

30/32路脉码调制设备

冯丙星 袁廷荣 编

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书首先从脉码调制通信系统谈起,然后全面介绍30/32路脉码调制设备的构成原理、总体设计以及技术性能,并对设备各机盘的电路原理进行分析。考虑到维护上的需要,还介绍了有关电路开通测试和维护检修等方面的内容,以便维修及障碍检查。

本书内容紧密结合国产MD2-01 I型脉码调制终端机及MZX₂-02型再生中继机全套设备,可供脉码调制通信技术维护、安装施工、技术管理等技术人员使用,也适于院校和职工教育作为教学参考。

30/32路脉码调制设备

冯丙昌 袁廷荣 编

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京隆昌印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售



开本 787×1092 1/16 1989年4月第 一 版
印张 13⁵/₁₆ 页数, 108 1989年4月北京第1次印刷
字数, 331 千字 插页 1 印数, 1—2 500册

ISBN7-115-03741-8/TN·50

定价: 5.45元

目 录

第一章 总体说明

1.1 脉码调制通信系统概述	(1)
1.2 用途及业务范围	(4)
1.3 技术数据及工作条件	(6)
1.3.1 基本参数	(6)
1.3.2 话路特性	(6)
1.3.3 标志信号接口	(8)
1.3.4 数字接口	(8)
1.3.5 再生中继机	(9)
1.3.6 工作条件	(9)
1.4 设备的工作原理与结构	(10)
1.4.1 帧及复帧结构	(10)
1.4.2 30/32路脉码调制终端机方框图	(11)
1.4.3 机架结构及机盘排列	(18)

第二章 终端机各机盘电路分析

2.1 发定时盘电路	(19)
2.1.1 时钟发生器	(19)
2.1.2 位脉冲发生器	(24)
2.1.3 路脉冲发生器	(25)
2.1.4 时隙脉冲发生电路	(28)
2.1.5 子帧码产生电路	(28)
2.2 收定时盘电路	(29)
2.3 话路盘电路	(29)
2.3.1 二/四线转换(差动系统)	(29)
2.3.2 话路发送部分(差动出→PAM出)	(36)
2.3.3 话路接收部分(PAM入→差动入)	(38)
2.4 基线调节盘电路	(39)
2.4.1 10Hz低频振荡器	(39)
2.4.2 直流电位调整电路	(41)
2.4.3 电子开关和驱动电路	(41)
2.5 保持群放盘电路	(41)
2.5.1 保持电路	(44)
2.5.2 群放大电路	(47)

2.6	比较器 I/II 盘电路	(47)
2.6.1	比较器 I 盘电路	(51)
2.6.2	比较器 II 盘电路	(56)
2.7	局译逻辑盘电路	(57)
2.7.1	记忆电路	(60)
2.7.2	7/11 码位变换电路	(60)
2.8	局译恒流源盘电路	(61)
2.8.1	恒流源	(61)
2.8.2	控制开关	(63)
2.8.3	电阻网络	(64)
2.8.4	电源稳压电路	(65)
2.9	汇总输出盘电路	(65)
2.9.1	隔位翻转电路	(65)
2.9.2	7 比特移位电路	(65)
2.9.3	极性码检出电路	(65)
2.9.4	汇总电路	(67)
2.9.5	码型变换电路	(68)
2.10	输入盘电路	(72)
2.10.1	时钟提取电路	(72)
2.10.2	码型反变换电路	(75)
2.11	同步盘电路	(77)
2.11.1	移位寄存器	(77)
2.11.2	同步码及识别码检出电路	(77)
2.11.3	同步保护及同步指令控制电路	(80)
2.11.4	位脉冲发生器	(81)
2.11.5	时标电路	(81)
2.11.6	串/并读出电路	(82)
2.11.7	对告及误码检出电路	(83)
2.12	解码器 I/II 盘电路	(83)
2.12.1	解码器盘 I 电路	(85)
2.12.2	解码器盘 II 电路	(88)
2.13	发帧时钟发生器盘电路	(93)
2.13.1	分频电路	(95)
2.13.2	解码逻辑电路	(95)
2.14	并/串变换盘电路	(96)
2.14.1	移位寄存器电路	(96)
2.14.2	复帧同步码组产生电路	(98)
2.15	收帧时钟发生器盘电路	(99)
2.15.1	分频电路	(99)
2.15.2	解码逻辑电路	(102)

