

彭承柱 彭明宇 编著

中国通信学会主编 人民邮电出版社

的工程计算与测量 光通信抖动和漂摆

通信工程丛书



通信工程丛书

光通信抖动和漂摆的 工程计算与测量

彭承柱 彭明宇 编著

中国通信学会主编·人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

光通信抖动和漂摆的工程计算与测量/彭承柱,彭明宇编著.

—北京:人民邮电出版社,2003.7

(通信工程丛书)

ISBN 7-115-11244-4

I. 光... II. ①彭... ②彭... III. ①光通信—通信系统—抖动(数据传输)—工程计算 ②光通信—通信系统—抖动(数据传输)—工程测量 IV. TN929.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 030356 号

通信工程丛书

光通信抖动和漂摆的工程计算与测量

-
- ◆ 编 著 彭承柱 彭明宇
责任编辑 王晓明
 - ◆ 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>
读者热线 010-67129258
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京朝阳展望印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 850×1168 1/32
印张: 8.75
字数: 225 千字
印数: 1—4 000 册

2003 年 7 月第 1 版

2003 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-11244-4/TN · 2067

定价: 21.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

内 容 提 要

本书是一本专门介绍光通信系统抖动和漂摆的工程计算与测量方面的图书。内容涉及抖动的来源与度量、抖动的损害与指标、长途光缆传输系统的抖动积累和指标计算、SDH/PDH 混合网抖动的测量、漂摆的来源与度量、漂摆的损害与指标、SDH/PDH 混合网漂摆的测量、抖动和漂摆的国际标准化、各级时钟抖动与漂摆要求、抖动与漂摆的测试仪表等。为了便于读者掌握有关知识,书中还以我国最长,同时也是世界最长的京广架空光缆传输系统为例,介绍了实际测量方法,以此证明理论计算与实际测量的一致性。

本书内容新颖,有较强的实用性,可以帮助电信工程技术人员了解和掌握设计与工程中的抖动与漂摆有关的计算和工程测量技术。本书也可作为 通信院校相关专业的参考书,还可以作为相关培训班的教材。

丛书前言

为了帮助我国通信工程技术人员有系统地掌握有关专业的基础理论知识,提高解决专业科技问题、做好实际工作的能力,了解通信技术的新知识和发展趋势,以便为加快我国通信建设、实现通信现代化作出应有的贡献,我会与人民邮电出版社协作,组织编写这套“通信工程丛书”,将陆续出版。

这套丛书的主要读者对象是工作不久的大专院校通信学科各专业毕业生、各通信部门的助理工程师、工程师和其他通信工程技术人员。希望能够有助于他们较快地实际达到通信各专业工程师所应用的理论水平和技术水平。

这套丛书的特点是力求具有理论性、实用性、系统性和方向性。丛书内容从我国实际出发,密切结合当前通信科技工程和未来发展的需要,阐述通信各专业工程师应当掌握的专业知识,包括有关的系统、体制、技术标准、规格、指标、要求,以及技术更新等方面。力求做到资料比较丰富完备,深浅适宜,条理清楚,对专业技术发展有一定的预见性。这套丛书不同于高深专著或一般教材,不仅介绍有关的物理概念和基本原理,而且着重于引导读者把这些概念和原理应用于实际;论证简明扼要,避免繁琐的数学推导。

对于支持编辑出版这套丛书的各个通信部门和专家们,我们表示衷心感谢。殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议,使这套丛书日臻完善。

中国通信学会

序

SDH 与 PDH 混合网中的许多电信业务,例如 ISDN 或 GSM 网中的多媒体业务,都是以同步交换和传输为基础的,对于传输设备、传输媒质(例如光缆、微波)、本地和中间交换节点产生的抖动(Jitter)和漂摆(Wander,曾有人译为漂移,但漂移原对应的英文是 Drift),以及由其引起的传输信号超前与滞后的相位或时延变化很敏感。为了实现无误码的通信,一方面需要主从同步网和网同步设备,通过基准定时传输链路控制定时信号的频率精度与稳定度,另一方面,为保证不同网元之间的互连而不影响网络的传输质量,在网络的 PDH/SDH 接口、同步定时接口,必须满足规定的接口和设备的抖动与漂摆要求。尤其在 SDH 网中,漂摆将引起指针调整,产生净负荷信号抖动。特别是 AU-4 指针调整会引入 24UI 的相位跃变,由此产生的抖动和漂摆最难滤除。所以,在现代通信中对抖动和漂摆特性的研究与测量是非常重要的。

