

普通高等院校

电子信息类系列教材

SDH Yuanli
Yu Yingyong

SDH原理 与应用

© 肖萍萍 吴健学 编著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

普通高等院校电子信息类系列教材

SDH 原理与应用

肖萍萍 吴健学 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

SDH 原理与应用 / 肖萍萍, 吴健学编著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.10

(普通高等院校电子信息类系列教材)

ISBN 978-7-115-18511-2

I. S… II. ①肖…②吴… III. 光纤通信—同步通信网—高等学校—教材 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 104307 号

内 容 提 要

本书系统介绍了 SDH 的速率与帧结构, 复用结构、映射方法与指针调整技术, MSTP 的封装技术及实现方法, SDH 设备功能描述, SDH 网络保护与恢复技术, SDH 网络同步的结构及定时方式, 光接口及技术要求, SDH 网络的传输性能, SDH 网络管理功能等。

全书参考了 ITU-T 2007 年以来的最新协议, 力求系统反映 SDH 技术最新发展的全貌, 突出基本概念、基本原理的阐述, 通俗易懂, 理论联系实际, 注重 SDH 技术在通信网中的应用。

本书可作为高等院校通信及电子信息类相关专业的教学用书, 也可作为相关专业技术人员和工程管理人员的培训教材或自学参考书。

普通高等院校电子信息类系列教材

SDH 原理与应用

-
- ◆ 编 著 肖萍萍 吴健学
责任编辑 滑 玉
执行编辑 刘 博
 - ◆ 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@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.25
字数: 370 千字 2008 年 10 月第 1 版
印数: 1—5 000 册 2008 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18511-2/TN

定价: 27.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

信息技术是当今世界科技领域中最有活力、发展最为迅速的高新技术，新概念、新技术、新设备层出不穷，通信网提供的业务也是日新月异。SDH技术的出现是为满足通信网朝着高速化、数字化、综合化及智能化方向发展的必然结果，更是推动传输网实现变革的基础。

SDH技术是在传统PDH技术上发展起来的，SDH具有同步复用、标准的光接口及强大的网管能力，在通信网中得到广泛应用。随着数据业务逐渐成为通信网的主要业务，传统的电路交换网将逐渐向分组网特别是IP网演进，作为支持电路交换方式的SDH的TDM结构将越来越不适应未来业务的发展。现有的城域网存在多个网络重叠建网，造成网络建设与维护成本高、资源利用率低的问题，独立的SDH设备的长远命运受到严重挑战。在SDH技术基础上衍生的MSTP技术，很好地解决了这些问题。MSTP吸取了以太网、ATM、MPLS、RPR等数据技术的优点，能够提供丰富的业务接口，并具有强大的数据处理能力。MSTP技术的应用，使SDH成为真正意义上的公共传输平台，同时也使SDH技术的生命得到延伸。

本书凝聚了作者多年的学习体会和教学积累。在编写的过程中，主要参考了ITU-T 2007年以来的最新协议和大量的国内外参考文献。全书共分9章，第1章主要介绍时分复用原理、数字复用等级系列、各种速率的PDH帧结构以及码速调整原理。编写这一章的目的主要是为不了解PDH技术的读者打基础。第2章重点介绍SDH的特点、速率、帧结构及段开销字节的功能。第3章详细介绍了复用结构、传统的映射方法及指针调整技术。第4章为SDH的新技术，为适应数据业务的高速发展，较全面地介绍了MSTP技术概念及特点、数据业务的各种封装技术及实现方法、级联技术、链路容量调制机制(LCAS)技术。第5章系统介绍SDH设备的逻辑功能，以及具有MSTP功能的典型的SDH设备。第6章主要介绍网络生存性的概念，SDH网络保护与恢复技术。第7章侧重介绍SDH网同步的结构、要求，SDH网同步的定时方式及当前采用较多的大楼综合定时系统(BITS)。第8章是根据高速光通信发展的要求介绍光接口及技术要求、SDH网络的传输性能。第9章首先介绍TMN的概念及体系结构，其次重点介绍SDH网络管理功能及管理协议和标准接口。全书力求知识新，系统性强，突出基本概念、基本原理的阐述，通俗易懂，理论联系实际，注重SDH技术在通信网中的应用。

本书在编写计划的确定过程中，得到了ITU-T专家组成员、武汉邮电科学研究院高级顾问毛谦教授的指导。在编写过程中，得到了武汉邮电科学研究院烽火科技学院任海兰博士、李文耀副教授、何舟博士、武汉邮电科学研究院硕士研究生熊博和王新柱等的大力支持和帮助，在此深表谢意。

作者尽管希望本书能全面准确地反映SDH技术全貌，但由于SDH技术发展变化十分迅速，囿于作者的水平和精力，书中不当或谬误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

