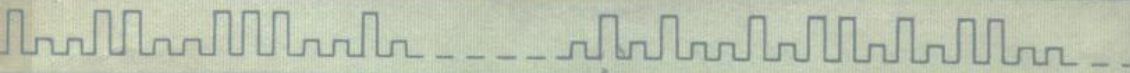


脉冲编码 通信概论

〔日〕熊谷传六 著



科学出版社



2011/04

内 容 简 介

本书以 1965 年日本研制的短距离 24 路脉冲编码通信系统为基础，并结合后来向大容量的发展，较详细地论述了构成这种通信系统的全过程。

书中首先介绍了脉码调制通信的基本原理和系统组成的基本情况，然后分别就端机中各部分的组成、设计和特性进行了讨论。在介绍市话电缆的各种传输特性之后，论述了再生中继传输系统的组成和设计等问题。最后扼要说明了通信系统的监视和测量问题。

本书适用于从事脉冲编码通信的研究、设计、维护等人员，也可做为数字通信专业教师和学生的参考书。

熊 谷 传 六 著

PCM 方 式 概 論

丸善株式会社，1967

脉冲编码通信概论

[日] 熊 谷 传 六 著
《脉冲编码通信概论》翻译组译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1973 年 10 月 第 一 版 开本，850×1168 1/32
1973 年 10 月 第 一 次 印 刷 印张，11 1/8
印数：0001—10,900 字数：291,000

统一书号：15031·68

本社书号：206·15-7

定价：1.35 元

译 者 的 话

近几年来,脉冲编码通信技术发展十分迅速。由于大容量信息高速传输的需要,伴随着晶体管器件、集成电路和毫微秒脉冲技术的发展,这种通信方式的传输手段已从电缆、微波扩展到准毫米波、波导、激光、卫星等,传输信息包括电话、电报、传真、可视电话、彩色电视、高速数据等。其发展趋势是:能组成与现有通信方式互相配合并能容纳各种信息的设备系列和适合高速脉冲流的长距离传输的再生中继系统,以及从传输到交换全部数字化的通信网。它是一种很有发展前途的通信方式。

本书归纳了日本短距离 24 路脉冲编码通信系统研制过程中的主要成果,对这种通信方式的基本原理及其组成进行了比较详细的论述。该设备于 1965 年研制成功,在市话网中利用现有音频电缆,获得了广泛的使用。

原书系于 1967 年出版,最近几年小容量脉冲编码设备也有不少改进。例如作为基本性能之一的压缩扩展方式,本书重点讨论的是利用二极管的对数压缩特性,而对于其它压缩特性和非线性编码等,仅做了一般论述。但从便于集成化、便于生产维护和可靠性高等方面来看,国际上已经开始向折线编码的方向发展。尽管如此,本书对了解脉冲编码通信基本原理和设备中各部分的考虑方法,仍有参考价值。特翻译出版供读者参考。

由于我们水平所限,时间又仓卒,译文中一定还存在不少缺点和错误,希望读者批评指正。

目 录

1. 概 述

1.1 构成	1
1.2 原理	1
1.2.1 抽样	1
1.2.2 量化	2
1.2.3 编码	3
1.2.4 时间分割多路化	4
1.2.5 压缩与扩展	5
1.2.6 同步	6
1.2.7 再生中继	7
1.3 特点	8

2. 方式构成

2.1 方式概要	9
2.2 基本参数	13
2.2.1 抽样频率	13
2.2.2 位数和压缩扩展参数	19
2.2.3 时钟频率	24
2.2.4 误码率	30
2.2.5 跳动	37
2.3 各部分的形式	41
2.3.1 量化形式	41
2.3.2 编码形式	45
2.3.3 译码形式	54
2.3.4 话路系统公共部分的群组成	58
2.3.5 信号形式	62
2.3.6 同步的形式	70