2.16	串/并变换盘电路	(102)
2.16.1	移位寄存器电路	(102)
2.16.2	复帧同步检出及控制电路	(105)
2.16.3	复帧对告检出电路	(106)
2.16.4	串/并输出电路	(106)
2.17	分组复原盘电路	(106)
2.18	终端中继器盘电路	(108)
2.18.1	发送电路	(108)
2.18.2	接收电路	(108)
2.19	终端中继器监测滤波器盘电路	(108)
2.20	监测盘电路	(112)
2.20.1	振荡电路	(113)
2.20.2	放大检波电路	(116)
2.20.3	告警控制显示电路	(116)
2.21	监测逻辑盘电路	(117)
2.21.1	移位寄存器电路	(117)
2.21.2	串/并读出电路以及路脉冲控制电路	(117)
2.22	告警盘电路	(119)
2.22.1	帧对告、复帧失步告警及复帧失步对告电路	(119)
2.22.2	PCM中断(无输入)告警	(119)
2.22.3	帧长故告警	(122)
2.22.4	误码告警	(123)
2.22.5	监测告警电路	(123)
2.22.6	电源告警电路	(123)
2.22.7	总告警电路	(124)
2.22.8	监测电表电路	(124)
2.23	通话盘电路	(124)
2.23.1	话机电路	(124)
2.23.2	喇叭放大电路	(126)
2.24	复用设备电源盘电路	(126)
2.24.1	直流变换	(127)
2.24.2	输出电路(整流、滤波、稳压)	(127)
2.25	标志信号电源盘电路	(130)
2.26	远供电源盘电路	(130)
2.26.1	直流变换	(130)
2.26.2	输出电路(整流、滤波、稳流)	(135)
2.26.3	反监电源(整流、稳压)	(135)
2.27	数字正弦信号发生器盘电路	(136)
2.27.1	分频电路	(138)
2.27.2	脉冲控制电路	(138)

2.28	步进制出中继器盘电路	(138)
2.28.1	预占状态电路	(139)
2.28.2	占用状态电路	(141)
2.28.3	拨号状态电路	(142)
2.28.4	被叫应答状态电路	(142)
2.28.5	复原状态电路	(143)
2.29	步进制入中继器盘电路	(143)
2.29.1	预占状态电路	(144)
2.29.2	占用状态电路	(144)
2.29.3	拨号状态电路	(145)
2.29.4	被叫摘机应答状态电路	(146)
2.29.5	复原状态电路	(146)
2.29.6	复帧失步状态电路	(146)
2.30	纵横制出中继器盘电路	(147)
2.30.1	示闲状态电路	(149)
2.30.2	占用状态电路	(151)
2.30.3	被叫应答状态电路	(151)
2.30.4	再振铃和强拆状态电路	(151)
2.30.5	回叫振铃状态电路	(151)
2.30.6	被叫挂机状态电路	(151)
2.30.7	复原状态电路	(152)
2.30.8	故障显示与人工闭塞状态电路	(152)
2.31	纵横制入中继器盘电路	(152)
2.31.1	示闲状态电路	(152)
2.31.2	占用状态电路	(152)
2.31.3	被叫应答状态电路	(152)
2.31.4	再振铃和强拆状态电路	(153)
2.31.5	回叫振铃状态电路	(153)
2.31.6	复原状态电路	(154)
2.31.7	故障显示与人工闭塞状态电路	(154)

第三章 再生中继机

3.1	再生中继器盘电路	(155)
3.1.1	均衡放大电路	(155)
3.1.2	定时提取电路	(163)
3.1.3	识别再生电路	(164)
3.2	监测窄带滤波器盘电路	(164)
3.3	电源供给电路	(167)
3.4	安全保护电路	(169)

第四章 开通测试

4.1 端机联线核对	(171)
4.1.1 端机与市话机械的联接	(171)
4.1.2 四线工作电路的联接	(170)
4.1.3 端机与传输系统的联接	(172)
4.1.4 电源线的联接	(172)
4.1.5 与高次群设备及数据业务的联接	(173)
4.2 终端机单机开通测试	(173)
4.2.1 终端机电源端子检查	(173)
4.2.2 自环接收电平调整	(174)
4.2.3 自环发送电平调整	(174)
4.3 再生中继机的安装开通与调试	(174)
4.3.1 传输电缆线对的选择	(175)
4.3.2 再生中继段长度的选定	(175)
4.3.3 安装前检查与电源连线改接	(177)
4.3.4 尾巴电缆及机箱安装	(179)
4.3.5 逐站开通调试	(179)
4.3.6 全程误码率检测	(180)
4.3.7 再生中继器的故障测定及监测性能试验	(181)
4.4 全程通路特性测试	(182)
4.4.1 二/四线工作电平检查	(182)
4.4.2 全程净衰减调整	(183)
4.4.3 净衰减频率特性调测	(183)
4.4.4 净衰减持恒度测试	(183)
4.4.5 增益随输入电平的变化(振幅特性)测试	(184)
4.4.6 空闲信道噪声测试	(184)
4.4.7 寄生带内信号(包括谐波失真)测试	(185)
4.4.8 信号总失真比(S/N)测试	(185)
4.4.9 路际可懂串音防卫度测试	(186)
4.4.10 收发防卫度测试	(187)
4.4.11 互调失真测试	(187)
4.5 标志信号系统开通测试	(188)
4.5.1 通话测试	(188)
4.5.2 错号率测试	(188)
4.5.3 干扰测试	(188)