作 者

2008年6月于武汉

目 录

第 1 章 PDH 技术基础	1
1.1 时分多路复用.....	1
1.1.1 时分多路复用的原理.....	1
1.1.2 PCM30/32 路系统帧结构.....	2
1.2 数字复接技术.....	4
1.2.1 数字复接等级和系列.....	4
1.2.2 同步与复接的概念.....	5
1.2.3 准同步复接原理及组成.....	7
1.2.4 准同步复接的帧结构.....	8
1.2.5 码速调整原理.....	11
1.2.6 复接抖动的产生及抑制.....	17
复习思考题 1.....	20
第 2 章 SDH 概述	21
2.1 PDH 存在的问题.....	21
2.2 SDH 的特点.....	23
2.3 SDH 的速率.....	25
2.4 SDH 的帧结构.....	26
2.5 段开销字节的功能.....	27
2.5.1 SDH 的复用段与再生段.....	27
2.5.2 段开销字的安排.....	28
2.5.3 段开销字节的功能.....	31
复习思考题 2.....	35
第 3 章 同步复用与映射方法	37
3.1 复用结构.....	37
3.2 复用单元.....	39
3.2.1 容器.....	39
3.2.2 虚容器.....	40
3.2.3 支路单元和支路单元组.....	41
3.2.4 管理单元和管理单元组.....	41
3.3 映射.....	42

3.3.1 映射方式	42
3.3.2 异步映射	44
3.3.3 ATM 的映射	54
3.4 定位	56
3.4.1 管理单元指针调整技术	57
3.4.2 支路单元指针调整技术	61
3.5 同步复用	62
3.5.1 140Mbit/s 复用进 STM-1 的过程	62
3.5.2 34 Mbit/s 复用进 STM-1 的过程	62
3.5.3 2 Mbit/s 复用进 STM-1 的过程	63
3.5.4 4 个 AUG-N 复用进 AUG-4N	64
复习思考题 3	64
第 4 章 多业务传送技术	66
4.1 概述	66
4.1.1 MSTP 的概念及其特点	66
4.1.2 MSTP 的发展	68
4.1.3 MSTP 的主要功能	69
4.2 数据业务的封装技术	70
4.2.1 PPP/HDLC 封装技术	71
4.2.2 LAPS 封装技术	73
4.2.3 GFP 封装技术	85
4.3 级联技术	90
4.3.1 相邻级联	91
4.3.2 虚级联	91
4.3.3 相邻级联与虚级联的互通	96
4.4 链路容量调整机制	98
4.4.1 LCAS 概述	98
4.4.2 LCAS 的实现原理	99
复习思考题 4	107
第 5 章 SDH 设备	108
5.1 SDH 设备模型	108
5.1.1 终端复用器	108
5.1.2 分插复用器	109
5.1.3 数字交叉连接设备	109
5.1.4 再生中继器	111
5.2 SDH 设备逻辑功能描述	112
5.2.1 SDH 复用设备的逻辑功能描述	112

5.2.2 再生中继器逻辑功能描述	120
5.3 具有 MSTP 功能的典型 SDH 设备	121
5.3.1 GF622-06A 设备	121
5.3.2 GF2488-01B 设备	126
5.3.3 GF9953-01C 设备	134
复习思考题 5	138
第 6 章 SDH 网络的生存性	140
6.1 生存性的基本概念	140
6.1.1 SDH 传送网分层模型	140
6.1.2 SDH 网络物理拓扑	141
6.1.3 我国的 SDH 传送网结构	144
6.2 网络的保护与恢复	145
6.2.1 基本概念	146
6.2.2 网络保护方式	146
6.3 线型网保护	147
6.3.1 基本结构	148
6.3.2 线性 APS 倒换协议	149
6.4 环型网保护	151
6.4.1 环网保护的概念	151
6.4.2 环网保护原理	153
6.4.3 环网保护的 APS 协议	157
6.4.4 各种环网特性的比较	159
6.5 基于 DXC 的网络恢复	160
6.6 网络生存性的比较	163
复习思考题 6	164
第 7 章 SDH 网络同步与定时	165
7.1 同步的基本概念	165
7.2 SDH 网同步	167
7.2.1 网同步的必要性	167
7.2.2 我国的数字同步网结构	167
7.2.3 时钟类型与等级	168
7.2.4 时钟工作模式	169
7.2.5 定时基准的分配	170
7.2.6 SDH 网同步的要求	171
7.3 SDH 网的定时方式	172
7.3.1 SDH 网元的定时方式	172
7.3.2 SDH 网元定时方式的应用	174

7.4 典型的同步网设备	174
复习思考题 7	175
第 8 章 SDH 光接口与网络性能	177
8.1 光纤的种类及主要参数	177
8.1.1 光纤的种类	177
8.1.2 光纤的主要参数	178
8.2 光接口及其技术要求	180
8.2.1 SDH 线路系统概述	180
8.2.2 光接口的类型	181
8.2.3 光接口参数	184
8.2.4 光接口参数的应用	195
8.3 SDH 网络性能	197
8.3.1 传输性能指标	197
8.3.2 误码性能	199
8.3.3 抖动性能	206
8.3.4 漂移特性	214
复习思考题 8	216
第 9 章 SDH 网络管理	217
9.1 电信管理网概述	217
9.2 SDH 网络管理	218
9.2.1 SDH 网络管理系统	218
9.2.2 SMN 的分层结构	219
9.2.3 SDH 网络管理功能	221
9.2.4 操作运行接口	224
复习思考题 9	225
附录 缩略语	226
参考文献	235

