

"十五"国家重点图书出版规划项目: **光通信技术丛书**

光传输网的抖动和漂移

GUANGCHUANSHUWANG DE DOUDONG HE PIAOYI

编著 王龙水 李 勇



北京邮电大学出版社
<http://www.buptpress.com>

光传输网的抖动和漂移

王龙水 李 勇 编著

北京邮电大学出版社
·北 京·

内 容 简 介

本书从介绍光传输网的抖动和漂移的基本概念及其对数字通信的影响入手,详细讨论了 PDH 和 SDH 传输系统中抖动产生的机理,定时抖动的特性分析,指针调整抖动的抑制方法,漂移产生的机理,抖动和漂移的规范,光传送网的抖动性能要求,以及抖动和漂移的测量等问题。

全书参考了 ITU-T 近几年来有关数字网抖动和漂移的最新建议,概念清晰,内容丰富。本书可作为通信类研究生教材或通信工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

光传输网的抖动和漂移/王龙水,李勇编著. —北京:北京邮电大学出版社,2002

(光通信技术丛书,7-5635-0607-1)

ISBN 7-5635-0607-1

I. 光... II. ①王...②李... III. 光通信—通信网—信号传输—稳定性—研究 IV. TN929.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 027815 号

书 名: 光传输网的抖动和漂移

作 者: 王龙水 李勇

责任编辑: 徐凤琨

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

电话传真: 010-62282185(发行部)/010-62283578(FAX)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷厂印刷

开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张: 10.75

字 数: 274 千字

印 数: 1—5 000 册

版 次: 2002 年 6 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0607-1/TN·273

定价: 22.00 元

如有印装质量问题请与北京邮电大学出版社发行部联系

序 言

“千里眼、顺风耳”是古代人们在神话故事中的憧憬和向往,“秀才不出门,能知天下事”是人们长期以来的一种美好愿望,在信息技术高度发达的今天,都已经变成了现实。

当你坐在计算机旁尽情浏览因特网上各种丰富多彩的文字、图像和声音信息时,有没有想过在 10 年前,如果你想得到现在一分钟内得到的信息,需要花费千万倍的时间和难以估算的人力、物力和财力;当你用廉价方便的 IP 电话和远在大洋彼岸的亲朋好友侃侃而谈的时候,有没有想到在 20 世纪 70 年代之前,哪怕想打一个长途电话,也要到电信局等候几个小时甚至整天的情景;曾几何时,“大哥大”还是有钱人或有权人的象征,而今天,手机已成为普通百姓的日常生活用品。这一切,都得益于通信技术的飞速发展,也是社会进步的象征。

我常说,学通信的人很累。的确,通信技术的发展太快了,新概念、新技术、新设备层出不穷,通信网所提供的业务日新月异,真有一种一天不学就要落后,就要被新技术淘汰出局的感觉。我想,一定有许多读者与我有同感。

通信网一般由交换与传输两大部分组成。传输的技术有许多种,各有千秋。然而光传送技术因其无可比拟的众多优点,在各种传输技术中独占鳌头。当今世界信息量的 80% 以上是通过光传送网络进行传送的。因此,光通信技术成为人们非常关注的一种通信技术。

武汉邮电科学研究院(烽火科技产业集团)是我国最早从事光通信技术研究开发的单位,是国家光纤通信技术工程研究中心、国家光电子工艺研究中心(武汉分部)、国家高技术研究发展计划成果产业化基地、信息产业部光通信产品质量监督检验中心、亚太电信组织光通信培训中心,集光纤光缆、光电子/光器件、光通信系统设备技术于一

身(迄今国内唯一的一家) 从“六五”开始,武汉邮电科学研究院就承担了国家科技攻关项目和国家“八六三”高技术研究发展计划项目近百项,产品转化率在90%以上;诞生了一个又一个光通信技术成果的国内首创,在国内光通信项目的研究上取得了一个又一个零的突破;造就了一支攻克光通信技术难关的骨干队伍,锻炼出了一大批光通信技术方面的专家。

