



数字同步网 维护技术

仲跻来 袁海 等 编著



人民邮电出版社
www.pptph.com.cn

数字同步网维护技术

仲跻来 袁 海 等编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字同步网维护技术/仲跻来 袁海等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2001.6

ISBN 7-115-09241-9

I. 数... II. 仲、袁... III. 同步通信网—数字网络体系 IV. TN915.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 18912 号

数字同步网维护技术

◆ 编 著 仲跻来 袁 海 等

责任编辑 孙宇昊

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ pptph.com.cn

网址 <http://www.pptph.com.cn>

读者热线 010-67129212 010-67129211(传真)

北京汉魂图文设计有限公司制作

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 1/16

印张: 10.5

字数: 259 千字 2001 年 6 月第 1 版

印数: 1-5 000 册 2001 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-09241-9/TN·1709

定价: 18.00 元

内 容 提 要

本书是一本专门介绍数字同步网维护技术的图书，全书共分 7 章，主要内容有：数字同步网基本概念、数字同步网网络结构及网管系统、数字同步网设备介绍、被同步设备的接入、数字同步网技术指标和测试方法、数字同步网常用测试仪表，以及与数字同步网相关的 ITU-T 标准和我国的国标、邮电技术规定、BITS 输出端口使用规定等。

本书主要读者对象为从事数字同步网维护工作的技术人员和管理人员。

前 言

数字同步网作为电信网三大支撑网之一，为网内需要同步的电信设备提供了高质量的定时信号，对电信网的正常、稳定运行起到了巨大的支撑作用。世界各国在电信网的建设中，普遍建设了数字同步网来确保电信网的运行质量。

近几年来，中国电信已建成以北京、武汉为中心，覆盖全国所有省会局（除台湾省）的数字同步骨干网。各省也分别建设了本省的数字同步网，为电信业务的发展提供了保证。随着我国电信网的发展，数字同步网还将有一个持续的发展。

随着高速数据业务和多媒体业务的快速发展，对带宽的需求越来越高。未来几年内，我国将加快发展 DWDM 和 10Gbit/s 的系统，网络的容量将大幅度增长。传输速率的提高，对时钟性能的要求也相应提高。从现实来看，PSTN 网和 IP 网将共存相当长的时间，因此，就有业务互通的问题。除了目前红红火火的 IP 电话以外，PSTN 上的其他一些业务，如传真、数据等在 PSTN 和 IP 的混合环境下都需要同步，并且在 IP 和 PSTN 混合的环境中还要求同步有更高的质量。

加强数字同步网的维护管理，提高维护质量，是使数字同步网正常高效运行的保证。本书依据 ITU-T 和我国已制定的有关国家标准、行业标准以及中国电信制定的数字同步网维护规程，针对各种同步设备，阐述了数字同步网的基本概念、网络结构及网管系统、设备工作原理及维护操作、性能指标及测试方法和常用仪表的使用方法。本书在编写中融合了作者的实践经验，注重对基本概念和工作原理解释通俗易懂以及维护测试的可操作性，可供从事数字同步网维护的技术人员和管理人员参考使用，也可作为数字同步网的维护培训教材。

本书由江苏省电信传输局仲跻来、袁海负责全书的统编，参加编写的人员有袁海（第三、六、七章及附录）、彭明珠（第一章）、吕宏伟（第二、四章）、夏郁文（第五章）。编写过程中，得到了中国电信集团公司工程管理处张国珍处长、孙美清高工，信息产业部电信传输研究所、郑州设计研究院，以及江苏省电信公司、江苏省电信传输局领导的大力支持和帮助，同时还得到了 ACTERNA、DATUM、HP、泰克、华为、上海贝尔等公司的大力支持，在此一并表示感谢。

因时间仓促，水平有限，书中难免有错漏之处，希望读者能给我们提出宝贵意见。

作 者

2001 年 2 月

目 录

第一章 数字同步网的基本概念	1
第一节 现代通信网的同步	1
第二节 时间频率的概念	6
第三节 同步网中的常用时钟源	7
第四节 同步网时钟的特性指标	11
第五节 数字通信网漂动和滑动性能指标的分配	18
第二章 数字同步网的网络结构	24
第一节 时钟等级	24
第二节 同步方式	25
第三节 我国同步网的网络结构及规划组织原则	29
第四节 同步定时信号的传输	31
第三章 数字同步网设备及其维护	35
第一节 同步供给设备的一般描述	35
第二节 AUSTRON 公司的同步供给设备	36
第三节 HP 公司的同步供给设备	44
第四节 TS 公司的同步供给设备	53
第五节 华为公司的同步供给设备	62
第六节 S12 交换机定时供给系统	76
第四章 数字同步网网管系统	77
第一节 概述	77
第二节 同步网网管的分层结构	78
第三节 同步网的网管设备	81
第四节 同步网管的主要功能和维护操作	83
第五章 被同步设备的接入	97
第一节 被同步设备的接入原则	97
第二节 各种通信设备的接入	99
第六章 数字同步网的性能指标和测试方法	111
第一节 同步网节点时钟的性能指标	111