第 1 章 PDH 技术基础

光纤通信、数字微波（卫星）通信、数据通信等技术的出现，推动了数字通信网络的迅速发展。在数字通信中，把各种低速率的数字信号转换成高速率的数字信号，既可实现大容量传输，又可合理地采用大、中容量的传输信道以满足经济发展的需要。多路复用技术包括频分复用（FDM），时分复用（TDM）与码分复用（CDM）。模拟通信一般采用频分复用技术，随着数字通信技术的发展，时分复用和码分复用在通信系统中的应用越来越广泛。作为 SDH 技术的基础，本章重点介绍时分复用技术。

1.1 时分多路复用

1.1.1 时分多路复用的原理

为了提高信道利用率，信号在传输过程中一般采用多路复用的传输方式，即多路信号在同一条信道上传输。所谓时分多路复用，就是利用多路信号（数字信号）在信道上占有不同的时间间隔来进行通信。目前应用较多的是频分多路复用和时分多路复用，前者适用于时间连续信号的传输；后者适用于时间离散信号的传输。

由抽样定理可知，抽样的一个重要特点是占用时间的有限性，这就使得多路信号的抽样值在时间上互不重叠。各路信息在信道上传输时的抽样只是周期性地占用抽样间隔的一部分。因此，在分时使用信道的基础上可用一个信源信息相邻样值间空闲时间区段来传输其他多个彼此无关的信源信息，这样就构成一种时分复用系统。脉冲编码调制（PCM）时分复用系统如图 1.1 所示。

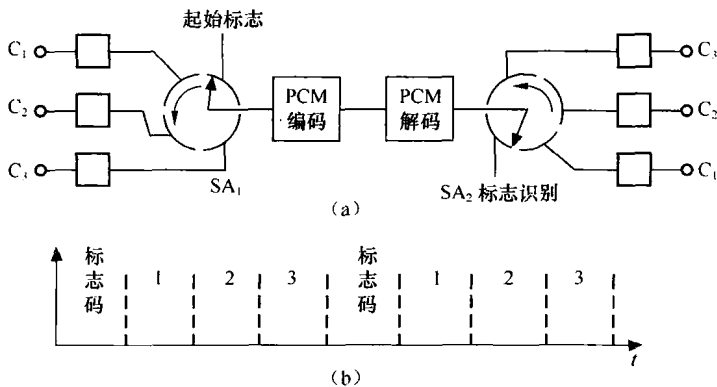


图 1.1 PCM 时分多路复用示意图

图 1.1 给出了 3 个用户时分复用通信及三路信号时隙分配的情况。这 3 个用户分别以 C_1 、 C_2 和 C_3 表示，各用户的接通由电子开关 SA_1 和 SA_2 不停地旋转来完成。开关接通时刻相当于对信号进行抽样，再经过 PCM 编码、传输和 PCM 解码，最后分路送给相应的用户。为了使收发两端用户能在时间上一一相应对准，即收发两端的 C_1 、 C_2 和 C_3 能准确地对应接通，在发送端一定要加入起始标志，在接收端设有标志码识别和调整装置。当相应的位置发生错误时，该装置应有自动调整能力使其调整到正确位置。时分复用系统用“帧同步”这一术语来表示标志码的识别和调整功能。图 1.1 (a) 中开关旋转一周的时间为一帧，该系统中各路信号所占时隙的分配如图 1.1 (b) 所示。

由图 1.1 可以看出，时分多路复用系统中收发两端的同步应包括两个方面。

(1) 时钟频率的同步，使接收端的时钟频率与发送端的时钟频率相同，这相当于使图 1.1 中两端开关的旋转速度相同。

(2) 帧时隙的同步，接收端需要判断由发送端送来的标志时隙位置是否与接收端的相对应，若不对应，则需进行调整使其对应。这相当于使图 1.1 中开关的起始点位置相同。

TDM 对信道中时钟相位抖动及接收端与发送端的时钟同步问题提出了较高要求。所谓时钟同步，是指接收端能正确地从数据码流中识别各种序号。为此，必须在每帧内加上标志信号（标志信号又称为帧同步信号）。标志信号可以是一组特定的码组，也可以是特定宽度的脉冲。在实际通信系统中还必须传送信令以建立通信连接，例如，传送电话通信中的“占用”、“摘机”、“挂机”及“振铃”等信令信号。

1.1.2 PCM30/32 路系统帧结构

实现时分多路复用的关键是将多路信息码在发送端有序地排列，以便在接收端正确地分离。所谓帧结构，就是一种按时隙分配的重复性图案。根据原 CCITT（国际电报电话咨询委员会，后改为 ITU，即国际电信联盟）G.732 中规定的帧结构，将各种信息规律性地相互穿插汇总后形成 2 048kbit/s 的数据码流。时分多路复用的方式是按时隙来进行分割的，每一路信号分配一个时隙，帧同步码和其他业务信号指令码再分配一个或两个时隙。PCM 30/32 路系统共分为 32 个时隙，其中，30 个时隙用来传送 30 路语音信息；一个时隙用来传送帧同步码；一个时隙用来传送业务信号指令码。业务信号指令是指在通信网中与接续的建立和控制，以及与网络管理有关的电信号，通信术语中称为“信令”。为了扩大通信容量，我国高次群数字复接系列中均以这种系统为基本复接单元，因此，将 PCM 30/32 路系统称为基群（或一次群）。PCM 30/32 路系统帧结构如图 1.2 所示。

