

电信新技术实用丛书

数字同步网

程根兰 编著



人民邮电出版社

电信新技术实用丛书

数字同步网

程根兰 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字同步网 / 程根兰编著. —北京: 人民邮电出版社, 2001. 4
(电信新技术实用丛书)
ISBN 7-115-09122-6

I. 数… II. 程… 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 11236 号

内 容 提 要

数字同步网与电信管理网、信令网一起并列为电信网的三大支撑网。本书从同步网的基本概念开始, 详细介绍了同步网的结构和组成、同步网与其他业务网的关系、同步网设备的原理和结构、同步网设备性能、网络的同步性能、对同步网的监测控制和维护管理、同步网的设备测试和网络测试、SDH 网传送同步网定时的方法和各种业务网的同步方法等。

本书深浅适宜, 条理性强, 可以作为大专院校的教材和参考书, 也可以用于培训从事同步网工作的专业技术人员, 还可以供从事电信网运行维护管理的人士阅读参考。

电信新技术实用丛书

数字同步网

◆ 编 著 程根兰
责任编辑 陈万寿

◆ 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
北京顺义向阳胶印厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.75

字数: 306 千字 2001 年 4 月第 1 版
印数: 1-5 000 册 2001 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-09122-6/TN·1694

定价: 23.00 元

丛 书 前 言

信息技术是当今世界科技领域中最有活力、发展最快的高新技术，它时时刻刻都在影响着世界经济的发展和科学技术进步的速度，并不断改变着人类的生活方式和生活质量。近年来，作为信息技术的主要支柱之一的现代电信技术，其发展、应用和普及尤其令人瞩目，受到世界各国的广泛重视。

随着我国改革开放的不断深入，我国通信网的规模容量、技术层次和服务水平都有了质的飞跃。电信网的装备目前也已达国际先进水平，大量的新业务不断地投入使用。在这种情况下，对从事电信工作的技术人员和管理人员的相应要求也在不断变化和提高。为了帮助广大电信工作者能够及时了解电信技术的发展，掌握新技术的应用方法，我社组织编写了这套《电信新技术实用丛书》，供大家学习使用。

这套丛书紧密结合电信部门的实际，重点介绍近些年来迅速出现并发展起来的新技术、新设备及新业务。丛书的特点是结合发展，全面介绍新技术、新概念，突出实用性。书中内容深浅适宜，条理清楚。丛书的主要读者对象是电信部门的技术人员、管理人员和业务人员，也可作为相关院校电信专业的教学参考书。

殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵意见和建议，以便这套丛书日臻完善。

人民邮电出版社

前言

数字同步网与电信管理网、信令网一起并列为电信网的三大支撑网，它是通信网正常运行的基础，也是保障各种业务网正常运行和提高质量的重要手段。因此，同步网在电信网中具有举足轻重的地位。

本人有幸从 1989 年就开始从事同步网工作，亲身经历了同步网从无到有，从小到大的过程，也亲身领略了从事同步网工作的艰辛。在本人从事同步网工作的岁月中，逐步认识到同步网在通信中的重要性，尤其是近几年来，随着新技术、新业务的不断涌现，对同步网的要求越来越高，各大运营公司对同步网越来越重视，越来越多的人要求学习同步网技术和知识。但是，目前关于同步网专业书籍极少，专门从事同步网领域研究工作的人员也比较少。近几年来，本人多次到各地讲授同步网知识，为同步网管理人员和维护人员进行专业培训。很多同志迫切希望能够有专门的书籍全面系统地介绍同步网技术和知识。

根据上述情况，本人根据多年的理论研究和实际工作经验，编写了此书，目的是将我们在从事同步网领域工作中获得的经验奉献出来，与大家共享，希望能对各领域的人士有所帮助。由于作者水平有限，书中难免有一些错误和偏颇、不足之处，恳请各位同行和读者指正。本书旨在抛砖引玉，希望更多的人士来关注同步网的发展，参与同步网的工作，使同步网更好地为各种业务网服务，以提高信息产业的业务质量。

本书从同步网的基本概念开始，详细介绍了同步网的结构和组成、同步网与其他业务网的关系、同步网设备的原理和结构、同步网设备性能、网络的同步性能、对同步网的监测控制和维护管理、同步网的设备测试和网络测试、SDH 网传送同步网定时的方法、各种业务网的同步方法等。

