



邬贺铨 编著

脉码通信话路传输特性



75-4-15
732

脉码通信话路传输特性

邬贺铨 编著

人民邮电出版社

前 言

通信网正朝着数字化的方向发展，PCM 复用设备和数字交换机越来越多地在通信网上发挥作用，它们所提供的 PCM 话路逐渐成为通信网中主要音频通路，PCM 话路有着和模拟音频话路不同的特性。本书从分析量化特性出发，运用国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 新的研究成果，阐述表征 PCM 话路传输质量的各项音频特性的定义、意义和特点；试图说明每段 PCM 音频通路应有什么性能要求，整个网路允许由多少段 PCM 音频通路组成，在全数字网或模数混合网中可以期望连接有什么样的性能，通路性能指标与设备实现有什么关系，生产上可有多少容差，通路性能指标的分配及提高通路性能指标的途径以及测试调整方法等。总之希望它能对从事数字通信网路规划、工程设计、设备研制、生产以及维护等方面的技术人员有所帮助。

本书是根据多年来工作体会，参考 CCITT 有关建议及其它资料而编写的，但由于编写者水平所限，对很多传输特性问题理解还很片面，谬误之处期待同志们不吝予以批评指正。

编者

于邮电部第五研究所

1985.8

目 录

第一章 PCM 通信原理	1
1.1 抽样	1
1.1.1 抽样后信号的频谱	1
1.1.2 抽样定理	3
1.1.3 抽样频率	4
1.1.4 抽样脉冲宽度	5
1.1.5 实际抽样过程引起的损伤	6
1.2 量化	6
1.2.1 量化的意义	6
1.2.2 量化特性	9
1.2.3 量化误差	10
1.2.4 信号对量化噪声功率比	12
1.3 压扩	14
1.3.1 瞬时压扩	14
1.3.2 A 律 13 折线压扩	16
1.3.3 μ 律 15 折线压扩	18
1.4 编码	19
1.4.1 折线代码的表示	19
1.4.2 编码方法	21
1.5 复用	23
1.5.1 帧结构	23
1.5.2 复用系列	25
1.5.3 PCM 复用终端方框图	31
1.5.4 复用制式与话路性能关系	33
1.6 数字线路传输	35

第二章 PCM 音频通路基本概念	38
2.1 PCM 音频通路.....	38
2.1.1 通路的定义	38
2.1.2 PCM 音频通路传输模型.....	39
2.2 数字链路	40
2.2.1 数字段与数字链路	40
2.2.2 假想参考数字链路	42
2.3 电路	43
2.3.1 电路的定义和分类	43
2.3.2 假想参考电路	44
2.3.3 电路与音频通路的关系	47
2.4 连接	49
2.4.1 连接的定义	9
2.4.2 假想参考连接	49
2.4.3 实际连接包含的电路数	53
2.4.4 连接包含的音频通路数	56
2.5 PCM 音频通路的应用.....	57
2.5.1 应用场合	57
2.5.2 传送业务	57
2.6 传输质量	61
2.6.1 通信质量	61
2.6.2 传输特性指标分类	62
2.7 话路传输质量的评定	64
2.7.1 传输质量的主观评定	64
2.7.2 话路传输质量的客观评定	68
2.7.3 主、客观测量的对应.....	69
2.8 PCM 话路音频性能.....	70
2.9 PCM 音频通路性能衡量方式.....	74
2.9.1 四线通路性能	75

2.9.2	二线通路性能	77
2.9.3	发、收分别测量的音频通路性能	86
2.10	CCITT 对PCM 音频通路性能的研究与建议	87
第三章 PCM 话路传输特性测量基础		91
3.1	电平和噪声衡重	91
3.1.1	电平	91
3.1.2	噪声衡重	94
3.2	话路信号基本特性	100
3.2.1	电话语音信号	100
3.2.2	非话信号	106
3.3	测量用信号	108
3.3.1	正弦测试信号	108
3.3.2	高斯噪声信号	110
3.3.3	伪随机噪声测试信号	113
3.3.4	常规电话信号	117
3.4	参考频率	119
3.4.1	标称参考频率	119
3.4.2	实际参考频率	120
3.5	数字参考序列	122
3.5.1	数字参考序列的定义和应用	122
3.5.2	1 kHz 数字正弦周期序列	123
3.5.3	800 Hz 数字正弦周期序列	127
3.6	标准发送侧和标准接收侧	128
3.6.1	标准发送侧和标准接收侧的概念和应用	128
3.6.2	标准发送侧和标准接收侧的模拟	129
第四章 相对电平和电平持恒度		135
4.1	参考当量	135
4.1.1	参考当量 RE	135
4.1.2	修正参考当量和响度评定值	138