在 PCM 30/32 路系统中，抽样周期为 $125\mu\text{s}$ ($1/8000\text{Hz}$)，每个样值编 8 位码，称一个码字。为了保全码字，避免译码差错，在基群中是按码字复接的，只要在 $125\mu\text{s}$ 的时间内将 32 路信号（32 个码字）在时间上排开就组成了一帧。每传一个码字的时间称为一个时隙（Time Slot, TS），用 TS_i ($i=0, 1, 2, \dots, 31$) 表示，并规定 TS_0 为同步时隙，作为一帧的开始，在这个时隙中传送帧同步码（帧同步码的码型为 $\times 0011011$ ）和对告码 (A_1)。在 TS_0 中，帧同步码和对告码交替传送，常将传送帧同步码的那一帧称为偶帧，传送对告码的一帧称为奇帧。 TS_0 的第 1 位码留给国际通信使用，也可用于 CRC 校验等，不用时发“1”。

TS_{16} 为信令时隙，主要传送 30 个话路的信令码（“占用”、“拨号”、“挂机”等）。

每个话路的信令有 4 位，分别记为 a、b、c、d，其中，b、c、d 不用时固定发“101”。由于一帧内的 TS_{16} 中只能传送两个话路的随路信令码，将 30 个话路的信令码各传输一次需要 15 帧的时间，各帧的 TS_{16} 中前 4 位码传送第 1~15 路的信令码，后 4 位码传送第 16~30 路的信令码。为了正确分离信令码，并传送复帧对告信号，需要插入复帧同步码及复帧对告码，因此，将 16 帧组成一个复帧，一个复帧内的各帧记为 $F_i (i=0, 1, 2, \dots, 15)$ 。在 F_0 帧的 TS_{16} 内传送复帧同步码（其码型为 0000）和复帧对告码（ A_2 ），并以 F_0 帧作为一个复帧的开始。其他 15 帧的 TS_{16} 内传送 30 个话路的信令码，其中， F_1 帧的 TS_{16} 传送第 1 路、第 16 路的信令码； F_2 帧的 TS_{16} 传送第 2 路、第 17 路的信令码，依此类推。

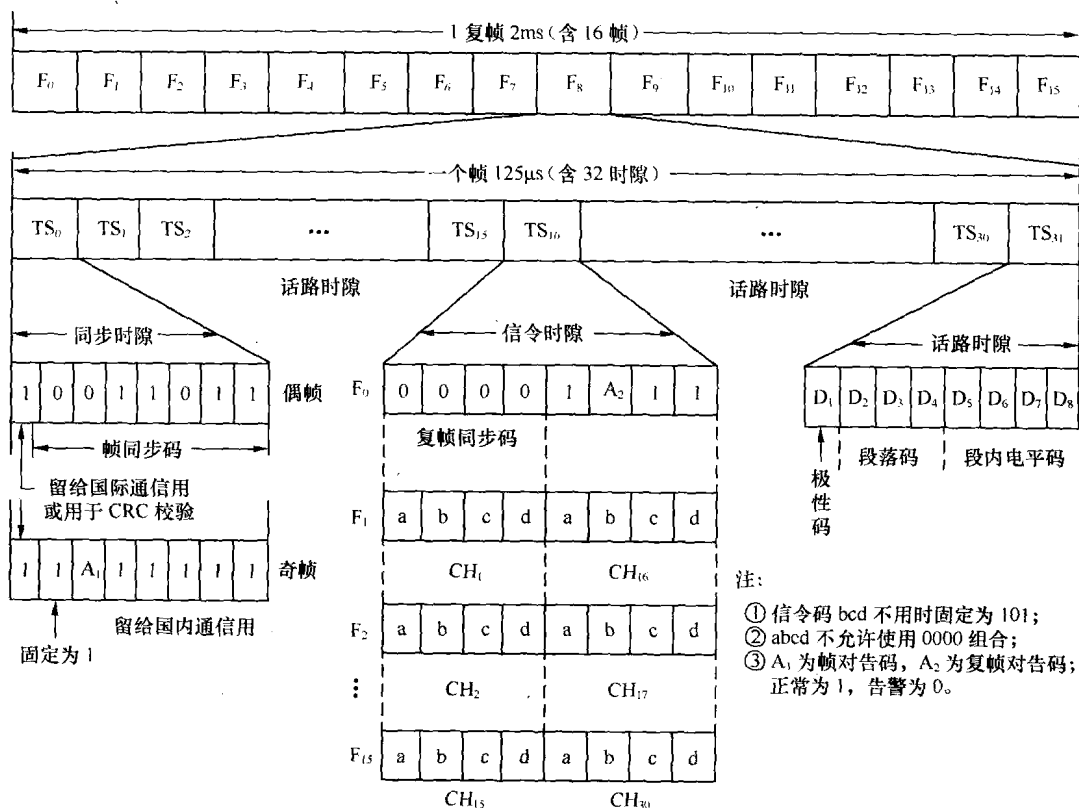


图 1.2 PCM30/32 路帧结构

帧结构中的基本参数:

一帧的比特数为 256bits。

帧周期为 125 μ s。

每时隙的时间为 3.9 μ s。

每位码的时间为 488ns。

复帧周期为 2ms。

传输速率 (或称数码率) 为 2 048kbit/s。

容差为 2 048kbit/s \pm 50ppm。

1.2 数字复接技术

在数字通信网中，为了扩大传输容量、提高传输效率，往往需要把若干路低速数字信号合并成为一路高速数字信号，然后再通过高速信道传输。数字复接技术就是实现这种目的的专门技术。

1.2.1 数字复接等级和系列

数字信号的复接与模拟信号不同，模拟信号的多路复用属于频分复用（FDM），即一路高次群系统是由若干路低次群信号通过频谱搬移叠加而成的；数字信号的复接则属时分多路复用（TDM），即在数字通信系统中，高次群系统由若干个低次群信号系统通过数字复接设备将各路待复用的数字信号在时间轴上依次排开汇总而成。数字复接系列是指数字信号的速率，而数字复接等级则是指按照复接的可能性把数字复接系列按大小划分成等级。某一级的复接是把一定数目具有较低规定速率的数字信号合并成一个较高规定速率的数字信号，这个数字信号在更高一级的数字复接中与具有同样速率的其他数字信号一起进一步合并。规定数字速率系列和规划数字等级要涉及数字网全局，它取决于数字传输、数字复接、信源编码和网络开发等各个方面，其中每一个方面又涉及多种因素。

原 CCITT 在各国大量的理论和试验研究的基础上，经过充分讨论和反复折衷，曾推荐了两个系列、3 种准同步复接体制（PDH）和数字复接等级，如表 1.1 所示。第 1 种准同步复接体制是以 1.544Mbit/s 速率为基础的北美体制，采用这种体制的国家有美国、加拿大及墨西哥等美洲国家；第 2 种准同步复接体制也是以 1.544Mbit/s 为基础的，称为日本体制，采用这种体制的国家有日本等远东国家；第 3 种体制是以 2.048Mbit/s 速率为基础的欧洲体制，采用这种体制的国家是英国、德国、法国及荷兰等欧洲国家，中国采用欧洲体制。这 3 种准同步复接体制的数字复接等级都可以采用逐级合并，例如，从 2.048Mbit/s 合并成 8.448Mbit/s，再从 8.448Mbit/s 合并成 34.368Mbit/s 等，这种方式称为 $n \sim (n+1)$ 的数字复接等级；第 3 种准同步复接体制还可以采用隔级合并，即将 16 个 2.048Mbit/s 合并为 34.368Mbit/s 或将 16 个 8.448Mbit/s 合并成 139.264Mbit/s，这种方式称为 $n \sim (n+2)$ 的数字复接等级。

表 1.1 原 CCITT 推荐的数字复接系列和数字复接等级

系 列	地 区		一 次 群	二 次 群	三 次 群	四 次 群	五 次 群
1	北美	话路数	24	× 4 96	× 7 672	× 6 4 032	
		数码率	1.544	6.312	44.732	274.176	
	日本	话路数	24	× 4 96	× 4 480	× 3 1 440	× 4 5 760
		数码率	1.544	6.312	32.064		397.2
2	欧洲	话路数	30	× 4 120	× 4 480	× 4 1 920	× 4 7 680
		数码率	2.048	8.448	34.368	139.264	564.992

注：数码率的单位为 Mbit/s。

我国经过多年的探索已经统一采用了第3种准同步复接体制，并且采用 $n \sim (n+1)$ 方式和 $n \sim (n+2)$ 方式。实践证明，采用这种准同步复接体制和数字复接等级在技术上有3个优势。

第一，原 CCITT 关于第3种准同步复接体制的建议比较单一、完善。

第二，数字复接技术性能比较好，例如，对传送的数字信号的结构没有任何限制，即比特序列独立性较好；从发展的眼光看，信令通道容量比较充裕；集中式帧定位的搜捕性能也比较好。

第三，第3种准同步复接体制的帧结构与数字交换的帧结构是统一的，便于向数字传输与数字交换统一化方向发展。

1.2.2 同步与复接的概念

数字复接系统包括数字复接器和数字分接器两部分。复接器由定时系统、调整单元和复接单元组成；分接器包括同步、定时系统、分接单元及恢复单元，如图 1.3 所示。定时系统提供统一的时间基准。复接器的定时系统可以是内部时钟，也可以是外部时钟；分接器的定时系统只能借助于同步单元的控制，由接收的时钟来推动，使得分接器的时间基准保持正确的相位关系，即保持同步。

