

通信原理 实验 5 脉冲编码调制

一、实验目的

- 1、掌握 PCM 编码过程及方法；
- 2、了解 A 律 13 折线的特点。

二、实验仪器

- 1、余弦信号发生器
- 2、信号采样器
- 3、PCM 量化器
- 4、PCM 编码器
- 5、PCM 译码器
- 6、信号波形图
- 7、信号针状图

三、实验的理论基础

脉冲编码调制（PCM）是数字通信的编码方式之一，在通信系统中完成将语音信号数字化的功能。PCM 的实现主要包括三个步骤：抽样、量化、编码，分别完成时间上离散、幅度上离散及量化信号的二进制表示。

1. 抽样：

抽样也称取样、采样，是将时间连续的模拟信号转换为离散信号的过程。为保证抽样后的信号可以无失真的恢复原模拟信号，需满足抽样定理，即采样频率 f_s 必须大于等于模拟信号最高频率 f_H 的 2 倍。

2. 量化：

量化，就是把经过抽样得到的瞬时值进行幅度离散，即用一组规定的电平，把瞬时抽样值用最接近的电平值来表示，通常是用二进制表示。模拟信号的量化分为均匀量化和非均匀量化。

均匀量化是将输入信号的取值域按等距离分割，其量化间隔取决于输入信号的变换范围和量化电平数。均匀量化的缺点是，无论抽样值的大小如何，量化噪声的均方根都固定不变，因此，当信号较小时，则信号量噪比也就很小，这样，对于弱信号时的信号量噪比就很难达到给定的要求。为了克服这个缺点，改善小信号时的信号量噪比，在实际应用中常采用非均匀量化。

非均匀量化是根据信号的不同区间来确定量化间隔，对于信号取值小的区间，其量化间隔也小；反之，量化间隔就大。常见的非均匀量化有 A 压缩律和 μ 压缩律两种，在 PCM 编码

方式中采用的是 A 压缩律，下面对其进行简单介绍。

A 压缩律是指符合公式 (5-1) 的对数压缩规律：

$$y = \begin{cases} \frac{Ax}{1 + \ln A} & 0 \leq x \leq \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln Ax}{1 + \ln A} & \frac{1}{A} \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (5-1)$$

式中， x 为压缩器归一化输入电压； y 为压缩器归一化输出电压； A 为常数，它决定压缩程度。

A 律压扩特性是连续曲线，在电路上实现这样的函数规律是相当复杂的。实际中，往往都采用近似于 A 律函数规律的 13 折线（ $A=87.6$ ）的压扩特性，其特性曲线如图 5.1 所示。

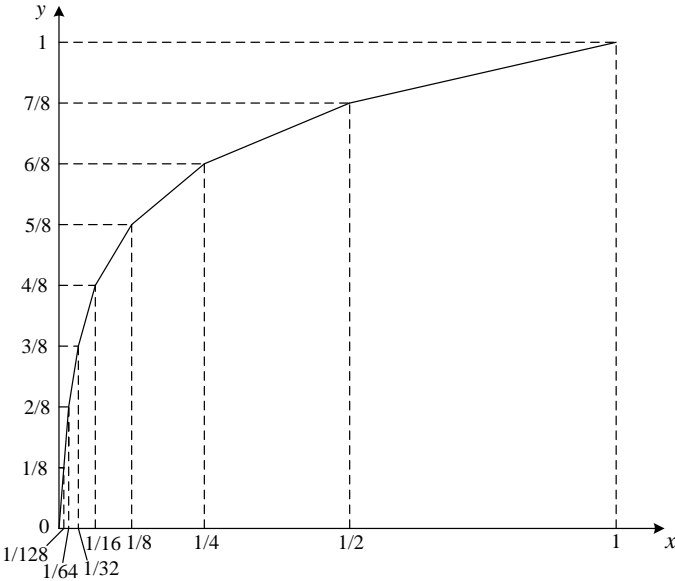


图 5.1 A 律 13 折线特性

图中横坐标 x 在 0 至 1 区间中分为不均匀的 8 段。 $\frac{1}{2} \sim 1$ 间的线段称为第八段； $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ 间的线段称为第七段；以此类推，直到 $0 \sim \frac{1}{128}$ 间的线段称为第一段。图中纵坐标 y 则均匀地划分为 8 段。将这 8 段相应的坐标点 (x, y) 相连，就得到了一条折线。由图可见，除第一和二段外，其他各段折线的斜率都不相同。表 5.1 列出了各段折线的斜率。

