### 实验一PCM编译码实验

**一、实验目的**

1. 理解PCM编译码原理及PCM编译码性能；
2. 熟悉PCM编译码专用集成芯片的功能和使用方法及各种时钟间的关系；
3. 熟悉语音数字化技术的主要指标及测量方法。

**二、实验仪器**

1. RZ9681实验平台
2. 实验模块：

* 主控模块
* 信源编码与时分复用模块-A3

1. 100M双通道示波器
2. 信号连接线
3. PC机（二次开发）

**三、实验原理**

**1. 抽样信号的量化原理**

模拟信号抽样后变成在时间离散的信号后，必须经过量化才成为数字信号。

模拟信号的量化分为均匀量化和非均匀量化两种。

把输入模拟信号的取值域按等距离分割的量化就称为均匀量化，每个量化区间的量化电平均取在各区间的中点，如下图所示。



图3.1.2.1 均匀量化过程示意图

均匀量化的主要缺点是无论抽样值大小如何，量化噪声的均方根值都固定不变。因此，当信号较小时，则信号量化噪声功率比也很小。这样，对于弱信号时的量化信噪比就难以达到给定的要求。通常把满足信噪比要求的输入信号取值范围定义为动态范围，那么，均匀量化时的信号动态范围将受到较大的限制。为了克服这个缺点，实际中往往采用非均匀量化的方法。

非均匀量化是根据信号的不同区间来确定量化间隔的。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。非均匀量化与均匀量化相比，有两个突出的优点：首先，当输入量化器的信号具有非均匀分布的概率密度（实际中往往是这样）时，非均匀量化器的输出端可以得到较高的平均信号量化噪声功率比；其次，非均匀量化时，量化噪声功率的均方根值基本上与信号抽样值成比例，因此量化噪声对大、小信号的影响大致相同，即改善了小信号时的信噪比。

非均匀量化的实际过程通常是将抽样值压缩后再进行均匀量化。现在广泛采用两种对数压缩，美国采用压缩律，我国和欧洲各国均采用A压缩律。本实验中PCM编码方式也是采用A压缩律。A律压扩特性是连续曲线，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。这样，它基本保持连续压扩特性曲线的优点，又便于用数字电路来实现，如下图所示。



图3.1.2.2 13折线特性

表2-1列出了13折线时的值与计算得的值的比较。

**表 2-1 A律和13折线比较**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | 1 |
|  | 0 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | 1 |
| 按折线分段的 | 0 |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | 1 |
| 段落 | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | |
| 斜率 | 16 | | 16 | | 8 | | 4 | | 2 | | 1 | |  | |  | |

表中第二行的值是根据计算得到的，第三行的值是13折线分段时的值。可见，13折线各段落的分界点与曲线十分逼近，同时按2的幂次分割有利于数字化。

**2. 脉冲编码调制的基本原理**

量化后的信号是取值离散的数字信号,下一步是将这个数字信号编码。通常把从模拟信号抽样、量化，编码变换成为二进制符号的基本过程，称为脉冲编码调制（Pulse Code Modulation，PCM）。

在13折线法中，无论输入信号是正是负，均用8位折叠二进制码来表示输入信号的抽样量化值。其中，用第一位表示量化值的极性，其余七位（第二位至第八位）则表示抽样量化值的绝对大小。具体的做法是：用第二至第四位表示段落码，它的8种可能状态来分别代表8个段落的起点电平。其它四位表示段内码，它的16种可能状态来分别代表每一段落的16个均匀划分的量化级。这样处理的结果，使8个段落被划分成27＝128个量化级。段落码和8个段落之间的关系如表2-2所示，段内码与16个量化级之间的关系见表2-3。上述编码方法是把压缩、量化和编码合为一体的方法。

**表2-2 段落码 表2-3 段内码**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 段落序号 | 段落码 |  | 量化级 | 段内码 |
| 8 | 111 | 15 | 1111 |
| 14 | 1110 |
| 7 | 110 | 13 | 1101 |
| 12 | 1100 |
| 6 | 101 | 11 | 1011 |
| 10 | 1010 |
| 5 | 100 | 9 | 1001 |
| 8 | 1000 |
| 4 | 011 | 7 | 0111 |
| 6 | 0110 |
| 3 | 010 | 5 | 0101 |
| 4 | 0100 |
| 2 | 001 | 3 | 0011 |
| 2 | 0010 |
| 1 | 000 | 1 | 0001 |
| 0 | 0000 |