第二节	同步网节点时钟性能指标的测试方法	119
第三节	同步网网络接口的性能要求及测试方法	130
第七章	数字同步网测试仪表	137
第一节	HP5071A 铯原子钟	137
第二节	HP1740A 时间间隔分析仪	139
第三节	泰克 SJ300E 抖动和漂移测试仪	143
第四节	ANT-20 多功能网络测试仪	147
第五节	HP54500 系列数字存储示波器	150
附录 1	有关数字同步网的 ITU-T 建议、Bellcore 技术标准	153
附录 2	有关数字同步网的国标、部标	154
附录 3	同步骨干网 BITS 输出端口使用的暂行规定	155
附录 4	江苏省 BITS 输出端口使用管理暂行规定	159

第一章 数字同步网的基本概念

第一节 现代通信网的同步

一、同步的概念

同步是指两个或两个以上信号之间在频率或相位上保持的某种特定关系，也就是说两个或两个以上信号在相对应的有效瞬间其相位差或频率差在约定的容许范围内。其实同步的概念在通信中早有引用，在模拟通信网中，传输系统中载波机两端机间的载波频率需要同步，即用于终端机的载波频率应相等或基本相等，并保持稳定。在音频通路中端到端的频率差不超过 2Hz。在数字通信网中，传输和交换的信号是对信息进行编码后的比特流，且具有特定的比特率，这就需要网内的各种数字通信设备（或网元）的时钟具有相同的频率，以相同的时标来处理比特流。所以数字网的同步是数字网中各数字通信设备内的时钟之间的同步。在数字通信中，对比特流的处理是以帧来划分段落的，在实现多路时分复用或进入数字交换机进行交换时，都需要经过帧调节器，使比特流达到同步，也就是帧同步。

二、数字通信网实现网同步的必要性

随着现代通信网在我国的迅速发展和新技术、新业务的大量采用，通信网中 SDH 传输设备、数字交换设备（TS、LS）、七号信令系统（SS7）、数字交叉连接（DXC）、综合业务数字网（ISDN）、会议电视系统（MCU）等通信设备都在时钟同步方面提出了要求。设备是否能被同步及同步信号的质量如何，将直接影响通信业务的质量。下面仅以几个主要通信设备为例对此加以说明：

1. 数字传输系统的同步

数字传输系统对信息编码后以时分复用方式传递。现在通信网中使用的时分多路复用传输系统主要有两类，即准同步数字系列（PDH）和同步数字系列（SDH）。

PDH 的复用是逐级进行的，因此被复接的支路信号可来自不同的方向，各支路信号的码率和到达的时间不可能完全相同。为使复接正确进行，在复接前各支路的码率应相等，并把划分比特流段落的帧同步码对齐，即码率和帧同步码都要相同。为达此目的，PDH 使用了码速调整技术。码速调整技术的原理是把参与复接的低次群的准同步码流调整到一个较高的码率，其中增加了帧同步码、业务码、插入码及插入标志码等。例如，PDH 一次群在码速调整过程中将码率由 2.048Mbit/s 提高到 2.112Mbit/s，使各参与复接的支路信号码率达到同步，然后进行复接。复接后的高次群码流传送到收信端，先进行帧同步码检出，在实现帧同步后再进行分接，分接后的各支路再经码速恢复单元，将各支路信号恢复为与原输入码率相等的准同步码流。同时，PDH 中还采用了“滑动控制滞后”技术，即在从基群到四次群的每个帧存储器中都设置了一定数量的速率调整比特，以防止因各节点时钟信号频率的差

而引起系统的频繁滑动。因此，可将 PDH 传输系统看作是透明的，即收信端的信号码率与发信端的码率相等。因此，PDH 传输链路是传送同步网中参考定时信号的理想通道。但必须指出，PDH 在进行码速调整时有比特插入，在收信端恢复码速时要取消被插入的比特，因此，信号将受到损伤，即信号增加了抖动分量，而且这种原因产生的抖动在 PDH 传输系统内部进行复接时是无法完全消除的，所以这个系统内的同步方法不理想。

