多, 传输信号的速率越来越快, 一旦网络出现故障(这是难以避免的, 例如土建施工中将光缆挖断), 将对整个社会造成极大的损坏。因此网络的生存能力即网络的安全性是当今第一要考虑的问题。

所谓自愈是指在网络发生故障(例如光纤断)时, 无须人为干预, 网络自动地在极短的时间内(ITU-T 规定为 50ms 以内), 使业务自动从故障中恢复传输, 使用户几乎感觉不到网络出了故障。其基本原理是网络要具备发现替代传输路由并重新建立通信的能力。替代路由可采用备用设备或利用现有设备中的冗余能力, 以满足全部或指定优先级业务的恢复。由上可知网络具有自愈能力的先决条件是有冗余的路由、网元强大的交叉能力以及网元具有一定的智能。

自愈仅是通过备用信道将失效的业务恢复, 而不涉及具体故障的部件和线路的修复或

更换,所以故障点的修复仍需人工干预才能完成,就像断了的光缆还需人工接好。目前环形网络的拓扑结构用得最多,因为环形网具有较强的自愈功能。自愈环的分类可按保护的级别、环上业务的方向、网元节点间光纤数来划分。按环上业务的方向可将自愈环分为单向环和双向环两大类;按网元节点间的光纤数可将自愈环划分为双纤环(一对收/发光纤)和四纤环(两对收发光纤);按保护的级别可将自愈环划分为通道保护环和复用段保护环两大类。

目前,SDH 保护方式一般采用如下五种结构的环形网络。

- 二纤单向通道保护环。
- 二纤双向通道保护环。
- 二纤单向复用段保护环。
- 二纤双向复用段保护环。
- 四纤双向复用段保护环。

1. 二纤单向通道保护环

二纤通道保护环由两根光纤组成两个环,其中一个为主环——S1;一个为备环——P1。两环的业务流向一定要相反,通道保护环的保护功能是通过网元支路板的“并发选收”功能来实现的,也就是支路板将支路上环业务“并发”到主环 S1、备环 P1 上,两环上业务完全一样且流向相反,平时网元支路板“选收”主环下支路的业务,如图 3-29(a)所示。

特点:

- (1) 分离路由, AC 业务通信非同时进行, S1 西收东发, P1 东收西发;
- (2) 并发选收, 即首段桥接, 末端倒换;
- (3) 1+1 保护方式;
- (4) 倒换速度快(一般 $\leq 15\text{ms}$), 业务流向简捷明了, 便于配置维护;
- (5) 网络的业务容量不大。

在网络正常时,网元 A 和 C 都选收主环 S1 上的业务。那么 A 与 C 业务互通的方式是 A 到 C 的业务经过网元 D 穿通,由 S1 光纤传到 C(主环业务);由 P1 光纤经过网元 B 穿通传到 C(备环业务)。在网元 C 支路板“选收”主环 S1 上的 A→C 业务,完成网元 A 到网元 C 的业务传输。网元 C 到网元 A 的业务传输与此类似。

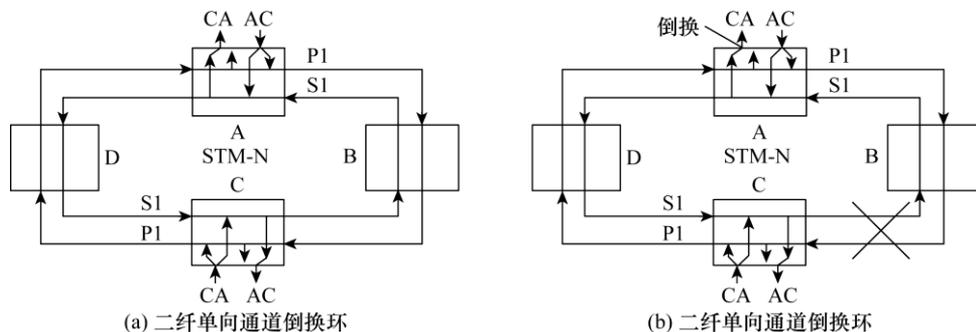


图 3-29

当 BC 光缆段的光纤同时被切断, 注意此时网元支路板的并发功能没有改变, 也就是此时 S1 环和 P1 环上的业务还是一样的。如图 3-29(b)所示。

网元 A 到网元 C 的业务由网元 A 的支路板并发到 S1 和 P1 光纤上, 其中 S1 业务经光纤由网元 D 穿通传至网元 C, P1 光纤的业务经网元 B 穿通, 由于 B-C 间光缆断, 所以光纤 P1 上的业务无法传到网元 C, 不过由于网元 C 默认选收主环 S1 上的业务, 这时网元 A 到网元 C 的业务并未中断, 网元 C 的支路板不进行保护倒换。

网元 C 的支路板将到网元 A 的业务并发到 S1 环和 P1 环上, 其中 P1 环上的 C 到 A 业务经网元 D 穿通传到网元 A, S1 环上的 C 到 A 业务, 由于 B-C 间光纤断所以无法传到网元 A, 网元 A 默认是选收主环 S1 上的业务, 此时由于 S1 环上的 C→A 的业务传不过来, A 网元线路 w 侧产生 R-LOS 告警, 所以往下插全“1”-AIS, 这时网元 A 的支路板就会收到 S1 环上 TU-AIS 告警信号。网元 A 的支路板收到 S1 光纤上的 TU-AIS 告警后, 立即切换到选收备环 P1 光纤上的 C 到 A 的业务, 于是 C→A 的业务得以恢复, 完成环上业务的通道保护, 此时网元 A 的支路板处于通道保护倒换状态——切换到选收备环方式。

2. 二纤双向通道保护环

二纤双向通道保护环网上业务为双向(一致路由), 保护机理也是支路的“并发选收”, 业务保护是 1+1 的, 网上业务容量与单向通道保护二纤环相同, 但结构更复杂, 与二纤单向通道环相比无明显优势, 故一般不用这种自愈方式。如图 3-30 所示。

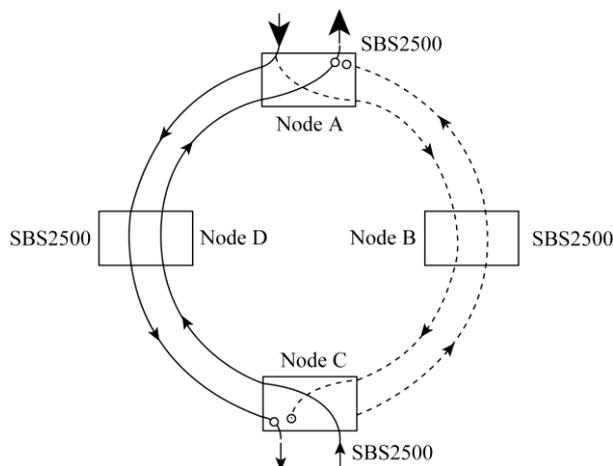


图3-30 2500 系统二纤双向通道保护环

特点:

- (1) 一致路由, AC 业务通信同时进行;
- (2) 并发选收;
- (3) 1+1 保护方式;
- (4) 业务容量与二纤单向通道保护环相同, 但可以在无保护环或线性应用场合下利用;
- (5) 结构较复杂, 与二纤单向通道环相比无明显优势, 故一般不用这种自愈方式。

3. 二纤单向复用段环

复用段环保护的业务单位是复用段级别的业务,需通过 STM-N 信号中 K1、K2 字节承载的 APS 协议来控制倒换的完成。单向复用段保护倒换环的自愈机理,如图 3-31 所示。

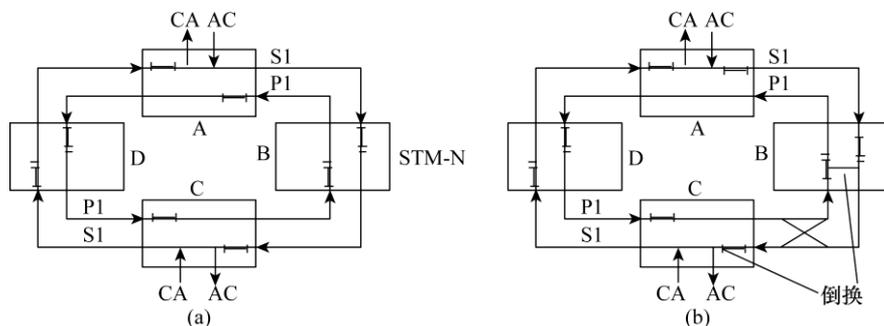


图3-31 二纤单向复用段倒换环

特点:

- (1) 分离路由, AC 业务通信非同时进行;
- (2) 保护时,与断纤相连的节点环回,其他节点穿透;
- (3) 业务首先上主光纤,不通时再倒换到备用光纤上,之后再倒换到主光纤上,收端始终从主光纤下业务;
- (4) 倒换速度一般是 $\leq 50\text{ms}$;
- (5) 1:1 业务保护方式,1:1 结构与 1+1 相似,区别是业务只向主光纤上发,备用光纤传输额外的业务量;
- (6) 最大业务容量在正常时为 $2 \times \text{STM-N}$ (包括了额外业务),发生保护倒换时为 $1 \times \text{STM-N}$;
- (7) 二纤单向复用段保护环由于业务容量与二纤单向通道保护环相差不大,倒换速率比二纤单向通道环慢,所以优势不明显,在组网时应用不多。

在环路正常时,网元 A 往主纤 S1 上发送到网元 C 的主用业务,往备纤 P1 上发送到网元 C 的备用业务,网元 C 从主纤上选收主纤 S1 上来的网元 A 发来的主用业务,从备纤 P1 上收网元 A 发来的备用业务(额外业务),图 3-31 中只画出了收主用业务的情况。网元 C 到网元 A 业务的互通与此类似。

在 C-B 光缆段间的光纤都被切断时,在故障端点的两网元 C、B 产生一个环回功能,如图 3-31(b)所示。网元 A 到网元 C 的主用业务先由网元 A 发到 S1 光纤上,到故障端点站 B 处环回到 P1 光纤上,这时 P1 光纤上的额外业务被清掉,改传网元 A 到网元 C 的主用业务,经 A、D 网元穿透,由 P1 光纤传到网元 C,由于网元 C 只从主纤 S1 上提取主用业务,所以这时 P1 光纤上的网元 A 到网元 C 的主用业务在 C 点处(故障端点站)环回到 S1 光纤上,网元 C 从 S1 光纤上下载网元 A 到网元 C 的主用业务。网元 C 到网元 A 的主用业务因为 C→D→A 的主用业务路由业中断,所以 C 到 A 的主用业务的传输与正常时无异,只不过备用业务此时被清除。

4. 二纤双向复用段保护环——双纤共享复用段保护环

二纤双向复用段保护环的保护机理如图 3-32 所示。

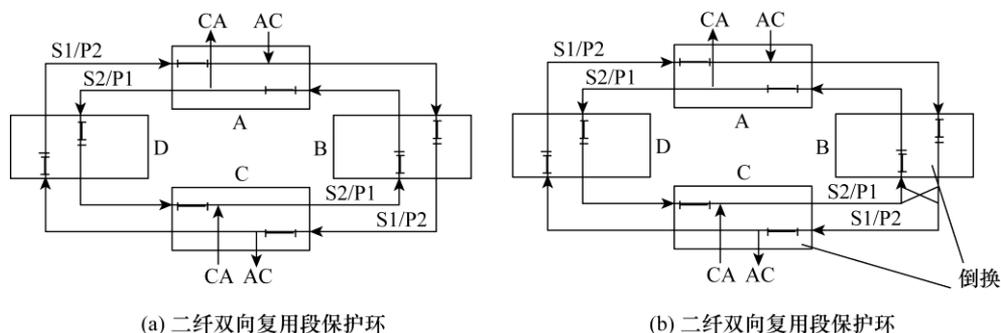


图 3-32

特点:

- (1) 一致路由, AC 业务通信通时进行;
- (2) 在二纤单向复用段环的基础上采用时隙技术, 与四纤双向复用段环比较, 节约了两根光纤;
- (3) 前半个小时隙传送主用业务, 后半个小时隙传送额外业务;
- (4) 二纤双向复用段保护环的业务容量为四纤双向复用段保护环的 1/2;
- (5) 二纤双向复用段保护环在组网中使用得较多, 主要用于 622 和 2500 系统, 也是适用于业务分散的网络。

在网络正常情况下, 网元 A 到网元 C 的主用业务放在 S1/P2 光纤的 S1 时隙, 备用业务放于 P2 时隙, 沿光纤 S1/P2 由网元 B 穿通传到网元 C, 网元 C 从 S1/P2 光纤上的 S1/P2 时隙分别提取出主用、额外业务。网元 C 到网元 A 的主用业务放于 S2/P1 光纤的 S2 时隙, 额外业务放于 S2/P1 光纤的 P1 时隙, 经网元 B 穿通传到网元 A, 网元 A 从 S2/P1 光纤上提取相应的业务。

在环网 B-C 间光缆段被切断时, 网元 A 到网元 C 的主用业务沿 S1/P2 光纤传到网元 B, 在网元 B 处进行环回(故障端点处环回), 环回是将 S1/P2 光纤上 S1 时隙的业务全部环到 S2/P1 光纤上的 P1 时隙上去, 此时 S2/P1 光纤 P1 时隙上的额外业务被中断。然后沿 S2/P1 光纤经网元 A、网元 D 穿通传到网元 C, 在网元 C 执行环回功能(故障端点站), 即将 S2/P1 光纤上的 P1 时隙所载的网元 A 到网元 C 的主用业务环回到 S1/P2 的 S1 时隙, 网元 C 提取该时隙的业务, 完成接收网元 A 到网元 C 的主用业务。

网元 C 到网元 A 的业务先由网元 C 将网元 C 到网元 A 的主用业务 S2, 环回到 S1/P2 光纤的 P2 时隙上, 这时 P2 时隙上的额外业务中断。然后沿 S1/P2 光纤经网元 D、网元 A 穿通到达网元 B, 在网元 B 处执行环回功能——将 S1/P2 光纤的 P2 时隙业务环到 S2/P1 光纤的 S2 时隙上去, 经 S2/P1 光纤传到网元 A 落地。

通过以上方式完成了环网在故障时业务的自愈。当前组网中常见的自愈环只有二纤单向通道保护环和二纤双向复用段保护环两种。

5. 四纤双向复用段保护环

随着环上网元的增多, 平均每个网元可上/下的最大业务随之减少, 网络信道利用率

不高。例如二纤单向通道环为 STM-16 系统时,若环上有 16 个网元节点,平均每个 2500 节点最大上/下业务只有一个 STM-1,这对资源是很大的浪费。为克服这种情况,出现了四纤双向复用段保护环这种自愈方式,这种自愈方式环上业务量随着网元节点数的增加而增加。如图 3-33 所示。

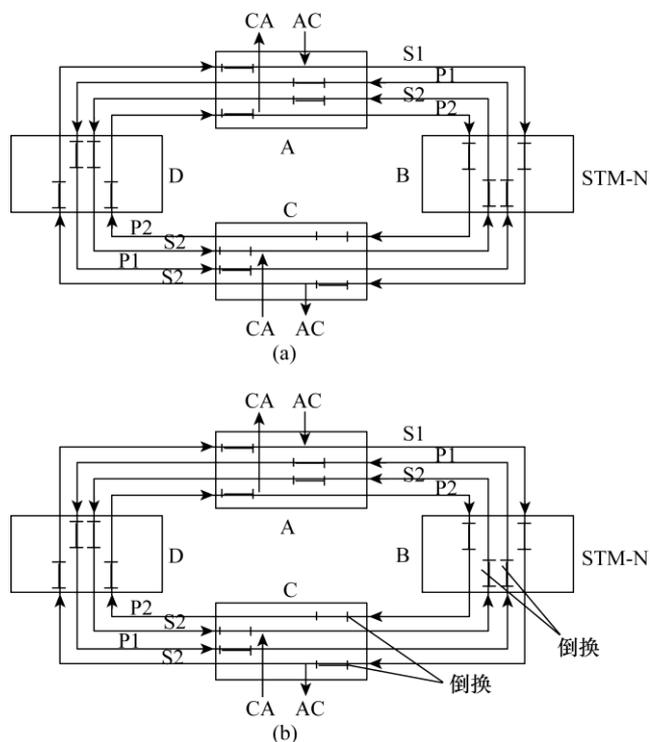


图3-33 四纤双向复用段倒换环

四纤环肯定是由 4 根光纤组成,这 4 根光纤分别为 S1、P1、S2、P2。其中,S1、S2 为主纤传送主用业务;P1、P2 为备纤传送备用业务;P1、P2 光纤分别用来在主纤故障时保护 S1、S2 上的主用业务。S1、P1、S2、P2 光纤的业务流向,S1 与 S2 光纤业务流向相反(一致路由,双向环),S1、P1 和 S2、P2 两对光纤上业务流向也相反。四纤环上每个网元节点的配置要求是双 ADM 系统,一个 ADM 只有东/西两个线路端口(一对收发光纤称之为一个线路端口),而四纤环上的网元节点是东/西向各有两个线路端口,所以要配置成双 ADM 系统。

