

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

SDH 技术

(第3版)

孙学康 毛京丽 编著

SDH Technology (3rd Edition)



精品系列

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国工信出版集团

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

SDH 技术

(第3版)

孙学康 毛京丽 编著

SDH Technology (3rd Edition)

人民邮电出版社

北京



精品系列

图书在版编目 (CIP) 数据

SDH技术 / 孙学康, 毛京丽编著. -- 3版. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2015. 12
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-40890-7

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第258770号

内 容 提 要

本书分为两部分共9章。第1部分包括第1章和第2章,详细地介绍了SDH的基本概念以及SDH的复用、映射和定位等基本原理。第2部分包括第3~9章,内容侧重实际应用技术,介绍SDH设备(包括终端设备、分插复用设备、数字交叉连接设备、中继设备),SDH传送网的结构及其自愈功能,SDH传输系统性能分析,基于SDH多业务传送平台,SDH与MSTP同步网以及网络管理等实际问题。另外,讨论了SDH在互联网、接入网中的应用方案以及MSTP在城域网中的应用方案,并通过实例,介绍了SDH和MSTP网络规划设计内容。

本书可作为高等学校通信专业的教材,也可供从事通信工作的工程技术人员参考。

-
- ◆ 编 著 孙学康 毛京丽
责任编辑 张孟玮
执行编辑 李 召
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16 2015年12月第3版
字数: 392千字 2015年12月河北第1次印刷

定价: 45.00元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

随着 IP 业务的迅速发展,因特网已由简单的传送数据文件发展到普遍提供实时视频、音频通信及动画、广告等其他娱乐服务,数据传输量大大增加,因而对通信网络的服务质量提出了更高的要求。尽管 SDH 光传送网最初是针对话音业务而设计的,但其低传输损耗和宽传输带宽的特点,特别是在基于 SDH 的多业务传送技术应用于城域网之后,使其成为高速数据业务的理想传输手段之一。

本书在内容取材和编写上具有以下特点。

(1) 内容全面。全书包括 SDH 技术和基于 SDH 的多业务传送平台(MSTP)两部分内容,主要涉及 SDH 网络的基本概念及特点,SDH 的映射、定位和复用过程,SDH 设备与传输系统,SDH 传送网络结构,MSTP 的基本概念和特点、MSTP 中的关键技术和以太业务、ATM 业务、TDM 业务的实现过程等。

(2) 循序渐进。由于 SDH 技术是在 PDH 技术的基础上发展而来的,考虑到知识的连续性,教材中特意补充了有关数字通信的基础理论,以利于学生由浅到深地全面掌握 SDH 与 MSTP 传输技术。

(3) 实用性强。书中包括了 SDH 线路系统性能分析、SDH 在互联网和接入网中的应用、SDH 支撑网、MSTP 技术在城域网和接入网中的应用、SDH 与 MSTP 网络规划设计等,符合技术发展和市场的需求。

为了便于学习,每一章还提供了内容摘要、小结和复习题。

本次修订在《SDH 技术(第2版)》的基础上做了如下调整。

增加了有关高速光纤传输系统性能分析,MSTP 网络规划设计及其在接入网、城域网、承载网中的应用等内容,并对 SDH 支撑网的内容进行了有效梳理,使其更具条理性。考虑到知识的连续性,教材中补充了有关数字通信的基础理论。

本书作为通信专业的本科生教材,具有理论适中、内容实用便于自学的特点,因而也可供从事通信方面工作的工程技术人员参考。

本书的第1、2、7、9章由毛京丽负责编写,第3、4、5、6、8章由孙学康负责编写。

本书在编写的过程中,得到了北京邮电大学李文海、张政、张金菊、段炳毅教授和董跃武、段玫、王晓勤老师的热心指导,在此表示衷心的感谢。同时还要感谢周日康、武强、任永攀、许世纳、苏坤、吴宏星等对本书所提供的帮助。

编者

2015年11月

目 录

第 1 章 概述	1	2.2.2 通道开销	35
1.1 PDH 的局限性	1	2.2.3 映射方式的分类	38
1.1.1 PCM 基本概念	1	2.2.4 映射过程	40
1.1.2 PCM30/32 路系统	4	2.3 定位	51
1.1.3 准同步数字体系	7	2.3.1 定位的概念及指针的作用	51
1.1.4 PDH 的局限性	14	2.3.2 指针调整原理及指针调整 过程	52
1.2 SDH 基本概念	15	2.4 复用	58
1.2.1 SDH 的概念	15	2.4.1 复用过程	58
1.2.2 SDH 的优缺点	16	2.4.2 2.048Mbit/s 信号映射、定位、 复用的过程总结	60
1.3 SDH 的速率体系	17	2.4.3 34.368 Mbit/s 信号映射、定位、 复用的过程总结	62
1.4 SDH 的基本网络单元	17	2.5 复用映射单元的参数	63
1.4.1 终端复用器	17	小结	64
1.4.2 分插复用器	17	复习题	65
1.4.3 再生中继器	19	第 3 章 SDH 设备	67
1.4.4 同步数字交叉连接设备	19	3.1 SDH 逻辑功能块	67
1.5 网络节点接口与 SDH 的帧结构	21	3.1.1 基本功能块	67
1.5.1 网络节点接口	21	3.1.2 复合功能块	76
1.5.2 SDH 的帧结构	22	3.1.3 辅助功能块	76
1.5.3 段开销字节	23	3.2 再生器	78
小结	28	3.2.1 SDH 物理接口 (1)	79
复习题	29	3.2.2 再生器终端 (1)	79
第 2 章 同步复用与映射方法	31	3.2.3 再生器终端 (2)	79
2.1 复用结构	31	3.2.4 SDH 物理接口 (2)	80
2.1.1 SDH 的一般复用结构	31	3.3 复用设备	80
2.1.2 复用单元	32	3.3.1 终端复用设备	80
2.1.3 我国的 SDH 复用结构	33		
2.2 映射	35		
2.2.1 映射的概念	35		