SDH 是一整套可以进行同步数字传输、复用和交叉连接的标准化数字传送结构，用于在物理传输网（主要是光缆网）上传送各类数字通信业务信息（净负荷）。同步传送模块（STM-1）是基本信息结构，它由信息净负荷（payload）、段开销（SDH Section Over Head）、管理单元（AO）指针构成。其帧结构如图 1-1 所示。SDH 系统内各网元，如复用器、分插复用器（ADM）及数字交叉连接设备（DXC）之间的频率差是靠调节指针值来修正的，也就是使用指针调节技术解决节点之间的时钟差异带来的问题。指针调节是把净负荷起始点向前或向后移动与帧相关的一个字节（每一个字节含 8bit），这是因为 SDH 系列是以字节为单位进行复接的，所以指针进行调节也是以字节为单位进行的。一次指针调节引起的抖动可能不超出网络接口所规定的指标，但因同步不良引起指针调节的速度不能受到控制而使抖动频繁出现和积累，并超过网络接口抖动的规定指标时，将引起净负荷出现错误，因此 SDH 系统中同步问题是十分重要的。

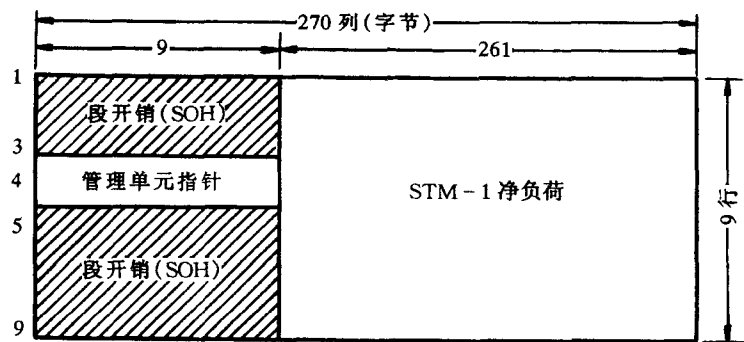


图 1-1 STM-1 信号帧结构

2. 数字交换设备的同步

数字交换设备是通过数字信号中的时隙交换来完成时隙的重新安排的。在信号进入交换以前，需要具有时隙交换的条件是：

- (1) 参加交换的数字信号的帧同步在时间上对齐，即各路信号的帧要同步；
- (2) 各路信号的码率都要以交换设备的时钟速率为准，转换为相同码率，使时隙具有相同的速率，这样才能准确无误的进行时隙交换。

但参与交换的信号可能来自不同的交换节点和传输设备，到达时间不可能完全相同，信号的码率也可能与本地时钟不同步，这就需要通过帧调整器进行帧同步及比特同步。当外来信号与交换设备内的时钟相位差累积到一定程度时，则在进行比特同步时将产生滑动，滑动将使信号受到损伤，影响通信质量，若频差过大，则可能使信号产生严重误码，甚至中断通信。

3. 分组交换设备（X.25）的同步

在分组交换设备（X.25）系统中，数据信息是以“打包”的形式，以组为单位传送的，

系统不同步产生滑动引起成组信号的错误（丢失和重复），高层规程必须检测并通过重发组数据予以纠正。因此，这就大大降低了数字业务的数据传输量，影响通信效率。

值得一提的是，对于加密数据，不同步的危害性更大。因为当产生滑动时，规程要求重发密码表的密钥，这不但加剧降低业务量，而且降低了加密数据的可靠性。

4. 七号信令系统的同步

对于七号信令系统（SS7），不同步所引起的滑动可能造成“整包”信令的丢失，使接通率下降，严重时可能引起数字网信令系统的紊乱。因此，每个 STP 点都必须接收同步信号。STP 点一般由 DXC、MUX 和 LSTP 三部分设备组成，只有这三部分设备同步了，该系统才能正常工作。根据系统设备配置情况不同，有时一个局的七号信令系统就需要主、备各三路定时信号，即共六路定时信号，如图 1-2 所示。

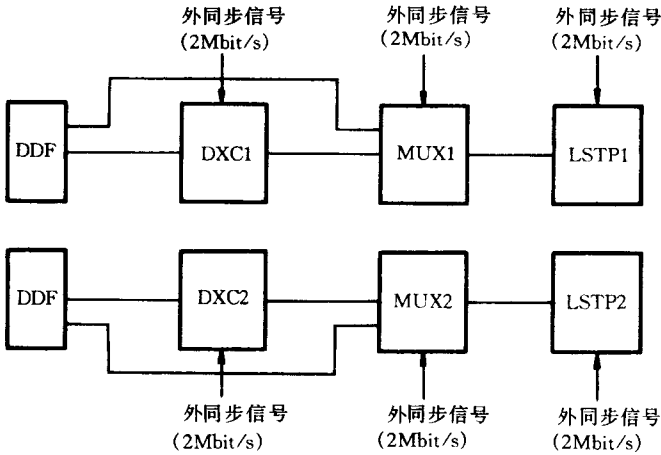


图 1-2 七号信令设备同步信号接入示意图

5. 电视信号传输系统的同步

使用数字电路传输电视信号，一般均采用可视压缩图文的数据。不同步引起的滑动将导致产生一段时间内视频图文无法更新的“冻结帧”，活动的电视画面将“冻结”成静止的画面，或产生所谓的“马赛克”现象。