在环网正常时,网元 A 到网元 C 的主用业务从 S1 光纤经 B 网元到网元 C,网元 C 到网元 A 的业务经 S2 光纤经网元 B 到网元 A(双向业务)。网元 A 与网元 C 的额外业务分别通过 P1 和 P2 光纤传送。网元 A 和网元 C 通过收主纤上的业务互通两网元之间的业务,通过收备纤上的业务互通两网元之间的备用业务,见图 3-33(a)。

当 B-C 间光缆段光纤均被切断后,在故障两端的网元 B、C 的光纤 S1 和 P1、S2 和 P2 有一个环回功能,如图 3-33(b) 所示(故障端点的网元环回)。这时,网元 A 到网元 C 的主用业务沿 S1 光纤传到 B 网元处,在此 B 网元执行环回功能,将 S1 光纤上的网元 A 到

网元 C 的主用业务环到 P1 光纤上传输, P1 光纤上的额外业务被中断, 经网元 A、网元 D 穿通(其他网元执行穿通功能)传到网元 C, 在网元 C 处 P1 光纤上的业务环回到 S1 光纤上(故障端点的网元执行环回功能), 网元 C 通过收主纤 S1 上的业务, 接收到网元 A 到网元 C 的主用业务。

网元 C 到网元 A 的业务先由网元 C 将其主用业务环到 P2 光纤上, P2 光纤上的额外业务被中断, 然后沿 P2 光纤经过网元 D、网元 A 的穿通传到网元 B, 在网元 B 处执行环回功能将 P2 光纤上的网元 C 到网元 A 的主用业务环回到 S2 光纤上, 再由 S2 光纤传回到网元 A, 由网元 A 下主纤 S2 上的业务。通过这种环回, 穿通方式完成了业务的复用段保护, 使网络自愈。

3.4.4 复杂网络的拓扑结构及特点

通过链和环的组合, 可构成一些较复杂的网络拓扑结构。

1. T 型网

T 型网实际上是一种树形网。如图 3-34 所示。

我们将干线上设为 STM-16 系统, 支线上设为 STM-4 系统, T 型网的作用是将支路的业务 STM-4 通过网元 A 上/下到干线 STM-16 系统上去, 此时支线接在网元 A 的支路上, 支线业务作为网元 A 的低速支路信号, 通过网元 A 进行分插。

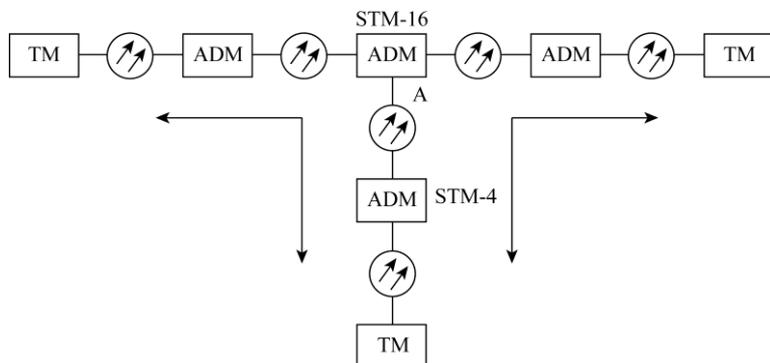


图 3-34 T形网拓扑图

2. 环带链

网络结构如图 3-35 所示。

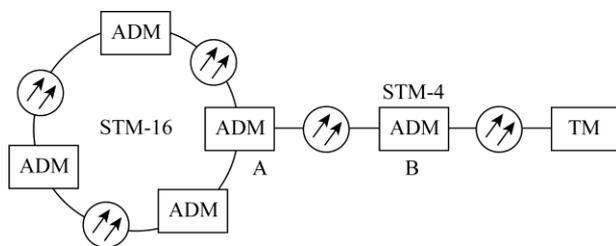


图 3-35 环带链拓扑图

环带链是由环网和链网两种基本拓扑形式组成，链接在网元 A 处，链的 STM-4 业务作为网元 A 的低速支路业务，并通过网元 A 的分/插功能上/下环。STM-4 业务在链上无保护，上环会享受环的保护功能。例如：网元 C 和网元 D 互通业务，A-B 光缆段断，链上业务传输中断，A-C 光缆段断，通过环的保护功能，网元 C 和网元 D 的业务不会中断。

3. 环形子网的支路跨接

网络结构如图 3-36 所示。

两 STM-16 环通过 A、B 两网元的支路部分连接在一起，两环中任何两网元都可通过 A、B 之间的支路互通业务，且可选路由多，系统冗余度高。两环间互通的业务都要经过 A、B 两网元的低速支路传输，存在一个低速支路的安全保障问题。

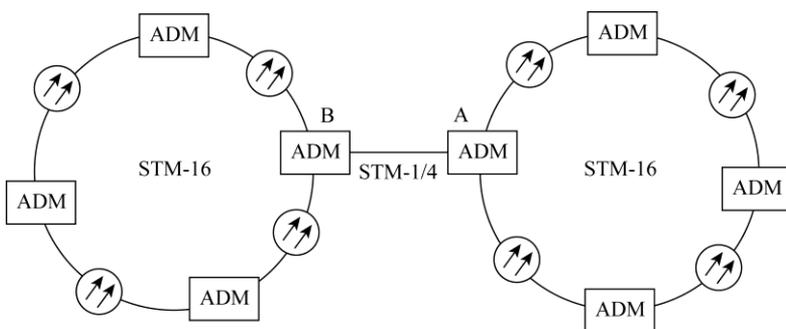


图 3-36 环形子网的支路跨接网络拓扑图

4. 相切环

网络结构如图 3-37 所示。

图中三个环相切于公共节点网元 A，网元 A 可以是 DXC，也可用 ADM 等效（环 II、环 III 均为网元 A 的低速支路）。这种组网方式可使环间业务任意互通，具有比通过支路跨接环网更大的业务疏导能力，业务可选路由更多，系统冗余度更高。不过这种组网存在重要节点（网元 A）的安全保护问题。

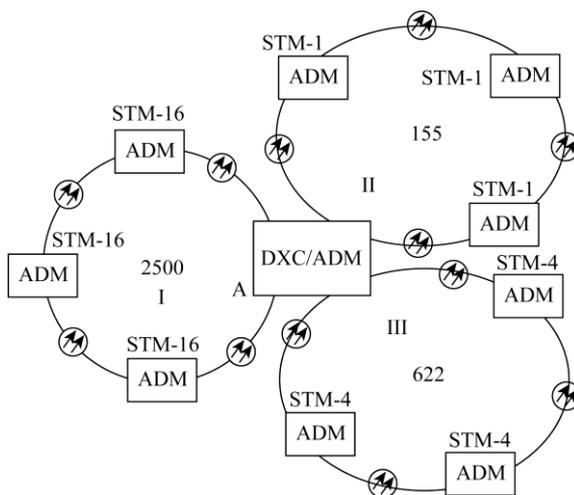


图 3-37 相切环拓扑图

5. 相交环

为备份重要节点及提供更多的可选路由, 加大系统的冗余度, 可将相切环扩展为相交环, 如图 3-38 所示。

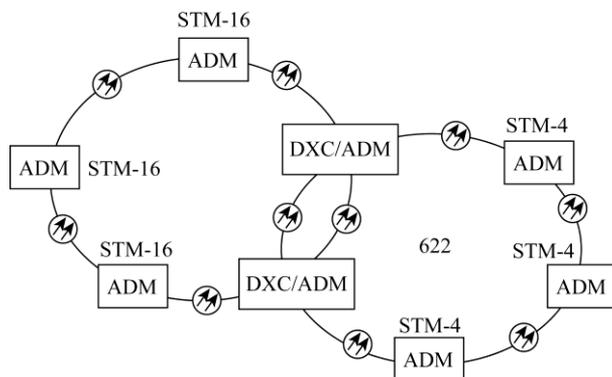


图 3-38 相交环拓扑图

6. 枢纽网

网络结构如图 3-39 所示。

网元 A 作为枢纽点可在支路侧接入各个 STM-1 或 STM-4 的链路或环, 通过网元 A 的交叉连接功能, 提供支路业务上/下主干线以及支路间业务互通。支路间业务的互通经过网元 A 的分/插, 可避免支路间铺设直通路由和设备, 也不需要占用主干网上的资源。