本书面向各个领域的读者，它既可以作为大专院校的教材和参考书，使同学们全面掌握同步网知识，又可以用于培训同步网领域的专业人员；还可以供电信网领域从事运行维护管理的人士阅读参考，使其能够了解同步网在通信网中的重要作用。在书中面对不同的读者，都给出了阅读指导。为了便于大专院校学生的学习，根据每章的内容给出了复习思考题，供大家复习参考。

在本书的写作过程中，得到了许多人士的支持与鼓励，在此表示衷心的感谢。特别感谢中国电信集团公司建设运行部的张国珍经理，在百忙之中为本书题写了序言；特别感谢北京邮电大学寿国础副教授对本人的鼓励和帮助；特别感谢信息产业部电信传输研究所网络室刘多主任对本人的鼓励和支持。

谨以此书献给母校北京邮电大学，作为本人毕业十年的纪念。

人民邮电出版社及陈万寿先生对出版此书做了大量的工作，在此表示衷心的感谢！

程根兰

E-Mail: genlancheng@Sina.com.cn

2000 年 10 月

序 言

数字同步网技术是信息产业界诸多专业技术中的一项重要技术，也是电信网络的中枢神经，是保障各种业务网高质量运行的重要支撑网络。

我国数字同步网的建设，以中国电信同步网为代表，始于 90 年代初期。在广大科研人员及工程技术人员的辛勤劳动下，经过大量的研究、规划工作和网络实验后，进行了大规模建设工作。到 1996 年，基本完成了骨干网的建设。到目前为止，我国已基本建成了覆盖地区交换中心以上的全国数字同步网（有些省份同步网已延伸到县级）。同时形成了一套较为完善的监控、维护、管理体制。我国的数字同步网，无论建设规模、设备装备、技术水平还是智能管理水平都居世界领先水平。这个网的建成对我国电信事业的迅猛发展发挥了重大作用。

多年来，在主持同步网的研究、建设、运行、维护的工作中，深感同步网专业技术性强，理论较深奥，可借鉴的经验、资料较少，一直非常希望能有机会为我们的电信部门从事同步网技术工作的同志出一本指导性较强的书籍。今天，程根兰同志撰写了这本同步网的专业书籍，我非常高兴地推荐给大家。同时，我真诚地感谢程根兰同志，感谢她以自己的辛勤劳动较好地总结了中国电信数字同步网的建设和发展工作。

这本书全面系统地介绍了同步网技术和知识，深入浅出地阐述了我国同步网的网络结构、同步网设备性能指标、网络性能指标、同步网规划设计方法、各种业务网的同步方法、同步网监控维护管理等技术。它是指导我们学习、规划、建设、维护管理同步网的良师益友。我相信会对电信领域的各界人士有所帮助，同时我也希望有更多的同志了解同步网，支持同步网的建设发展，使同步网更好地为业务网服务，以促进业务服务质量进一步提高。

张国珍

中国电信集团公司
建设运行部经理

2000 年 10 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 数字同步网的发展历史	1
第二节 数字同步网和网同步	2
第三节 数字同步网与各种业务网的关系	3
第四节 数字同步网中的基本概念	3
第五节 小结	8
思考题	8
第二章 数字同步网的构成	9
第一节 数字同步网的结构	9
第二节 定时分配	13
第三节 数字同步网节点时钟	17
第四节 小结	18
思考题	18
第三章 数字同步网设备	19
第一节 原子钟的工作原理和基本结构	19
第二节 晶体钟的原理和结构	22
第三节 GPS 系统和 GLONASS 系统	23
第四节 同步网设备	27
第五节 小结	31
思考题	32
第四章 同步网设备性能	33
第一节 基本参数	33
第二节 基准时钟的性能	41
第三节 二级时钟和三级时钟的性能	43
第四节 SDH 设备时钟性能	56
第五节 小结	64
思考题	65
第五章 同步网和业务网的同步性能	66