三、数字同步网的构成

为了满足各种通信设备对时钟同步的要求，从 1993 年开始，我国开始了数字同步网的建设，到目前已基本建成了全国数字同步骨干网和各省的省内数字同步网。

数字同步网是既依附数字业务网（主要是数字传输网），又与通信业务网相对独立，它是用来为通信设备提供定时信号的专门系统。数字同步网由基准时钟、各级大楼综合时钟供给设备 BITS（Building Integrated Timing System）或称同步信号源单元 SSU（Synchronization Source Unit）、传输链路及网管监控系统等四个基本部分组成，如图 1-3 所示。

1. 基准时钟

基准时钟是指为全国或同步区内提供的最高精度等级的时钟。它与世界协调时 UTC 高度一致，不受外界因素的干扰，独立地为同步网提供定时信号。目前我国的时钟基准是在北京和武汉各建成的由三台铯钟组成的铯钟组（铯束频率标准系统）。

配备铯原子钟或铷原子钟的 GPS（全球卫星定位系统）接收机所提供的定时信号，具有相当高的精度。但 GPS 属美国军方所有，随时受他们的控制，并只能使用加有干扰信号“选择性供给”的 C/A 码信号，所以在保证 GPS 信号是可用的前提下，这种配备铯原子钟或铷原子钟的 GPS 接收机所提供的信号也可视为时钟基准信号。

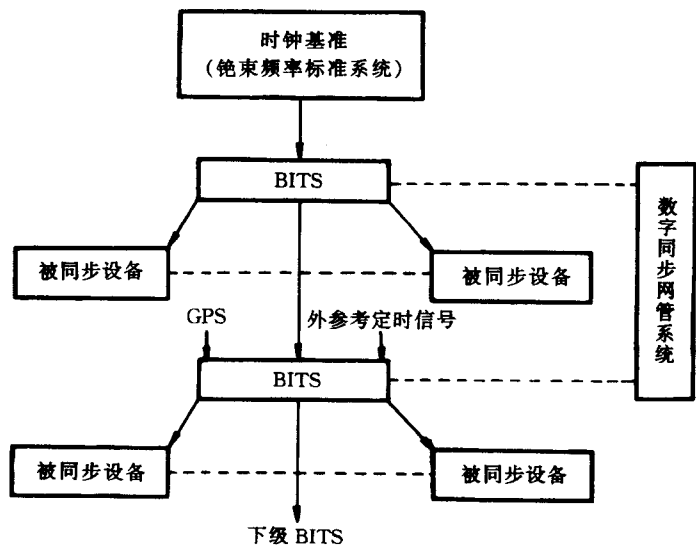


图 1-3 数字同步网结构示意图

2. 大楼综合供给系统 BITS

BITS 是每个同步网节点的重要设备，它由输入部分、内部时钟、输出部分、监测部分和通信接口等部分组成，见图 1-4。它的作用是接收上级参考信号，经分配后供通信设备使用。同时提供监测信号供网管监控和设备维护使用。