2.3.7 中继器的形式	83
--------------------	----

3. 终端机话路系统

3.1 终端机话路系统的构成	108
3.1.1 话路变换电路	108
3.1.2 压缩扩展器	110
3.1.3 编码器	119
3.1.4 译码器	130
3.2 终端机话路系统的设计	132
3.2.1 话路系统的功能	132
3.2.2 电路必须具备的条件	137
3.2.3 净衰耗	138
3.2.4 话路的过负荷特性	144
3.2.5 噪声(传输电话时)	149
3.2.6 噪声(传输其他信息时)	167
3.2.7 串话	179
3.3 终端机话路系统的传输特性	183
3.3.1 净衰耗特性	183
3.3.2 噪声特性	186
3.3.3 串话特性	196
3.3.4 群时延失真特性	197

4. 同步系统

4.1 同步系统的构成	199
4.1.1 定时电路	199
4.1.2 帧同步电路	211
4.1.3 信号电路	224
4.2 同步系统的传输特性	235
4.2.1 毕特同步的传输特性	235
4.2.2 帧同步的传输特性	240
4.2.3 信号系统的传输特性	241

5. 传输线路的各种特性

5.1 传输线路的温度条件	245
5.1.1 中继器	245
5.1.2 线路	247
5.2 传输线路的高频特性	248
5.2.1 电缆二次参数的频率特性	248
5.2.2 电缆的脉冲传输特性	253
5.3 串话	257
5.3.1 电缆串话的频率特性	258
5.3.2 电缆串话的分布特性	260
5.3.3 电缆串话的实际测量结果	261
5.4 噪声	267

6. 中继传输系统

6.1 中继传输系统的构成	270
6.2 中继传输系统的噪声特性和设计基础	274
6.2.1 传输等效频率	274
6.2.2 串话等效频率	276
6.2.3 多路串话的瞬时电平分布	281
6.2.4 噪声的瞬时电平分布	285
6.2.5 噪声的传输等效频率	288
6.3 中继器设计和波形失真	289
6.3.1 中继器的设计标准	289
6.3.2 波形均衡和码间干扰	291
6.3.3 频率衰耗偏差和波形偏差的关系	297
6.3.4 导线种类和人工假线所产生的波形失真	300
6.3.5 中继器电路的设计	301
6.4 中继传输线路的设计	304
6.4.1 有多路串话时传输线路的设计	304
6.4.2 有脉冲噪声时传输线路的设计	308
6.4.3 各种构成之中继传输线路的设计	311

6.5	同轴电缆中继传输线路的设计	312
6.5.1	传输线路的特性	312
6.5.2	传输等效频率	313
6.5.3	S/N 与中继间隔	316
6.5.4	S/N 与误码率	318
6.5.5	其他问题	319

7. 监视和测量

7.1	终端系统的监视	322
7.1.1	监视系统的构成	322
7.1.2	采用标志脉冲的监视电路	324
7.1.3	对端告警发收电路	325
7.1.4	压缩扩展器用恒温槽的故障	327
7.2	中继系统的监视	328
7.2.1	监视方式	328
7.2.2	监视线的传输特性	331
7.3	测量	333
7.3.1	量化失真	333
7.3.2	误码	334
7.3.3	误码富余度	337
7.3.4	跳动	338
附录	中继器的设计规格	345

1. 概 述

1.1 构 成

PCM 方式的基本构成如图 1.1 所示,是由抽样、编码、再生中继、译码和滤波各部分组成的。在实际的方式中,使用图中虚线所示的压缩扩展电路来改善低电平信号的信号量化噪声比。抽样电路后面的量化电路是为了说明其动作的,实际上,在编码过程中,自然地完成量化的动作。

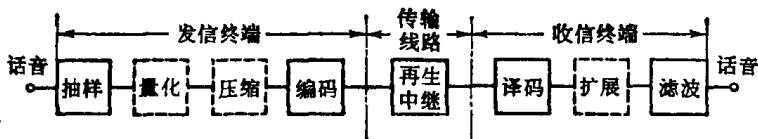


图 1.1 PCM 方式系统图

1.2 原 理

1.2.1 抽样

脉冲调制的基本原理,在于把通话等连续的信息断续开来,变成不连续的脉冲列,经传输后再复原成本来的信息。但对于传递完整信息的最低断续重复频率是有限制的,这是由所谓“当信息所包含的最高频率为 f_m 时,若用至少为 $2f_m$ 以上之速度的脉冲将信息抽出时,其脉冲列将全部包含原来信息的内容”的定理(抽样定理)所决定的。另外,把断续的重复速度提高到必要值以上,仅仅增加带宽,意义是不大的。例如对于普通电话,其频带是300~3400赫,如果每隔1/6800秒(实际应用中留有富余,而取1/8000秒)来传送幅度值,就完全能够传送信息。这样,从连续