为了使读者能对光通信技术有一个全面的了解,我们组织武汉邮电科学研究院的一批科技骨干编写了这一套介绍光通信技术的丛书。该丛书既包括了目前光通信技术发展的热点,又反映了光通信技术的发展前沿。我们将这套丛书献给奋战在光通信界的朋友们和愿意献身光通信事业的读者,目的是使更多的读者和我们一起,掌握光纤通信的最新技术,致力于发展我国的民族光通信产业,使我国的民族光通信产业在国际上占有一席之地。

只有民族的,才是世界的。

毛 谦

2001年10月

前言

21 世纪人类进入信息社会,高度发达的信息社会对通信提出了高质量、高灵活性和多种服务的迫切要求。光纤数字通信系统已成为传输网的主流

抖动和漂移是研究数字传输损伤的一门技术。所谓抖动是指数字码元出现的时刻频繁地变化,如同码元在时间域上发抖一样。抖动确切的定义是:“数字信号的各有效瞬间相对于其理想参考时间位置的短时偏离”。漂移看起来很像抖动,不同的仅仅是码元出现时刻变化得比较慢些,好像码元在时间域上慢慢漂游一样。漂移确切的定义是:“数字信号的各有效瞬间相对于其理想参考时间位置的缓慢偏移”。快慢二字正是抖动和漂移的本质差别之所在。同样是偏离理想位置,快慢不同则反映二者起因不同并对传输的影响也不相同。

在光纤数字通信系统中,接收端是靠从传输信号中提取定时信息对信号进行判决再生,因此,定时抖动是其固有的一种特性,它会使有效判决点偏离眼图张开最大点,造成误码。在对模拟信号进行数字编码的情况下,抖动的最终结果是造成模拟信号的失真。定时抖动也是限制中继距离的因素之一,而且抖动还会沿着中继器链路积累。可见,定时抖动严重地影响了整个系统的传输性能。因此,有必要分析和研究定时抖动的特性,并采取相应的措施,合理地设计定时电路,减小抖动对于系统传输质量的影响。

在常规的电缆数字传输系统中,对于定时提取中的抖动问题的研究日趋成熟。光纤数字传输系统与常规电缆传输系统有很大的差别,在常规电缆传输系统中,随机噪声主要是加性高斯热噪声;而在光纤传输系统中,随机噪声不仅包括热噪声,而且还有光电探测器中产生的散弹噪声,散弹噪声是乘性噪声,与传输信号有关,这使得抖动问题变得十

分复杂。在长波长单模数字光纤传输系统中,当码速率很高时,由激光器和光纤产生的模分配噪声、啁啾噪声以及反射噪声等也是不可忽略的因素。

本书主要介绍了抖动和漂移的基本概念、产生机理、特性分析、抑制方法、性能规范以及测量方法。第1章主要描述抖动和漂移的基本概念,包括抖动和漂移的定义及其对数字通信的影响;第2章讨论PDH传输系统产生抖动的机理,主要介绍线路系统的抖动和复用器的抖动;第3章讨论SDH传输系统产生抖动的机理,主要介绍SDH/非SDH边界的准同步支路输出抖动(即映射抖动)和SDH的指针调整抖动,以及结合抖动的基本概念;第4章重点介绍定时抖动的特性分析,这一部分主要是定性、定量地分析光纤数字通信系统中定时抖动的特性,其中包括由随机性噪声(热噪声、散弹噪声和模分配噪声等)引起的非系统性抖动和由图案噪声引起的系统性抖动,给出定时抖动的方差、功率谱密度和抖动传输的计算方法,讨论各种引起抖动的因素、抖动在系统中劣化信噪比引起误码的特性以及如何抑制光纤数字通信系统中定时抖动的问题;第5章介绍了SDH系统抑制抖动的方法,主要是同步端减小指针调整抖动的方法和去同步器相位扩散的方法;第6章介绍漂移产生的机理,包括时钟系统的漂移、SDH网元时钟的定时要求和光传输系统的漂移;第7章介绍抖动和漂移的规范,主要讨论了PDH和SDH网的抖动性能规范,光线路系统抖动的性能要求,以及漂移性能的规范;第8章介绍了光传送网的抖动性能要求,包括OTU_k的最大输出抖动和漂移的网络限值,OTN接口的抖动和漂移规范,以及3R再生器的抖动积累模型和分析;第9章是抖动和漂移的测量,主要介绍了抖动测量的问题、原理和环境,以及SDH设备中抖动和漂移的测量。