4.1.3	CRE 和 LR 的规划值	140
4.2	相对电平的意义	144
4.2.1	虚模拟交换点和传输参考点	144
4.2.2	相对电平的意义	146
4.2.3	相对电平与参考当量及传输衰耗的关系	148
4.3	话路输入输出相对电平	149
4.3.1	数字交换机模拟接口相对电平	150
4.3.2	PCM 复用终端设备音频口相对电平	152
4.4	满载电平	155
4.5	相对电平和满载电平的调整方法	156
4.5.1	相对电平的调整	156
4.5.2	满载电平的测量	157
4.6	电平持恒度	159
4.6.1	对电平持恒度的要求	159
4.6.2	影响PCM 话路电平持恒度的因素	160
第五章	音频口阻抗和纵向平衡	163
5.1	音频口阻抗标称值	163
5.1.1	四线口阻抗标称值	163
5.1.2	二线口阻抗标称值	164
5.2	阻抗失配的影响	166
5.2.1	失配造成的传输电平偏差	166
5.2.2	阻抗失配的其它影响	172
5.3	反射衰耗的指标和测试方法	173
5.3.1	通路输入和输出口反射衰耗指标	173
5.3.2	阻抗反射衰耗的测量	175
5.4	纵向平衡	176
5.4.1	纵向平衡参数	177
5.4.2	纵向平衡指标	178
5.4.3	纵向平衡的测量	179

第六章 稳定度和回波	182
6.1 平衡回损	182
6.1.1 平衡回损的定义和意义	182
6.1.2 由平衡回损派生出的几个参量	184
6.1.3 平衡回损的测量	185
6.2 稳定度	187
6.2.1 稳定度衰耗的定义及其影响	187
6.2.2 稳定度衰耗的网路性能指标	189
6.2.3 PCM 通路的稳定度衰耗	191
6.3 回波	193
6.3.1 回波的分类和影响	193
6.3.2 发话回波的性能指标	194
6.3.3 受话回波的性能指标	201
6.3.4 回声的控制	204
6.4 稳定度和回波对四线链路传输衰耗的要求	206
6.4.1 从振鸣条件计算四线链路传输衰耗	207
6.4.2 从准振鸣条件计算四线链路传输衰耗	208
6.4.3 从回声条件计算四线链路传输衰耗	208
第七章 衰减失真和群时延失真	211
7.1 衰减/频率失真对传输性能的影响	211
7.2 有效传输频带	214
7.2.1 有效传输频带的选取	214
7.2.2 窄频带与宽频带话路	215
7.3 衰减失真单位	217
7.3.1 衰减失真单位的概念	217
7.3.2 adu 与衰减失真及等效传输衰耗的关系	219
7.4 衰减失真的规范	220
7.4.1 网路性能指标与电路性能指标	220
7.4.2 设备设计指标	223

7.4.3 衰减失真的测量	228
7.5 PCM 话路系统对衰减失真的影响	229
7.5.1 影响低频段衰减失真的因素	229
7.5.2 影响高频段衰减失真的因素	230
7.6 传播时间	231
7.6.1 传播时间的影响	232
7.6.2 传输系统和设备传播时间的规划值	234
7.6.3 传播时间的容限	235
7.7 群时延失真	238
7.7.1 群时延失真的影响	238
7.7.2 群时延失真的规范	239
7.8 群时延和群时延失真的测量	241
7.8.1 群时延的测量原理	241
7.8.2 群时延失真的测量	244
第八章 噪声	247
8.1 理想量化的空闲通路噪声	247
8.1.1 理想量化空闲通路噪声的表达式	248
8.1.2 理想量化空闲通路噪声的基底值	250
8.2 非理想量化时的空闲通路噪声	254
8.2.1 发侧空闲通路噪声	254
8.2.2 收侧空闲通路噪声	256
8.2.3 实际的空闲通路噪声	257
8.3 衡重噪声性能指标	261
8.3.1 网路与电路的衡重噪声性能指标	261
8.3.2 设备衡重噪声设计指标	268
8.4 不衡重噪声	271
8.4.1 单频噪声	272
8.4.2 脉冲噪声	274
8.5 抽样噪声和对带外输入信号的抑制	275