变化的信号中用某一时间间隔周期地取出信息之成分的过程称为抽样，而被取出的值称为抽样值。在将抽样的波形恢复到原来的连续波形时，只要通过低通滤波器即可。

抽样的方法如图 1.2 所示，每隔 $1/8000$ 秒即 125 微秒，使开关在一瞬间闭合，那么在右侧就可得到具有与左侧的连续波形相同幅度的脉冲抽样。此过程也叫做 PAM（脉冲幅度调制）。

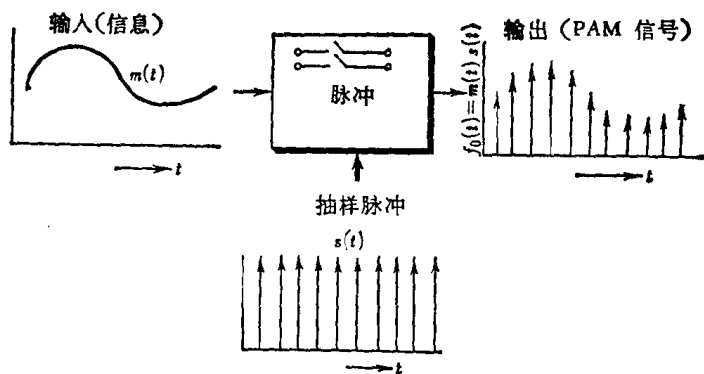


图 1.2 抽样方法

其中重要的是抽样的最大周期因信息种类而受限制，在音频通话的条件下，必须在 125 微秒以内进行抽样，这个间隔叫做帧。在后面所谈到的时间分割多路化方式中，在这个帧的空闲时间内，插入许多其他信息。

1.2.2 量化

PAM 信号本身可用于通信，但在 PCM 中还要对 PAM 信号进行变换。PCM 是用数字表示连续变化的波形幅度，并用二进制代码传输相当于该数字之脉冲的方式。

本来，所谓数是由自然数 1, 2, 3 等来代表的，因为是分级的不连续变化数值，所以要把连续变化的话音幅度用有限的数字表示，就必须按图 1.3 那样，把这种连续的变化用阶梯状的近似波形置换。这个过程叫做量化。量化的波形和原来的波形是近似的，

所以包含着误差，把由此而产生的噪声叫做量化噪声。为降低量化噪声，就要把阶梯的每一级的高度降低。也就是说，如果把阶梯分得很细，就能缩小到不影响实际应用的程度。例如在传输电话时，当与后述的压缩扩展器并用时，可取 $128(2^7)$ 级，而传输电视可用 $32(2^5)$ 级，传输大致明了程度的电话用 $8(2^3)$ 级即可。

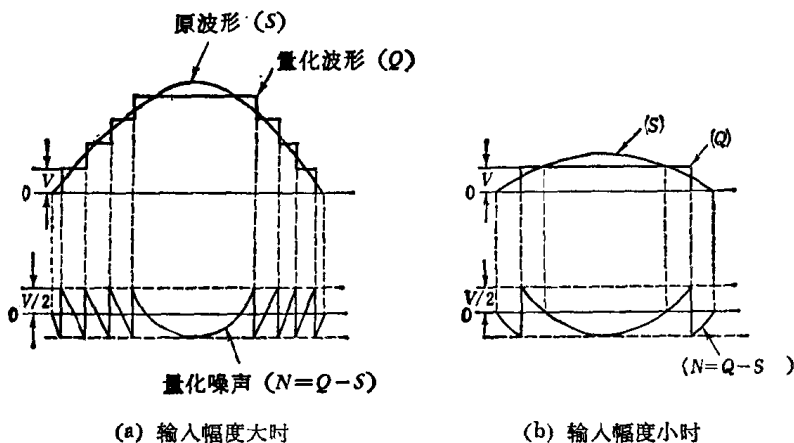


图 1.3 量化与量化噪声

1.2.3 编码

取出通过抽样和量化而具有适当值的脉冲作为抽样值后，就能进行将此抽样值变换成二进制代码的编码。在表示数字时，例如按照 10 伏用 10 个脉冲来表示，也可以考虑使脉冲个数同电压成比例地增减的方法（称作脉冲数目调制 PNM）。这种方法需要很多脉冲，因为所取的频带过宽，是不实际的，所以便采用了以脉冲的有（用“1”表示）、无（用“0”表示）两种信号的组合表示的二进制方法。例如“1101”的 2 进数，可用下式表示：