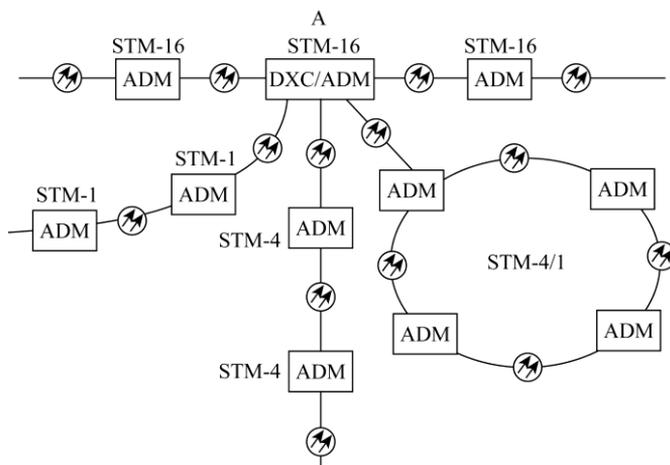


图 3-39 枢纽网拓扑图

3.4.5 SDH 网络的整体层次结构

同 PDH 相比 SDH 具有巨大的优越性, 但这种优越性只有在组成 SDH 网时才能完全发挥出来。传统的组网概念中, 提高传输设备利用率是第一位的, 为了增加线路的占空系数, 在每个节点都建立了许多直接通道, 致使网络结构非常复杂。而现代通信的发展, 最重要的任务是简化网络结构, 建立强大的运营、维护和管理(OAM)功能, 降低传输费用

并支持新业务的发展。我国的 SDH 网络结构分为四个层面,如图 3-40 所示。

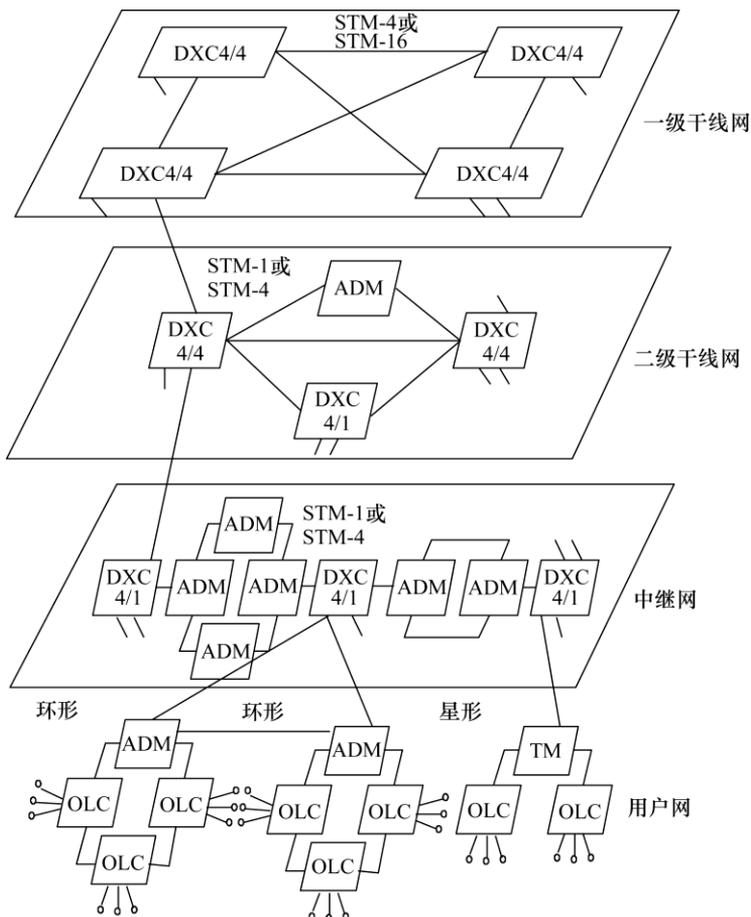


图 3-40 我国的 SDH 网络结构

最高层面为长途一级干线网,主要省会城市及业务量较大的汇接节点城市装有 DXC 4/4,其间由高速光纤链路 STM-4/STM-16 组成,形成了一个大容量、高可靠的网孔形国家骨干网结构,并辅以少量线形网。由于 DXC4/4 也具有 PDH 体系的 140Mbit/s 接口,因而原有的 PDH 的 140Mbit/s 和 565Mbit/s 系统也能纳入由 DXC4/4 统一管理的长途一级干线网中。

第二层面为二级干线网,主要汇接节点装有 DXC4/4 或 DXC4/1,其间由 STM-1/STM-4 组成,形成省内网状或环形骨干网结构并辅以少量线性网结构。由于 DXC4/1 有 2Mbit/s、34Mbit/s 或 140Mbit/s 接口,因而原来 PDH 系统也能纳入统一管理的二级干线网,并具有灵活调度电路的能力。

第三层面为中继网(即长途端局与市局之间以及市话局之间的部分),可以按区域划分为若干个环,由 ADM 组成速率为 STM-1/STM-4 的自愈环,也可以是路由备用方式的两节点环。这些环具有很高的生存性,又具有业务量疏导功能。环形网中主要采用复用段倒换环方式,但究竟是四纤还是二纤取决于业务量和经济的比较。环间由 DXC4/1 沟通,完

成业务量疏导和其他管理功能。同时也可以作为长途网与中继网之间以及中继网和用户网之间的网关或接口,最后还可以作为 PDH 与 SDH 之间的网关。

最低层面为用户接入网。由于处于网络的边界处,业务容量要求低,且大部分业务量汇集于一个节点(端局)上,因而通道倒换环和星形网都十分适合于该应用环境,所需设备除 ADM 外还有光用户环路载波系统(OLC)。速率为 STM-1/STM-4,接口可以为 STM-1 光/电接口,PDH 体系的 2Mbit/s、34Mbit/s 或 140Mbit/s 接口,普通电话用户接口、小交换机接口、2B+D 或 30B+D 接口以及城域网接口等。

用户接入网是 SDH 网中最庞大、最复杂的部分,它占整个通信网投资的 50% 以上,用户网的光纤化是一个逐步的过程。光纤到路边(FTTC)、光纤到大楼(FTTB)、光纤到家庭(FTTH)就是这个过程的不同阶段。目前在我国推广光纤用户接入网时必须考虑采用一体化的 SDH/CATV 网,不但要开通电信业务,而且还要提供 CATV 服务,这比较适合我国国情。

3.5 SDH 同步与定时

数字网中要解决的首要问题是网同步问题,因为要保证发端在发送数字脉冲信号时将脉冲放在特定时间位置上(即特定的时隙中),而收端要能在特定的时间位置处将该脉冲提取读取以保证收发两端的正常通信,而这种保证收/发两端能正确的在某一特定时间位置上提取/发送信息的功能则是由收/发两端的定时时钟来实现的。因此,网同步的目的是使网中各节点的时钟频率和相位都限制在预先确定的容差范围内,以免由于数字传输系统中收/发定位的不准确导致传输性能的劣化(误码、抖动)。

3.5.1 同步方式

解决数字网同步有两种方法:伪同步和主从同步。伪同步是指数字交换网中各数字交换局在时钟上相互独立,毫无关联,而各数字交换局的时钟都具有极高的精度和稳定度,一般用铯原子钟。由于时钟精度高,网内各局的时钟虽不完全相同(频率和相位),但误差很小,接近同步,于是称之为伪同步。主从同步指网内设一时钟主局,配有高精度时钟,网内各局均受控于该全局(即跟踪主局时钟,以主局时钟为定时基准),并且逐级下控,直到网络中的末端网元——终端局。

一般伪同步方式用于国际数字网中,也就是一个国家与另一个国家的数字网之间采取这样的同步方式,例如中国和美国的国际局均各有一个铯时钟,二者采用伪同步方式。主从同步方式一般用于一个国家、地区内部的数字网,它的特点是地区或国家只有一个主局时钟,网上其他网元均以此主局时钟为基准来进行本网元的定时,主从同步和伪同步的原理如图 3-41 所示。

为了增加主从定时系统的可靠性,可在网内设一个副时钟,采用等级主从控制方式。两个时钟均采用铯时钟,在正常时主时钟起网络定时基准作用,副时钟亦以主时钟的时钟为基准。当主时钟发生故障时,改由副时钟给网络提供定时基准,当主时钟恢复后,再切换回由主时钟提供网络基准定时。

