

# 一种多功能正弦信号发生器的设计

李璐,李腾飞,李飞飞

(武汉大学 电子信息学院,湖北 武汉 430079)

**摘要:** 介绍了一种以 FPGA 和单片机为控制核心,基于调制原理配合使用 DDS 专用芯片 AD9851,实现了一种多功能正弦信号发生器。实现了在 30 Hz~12 MHz 频率范围内正弦信号的无失真输出,且在输出端接 50  $\Omega$  功率电阻的条件下,输出电压峰峰值在 5.8 V~6 V 范围内。系统还具有 AM、FM、ASK、FSK、PSK 调制的功能,整体工作稳定,界面友好,操作简单。

**关键词:** FPGA;单片机;DDS;调制

中图分类号: TM933

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2011)19-0028-03

## Design of a multi-function sine wave signal generator

Li Lu, Li Tengfei, Li Feifei

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** The paper demonstrates a multi-function sine wave generator which takes FPGA and MCU as control core, used in conjunction with DDS chip AD981 and based on the principle of modulation. It achieves output sine signal in the frequency from 30 Hz to 12 MHz without error, also when 50  $\Omega$  resistance is connected to the power output, the output peak-to-peak voltage can reach to 5.8 V or even to 6 V. The system can accomplish AM, FM, ASK, FSK, PSK, and it is stable, friendly and simple to operate.

**Key words:** FPGA; MCU; DDS; modulation

在通信、广播、电视系统中,都需要射频发射,即载波,把音频、视频信号或脉冲信号运载出去,这就需要能产生高频信号的振荡器。正弦波振荡电路在各个科学技术部门的应用是十分广泛的。在工业、农业、生物医学等领域(如高频感应加热、熔炼、淬火、超声波焊接、超声诊断、核磁共振成像等)都需要功率或大或小、频率或高或低的振荡器。

本系统以直接数字合成(DDS)芯片为信号发生核心,以单片机为控制和人机界面核心,使用 FPGA 作为控制核心,组成一个具有多种信号输出能力的信号发生电路。可输出频率可调的正弦信号、调频信号、调幅信号和数字调制输出信号等,具有广泛的应用前景<sup>[1-2]</sup>。

### 1 系统总体设计方案和工作原理

系统整体框图如图 1。单片机接收用户的模式选择和参数设置值并经过程序处理后送入 FPGA。在 FPGA 中预先构建了实现各种功能的功能模块。DDS 控制模块用于控制 DDS 芯片 AD9851 产生相应频率的无调制正

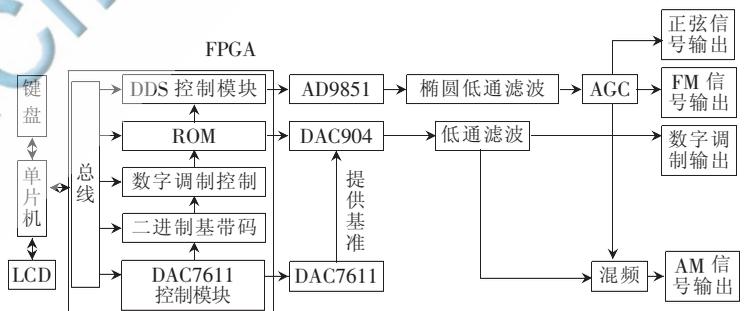


图 1 系统整体框图

弦波及调频正弦波;DAC7611 控制模块用于控制 DAC7611 数模转换器并为 DAC904 数模转换器提供基准电压;二进制基带码控制模块用于将用户输入的二进制基带码转换为串行数据,便于后续处理;数字调制控制模块用于判断用户选择的数字调制方式,并结合二进制基带码模块输出的数据,输出不同的相位值给 ROM 中的正弦波表,实现输出数字调制信号;DAC904 用于 D/A 转换输出数字调制信号。