第五章 维护检修

5.1 传输系统的维护检测	(191)
5.1.1 再生中继机箱充气维护	(191)

6.1.2 再生中继系统的性能检测	(191)
6.1.3 远供电压、电流观察	(191)
5.2 传输系统的故障检修	(191)
5.3 终端机音频复用设备的维修检测	(193)
5.3.1 终端机六项主要性能标准的测试	(193)
5.3.2 终端机音频复用设备的故障检修	(197)
5.3.3 音频复用设备主要机盘故障分析	(197)
附图 1 MD2-01 I 型脉码调制终端机面板排列图	(203)
附图 2 MD2-01 I 型脉码调制终端机方框图	(204)
附图 3 标志信号系统方框图	(204)
附图 4 终端机发送端时间图	(205)
附图 5 终端机接收端时间图	(206)
参考书	(207)

第一章 总体说明

本书主要介绍由MD2-01 I型脉码调制终端机及MZX2-02型再生中继机组成的成套30/32路脉码调制通信设备,并对设备各机盘的电路原理进行分析。本章本着由表及里、由浅入深的方法,将着重介绍有关PCM通信的一般原理、用途及业务范围、设备构成的方框图、主要技术数据和工作原理,使读者能有一个整体的概念。

1.1 脉码调制通信系统概述

脉码调制通信(脉冲编码调制的时分多路通信)是一种把模拟信号变换成数字信号进行传输的数字通信方式,这种通信方式简称为PCM(Pulse Code Modulation)通信。PCM通信系统由终端发送系统、再生中继系统和终端接收系统组成,其基本结构如图1-1所示。

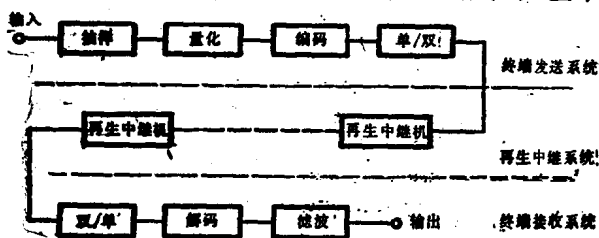


图 1-1 PCM通信系统基本结构示意图

模拟信号数字化一般要经过抽样、量化和编码三个步骤。抽样是将模拟信号在时间上离散化,变为样值脉冲序列(PAM信号);量化是将样值脉冲在幅度上离散化,变为用有限个数字来表示的数字量;把数字量对应于一组二进制代码的操作就是编码。通常把后两个步骤合二为一,形成PCM信号。

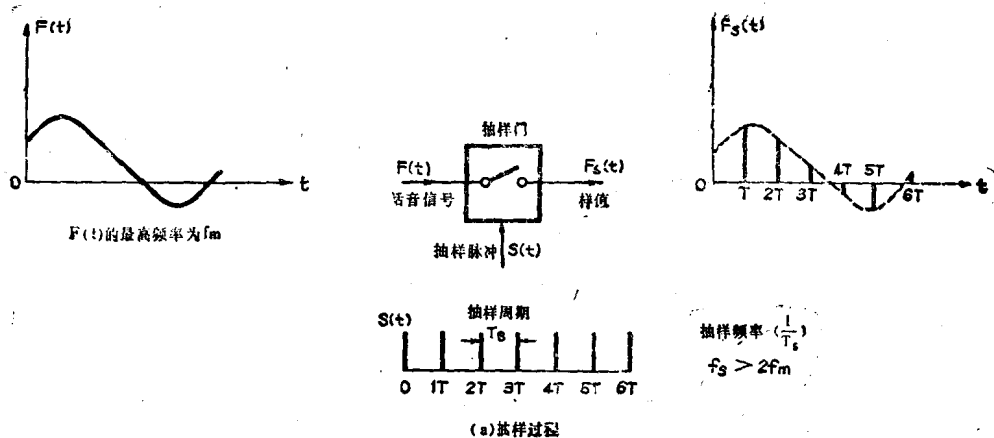
抽样过程如图1-2(a)所示,其信号频谱如图1-2(b)所示。在抽样门上加抽样脉冲 $S(t)$,对话音信号 $F(t)$ 进行调制,取出连续信号的瞬时幅值 $F_s(t)$ 。 $F_s(t)$ 被称为样值,可用下式表示:

$$F_s(t) = F(t) \cdot S(t)$$

根据抽样定理可知,如果 $F(t)$ 的最高频率为 f_m ,只要用抽样频率 $f_s \geq 2f_m$ 进行抽样,抽出的样值序列(PAM信号)就可代替 $F(t)$ 。因而在接收端要恢复原来的信号时,只要把这PAM信号通过一个截止频率为 f_m 的低通滤波器,就可将原话音信号 $F(t)$,从 $F_s(t)$ 的频谱中分离出来。