**3. PCM编码硬件实现**

完成PCM编码的方式有多种，最常用的是采用集成电路完成PCM编译码，如TP3057.TP3067等，集成电路的优点是电路简单，只需几个外围元件和三种时钟即可实现，不足是无法展示编码的中间过程，这种方法比较适合实际通信系统。另一种PCM编码方式是用软件来实现，这种方法能分离出PCM编码的中间过程，如：带限、抽样、量化、编码的完整过程，对学生理解PCM编码原理很有帮助；

TP3057实现PCM编译码，原理框图如下图所示



图3.1.2.3 PCM编译码框图

集成芯片TP3057完成PCM编译码除了相应的外围电路外，主要需要3种时钟，即：编码时钟MCLK、线路时钟BCLK、帧脉冲FS。三个时钟需有一定的时序关系，否则芯片不能正常工作：

编码时钟MCLK：是一个定值，2048K；

线路时钟BCLK：是64K的n倍，即：64K、128K、256K、512K、1024K、2048K几种；

帧脉冲FS：是8K，脉宽必须是BCLK的一个时钟周期；

**4. PCM编码算法实现**

1. 基于软件算法完成PCM编码，框图如下图所示：



图3.1.2.4 软件实现PCM编码框图

本实验我们采用软件方式完成PCM编码、集成芯片TP3057完成PCM译码，目的是希望通过微处理器和液晶能形象展示PCM编码的的完整过程，即：带限、抽样、量化、编码的过程，便于学生理解PCM编码原理。译码采用集成芯片TP3057的目的是验证软件编码是否正确。

1. 软件PCM编码原理

在律13折线编码中，正负方向共16个段落，在每一个段落内有16个均匀分布的量化电平，因此总的量化电平数。编码位数，每个样值用8比特代码～来表示，分为三部分。第一位为极性码，用1和0分别表示信号的正、负极性。第二到第四位码为段落码，表示信号绝对值处于那个段落，3位码可表示8个段落，代表了8个段落的起始电平值。

上述编码方法是把非线性压缩、均匀量化、编码结合为一体的方法。在上述方法中，虽然各段内的16个量化级是均匀的，但因段落长度不等，故不同段落间的量化间隔是不同的。当输入信号小时，段落小，量化级间隔小；当输入信号大时，段落大，量化级间隔大。第一、二段最短，归一化长度为，再将它等分16段，每一小段长度为，这就是最小的量化级间隔。根据13折线的定义，以最小的量化级间隔为最小计量单位，可以计算出13折线律每个量化段的电平范围、起始电平、段内码对应电平、各段落内量化间隔。具体计算结果如表2-4所示。

表2-4 13折线A律有关参数表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 段落号i=1~8 | 电平范围 | 段落码 | 段落起始电平 | 量化  间隔 | 段内码对应权值（） | | | |
| 8 | 1024~2048 | 1 1 1 | 1024 | 64 | 512 | 256 | 128 | 64 |
| 7 | 512~1024 | 1 1 0 | 512 | 32 | 256 | 128 | 64 | 32 |
| 6 | 256~512 | 1 0 1 | 256 | 16 | 128 | 64 | 32 | 16 |
| 5 | 128~256 | 1 0 0 | 128 | 8 | 64 | 32 | 16 | 8 |
| 4 | 64~128 | 0 1 1 | 64 | 4 | 32 | 16 | 8 | 4 |
| 3 | 32~64 | 0 1 0 | 32 | 2 | 16 | 8 | 4 | 2 |
| 2 | 16~32 | 0 0 1 | 16 | 1 | 8 | 4 | 2 | 1 |
| 1 | 0~16 | 0 0 0 | 0 | 1 | 8 | 4 | 2 | 1 |

