

基于 DDS 芯片 AD9833 的音源发生器设计

张培忠,叶建波,翁正国

(浙江工商职业技术学院,浙江 宁波 315040)

摘要: 介绍了 DDS 技术的原理和特性,采用 DDS 芯片 AD9833 产生正弦波音阶信号构建音源发生器,给出了主要电路和关键程序。

关键词: DDS;相位累加器;SPI;D/A;LPF

中图分类号: TN912.34

文献标识码: A

Design of a musical signal generator based on DDS IC AD9833

ZHANG Pei Zhong, YE Jian Bo, WENG Zheng Guo

(Zhejiang Business Technology Institute, Ningbo 315040, China)

Abstract: This paper introduces the basic principles and performance of DDS, sine wave musical scale signal is generated by DDS IC AD9833 and design of a musical signal generator is introduced. Main circuits and program are given.

Key words: DDS; phase accumulator; SPI; D/A; LPF

在 2008 年浙江省大学生电子设计竞赛中,有一个题目是“音乐演奏器设计”,要求用 12 个键盘演奏音乐,其中有一个关于音阶的技术指标要求频率误差小于 $\pm 0.1\%$ 。本题目的关键在于产生一个高精度的音源。一般采用的单片机定时器中断产生信号的方法勉强能达到这个要求。本题目有一个音阶对应频率的附表,描述了各音阶对应频率的精确值,如音阶 6 频率为 739.99 Hz,采用 51 系列单片机定时器中断方法无法达到该表数据所描述频率精度要求。而采用 DDS 技术,则能达到这一频率精度的要求。与采用 51 单片机定时器产生的信号相比,通过 DDS 产生的音阶信号除了频率精度高的优点外,产生的是正弦波,具有“纯”音的特点,听觉效果较好。基于上述原因,采用 DDS+MCU 是实现音乐演奏器的一种较好设计方案。其技术核心为可控的音阶的发生,构成一个音源发生器。本文介绍的音源发生器可用于钢琴的校音,具有一定实用价值。

1 音源产生原理

Tierney J 和 Tader C M 等人于 1971 年首次提出了 DDS 或 DDFS(Direct Digital Frequency Synthesis)的概念,通常将 DDS 视为第三代频率合成技术。DDS 突破了以往频率合成法的原理,从“相位”的概念出发进行频率合成。这种方法不仅可以产生不同频率的正弦波,而且可

以控制波形的初始相位。另外,可以采用 DDS 方法产生任意波形(AWG)。

DDS 的基本结构如图 1 所示,包括主频、同步加法器、频率字寄存器、ROM、D/A、LPF 等。主频产生主时钟,同步加法器按照主时钟进行同步加法运算。同步加法器的一个加数是存储于频率字寄存器中的频率字,另一个加数是同步加法器的上次加法运算结果(和)。同步加法器的加法运算结果(和)作为 ROM 的地址,ROM 内存储有波形数据,ROM 的数据输出由 D/A 转换成模拟量,经过 LPF 滤波,输出 ROM 内存储的波形。

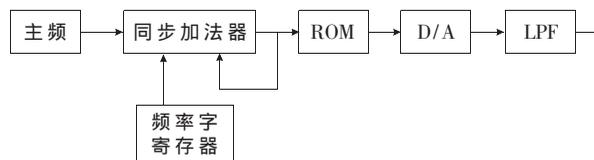


图 1 DDS 基本原理结构图

基本的 DDS 芯片,主频 $f_{MCLK}=1\text{ MHz}$,频率字 $FREQREG=1$,同步加法器的位数为 8,则同步加法器相当于进行 $0\sim 255(0x00\sim 0xFF)$ 的计数过程,该过程循环重复,其循环频率为 $f_{MCLK}/256$ 。若 ROM 存储有正弦波数据,则经过 D/A 转换和 LPF 滤波后,输出频率为 $f_{MCLK}/256$ 的正弦波信号;当频率字 $FREQREG=2$,则同步加法器相当于