PAM信号的幅度的取值是连续的,仍属于模拟信号的范畴,为使它变成数字信号,还要进行量化和编码。

量化过程如图1-3所示。所谓量化就是用有限的数码状态来代表模拟信号无限个数的幅度抽样值。把信号幅度变动范围分成一定数量的间隔,每一个间隔称为一个量化级。用“ Δ ”

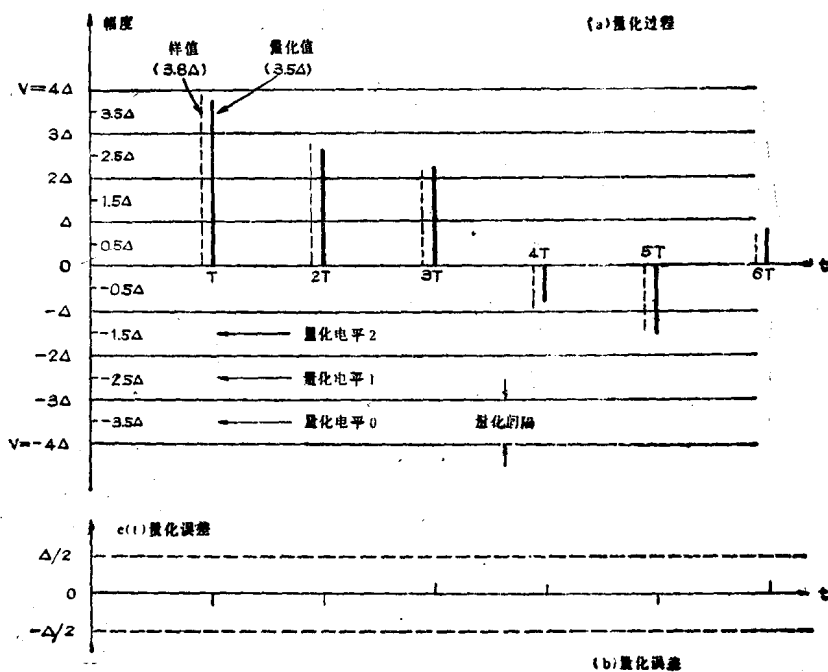


(a) 抽样过程

(b) 频谱

图 1-2 抽样过程示意图

信号极性	量化级	量化值	量化电平
正极性部分	$+4\Delta$	3.5Δ	7
	$+3\Delta$	2.5Δ	6
	$+2\Delta$	1.5Δ	5
	$+\Delta$	0.5Δ	4
负极性部分	$-\Delta$	-0.5Δ	3
	-2Δ	-1.5Δ	2
	-3Δ	-2.5Δ	1
	-4Δ	-3.5Δ	0



(b) 量化误差

图 1-3 量化过程示意图

表示。样值幅度在某一量化级内的所有抽样都看作是同一量化值。这个量化值就是该量化级的中间值。例如对样值编成三位二进制码,如图1-3那样,把正、负极性变动的范围分为 $2^3=8$ 个量化级($-4\Delta\sim+4\Delta$),并用8个量化值($-3.5\sim+3.5$)去代替。量化值通常用量化电平来表示。如果对样值为 3.8Δ 的信号进行量化,量化后用量化值 3.5Δ 代替,并用量化电平7表示。

量化值采用以中间取值进行近似的方法必然带来误差——量化误差,由此而产生的噪声称为量化噪声。采用这种量化方法的最大误差为量化级的一半,即

$$\text{量化误差 } e(t) = \text{量化值} - \text{样值} \leq \Delta/2$$

量化间隔均相等的量化称为均匀量化。这种量化所产生的噪声对大小信号都一样,因而信噪比必然随着信号电平的降低而下降,这对小信号不利。在实际量化时,人们采用具有压扩特性的不均匀量化法,以提高小信号的信噪比。

虽然量化的结果是把模拟量变为数字量,但很明显,只用三位码,就有8种不同的数字量,如用7位码,则有 $2^7=128$ 种数字量,要把这些数字量直接进行传输是不可能的。因此,在量化后还要进行编码,把量化后的数字量变成最简单的数字形式。编码过程如图1-4(a)所示。