8.5.1	抽样噪声	276
8.5.2	对低频带外输入信号的抑制	283
8.6	滤波噪声	284
8.6.1	寄生带外输出信号的产生及影响	284
8.6.2	对寄生带外信号的规范	287
第九章	总失真	290
9.1	量化失真的特点和主观评价	290
9.1.1	量化失真的特点	290
9.1.2	对量化失真的主观评价	292
9.2	量化噪声的频谱	296
9.2.1	连续信号量化产生的噪声频谱	297
9.2.2	抽样后的量化噪声频谱	303
9.3	理想 13 折线编码的量化失真	307
9.3.1	信号对量化噪声功率比的表达式	307
9.3.2	过载噪声	315
9.3.3	信噪比电平特性	317
9.4	非理想编码的信噪比	327
9.4.1	PCM 发侧对 $[S/N]$ 的影响	328
9.4.2	PCM 收侧对 $[S/N]$ 的影响	343
9.4.3	信噪比劣化值的叠加	346
9.5	总失真的监视和测量	348
9.5.1	总失真的监视	348
9.5.2	测量总失真的方法	353
9.6	总失真的规范	359
9.6.1	四线接口间音频通路总失真指标	360
9.6.2	二线接口间音频通路的总失真指标	366
9.6.3	发、收侧分别测量的音频通路总失真指标	368
9.7	量化失真单位	373
9.7.1	量化失真单位的基本概念	374

9.7.2 量化失真单位在网路规划中的应用	379
第十章 非线性	385
10.1 谐波	386
10.1.1 谐波和谐波衰减	386
10.1.2 对寄生带内信号的规范	393
10.2 互调	396
10.2.1 互调衰减	396
10.2.2 对互调的规范及测量方法	399
10.3 理想量化时的增益电平特性	402
10.3.1 理想量化小信号增益电平特性	403
10.3.2 理想量化大信号增益电平特性	411
10.4 非理想量化的增益电平特性	418
10.4.1 非理想量化特性对增益偏差的影响	418
10.4.2 音频和 PAM 通道对增益电平特性的影响	423
10.5 增益电平特性的影响及测量方法	426
10.5.1 增益随输入电平变化对传输质量的影响	426
10.5.2 增益电平特性的测试方法	429
10.6 对增益电平特性的要求	432
10.6.1 四线和二线通路的增益电平特性规范	432
10.6.2 发、收侧分别测量的增益电平特性规范	435
第十一章 串音	440
11.1 PCM 通路串音产生的原因	440
11.1.1 多路通信系统的串音	440
11.1.2 群路 PAM 通道频带限制与串音的关系	443
11.2 PCM 通路的可懂串音	446
11.2.1 理想量化器输出的串音	446
11.2.2 非理想情况下量化器输出的串音	450
11.2.3 PCM 通路输出的串音	459
11.3 测量 PCM 通路串音用的辅助信号	461

11.3.1	辅助信号的作用·····	462
11.3.2	两种辅助信号·····	463
11.4	易懂串音的指标和测量·····	468
11.4.1	易懂串音的电路性能指标·····	468
11.4.2	易懂串音的设备设计指标·····	472
11.4.3	测量易懂串音的方法·····	475
11.5	不可懂串音与往返串音·····	478
11.5.1	不可懂串音·····	478
11.5.2	往返串音·····	480
11.6	信令干扰·····	483
附录 A	电信传输单位·····	489
附录 B	PCM 话路特性测量仪原理方框图·····	495
附录 C	PCM 复用设备和数字交换机音频通路性能指标 一览表·····	498

第一章 PCM 通信原理

对模拟信号抽样，每个样值被独立地量化，并通过编码变换为数字信号的过程被称为脉冲编码调制（PCM）。这是最早开发、技术成熟、业务适应性好的一种编码方式。它比自适应差分编码（ADPCM）等有记忆的编码方式简单，因而已被广泛使用，成为数字网的基础技术之一。

1.1 抽 样

时分多路通信是在不同的时间、在同一线路上传输不同通路的信号样值。对某一通路而言，传输的不是原始信号而是在时间上不连续的样值。所谓样值（Sample）指的是从该信号某一部分中得到的、在一个选定瞬间的信号表示值。只要满足抽样定理，这些样值就能包含原信号的全部信息。

本节分析抽样信号的频谱，引出抽样定理，并说明有关抽样的几个具体问题。

抽样（Sampling）就是抽取信号样值的过程，通常在等时间间隔上进行。图 1.1-1 表示了这一过程。

1.1.1 抽样后信号的频谱^[1]

抽样脉冲 $s(t)$ 是一个周期脉冲，设其幅度为 1，宽度为 τ ，周期为 $T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{2\pi}{\omega_s}$ ，其中 f_s 为抽样频率。利用富氏级数，可将 $s(t)$ 表达为如下形式：