3.3.2 分插复用器	81	5.1.3 SDH 网络拓扑结构	134
3.3.3 复用器类型IV	82	5.2 自愈网	139
3.3.4 复用设备的抖动和漂移性能	83	5.2.1 自愈网的概念	139
3.4 数字交叉连接器	85	5.2.2 自动线路保护倒换	140
3.4.1 问题的提出	85	5.2.3 环路保护	142
3.4.2 DXC 的基本功能	85	5.2.4 DXC 保护	149
3.4.3 DXC 的特点及与数字 交换机的区别	86	5.2.5 混合保护	150
3.4.4 DXC 设备连接类型	87	5.2.6 各种自愈网的比较	150
3.4.5 DXC 设备性能要求	89	小结	151
小结	90	复习题	152
复习题	91	第6章 基于SDH的多业务传送平台	153
第4章 SDH 光传输系统	92	6.1 MSTP 的基本概念及特点	153
4.1 系统结构	92	6.2 MSTP 中的关键技术	154
4.2 衰减与色散对中继距离的影响	93	6.2.1 级联与虚级联	154
4.2.1 衰减对中继距离的影响	94	6.2.2 链路容量调整方案(LCAS)	157
4.2.2 色散对中继距离的影响	94	6.2.3 通用成帧协议	159
4.2.3 最大中继距离的计算	96	6.2.4 智能适配层	163
4.3 高速长距离光传输系统	98	6.3 多业务传送平台	163
4.3.1 传输通道特性	98	6.3.1 以太网业务在MSTP中的 实现	163
4.3.2 高速光传输系统	99	6.3.2 ATM 业务在MSTP中的 实现	165
4.3.3 超长距离光传输系统中的 光放大技术	102	6.3.3 TDM 业务在MSTP中的 实现	166
4.4 SDH 网络性能指标	107	6.4 MPLS 技术在MSTP中的应用	166
4.4.1 SDH 网络性能指标	107	6.4.1 MPLS 技术基础	166
4.4.2 SDH 网络的误码性能	108	6.4.2 MPLS 技术在MSTP中的 应用	168
4.4.3 SDH 网络抖动性能	111	6.5 弹性分组环技术在MSTP中的 应用	170
4.4.4 SDH 网络延时特性	114	6.5.1 弹性分组环基础理论	170
4.5 SDH 光接口、电接口技术标准	116	6.5.2 RPR 技术在MSTP中的 应用	177
4.5.1 SDH 光接口、电接口的 定界	116	6.6 MSTP 的性能指标	178
4.5.2 SDH 光接口技术指标	117	小结	179
4.5.3 SDH 电接口指标	123	复习题	181
小结	126	第7章 SDH 支撑网	182
复习题	127	7.1 SDH 同步网	182
第5章 SDH 传送网络结构和自愈网	128	7.1.1 网同步的基本概念	182
5.1 SDH 传送网	128		
5.1.1 传送网的基本概念	128		
5.1.2 分层与分割的概念	129		

7.1.2 SDH 同步网	186	8.3 MSTP 技术在城域网中的应用	230
7.2 电信管理网与 SDH 管理网	193	8.3.1 MSTP 在城域网中的应用 优势	230
7.2.1 电信管理网基础	193	8.3.2 MSTP 应用模式	230
7.2.2 SDH 管理网	201	8.4 MSTP 在 IP 承载网中的应用	232
7.3 MSTP 管理网	208	小结	232
7.3.1 对 MSTP 网络管理的要求	208	复习题	233
7.3.2 基于 SDH 的 MSTP 网络 管理体系结构	208	第 9 章 SDH 与 MSTP 本地传输网规划 设计	234
7.3.3 MSTP 网络管理功能	209	9.1 本地传输网规划设计概述	234
7.3.4 网元管理系统与网络 管理系统接口功能	211	9.1.1 本地传输网的分层结构	234
小结	214	9.1.2 本地传输网的分层规划 设计	234
复习题	216	9.2 SDH 本地传输网规划设计	237
第 8 章 SDH 和 MSTP 的应用	217	9.2.1 SDH 本地传输网规划设计的 原则及内容	237
8.1 SDH 在互联网中的应用	217	9.2.2 SDH 本地传输网规划设计的 方法	238
8.1.1 Internet 网络	217	9.3 MSTP 本地传输网规划设计	245
8.1.2 实现宽带 IP 网络的主要 技术	217	9.3.1 MSTP 本地传输网规划设计的 方法	245
8.1.3 IP over SDH 技术	221	9.3.2 MSTP 本地传输网的分层 组网设计	245
8.1.4 基于 SDH 的千兆以太网 (GEOS-Gbit Ethernet over SDH) 技术	223	小结	248
8.2 SDH 在接入网中的应用	227	复习题	249
8.2.1 在接入网中应用 SDH 的 主要优势	228	参考文献	250
8.2.2 SDH 在接入网中的应用 方案	228		

