

数字传输系统测试

邓忠礼 杜 森 陈继努 等编著



人民邮电出版社

数字传输系统测试

邓忠礼 杜森 陈继努等 编著

人民邮电出版社

登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书主要介绍数字传输系统的技术指标和测试方法。内容包括 PCM 基群复用设备测试;二、三、四次群数字复用设备测试;数字接口参数测试;抖动和误码性能测试;电缆再生中继器测试;60 路 PCM/ADPCM 编码转换设备测试;TDM/FDM60 路复用转换设备测试。并对有关的 CCITT 建议、国家标准和行业标准中规定的各种技术指标作了简明扼要的说明,对各种指标的测试方法作了详细的介绍。本书的主要读者对象是从事数字传输系统工程设计、施工和数字传输系统、设备维护的技术人员,也可作为数字通信工程技术人员的培训参考书。

数字传输系统测试

邓忠礼 杜 森 陈继努等 编著

责任编辑 梁凝

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街 27 号

中国铁道出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:850×1168 1/32 1993 年 11 月 第一版

印张:14.875 1993 年 11 月 北京第 1 次印刷

字数:390 千字 印数:1—5 000 册

ISBN7-115-05054-6/TN·680

定价:13.10 元

出版者的话

为适应电信事业的迅速发展,特别是大量建设数字通信系统的需要,近十年来,我国制定了一系列有关数字通信系统和设备的国家标准或行业标准。这些标准中规定的大量技术指标和参数都要用相应的测试方法加以检验。从一定意义上讲,测试方法和技术指标同样重要。我国于1986年颁布了第一个有关数字设备测试方法的国家标准,同年我们约请重庆邮电学院陈继努老师编写介绍数字通信测试方法的书,因故书稿没有脱手。此后由于数字通信的发展,相应产生了一些新的测试方法,特别是数字通信测试仪表的改进,使原有的测试方法也有了不同程度的改变。为了适应这种变化,我们于1991年组织邮电部电信传输研究所邓忠礼、杜森等同志重新编写该书,内容扩大到八章,其中第一、二章包括了陈继努老师原书稿的内容。

由于工作原因,编者直接或间接参加了1986年以来的许多测试方法标准的研究和制定工作,以及参与数字传输系统和设备的测试工作,书中也包括了他们工作中的经验和体会。

测试方法是不断发展进步的,故在成稿过程中一再修改,直到1992年底,为此有些最新的内容在书中以附录的形式贡献给读者。

本书各章的主要作者是:第1章邓忠礼,第2章陈继努、张有兰(执笔),第3章邓忠礼,第4章杜森,第5章邓忠礼、杜森,第6章邓忠礼,第7章周英华、邓忠礼,第8章邓忠礼,附录杜森,全书由邓忠礼审校。

1993年3月

目 录

第一章 概述和基础知识	1
1.1 电信网测试概貌	1
1.2 测试的含义	3
1.3 误差和误差的表示	4
1.4 电信测试常用单位	6
1.5 噪声电平测量	9
第二章 PCM 基群复用设备测试	12
2.1 PCM 技术基础知识	12
2.1.1 基本概念	13
2.1.2 PCM30 路基群复用设备	20
2.1.3 帧结构	22
2.2 PCM 基群复用设备测试概述	24
2.2.1 模拟—模拟(A—A)测试	24
2.2.2 模拟—数字(A—D)和数字—模拟(D—A)测试	25
2.2.3 全通路和半通路的测试项目	26
2.3 测试用信号和信号测量	26
2.3.1 正弦信号	26
2.3.2 高斯噪声信号	32
2.3.3 伪随机噪声信号	34
2.3.4 常规电话信号	35
2.3.5 标准编码侧和标准解码侧	36
2.4 话路传输特性(一)	37
2.4.1 电平	38
2.4.2 净衰减	42