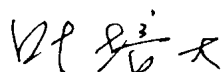
国际上主要的电信标准化组织,如国际电信联盟(ITU)、欧洲电信标准协会(ETSI)对有关抖动、漂摆和各级时钟所制定的标准有 G. 707、G. 708、G. 783、G. 810~G. 813、G. 823~G. 825、G. 958 等建议和 ETS 300 417- n ($n=1,2,\dots,6$)、ETS 300 462- n ($n=1\sim6$)等技术规范。此外,在最新版本 SDH 网络功能的 ITU-T 建议中,增加了同步定时和业务保护的要求。

抖动和漂摆是对数字信号与数字网的基本损害,同误码一样,是反映数字通信质量最重要、最基本的参数,应引起广泛关注与重视,值得进行深入的研究与测试实验。

彭承柱研究员对抖动和漂摆特性深有研究,同时长期从事光纤通信的研究与实验,完成了很多光缆通信工程试验段与电信现场的

测试验收工作,有丰富的实践经验。现仍在努力钻研光纤通信前沿基础问题,相信他还将会不断作出更大贡献。

本书内容结合实际、重点突出、分析深入、行文流畅,是一本光纤通信方面的优秀参考书,有关的科技工作者、相关院校的教师和学生值得一读,并将受益匪浅,特此作序推荐。



中科院院士,北京邮电大学名誉校长,教授。

国家经济信息化联席会议专家组组长。

2003年2月25日

前 言

世人业已共识,21 世纪是信息时代。信息社会必须有交流和融通信息的先进通信网。无疑,信息和通信网全都会数字化。就此意义上讲,“数字”将无所不在。作为反映数字通信质量的最基本参数,误码、抖动和漂摆一直受到业内的普遍重视,许多科技人员对其进行了长期的研究与实验。国际电信联盟(ITU)、国际电工委员会(IEC)、欧洲电信标准协会(ETSI)、美国国家标准协会(ANSI)和贝尔电信研究院(Bellcore)等标准化组织,一方面已研究制订了误码、抖动和漂摆的一些标准,另一方面还在深入研究与实验,不断补充完善这些标准。目前我国国内还没有出版有关抖动和漂摆特性的研究与测量方面的专著,甚至国际上此类书也鲜见。为此,作者将个人多年从事有关抖动和漂摆的研究心得与试验成果、电信现场测试验收的资料及曾发表的有关文章加以收集整理,并根据最新的国际标准与建议,以及国外刊物和会议文集的有关论文,增写了许多新的章节,编写成本书,以飨读者。若能为数字通信的发展尽到微薄之力,起抛砖引玉的作用,作者将不甚心慰。

本书内容共 11 章。第 1 章叙述抖动的产生机理、抖动的分类与度量、抖动幅度与定时调谐电路的关系。第 2 章说明抖动对数字信号的损害是引起误码,并确定数字网络接口允许的各种抖动容限和抖动指标。第 3 章介绍抖动沿长途光缆传输系统的累积过程和影响抖动积累的因素,并给出计算抖动积累的近似公式和抖动指标计算的例子。第 4 章叙述抖动测量的原理、SDH/PDH 混合网中各种抖动测试的要求、测试配置框图与所用仪表、测试条件与注意事项以及测量 STM-1 以上抖动的实用方法。第 5 章首先介绍与漂摆有关的滑动的来源、分类及其影响,滑动的指标与分配,然后介绍漂摆的来源与分类、度量漂摆的参数,以及造成光缆传输系统漂摆的主要原因