21 世纪人类进入高度发达的信息社会，这就要求高质量的信息服务与之相适应，也就是要求现代化的通信网向着数字化、综合化、宽带化、智能化和个人化方向发展。传输系统是现代通信网的主要组成部分，而传统的准同步数字体系（PDH）有其自身的一些弱点，为了适应通信网的发展，需要一个新的传输体制，同步数字体系（SDH）则应运而生。

本章首先介绍准同步数字体系（PDH）的基本概念、分析 PDH 的局限性，然后引出 SDH 的概念及优缺点，最后介绍 SDH 的速率体系、基本网络单元和帧结构。

1.1 PDH 的局限性

1.1.1 PCM 基本概念

1. PCM 的概念

数字通信是以数字信号的形式来传递消息的，其传输的主要对象是话音信号等。而话音信号是幅度、时间取值均连续的模拟信号，所以数字通信所要解决的首要问题是模拟信号的数字化，即模/数变换（A/D 变换）。

模/数变换的方法主要有脉冲编码调制（PCM）、差值脉冲编码调制（DPCM）、自适应差值脉冲编码调制（ADPCM）、增量调制（DM）等。

脉冲编码调制（PCM）是对模拟信号的瞬时抽样值量化、编码，以将模拟信号转化为数字信号。

2. PCM 通信系统的构成

若模/数变换的方法采用 PCM，由此构成的数字通信系统称为 PCM 通信系统。采用基带传输的 PCM 通信系统构成方框图如图 1-1 所示。

PCM 通信系统由以下三个部分构成。

（1）模/数变换

模/数变换（A/D 变换）具体包括抽样、量化、编码三步。

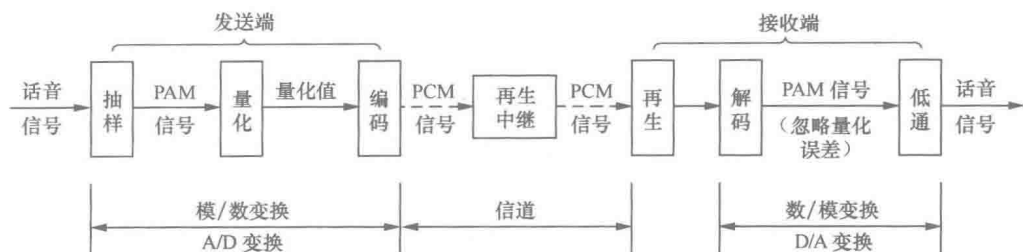


图 1-1 PCM 通信系统的构成方框图 (基带传输)

① 抽样

所谓抽样就是每隔一定的时间间隔 T (称为抽样周期), 抽取模拟信号的一个瞬时幅度值 (样值)。即抽样是把模拟信号在时间上离散化, 变为脉冲幅度调制 (PAM) 信号。

抽样是由抽样门来完成的, 在抽样脉冲 $S_T(t)$ 的控制下, 抽样门闭合或断开, 如图 1-2 所示。

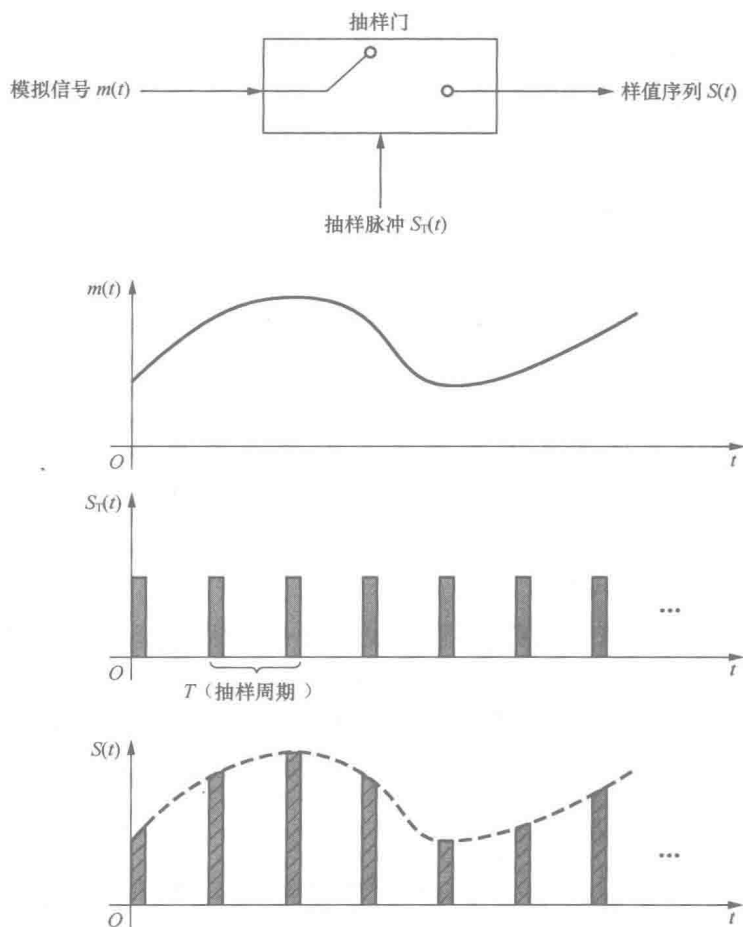


图 1-2 抽样过程

每当有抽样脉冲时, 抽样门开关闭合, 其输出取出一个模拟信号的样值; 当抽样脉冲幅度为零时, 抽样门开关断开, 其输出为零 (假设抽样门等效为一个理想开关)。抽样后所得出的一串在时间上离散的样值称为样值序列或样值信号, 也称为 PAM 信号, 由于其幅度取值