进行步长为 2 的 0~255(0x00~0xFF) 的累加过程, 该过程的频率为 $2 \times f_{MCLK}/256$, 也就是输出频率为 $2 \times f_{MCLK}/256$ 的正弦波信号。

由此类推, 基本型 DDS 芯片的输出频率为:

$$f_0 = f_{MCLK}/2^8 \times FREQREG$$

对于基本型 DDS 芯片, 一般, 主频 f_{MCLK} 通过晶体振荡电路产生, 相对固定, 因此 DDS 的输出频率取决于频率字, 频率字一般通过串行或并行接口进行设置。

DDS 芯片的输出频率的变化间隔(分辨率)为 $f_{MCLK}/2^8$ (当同步加法器的位数是 8 时)。输出频率的稳定度主要取决于晶体振荡的稳定度, 输出波形则取决于 ROM 中的波形数据, 根据奈奎斯特定理, 最高输出频率小于 $f_{MCLK}/2$ 。

由于同步加法器结果是改变输出波形的相位, 在有关 DDS 芯片的资料中^[1], 该同步加法器通常称为相位累加器。

实际应用时, DDS 的结构会复杂得多, 同步加法器的位数远大于 8, 加入相位加法器, ROM/D/A 数据宽度在 10 位以上, 主频也会较高。因此通常采用专用芯片, 也有少量采用 FPGA 来实现的(特别当需要实现 AWG 时)。

Qualcomm 公司、ADI 公司等推出一系列 DDS 专用芯片。比较典型的有 AD9850、AD9851、AD9852、AD9853、AD9833 等。当前的信号发生器广泛使用 DDS 专用芯片作为电路核心^[1]。历年的大学生电子竞赛均有涉及 DDS 芯片应用的题目。

AD9833 是 ADI 公司生产的一款低功耗、可编程波形发生器, 能够产生正弦波、三角波、方波输出, 输出频率和相位都可通过软件编程, 调节比较方便。采用 28 位的频率寄存器, 当主频时钟为 25 MHz 时, 频率分辨率为 0.1 Hz; 主频时钟为 1 MHz 时, 频率分辨率可以达到 0.004 Hz^[2]。

AD9833 采用 10 个引脚的 MSOP 封装形式, 采用 SPI 接口进行控制寄存器和频率寄存器的设置, 功能简洁, 使用方便, 故选用 AD9833 芯片作为音阶频率发生器。AD9833 芯片的引脚图如图 2 所示。

在主频合适的条件下, 通过 SPI 接口设置频率寄存器和控制寄存器, 即能得到理想的信号输出。其输出频率为:

$$f_0 = f_{MCLK}/2^8 \times FREQREG$$

2 硬件设计

AD9833 芯片有 3 根串行接口线, 与 SPI、QSPI、MI-

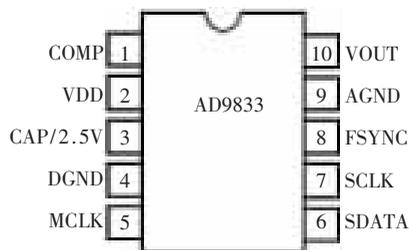


图 2 AD9833 芯片的引脚图

CROWIRE 和 DSP 接口标准兼容, 在串口时钟 SCLK 的作用下, 数据以 16 位的方式加载到设备上, 其时序图如图 3 所示, FSYNC 引脚是使能引脚, 电平触发方式, 低电平有效。进行串行数据传输时, FSYNC 引脚必须置低。