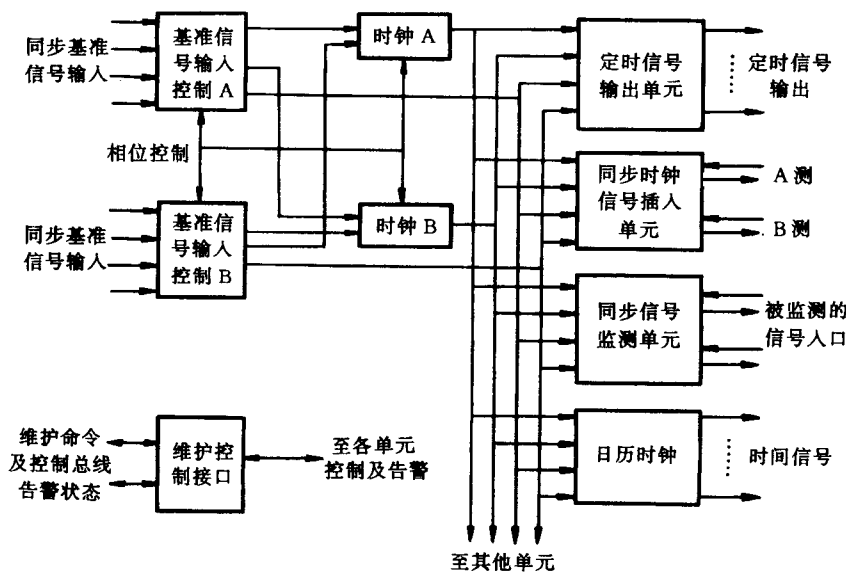


图 1-4 BITS 结构示意图

BITS 的内部时钟一般为铷钟或高稳晶振，它们是 BITS 的心脏。但把 BITS 仅仅理解为铷钟或高稳晶振是片面的，BITS 在正常工作状态（跟踪状态）下，内部时钟（从钟）是受上级参考信号控制，输出信号的质量应与 BITS 设备参考信号相近，而且输出信号的质量还与输入部分和输出部分的质量以及 BITS 的结构设计的合理性等因素有关。需要指出的是，上级同步设备输出的定时信号通过传输到达本级 BITS 作为输入信号，必然产生不同程度的损伤，例如抖动、漂移等。由于 BITS 内部高质量时钟的作用，它对传输引起的抖动有过滤作用，对漂移有抑制作用，这就使输出信号和质量得到了可靠保证。

3. 定时信号的传输链路

定时信号的传输链路是数字同步网的重要组成部分，它应包括基准时钟与 BITS 之间、上级 BITS 与下级 BITS 之间、同级 BITS 设备之间的定时信号传输，除直接方法以外，凡经过传输设备传送定时信号的都应包括在定时信号传输范围之内。

(1) 基准时钟与 BITS 之间的连接

时间基准钟与 BITS 之间的连接一般应用直接方法。

(2) BITS 与 BITS 之间的传输

● 利用 PDH 电路传输定时信号

利用 PDH 电路传输定时信号目前是比较理想的方法，尤其是利用直埋光缆的 PDH 专线电路，传输质量稳定可靠，而且比较安全。利用带业务的 PDH 电路，虽然对信号的传输质量影响不大，但由于增加了高阻跨接单元，BITS 所使用的是从通路中分支出来的信号，电平值较低，以及在用业务电路的调用等因素，可靠性必然受到一定影响，所以在使用带业务的 PDH 电路传输定时信号时应加强维护和管理。

● 利用 SDH 电路传输定时信号

由于 SDH 传输的特点，SDH 净负荷中传输定时信号不可避免地会受到指针调整的影响，引起定时信号的抖动。所以 SDH 净负荷是不能作为定时信号的传输途径的。

SDH 设备一般设有时钟信号输出端口，此端口所输出的时钟信号是从 STM-N 中提取的。如果 SDH 电路各节点时钟设置正确，该信号的质量不受指针调节的影响，可以作为定时信号传输路由，但必须注意：

- SDH 系统中一个节点时钟接入上游 BITS 定时信号，设置成外部基准信号定时方式，而除该点以外的所有节点时钟设置成 STM-N 定时方式，直至下一级 BITS。

- 使用同步状态信息比特 SSMB，以防构成定时环路和定时信号级别的下降。

(3) BITS 输出端口与被同步设备之间的传输链路

在我国同步网建设中，一个城市或一个地区可能只建一个 BITS，BITS 要为本市甚至某一地区的通信设备提供定时信号，所以 BITS 与被同步设备之间的传输也是数字同步网的一部分。

BITS 输出端口与被同步设备之间的传输原则上也应和 BITS 与 BITS 之间传输的要求一致，但由于它们之间的距离一般较短，影响面也不是太大，所以要求可适当放松一些。例如，可以较多地使用带业务的 PDH 电路，使用 SDH 的 STM-N 传输时也不一定强调 SSMB 等。

(4) 同步状态信息比特 SSMB 在定时信号传输中的使用

同步状态信息比特 SSMB (Synchronization Status Messages Bit) 是 SDH 的帧结构的段开销字节中用于 SDH 系统同步状态信息的专用字节，具体安排在 S 字节的 b5~b8。为适应 SDH 系统的需要，同步网设备也具有发送、识别 SSMB 的功能，否则 SDH 系统的同步状态

完善和利用 SDH 系统传送定时信号都是十分困难的，尤其是有可能构成“定时环路”，严重影响数字同步网的质量。

关于同步状态信息的问题，国际上已讨论多年，各种国际协议文件中也都有详尽的叙述，例如，在 Bellcore 的数字网络同步规划中，就对网络接口中有和没有同步状态信息时环路中的同步设置等分别作了描述。近来，对于 SSMB 的协议已基本取得一致，并将在国内 SDH 系统和数字同步网建设中逐步采用。