2.4.3	增益随频率变化	44
2.4.4	增益随输入电平变化	48
2.4.5	空闲信道噪声	58
2.4.6	总失真(噪声法)	62
2.4.7	总失真(正弦法)	68
2.4.8	串音	72
2.5	话路传输特性(二)	87
2.5.1	互调	88
2.5.2	信道输出口的寄生带内信号(包括谐波失真)	91
2.5.3	信道输出口的寄生带外信号	91
2.5.4	对带外输入信号的抑制	97
2.5.5	绝对群时延	100
2.5.6	群时延失真	102
2.6	编码与解码特性	104
2.6.1	编码侧负载容量	105
2.6.2	解码侧负载容量	107
2.6.3	正弦电平与峰值码字的关系	109
2.6.4	编码器对称性	114
2.6.5	编码器偏移	116
2.7	其它特性	117
2.7.1	单频噪声	117
2.7.2	信令干扰	120
2.7.3	信令失真	127
2.7.4	音频接口的阻抗及反射衰减	129
2.7.5	纵向平衡衰减	132
2.7.6	短期和长期电平稳定度	135
2.7.7	同步性能	136
2.7.8	数字接口参数	137
本章附录 A 可应用于二线音频接口的 PCM 信道的编码和解码侧		

分开的性能特征	137
本章附录 B 理想的 A 律编码器量化失真和增益	147
本章附录 C 纵向平衡衰减的测试装置	156
第三章 数字复用设备测试	158
3.1 引言	158
3.2 数字接口参数	159
3.2.1 比特率及容差	159
3.2.2 输出口脉冲波形	162
3.2.3 阻抗及反射衰减	163
3.2.4 输入口允许衰减和抗干扰能力	165
3.2.5 输入口容许抖动容限	166
3.2.6 输出口输出抖动	168
3.3 传输特性	170
3.3.1 抖动转移特性	170
3.3.2 误码特性	171
3.4 其它特性	173
3.4.1 复接器的主时钟频率	173
3.4.2 AIS 及其速率	174
本章附录 支路输入口允许的最大速率偏差替代测试方法用的速率 偏移范围精确计算	175
第四章 数字接口参数测试	178
4.1 引言	178
4.2 测试过程中应遵循的基本要求	182
4.3 输出口参数	183
4.3.1 输出口阻抗特性	183
4.3.2 输出口输出信号波形和参数	188
4.3.3 输出口输出数字信号速率和 2048kHz 同步信号频率	208
4.4 输入口参数	212

4.4.1	输入阻抗特性	212
4.4.2	输入对输入数字信号速率偏差容限, 2048kHz 同步信号输入对同步信号频率偏差容限, 兼输入对输入信号衰减, 波形畸变容限	218
4.4.3	输入抗干扰能力	227
4.5	输入和输出过压保护要求	231
第五章	抖动指标与测试	234
5.1	引言	234
5.2	基本概念	236
5.2.1	抖动测试常用术语	236
5.2.2	抖动指标规范概貌	237
5.2.3	抖动测试基础	237
5.3	输入容许输入抖动	241
5.3.1	输入容许输入抖动指标的意义	241
5.3.2	输入容许输入抖动指标	242
5.3.3	输入抖动容限的测试方法	242
5.3.4	关于无误码判据的讨论	247
5.4	最大输出抖动	250
5.4.1	最大输出抖动指标的意义	250
5.4.2	有关输出抖动的指标	250
5.4.3	输出抖动的测试方法	252
5.5	抖动转移特性	257
5.5.1	抖动转移特性指标的意义	257
5.5.2	有关抖动转移特性的指标	257
5.5.3	抖动转移特性的测试方法	259
第六章	误码性能的规范与测试	263
6.1	引言	263
6.2	基本概念	264
6.2.1	常用术语	264

6.2.2	误码检测分类	266
6.2.3	误码测试仪表的基本原理	267
6.2.4	伪随机二元序列、人工码和接口码型	269
6.3	有关误码性能的规范	271
6.3.1	误码指标的分类和规范方法	271
6.3.2	ISDN 国际数字连接的误码性能指标	274
6.3.3	数字段的误码性能	275
6.3.4	数字线路段和数字链路维护的误码性能限值	277
6.3.5	将高比特率误码实测结果转换成 64kbit/s 误码性能的方法	281
6.4	误码测试方法	284
6.4.1	误码性能指标测试方法	284
6.4.2	残余误码率的测试方法	293
6.4.3	平均误码率测试方法	293
本章附录	CCITT 建议 M. 550 国际数字通道、段和传输系统的投入业务和维护性能限值	296
第七章	电缆再生中继器主要性能测试	336
7.1	引言	336
7.2	数字接口参数	337
7.2.1	速率及容差	337
7.2.2	阻抗及反射衰减	338
7.2.3	输出口输出信号波形	339
7.2.4	输入口容许输入抖动	340
7.3	再生中继器的基本特性	341
7.3.1	恢复时钟能力(耐连 0 测试)	341
7.3.2	均衡波形(眼图测试)	343
7.4	对称电缆再生中继器耐串音干扰能力	346
7.4.1	串音噪声指数的定义和指标	346
7.4.2	串音噪声指数的测试方法	350