仍然是连续的，所以它仍属于模拟信号。

抽样要满足抽样定理。根据推导得出低通型信号（模拟信号的频率范围为 $f_0 \sim f_M$ ， $B = f_M - f_0$ ，若 $f_0 < B$ 称为低通型信号）的抽样定理为：“一个频带限制在 f_M Hz 以下的连续信号 $m(t)$ ，可以唯一地用时间每隔 $T \leq \frac{1}{2f_M}$ 秒的抽样值序列来确定。”即对于频率范围为 $f_0 \sim f_M$ 的模拟信号，其抽样频率 $f_s \geq 2f_M$ $\left(f_s = \frac{1}{T}\right)$ 。否则，抽样后的 PAM 信号会产生折叠

噪声，收端将无法用低通滤波器准确地恢复或重建原模拟信号（推导及说明从略，详见《数字通信原理》相关教材）。

话音信号的最高频率限制在 3400Hz，这时满足抽样定理的最低的抽样频率应为 $f_{s\min} = 6800$ Hz，为了留有一定的防卫带，CCITT 规定话音信号的抽样频率为 $f_s = 8000$ Hz，这样就留出了 $8000 - 6800 = 1200$ Hz 作为滤波器的防卫带。

② 量化

量化是将时间域上幅度连续的样值序列变换为幅度离散的信号（量化值）。即量化是把 PAM 信号在幅度上离散化，变为量化值（共有 N 个量化值）。

量化分为均匀量化和非均匀量化两种。均匀量化是在量化区内（即量化范围为 $-U \sim +U$ ， U 为过载电压。话音信号为小信号时出现的机会多，而大信号时出现的机会少，其主要分布在 $-U \sim +U$ 之间）均匀等分 N 个小间隔。非均匀量化大、小信号的量化间隔不同，信号幅度小时，量化间隔小，其量化误差也小；信号幅度大时，量化间隔大，其量化误差也大。数字通信系统中通常采用非均匀量化。

实现非均匀量化的方法有模拟压扩法和直接非均匀编解码法，目前一般采用直接非均匀编解码法。所谓直接非均匀编解码法是在发端根据非均匀量化间隔的划分直接将样值编码（非均匀编码），在编码的过程中相当于实现了非均匀量化，收端进行非均匀解码。

③ 编码

编码是用二进制来表示 N 个量化值，每个量化值编 l 位码，则有 $N = 2^l$ 。

值得说明的是：由于直接非均匀编解码法是在发端根据非均匀量化间隔的划分直接将样值编码，在编码的过程中相当于实现了非均匀量化，所以实际数字通信系统中采用的编码器是对样值编码。

(2) 信道部分

信道部分包括传输线路及再生中继器。再生中继器可消除噪声干扰，所以数字通信系统中每隔一定的距离加一个再生中继器以延长通信距离。

(3) 数/模变换

接收端首先利用再生中继器消除数字信号中的噪声干扰，然后进行数/模变换。数/模变换包括解码和低通两部分。

① 解码

解码是编码的反过程，假设忽略量化误差（量化值与 PAM 信号样值之差）的话，解码后还原为 PAM 信号。

② 低通

收端低通的作用是恢复或重建原模拟信号。

1.1.2 PCM30/32 路系统

1. 时分多路复用通信

(1) 时分多路复用的概念

所谓时分多路复用(即时分制)是利用各路信号在信道上占有不同时间间隔的特征来分开各路信号。具体来说,把时间分成均匀的时间间隔,将各路信号的传输时间分配在不同的时间间隔内,以达到互相分开的目的。