8810464

• 1 •

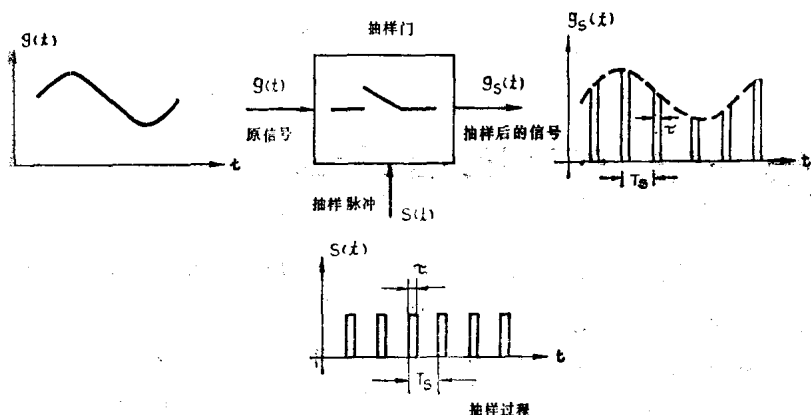


图 1.1-1 抽样过程

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\tau}{T_s} \frac{\sin \frac{n\pi\tau}{T_s}}{\frac{n\pi\tau}{T_s}} e^{j\frac{2n\pi t}{T_s}}$$

$$= \frac{\tau}{T_s} \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2 A_n \cos \frac{2n\pi t}{T_s} \right] \quad (1.1-1)$$

其中,

$$A_n = \frac{\sin \frac{n\pi\tau}{T_s}}{\frac{n\pi\tau}{T_s}} \quad (1.1-2)$$

利用富氏变换, 可求得抽样脉冲 $s(t)$ 的频谱函数,

$$s(\omega) = \frac{2\pi\tau}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n \cdot \delta(\omega - n\omega_s) \quad (1.1-3)$$

其中 δ 称为单位脉冲函数。

上式表明抽样脉冲包含有间隔为 ω_s 的无限多个离散频率成分, 其在 $\omega = n\omega_s$ 的幅度由 A_n 决定, 如图 1.1-2 所示。

在抽样脉冲 $s(t)$ 的控制下, 抽样门周期性地开启, 抽样后的信

号 $g_s(t)$ 是一个时间间隔为 T_s 、宽度为 τ 、幅度包络为输入信号 $g(t)$ 的脉冲序列。抽样过程就是一个脉幅调制(PAM)过程。

抽样后的信号

$$g_s(t) = g(t) \cdot s(t)$$

$$= \frac{\tau}{T_s} g(t) + \frac{\tau}{T_s} \sum_{n=1}^{\infty} 2 A_n g(t) \cos \frac{2 n \pi t}{T_s} \quad (1.1-4)$$

时域上两个信号的乘积等效为频域上它们的频谱的卷积, 抽样后信号 $g_s(t)$ 的频谱 $G_s(\omega)$ 可表示为:

$$\begin{aligned} G_s(\omega) &= \frac{1}{2\pi} G(\omega) * s(\omega) \\ &= \frac{\tau}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n G(\omega) * \delta(\omega - n\omega_s) \\ &= \frac{\tau}{T_s} G(\omega) + \frac{\tau}{T_s} \sum_{n=1}^{\infty} A_n [G(\omega - n\omega_s) \\ &\quad + G(\omega + n\omega_s)] \end{aligned} \quad (1.1-5)$$

式中, $G(\omega)$ 是输入信号 $g(t)$ 的频谱。

从(1.1-5)式可以看出, 抽样后的信号包含有原信号的频谱, 还有很多个边带, 在每个边带内都含有输入信号的完整信息。

1.1.2 抽样定理

从图 1.1-2 可以看出, 只要使用一个能通过原信号频谱 $0 \sim \omega_h$, 又能抑制其它边带的低通滤波器, 就可以不失真地还原出原信号的频谱, 从而得到 $g(t)$ 。

为了能从抽样后的信号中分离出原信号, 要求 $G_s(\omega)$ 中各相邻边带不互相重叠, 即要求

$$\begin{aligned} (\omega_s - \omega_h) &\geq \omega_h \\ \text{或} \quad \omega_s &\geq 2\omega_h, \quad f_s \geq 2f_h \end{aligned} \quad (1.1-6)$$