和基本计算公式。第 6 章阐述漂摆对数字信号的损害影响,并根据第 5 章的滑动性能指标确定数字网络接口允许的各种漂摆容限和漂摆指标,以及漂摆指标分配的考虑。第 7 章重点介绍漂摆影响最大的架空光缆传输系统的漂摆累积过程和计算公式,通过对架空光缆系统漂摆指标的分配计算与实际测量(见第 8 章),说明漂摆损害不是发展我国架空光缆通信系统的限制因素,并提出一些减小漂摆影响的措施。第 8 章说明漂摆与抖动在测量原理上的重要差异,SDH/PDH 混合网各种漂摆的测试要求、测试配置框图与所用仪表以及测试方法;尤其是新的“噪声”调制测试方法,是代替正弦波调制测试漂摆的有效手段,可在短时间内迅速完成测试并作出正确判断,现正由 ITU 和 ETSI 规范作为时钟性能测试的新方法。本章最后还给出我国最长,也是世界上最长的京广架空光缆传输系统漂摆特性的实际测量方法与测试结果,并证明理论计算与实际测量相符合。第 9 章总结了国际标准化组织对抖动和漂摆所做的国际标准化工作,重点给出 ITU-T 的有关建议和 ETSI 的相关标准与规范,及其相互间的联系,并列表给出网络接口和设备的抖动与漂摆的性能标准及测试应用。第 10 章从 SDH/PDH 宽带网络模型和同步分配网络考虑,给出第一级基准主时钟、第二级第三级从时钟和第四级网元从时钟的抖动与漂摆要求,以及标准网络接口和同步网络接口的抖动与漂摆要求。第 11 章介绍两种典型的抖动与漂摆的测量仪器。

本书编写力求深入浅出、简明实用,注重理论与实践的结合,使内容更为充实并能紧密跟踪国际标准。

作者十分荣幸地请到中国科学院资深院士、博士生导师、著名的光通信学者和专家、我国电信界的前辈、北京邮电大学名誉校长叶培大教授为本书作序,现借出版之机表示由衷的感激与深深的谢意。

由于作者水平有限,书中内容偏颇谬误之处在所难免,热忱欢迎读者批评指正。

作 者

2003 年 2 月于北京

目 录

第 1 章 抖动的来源与度量

1.1 抖动与度量单位	1
1.2 抖动函数	3
1.3 抖动的产生机理	4
1.3.1 系统性抖动	4
1.3.2 非系统性抖动	7
1.3.3 塞入抖动和候时抖动	7
1.3.4 由映射和指针调整引入的抖动	8
1.4 SDH 光缆系统的抖动源	9
1.5 抖动幅度与定时调谐电路的关系	10

第 2 章 抖动损害与指标

2.1 抖动对信号的损害影响	16
2.2 抖动引起数字信号误码	18
2.3 抖动容限	20
2.3.1 确定抖动容限的原则	20
2.3.2 确定抖动容限的方法	21
2.4 抖动抑制	25
2.5 抖动指标	27
2.5.1 PDH 与 SDH 混合网抖动指标	27
2.5.2 PDH 网接口抖动指标	30
2.5.3 SDH 网接口抖动指标	33

第 3 章 长途光缆传输系统的抖动积累和指标计算

3.1 抖动积累模型	40
3.2 相对抖动	43

3.3	影响光缆传输系统抖动积累的因素	44
3.4	计算抖动积累的近似公式	46
3.5	抖动指标的计算	48

第4章 SDH/PDH 混合网抖动的测量

4.1	抖动测量	52
4.2	输入抖动容限	54
4.3	输出抖动或固有抖动	57
4.4	抖动转移特性	59
4.5	组合抖动	62
4.6	抖动测量的原理	64
4.7	测试条件与注意事项	67
4.8	如何测量 STM-1 以上的抖动	70

第5章 漂摆的来源与度量

5.1	滑动的来源、分类及其影响	73
5.2	漂摆的来源	77
5.3	滑动指标与分配	79
5.4	度量漂摆的参数	82

第6章 漂摆损害与指标

6.1	漂摆对信号的损害影响	87
6.2	漂摆指标	89
6.3	网络接口的漂摆指标	97
6.4	漂摆指标的分配	99

第7章 架空光缆传输系统漂摆指标的分配计算

7.1	漂摆累积	104
7.2	计算漂摆累积的公式	105
7.3	架空光缆传输系统漂摆指标的分配计算	107
7.4	减小漂摆影响的措施	110

第8章 SDH/PDH 混合网漂摆的测量

8.1	漂摆测量	113
-----	------	-----

8.2	漂摆测量原理	114
8.3	漂摆的产生与调制	117
8.4	输出漂摆	119
8.5	输入漂摆容限	122
8.6	漂摆噪声转移特性	125
8.7	相位跃变响应	126
8.8	保持性能	128
8.9	漂摆的实际测量	130
8.9.1	时钟或定时设备漂摆的测量	130
8.9.2	架空光缆传输系统漂摆的测量	131