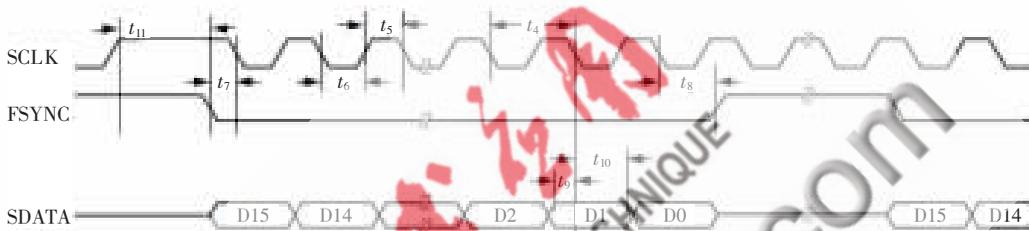


图 3 AD9833 时序图

本设计中, MCU 采用 51 系列芯片, 图 4 是音源器部分的电路原理图。P1.5、P1.6、P1.7 分别与 AD9833 芯片的 FSYN、SCLK、SDA 相连, MCU 通过模拟 SPI 的时序, 对 AD9833 芯片的各寄存器进行设置。Y2 是一个有源晶振, 其第 3 脚输出频率为 4.194 304 MHz 的信号, 提供给 AD9833 芯片的主频输入端, AD9833 芯片产生的信号通过 JP3 输出, 与音频功放电路相连, 通过音频功放驱动扬声器发声。

3 软件实现

本设计中, 主频时钟采用 4.194 304 MHz。输出频率计算如下:

$$f_0 = f_{MCLK}/2^8 \times FREQREG$$

式中, f_0 为输出频率, f_{MCLK} 为主频 (4.194 304 MHz), $FREQREG$ 为频率寄存器设置的频率字。频率分辨率为 $1/64=0.015\ 625$ Hz。

根据上述公式, 计算出各音阶对应的频率字参数如表 1 所示。

控制程序在 Keil uv2 环境下开发, 程序采用汇编语言和 C 语言混合编程形式实现。实现时序控制部分采用汇编语言, 主体部分则采用 C 语言进行编程。程序主体部分调用时序控制部分时, 通过全局字节变量 light_o 和 light_o1 传递数据。