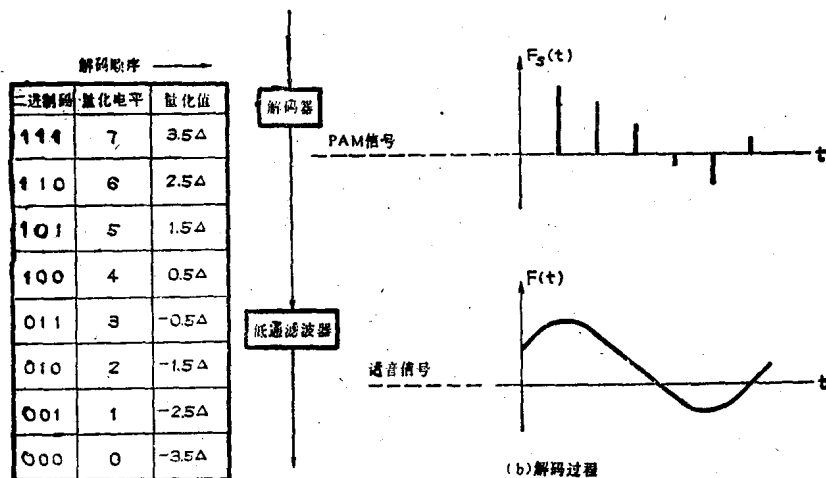
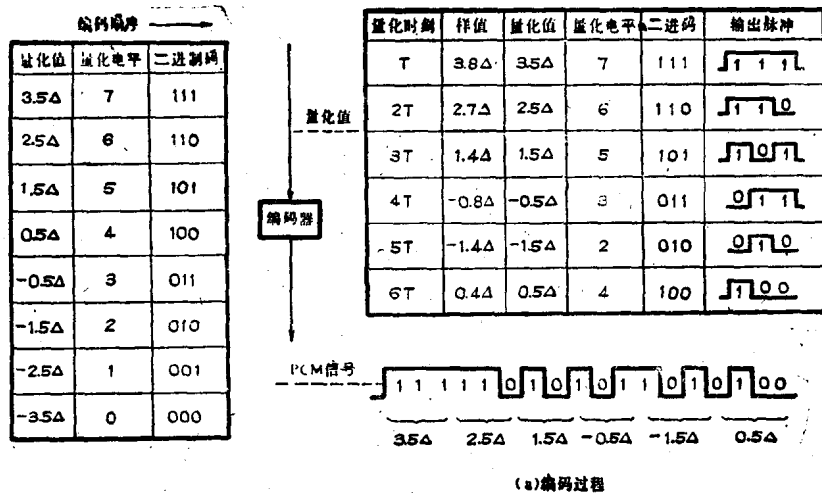


图 1-4 编码、解码示意图

编码器输出的二进制数码是数字码中最简单的数字形式,它只有“1”和“0”两种状态,可用有、无脉冲输出的形式表示。三位二进制数码有000~111的八个状态,可与图1-3所示的0~7的八个量化电平值一一对应。例如,输入信号的样值为2.7V,量化后量化值为2.5V,此值用量化电平6表示,对应于二进制数码为“110”,输出脉冲形状如图1-4(a)所示。

编码器输出的二进制码是单极性的,含有直流等成分,不适于线路传输。因此,在送往线路传输之前,还需通过“单/双”码型变换,把单极性码变换成符合线路传输需要的双极性码。

PCM信号在传送过程中,要受到线路衰减和各种噪声的影响而产生失真。再生中继机对PCM信号具有识别再生的功能,可使信号恢复到与发送端发出时的一样。因此,PCM传输可采用中继传输方式来延长通信距离,也就是每隔适当距离,设置一个再生中继机,将叠加在信号上的噪声除掉,恢复为原信号,然后再继续往下传送。

当PCM信号传送到接收端后,经“双/单”码型的变换和解码等操作后,又恢复为PAM信号(这些过程完全与发端“单/双”码型变换和编码相反),然后再通过滤波器还原成与发送端相同的模拟信号。解码过程如图1-4(b)所示。

以上所述只是单方向、单一话路传输的情况。实际上,话路传输是双向性的,而且PCM通信是时分多路通信,因而为了实现多路化和改善传输特性,还需附加很多功能电路,结构是很复杂的。

由于PCM传输系统可采用再生中继方式解决噪声积累问题,因此抗干扰性强。它不仅应用于质量较差的市话电缆,而且也适应在新的传输媒介—光纤信道上传输。由于设备中大部分是数字电路,易于高度集成化,因此,可使设备体积小、功能全、功耗低、稳定性高。同时,与数字交换相结合可形成高质、高效、经济、灵活的综合数字通信网。进而,把各种不同的信息都变成数字信息后,则会对通信技术作出重大改革,实现能传送和交换各种信息的综合业务数字通信网。

基于上述原因,近十多年来,PCM通信发展很快。传输容量已由基群(一次群)2048kbit/s的30路发展到二次群8448kbit/s的120路、三次群34368kbit/s的480路和四次群139264kbit/s的1920路,目前近万路的PCM设备也已进入试验段试通。而高次群通信系统通常是由基群设备通过数字复接的方式所构成,因此PCM通信设备中,数量最多、用途最广、功能最全的是基群设备。