第一节	网络参考模型	66
第二节	网络接口	68
第三节	抖动和漂动	69
第四节	网络接口上的抖动和漂动指标	74
第五节	滑动	92
第六节	小结	95
思考题		95
第六章	数字同步网的测试	96
第一节	测试原理	96
第二节	测试仪表	97
第三节	测试的一般流程	98
第四节	测试内容和方法	99
第五节	同步故障诊断	110
第六节	小结	110
思考题		111
第七章	数字同步网的监测控制与维护管理	112
第一节	监控管理网的结构	112
第二节	监控管理网组成与功能	113
第三节	监控内容	116
第四节	数字同步网的维护管理	119
第五节	小结	122
思考题		122
第八章	SDH 网传送同步网定时的方法	123
第一节	SDH 设备时钟结构和功能	123
第二节	SDH 设备时钟工作方式	124
第三节	SDH 定时路径模型	126
第四节	定时路径结构和定时传递方法	127
第五节	SDH 网定时传递原则	131
第六节	定时恢复	132
第七节	接口要求	134
第八节	无 SSM 的定时传递方法	134
第九节	经过 PDH 和 SDH 混合网的定时传送方法	135
第十节	同步状态信息 (SSM)	136
第十一节	小结	138
思考题		138
第九章	各种业务网的同步	139

第一节	SDH 网的同步	140
第二节	交换网的同步	143
第三节	移动网的同步	146
第四节	卫星通信系统的同步	149
第五节	No.7 信令网的同步	149
第六节	接入网的同步	150
第七节	ATM 网、帧中继网、分组交换网和 IP 网的同步	152
第八节	DDN 网的同步	154
第九节	小结	154
思考题		154
第十章	数字同步网的规划与设计	155
第一节	同步网规划和设计流程	155
第二节	同步网初步规划	156
第三节	节点同步和定时分配网络的规划设计	157
第四节	定时环路的检查	159
第五节	定时恢复	159
第六节	同步网规划文档	161
附录	SDH 网同步状态信息 (SSM) 技术规范	162
参考文献		194

第一章 概 述

第一节 数字同步网的发展历史

数字同步网（简称同步网）是一个网路体系，它是由节点时钟设备和定时链路组成的一个实体网，它还配置了自己的监控网。同步网负责为各种业务网提供定时，以实现各种业务网的同步。

同步网与电信管理网、信令网一起并列为电信网的三大支撑网，是通信网正常运行的基础，也是保障各种业务网运行质量的重要手段。因此，同步网在电信网中具有举足轻重的地位。

数字同步网的发展经历了两个阶段。

(1) 混合型同步网：使用交换机时钟作为同步网节点时钟。

(2) 独立型同步网：使用独立的时钟设备（即 BITS）作为同步网节点时钟。

随着通信网由模拟向数字的演进，出现了网同步的需要。为了使网络达到同步运行状态，逐渐组织建立了同步网。

早期的数字同步网的目标是使交换网同步，采用混合型同步网。其结构非常简单，一般采用简单的树状结构。在地域中心或网络运营维护中心设置一个基准钟（一般由自主运行的铯原子钟组成），基准定时信号经传输网传递到各个交换中心，各级交换机时钟成为同步网的节点时钟。这样，早期的同步网并不是一个独立的物理网，它的维护管理依赖于交换网。

其后，随着通信网的迅猛发展，新业务不断涌现，对同步网的要求越来越高。首先，对同步网各级节点时钟提出了更高要求；其次，对网络运行性能提出了更高要求；最后，对网络的安全性和可靠性的要求也不断提高。这样同步网逐渐独立出来，形成了由各级时钟（PRC、LPR、BITS）和传输链路组成的独立型同步网，并建立了相应的监控管理网，逐步形成了一套运行、维护和管理体制。

我国数字同步网的研究工作始于 80 年代末期，电信部门根据通信网情况和同步要求进行大规模调查，并对网上使用的“八国九制”交换机的时钟性能进行了摸底测试，在部分地区组建了混合型数字同步网，初步解决了交换网的同步。其后，继续跟踪研究，在参考和借鉴美国 AT&T 同步网建设经验的基础上，90 年代初期开始进行数字同步网实验工程，在北京、上海、广州使用独立型同步网设备（即 BITS）进行联网实验，初步验证了独立型同步网方案，于 1994 年确定了我国同步网的整体方案。1994~1996 年，数字同步网得到了迅猛发展，基本完成了骨干网的建设。到目前为止，我国已基本建成了覆盖 C₃ 以上交换中心的全国数字同步网（有些省份同步网已延伸到县级）。同时形成了一套较为完善的监控、维护、管理体制。

众所周知，90 年代是我国通信事业迅猛发展的时期，通信网的数字化程度在世界上进入前列，促进了同步网的迅速发展。到目前为止，我国的同步网无论是在规模上，还是在质量上都可以与国际上最优秀的同步网相媲美。