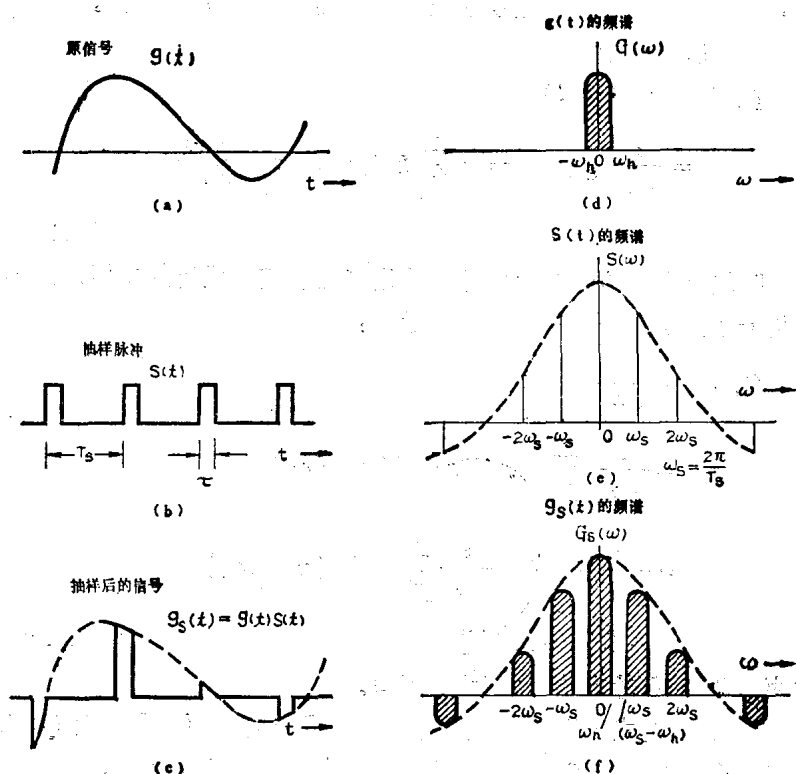


图 1.1-2 抽样脉冲和抽样后信号的波形和频谱

上式就是抽样定理的数学表达式，抽样定理可以叙述为：

对于频带限制到 f_h 赫的信号，如果每隔一定时间间隔均匀抽样，而且抽样频率每秒至少 $2f_h$ 次，那么这些样值中就包含有原信号的全部信息。

1.1.3 抽样频率

满足(1.1-6)式的最低抽样频率称为奈奎斯特频率。实用的抽

样频率则高于奈奎斯特频率,以使 $G_s(\omega)$ 的各次边带间有足够的间隔,从而为收侧分离 $G(\omega)$ 所使用的低通滤波器留有一定的过渡带。对 300~3400 Hz 范围内的电话信号,其奈奎斯特频率为 6.8 kHz,通常使用的抽样频率为 8 kHz。如果再提高抽样频率,虽然还可进一步简化话路滤波器,但其好处不足以弥补因抽样频率升高而使线路传输比特率也增高所带来的不利。

1.1.4 抽样脉冲宽度

抽样定理只对抽样率的最低值有限制,而对抽样脉冲的宽度没有限制。在一个抽样周期内,每路样值可以仅占一个很小的宽度,余下的时间完全可以安排其它路的信号样值,这就有可能实现时分多路复用(TDM)。

理论上可以使抽样脉冲宽度 $\tau \rightarrow 0$, 这时 $A_n \rightarrow 1$, $G_s(\omega) = \frac{\tau}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(\omega - n\omega_s)$ 。

这种情况称为理想抽样。理论上,在 $\tau \rightarrow 0$ 时可安排无限多路的 TDM 信号。但因此时 $G_s(\omega)$ 中各次边带幅度不变(即 $A_n > 1$),要传送抽样后信号,就需要有无限宽频带的 PAM 通道,这是不现实的。当 τ/T_s 不可忽略时, A_n 将随 n 值增加而较快下降, $G_s(\omega)$ 中高次边带功率相对低次边带功率可以忽略,可降低对 PAM 通道带宽的要求,但在 T_s 内可能传送的路数也减少。通常根据需要的和实现的难易来选定抽样脉冲宽度。

以 PCM—30 路为例,话路采用 8 kHz 抽样,即抽样周期 $T_s = 125 \mu s$,划分为 32 个时隙(TS),每个 TS 占 $3.9 \mu s$,除了第 0 时隙 TS_0 和第 16 时隙 TS_{16} 分别用于传送同步信号和信令信号外,其余 30 个时隙可安排 30 路信号样值。在 30 路公用一个编码器(称为群路编码器)的情况下,抽样后的各路信号在抽样门输出处汇合为群路 PAM 信号,各路样值在时间上依次错开 $3.9 \mu s$,而且为了减少在群路 PAM 通道所发生的路间串扰,各路样值之间还留