SSMB 的比特编码情况和质量等级见表 1-1。

表 1-1 SSMB 比特编码表

SDH S1 字节 比特 5-比特 8	同步质量等级种类
0000	质量未知
0001	未定义
0010	基准钟
0011	未定义
0100	转接局从钟
0101	未定义
0110	未定义
0111	未定义
1000	本地局从钟
1001	未定义
1010	未定义
1011	同步设备定时源 (SEC)
1100	未定义
1101	未定义
1110	未定义
1111	不用于时钟同步

4. 网管监控系统

我国数字同步网采取集中监控、集中维护的管理方式，设立国家级和省级监控中心，负责监控全国所有同步网中 BITS 的运行情况，目前该系统已基本建成，正在进一步地完善。

第二节 时间频率的概念

一、时标

时标是基本单位。所谓时标，包含两个含义：

- (1) 时刻：指连续流逝的时间的某一瞬间，是指事件发生的源头。
- (2) 事件间隔：指两个瞬间的间隔。是指事件发生持续了多久。

时间和时间间隔组成了时标，即时间坐标，时标是一个计时系统，在这个系统中，要选择一个时刻作为起点，还要选择一个时间间隔的单位，而后者，总是寻找一个稳定的周期运动，根据不同的周期运动，对度量时间间隔的单位“秒”作出不同的定义，从而建立不同

的时间坐标，即时标。

二、目前常用的时标

目前，国际常用的时标有四种，即世界时 UT、历书时 ET 和原子时 TAI 和世界协调时 UTC。

- 1. 世界时 UT: 是以地球自转的周期（一天）作为定义秒的基础。
- 2. 历书时 ET: 是以地球公转的周期（一年）作为定义秒的基础。
- 3. 原子时 TAI: 是以原子振荡作为定义秒的基础。

表 1-2 三种时标比较表

时 标	时 刻	时间间隔(秒定义)	准 确 度
UT	1958.11.17.0	平均太阳日的 1/86400	5×10^{-8} /日
ET	1900.1.01.2	第一回归年的 1/31556925.9747	1×10^{-9} /3 年
ATI	1958.1.1.0	Cs^{133} F = 4 Mt = 0 F = 3 MF = 0	1×10^{-13} /年

由于原子时是极高的稳定时标，1967 年 13 届国际计量大会上，正式决定以原子秒取代天文秒，将秒定义为：

“秒是铯-133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应辐射的 9192631770 个周期所持续的时间。”

4. 世界协调时 UTC

从表 1-2 中看出，度量时间间隔的单位，秒的定义经过二次变迁，从宏观天体进入微观原子，变迁的发生是科学发展的结果。原子时虽有着准确均匀的时间间隔，但为了将几种时标衔接起来，解决一个标准振荡同时满足性质不同的时标对时刻和时间间隔这两种要求，1974 年国际无线电咨询委员会建议并承认了将世界协调时 UTC 作为国际法定时间。

UTC 是采用原子秒作为时间单位，这就保证了时间间隔具有原子时均匀性。它的时刻取自 1958 年 1 月 1 日零时，并使该时刻 UT 与 TAI 一致。以后由于世界时的秒长略长于原子秒的秒长，所以两者时刻出现了偏差，并且偏差逐渐增大，这时对 TAI 进行修正（闰秒），保证 UTC 既具有原子时的均匀又与世界时接近，目前国际上发送的标准时间就是这种经过修正的原子时，即世界协调时 UTC。

由于频率是时间的倒数，有了标准时间，也就有了频率的标准。

第三节 同步网中的常用时钟源

一、铯原子钟

铯原子钟即铯束原子频率标准，它是铯 $133(Cs^{133})$ 原子在特定的物理环境中，原子在基态两个超精细等级之间产生跃迁， $(F = 4, m_F = 0) \longrightarrow (F = 3, m_F = 0)$ ，跃迁过程中产生电磁波辐射，其辐射的频率完全决定于物理常数 h 和原子结构，从理论上可以认为是恒定不变的，因为各原子能级数值是高度确定的，所以其频率的准确度和均匀性都极好。实验发现， $(F = 4, m_F = 0)$ 能级向 $(F = 3, m_F = 0)$ 能级之间的跃迁，受磁场的影响最小，故选