## 2 FPGA 内部控制模块及其实现

### 2.1 DDS 控制模块

AD9851 是 ADI 公司的专用 DDS 芯片, 采用 CMOS 生产的具有高集成度的直接数字合成器, 内置 32 bit 频率累加器、10 bit 高速 DAC、高速比较器和可软件选通的时钟 6 倍频电路。外接参考频率源时, AD9851 可以产生频谱纯净、频率和相位都可控且稳定度非常高的正弦波。

相位累加器的位数为  $N$ , 相位控制字的值为  $F_N$ , 频率控制字的位数为  $M$ , 频率控制字的值为  $F_M$ ,  $F_c$  为 AD9851 内部时钟频率。此时, 最终合成信号的频率和相位可由式(1)和式(2)来决定:

$$f = \frac{F_M \times F_c}{2^M} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{F_N \times 2\pi}{2^N} \quad (2)$$

其中,  $f$  为输出信号的频率,  $\theta$  为信号的初始相位。

FPGA 中 DDS 控制模块的功能主要是对 AD9851 写控制字, 使其输出正弦、AM、FSK、FM 波。功能的切换通过写入不同的控制字得以实现, 频率数据由 P0、nWR、CS、Addr 等微机标准接口写入。对 AD9851 的操作由 FQD、WCK、Dout、RST 输出与芯片数字接口实现。实现 FM 时, 需要在中心频率周围产生 5 kHz/10 kHz 的频偏, 这要求模块输出的频率控制字要随调制信号幅度变化而变化, 在模块的输入端给出了当前的频率控制字增量, 模块读入这个增量与中心频率控制字相加, 即可得到当前频率控制字, 也即实现了 FM。

### 2.2 幅度调制模块

实际控制调幅度 AM 时, 保持载波信号幅度不变, 控制调制信号的幅度, 就可以实现 AM 在 10%~100% 之间调节。通过控制 DAC7611 输出信号幅度, 即控制 DAC904 的参考电压, 达到控制调制度的效果。可以通过一个模拟乘法器 AD835 电路实现调幅信号, 且载波信号频率可以做得很高, 也比较容易实现。

### 2.3 频率调制模块

在软件实现时, 根据调频信号变化的规律采用数字方式控制 DDS 正弦波发生器的频率控制字, 存在一个单独的 ROM 模块中, 直接作用于输出波形的频率值, 即实现了对信号源频率的调制。

由单片机输入中心频率和最大频偏后, 启动数字 FM, FPGA 内部时钟单元将产生一个 128 kHz 的时钟, 用于累加 8 128 bit 正弦波表地址, 得出相应正弦波幅度量化值。该幅度值一方面作为输出信号输出至外部 D/A 的数据端口, 用于恢复正弦信号; 另一方面作为频率控制字的

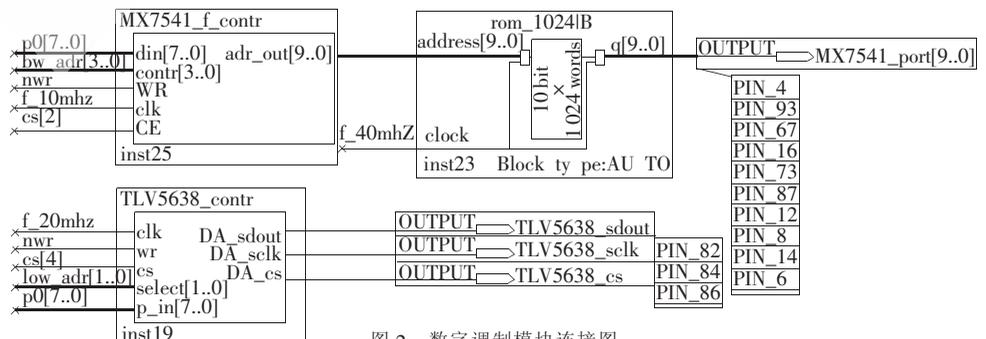


图2 数字调制模块连接图

计算依据, 根据相应公式计算出频率控制字。写时序控制器在时钟的作用下将生成的频率控制字写到 DDS 芯片 AD9851 内, 从而产生一个频率与正弦信号幅度成比例的调频信号。