目前国内使用最多的国产数字基群设备是MD2-01.I型脉码调制终端机和MZX2-02型再生中继机。图1-5和图1-6分别给出这种设备的外形图。

1.2 用途及业务范围

30/32路脉码调制终端机在PCM多路通信中是组成数字群路系统的基群设备。例如用4个30/32路PCM终端机通过二次群数字复接设备,就可汇接成一个120路的二次群PCM终端设备。再配置8448kbit/s的120路再生中继机,就成为一个二次群PCM通信系统。二次群数字复接设备与基群数字终端设备的连接如图1-7所示。

当基群设备独立与市话电缆、长途电缆、数模综合电缆、数字微波系统、光纤或数字卫



图 1-5 国产MD2-01 I型30/32路脉码调制终端机

图 1-6 国产MZX2-02型30/32路脉码调制再生中继机

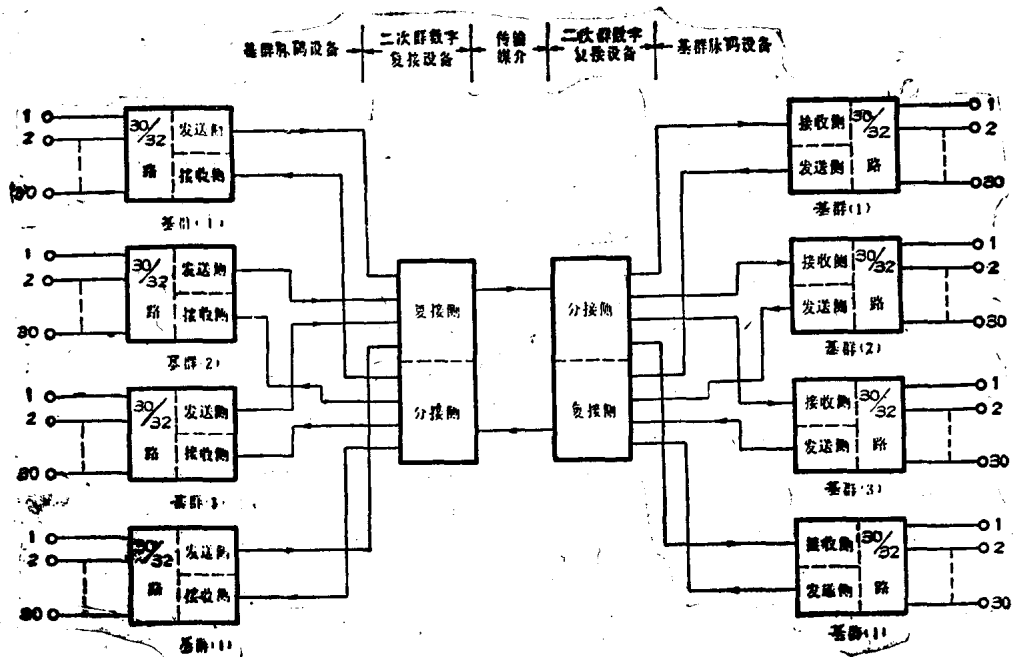


图 1-7 PCM二次群120路数字复接设备与基群30/32路设备的连接

星通信系统等传输信道连接时,可作为有线或无线电话的时分多路终端设备。目前基群设备广泛使用在市内电话或长途电话局的局间中继线上,以提高线路利用率和改善传输质量。

基群设备传输方式主要采用再生中继单缆四线制,也可采用双缆四线制。在两对0.5mm~0.9mm芯线的市话电缆线上可开通30个话路。如在中间间隔1~2km处设置再生中继机,则最大通信距离一般不小于60km。

本设备接入市内电话网或长途电话网时,必须配有适当的标志信号接口设备。交换机的程式不同,所配合的接口设备的种类也不同。因而装置在30/32路PCM终端机上的出、入中继器(接口设备)的种类及数量是根据用户所需配置的。一般30个话路按15个出中继器和15个入中继器来配备,为了区别各路所配置的出、入中继器及终端监测滤波器的不同,将终端机分为A端型和B端型两种。

本终端机可适应开通多种业务。除开放电话业务外,在语音通道内还可二次复用载波电报、用户传真、相片传真和书写电话。通过适当接口,还可开放数据传输等业务。

1.3 技术数据及工作条件

1.3.1 基本参数

- 一、通话路数: 30路
- 二、抽样频率: 每秒8000次
- 三、压扩特性: 采用A律($A=87.6$)13折线近似压扩,以逐次反馈式双比较器型编码,输出折叠二进制
- 四、量化级数: 256
- 五 每复帧的子帧数: 16
- 六 每帧时隙数: 32
- 七、每时隙比特数: 8
- 八、总比特率: $2048\text{ kbit/s} \pm 50\text{ ppm}^*$
- 九 时钟稳定度: 不劣于 $1 \times 10^{-6}/\text{年}$
- 十 过载电平: $+3.14\text{ dBm}_0$

