《数字电路与数字系统实验》实验报告

**实验10: 音频输出实验**

**姓名:** 尹浚宇

**学号:** 161130118

**班级:** 2018-2019第一学期数字电路与数字系统实验2班

**邮箱:** [908664035@qq.com](mailto:908664035@qq.com)

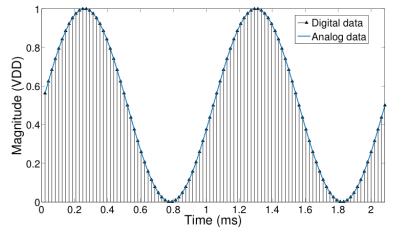
**实验时间:** 2018-11-20

1. **实验目的**
2. 学习音频信号的输出方式.
3. 了解数字信号转换为模拟信号的基本原理.
4. **实验原理**

声⾳是⼀种重要的⼈机交互⼿段. ⾳频信号可以通过扬声器或者⽿机输出, 由麦克风输⼊计算机. 在输⼊和输出过程中⼀般需要对信号进⾏数字/模拟或模拟/数字转换.

1. 音频输出原理.

⼈⽿可以听到的声⾳的频率范围是20-20kHz. ⾳频设备如扬声器或⽿机等所接收的⾳频信号⼀般是模拟信号, 即时间上连续的信号. 但是, 由于数字器件只能以特定间隔产⽣数字输出, 我们需要通过数字/模拟转换将数字信号转换成模拟信号输出. 根据采样定律, 数字信号的采样率(每秒钟产⽣的数字样本数量)应不低于信号频率的两倍.



上图显⽰了数字信号到模拟信号转换的基本原理.

假设我们需要产⽣⼀个⼈⽿能听到的单频率f = 960Hz的正弦波, 我们需要在合适的时间点上设置(或输出)合适的数字值来形成正弦波形. 对于⼀个正弦波信号s(t), 其数学表达式是：

s(t) = sin(2πft) (1)

其中f为频率, t为时间. 在数字信号中, 我们⽤整数来标记各个数字样本, 样本编号顺序依次为0, 1, 2, …. 当采样率是48kHz时, 每两个点之间的间隔是1/48毫秒. 此时, 我们可以将t改写成t = n/48000秒. 这样式 (1) 就变成：

s(n) = sin(2πfn/48000) (2)

代⼊f = 960Hz, 我们得到s(n) = sin ( 2π48000 ×960n) = sin ( 250 πn). 所以,对于整数n来说, 每50个点对应正弦波的⼀个周期.

之后我们对每个样本点的大小进行量化处理, 并通过循环输出样本点的量化值, 就可以产生一个sin波形.

实际应⽤中，我们如果要产⽣不同频率的正弦波，就不能采⽤简单计数的⽅式，⽽需要采⽤查三⾓函数表的⽅式. 假设我们在存储器中存储了⼀张1024点的sin函数表. 即存储器中以地址k =0…1023存储了1024个三⾓函数值(以16bit补码整数表示)地址为k的数值设置为

round (sin (2πk/1024) × 32767) (3)

对于任意频率 f 的正弦波，我们在第 n 个样本点需要输出的值为

round (sin (2πnf/48000) × 32767) (4)

⽐较式(3)和(4)，我们得到在我们的函数表中最接近这个值的表项应该是k = round (nf x 1024/48000) mod 1024.

但是, 在FPGA 中要计算乘除法取整等操作⽐较复杂, 我们实际应⽤中采取累加的⽅法. 我们观察到n每增加1, 对应的k会增加fx1024/48000. 这样，我们可以通过每个样本点将k递增fx1024/48000来避免乘除法.

因此, ⽣成频率为f的正弦波的过程如下：

1. 根据频率f计算递增值d = f x 65536/48000.

2. 在系统中维持⼀个16bit⽆符号整数计数器, 每个样本点递增d.

3. 根据16位⽆符号整数计数器的⾼10位获取查表地址k.

4. 使⽤查表结果作为当前的数字输出.

2. 音频接口.

FPGA与⾳频编解码芯⽚的接口包括两⼤部分. ⼀部分是控制接口, 该接口是通过通⽤的I²C总线实现的. 该接口的功能主要是在⾳频编解码芯⽚的控制寄存器内写⼊配置信息, 控制⾳频编解码芯⽚的⼯作⽅式. 另⼀部分是⾳频信号接⼜, 主要是通过 I²S ⾳频协议实现的, 包括DAC和ADC两个⽅向. 在本实验中只使用DAC输出⾳频信号的⽅向.

在⾳频发送的实现上同样也分为两个步骤. 第⼀步是配置⾳频编解码芯⽚, 第⼆步是正常的⾳频流发送.

1. **实验环境/器材**

系统环境是window10, 硬件环境是DE10-Standard开发板, 软件环境是Quartus.

1. **程序代码**

整个工程的设计思路如下:

整个工程分为时钟模块, 音频模块和键盘模块实现. 时钟模块包含两个分频器;音频模块分为I2C模块, I2S模块和一个正弦值产生器模块, 其中I2C模块里包含配置模块和I2C控制器模块; 键盘模块里包含四个子模块, 功能分别是得到扫描码, 输入为扫描码的mealy型状态机, 根据扫描码得到音调和递增值, 将音调显示在数码管上.

时钟模块的思路如下:

用分频器和开发板内置时钟分别得到两个特定频率的时钟, 一个供I2C\_Audio\_Config模块使用, 一个供I2S\_Audio模块使用.

音频模块的思路如下:

I2C\_Audio\_Config模块对音频芯片进行配置, I2S\_Audio模块给音频芯片传递数字信号, Sin\_Generator模块根据递增值修改数字信号的值.

键盘模块的思路如下:

首先得到按键的扫描码, 然后维护一个状态机, 在扫描码和递增值之间建立一个映射关系, 根据扫描码修改递增值并传递给音频模块中的Sin\_Generator模块, 然后在数码管上显示对应按键的音调.

1. **实验步骤**

首先将示例工程中的顶层文件加入到整个工程中并设为顶层, 然后在示例工程的基础上加入了键盘模块和键盘与音频的交互模块, 通过编译后将生成的二进制烧写文件导入开发板进行硬件验证, 并通过了助教的查验.

1. **测试方法**

采用硬件验证的方法.

1. **实验结果**

硬件验证成功, 并通过了助教的查验.

1. **实验中遇到的问题及解决方案**
2. 刚开始得到的音调不太准, 后面发现是自己将递增值d转换成二进制时产生了误差, 之后直接采用递增值d的十进制, 让编译器自己转化, 得到了较为准确的音调.
3. **实验得到的启示**
4. 在设计中如果出现需要进制转换的时候, 可以让编译器自己去做.
5. **意见和建议**
6. 可说明一下正弦波模块中的freq对应的就是递增值d.