### 2.4 数字调制模块

在具体的编程实现过程中, 在 FPGA 内设置二进制基带码模块和数字调制控制模块。通过二进制基带码模块, 将键盘输入的 0、1 值转换为串行数据, 便于后续处理。通过数字调制控制模块判断用户选择的方式为 ASK、PSK 还是 FSK, 结合二进制基带码模块输出的数据, 输出不同的相位值给 ROM 中的正弦波表, 实现输出数字调制信号。

对于 ASK, 将载波信号与二进制基带信号相乘; 对于 PSK, 用二进制基带信号控制载波的相位, 当二进制基带信号的上升沿(下降沿)到来时, 载波反相, 其他时间相位不变, 得到的输出经 D/A 转换后就是 PSK 信号, 对于 FSK, 0、1 各代表不同的频率值, 二进制基带信号控制频率控制字。

假设载波固定频率为 100 kHz, 基带序列码速率为 10 kb/s, 当实现 2ASK 时, 如果基带序列为 1 码, 应输出 5 个正弦载波, 为 0 则应输出零电平。可将基带序列的速率控制转为控制当序列符号为 1 时能输出正弦波的数量, 而载波的频率是通过向自制 DDS 信号源写入载波频率控制字实现的。因此, 当确定载波频率时, 从单片机输入一个数字  $x$  表示当序列符号为 1 时能输出正弦波的数量, 则可确定基带序列码的速率。如图 2 所示, 数字  $x$  通过  $din[7..0]$  输入并存储到了模块内部一个寄存器中, 内部一个计数器从 0 开始计数, 每当计满  $x-1$ , 计数器清零, 并且使内部一个标志位  $flag$  取反。当  $flag$  为 1 时, 输出端口  $adr\_out[9..0]$  输出一定规律的连续地址查表 RAM-1 024 B 存储器(里面存的是正弦波表), 控制输出正弦载波; 当已输出  $x$  个时,  $flag$  取反为 0, 则控制输出一个固定地址到 RAM-1 024 B, 这个固定地址里存为 0 值, 则此时输出 0 电平。循环下去即可实现 2ASK 调制。同理, 当选择输出 2PSK 时, 每当  $flag$  取反一次则将输出的正弦载波反相一次, 则就实现了 2PSK 调制。当选择输出 2FSK 时, 每当  $flag$  取反一次, 则分别将两个频率控制字送入自制 DDS 信号源, 从而控制输出了两个频率相互变化的 2FSK 输出。

### 3 电路调试及仿真

电路调试采用计算机仿真和硬件调试相结合的方式,以 QuartusII 5.0 为设计环境,用 Verilog HDL 硬件描述语言编程,完成各个功能模块的设计,并对设计好的各个模块进行仿真测试,再将各个模块相互连接。分配好 FPGA 的各个引脚后,对文件编译并将生成文件下载到 FPGA 中,完成设计。