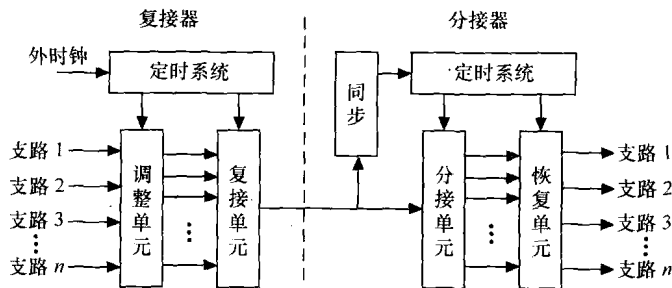


图 1.3 数字复接设备框图

1. 同步

数字信号的复接需要解决两个问题：“同步”和“复接”。待复接的是若干路独立的等级较低的数字信号，这些信号可能具有不同的数码率，也可能具有相同的标称数码率，但瞬时数码率却不尽相同。所谓同步，就是要使几个数码率不同的信号的瞬时速率完全一致。只有数码率完全相同的信号才能进行复接。

因为各个待复接支路的时钟可以是统一的（称为同源信号）又可以是单独的（称为异源信号），所以复接的方法不相同。前者由于各支路信号是同步的，所以不需要进行码速的调整，这种信号的复接称为“同步复接”。对于异源信号，首先要使各支路的信号同步，然后再进行复接，这种复接方法称为“准同步复接”。信号同步的方法一般采用“脉冲插入法”，也就是人为地在各信号中插入一些脉冲，通过控制插入脉冲的多少使得各支路的瞬时数码率达到一致。由于这种码速调整方法提高了待复接信号的数码率，因此，称这种码速调整方法为“正码速调整”。当然，正码速调整的准同步复接方法并不仅用于对异源信号的复接，也可用于对

同源信号的复接。

插入的脉冲在接收端要扣除，以保证各路信号结构的完整性。扣除插入脉冲后，信号中会留下空隙，使得信码的间隔不相等，需要“平滑”才能使得信码间隔基本相等。然而，即使经过了平滑处理，间隔不相等的现象或多或少还是存在的。这种由于码速调整过程引入的间隔不相等，称为“复接抖动”。

正码速调整是我国普遍采用的同步技术，尽管复接抖动比较严重，但由于此方法较易实现，所以仍然大量采用，本章将重点讨论这种方法。为了减小复接抖动，还应该“正/负码速调整”和“正/零/负码速调整”同步技术。

2. 复接

将几个数码率完全相同的支路信号合起来称为复接。复接实际上是一种时分复用，即不同的支路信号占有不同的时间间隔。在接收端，根据时间上的不同再将信号分开，这一步骤称为“分接”。根据在每个时间间隔上传送码字的多少，复接可分为按位复接、按码字复接和按帧复接等3类。

(1) 逐比特复接

所谓逐比特复接（或称按位复接），也就是按被复接支路的顺序，每次只依次复接一位码。例如，将四路低速率信号进行复接，首先传送第1路的第1位码，然后再传第2路的第1位码、第3路的第1位码、第4路的第1位码。接下去，依次传送第1~4路的第2位码，依此类推。逐比特复接的波形如图1.4所示。从图1.4中可以看出，复接后每位码的宽度只有原来的1/4，但速率提高了3倍。目前，大多数的PDH复接设备都是采用这种方法。这种复接方法最大的优点是直观明了、简单易行、所需复接缓存器的容量较小。

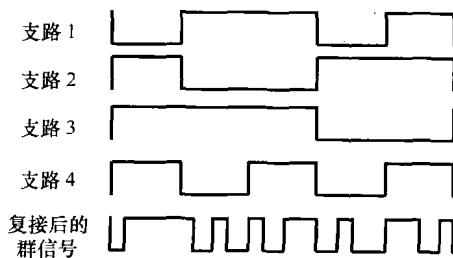


图1.4 逐比特复接的波形图

在数字复接过程中，缓存器是不可缺少的部件。

当设备正在进行第1路信号的复接时，第2~4路的信码仍然不停地发送，这就需要用缓存器先将信息码存储起来，否则，可能造成数据丢失。缓存器的容量由下式决定：

$$M = \frac{U(m-1)}{m} + 1 \text{ (bit)} \quad (1-1)$$

式中， U 为单位间隔内的比特数， m 为复接路数。将 $U=1$ ， $m=4$ 代入上式，得 $M=1.75\text{bit}$ 。可见，逐比特复接时缓存器的容量为2 bit即可。

(2) 按码字复接

按码字复接又称按路复接。对于PCM基群而言，每一个样值编8位码称为一个“码字”。按码字复接就是按被复接支路的顺序，每次复接一个基群的一个码字。这种方法循环周期长，需要大容量的缓存器，所以高次群复接设备一般不采用此方法。这种方法优点是可以保全完整的字结构，便于多路合成和交换，所以PCM基群采用这种方法。SDH设备是以字节为单位进行复接的，也采用这种方法。

(3) 按帧复接

顾名思义，这种方法每次复接一个支路一帧的码元，其优点是不破坏支路信号的帧结构，

但所需缓存器的容量更大，故极少使用。

1.2.3 准同步复接原理及组成

如果被复接支路的时钟各自由本机提供，这些时钟都允许有一定的偏差（例如， $\pm 50\text{ppm}$ ），显然它们的瞬时数码率是不同的。在复接这些异源信号之前，要对各个支路的信号实施频率和相位调整，使之成为同步的数字信号，然后再进行复接，这种复接方式称为准同步复接（PDH）。下面以二次群数字复接系统为例说明准同步复接原理。