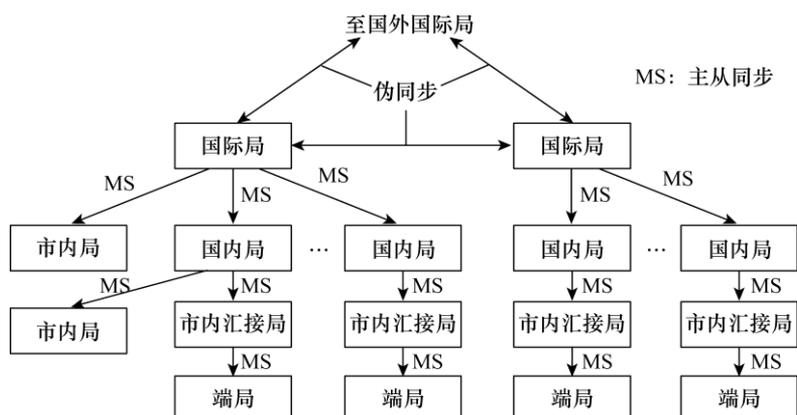


图3-41 伪同步和主从同步原理图

我国采用的同步方式是等级主从同步方式，其中主时钟在北京，副时钟在武汉。在采用主从同步时，上一级网元的定时信号通过一定的路由——同步链路或附在线路信号上从线路传输到下一级网元。该级网元提取此时钟信号，通过本身的锁相振荡器跟踪锁定此时钟，并产生以此时钟为基准的本网元所用的本地时钟信号，同时通过同步链路或通过传输线路（即将时钟信息附在线路信号中传输）向下级网元传输，供其跟踪、锁定。若本站收不到从上一级网元传来的基准时钟，那么本网元通过本身的内置锁相振荡器提供本网元使用的本地时钟并向下一级网元传送时钟信号。

数字网的同步方式除伪同步和主从同步外，还有相互同步、外基准注入、异步同步（即低精度的准同步）等。下面介绍外基准注入同步方式。外基准注入方式起备份网络上重要节点的时钟的作用，以避免当网络重要结点主时钟基准丢失，而本身内置时钟的质量又不够高，以至大范围影响网元正常工作的情况。外基准注入方法是利用GPS（卫星全球定位系统），在网元重要节点局安装GPS接收机，提供高精度定时，形成地区级基准时钟（LPR），该地区其他的下级网元在主时钟基准丢失后仍采用主从同步方式跟踪这个GPS提供的基准时钟。

3.5.2 主从同步网中从时钟的工作模式

主从同步的数字网中，从站（下级站）的时钟通常有三种工作模式。

1. 正常工作模式——跟踪锁定上级时钟模式

此时从站跟踪锁定的时钟基准是从上一级站传来的，可能是网中的主时钟，也可能是上一级网元内置时钟源下发的时钟，也可是本地区的GPS时钟。与从时钟工作的其他两种模式相比较，此种从时钟的工作模式精度最高。

2. 保持模式

当所有定时基准丢失后，从时钟进入保持模式，此时从站时钟源利用定时基准信号丢失前所存储的最后频率信息作为其定时基准而工作。即从时钟有“记忆”功能，通过“记忆”功能提供与原定时基准较相符的定时信号，以保证从时钟频率在长时间内与基准时钟频只有很小的频率偏差。但是由于振荡器的固有振荡频率会慢慢地漂移，故此种工作方式提供的较高精度时钟不能持续很久。此种工作模式的时钟精度仅次于正常工作模式的时钟精度。

3. 自由运行模式——自由振荡模式

当从时钟丢失所有外部基准定时,也失去了定时基准记忆或处于保持模式太长,从时钟内部振荡器就会工作于自由振荡方式。此种模式的时钟精度最低。

3.5.3 SDH 的引入对网同步的要求

数字网的同步性能对网络能否正常工作至关重要,SDH 网的引入对网的同步提出了更高的要求。当网络工作在正常模式时,各网元同步于一个基准时钟,网元节点时钟间只存在相位差而不会出现频率差,因此只会出现偶然的指针调整事件(网同步时,指针调整不常发生)。当某网元节点丢失同步基准时钟而进入保持模式或自由振荡模式时,该网元节点本地时钟与网络时钟将会出现频率差而导致指针连续调整,影响网络业务的正常传输。

SDH 网与 PDH 网会长期共存,SDH/PDH 边界出现的抖动和漂移主要来自指针调整和净负荷映射过程。在 SDH/PDH 边界节点上指针调整的频度与这种网关节点的同步性能密切相关。如果执行异步映射功能的 SDH 输入网关丢失同步,则该节点时钟的频偏和频移将会导致整个 SDH 网络的指针持续调整,恶化同步性能;如果丢失同步的网络节点是 SDH 网络连接的最后一个网络单元,则 SDH 网络输出仍有指针调整会影响同步性能;如果丢失同步的是中间的网络节点,只要输入网关仍然处于与基准时钟(PRC) 的同步状态,则紧随故障节点的仍处于同步状态的网络单元或输出网关可以校正中间网络节点的指针移动,因而不会在最后的输出网关产生净指针移动,从而不会影响同步性能。

3.5.4 SDH 网的同步方式

我国数字同步网采用分级的主从同步方式,即用单一基准时钟经同步分配网的同步链路控制全网同步,网中使用一系列分级时钟,每一级时钟都与上一级时钟或同一级时钟同步。

SDH 网的主从同步时钟可按精度分为四个类型(级别),分别对应不同的使用范围:作为全网定时基准的主时钟,作为转接局的从时钟,作为端局(本地局)的从时钟,作为 SDH 设备的时钟(即 SDH 设备的内置时钟)。ITU-T 将各级别时钟进行规范(对各级时钟精度进行了规范),时钟质量级别由高到低分列于下。

- 基准主时钟——满足 G. 811 规范。
- 转接局时钟——满足 G. 812 规范(中间局转接时钟)。
- 端局时钟——满足 G. 812 规范(本地局时钟)。
- SDH 网络单元时钟——满足 G. 813 规范(SDH 网元内置时钟)。

在正常工作模式下,传到相应局的各类时钟的性能主要取决于同步传输链路的性能和定时提取电路的性能。在网元工作于保护模式或自由运行模式时,网元所使用的各类时钟的性能,主要取决于产生各类时钟的时钟源的性能(时钟源相应的位于不同的网元节点处),因此高级别的时钟须采用高性能的时钟源。

在数字网中传送时钟基准应注意几个问题。

- (1) 在同步时钟传送时不应存在环路,如图 3-42 所示。

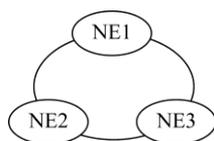


图 3 - 42 网络图

若 NE2 跟踪 NE1 的时钟, NE3 跟踪 NE2 的时钟, NE1 跟踪 NE3 的时钟, 这时同步时钟的传送链路组成了一个环路, 这时若某一网元时钟劣化, 就会使整个环路上网元的同步性能连锁性的劣化。

(2) 尽量减少定时传递链路的长度, 避免由于链路太长影响传输的时钟信号质量。

(3) 从站时钟要从高级设备或同一级设备获得基准。

(4) 应从分散路由获得主、备用时钟基准, 以防止当主用时钟传递链路中断后, 导致时钟基准丢失的情况。

(5) 选择可用性高的传输系统来传递时钟基准。

SDH 网元时钟源的种类

- 外部时钟源——由 SETPI 功能块提供输入接口。
- 线路时钟源——由 SPI 功能块从 STM - N 线路信号中提取。
- 支路时钟源——由 PPI 功能块从 PDH 支路信号中提取, 不过该时钟一般不用, 因为 SDH / PDH 网边界处的指针调整会影响时钟质量。
- 设备内置时钟源——由 SETS 功能块提供。