定这个跃迁产生辐射的频率作为标准，用来定义原子秒。即 1 原子秒 Cs^{133} ($F = 4, m_F = 0$) $\longrightarrow$ ($F = 3, m_F = 0$) 时辐射的 9192631770 个周期所持续的时间。国际协调时 UTC 也将此定义为时间间隔“秒”的基础。当然，铯钟的结构是十分复杂的，制造工艺和技术都十分先进，所以其价格也十分昂贵，一般只用作最高等级基准时钟或测试、研究必须的频率标准。

二、铯钟组（铯束频率标准系统）

由于铯原子钟的高准确性，许多国家都将铯原子钟作为本国的最高频率标准。同步网中，同样也把它作为最高标准定时信号。为了安全可靠，国家级标准一般使用铯钟组，或称铯频率标准，由三套铯钟及相应的 2048kHz 处理器、转换电路及输出放大接口电路组成。各套铯钟可以独立工作，也可相互倒换，并有相位比较器及记录仪，能画出相位随时间变化的情况，可以看出相对的相位变化，对三台铯钟输出信号作比较。此外，铯钟组还配有告警及监测系统，可用多数表决方法选用一套正常的铯钟输出信号作为基准信号。

铯钟组的标准输出信号为 2.048MHz，但也可以根据使用要求配置 64kHz、1MHz、5MHz 及 10MHz 信号。另外，铯钟组还可另接 GPS 接收机，接收 GPS 标准信号进行比对，以验证 GPS 信号的可用性和铯钟组输出信号的质量。

我国国家同步骨干网已在北京和武汉建成了铯钟组，作为我国自己同步网的独立的最高频率基准，无论国际上发生什么情况，例如美国的 GPS 信号无法使用，我们都能保证北京铯钟组产生的定时信号，通过电信传输网将同步信号送达全国各地，使同步网正常运行，从而保证通信业务网不受影响。

三、铷原子钟

铷原子钟的基本工作原理与铯钟相似，都是利用能级跃迁 ($F = 2, m_F = 0$) $\longrightarrow$ ($F = 1, m_F = 0$) 的谐波频率作为基准。与铯钟相比，虽然铷钟的性能不及铯钟，但它具有体积小，预热时间短，短期稳定度高，价格便宜等优点，在同步网中普遍作为地区级参考频率标准。

四、高稳晶体振荡器

1. 石英晶体振荡器的工作原理

石英晶体振荡器是应用最广泛的振荡源。石英晶体具有稳定的固有机械频率和压电效应的特性，在电子电路中，石英谐振器的等效电路如图 1-5 所示。

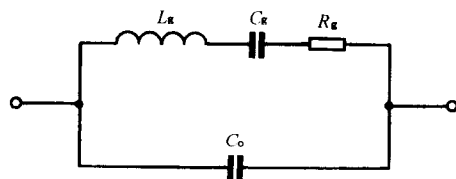


图 1-5 石英晶体在电路中的等效电路

其中： L_g ：等效电感

C_g ：等效电容

R_g ：等效电阻

C_0 : 静态电容

其中, 等效电感 L_g 与等效电容 C_g 构成串联谐振电路, 其谐振频率为 f_0

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_g \cdot C_g}}$$

同时, L_g 、 C_g 与 C_0 又构成并联谐振电路, 其谐振频率为 f_∞

$$f_\infty = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{C_0 \cdot C_g}{C_0 + C_g} \cdot L_g}}$$

石英晶体在组成振荡器时, 其电抗特性随振荡频率的变化而改变, 当振荡频率小于 f_0 或大于 f_∞ 时, 石英晶体呈容性; 当振荡器频率介于 f_0 和 f_∞ 之间时, 石英晶体呈感性。在实际石英晶体振荡器中, 石英晶体是视作一个电感来使用的, 即工作频率介于 f_0 与 f_∞ 之间。

石英晶体振荡器最大的缺点是工作频率受外界条件的影响太大, 尤其是温度的变化反映特别敏感。普通石英晶体振荡中在同步网中是不能使用的。在同步网中使用的必须是经过特殊工艺处理的高稳定度石英晶体振荡器。

2. 高稳定度石英晶体振荡器

高稳定度石英振荡器 (简称高稳晶振) 具有完善的结构和良好的温控电路组成。主要措施有:

(1) 相位差比较器和软件锁相控制器, 将振荡器的输出信号与外来参考比较, 用比较结果, 通过软件锁相控制器反馈给振荡器, 以修正振荡器频率。

(2) 恒温槽技术, 即将晶体和对温度变化敏感的元件装在恒温器内, 使温度变化对晶体频率的影响接近零。恒温槽又分为单恒温槽和双恒温槽。当然双恒温槽的高稳晶振的性能比单恒温槽的性能要好得多。