第9章 抖动和漂摆的国际标准

9.1	国际标准组织	142
9.2	ITU-T 建议	143
9.2.1	G.707“SDH 网络节点接口”	143
9.2.2	G.708“SDH 网络和设备的术语词汇表”	143
9.2.3	G.783“SDH 设备功能块的特性”	143
9.2.4	G.803“基于 SDH 的传送网络结构”	144
9.2.5	G.810“同步网络的定义和术语”	144
9.2.6	G.811“一级基准时钟的定时特性”	144
9.2.7	G.812“适用于国际数字链路准同步工作的从时钟 输出的定时要求”	145
9.2.8	G.813“SDH 设备从时钟(SEC)的定时特性”	145
9.2.9	G.822“国际数字连接的受控滑功率指标”	145
9.2.10	G.823“在以 2048kbit/s 为基础的数字网中抖动和 漂摆的控制”	145
9.2.11	G.824“在以 1544kbit/s 为基础的数字网中抖动和 漂摆的控制”	146
9.2.12	G.825“在以 SDH 为基础的数字网中抖动和 漂摆的控制”	146

9.2.13	G.958“以 SDH 为基础的光缆数字线路系统”	146
9.2.14	I.432“B-ISDN 用户网络接口(UNI)物理层(ATM)”	146
9.2.15	ITU-T 测试设备规范	146
9.3	ETSI 标准	147
9.3.1	ETS 300 417-n“SDH 传输设备的一般功能要求”	147
9.3.2	ETS 300 462-n“同步网络的一般要求”	148
9.3.3	第一部分 ETS 300 462-1“同步网的定义和术语”	148
9.3.4	第二部分 ETS 300 462-2“同步网络结构”	148
9.3.5	第三部分 ETS 300 462-3“同步网中抖动和漂摆控制”	148
9.3.6	第四部分 ETS 300 462-4“适用于供给 SDH 和 PDH 设备同步的从时钟的定时特性”	148
9.3.7	第五部分 ETS 300 462-5“适用于 SDH 设备运行的从时钟的定时特性”	149
9.3.8	第六部分 ETS 300 462-6“一级基准时钟的定时特性”	149
9.4	网络接口和设备的抖动与漂摆性能标准	149
9.4.1	网络接口	150
9.4.2	网络设备	154
第 10 章 各级时钟的抖动与漂摆要求		
10.1	SDH/PDH 宽带网络模型	156
10.2	同步分配网络	157
10.3	第一级基准主时钟	160
10.3.1	抖动发生	160
10.3.2	漂摆发生	161
10.4	第二第三级从时钟	162

10.4.1	SSU 的固有抖动	162
10.4.2	SSU 的固有漂摆	162
10.4.3	SSU 的输入漂摆容限	163
10.4.4	SSU 的漂摆噪声转移特性	165
10.4.5	SSU 的相位跃变响应	165
10.4.6	保持性能	165
10.5	第四级网元从时钟	166
10.5.1	SEC 的固有抖动	166
10.5.2	SEC 的固有漂摆	167
10.5.3	SEC 的输入漂摆容限	168
10.5.4	SEC 的漂摆噪声转移特性	169
10.5.5	SEC 的相位跃变响应	170
10.5.6	SEC 的保持性能	171
10.6	SSU 和 SEC 的定时功能	171
10.6.1	SSU 的定时功能	171
10.6.2	SEC 的定时功能	172
10.7	网络接口的抖动与漂摆要求	173
10.7.1	标准网络接口	173
10.7.2	同步网络接口	174

第 11 章 抖动与漂摆的测试仪表

11.1	CTS 850 SDH/PDH 抖动/漂摆测试仪	179
11.1.1	CTS 850 仪表综述	179
11.1.2	测试内容	181
11.1.3	CTS 850 SDH 测试仪特性与技术规范	182
11.2	先进的网络测试仪 ANT-20	225
11.2.1	ANT-20 测试仪综述	225
11.2.2	先进的网络测试仪——SDH 型	227
11.2.3	先进的网络测试仪“扩展型”ANT-20E	228
11.2.4	先进的网络测试仪 ANT-20;DominoCOM	231