(2) PCM 时分多路复用通信系统的构成

PCM 时分多路复用通信系统的构成如图 1-3 所示。为简化起见只绘出 3 路复用情况,现结合图 1-4 所示波形图说明时分复用通信系统的工作原理。

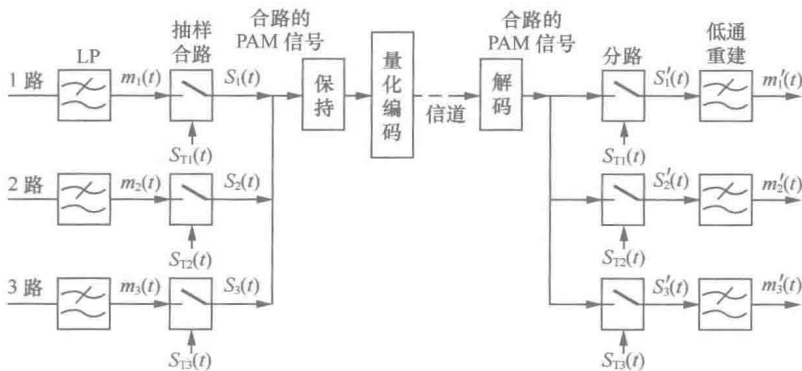


图 1-3 PCM 时分多路复用通信系统的构成

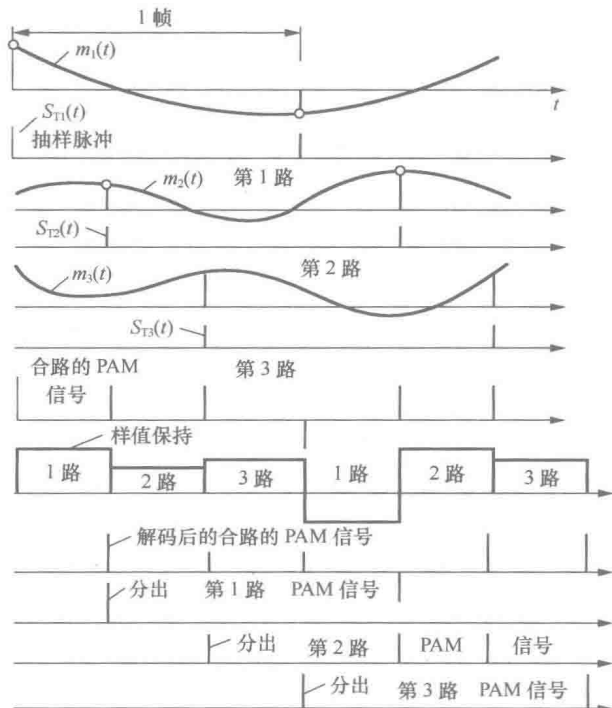


图 1-4 PCM 时分复用波形变换示意图

各路信号先经低通滤波器（截止频率为 3.4kHz）LP 将频带限制在 0.3~3.4kHz 以内，防止高于 3.4kHz 的信号通过，避免抽样后的 PAM 信号产生折叠噪声。然后各路话音信号 ($m_1(t) \sim m_3(t)$) 经各自的抽样门进行抽样，抽样间隔均为 $T=125\mu\text{s}$ ($f_s=8\text{kHz}$)，抽样脉冲 $S_{T1}(t) \sim S_{T3}(t)$ 的脉冲出现时刻依次错后，因此各路样值序列在时间上是分开的，从而达到合路的目的。

由于编码需要一定的时间，为了保证编码的精度，要将样值展宽占满整个时隙，因此合路的 PAM 信号送到保持电路，它将每一个样值记忆一个路时隙，然后经过量化编码变成 PCM 信码，每一路的码字依次占用一个路时隙。

在接收端，解码后还原成合路的 PAM 信号（假设忽略量化误差）。由于解码是在一路码字（每个样值编 8 位码，8 位码称为一个码字）都到齐后，才解码成原抽样值，所以在时间上推迟了一些。最后通过分路门电路，将合路的 PAM 信号分配至相应的各路中去，即分成各路 PAM 信号，经低通重建、近似地恢复为原始话音信号。

以上是以 3 路为例介绍的，一般复用的路数是 n 路，道理一样。另外，发端的 n 个抽样门通常用一个旋转开关 K1 来实现；收端的 n 个分路门用旋转开关 K2 来实现，如图 1-5 所示。

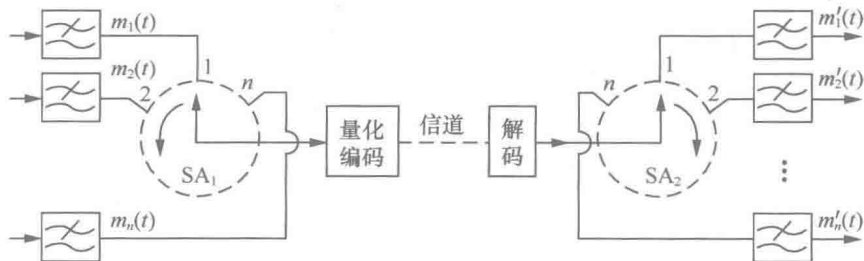


图 1-5 时分多路复用示意图

这里顺便介绍以下几个概念。

- 1 帧——抽样时各路每轮一次的总时间（即图 1-5 开关旋转一周的时间），也就是一个抽样周期。
- 路时隙（时隙）——路时隙 (t_c) 是合路的 PAM 信号每个样值所允许占的时间间隔 $\left(t_c = \frac{T}{n}\right)$ 。
- 位时隙——1 位码的时间 $\left(t_B = \frac{t_c}{l}\right)$ 。

2. PCM30/32 路系统帧结构

图 1-6 是 PCM30/32 路系统（称为基群，也叫一次群）的帧结构图。

由上述已知，话音信号采用 8kHz 抽样，抽样周期为 125 μs ，所以一帧的时间（即帧周期） $T=125\mu\text{s}$ 。每一帧由 32 个路时隙组成（每个时隙对应一个样值，一个样值编 8 位码），各时隙的分配如下。