表 5.1 各段折线的斜率

折线段号	1	2	3	4	5	6	7	8
斜率	16	16	8	4	2	1	1/2	1/4

3. 编码：

量化后的信号已经是取值离散的数字信号，下一步就是对数字信号进行编码。常用的二进制码型有自然二进制码和折叠二进制码两种，在 13 折线法中采用的是 8 位折叠码进行编码。其中第一位 c_1 表示量化值的极性正负，后面的 7 位分为段落码和段内码两部分，用于表示量化值的绝对值。其中第 2 至 4 位 ($c_2c_3c_4$) 是段落码，共计 3 位，可表示 8 种斜率的段

落；其他 4 位 ($c_5c_6c_7c_8$) 为段内码，可表示每一段落内的 16 种量化电平。段内码代表的 16 个量化电平是均匀划分的，所以，这 7 位码总共能表示 $2^7 = 128$ 种量化值。表 5.2 和表 5.3 分别给出了段落码和段内码的编码规则。

表 5.2 段落码

段落序号	段落码 ($c_2c_3c_4$)	段落范围 (量化单位)
8	111	1024~2048
7	110	512~1024
6	101	256~512
5	100	128~256
4	011	64~128
3	010	32~64
2	001	16~32
1	000	0~16

表 5.3 段内码

量化间隔	段内码 ($c_5c_6c_7c_8$)	量化间隔	段内码 ($c_5c_6c_7c_8$)
15	1111	7	0111
14	1110	6	0110
13	1101	5	0101
12	1100	4	0100
11	1011	3	0011
10	1010	2	0010
9	1001	1	0001
8	1000	0	0000

四、实验内容及步骤

1、按照实验模型图 26.2 中所示从器材库中选取器材进行连接：本实验通过搭建 PCM 编译码实验来观察编码调制的各个过程输出的信号图和译码输出信号图，加深对 PCM 编译码原理的理解。