同时, SDH 网元通过 SETPI 功能块向外提供时钟源输出接口。

3.5.5 SDH 网络常见的定时方式

SDH 网络是整个数字网的一部分, 它的定时基准应是这个数字网的统一的定时基准。通常, 某一地区的 SDH 网络以该地区高级别局的转接时钟为基准定时源, 这个基准时钟可能是该局跟踪的网络主时钟、GPS 提供的地区时钟基准(LPR)或是本局的内置时钟源提供的时钟(保持模式或自由运行模式)。首先, 在该 SDH 网中要有一个 SDH 网元时钟主站, 这里所谓的时钟主站是指该 SDH 网络中的时钟主站, 网上其他网元的时钟以此网元时钟为基准, 即其他网元跟踪该主站网元的时钟。SDH 网是数字网的一部分, 网上同步时钟应为该地区的时钟基准时, 该 SDH 网上的主站一般设在本地区时钟级别较高的局, SDH 主站所用的时钟就是该转接局时钟。有 SETPI 功能块, 该功能块的作用就是提供设备时钟的输入 / 输出口。主站 SDH 网元的 SETS 功能块通过该时钟输入口提取转接局时钟, 以此作为本站和 SDH 网络的定时基准。若局时钟不从 SETPI 功能块提供的时钟输入口输入 SDH 主站网元, 那么此 SDH 网元可从本局上 / 下的 PDH 业务中提取时钟信息(依靠 PPI 功能块的功能)作为本 SDH 网络的定时基准。

SDH 网上其他 SDH 网元跟踪主站 SDH 网时钟可通过两种方法, 一是通过 SETPI 提供的时钟输出口将本网元时钟输出给其他 SDH 网元。因为 SETPI 提供的接口是 PDH 接口, 一般不采用这种方式(指针调整事件较多)。最常用的方法是将本 SDH 主站的时钟放于 SDH 网上传输的 STM - N 信号中, 其他 SDH 网元通过设备的 SPI 功能块来提取 STM - N 信

号中的时钟信息, 并进行跟踪锁定, 这与主从同步方式相一致。下面以几个典型的例子来说明此种时钟跟踪方式。如图 3-43 所示。

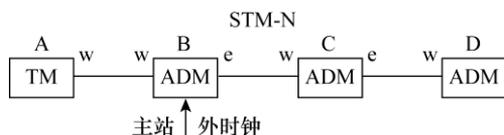


图 3-43 网络图

上图是一个链网的拓扑, B 站为此 SDH 网的时钟主站, B 网元的外时钟(局时钟)作为本站和此 SDH 网的定时基准。在 B 网元将业务复用进 STM-N 帧时, 时钟信息也就自然而然的附在 STM-N 信号上了。这时, A 网元的定时时钟可从线路 w 侧端口的接收信号 STM-N 中提取(通过 SPI), 以此作为本网元的本地时钟。同理, 网元 C 可从西向线路端口的接收信号提取 B 网元的时钟信息, 以此作为本网元的本地时钟, 同时将时钟信息附在 STM-N 信号上往下级网元传输; D 网元通过从西向线路端口的接收信号 STM-N 中提取的时钟信息完成与主站网元 B 的同步。这样就通过一级一级地主从同步方式, 实现了此 SDH 网的所有网元的同步。

当从站网元 A、C、D 丢失从上级网元来的时钟基准后, 进入保持工作模式, 经过一段时间后进入自由运行模式, 此时网络上网元的时钟性能劣化。

不管上一级网元处于什么工作模式, 下一级网元一般仍处于正常工作模式, 跟踪上一级网元附在 STM-N 信号中的时钟。所以, 若网元 B 时钟性能劣化, 会使整个 SDH 网络时钟性能连锁反应, 所有网上网元的同步性能均劣化(对应于整个数字网而言, 因为此时本 SDH 网上的从站网元还是处于时钟跟踪状态)。

当链很长时, 主站网元的时钟传到从站网元可能要转接多次和传输较长距离, 这时为了保证从站接收时钟信号的质量可在此 SDH 网上设两个主站, 在网上提供两个定时基准。每个基准分别由网上一部分网元跟踪, 减少了时钟信号传输距离和转移次数。不过要注意的是, 这两个时钟基准要保持同步及相同的质量等级。

环形网的时钟如图 3-44 所示。

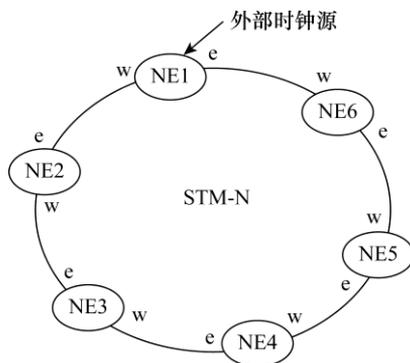


图 3-44 环形网的时钟网络图

环中 NE1 为时钟主站, 它以外部时钟源为本站和此 SDH 网的时钟基准, 其他网元跟踪这个时钟基准, 以此作为本地时钟的基准。在从站时钟的跟踪方式上与链网基本类似, 只不过此时从站可以从两个线路端口西向 / 东向(ADM 有两个线路端口)的接收信号 STM - N 中提取出时钟信息, 不过考虑到转接次数和传输距离对时钟信号的影响, 从站网元最好从最短的路由和最少的转接次数的端口方向提取。例如 NE5 网元跟踪西向线路端口的时钟, NE3 跟踪东向线路端口的时钟较适合。

再看图 3-45。

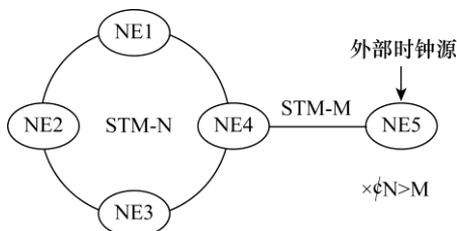


图 3-45 网络图

图中 NE5 为时钟主站, 它以外部时钟源(局时钟)作为本网元和 SDH 网上所有其他网元的定时基准。NE5 是环带的一个链, 这个链带在网元 NE4 的低速支路上。

NE1、NE2 和 NE3 通过东 / 西向的线路端口跟踪、锁定网元 NE4 的时钟, 而网元 NE4 的时钟是跟踪主站 NE5 传来的时钟(放在 STM - M 信号中)。网元 NE4 通过支路光板的 SPI 模块提取 NE5 通过链传来的 STM - N 信号的时钟信息, 并以此同步环上的下级网元(从站)。

3.5.6 S1 字节和 SDH 网络时钟保护倒换原理

随着 SDH 光同步传输系统的发展和广泛应用, 越来越多的人对 ITU - T 定义的有关同步时钟 S1 字节的原理及其应用显示出浓厚的兴趣。这里介绍 S1 字节的工作原理以及利用 S1 字节实现同步时钟保护倒换的控制协议。并通过一个例子说明 S1 字节的应用。

在 SDH 网中, 各个网元通过一定的时钟同步路径一级一级地跟踪到同一个时钟基准源, 从而实现整个网的同步。通常, 一个网元获得同步时钟源的路径并非只有一条。即, 一个网元同时可能有多个时钟基准源可用。这些时钟基准源可能来自于同一个主时钟源, 也可能来自于不同质量的时钟基准源。在同步网中, 保持各个网元的时钟尽量同步是极其重要的。为避免由于一条时钟同步路径的中断, 导致整个同步网的失步, 有必要考虑同步时钟的自动保护倒换问题。即, 当一个网元所跟踪的某路同步时钟基准源发生丢失的时候, 要求它能自动地倒换到另一路时钟基准源上。这一路时钟基准源, 可能与网元先前跟踪的时钟基准源是同一个时钟源, 也可能是一个质量稍差的时钟源。显然, 为了完成以上功能, 需要知道各个时钟基准源的质量信息。

ITU - T 定义的 S1 字节, 正是用来传递时钟源的质量信息的。它利用段开销字节 S1 字节的高四位, 来表示 16 种同步源质量信息。

表 3-3 是 ITU - T 已定义的同步状态信息编码。利用这一信息, 遵循一定的倒换协议, 就可实现同步网中同步时钟的自动保护倒换功能。

表3-3 同步状态信息编码

S1(b5~b8)	S1 字节	SDH 同步质量等级描述
0000	0x00	同步质量不可知(现存同步网)
0001	0x01	保留
0010	0x02	G. 811 时钟信号
0011	0x03	保留
0100	0x04	G. 812 转接局时钟信号
0101	0x04	保留
0110	0x06	保留
0111	0x07	保留
1000	0x08	G. 812 本地局时钟信号
1001	0x09	保留
1010	0x0A	保留
1011	0x0B	同步设备定时源(SETS) 信号
1100	0x0C	保留
1101	0x0D	保留
1110	0x0E	保留
1111	0x0F	不应用作同步

在 SDH 光同步传输系统中, 时钟的自动保护倒换遵循以下协议。规定一同步时钟源的质量阈值, 网元首先从满足质量阈值的时钟基准源中选择一个级别最高的时钟源作为同步源。并将此同步源的质量信息(即 S1 字节) 传递给下游网元。若没有满足质量阈值的时钟基准源, 则从当前可用的时钟源中, 选择一个级别最高的时钟源作为同步源。并将此同步源的质量信息(即 S1 字节)传递给下游网元。