$$(1 \times 2^0) + (0 \times 2^1) + (1 \times 2^2) + (1 \times 2^3) = 13$$

这样，7 位二进数的最大值是“1111111”，它用 10 进数表示的值是 127。如果把“0”包括在内，七位二进数可表示 128 种数值（电压）。

如图 1.4 所示，把 7 个脉冲按时间进行排列，脉冲的有无用“1”和“0”表示，则第一个脉冲为 2^6 ，第二个脉冲为 2^5 ，最后一个脉

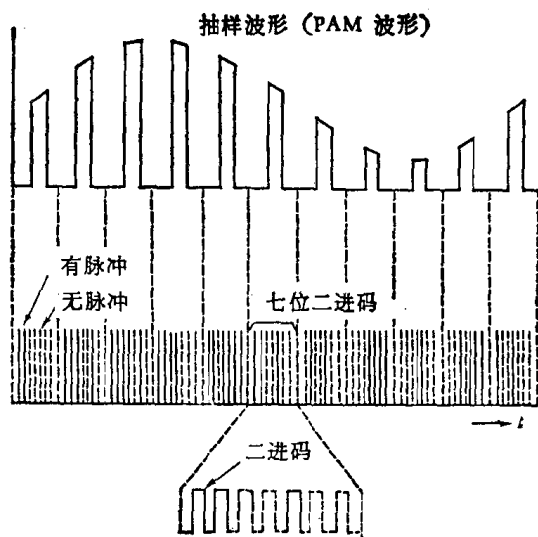


图 1.4 采用二进码的 PAM-PCM 变换示意图

冲为 $2^0 (=1)$ ，按这种情况进行抽样值编码的过程，叫做 7 位二进制编码。因为根据这个原理是用 7 个脉冲的有无表示 128 级的抽样值，所以与 PNM 相比，非常简单。

1.2.4 时间分割多路化

如 1.2.1 所述，PAM 是按一定的周期进行抽样的，所以在该周期间的空闲时间里插入其他通信即可实现时间分割多路化。图

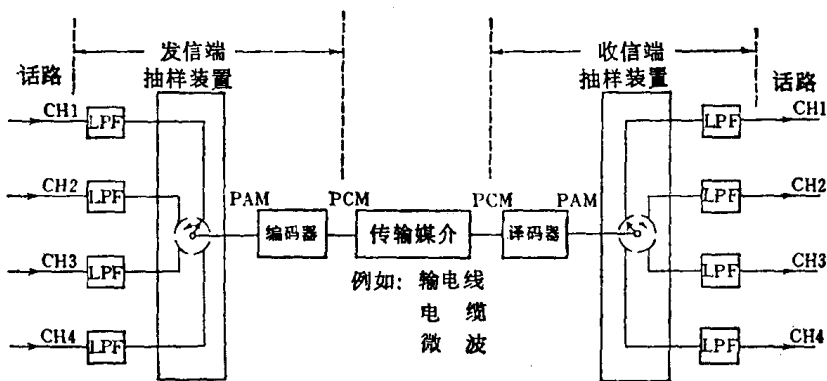


图 1.5 4 个话路的多路 PCM 方式之组成

1.5 是 4 个话路的多路 PGM 方式之模型, 抽样电路用 8000 周/秒的旋转开关表示。图 1.6 示出 4 个话路的各抽样值依次编码的情况, 按照这种情况, 在 PAM 级进行多路化以后, 再加到编码器上, 所以 4 个话路只用一个编码器, 因而是经济的。