(1) 30 个话路时隙：TS₁~TS₁₅，TS₁₇~TS₃₁

TS₁~TS₁₅ 分别传送第 1~15 路 (CH₁~CH₁₅) 话音信号，TS₁₇~TS₃₁ 分别传送第 16~30 路 (CH₁₆~CH₃₀) 话音信号。

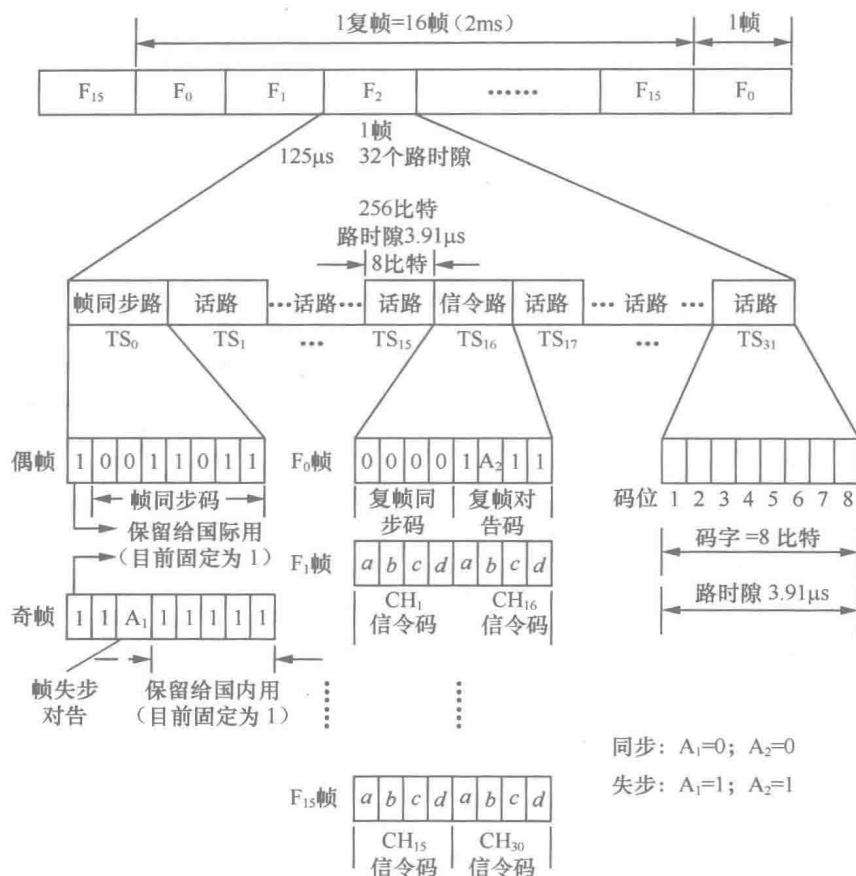


图 1-6 PCM30/32 路系统帧结构

(2) 帧同步时隙: TS₀

帧同步是保证收端与发端相应的话路在时间上要对准。为了实现帧同步:

偶帧 TS₀——发送帧同步码 0011011; 偶帧 TS₀ 的 8 位码中第 1 位保留给国际用, 暂定为 1, 后 7 位为帧同步码。

奇帧 TS₀——发送帧失步告警码。奇帧 TS₀ 的 8 位码中第 1 位也保留给国际用, 暂定为 1。其第 2 位码固定为 1 码, 以便在接收端用以区别是偶帧还是奇帧 (因为偶帧的第 2 位码是 0 码)。第 3 位码 A₁ 为帧失步时向对端发送的告警码 (简称对告码)。当帧同步时, A₁ 为 0 码; 帧失步时 A₁ 码为 1 码。以便告诉对端, 收端已经出现帧失步, 无法工作。其第 4~8 位码可供传送其他信息 (如业务联络等)。这几位码未使用时, 固定为 1 码。这样, 奇帧 TS₀ 时隙的码型为 (11A₁11111)。

(3) 信令与复帧同步时隙: TS₁₆

为了起各种控制作用, 每一路话音信号都有相应的信令信号, 即要传信令信号。由于信令信号频率很低, 其抽样频率取 500Hz, 即其抽样周期为 $\frac{1}{500} = 125\mu\text{s} \times 16 = 16T (T = 125\mu\text{s})$, 而

且只编 4 位码 (称为信令码或标志信号码, 实际一般只需要 3 位码), 所以对于每个话路的信令码, 只要每隔 16 帧轮流传送一次就够了。将每一帧的 TS₁₆ 传送两个话路信令码 (前四位码为一话路, 后四位码为另一话路), 这样 15 个帧 (F₁~F₁₅) 的 TS₁₆ 可以轮流传送 30 个话路的信令

码（具体情况参见图 1-6）。而 F_0 帧的 TS_{16} 传送复帧同步码和复帧失步告警码。

16 个帧称为一个复帧 ($F_0 \sim F_{15}$)。为了保证收、发两端各路信令码在时间上对准，每个复帧需要送出一个复帧同步码，以使复帧得到同步。复帧同步码安排在 F_0 帧的 TS_{16} 时隙中的前四位，码型为 {0000}，另外 F_0 帧 TS_{16} 时隙的第 6 位 A_2 为复帧失步对告码。复帧同步时， A_2 码为 0 码，复帧失步时则改为 1 码。第 5、7、8 位码也可供传送其他信息用，如暂不使用，则固定为 1 码。需要注意的是信令码 { a, b, c, d } 不能同时编成 0 码，否则就无法与复帧同步码区别。

对于 PCM30/32 路系统，可以算出以下几个标准数据。

- 帧周期 $125\mu\text{s}$ ，帧长度 $32 \times 8 = 256\text{bit}$ ($l=8$)。
- 路时隙 $t_c = \frac{T}{n} = \frac{125\mu\text{s}}{32} = 3.91\mu\text{s}$ 。
- 位时隙 $t_B = \frac{t_c}{l} = \frac{3.91\mu\text{s}}{8} = 0.488\mu\text{s}$ 。
- 传信速率 $f_B = f_s \cdot n \cdot l = 8000 \times 32 \times 8 = 2048\text{kbbit/s}$