若网元 B 当前跟踪的时钟同步源是网元 A 的时钟, 则网元 B 的时钟对于网元 A 来说为不可用同步源。

下面通过举例说明同步时钟自动保护倒换的实现。

如图 3-46 所示的传输网中, BITS 时钟信号通过网元 1 和网元 4 的外时钟接入口接入。这两个外接 BITS 时钟, 互为主备, 满足 G. 812 本地时钟基准源质量要求。正常工作的时候, 整个传输网的时钟同步于网元 1 的外接 BITS 时钟基准源。

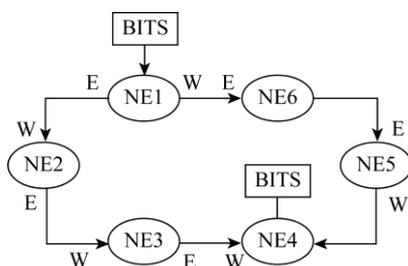


图3-46 正常状态下的时钟跟踪

设置同步源时钟质量阈值“不劣于 G. 812 本地时钟”。各个网元的同步源及时钟源级别配置如表 3-4 所示。

表 3-4 各网元同步源及时钟源级别配置

网元	同步源	时钟源级别
NE1	外部时钟源	外部时钟源、西向时钟源、东向时钟源、 内置时钟源
NE2	西向时钟源	西向时钟源、 东向时钟源、 内置时钟源
NE3	西向时钟源	西向时钟源、 东向时钟源、 内置时钟源
NE4	西向时钟源	西向时钟源、 东向时钟源、 外部时钟源、 内置时钟源
NE5	东向时钟源	东向时钟源、 西向时钟源、 内置时钟源
NE6	东向时钟源	东向时钟源、 西向时钟源、 内置时钟源

对于网元 1 和网元 4, 还需设置外接 BITS 时钟 S1 字节所在的时隙(由 BITS 提供者给出)。正常工作的情况下, 当网元 2 和网元 3 间的光纤发生中断时, 将发生同步时钟的自动保护倒换。遵循上述的倒换协议, 由于网元 4 跟踪的是网元 3 的时钟, 因此网元 4 发送给网元 3 的时钟质量信息为“时钟源不可用”, 即 S1 字节为 0XFF。所以当网元 3 检测到西向同步时钟源丢失时, 网元 3 不能使用东向的时钟源作为本站的同步源, 而只能使用本板的内置时钟源作为时钟基准源, 并通过 S1 字节将这一信息传递给网元 4。即网元 3 传给网元 4 的 S1 字节为 0X0B, 表示“同步设备定时源(SETS)时钟信号”。网元 4 接收到这一信息后, 发现所跟踪的同步源质量降低了(原来为“G812 本地局时钟”, 即 S1 字节为 0X08), 不满足所设定的同步源质量阈值的要求, 则网元 4 需要重新选取符合质量要求的时钟基准源。网元 4 可用的时钟源有 4 个, 西向时钟源、东向时钟源、内置时钟源和外接 BITS 时钟源。显然, 此时只有东向时钟源和外接 BITS 时钟源满足质量阈值的要求。由于网元 4 中配置东向时钟源的级别比外接 BITS 时钟源的级别高, 所以网元 4 最终选取东向时钟源作为本站的同步源。网元 4 跟踪的同步源由西向倒换到东向后, 网元 3 东向的时钟源变为可用。显然, 此时网元 3 可用的时钟源中, 东向时钟源的质量满足质量阈值的要求, 且级别也是最高的, 因此网元 3 将选取东向时钟源作为本站的同步源。最终, 整个传输网的时钟跟踪情况将如图 3-47 所示。

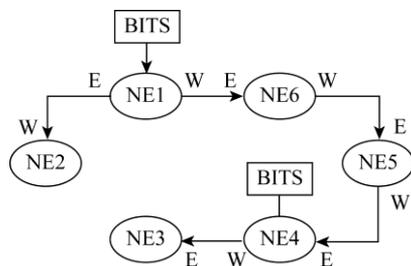


图 3-47 网元 2、3 间光纤损坏下的时钟跟踪

若正常工作的情况下,网元 1 的外接 BITS 时钟出现了故障,则依据倒换协议,按照上述的分析方法可知,传输网最终的时钟跟踪情况将如图 3-48 所示。

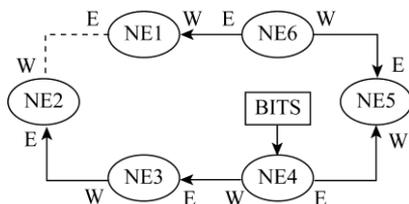


图3-48 网元1外接BITS失效下的时钟跟踪

若网元 1 和网元 4 的外接 BITS 时钟都出现了故障。则此时每个网元所有可用的时钟源均不满足基准源的质量阈值。根据倒换协议,各网元将从可用的时钟源中选择级别最高的一个时钟源作为同步源。假设所有 BITS 出故障前,网中的各个网元的时钟同步于网元 4 的时钟。则所有 BITS 出故障后,通过分析不难看出,网中各个网元的时钟仍将同步于网元 4 的时钟,如图 3-49 所示。只不过此时,整个传输网的同步源时钟质量由原来的 G.812 本地时钟降为同步设备的定时源时钟。但整个网仍同步于同一个基准时钟源。

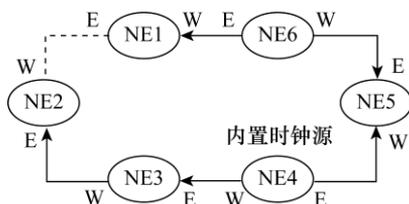


图3-49 两个外接BITS均失效下的时钟跟踪

由此可见,采用了时钟的自动保护倒换后,同步网的可靠性和同步性能都大大提高了。

3.6 SDH 的发展趋势

SDH 作为新一代理想的传输体系,具有路由自动选择能力,上下电路方便,维护、控制、管理功能强,标准统一,便于传输更高速率的业务等优点,能很好地适应通信网飞速发展的需要。迄今,SDH 得到了空前的应用与发展。在标准化方面,已建立和即将建立的一系列建议已基本上覆盖了 SDH 的方方面面。在干线网和长途网、中继网、接入网中它开始广泛应用。且在光纤通信、微波通信、卫星通信中也积极地开展研究与应用。

3.6.1 SDH 技术应用于接入网

近些年,点播电视、多媒体业务和其他宽带业务如雨后春笋般纷纷出现,为 SDH 应用在接入网中提供了广阔的空间。SDH 技术应用于接入网的好处有以下几个。

(1) 对于要求高可靠、高质量业务的大型企事业用户,SDH 可以提供较为理想的网络性能和业务可靠性。

(2) 可以将网管范围扩展至用户端, 简化维护工作。

(3) 利用 SDH 固有灵活性, 可使网络运营者更快、更有效地提供用户所需的长期和短期业务需求。

可以预计 SDH 技术将不断发展。随着网络的发展, 它将进一步为终端用户提供宽带服务, 在迎接 ATM、CATV、多媒体、因特网、全光网络带来的机会和提出的挑战中, 将得到更加广泛的应用。

SDH 以其明显的优越性已成为传输网发展的主流。SDH 技术与一些先进技术相结合, 如光波分复用(WDM)、ATM 技术、Internet 技术(IP over SDH) 等, 使 SDH 网络的作用越来越大。SDH 已被各国列入 21 世纪高速通信网的应用项目, 是电信界公认的数字传输网的发展方向, 具有远大的商用前景。

当然, 网络业务的多样化, 给城域传输网提出了新的挑战, 为了避免多个重叠的业务网络, 降低网络设备投资成本, 简化网络业务的部署与管理, 城域光传输网络必将向多业务化方向发展。新一代的光接入网传输系统也将朝着多业务化和智能化发展。

3.6.2 下一代SDH设备

下一代 SDH 设备就是指由传统 SDH 设备发展而来的多业务传输设备 MSTP, 综观国内 MSTP 的发展, 可以分为四个阶段:

第一阶段是雏形阶段(Original Stage), 在此阶段, SDH 设备采用数量较少的通道对以太网业务实现透明传送, 可以为运营商提供远程局域网互联, 通常并不对外开展运营, 整体功能较弱。