在十年来从事同步网的工作中，时常有人问我们为什么叫“数字同步网”，而不直接叫“同

步网”，难道还有“模拟同步网”吗？

的确，在同步网建设伊始，曾有过“模拟同步网”的概念。

最早，在筹划同步网的建设时，由于没有现成的经验可以借鉴，同时参考资料非常少，基本上是根据我国当时通信网的情况，经过网络实验构想同步网。当时数字通信和模拟通信并存，为满足这两种不同需要，拟分别组建数字同步网和模拟同步网，因此，同时开展了数字同步网的实验和模拟同步网的实验。根据实验研究的结果以及数字通信迅速取代模拟通信的发展趋势，对模拟同步网的需求越来越小，因此，逐步放弃了模拟同步网的建设。但模拟同步网和数字同步网的名称却保留下来。实际上，现在“数字同步网”应该就叫“同步网”。但由于人们已习惯了“数字同步网”，并且各种体制文件上一直这样用，因此这个概念就延续了下来。从事同步领域工作的人士一般将数字同步网简称为同步网。在本书中，同步网和数字同步网是一个概念。

第二节 数字同步网和网同步

同步网和网同步，是两个非常容易混淆的概念。一方面，从同步网的发展史来看，由于业务网的同步需求，才引出了同步网的建设。另一方面，早期的同步网是依靠交换网的网同步来实现的。

那么到底什么是同步网？什么是网同步呢？

如前所述，同步网是数字同步网的简称，它是一个物理网，由同步网节点设备（各级时钟）和定时链路组成。同步网的作用是为其他网络提供定时参考信号。另外，为了保障同步网的正常运行，还为同步网配置了网络管理系统。

图 1-1 进一步说明了同步网及其构成。

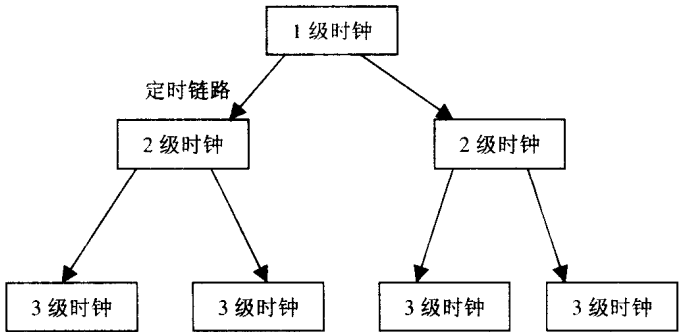


图 1-1 同步网

网同步是指将定时信号（频率或时间）分配到所有网元的方法。同步网和各种业务网都要进行网同步。网同步包括很多方面内容，例如：在同步网中，节点定时设备是如何同步的？采取主从同步，还是互同步？在业务网中，定时是如何提取，如何分配的？

一般而言，对一个运营者来说，同步网只有一个（当采用分区同步时，可以有若干个同步子网）。而很多业务网都需要解决网同步的问题。

目前，已建成的同步网只能提供频率同步，还不能实现时间同步。如何实现时间同步，

还需要进一步研究。

第三节 数字同步网与各种业务网的关系

数字同步网与电信管理网、信令网一起并列为三大支撑网，这个定位是非常准确的。这是因为同步网并不直接面向客户，不能产生直接的经济效益。它的服务对象是各种业务网。它为各种业务网提供定时，以保障业务网的服务质量。

虽然同步网不能产生直接的经济效益，但是，它在电信网中的地位却是非常重要的，因为任何通信设备都需要时钟（这里指设备时钟）为其提供工作频率，所以，时钟性能是影响设备性能的一个重要方面。时钟常常被称为设备的“心脏”。时钟工作时的性能主要由两方面决定：自身性能和外同步信号的质量。外同步信号的质量是由同步网来保证的。当设备组成系统和网络后，同步网必须为系统和网络提供精确的定时。