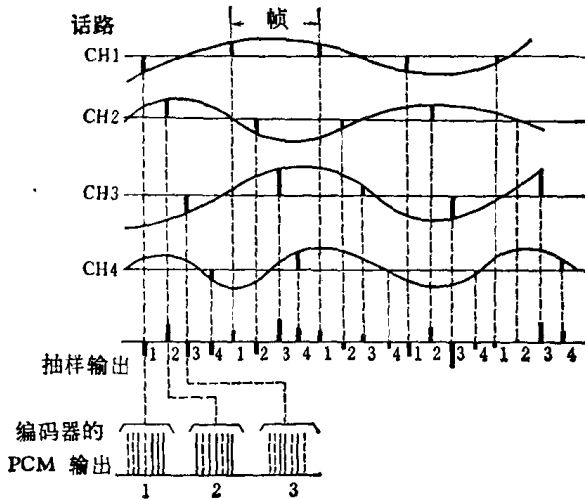


图 1.6 4 个话路的多路 PGM 方式编码 (PAM-PCM)

1.2.5 压缩与扩展

如上所述, 量化噪声是按阶梯状划分波形而产生的。它是与信号电平的大小无关的恒定的噪声。所以, 信号电平越低, 信号量化噪声比越坏。例如阶梯波的每级为 0.1 伏时, 最大误差是 0.05 伏, 信号波幅度若是 5 伏, 其误差是 1%, 但若是 0.5 伏左右时误差就达 10%。所以在低信号电平时, 就需要把阶梯的级距缩小。因此按图 1.7 所示进行压缩操作, 把小的幅度放大, 使其精确表示出, 大的幅度粗略表示出, 从而使信号对量化噪声均匀化。在收信端则需要与它相反的扩展操作, 使压缩的波形复原。通过这种压缩扩展技术, 只用 7 位编码就能把低电平的量化噪声控制在与 11 位编码相同的水平。

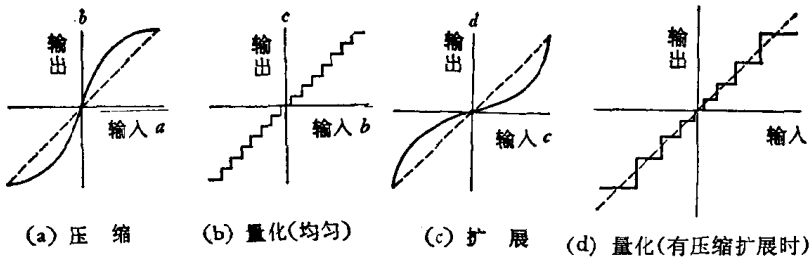


图 1.7 有压缩扩展时的量化特性

1.2.6 同步

在时间分割多路化方式中,如图 1.5 所示,发信端和收信端之间,电路的转换是需要同步地进行的。在实际的设备中,转换并非旋转开关,而是用半导体门电路实现的,所以,控制转换的门脉冲(话路脉冲),需要在发信和收信端同步产生。这种同步,不仅是单纯的编码脉冲的定时,而在多路复用方式中,两端同时连接的话路必须一致,因此,发信端送出的脉冲列中,在各帧(即从 $CH1^*$ 的脉冲发出开始,各个话路都出现一次,直到要出现下一个 $CH1$ 为止来划分的)的开始,作为记号加入同步信号脉冲;在收信端利用这个同步脉冲进行同步。这种同步称作帧同步,以同代码波形的同步(定时或者毕特同步)相区别。同步的方法有好多种,毕特同步是采用了在各中继器内设置 LC 调谐电路,用收信脉冲列进行激励,而产生振荡波形,再从振荡波形中获得定时脉冲的方法。帧同步是用下述方法进行的,当送来同步脉冲和收信端的同步识别脉冲的位置不一致时,就使收信端的脉冲进行一毕特的移位,直到与发信端的时间一致时为止。

每秒钟在传输线路上送出的脉冲数,是由话音、信号及帧同步脉冲三者决定的。在现在使用的 24 路 PGM 方式中,是

$$8000 \times \{24(\text{话路}) \times [7(\text{话音用}) + 1(\text{信号用})] + 1(\text{同步用})\} \\ = 1544000 \text{ 毕特/秒}$$