1.3.2 话路特性

- 一、有效传输频带: 0.3~3.4kHz
- 二、阻抗
 1. 二线: 600Ω , 反射系数 $\rho \leq 15\%$
 2. 四线: 600Ω , 反射系数 $\rho \leq 10\%$
- 三、工作电平(用相对电平表示)
 1. 二线: 输入 0 dBm_0 , 输出 -2 dB

* ppm是Parts per million的缩写,是百万分之几的意思

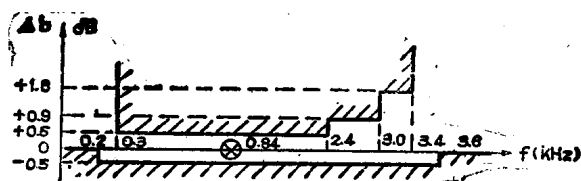


图 1-8 净衰减频率特性样板图

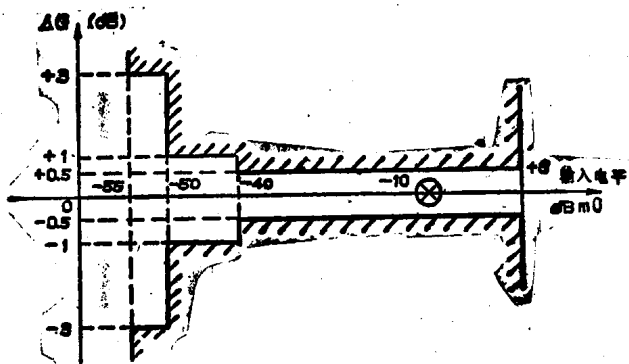


图 1-9 增益随输入电平的变化 (振幅特性) 样板图

2. 四线, 输入 -13dB , 输出 $+4.3\text{dB}$

四 净衰减频率特性, 符合图1-8样板限值的规定

五 增益随输入电平的变化 (振幅特性), 符合图1-9样板限值的规定

六 净衰减持恒度, 用正弦波测 波动 $\leq \pm 1\text{dB/年}$, $\leq \pm 0.5\text{dB/月}$ $\leq \pm 0.2\text{dB/任何10分钟}$

七、群时延失真: 时延绝对值 $\leq 600\mu\text{s}$, 群时延/频率失真特性符合图1-10样板限值的规定

八、空闲信道噪声, $\leq -65\text{dBm0p}$

九、单频噪声, $\leq -50\text{dBm0}$

十、信号总失真比 (S/N), 符合图1-11样板限制规定

十一、信道输出口的寄生带内信号 (包括谐波失真), $\leq -40\text{dBm0}$

十二、路际可懂串音, $\leq -65\text{dBm0}$

十三、收发防卫度, $\geq 60\text{dB}$

十四、带外输入信号的抑制: 在对端话路输出口所产生的任一镜像频率电平应比测试信号低 25dB

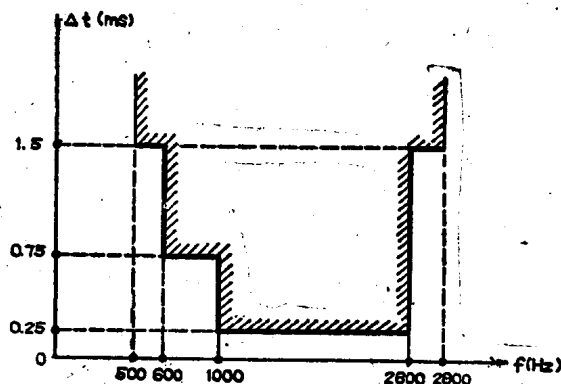


图 1-10 群时延/频率失真特性样板图

十五、信道输出口的寄生带外信号: 在对端话路输出口测得的寄生带外镜像信号电平应低于 -25dBm0

十六、互调, 在对端话路的输出口所产生的任何 $2f_1 - f_2$ 互调成分, 与这 f_1 和 f_2 两个输入信号中的一个信号相比, 应低 35dB

以上各项的具体内容请参照第四章内有关各节的说明。

1.3.3 标志信号接口

- 一、标志信号路数：30路。专由TS16时隙传递
- 二、拨号脉冲失真： $\leq 4\text{ ms}$
- 三、接口程式：E·M、步进制、纵横制、小自动、磁石、长—市交换设备等
- 四、错号率：由于标志信号系统引起的错号率允许 $\leq 0.5\%$
- 五、标志信号出、入中继器传输指标
 1. 工作衰减：800Hz时 $\leq 0.5\text{ dB}$
 2. 对地不平衡度：300~600Hz时 $\geq 40\text{ dB}$
600~3400Hz时 $\geq 46\text{ dB}$