本书虽然理论性较强,但通俗易懂,并配有大量的插图,可作为通信类专业研究生教材或通信工程技术人员的参考书。在编写过程中,得到国际电信联盟组织成员、武汉邮电科学研究院副院长、总工程师毛谦同志的审阅和帮助,他对本书作了许多重要修改,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,时间仓促,难免有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2002年3月

目 录

第 1 章 抖动和漂移的概念	1
1.1 概 述	1
1.2 抖动的定义	3
1.3 抖动对数字通信的影响	4
1.4 漂移的定义	5
1.5 漂移对数字通信的影响	5
第 2 章 PDH 传输系统的抖动	8
2.1 PDH 的基本概念	8
2.2 线路系统的抖动	9
2.3 复用器的抖动	10
第 3 章 SDH 传输系统的抖动	25
3.1 SDH 产生抖动的机理	25
3.2 映射及码速调整产生的抖动	27
3.3 定位及指针调整产生的抖动	39
3.4 结合抖动的基本概念	43
第 4 章 定时抖动的特性分析	45
4.1 概 述	45
4.2 单个中继器中的定时抖动特性	45
4.3 光传输系统中的定时抖动特性	55
4.4 抖动与误码率的关系	59
4.5 非线性处理对于抖动的影响	65
附录 A	70
附录 B	70
附录 C	72
附录 D	73
附录 E	74

第 5 章 SDH 系统抑制抖动的方法	76
5.1 概 述	76
5.2 同步端减小指针调整抖动的方法	77
5.3 去同步器相位扩散的方法	88
第 6 章 漂移产生的机理	99
6.1 概 述	99
6.2 时钟系统的漂移	100
6.3 SDH 网元时钟的定时要求	107
6.4 光传输系统的漂移	114
第 7 章 抖动和漂移的规范	116
7.1 概 述	116
7.2 PDH 网的抖动性能规范	117
7.3 SDH 网的抖动性能规范	124
7.4 光线路系统抖动的性能要求	128
7.5 漂移性能的规范	131
第 8 章 光传送网的抖动性能要求	138
8.1 概 述	138
8.2 OTU k 的最大输出抖动和漂移的网络限值	138
8.3 OTN 接口的抖动和漂移规范	139
8.4 3R 再生器的抖动积累模型和分析	142
第 9 章 抖动和漂移的测量	145
9.1 抖动测量问题	145
9.2 抖动测量原理	145
9.3 抖动测量环境	146
9.4 SDH 抖动测量	149
9.5 漂移的测量	159
参考文献	162

抖动和漂移的概念

1.1 概 述

1.1.1 数字网的自定时方式

光数字传输网,包括准同步数字复用系列(PDH)和同步数字复用系列(SDH),主要是由光发送机、光接收机和光纤线路组成,可以完成数字信号的传输任务。为了增加传输容量,在发送端还要进行时分复用或者波分复用。随着社会的进步和经济的发展,高速率、大容量的 SDH 设备已被广泛使用,目前 10 Gbit/s 设备已经商用,40 Gbit/s 的设备正在走向商用。为了充分利用光纤的传输容量,更高速率、超大容量的波分复用设备也已经广泛应用于骨干网、城域网,甚至接入网中。

众所周知,数字通信的特点之一是抗噪声能力强,可以采用再生中继的方式再生信号,以消除噪声的积累,实现长距离、高质量的信息传输。在数字通信系统中,为了完全再生信号,在每个再生中继器或接收机内部要有产生定时信息的本地定时信号源。通常采用的方法是从输入信号中提取定时信息,这就是自定时方式,如图 1-1 所示。