7.5	同轴电缆再生中继器抗噪声干扰能力	355
7.5.1	噪声余度的定义和指标	355
7.5.2	噪声余度的测试方法	359
7.6	传输特性	363
7.6.1	误码特性	363
7.6.2	抖动转移特性	366
本章附录 A	误码率与信噪比的关系推导	366
本章附录 B	α_N 和 R_N 关系推导	369
第八章	ADPCM 设备测试	371
8.1	引言	371
8.2	数字接口参数	372
8.2.1	比特率及容差	372
8.2.2	输出口脉冲波形	374
8.2.3	输入口阻抗及反射衰减	375
8.2.4	输入口容许衰减和抗干扰能力	376
8.2.5	输入口容许输入抖动容限	377
8.2.6	输出口输出抖动	378
8.3	话路传输特性(一)	381
8.3.1	D—D 的测试方法	381
8.3.2	借助于 PCM 设备 A—A 的测试方法	385
8.4	话路传输特性(二)	387
8.4.1	绝对时延	388
8.4.2	群时延失真	388
8.4.3	谐波失真	389
8.5	传输特性	390
8.5.1	误码特性	390
8.5.2	抖动转移特性	391
8.6	功能	392
8.6.1	时钟同步	392

8.6.2 随路信令	393
8.7 故障告警	395
8.7.1 帧失位和帧定位恢复	395
8.7.2 复帧失位和复帧定位恢复	396
8.7.3 码流中断告警	397
8.7.4 C 码流 TS0 的比特安排	397
8.7.5 C 码流帧 F0 的时隙 TS16 的比特安排	400
8.8 其它	401
8.8.1 直流电源电压变化适应性	401
附录 TDM/FDM 60 路复用转换设备测试方法	403

第一章 概述和基础知识

1.1 电信网测试概貌

电信网是一个由传输、交换、终端等设施以及控制和信令过程、操作支持等系统构成的综合系统。电信网设计目的是要在直接连接的基础上,提供任何住户和(或)办公室与其它住户或办公室之间进行实际互连的能力。住户或办公室里会有各式各样的终端设备,如电话、数据终端等。图 1.1.1 绘出了电信网中两个用户间电信连接最简单的框图,并示出了常见的测试区段。

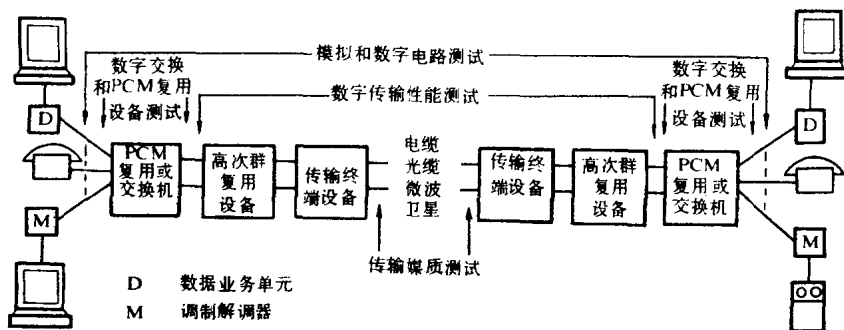


图 1.1.1 电信连接构成框图

从图 1.1.1 中可以看出,电信连接测试按组成部分可分成设备测试和系统测试两大类。本书第 2、3、7、8 章介绍设备的测试方法。实际上,许多设备的测试方法也用于系统。

系统和系统、设备和设备、系统和设备之间相互连接时,必须符合规定的接口参数规范,第4章介绍数字接口参数的测试方法。

电信网的数字传输部分可以用各种传输方式实现,如图1.1.2所示,图中示出了数字复用设备、线路终端设备、数字接口和各种传输媒介。本书不准备介绍传输媒介本身的测试,但电缆用的再生中继器的测试方法将在第7章介绍。