* $CH1$: 第一个话路。

1.2.7 再生中继

PCM 这种数字传输方式的最大优点是能够进行再生中继,因此,具有能够消除传输线路中产生的失真、噪声和串话等干扰的特点。

图 1.8 是自定时输入驱动方式的再生中继器说明图。从电缆输入的 PCM 信号用均衡器降低因电缆频率特性所产生的失真,用放大器放大到波形再生所需要的电平,然后分别输出到定时部分和再生部分。在定时部分中,经均衡放大的波形 (b) 通过非线性电路加到 LC 调谐电路中,而获得调谐波形 (c)。然后,再通过定时发生电路,从波形 (c) 中获得定时脉冲 (d)。在识别电路中,加入经均衡放大的波形 (b) 和定时脉冲 (d),仅在两者一致的瞬间通过与门电路驱动再生电路,而产生象 (e) 那样经过定时的准确的矩形波。

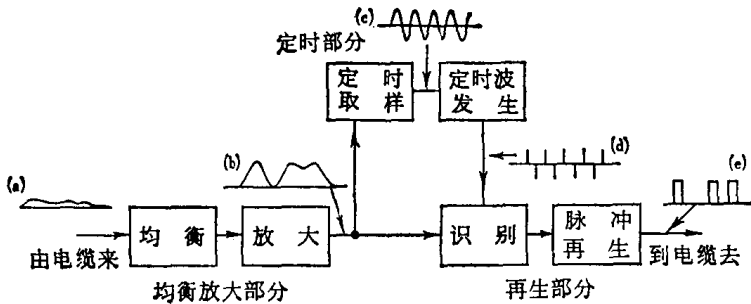


图 1.8 再生中继器说明图

信号有无的识别,是根据是否超过识别电平(门限值)来进行的,这个识别电平规定为信号波峰值的 $\frac{1}{2}$ 。因此,比识别电平小的噪声和干扰电压,在输出端是完全不会出现的。换句话说,在理想情况下,PCM 方式的信号噪声比,如果有 2:1 (6 dB) 就可以了(实际上,考虑到噪声的分布和种种富余度约需 10:1 到 30:1),这与 FDM 所需要的 1000:1 以上相比,可以说是非常低的值。

1.3 特 点

根据以上所述的原理和基本功能,PCM 通信方式有如下的特点:

a. 对传输线路中的串话、噪声等的抗干扰性强 与以往的频分制比较,需要宽频带传输线路,但因为是用脉冲来传输的数字方式,所以能使用低质量的传输线路。

b. 多中继时噪声迭加少 转换成数字信号的话音等信号相互间的串话,全部变为误码所引起的“喀咧”性噪声。从通信的保密性来看,这是很理想的。而且由于进行再生中继,所以同以往的频分多路化方式相比、不但噪声迭加少,即使进行远距离传输,也很少降低传输质量。

c. 传输特性稳定 话路的各种特性由终端机决定,几乎与中继传输线路无关,故能作成稳定的话路,这样就能构成低净衰耗的话路。

d. 电路转换、路由变更等容易实现 PGM 通信方式的信号波形是脉冲的有无,也就是 2 值状态按时间配置的极其简单的波形,对于输入电平在某种范围内的变化,再生中继的输出脉冲幅度通常是恒定的,所以电路转换、路由变更等在维护上是非常方便的。