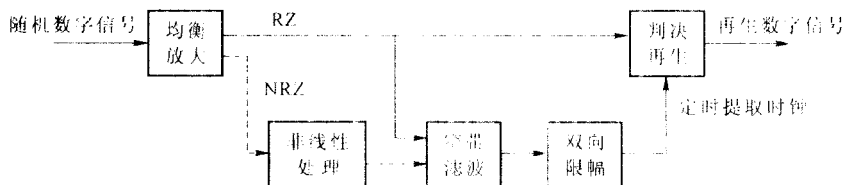


图 1-1 自定时方式

1.1.2 定时提取

能从随机数字信号中提取时钟的前提是信号中必须含有丰富的定时信息,即其频谱在脉冲重复频率 $f_0 = 1/T$ 处有较强的谱线(离散分量),占空比为 50% 的单极性脉冲信号(RZ 码)满

足该要求,如图 1-2(a)所示,因此可以直接经过中心频率为 f_0 的窄带滤波器提取时钟。对于占空比为 100% 的单极性脉冲信号(NRZ 码),在 f_0 处没有线谱,如图 1-2(b)所示,故先要对该信号进行非线性处理,变换成占空比为 50% 的单极性脉冲信号,然后再经窄带滤波器提取时钟

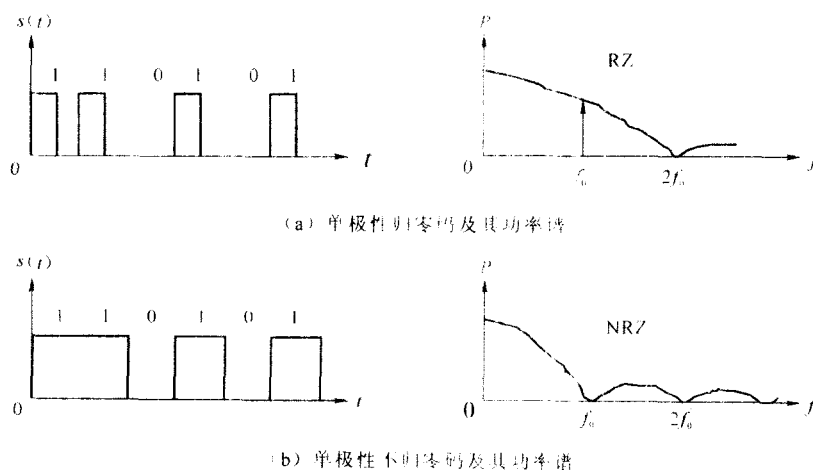


图 1-2 随机数字信号的传输码型和功率密度谱

1.1.3 定时抖动

在自定时的中继链上,每个中继器都直接从接收到的脉冲序列里提取时钟信息。发端的时钟是等间隔的,收端提取出来的时钟信息在理想情况下也应该是等间隔的。但在实际中,由于定时电路的不完善,以及传输中信号受噪声的干扰,如在常规电缆数字通信系统中,随机噪声主要是加性高斯热噪声(主要是由导体内部自由电子无规则的热运动所产生的,如图 1-3 所示);而在光纤数字通信系统中,随机噪声不仅包括热噪声,而且还有光电探测器中产生的散弹噪声(主要是半导体器件中载流子不均匀通过势垒区时造成的电流微小起伏,如图 1-4 所示),散弹噪声是乘性噪声,与信号有关;在长波长单模数字光纤系统中,当码速率很高时,还有由激光器和光纤产生的模分配噪声(主要是由于光纤的色散作用与激光器的光谱特性相结合产生的系统损伤,如图 1-5 所示)以及频率啁啾产生的噪声、反射产生的噪声等。因此在接收端从信号中提取出来的定时信号不再是等间隔的,而是随时间不规则波动的,如图 1-6 所示,这就是定时抖动,简称抖动(jitter)。

