第七章 定时与同步

目标：

掌握数字网的同步方式.

掌握主从同步方式中，节点从时钟的三种工作模式的特点.

了解SDH的引入对网同步的要求.

知道SDH网主从同步时钟的类型.

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解读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）。

7.1 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，

它的特点是国家或地区只有一个主局时钟，网上其它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7-1所示。

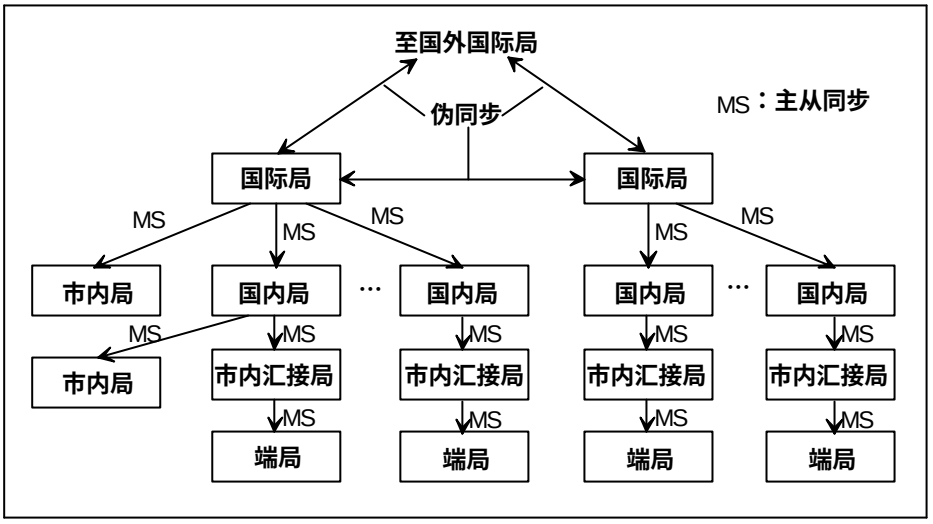


图7-1 伪同步和主从同步原理图

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。

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。下面讲一下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），该地区其它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。

7.2 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。

- 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。

与从时钟工作的其它两种模式相比较，此种从时钟的工作模式精度最高。

- 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。也就是说从时钟有“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。

- 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，实属万不得已而为之。

7.3 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。

7.4 SDH网的同步方式

7.4.1 SDH网同步原则

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。

例如图7-2所示。

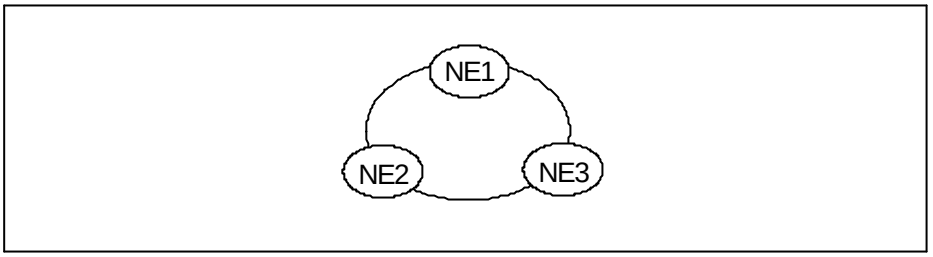


图7-2 网络图

若NE2跟踪NE1的时钟，NE3跟踪NE2，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的质量。

3）从站时钟要从高一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。

7.4.2 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。

7.4.3 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）或干脆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）。那么这个SDH网是怎样跟踪这个基准时钟保持网络同步呢？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，网上其它网元的时钟以此网元时钟为基准，也就是说其它网元跟踪该主站网元的时钟，那么这个主站的时钟是何处而来？因为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。我们在讲设备逻辑组成时，讲过设备有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。

⚠ 注意

后一种方法不常用，因为SDH/PDH网络边界处（也即是PDH⇔SDH处）指针调整较多，信号抖动较大，影响时钟信号的质量.

此SDH网上其它SDH网元是如何跟踪这个主站SDH网时钟呢？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它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，其它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。

见图7-3。

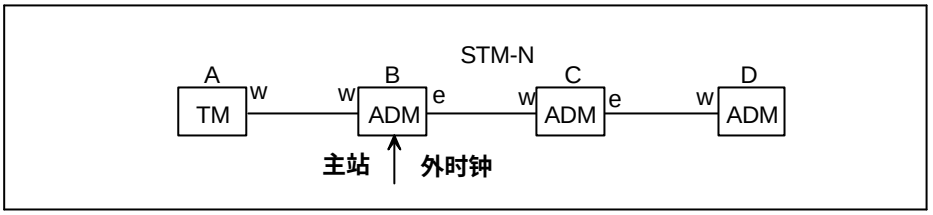


图7-3 网络图

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的主从同步方式，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。

⚠ 注意

A网元同步性能劣化不会影响到网元C和网元D，而C网元同步性能劣化会影响到网元D，因为网元C是网元D的时钟跟踪的上一级网元，即对网元D来说，网元C是它的主站.