二次群准同步复接系统原理框图如图 1.5 所示。

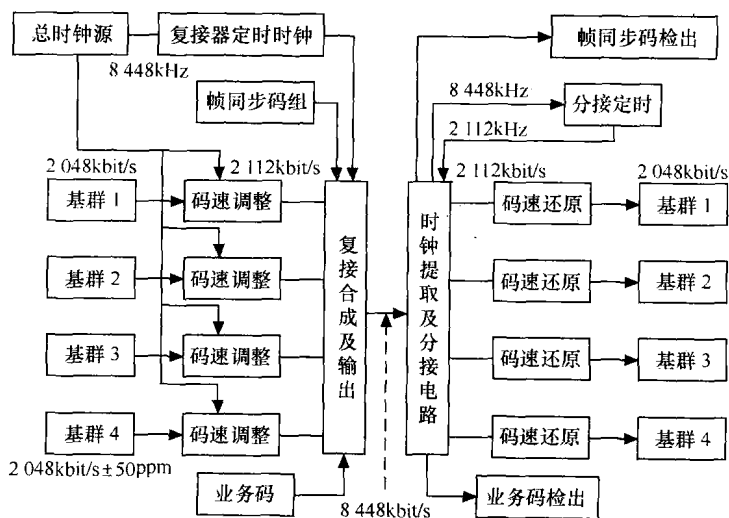


图 1.5 二次群准同步复接系统框图

由图 1.5 可以看出，二次群准同步复接系统分为复接器和分接器，主要由 4 部分组成：定时时钟，码速变换，帧同步，业务码的产生、插入和检出。

(1) 定时时钟

主要产生收发两端所需要的时钟及其他各种定时脉冲，使复接设备按一定的时序工作。

(2) 码速变换

码速变换部分完成码速调整、复接、分接及码速还原的功能。其中，码速调整部分采用的是正码速调整，即将被复接支路信号的速率调高，通常采用“脉冲插入同步”方式。这种方式是在固定位置上随机插入一些伪信息脉冲（或称填充信息）使得各支路信号的瞬时数码率达到一致，同时利用固定位置上的码速调整控制比特来显示插入的脉冲是否载有真实数据。在发送端，码速调整电路将速率为 $2\,048\text{kbit/s}$ 的基群信号调整为 $2\,112\text{kbit/s}$ 的数码流，然后将 4 个支路调整后的信号进行复接，复接后的群信号速率为 $8\,448\text{kbit/s}$ ，送往传输线路。在接收端，先由分接电路将收到的 $8\,448\text{kbit/s}$ 群信号分离成 4 个支路信号，每个支路的速率为 $2\,112\text{kbit/s}$ 。码速还原部分将 $2\,112\text{kbit/s}$ 的数码流恢复成 $2\,048\text{kbit/s}$ 的基群信号。

(3) 帧同步

该部分产生帧同步码组，其目的是使分接器的帧状态相对于复接器的帧状态能获得并保持正确的相位关系，而且能正确地实施分接。因此在复接合成的数码流中必须循环插入帧同

步码组。

(4) 业务码的产生、插入和检出

该部分主要产生告警、监测、勤务及联络信号，用于收发两端的业务联系及设备工作状态的监测。

1.2.4 准同步复接的帧结构

1. 帧的组成

无论是同步复接还是准同步复接，除了传输各支路的信号外，还要插入帧同步信码以保证收端正确分离各支路信号。通常，在一帧中包含以下内容：

(1) 帧定位信号 (Frame Alignment Signal) 帧定位信号也称为帧同步信号，用以标志一帧的开始。按插入方式分类，帧定位信号可分为分散式插入和集中式插入两种，它们分别用于不同的系统中。以 PCM30/32 路设备为基群的复接系统采用集中式插入方式。

(2) 信息码位 信息码位是一帧中的主要内容，各个支路的码字都是按顺序交织地插在信息位上传送的。支路信息码中的全部内容（包括信息码、同步码、信令码等）在复接过程中均为“信息码”。

(3) 勤务数字 (Service Digital) 通常指保障设备正常工作并能提供各种方便的服务码位，如告警信号、码速调整标志信号等。

2. 二次群准同步复接的帧结构

二次群准同步复接器的数码率是 8 448kbit/s，而 4 个基群的信号合起来的数码率仅为 8 192kbit/s，因此，在复接过程中每秒需要插入 256kbit/s 的伪信息码。在这 256kbit/s 的伪信息码中，包括：①根据原 CCITT 规定的帧定位码准同步复接的帧同步为 1111010000，采取集中插入方式；②为了便于维护，需要插入一些监测、对局告警等业务码；③还有一些不带任何信息的码，称调整码或插入码，其作用是调整基群的码速，使其瞬时数码率保持一致并与复接器主时钟的变化相适应。当复接器的主时钟频率升高（最高为 8 448.253kHz）而某一基群的时钟频率下降（最低为 2 047.9kHz）时，就要多插入一些调整码，反之则要少插一些。这些码都是固定插入的，插入位置和码型都不变。按技术指标规定基群数码率及容差为 $2\,048\text{kbit/s} \pm 50\text{ ppm}$ （即 $\pm 102\text{kbit/s}$ ），由于各支路的瞬时数码率不同，调整码插入的多少是随机的。为了使接收端能识别本帧内是否有插入，以便消插还原，复接前在发送插入码的同时需要发出“插入标志信号”。为了使分接器“消插”方便，通常采用“定位插入”法，即接收端收到“插入标志信号”，则规定的位置上是插入码，需要消插；若没收到“插入标志信号”，则规定的位置上仍然为所传输的信息码，不能消插。