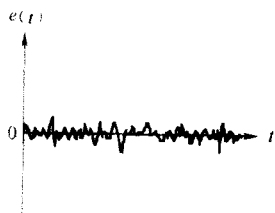


图 1-3 热噪声

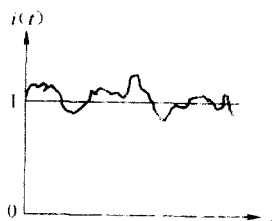


图 1-4 散弹噪声

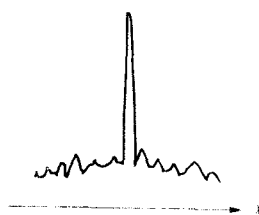


图 1-5 模分配噪声

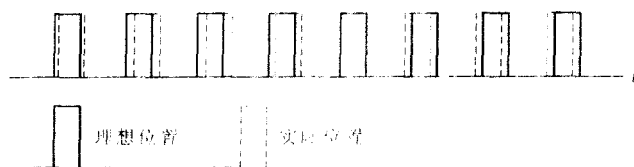


图 1-6 定时抖动示意图

1.2 抖动的定义

抖动的定义是：“数字信号的各有效瞬间(例如最佳抽样时刻)相对于其理想参考时间位置的短时偏离。”这个定义从物理角度来看无疑是清楚的,但是从数学角度来看似乎是模糊的,因为“短时”二字并未给出确切的数量概念。而数字信号的有效瞬间偏离理想时间位置的变化速率,在实际电路中却起着不同的作用。当这种“短时”概念短到一定程度时,即时间偏离变化速率高到一定程度时,把抖动称为相位噪声可能更确切,更符合传统概念。但是这一点并未引起人们的关注,因为抖动速率高到一定程度时很容易被实际电路滤除,因而在工程上并未构成有实际影响的问题。但是抖动速率低到一定程度,即这种“短时”概念长到某种程度,则不再被称为抖动,而被称为漂移(wander)。漂移与抖动具有不同的性质,对数字传输网产生不同的影响,然而它们定义的界限仅仅在于这种时间偏离的变化速率,或者说只取决于抖动定义中“短时”二字的数量关系。在理论上至今尚未找到确定的数量关系,但是在工程上却客观地存在这种数量分界。一些文献中,通常认为抖动是可以被锁相环抑制的,而漂移则不能被抑制,只能被转化为滑动。如果这种提法可以作为抖动与漂移分界依据的话,那么从目前工程中通用的技术方法来看,这种分界大约在几十赫兹(Hz)量级,即高于几十赫兹的相位变化称为抖动,而低于几十赫兹的相位变化称为漂移(最新修改的G.823建议中以 10 Hz 变化为界)。因为通常采用简单模拟锁相环的去抖动器的起始抑制频率在几十赫兹量级。当然,如果采用具有数字滤波器的混合式锁相环的话,通常可以做到几十分之一赫兹,这时与有的文献从理论上倾向于取百分之几赫兹似乎就更接近了。

抖动可以用一个时间函数 $j(t)$ 来描述,如图 1-7 所示。

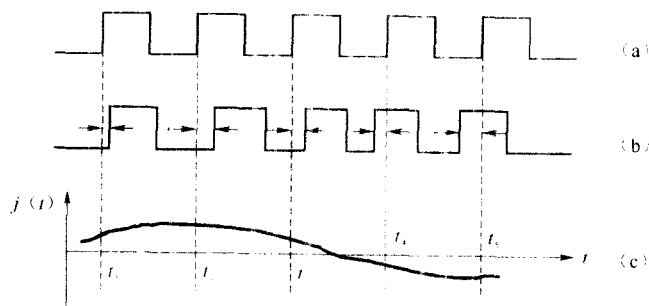


图 1-7 抖动的定义

在图 1-7 中, (a) 为理想数字信号, 即无抖动的信号, 它是周期严格相同的等间隔脉冲序列; (b) 为有抖动实际数字信号。如果以理想信号的前沿位置 $t_1, t_2, \dots, t_n$ 为参考时刻, 则有抖动信号的相应前沿将超前或滞后 $j(t_1), j(t_2), \dots, j(t_n)$, 由此, 可以得到抖动的时间表达式 $j(t_n)$ 。实际上, 理想信号周期内的任一点都可作为参考位置, 因此, 抖动也可以由一个连续的时间函数 $j(t)$ 表示, 如图 (c) 所示。

同其他时间函数一样, 抖动也可以用波形来表示。具有正弦波形的抖动被称为正弦抖动。作为时间函数, 抖动也有它的平均值、峰峰值和有效值; 也可以通过傅里叶变换将抖动函数在频域中表示出来, 由此得到抖动的频谱分布; 将抖动的时域函数或频域函数分别乘以其归一化函数还可以得到在时域和频域中的抖动能量分布表达式等。在实际系统中, 抖动分布具有一定的随机特性。