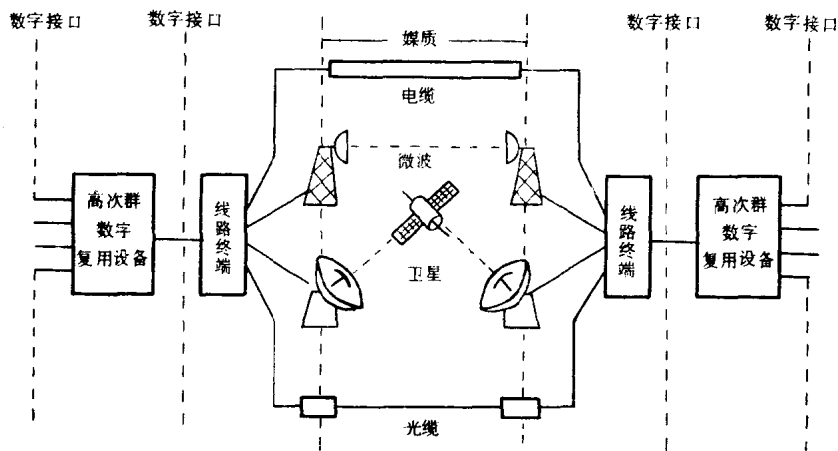


图1.1.2 数字传输系统

第5和第6章将介绍数字传输系统重要的性能指标,抖动和误码的测试方法。设备和接口与抖动有关的指标及其测试方法也集中在第5章介绍。

PCM通信系统的测试概貌可以用图1.1.3来说明。第2章讲述与PCM通路有关的测试方法,见图1.1.3中A、B、和C;第8章讲述与64kbit/s数字通道有关的测试方法,见D;第6章讲述误码测试方法,见E;第5章讲述抖动测试方法,见J;第7章讲述再生中继器测试方法,见R。

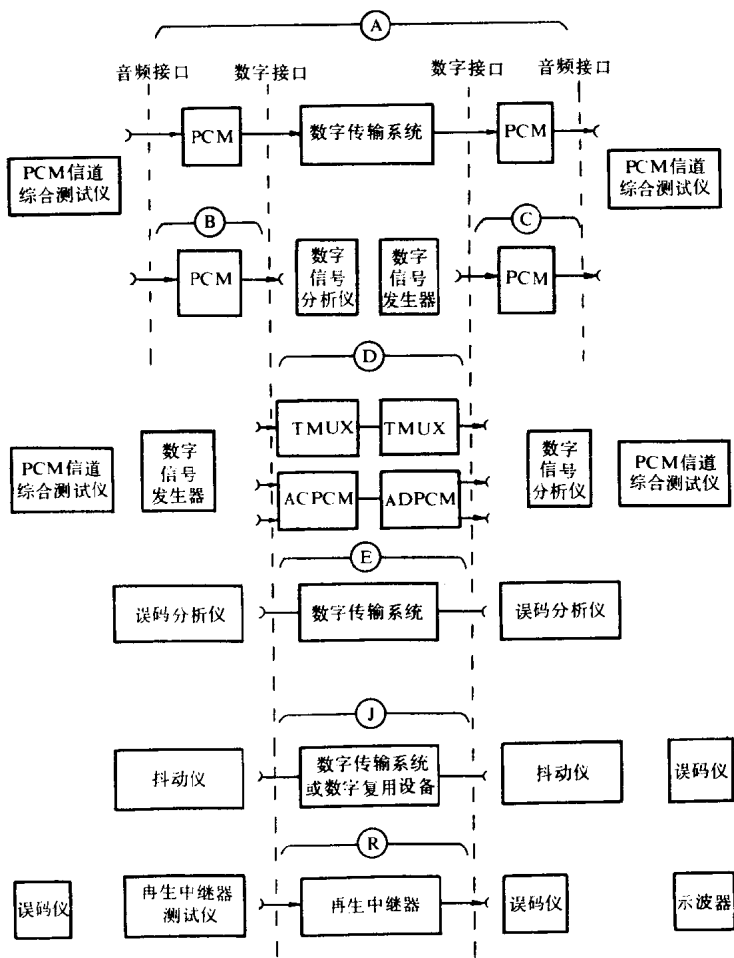


图 1.1.3 PCM 通信系统测试概貌

1.2 测试的含义

本书采用“测试”一词的含义是广泛的,它包括测量、检验、校准

和计数等内容。

测量是指借助测量仪器来确定被测量的值。例如用电压表确定电压或电平值。

检验是在给定一个预期值或额定值的前提下,确定被测值是否保持在规定的界限内。尽管有时给定的界限很宽,但检验并非粗略测量。例如用示波器观测数字接口波形,检验是否在规定的模框内。