第二阶段是灵活阶段(Flexible Stage), 在此阶段, SDH 已经演化成为符合国标要求的 MSTP, 除以太网透传功能外, 还能提供以太网 L2 交换以及 ATM 业务的接入和汇聚功能, 设备功能焕然一新。在提供以太和 ATM 接口的同时, 在系统的支路对以太网和 ATM 信号开始执行处理, 这一结果便是将大量的 mini 型以太网和 ATM 交换机移到了传输设备上, 迫使传输设备开始对这些 mini 设备进行功能的不断升级和完善, 并对原有的网络管理体系进行扩充, 以适应 MSTP 的网络管理。作为以太和 ATM 功能完善带来的一个重大的附加结果是: 光通信设备开始关注对 QOS 问题的解决和处理, 以太网带来了 VLAN 和生成树(STP/RSTP/MSTP), ATM 带来了 CBR、rt-VBR、nrt-VBR 和 UBR。由于光通信在这一阶段功能从物理层扩展到了链路层, 因此, 在部分应用场合, 这与现有的以太网交换机、ATM 交换机, 乃至边缘路由器的功能定位重叠。

第三阶段是动态阶段(Dynamic Stage), 在此阶段, RPR 处理功能已经融入 MSTP, 可以实现以太网带宽的统计复用、公平的带宽分配、更加严格的 CoS 和 QoS 以及愈发安全的用户隔离功能。MSTP 功能进一步延伸和对新的网络拓扑结构下物理层保护功能的追求。这一阶段的大体目标应该是将 RPR 和 MPLS 等功能引入进来, 在必要的时候, 有可能 MSTP 会将 routing 功能纳入进来, 而在业务层面便是对 L2 - VPN 和 L3 - VPN 以及 QOS / SLA 等数据业务话题的付诸实施, 应该说这一阶段是对 flexible 阶段的改进。

第四阶段是智能阶段(Intelligent Stage), 即在 SDH 传送网的层面上, 增加智能化的控制层面, 从而快速响应业务层的带宽实时申请, 并更多地采用交换式连接来建立 SDH 电

路或波长通道,还能根据实际运营的需要随时拆除、更新或重建电路或通道,为带宽租用和光虚拟专网(O-VPN)等运营场合提供智能化的策略。

目前国标《基于SDH的MSTP技术要求》已经成熟,引起了各方面的极大关注。MSTP可以基于多种线路速率实现,包括155/622Mb/s、2.5Gb/s和10Gb/s等。一方面,MSTP保留了固有的TDM交叉能力和传统的SDH/PDH业务接口,继续满足话音业务的需求;另一方面,MSTP提供ATM处理、Ethernet透传以及Ethernet L2交换功能来满足数据业务的汇聚、梳理和整合的需要。

MSTP可以提供ATM处理模块,针对ATM业务接入,比如多点DSLAM接入到ATM骨干交换机的应用场合(还包括未来3G的BTS接入到NodeB、或NodeB接入到RNC的应用场合),通过VP/VC信元交换和统计复用功能,将在若干节点分别接入的多个155Mb/s时隙收敛到SDH环的一个155Mb/s时隙,实现1:N业务收敛功能,节省了带宽资源,同时所有业务可以共享ATM的VP-Ring保护;如果SDH的通道或复用段保护启用,则可以屏蔽掉ATM的VP-Ring保护;此外,ATM处理模块还可以提供PVC专线和ATM组播业务。

MSTP可以提供Ethernet的透明传送功能,将来自用户以太网的信号不经过L2交换,直接映射到SDH的虚容器(VC)中,然后通过SDH网络进行点到点传送。目前,10Mb/s、FE甚至GE业务可以通过多种途径在网络中传送,比如10Mb/s和FE业务可以采用VC-12或VC-3的虚级联方式承载,而GE业务则可采用VC-4或VC-3/STS-1连续级联的方式来承载。Ethernet over SDH的映射协议除采用PPP/HDLC或LAPS外,也可支持通用成帧规程GFP。

除透传功能外,MSTP还提供L2交换功能,即在一个或多个用户的以太网接口与一个或多个独立的基于SDHVc-N的链路之间,提供基于Ethernet MAC的交换,实现基于端口的VLAN、基于ID Tag的VLAN和虚拟网桥(Virtual Bridge)功能、全双工流量控制、带宽共享、端口汇聚以及相应的STP处理和保护等。

MSTP中新型的链路容量自动调整策略,即LCAS,可以实现:即使SDH的一些VC-N通道发生故障或出现告警指示信号AIS,可以根据相互的握手协议自动降低承载带宽,同时所承载的数据业务不能有太大的损伤,即丢包率和时延可以降低到最低程度;如果告警消失或故障恢复,所承载的数据业务相应要恢复到最初的配置带宽。

从本质上来讲,弹性分组环RPR是跟SDH和现行MSTP全面竞争的一种技术,但MSTP可以一定程度融合RPR技术,比如将RPR设计成为MSTP的一种功能模块,从而实现带宽的统计复用、公平的带宽分配、严格的业务分级CoS和QoS以及真正意义上的用户隔离功能。此外,RPR具备自己专用的保护策略,比如环回和主导方式,如果要与SDH保护协同起来,同理需要拖延时间机制来保证。

3.6.3 展望未来智能光传送网

目前,客户层网络(包括传统PSTN交换机、ATM交换机、IP路由器甚至图像处理设备)和传送网络之间只是物理上的连接,或称为“硬连接”,传送网络只是傻瓜式的将客户层信号从一端传送到另一端,而这样的承载通道一旦建立,几个月、半年、一年甚至更长时间不会轻易改变。而要做到智能化,含义就是:客户层网络需要多大的带宽,应该向传

送网络提出申请,即实现“软连接”,传送网络应该迅捷地响应申请,并及时地提供一条最佳的连接通道,而且这样的连接通道可以根据需要改变路由,也可以随时被拆除和重建。

下一代传送网络的远期目标是:采用自动交换传送网 ASTN 的体制,在现有的 SDH / MSTP 以及未来城域 OADM / OXC / OTN 的传送平面上,引入一个智能化的、通过软交换信令实现的控制平面,借以实现动态的 SDH 电路配置、光波长路由配置和最灵活的各级带宽分配。

智能光网络的本质就是将传统的永久性连接(PC)改造成为软永久性连接(SPC)甚至交换式连接(SC)。业务层设备根据自身的需要,通过 UNI 信令发起带宽申请,控制层面的各智能网元内部设置呼叫控制器、连接控制器、路由控制器、协议控制器、策略控制器还有链路资源管理等构件,分工协作,共同完成智能化控制功能。智能网元之间通过 I - NNI 或 E - NNI 信令协议处理,采取网络拓扑结构自动识别以及自动邻居发现等机制迅捷地建立连接通道,快速地为业务层网络建立承载通路,而且根据网络实际情况的需要,已经建立的通路可以随时被释放和拆除,或者倒换到新的连接通路。这样,整个传送网发生了革命性的变化,即从原来傻瓜式的、静态的网络升华为交换式的、可以直接进行带宽租赁和直接进行盈利的智能光网络。

在未来一段时间内,光传送网络将朝着智能、高效、灵活、经济、稳定的趋势发展,业务需求决定技术发展方向,随着新型业务种类的出现,必定要对过去一些技术进行改进、综合或提出新的技术来满足用户、运营商、设备制造商等对网络新的需求。因此,随着通信网络和通信技术的发展,SDH 技术仍需进一步发展,在不能满足时代对网络的需求时,将被新的技术所取代。

习 题

1. 为什么 SDH 体制适合大容量传输的情况?
2. 画出 STM - 1 的帧结构图并简述各组成部分的作用。
3. 画出 2M 信号复用到 STM - N 的示意图,并简述过程。
4. 简述 STM - 1 复用至 STM - 16,其段开销字节是如何复用处理的。
5. 试计算 STM - 1 的比特速率。
6. 试计算 STM - 1 中段开销的比特数和传输速率。
7. 简述二纤单向通道保护和二纤双向复用段保护的各自特点及相互区别。
8. MS - AIS 告警的引发机理是什么?
9. 引发 HP - RDI 的可能告警有哪些?
10. TTF 功能块的作用是什么?
11. DXC4 / 1 的含义是什么?
12. 画出 SDH 基本网络单元在 SDH 网络中使用时的系统结构图。
13. 画出单向通道倒换环的结构示意图。
14. 画出双向复用段倒换环的结构示意图。
15. 画出主从同步方式下工作的 SDH 网的时钟分配示意图。