在一些文献中, 还常常把抖动理解为数字信号的相位调制或频率调制, 因此有时称抖动为相位抖动。

抖动的大小可以用相位弧度、时间或者比特周期来表示。一个比特周期的抖动称为 1 比特抖动, 常用单位间隔“UI”来表示, 100 UI% 也相当于 2π 弧度或 360° 。对于数码率为 f_c 的信号, 100 UI% 也相当于 $1/f_c$ 秒。

当考虑抖动对数字传输网的影响时, 常用到相位抖动最大峰峰值的概念。它表示相位抖动时间函数 $j(t)$ 的最大值与最小值之间的距离, 用 A_{jpp} 表示, 即

$$A_{jpp} = |M_{\max j}(t) - M_{\min j}(t)|$$

1.3 抖动对数字通信的影响

定时抖动使再生后的信号产生一个位置调制, 它不但使再生判决瞬间信噪比恶化, 而且还反映到再生后的信号中, 传到下一个中继器, 抖动沿中继链往下积累, 从而限制了通信距离。

定时抖动对网络的性能损伤表现在以下几个方面:

(1) 对数字编码的模拟信号, 在解码后数字流的随机相位抖动使恢复后的样值具有不规则的相位, 从而造成输出模拟信号的失真, 形成所谓抖动噪声。

(2) 在再生器中, 定时的不规则性使有效判决点偏离接收眼图的中心, 从而降低了再生器的信噪比余度, 直至发生误码。

(3) 在光同步数字传送网中, 像同步复用器等配有缓存器的网元, 过大地输入抖动会造成缓存器的溢出或取空, 从而产生滑动损伤 (抖动的幅度一般都比较小, 不致于出现缓存器的溢出或取空, 但可能会使读、写时刻不正确而造成缓存内容的读出错误)。

抖动对各类业务的影响不同。数字编码的语音信号能够耐受很大的抖动, 允许均方根抖动达 $1.4 \mu\text{s}$ 。然而, 由于人眼对相位变化的敏感性, 数字编码的彩色电视的抖动的容忍性就差得多, 例如, PAL 制彩色电视信号所允许的峰峰抖动值大约仅为 5 ns 。对于 155.520 Mbit/s 传输速率相当于 0.78 UI 的峰峰抖动, 指针调整抖动会导致彩色副载波相位的快速变化, 严重时会引起明显色彩变化, 甚至丢失同步。为对付这类相位变化, 不仅需要仔细的网同步设计, 而

且需要 SDH 设备和图像编码器都具有对付指针调整的能力。此外,用户小交换机也对指针调整抖动十分敏感,特别是用 2 Mbit/s 净负荷作定时参考时,指针调整抖动会使本地时钟失去同步,因此应尽量避免用 SDH 上携带的净负荷作定时参考。

1.4 漂移的定义

在抖动一节中已经提到,数字信号的各有效瞬间相对于其理想参考时间位置的短时偏离称为抖动。其中“短时偏离”可以这样理解:第一,经短暂偏离之后仍回到理想时间位置上;第二,这种时间变化是比较快的。作为定性理解,这些大概已经足够了,但是作为定量考察就使人感到困惑。因为长短概念从来是因比较而存在的。此时“短时”提法是否有明确界限呢?这种长短界限是否有实际意义呢?众所周知,如果数字信号的各有效瞬间相对于其理想时间位置只存在特别短时的偏离,传统上称之为相位噪声。而相位噪声较之相位抖动并未出现什么新的性质,对于数字传输网也未出现什么新的影响。因此至少在数字传输网损伤研究中,区别相位噪声和相位抖动并没有什么实际意义。

漂移的定义是:“数字信号的特定时刻(例如最佳抽样时刻)相对于其理想参考时间位置的长时间偏移。”那么漂移定义中的“长时”与抖动定义中的“短时”是否有明确的分界呢?遗憾的是,目前尚未澄清这个问题。然而事实上存在一个明确的界限,这种分界是基于这样一个事实:任何带有缓冲存储器的锁相环都具有抑制抖动而跟踪漂移的性质,确切地说是抑制高频抖动而跟踪低频抖动,或者说是抑制高频漂移而跟踪低频漂移。这种“高频”与“低频”的分界就是锁相环的自然谐振频率。因此,所用的锁相环的自然谐振频率就被默认为抖动与漂移的分界了。然而锁相环的自然谐振频率却因环路结构及设计条件而异,暂时难以做出统一的推荐。因此,抖动与漂移尽管存在一个频率分界,但一时却难以划定确切的频率数值。考虑到复用设备中用的模拟二阶锁相环的自然谐振频率通常在几赫兹到几十赫兹之间,所以新修改的 G.823 建议以 10 Hz 为界。