校准通常是一种操作,调整两个或多个量之间保持特定的关系。例如 PCM 设备编码侧和解码侧电平调整。

计数是指计算同类事件的数量。例如频率计数器是计算规定时间间隔内信号过零点的次数。又如误码检测是记录差错比特数目。

当然,并非所有的测试都能绝然分成四种之一,很可能是它们的结合,例如输入容许输入抖动测试就是抖动测量和误码计数的结合,而对指标要求而言是一种检验,所以本书在多数场合都用术语“测试”。

被测量和测量结果既有区别又有联系,被测量是被测的物理量;测量的结果是物理量的值,有时这个值就是测量结果,而多数情况下需要由一个或多个测量值,并根据某个数学公式转换才得到一个综合结果,称为测试结果。

被测物(或称试样)是指被测试的实体,可简称“被测”。“被测”有时也用来形容被测量,如被测电平、被测电压等。这和测试电平、测试电压不同。“测试”所组成的复合词是指测试工作中所要使用的物理量或物件,如测试信号、测试阻抗、测试引线等。

1.3 误差和误差的表示

由于仪表的不完善性、以及测试环境主客观影响,测量结果总会有误差。误差可分为系统误差和随机误差。

系统误差是仪表和测试系统的不完善性引起的误差。导致系统误差的因素有的是已知的,有的要通过计量来发现。例如振荡器输出

正弦信号频率比仪表自身指示偏低,可以通过和频率标准比较发现,并得到修正值。我国建立了一、二级电信仪表计量中心,负责对仪表进行计量,并能向仪表的使用者提供说明仪表固定误差(仪表的系统误差)的计量结果。

随机误差是指仪表和测试系统的不稳定性、测试操作的不确定性引起的误差。导致随机误差的因素大多不可预先确定。随机误差数值是波动的,可正、可负,无一定规则,不可能个别确定误差大小。通过多次测量,有可能从总体上认识其统计特性。例如用电平表测量一个未知的固定电平,重复 n 次有 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 共 n 个结果,我们用求平均值的方法得到一个接近于正确值的结果:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i$$

n 越大,平均值 $\bar{x}$ 就越接近正确值,所以从逻辑上讲,正确值是可以知道的。

误差可用绝对误差和相对误差来表示。绝对误差的定义:

$$\text{绝对误差} = \text{一次测量值} - \text{正确值}$$

相对误差的定义:

$$\text{相对误差} = \frac{\text{一次测量值} - \text{正确值}}{\text{正确值}}$$

绝对误差和相对误差也用来表示被测物的不完善性或设备制造偏差。例如规定通路四线接收点电平为 +4dB(标准值),某产品的实际值为 +3.6dB,绝对误差为 -0.4dB,相对误差为 10%。

综上所述,可用表 1.3.1 来说明误差。

表 1.3.1 测试误差和制造误差

	测试误差	制造误差	数学概念
客观标准	正确值 (真值)	规定值 (指标)	数学期望 $\approx$ 样本 平均值 $\bar{x}$
主观认识	一次观测值 (样本值)	实测值	随机变量的一个 样点 x_i

续表

	测试误差	制造误差	数学概念
主客观差异	绝对误差	绝对误差	$x_i - \bar{x}$
引起原因	仪表不完善, 测试系统固定和随机因素。	生产过程不完善。	
减小误差的主要措施	仪表计量, 误差修正减小固定误差。多次测量减小随机误差。	改善生产工艺(包括生产过程中测试工作改进)	

1.4 电信测试常用单位

电信测试使用的单位包括常用物理量单位和电信传输单位一分贝(dB)。

常用物理量单位有表 1.4.1 所示的十几种。

表 1.4.1 电信测试常用物理量和单位

物理量	符 号	单 位	符 号
电压	U	伏〔特〕	V
电流	I	安〔培〕	A
频率	f	赫〔兹〕	Hz
时间	t	秒	s
周期	T	秒	s
功率	P	瓦〔特〕	W
阻抗	Z	欧〔姆〕	Ω
电阻	R	欧〔姆〕	Ω
相位	ϕ	弧度	rad
抖动	J	码元间隔	UI
时延	τ	微秒	μs

电信传输单位一分贝(dB)

使用相同单位的任何物理量之间的比值都可以用比值的对数表示,其单位为贝尔(B)。在电信测试中常用的是贝尔的十分之一,即分贝(dB)。本节先介绍用分贝表示功率比值和电压比值的两个单位 dBm 和 dBu。