因此，同步网是设备、系统、网络正常运行的重要保障。

目前划分通信网的方法有多种。从网同步的角度来说，所有业务网都可以按设备的工作原理划分为需要同步的网络和不需要同步的网络。

从通信网构成的角度划分，通信网可划分为传输和交换两大部分。目前传输网主要包括PDH和SDH网。PDH网是不需要网同步的。SDH网从其设计原理上看就要求严格同步。

在交换领域，新技术层出不穷。传统的电路交换需要严格的网同步，例如：程控交换机组成的交换网、GSM网、CDMA网、DDN网等。而近年来新兴的分组交换技术，从理论上讲是不需要网同步的。但经分组交换处理后，信号以一定速率复用/去复用，经传输网时，需要同步。因此这些网络也需要考虑同步问题。例如帧中继网、ATM网、分组网、智能网等。详见第九章：“各种业务网的同步”。

同步网与各种业务网的关系如图 1-2 所示：同步网为各种业务网提供定时信号，各种业务网是同步网的用户。

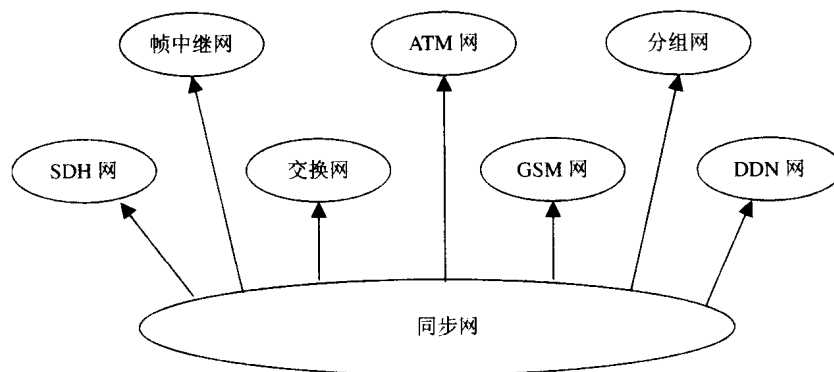


图 1-2 同步网与各种业务网的关系

第四节 数字同步网中的基本概念

同步领域中的专用术语不太多，但是都非常抽象，对许多未参加过同步领域工作的人来

说，这些名词术语是非常晦涩难懂的，因此常造成混淆。本节给出这些概念的基本定义和简要说明，以便于后面的阅读理解。

阅读指导：下面有些概念非常抽象，难以理解，读者只需要仔细阅读第一小节，理解一些基本概念，其他概念在后面文章中用到时再仔细阅读。

一、基本概念

(1) 同步网 (Synchronization Network)：是一个提供同步参考信号的网络。是通过同步链路将同步网节点连接起来而形成的物理网。同步网节点由各级时钟构成。

(2) 网同步 (Network Synchronization)：是一个广义上的概念，用来描述在网络中将公共频率信号或时间信号传送到所有网元的方法。

(3) 同步的网 (Synchronous Network)：指这样一个网络，它的所有时钟在正常工作状态下，都具有相同的长期频率准确度。

(4) 同步单元 (Synchronization Element)：指为所连接的网络单元提供定时服务的时钟。包括符合 G.811、G.812、G.813 建议的时钟。这是一种广义上的定义，包括：

——基准时钟，即性能满足 G.811 建议的时钟。

——定时供给单元，即性能满足 G.812 建议的时钟，包括独立型和混合型定时供给单元。详见下面 (6)、(7) 定义。

——设备时钟，即各种设备中的时钟或同步单元，其性能满足 G.812 建议或 G.813 建议，例如交换机时钟和 SDH 设备时钟。

(5) 定时供给单元 (SSU)：一个逻辑功能单元，能够对参考信号进行选择、处理和分配，并且符合建议 G.812 规定的性能。

定时供给单元可分为独立型定时供给单元和混合型定时供给单元。

(6) 独立型定时供给单元 (SASE)：是指能够完成对定时信号选择、处理和分配，并且具有自己的管理功能的独立设备。

在北美，独立型定时供给单元又被称为通信楼定时供给系统 (BITS)。

目前人们常说的同步网设备一般指 SASE (即 BITS)。由于我国同步网起步时主要参照北美标准，因此一直简称同步网设备为 BITS。

(7) 混合型定时供给单元：是指能够完成对定时信号选择、处理和分配等功能，但是这些功能与其他功能结合在一套设备中。例如 DXC 设备时钟，具有 G.812 功能，但不是一套独立设备。但它可以做同步网设备使用。