与抖动相比,漂移无论从产生机理、本身特性及对网络的影响而言都有所不同。引起漂移的一个最普遍的原因是环境温度变化,它会导致光缆传输特性发生变化,从而引起传输信号延时的缓慢变化。因而漂移可以简单地理解为信号传输延时的慢变化,这种传输损伤靠光缆线路系统本身是无法彻底解决的。在光同步系统中还有一类由于指针调整与网同步结合所产生的漂移机理,特别是 2 Mbit/s 比特异步映射引起的映射漂移。最后,也往往是最重要的一类漂移是由时钟噪声和相位瞬变引起的漂移。三者共同决定了同步数字传送网的漂移。

1.5 漂移对数字通信的影响

1.5.1 漂移对数字传输系统的影响

众所周知,数字信号基本接口总是成对的,即数字信号及其时钟方波总是成对出现的。而

数字传输系统通常总是用输入时钟作为定时信号,最后再成对输出。除此之外再没有任何其他时钟来影响数字传输中的定时信号。没有相关的第二个定时信号出现,因此漂移就不会产生实际影响。事实上,数字传输系统在相当大的定时频差之内(即容差域内)都是透明的,因而漂移对于数字传输系统自然没有影响。相反,数字传输系统除了如实传递漂移之外,还将叠加上新的附加漂移。

1.5.2 漂移对准同步数字复接的影响

准同步复接均采用逐比特正码速调整的异步复接,具有跟踪漂移的能力。因此漂移不会对准同步复接产生实质性影响。准同步复接在正确设计和正常工作时,能如实地传递漂移,此外还要产生附加的漂移;在错误设计和反常工作时,也可能放大输入漂移。

1.5.3 漂移对同步复接的影响

由于同步复接存在复接时钟与支路时钟,因此支路时钟相对于复接时钟的漂移将对复接系统的工作产生影响。在准同步复接中,由于具有频率调整能力,所以漂移不起实质作用;在同步系统中,没有频率调整能力,因此漂移将起实际影响。为了消除漂移影响,如同吸收抖动那样,只要在支路入口设置容量等于漂移峰峰值的缓冲存储器,就可以使得漂移不起实际影响。这是容易理解的:不论漂移如何变化,只要缓冲存储器既不出现溢出,也不出现取空现象,就可以保证不受漂移的影响。道理上可以说得通,但实际上却难以实现。因为在同步复接器入口上的最大相对漂移峰峰值可达到 $18\ \mu\text{s}$,为了吸收这样大的漂移,对于 $2\ 048\ \text{Kbit/s}$ 码流来说,缓冲存储器的容量要大于 37 位,这样大的缓冲存储器通常在经济上是不能接受的。因此在工程上宁愿设置较小容量的缓冲存储器,用来吸收抖动,而忍受漂移的影响。此时漂移损伤通过缓冲器溢出或取空,变成滑动(slip)损伤。

综上所述,漂移对于数字传输和准同步复接没有实质性影响,而对于同步复接将产生实际影响。利用适当容量的缓冲存储器能够吸收幅度不超过存储器容量的周期性漂移。但对于低频大幅度的漂移,普通缓冲存储器是无能为力的。这时只能采用时隙调整器或帧调整器,把这种单调或低频大幅度的漂移转化为滑动。