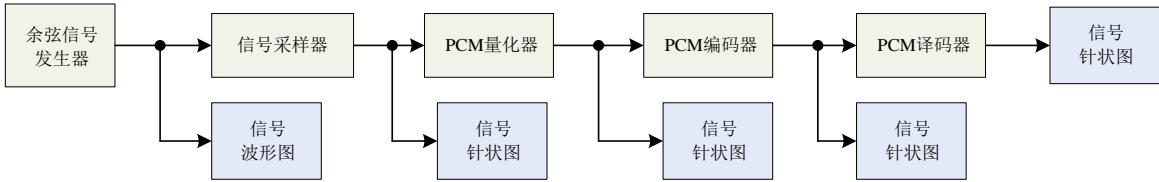


图 5.2 PCM 编译码实验框图

2、设置器材参数：（关于器材使用方法可以参考器材的参数说明）
（PCM 编译码实验）

余弦信号发生器：余弦信号的最大幅度值设置为 1，信号的频率设置为 2，信号的终止时间设置为 1s，信号的初始相位设置为 0，采样频率设置为 1000Hz；

信号采样器：采样频率设置为 20Hz，采样结束时间设置为 1s；

PCM 量化器：无；；

PCM 编码器：无；

PCM 译码器：信源的最大幅值设置为 1；

信号波形图：波形的颜色设置为蓝色；

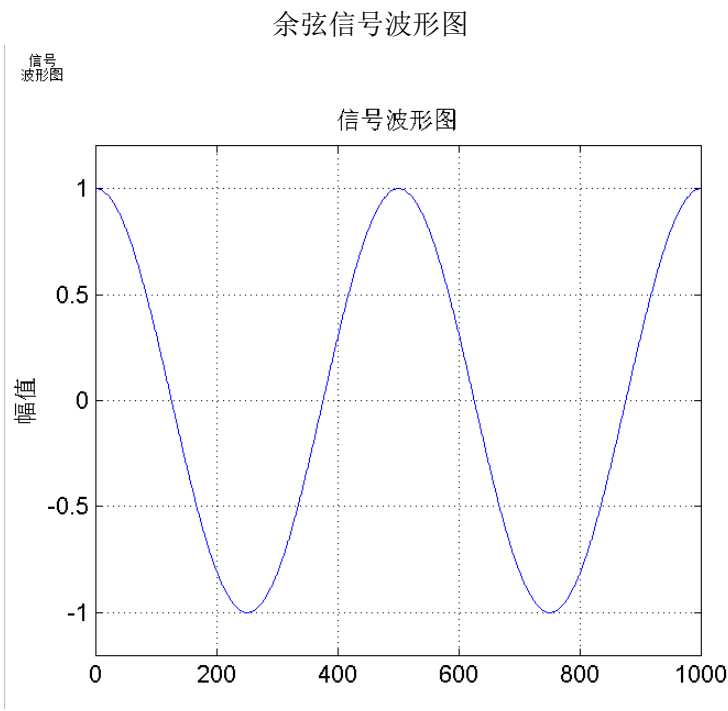
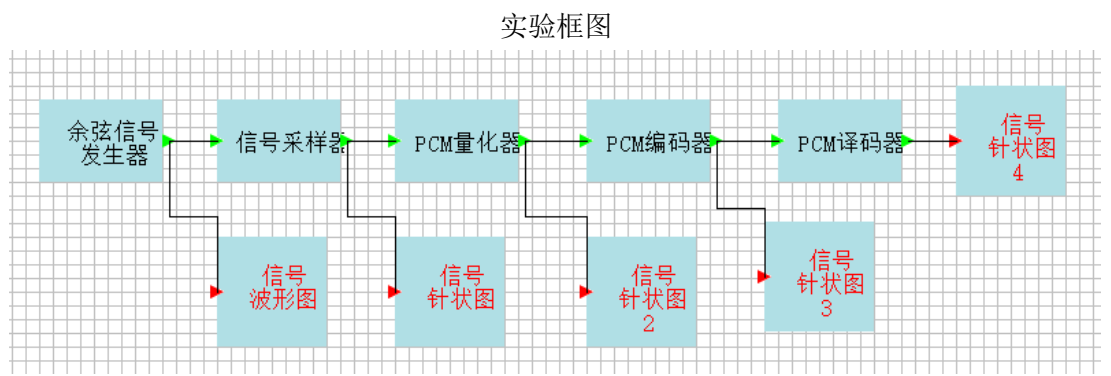
信号针状图：针状图的颜色均设置为绿色。

3、以上述仿真参数运行实验模型：

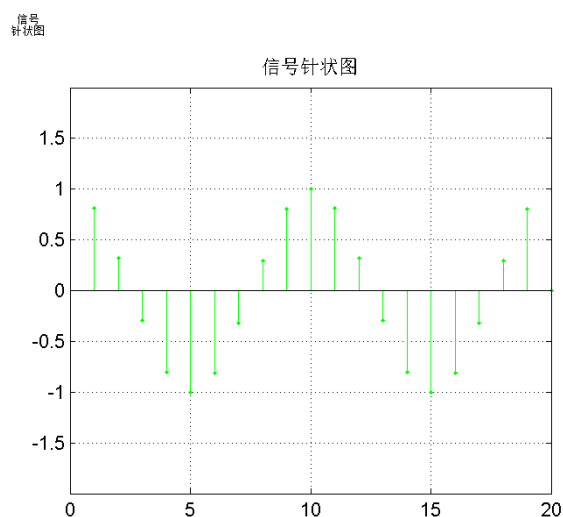
（1）观察信源波形、采样后的信号图、PCM 量化后的信号图、PCM 编码后的信号图以及 PCM 译码后的信号图，对比采样后的信号针状图与译码输出信号针状图。

五、实验结果及分析

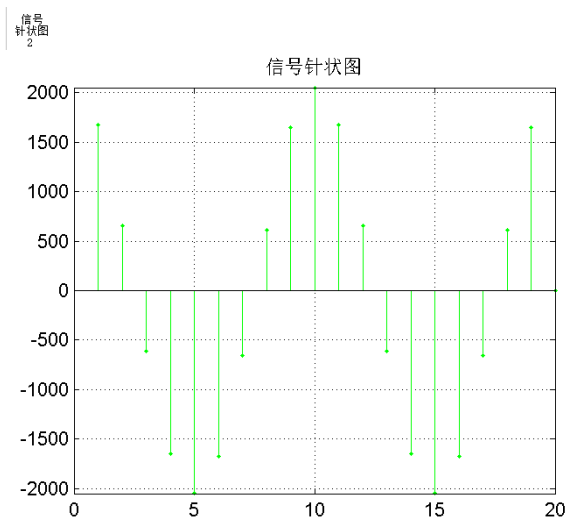
1、完成实验的仿真，并填写观察结果（包括采样后的信号针状图与译码输出信号针状图的对比结果，调整采样参数再观察 PCM 编译码功能是否实现）