e. 富于经济性 PGM 终端设备无须使用制造和调整较为复杂的高级滤波器,而且设备的大部分是各个话路公用的,所以很经济。

f. 产生若干 PGM 方式所固有的量化噪声 由于压缩扩展机能并用和量化级的缩小,因而量化噪声能够控制到任意低的程度,但这样就使机器复杂,需要高级的元件。

2. 方式构成

在讲述 PCM 方式及其各部份的基本形式之前，先说明其构成之概要。

2.1 方式概要

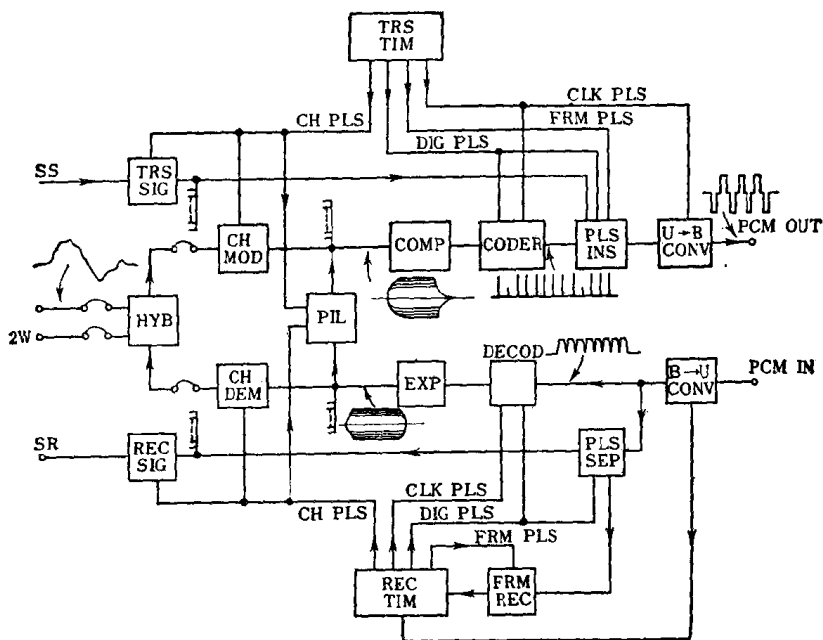
图 2.1 为短距离 24 路 PCM 方式终端机设备构成之一例。话音信号通过混合线圈及带通滤波器与调制门连接。话音信号在此抽样电路中被重复频率 8 千赫的话路脉冲抽样。其输出称为脉冲幅度调制 (PAM) 波。以上这部分设在每路上，称为话路部分，在它后面的电路是各路公用的，称为公共部分。

压缩器把 PAM 输出的小幅度之脉冲扩大，把大幅度的脉冲缩小，其输出由后面的编码器进行量化，然后进行编码。编码器的形式采用逐次反馈型，量化和编码是同时进行的。即 PAM 输入依次与 2^{n-1} ， 2^{n-2} ，…… 2^{n-n} 的几个基准值比较，由比较的结果决定各基准值的取舍，直到全部比较完毕为止，取出每次比较后所得的脉冲作为 PCM 信号。因此，把使用的脉冲称为位脉冲。

编码器输出加到脉冲汇合部分。这里接有信号脉冲、帧同步脉冲及全零检出电路的输出。在编码器输出端，当每一话路的脉冲全部为零时，全零检出电路就送出表示最小量化单位的位脉冲，其目的主要是为了使再生中继器的定时动作稳定。

该输出经过单极性→双极性变换器送至线路。即在此之前的脉冲是以单极性（脉冲的有或无）传输，而在此以后变换成中继传输所要求的双极性（用脉冲的“+”或“-”作为传输波形）。

在收信端进行同发信端相反的动作。来自线路的输入通过双极性→单极性变换器变换成为单极性，供给译码器。这里所使



- | | |
|----------------------|----------------------|
| SS: 信号发送 | B→U CONV: 双极性→单极性变换器 |
| SR: 信号接收 | TRS TIM: 发信侧定时设备 |
| CH MOD: 话路调制器 | REC TIM: 收信侧定时设备 |
| CH DEM: 话路解调器 | FRM REC: 帧同步电路 |
| PIL: 导频监视电路 | TRS SIG: 信号发送门 |
| COMP: 压缩器 | REC SIG: 信号接收门 |
| EXP: 扩展器 | CLK PLS: 时钟脉冲 |
| CODER: 编码器 | DIG PLS: 位脉冲 |
| DECOD: 译码器 | CH PLS: 话路脉冲 |
| PLS INS: 脉冲插入电路 | FRM PLS: 帧脉冲 |
| PLS SEP: 脉冲分离电路 | |
| U→B CONV: 单极性→双极性变换器 | |

图 2.1 终端机设备之构成

用的译码器是加权电阻型的。这种加权电阻型译码器根据 PCM 输入脉冲的有、无决定与编码器相对应的基准值的取舍,然后取出其总和,得到 PAM 信号。将此信号加到具有和压缩器特性完全相反的扩展器上,得到与压缩器输入完全相同的输出。在这里,被收信端话路部分分离,经过解调门,只取出相应话路的 PAM 信号,