滑动对各种业务的影响在很大程度上取决于业务本身的速率和信息冗余度,速率越高,信息冗余度越小,滑动的影响越大。电话业务的信息冗余度大,因而滑动对其影响不大,漂移影响类似于误码产生的脉冲噪声。数据信号几乎没有多少冗余度,因此受滑动的影响很大,例如对固定长度的分组数据,滑动会使 $64\ \text{Kbit/s}$ 通路的复帧发生帧失步。对于无差错控制的传真业务,滑动也可能引起帧失步,使图片质量严重恶化。对于有差错控制的传真业务,一次滑动最多丢失两条扫描线,然后将自动用前面两条无差错的扫描线代替之,这样仅使清晰度略有下降。对于数字编码的图像业务,滑动会导致图像“冻结”现象。

总之,抖动是指码元出现的时刻随时间频繁地变化,如同码元在时间域上发抖一样。而漂移看起来很像抖动,不同的仅仅是码元出现时刻变化得比较慢些,好像码元在时间域上慢慢漂游一样,如图 1-8(a)所示。一个数字信号序列在传输过程中如果丢失了若干码元,或者插进来若干码元统称为滑动,如图 1-8(b)所示。

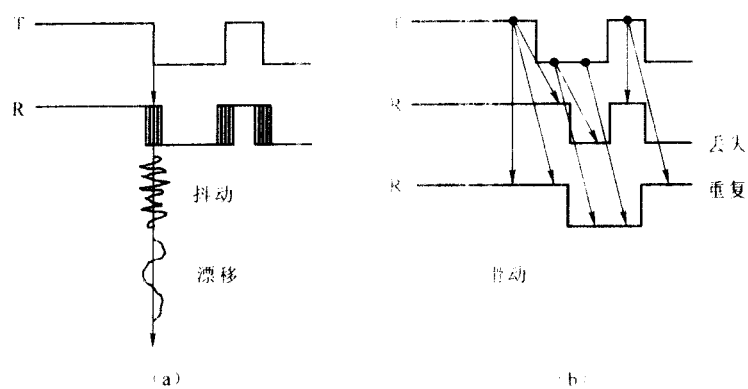


图 1-8 数字传输损伤图解

PDH 传输系统的抖动

2.1 PDH 的基本概念

PDH 是准同步(异步)数字复接系列的简称。所谓准同步是指参与复接的各支路码流时钟与复接码流时钟在一定的容差范围内标称相等。严格地说,如果两个信号的对应生效瞬间以同一标称速率出现,而速率的任何变化都限制在规定的范围之内,则这两个信号彼此就是准同步的。例如,具有相同标称速率但不是由同一个时钟源产生的两个信号通常就是准同步的。其中提到的标称比特速率及其容许的变化范围都是预先统一规定的,原 CCITT 定义了世界两大数字系列、三种国际标准的异步复接等级,如表 2-1 所示。我国采用欧洲标准。

表 2-1 异步数字复接系列

制式 等级	欧洲标准			北美和日本标准	
	标称速率 (Kbit/s)	容许偏差	话路数 (ch)	标称速率 (Kbit/s)	话路数 (ch)
基 群	2 048	$\pm 50 \times 10^{-6}$	30	1 544	24
二次群	8 448	$\pm 30 \times 10^{-6}$	120	6 312	96
三次群	34 368	$\pm 20 \times 10^{-6}$	480	32 064 (日) 44 736 (美)	480 672
四次群	139 264	$\pm 15 \times 10^{-6}$	1 920	97 728 (日) 274 176 (美)	1 440 4 032

准同步复接既然容许时钟频率在规定的容差域内任意变动,那么对于参与复接的支路时钟相位关系自然就没有任何限制。因此,就无需为准同步复接提供特殊的环境条件,只要时钟标称值及其容差符合规定,就可以实现准同步复接。由于准同步复接有这样的特点,在某些具体应用条件下,例如在远程传输网中,特别是高次群复接,采用准同步复接技术就可以简便且经济地实现复接(但是 PDH 传输系统无光接口规范,速率因各厂家线路编码而异,因此不能横向兼容,故在部分国家中已退出骨干网,目前主要用于专网或接入网中)。我国 140 Mbit/s PDH 光传输系统的复接分接结构如图 2-1 所示。

由图可见,PDH 光传输系统主要是由逐级复接/分接设备、光发送/接收设备和光纤线路组成,由此引起的传输损伤主要包括复接器引起的抖动和光线路传输系统引起的抖动。下面分别讨论它们产生抖动的机理。