1.1.3 准同步数字体系

1. 数字复接的基本概念

(1) 准同步数字体系概述

根据不同的需要和不同的传输介质的传输能力，要有不同话路数和不同速率的复接，形成一个系列（或等级），由低向高逐级复接，这就是数字复接系列。多年来一直使用较广的是准同步数字体系（PDH）。

国际上主要有两大系列的准同步数字体系，都经 CCITT（现更名为 ITU-T）推荐，即 PCM24 路系列和 PCM30/32 路系列。北美和日本采用 1.544Mbit/s 作为第一级速率（即一次群）的 PCM24 路数字系列，并且两家又略有不同；欧洲和中国则采用 2.048Mbit/s 作为第一级速率（即一次群）的 PCM30/32 路数字系列。两类速率系列如表 1-1 所示。

表 1-1 数字复接系列（准同步数字体系）

	一次群（基群）	二次群	三次群	四次群
北美	24 路 1.544Mbit/s	96 路 (24×4) 6.312Mbit/s	672 路 (96×7) 45.736Mbit/s	4032 路 (672×6) 275.176Mbit/s
日本	24 路 1.544Mbit/s	96 路 (24×4) 6.312Mbit/s	480 路 (96×5) 32.064Mbit/s	1440 路 (480×3) 97.728Mbit/s
欧洲 中国	30 路 2.048Mbit/s	120 路 (30×4) 8.448Mbit/s	480 路 (120×4) 34.368Mbit/s	1920 路 (480×4) 139.264Mbit/s

(2) PCM 复用和数字复接

扩大数字通信容量，形成二次及以上的高次群的方法通常有两种：PCM 复用和数字复接。

① PCM 复用

所谓 PCM 复用就是直接将多路信号编码复用，即将多路模拟话音信号按 $125\mu\text{s}$ 的周期

分别进行抽样, 然后合在一起统一编码形成多路数字信号。

显然一次群 (PCM30/32 路) 的形成就属于 PCM 复用。那么这种方法是否适用于二次及以上的高次群的形成呢? 以二次群为例, 假如采用 PCM 复用, 要对 120 路话音信号分别按 8kHz 抽样, 一帧 125 μ s 时间内有 120 多个路时隙, 一个路时隙约等于一次群一个路时隙的 1/4, 即每个样值编 8 位码的时间仅为 1 μ s (一次群的路时隙为 3.91 μ s, 约 4 μ s), 编码速度是一次群的四倍。而编码速度越快, 对编码器的元件精度要求越高, 不易实现。所以, 高次群的形成一般不采用 PCM 复用, 而采用数字复接的方法。

② 数字复接

数字复接是将几个低次群在时间的空隙上迭加合成高次群。例如, 将四个一次群合成二次群, 四个二次群合成三次群等。

(3) 数字复接的实现

数字复接的实现主要有两种方法: 按位复接和按字复接。

① 按位复接

按位复接是每次复接各低次群 (也称为支路) 的一位码形成高次群。图 1-7 (a) 是四个 PCM30/32 路基群的 TS₁ 时隙 (CH₁ 话路) 的码字情况。图 1-7 (b) 是按位复接的情况, 复接后的二次群信码中第一位码表示第一支路第一位码的状态, 第二位码表示第二支路第一位码的状态, 第三位码表示第三支路第一位码的状态, 第四位码表示第四支路第一位码的状态。四个支路第一位码取过之后, 再循环取以后各位, 如此循环下去就实现了数字复接。复接后高次群每位码的间隔约是复接前各支路的 1/4, 即高次群的速率大约提高到复接前各支路的 4 倍。

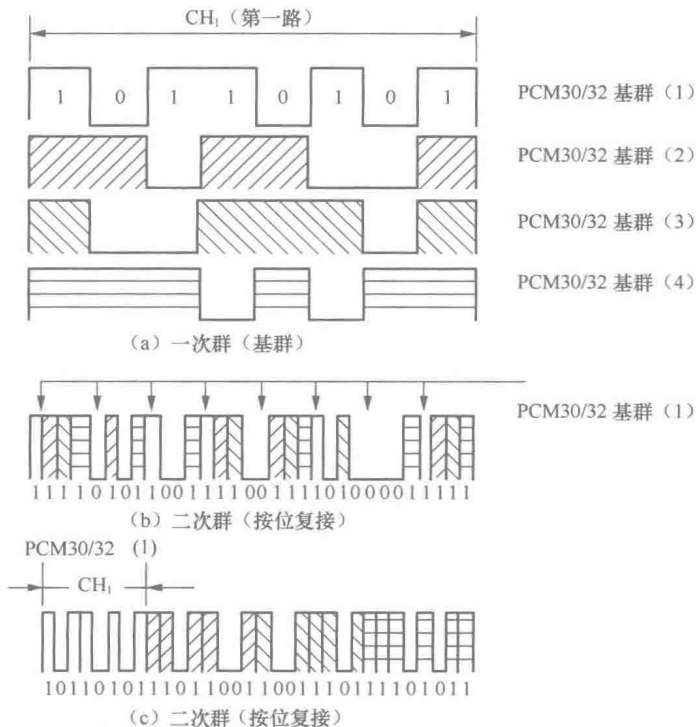


图 1-7 按位复接与按字复接示意图

按位复接要求复接电路存储容量小, 简单易行, 准同步数字体系 (PDH) 大多采用它。

但这种方法破坏了一个字节的完整性,不利于以字节(即码字)为单位的信号的处理和交换。

② 按字复接

按字复接是每次复接各低次群(支路)的一个码字形成高次群。图 1-7(c)是按字复接,每个支路都要设置缓冲存储器,事先将接收到的每一支路的信码储存起来,等到传送时刻到来时,一次高速(速率约是原来各支路的 4 倍)将 8 位码取出(即复接出去),四个支路轮流被复接。这种按字复接要求有较大的存储容量,但保证了一个码字的完整性,有利于以字节为单位的信号的处理和交换。同步数字体系(SDH)大多采用这种方法。