时序控制部分程序通过模拟 SPI 接口时序, 完成对 DDS 芯片内部寄存器的设置, 具体程序如下(定义部分略):

```
to_9833:
```

欢迎网上投稿 www.pcachina.com

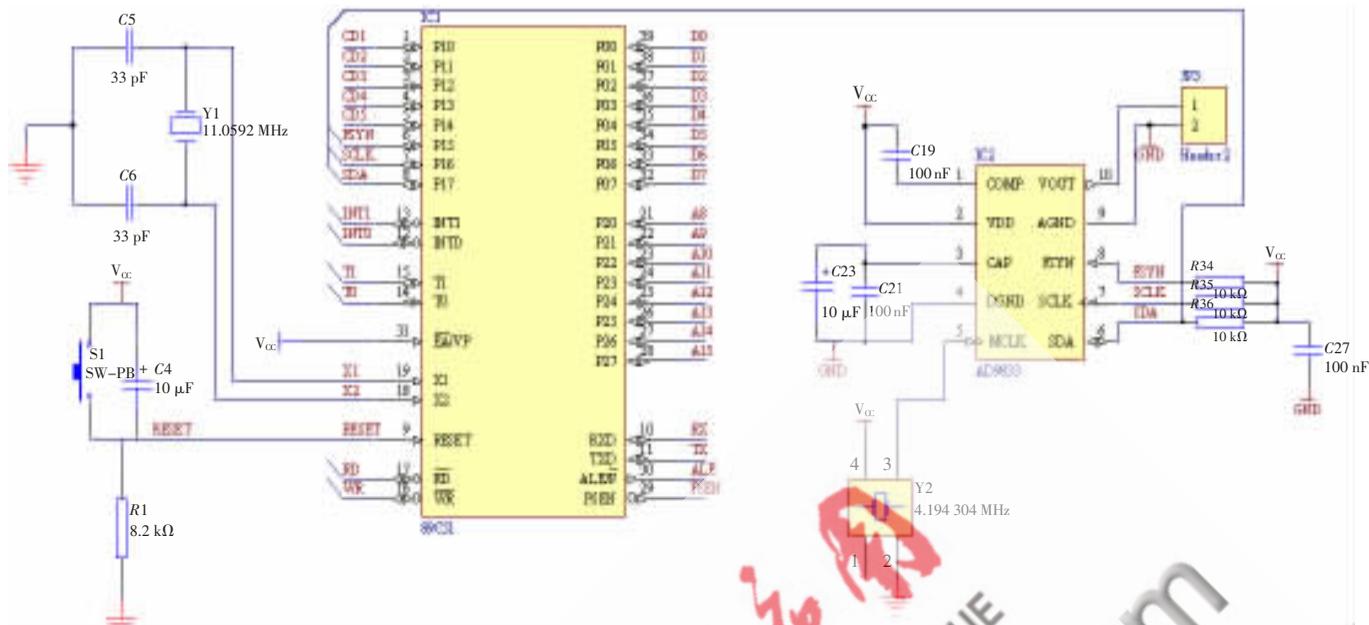


图4 音源器部分的电路原理图

表1 AD9833 音阶参数表

序号	音阶	f/Hz	频率参数	16进制
1	+2	987.76	63 216.64	0x1610
2	+1	880	56 320	0xdc00
3	7	830.61	53 159.04	0xcfa7
4	6	739.99	47 359.36	0xb8ff
5	5	659.33	42 197.12	0xa4d5
6	4	587.33	37 589.12	0x92d5
7	3	554.37	35 479.68	0x8a97
8	2	493.88	31 608.32	0x7b78
9	1	440	28 160	0x6e00
10	-7	415.31	26 579.84	0x67d3
11	-6	370	23 680	0x5c80
12	-5	329.63	21 096.32	0x5268

```

setb SCK
clr CS
mov a, light_o
mov r1, #08h
call out_SPI
mov a, light_o1
mov r1, #08h
call out_SPI
setb CS
clr SCK
ret
out_SPI:
RLC A
mov SO, c
clr SCK
    
```

```

setb SCK
djnz r1, out_SPI
ret
    
```

程序主体部分中,根据表1将音阶数据定义成一个一维数组:

```

code unsigned int music_table[] = {0x5268, 0x5c80,
0x67d3, 0x6e00, 0x7b78, 0x8a97, 0x92d5, 0xa4d5, 0xb8ff,
0xcfa7, 0xdc00, 0xf6f0, };
    
```

主程序的编程框图如图5所示。对AD9833芯片通过写入控制字的方式进行初始化。程序在主循环中运行。主循环对有效按键进行处理,对于有效琴键,调用音阶函数即可。音阶函数如下:

```

void play_music (unsigned char nn)
{
light_o = 0x20;
light_o1 = 0x00;
//设控制字
to_9833();
v_3.cm_int = music_table[nn];
//查音阶表
    
```

```

light_o = 0x40 | (v_3.cm.cm_0 & 0x3f);
light_o1 = v_3.cm.cm_1;
to_9833();
//设频率字
light_o = 0x40;
    
```

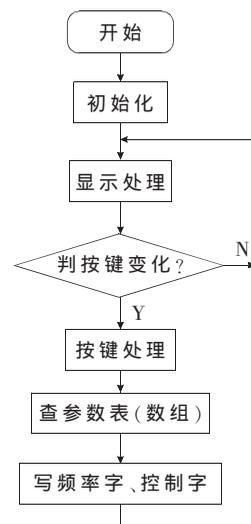


图5 主程序框图

```
light_o1 = v_3.cm.cm_0 / 0x40;  
to_9833());  
}
```

如有音阶 2 的琴键被按下有效, C 语言对调用函数描述为:

```
play_music(2);
```

程序中还包含按键处理、显示、存储控制等部分,限于篇幅,不再赘述。经实测,本音源发生器产生的各音阶频率与表 1 设计值一致,频率误差 $<0.02\%$,波形则是

“纯净”的正弦波。通过功率放大,驱动扬声器发声。

通常不同乐器发音时,均有不同特征的谐波。常规乐器难以实现只有主音、无谐波成分的音阶,而通过本文 DDS 芯片设计的音源器,实现了精准的无谐波成分的音阶,有独特的听觉效果。可作为基准音阶,用于各类乐器的校音。

参考文献

- [1] 丁守成.基于 DDS 的信号发生器.现代仪器,2007(6).
- [2] Analog Device, Inc. AD9833 Data Sheet. 2003.

(收稿日期:2009-03-07)