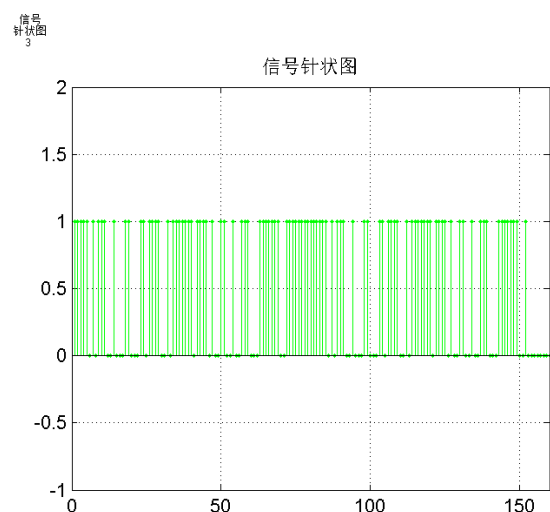
采样后的信号针状图



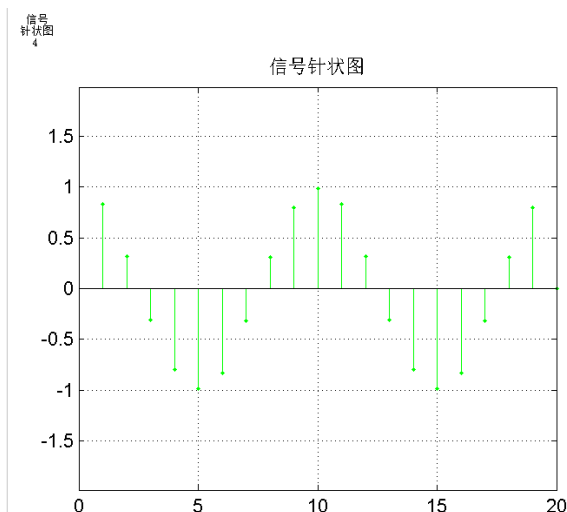
PCM 量化后的信号针状图



PCM 编码后的信号针状图



PCM 译码后的信号针状图

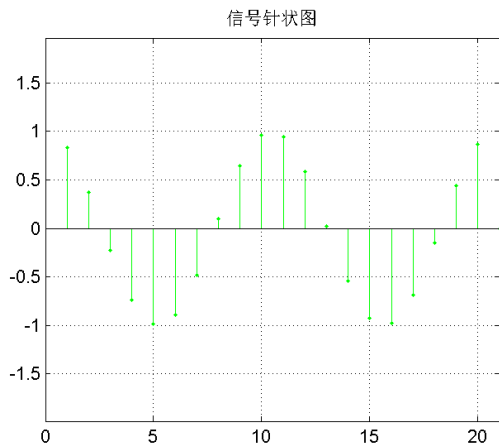


信号频率为 2Hz，采样频率为 20Hz，在采样后的信号针状图中每个周期有 10 个采样点。PCM 量化后的信号针状图，可以看出每个被采样针量化单位的大小。对信号进行 PCM 编码后，信号变成了折叠二进制码传播，其针状图变为一系列等幅度的针。译码输出信号针状图与采样后信号针状图比较，图形大致一样，说明可以采用上述参数实现 PCM 编码译码。

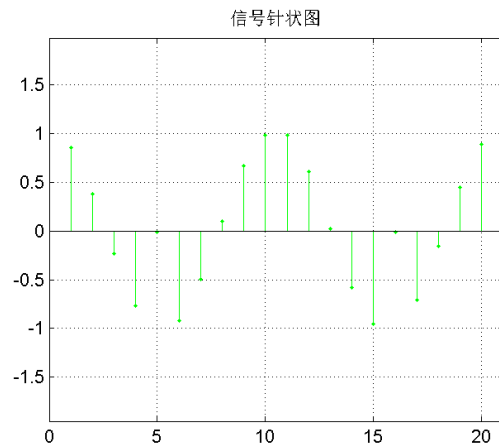
当信号采样器的采样频率变为 21Hz 时，采样频率不是信号频率的整数倍，可得如下针状图

可见，PCM 译码后的信号针状图，有部分点的幅值与采样后的点不同，不能很好的实现 PCM 的译码功能

信号
针状图



信号
针状图



2、写出 PCM 的编码调制过程

PCM 主要包括抽样、量化和编码三个步骤：

抽样将时间上连续的模拟信号变为离散的抽样信号，且需满足抽样定理，

即采样频率 f_s 必须大于等于模拟信号最高频率 f_H 的 2 倍。

量化是把抽样信号变为幅度离散的数字信号，即用一组规定的电平，把瞬时抽样值用最接近的电平值来表示，通常是用二进制表示。

编码则是将量化后的数字信号（多进制）表示为二进制码组输出，常用的二进制码型有自然二进制码和折叠二进制码两种。

六、实验总结

通过本次实验，让我们对 PCM 编码的三过程——抽样、量化和编码，以及 PCM 编译码的要求有了进一步的认知。在做这个实验的同时，课程上也正好学习到此部分的内容，让我巩固了课程内容知识，加深了对 13 折线的理解。