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。

📖 **技术细节：**

为防止SDH主站的外部基准时钟源丢失，可将多路基准时钟源输入SDH主站，这多个基准时钟源可按其质量划分为不同级别，SDH主站在正常时跟踪外部高级别时钟，在高级别基准时钟丢失后，转向跟踪较低级别的外部基准时钟，这样提高了系统同步性能的可靠性.

那么环网的时钟是如何跟踪的呢？如图7-4所示。

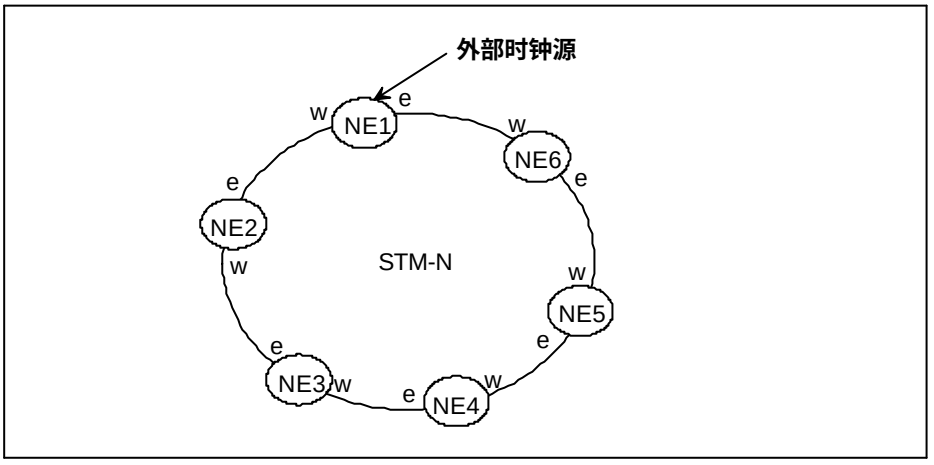


图7-4 环形网网络图

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，其它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7-5：

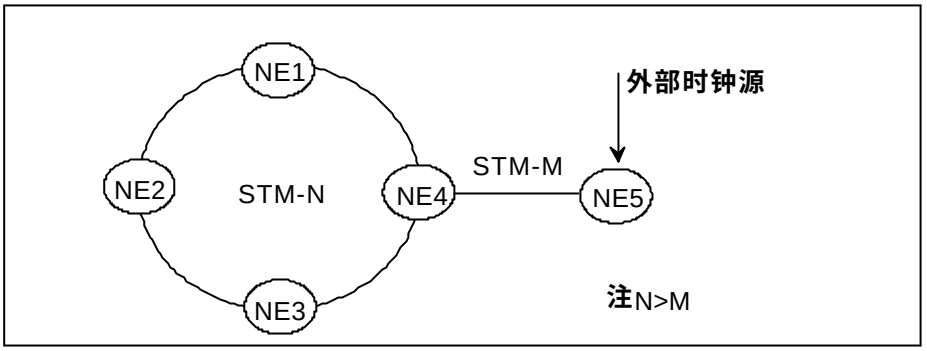


图7-5 网络图

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网上所有其它网元的定时基准。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）。怎样跟踪呢？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）。

7.5 S1字节和SDH网络时钟保护倒换原理

1. S1字节工作原理

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了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。也就是说，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。也就是说，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7-1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7-1 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。

2. 工作实例

下面通过举例的方法，来说明同步时钟自动保护倒换的实现。

如图7-6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G812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。