(8) 同步网设备时钟：一般包括基准时钟和定时供给单元。其中，多数定时供给单元是独立型的，但有些定时供给单元是由设备时钟构成的，即混合型定时供给单元。

(9) 同步链路 (Synchronization Link)：是指连接两个同步网节点的物理链路，用来承载定时信号和同步信息。

(10) 同步链 (Synchronization Chain)：是指由同步网节点和同步链路组成的物理路由，用来承载定时信号和同步信息。例如，为了将基准定时信号传递到末端网元，需要经过各级同步网节点和同步链路，形成一条承载定时信号和同步信息的路由，即一条同步链。

(11) 同步参考链 (Synchronization Reference Chain)：是一个假设的同步链，用来模拟计算同步网中的抖动和漂动。详见第五章第一节“网络参考模型”。

二、网络工作状态

(1) 异步状态 (Asynchronous Mode): 指网络中的所有时钟都工作在自由运行状态。网络内各时钟间可以存在较大频率偏差。

(2) 准同步状态 (Plesiochronous Mode): 指网络中所有时钟或信号都工作在几乎相同的速率上, 任何变化都不能超过规定的范围。

在国与国之间或不同的运营者之间的同步网一般采用准同步状态, 而国内网间和网内采用同步状态。

处于准同步状态运行的时钟有很高的准确度和稳定度, 使它们之间的频率变化很小。

(3) 伪同步状态 (Pseudo-synchronous Mode): 是这样一个状态, 网络中的所有时钟在正常工作状态下与一个符合建议 G.811 的基准时钟的长期频率准确度相同。但不是所有时钟都跟踪到同一个基准时钟上。

网络中的时钟可能跟踪到不同的基准钟上。但时钟运行时的准确度很高, 时钟间频率偏差很小。

(4) 同步状态 (Synchronous Mode): 是这样一种状态, 网络中的所有时钟都跟踪到同一个或一组基准源上。正常情况下, 网络内时钟间没有频率偏差。

三、网络中时钟地位和时钟间同步方式

(1) 主钟 (Master Clock): 是一个信号发生器, 它可以产生一个准确的频率信号去控制其他信号发生器。

(2) 从钟 (Slave Clock): 是一个时钟, 它的输出信号相位锁定到一个高质量的时钟上。

(3) 基准钟 (Primary Reference Clock): 简称 PRC, 是一个参考频率基准, 它可以提供一个符合 G.811 规范的频率参考信号。PRC 一般指能够自主运行的原子钟组, 一般由铯钟组成。

(4) 基准源 (Primary Reference Source) 简称 PRS, 是一个参考频率基准, 它可以提供一个符合 G.811 规范的频率参考信号。一般由 GPS 配置铷钟或精选高级晶振组成。在失去 GPS 信号后, 它将降质为二级时钟。

在国内又称 PRS 为区域基准, 即 LPR。

(5) 主从同步状态 (Master Slave Mode): 是这样一个状态, 网络中一个被设计为主钟的时钟作为参考标准, 并向其他时钟分配该参考信号, 网络中其他时钟作为从钟, 受主钟控制。网络中的时钟是分级的, 可以分为主从两级, 也可以分为多级。

(6) 互同步状态 (Mutually Synchronized Mode): 是这样一个状态, 网络中的所有时钟都在一定程度上接受其他时钟的控制。网络中的时钟是不分级别的。

互同步要求时钟具有很高的频率准确度和稳定度。因为要实时计算网络参数, 根据该参数对网络时钟进行动态调整, 这种方式一般仅适合网络规模小且结构简单的网络, 因此, 很少被采用。

(7) 全球定位系统 (Global Position System): 简称 GPS, 是由美国军方开发研制的一套卫星系统, 可以向全球范围内提供定时和定位的功能。它由 24 颗卫星组成。全球各地通过 GPS 接收机接受卫星发出的信号, 调整本地时钟的准确度, 使其跟踪 UTC。

详见第三章第三节。

四、时钟的工作状态

下面的定义主要针对通信网中的从钟。不包括自主运行的基准钟。

(1) 自由运行状态 (Free Running Mode): 是时钟的一个运行状态。此时, 时钟的输出信号取决于内部的振荡源, 并且不受伺服锁相环系统的控制。在这种状态下, 时钟从来没有网络参考输入信号, 或者已经丢失了参考输入信号并且没有与外参考信号相关的存储数据, 可供捕获外参考信息。