复接设备对“插入标志信号”的要求较高，因为一旦出错就会导致支路码流发生丢失一个比特或误插一个比特的结构性损伤，即出现滑帧。为此通常采用三位码，并采取纠错措施，例如：用 111 表示插入，用 000 表示未插入；在接收端采取择多判决，即三位码中至少有两个 1 才判为有调整，至少有两个 0 才判为无调整。这样，明显提高了设备工作的可靠性，例如，当信道的误码率为 P_e 时，用一位码作插入标志信号时正确率为 $1 - P_e$ ，用三位码后，只要三位码中有两位码正确就行，其正确率为

$$3P_e(1 - P_e)^2 + (1 - P_e)^3 = 1 - 3P_e^2 + 2P_e^3 \quad (1-2)$$

当 $P_e = 10^{-3}$ 时，前者的正确率为 0.999，后者的正确率可达 0.999 997 以上，由此可见，可靠性确有很大的提高。

每个基群支路比特分配示意图如图 1.6 所示。在图 1.6 中， j 为支路序号， $j = 1, 2, 3, 4$ ， $F_{j1} \sim F_{j3}$ 为帧同步码和业务码， $C_{j1} \sim C_{j3}$ 为插入标志码， V_j 为调整码率用的插入码。为了消插的方便， V_j 码固定在 161 时隙，当需要调整时（即 $C_{j1} \sim C_{j3} = 111$ ），在 161 时隙插入一位不带信息的码；不需要调整时（即 $C_{j1} \sim C_{j3} = 000$ ），161 时隙仍然传输信息。此外，4 个组中共有 206 个信息码（含 V 码），总码数为 212bit。根据支路比特分配方案，将 4 个支路逐位复接可构成准同步复接的二次群帧结构，如图 1.7 所示。一帧内的码位数为 848bit，帧周期为 100 μ s。

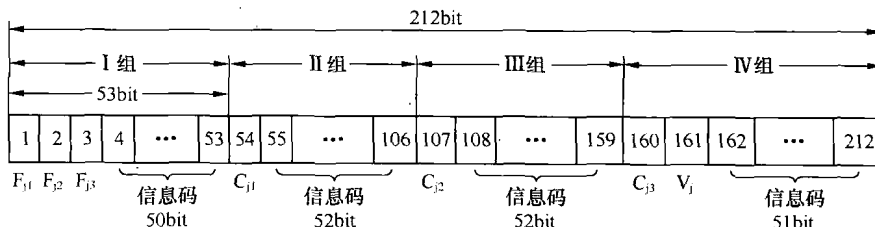


图 1.6 基群支路比特分配示意图

图 1.7 是二次群一帧中各种信号码的实际安排情况。4 个支路的前 3 位码安排在一起，共计 12 位，其中，前 10 位用作复接器的帧同步码（码型为 1111010000），第 11 位为告警位，第 12 位备用，这 12 位码在复接设备中采用的是集中插入方式。图 1.7 中采用按位复接，将信息码、插入标志码和调整位依次排开，组成完整的一帧（848bit）。

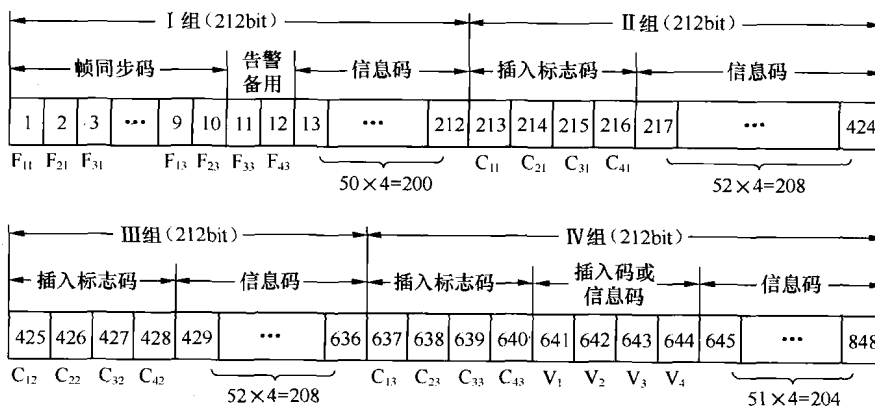


图 1.7 准同步复接的二次群帧结构

3. 三次群的帧结构

三次群能复用 4 个二次群的信号。首先将每个二次群的 8 448kbit/s 的信号调整为 8 592kbit/s，4 个二次群的信号逐位复用后可得到速率为 3 4368kbit/s 的信号。

三次群的帧结构与二次群类似，帧同步码组相同，帧同步码、业务码的安排与二次群完全一样，不同的是增加了每组中支路信息码位。三次群每一帧每个支路有 384bit，分成 4 组，