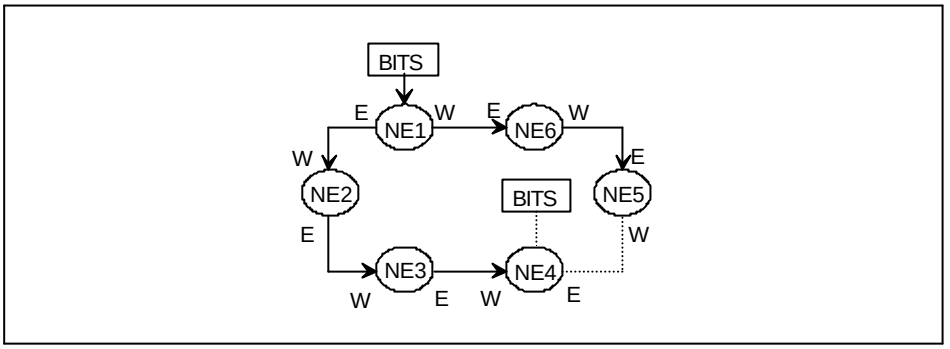


图7-6 正常状态下的时钟跟踪

设置同步源时钟质量阈值“不劣于G812本地时钟”。各个网元的同步源及时钟源级别配置如表7-2所示。

表7-2 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

另外，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7-7所示。

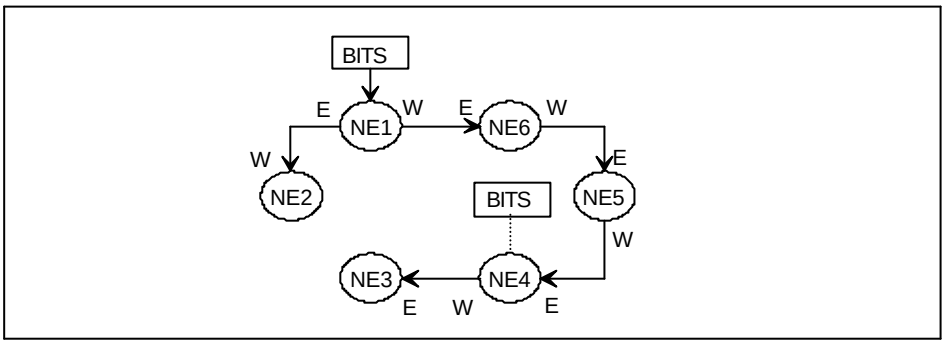


图7-7 网元2、3间光纤损坏下的时钟跟踪

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7-8所示。

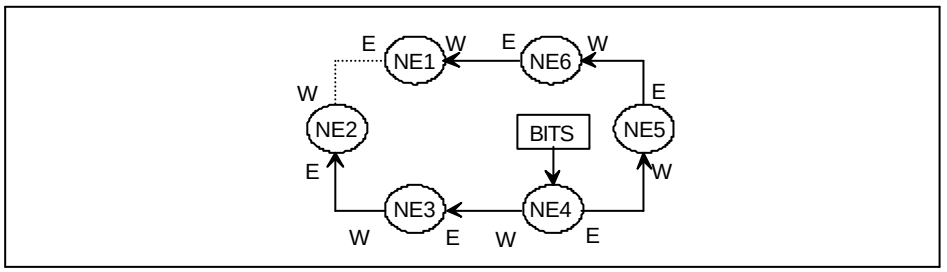


图7-8 网元1外接BITS失效下的时钟跟踪

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7-9所示。只不过此时，整个传输网的同步源时钟质量由原来的G812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。

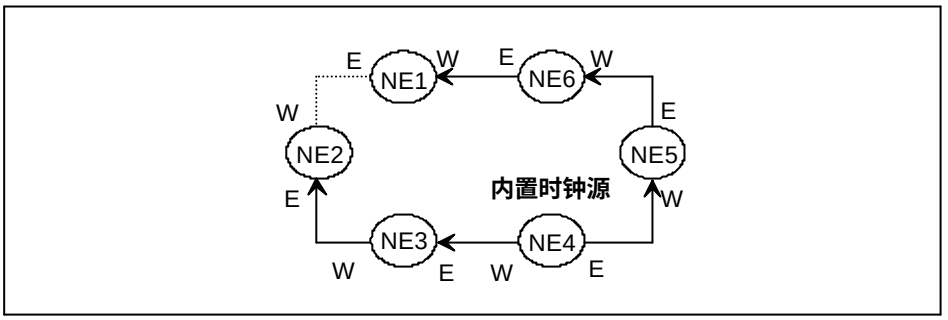


图7-9 两个外接BITS均失效下的时钟跟踪

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。

？ 想一想：

想想看本节都讲了些什么？

1. 网的同步方式——主从同步、伪同步.

2. 同步网中节点时钟的三种工作模式.

3. SDH网对网同步的要求，及SDH网主从同步时钟的质量级别划分.

4. H网中主从同步的实现方法.

其中，4. 是重点. 你掌握了吗？

小结

本节主要讲述了SDH同步网的常用同步方式，针对设备讲了时钟的常见跟踪方式。

习题

1. 数字网的常见同步方式是_____、_____。
2. 一个SDH网元可选的时钟来源_____、_____、_____、_____。