(4) 数字复接的同步

数字复接要解决两个问题:同步和复接。

数字复接的同步指的是被复接的几个低次群的数码率(传信速率)相同。如果几个低次群数字信号是由各自的时钟控制产生的,即使它们的标称数码率相同,如 PCM30/32 路基群(一次群)的数码率都是 2048kbit/s,它们的瞬时数码率也总是不同的,因为几个晶体振荡器的振荡频率不可能完全相同。

CCITT 规定 PCM30/32 路的数码率为 $2048\text{kbit/s} \pm 100\text{bit/s}$,即允许它们有 $\pm 100\text{bit/s}$ 的误差,这样几个低次群复接后的数码就会产生重叠和错位,在接收端是无法分接恢复成原来的低次群信号的,所以数码率不同的低次群信号是不能直接复接的。为此,在各低次群复接之前,必须使各低次群数码率互相同步,同时使其数码率符合高次群帧结构的要求。

(5) 数字复接的方法及系统构成

① 数字复接的方法

数字复接的方法实际也就是数字复接同步的方法,有同步复接和异步复接两种。

同步复接是用一个高稳定的主时钟来控制被复接的几个低次群,使这几个低次群的数码率(简称码速)统一在主时钟的频率上(这样就使几个低次群系统达到同步的目的),可直接复接(复接前不必进行码速调整)。同步复接方法的缺点是一旦主时钟发生故障时,相关的通信系统将全部中断,所以它只限于局部地区使用。

异步复接是各低次群各自使用自己的时钟,由于各低次群的时钟频率不一定相等,使得各低次群的数码率不完全相同(这是不同步的),因而先要进行码速调整,使各低次群获得同步,再复接。PDH 大多采用异步复接。

② 数字复接系统的构成

数字复接(异步复接)系统主要由数字复接器和数字分接器两部分组成,如图 1-8 所示。

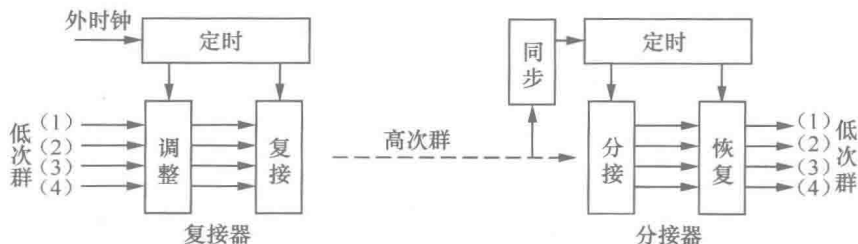


图 1-8 数字复接系统方框图

数字复接器的功能是把四个支路(低次群)合成一个高次群。它是由定时、码速调整和复接等单元组成的。定时单元给设备提供统一的基准时钟(它备有内部时钟,也可以由外部

时钟推动)。码速调整单元的作用是把各输入支路的数字信号的速率进行必要的调整,使它们获得同步。这里需要指出的是四个支路分别有各自的码速调整单元,即四个支路分别进行码速调整。复接单元将几个低次群合成高次群。

数字分接器的功能是把高次群分解成原来的低次群,它是由定时、同步、分接和恢复等单元组成。分接器的定时单元是由接收信号序列中提取的时钟来推动的。借助于同步单元的控制使得分接器的基准时钟与复接器的基准时钟保持正确的相位关系,即保持同步。分接单元的作用是把合路的高次群分离成同步支路信号,然后通过恢复单元把它们恢复成原来的低次群信号。

2. 异步复接

(1) 码速调整

① 码速调整的概念

以四个一次群复接成二次群为例,异步复接时,四个一次群虽然标称数码率都是 2048kbit/s,但因四个一次群各有自己的时钟源,并且这些时钟都允许有 $\pm 100\text{Hz}$ 的偏差,因此四个一次群的瞬时数码率各不相同。所以对异源一次群信号的复接首先要解决的问题就是使被复接的各一次群信号在复接前有相同的数码率,这一过程叫码速调整。

② 码速调整与恢复的方法

码速调整是利用插入一些码元将各一次群的速率由 2048kbit/s 左右统一调整成 2112kbit/s。接收端进行码速恢复,通过去掉插入的码元,将各一次群的速率由 2112kbit/s 还原成 2048kbit/s 左右。

③ 码速调整技术的分类

码速调整技术可分为正码速调整、正/负码速调整和正/零/负码速调整三种。其中正码速调整应用最普遍。

(2) 异步复接二次群帧结构

CCITT G.742 推荐的正码速调整异步复接二次群帧结构如图 1-9 (b) 所示。



图 1-9 异步复接二次群帧结构