1.3.4 数字接口

- 一、脉冲形状：不管符号如何，有效信号的所有脉冲应符合图1-12样板（V对应于标称峰值）

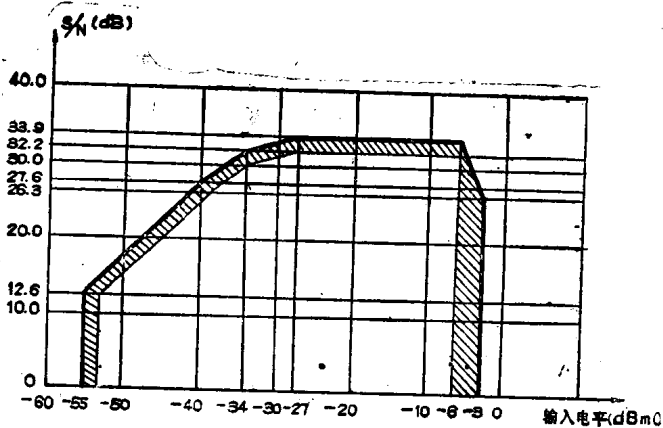


图 1-11 信号/总失真比 (S/N) 样板图

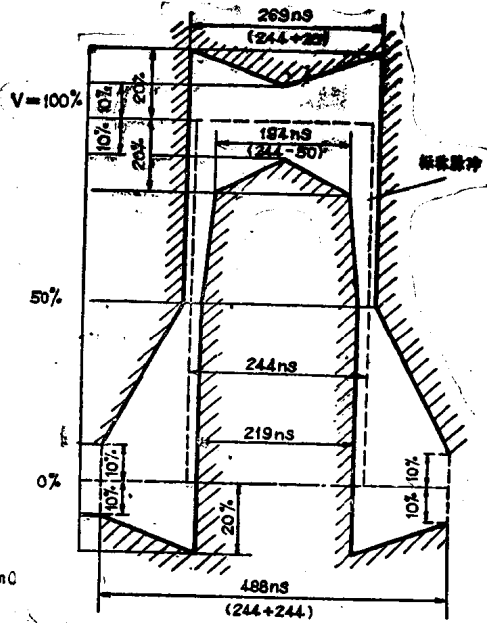


图 1-12 2048kbit/s 数字接口输出脉冲波形样板图

- 二、每个传输方向的线对数及测试负载阻抗：一个同轴线对， 75Ω 电阻性
一个对称线对， 110Ω 电阻性
- 三、有脉冲时，信号的标称峰值电压，
在同轴线对上， 2.48 V
在对称线对上， 3 V
- 四 无脉冲时，信号的标称峰值电压：
在同轴线对上， $0 \pm 0.248\text{ V}$
在对称线对上， $0 \pm 0.3\text{ V}$

五、标称脉宽：244ns

六、脉宽中点处，正负脉冲幅度比：0.95~1.05

七、标称半幅处，正负脉冲宽度比：0.95~1.05

八、最大允许输入抖动：符合图1-13样板值规定

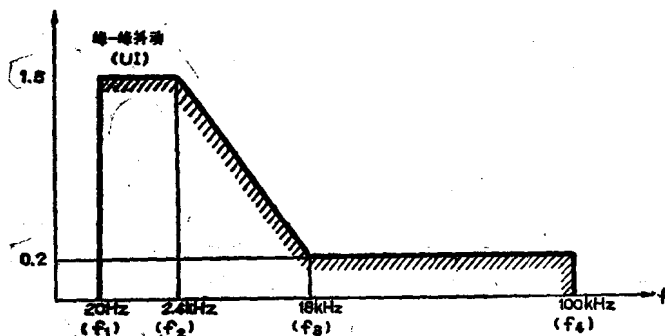


图 1-13 最大允许输入抖动下限样板图

1.3.5 再生中继机

一、全程误码率： $\leq 10^{-6}$

二、识别点信噪比：33.3dB

三、自动均衡范围：采用 $\sqrt{f}$ AGC方式，均衡范围12~40dB (1024kHz)

四、码间干扰： $\leq 24\%$

五、正弦波串话防卫度：AMI码 ≤ 14 dB

HDB₃码 ≤ 16 dB

六、承受连“0”数： ≥ 15

七、阻抗：输入端 110Ω $\rho \leq 10\%$ (100kHz~2 MHz)，输出端 $110\Omega \pm 16\Omega$

八、输出脉冲波形：符合图1-12样极限值

九、地址频率：从1005Hz到3012Hz，共24个

十、串音防卫度：同方向间 ≥ 60 dB

不同方向间 ≥ 79 dB

十一、全程直通最大距离 ≥ 60 km

1.3.6 工作条件

一、终端机

1. 环境温度： $+5^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$

2. 相对湿度： $\leq 80\%$ (30°C)

3. 电源电压：直流 -60V ($-56\text{V} \sim -66\text{V}$)
或直流 $-24\text{V} \pm 5\%$

二、再生中继机

1. 环境温度： $-5^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}$