由于高稳晶振价格便宜, 体积小, 利用锁相技术 (PLL) 能使之同步于外来同步基准信号。所以高稳晶振在同步网中作为从钟被大量使用。

3. 高稳晶振的四种工作方式

在数字同步网中使用的高稳晶振应具有四种工作方式:

(1) 快捕

晶体振荡器开始加入外同步信号后应首先进入快捕工作状态, 即应在较短的时间内将振荡器的输出频率调整到接近于外同步信号的频率。

(2) 跟踪

当振荡器的频率于外同步信号的频率相差小于规定值时, 即转入跟踪方式。此时振荡器跟踪输入信号的频率变化, 进入跟踪工作状态。

(3) 保持

高稳晶振完全失去外参考输入信号, 应自动进入保持状态。振荡器上控制频率的电压保持在失去参考信号之前的数值, 此时振荡器的频率漂移主要受老化的影响, 可以在一段时间内保持频率偏差在一定的范围内, 也叫记忆工作状态。

(4) 自由运行

振荡器不受外界参考信号控制，频率完全由振荡器自身决定。

在石英晶体时钟中，美国 HP 公司采用了一种称之为 Smart Clock 的控制技术。Smart Clock 算法可以学习系统中石英振荡器的漂移特性。一旦失去同步参考源，BITS 进入保持工作模式，Smart Clock 算法 BITS 的时钟输出实施预测纠正，从而提高保持期稳定度。可见，在系统处于正常状态时，Smart Clock 技术对提高保持期的稳定度是十分有效的。根据该公司提供给用户的资料称：“采用该技术后，可使输出信号的漂移性能较之没有 Smart Clock 技术的石英晶体振荡器提高一个数量级以上。Smart Clock 技术的优越性体现在：首先它可提供很高的性能及可靠性；第二，保持时钟信号稳定度和准确度；第三，在系统性能设计上，可以以最小的代价得到最佳的效果。它是同步技术的一大突破。”

五、全球卫星定位系统 GPS

GPS 全球定位系统是英文 Navigation Satellite Timing and Range/Global Positioning System 的字头缩写词 NAVSTAR/GPS 的简称，它的全称含义是：导航卫星测时和测距/全球定位系统，它是美国国防部在 20 世纪 80 年代推出的，以卫星为基础的无线电导航系统。GPS 系统由 24 颗卫星组成，这些卫星均分布在 6 个相对于赤道倾角为 55° 的几乎为圆形的等间距轨道上，轨道面之间的夹角为 60° 。卫星同时发射两种频率的载波无线电信号，所有这些信号都受星上的原子频标控制。卫星的高度为 20220 千米，12 恒星时（UTC 时间的小时）绕地球一周，这样的布局可以保证全球任一观测站能在任何时刻同时收到 4 至 9 颗、高度角大于 10° 的 GPS 卫星的信号，这就是说随时随地都可以测得地面上或地面上空某点的三维坐标，当然包括对北极点位置的确定。

GPS 系统由卫星部分、地面控制部分和用户接收机三部分组成。全球定位系统（GPS）的地面控制部分是由一个主控站（位于美国科罗拉多州），三个上行注入站（分别位于太平洋的卡瓦加兰岛、印度洋的狄哥·伽西亚岛和大西洋的阿森岛上），5 个监控站（除位于上述四地外再加上夏威夷群岛）以及通信辅助系统组成的。GPS 系统是美国在 70 年代开始研制，80 年代陆续推出的，于 1995 年 4 月 27 日宣布 GPS 系统已具备全部运作能力。这个系统的研制历时 20 多年，共耗资 130 多亿美元，它能对全世界任何地方都进行全天候的导航定位和定时。

GPS 卫星发射的信号有两种，即通用码（C/A 码）和专用码（P 码），这两种信号使用的对象是不同的，发射使用的频率也不同。一般用户只能接收到 C/A 码信号，在 C/A 码信号中，被施加了称作“选择性供给”（Selective Availability）的干扰，使 GPS 信号的质量较之 P 码有明显的下降。发射两种信号的频率分别为：

L1 波段：1575.42 MHz

L2 波段：1227.26 MHz（仅用于 P 码）

同步网中使用的 GPS 接收机是专为接收 GPS 信号中所提供的国际协调时（UTC）的，是为同步网提供定时信号的专门设备。因为利用的只是定时信号，而且接收设备固定，使用动态均衡的方法，综合最多 6 颗卫星的信号，可减少由于“选择性供给”带来的影响，所提供的频率精度可达 10^{-12} 数量级（24 小时平均）。

由于通过卫星传输信号的固有缺点和选择性供给的影响，地面接收站接收到的定时信号短期稳定性是比较差的。同步网中使用的 GPS 接收机提供的定时信号，必须与 BITS 内