处理器自带的12位ADC，对应的寄存器采样值0~4095，采样值在0~2047，第一位的极性码为负，用0表示；采样值在2048~4095，第一位的极性码为正，用1表示。PCM的其它比特我们通过量化值查表方式产生。STM32同时将模拟信号、抽样脉冲、量化值、编码值显示在彩色液晶，学生能清晰观察到这4个信号的相互关系，如下图所示：



图3.1.2.5 PCM编码显示

上图竖线表示抽样位置，图中上方数字是量化值，样值范围-2048~2048；

图中下方二进制值是律13折线编码。

如量化值：**-1600**

* + 量化值为负值，故极性码为：0；
  + 电平范围位于1024~2048，段落码为：111，；
  + 量化间隔为64，段落起始电平为1024，1600-1024 = 576；576/64=9；

段内码为：1001

那么量化值-1600对应的PCM编码值为：**01111001**

**四、实验框图及测量点说明**

**1. 实验框图说明**

下图为PCM编译码原理的实验原理框图：

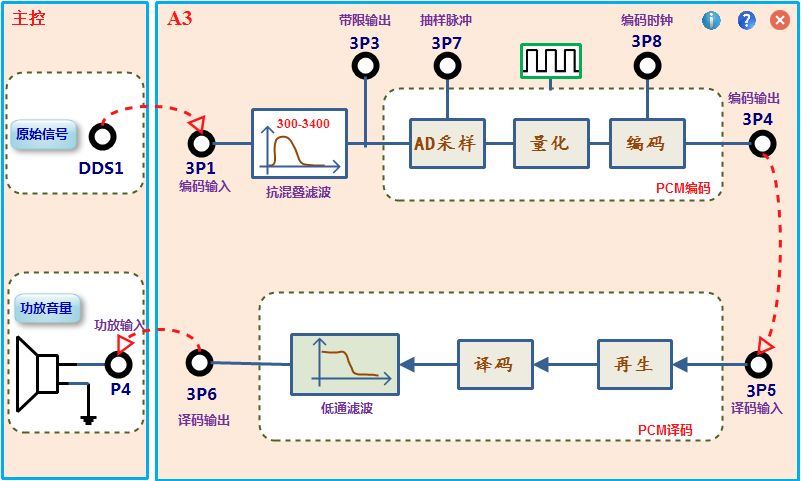


图3.1.2.6 PCM编译码流程框图

框图说明：

本实验中需要用到以下功能模块：

PCM编码原理实验由模块A3通过软件算法实现，模拟信号经300-3400HZ带通滤波器后送入算法处理器进行模数转换，模数转换精度12位，其AD采样后量化范围为0-4095，STM32采用查表法实现PCM的A律编码；编码数据从3P4输出；

将编码数据送入译码输入端3P5，PCM译码信号从3P6输出。

图中“原始信号”按钮用于对模拟信号类型、频率、幅度；“功放音量”用于调节喇叭音量；

**2. 各模块测量点说明**

1. **主控模块**

* **DDS1：**模拟信号输出；
* **P04：**扬声器输入；

1. **信源编码与信道复用模块-A3**

* **3P1**：原始信号的输入铆孔；
* **3P3**：带限输出铆孔
* **3P4**：编码输出
* **3P5**：PCM译码输入
* **3P6**：模拟信号恢复输出
* **3P7**：抽样脉冲
* **3P8**：线路时钟

**五、实验内容及步骤**

**1. 实验准备**

1. **实验模块在位检查**

 在关闭系统电源的情况下，确认下列模块在位：

* 信源编码与信道复用模块-A3；

1. **加电**

打开系统电源开关，模块右上角红色电源指示灯亮，几秒后模块左上角绿色运行指示灯开始闪烁，说明模块工作正常。若两个指示灯工作不正常，需关电查找原因。

1. **选择实验内容**

使用鼠标在液晶上根据功能菜单选择：**实验项目->原理实验->信源编译码实验->PCM编译码原理**，进入到PCM编译码原理实验页面。

1. **信号线连接：**

使用信号连接线按照实验框图中的，连线方式进行连接,并理解每个连线的含义。

**2. PCM编码原理验证**

1. **设置工作参数**

设置原始信号为：“正弦”，1000hz，幅度为15（约2Vp-p）；

1. **PCM串行接口时序观察**

输出时钟和帧同步时隙信号观测：用示波器同时观测抽样脉冲信号（3TP7）和输出时钟信号（3TP8），观测时以3TP7做同步。分析和掌握PCM编码抽样脉冲信号与输出时钟的对应关系（同步沿、脉冲宽度等）。