11.2.5	传输线路的专家诊断系统 ANT-20;NEXT	231
11.2.6	ANT-20;WG CATS 和遥控操作——用于自动测试 和遥控操作的 ANT-20、ANT-20E 和 DominoCom ANT-20 选件	234
11.2.7	ANT-20;CATS DWDM——用于 ANT-20 与 WG OSA-155 的 DWDM 测试方案	243
11.2.8	ANT-20;光接口——用于 STM-0/-1/-4/-4c/-16/ -16c 及 OC-1/-3/-12/-12c/-48/-48c 的光接口	246
11.2.9	ANT-20;OC-12c/STM-4c 与 OC-48c/STM-16c—— BERT,ATM 测试,相邻与虚拟级联	247
11.2.10	ANT-20;抖动/漂摆——高至 2.5 Gbit/s 的抖动/ 漂摆发生器与分析仪	253
附录 缩写词及其英中文对照		255
参考文献		262

第 1 章 抖动的来源与度量

1.1 抖动与度量单位

抖动是数字脉冲信号在传输过程中产生的一种寄生的相位调制,使脉冲相位在有意义的瞬间相对理想的时间位置发生了短时间变化。如果将其与一个完全均匀的绝对的时间坐标(基准时钟)相比较,反映为数字脉冲信号发生了或早或迟的过渡,即出现了相位超前或滞后的现象,如图 1.1 所示。

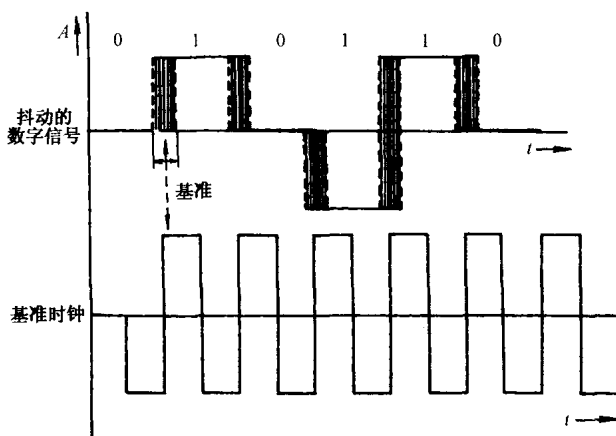


图 1.1 有抖动的数字信号与基准时钟

抖动的大小或幅度一般可用时间、相位或数字信号周期表示。现在多采用数字周期即单位间隔 UI 来度量。一个 UI 就是 1 比特信息所占有的时间,即时钟的一个周期,它在数值上是传输速率或时

钟频率的倒数。由于 UI 与二进制信号波形(NRN 和 RZ 信号)无关,时钟周期是一样的,故抖动幅度以时钟周期作参照很方便(见图 1.2)。采用 UI 度量的另一个优点是信号速率无关,通常因信号速率或传输比特率就是时钟频率,故 UI 是个标称的参数,这样就有可能对不同数字等级的信号进行抖动幅度的比较。

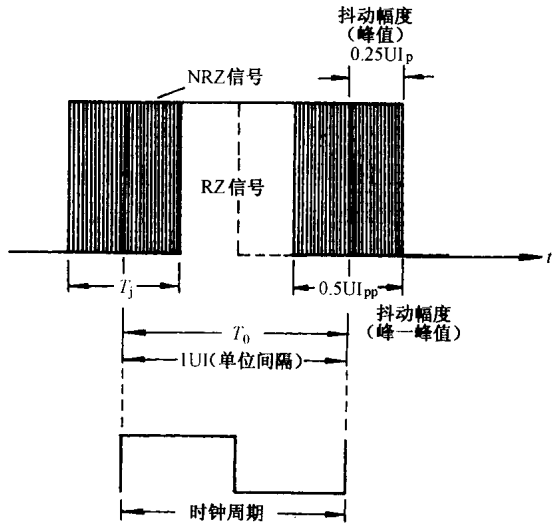


图 1.2 单位间隔 UI

图 1.2 所示的是相位超前及滞后 $0.25UI_p$, 峰峰抖动幅度 UI_{pp} 达 $0.5UI_{pp}$ 的抖动图形。峰峰抖动相位为:

$$\Delta\phi_{PP} = (T_j/T_0) \times 100\% \tag{1.1}$$

显然,100%的 $\Delta\phi_{PP}$ 就是 1UI。

例如对 1kHz 定时信号,其 UI 是 1ms。0.01ms 的瞬时相位抖动的幅度就等于 0.01UI,或等于 3.6° ($1UI=360^\circ$)。另外,与标称比特率 2048、8448、34368、139264 kbit/s 对应的 UI 值分别是 488、118、29.1、7.18ns。