当时钟的输出信号不受外参考信号的直接控制或间接影响时, 时钟进入自由运行工作状态。当时钟的输出信号锁定到外参考信号时, 自由运行状态结束。

(2) 保持工作状态 (Hold Over): 是时钟的一个运行状态。此时, 时钟丢失其外参考信号, 使用在锁定状态下存储的数据来控制时钟的输出信号。存储数据用来控制相位和频率变化, 使时钟在指标范围内重建锁定状态的性能。

当时钟的输出信号不受外参考信号的直接或间接控制时, 时钟进入保持工作状态。当时钟的输出信号锁定到外参考信号时, 保持状态结束。

(3) 锁定状态 (Locked Mode): 也称为跟踪状态, 是时钟的一个运行状态。此时, 时钟的输出信号受外参考信号的控制, 这样时钟的输出信号的长期平均频率与输入参考信号一致, 并且输出信号和输入信号间的定时错误是相关联的, 即当主钟信号在从钟的牵引范围内劣化时, 从钟也随之劣化。

锁定状态是从钟的正常工作状态。

五、关于时钟性能的参数

(1) 频率准确度

是指在一定的时间内, 实际信号相对于定义值的最大频率偏差。可以用下式表示:

$$A = \frac{f - f_0}{f_0} = -\frac{T - T_0}{T}$$

式中: A ——时钟的频率准确度

f_0 ——时钟的振荡频率标称值

T_0 ——对应 f_0 的振荡周期

时钟自由运行频率准确度: 是指在时钟的寿命期内, 在没有外参考定时信号的情况下, 即自由运行状态下, 时钟的最大长期频率偏差的限度。一般时钟的寿命期规定为 20 年。

(2) 频率稳定度

由于时钟的内部各种因素的影响或外部环境因素的影响, 时钟振荡频率会出现随机起伏。这种随机起伏的程度用频率稳定度来表示。

频率稳定度可以分为系统影响 (例如频率漂移影响) 和随机的频率起伏。

系统影响: 主要是由辐射、压力、温度、湿度、电源、负载等外界因素和老化引起。

随机的频率起伏主要是在时间领域和频率领域的特性, 例如阿伦变化, 时间变化和单边谱密度。

频率稳定度用阿伦方差的平方根来表征。

(3) 频率漂移率

漂移是时钟的固有特性。大多数时钟经过足够长的预热时间后，振荡频率将随时间作单方向漂移，频率准确度也随之发生变化。

引起时钟频率漂移的主要有内在因素（例如老化）和外界因素（例如：辐射、压力、温度、湿度、电源、负载等）。

频率准确度在单位时间内的变化量称为频率漂移率。包括日漂移率，月漂移率，年漂移率等。

频率漂移率可以比较准确地进行测量，并可以利用测量结果对频率准确度进行修正。

晶体时钟的频率漂移：主要是由石英晶体的老化和温度变化引起的。

原子钟的频率漂移：原子钟没有老化，而温度恒定，因此原子钟的漂移主要由内部器件造成，包括由量子结构的频率漂移、相检及运放的漂移引起。

使用最小二乘法处理一组在不同时刻测得的频率值，可以计算出频率漂移率：

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - f)(t_i - t)}{f_0 \sum_{i=1}^N (t_i - t)^2}$$

式中：K——频率漂移率

t_i ——第 i 个采样时刻，单位为秒、时或日

f_i ——第 i 个采样时刻测得的频率值

f_0 ——时钟的标称频率值

N ——测量数据总数

$$f——\text{频率测量值的平均值}, f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i$$

$$t——\text{测量时刻的平均值}, t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

(4) 平均频率偏差

两台频标在取样时间 τ 内的平均频率偏差。

$$Y(\tau) = \frac{f_A(\tau) - f_B(\tau)}{f_0}$$

$$\text{其中: } f_A(\tau) = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} f_A dt$$

$$f_B(\tau) = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} f_B dt$$

第五节 小 结

数字同步网（简称同步网）是由节点时钟设备和定时链路组成的一个物理网，它为各种业务网提供定时，以实现各种业务网的同步。

一个业务网根据其业务需要，可能会工作在同步状态，伪同步状态，准同步状态或异步状态。

数字同步网与电信管理网、信令网一起并列为三大支撑网。

思 考 题

- 1 什么是同步网？什么是网同步？什么是同步的网？
- 2 同步网与各种业务网之间的关系？
- 3 从同步角度看，业务网可以有哪几种工作状态？
- 4 时钟有哪几种工作状态？