1. **PCM串行接口时序观察**

抽样时钟信号与PCM编码数据测量：用示波器同时观测抽样脉冲信号（3TP7）和编码输出信号（3TP4），观测时以3TP7做同步。分析和掌握PCM编码输出数据与抽样脉冲信号（数据输出与抽样脉冲沿）及输出时钟的对应关系。

1. **在液晶观测PCM编码**

在液晶上观察模拟信号、抽样脉冲、量化值，并根据实验原理部分，计算各点对应的编码值。

通过旋转A3模块右下角的编码器，选择液晶功能在“编码”按钮位置，按下编码器，此时显示PCM编码数值，和计算值进行对比。研究量化值和编码值间的对应规则，即PCM编码规则；

1. **PCM编码输出数据观测**

用示波器同时观测抽样脉冲信号（3TP7）和编码输出数据端口（3TP4），观测时以3TP7做同步。在示波器上读出一个编码样点值，并和液晶上的相应编码数据进行比较。

注：PCM编码数据从抽样脉冲的下沿开始，高位在前，考虑到译码采用需将PCM数据偶数位反转的TP3057芯片，因此编码芯片（处理器）编码数据（3TP4）也应偶数位反转，如图3.1.2.5中量化值-1600对应的PCM编码值为：01111001，反转后3TP4输出：00101100；

**3. PCM译码观测**

用导线连接3P4和3P5，此时将PCM输出编码数据直接送入本地译码器，构成自环。用示波器同时观测输入模拟信号3TP1和译码器输出信号3TP6，观测信号时以3TP1做同步。定性的观测解码信号与输入信号（1000HZ、2Vpp）的关系：质量、电平、延时。

**4. PCM频率响应测量**

将测试信号电平固定在2Vp-p，调整测试信号频率，定性的观测译码恢复出的模拟信号电平。观测输出信号信电平相对变化随输入信号频率变化的相对关系。用点频法测量。测量频率范围：200Hz～4000Hz。

**5. PCM译码失真测量**

将测试信号频率固定在1000Hz，改变测试信号电平（输入信号的最大幅度为5Vp-p。），用示波器定性的观测译码恢复出的模拟信号质量（通过示波器对比编码前和译码后信号波形平滑度）。

**6. PCM编译码系统增益测量**

DDS1产生一个频率为1000Hz、电平为2Vp-p的正弦波测试信号送入信号测试端口3P1。用示波器（或电平表）测输出信号端口（3TP6）的电平。将收发电平的倍数（增益）换算为dB表示。

**7. 实验结束**

实验结束，关闭电源，拆除信号连线，并按要求放置好实验附件和实验模块。

**六、实验报告**

1. 定性描述PCM编译码的特性、编码规则，并填下表。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率：1000HZ  幅度：2Vpp | 样点1 | 样点2 | 样点3 | 样点4 | 样点5 | 样点6 | 样点7 | 样点8 |
| 量化值 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 编码值 |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. 描述PCM编码串行同步接口的时序关系。
2. 填下下表，并画出PCM的频响特性：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入频率（Hz） | 200 | 500 | 800 | 1000 | 2000 | 3000 | 3400 | 3600 |
| 输出幅度（V） |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. 填下下表，并画出PCM的动态范围：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入幅度（V） | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 5 |
| 输出幅度 |  |  |  |  |  |  |  |  |

5.自拟测量方案，测量PCM的群延时特性。（输入输出模拟信号时延）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入频率（Hz） | 300 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 3100 | 3400 |
| 延时（us） |  |  |  |  |  |  |  |  |

**七、思考题**

1.输入信号为0Vpp时，PCM编码数据是多少？为什么？

2.基于AD和微处理器，细述PCM编码流程，实现方法，对AD精度要求等；