#### 3.1 软件仿真

在 FPGA 内编译后,仿真时序如图 3 所示。

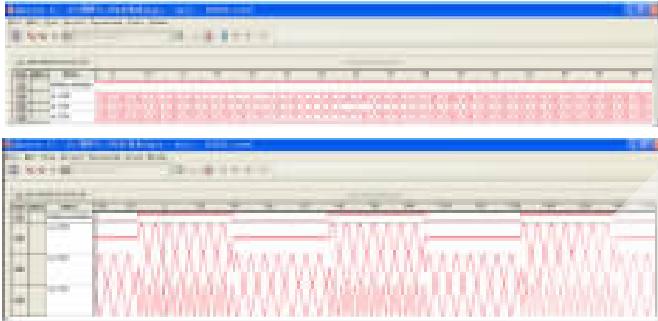


图 3 仿真时序图

#### 3.2 硬件调试

(1) 调制度 50% 的波形记录如图 4 所示。

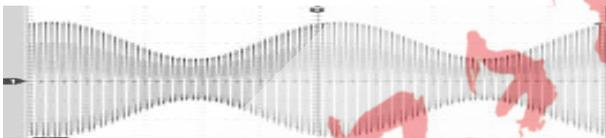


图 4 调制度 50% 调幅波形

让系统输出 AM 信号,人为设定载波频率和调制度,用示波器观察波形并记录结果。

(2) FM 信号测量。让系统输出 FM 信号,设定载波频率为 100 kHz,频偏 10 kHz,用示波器观察波形并记录结果。波形记录如图 5 所示。



图 5 载波频率 100kHz、频偏 10kHz 的 FM 信号波形

(3) 2PSK、2ASK、2FSK 信号测量。让系统输出 2PSK、2ASK、2FSK 信号(不能同时输出),按键输入二进制基带序列信号,用示波器观察波形并记录结果。

① 2PSK 波形记录如图 6 所示。



图 6 2PSK 波形

② 2ASK 波形记录如图 7 所示。

③ 2FSK 波形记录如图 8 所示。

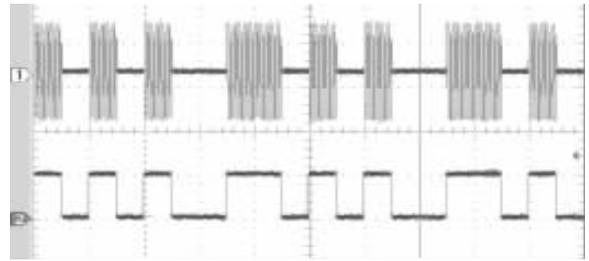


图 7 2ASK 波形

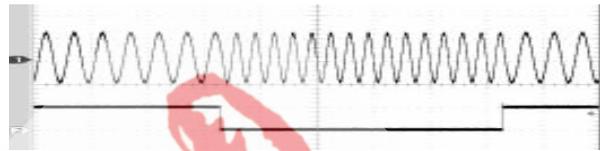


图 8 2FSK 波形

### 4 系统软件设计

本机用户界面设计采用多键切换方式,即每个工作模式都由一个对应的按键去触发,触发后再设置输出频率、调制度等参数,单片机根据用户输入的参数对硬件进行相应设置,主要包括写频率控制字、写幅度控制字等。软件流程如图 9 所示。

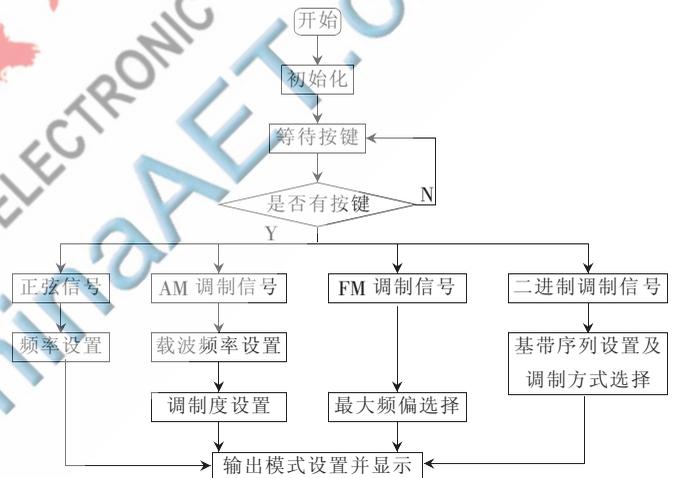


图 9 软件流程图

本文介绍的多功能正弦信号发生器可以输出频率可调的正弦波以及调制度可调的 AM、FM、FSK、PSK、ASK 波。实验证明,使用这种方法产生的波形具有稳定及高精度的特点,有一定的开发和生产价值。

#### 参考文献

- [1] 夏新凡,陈晓君.正弦信号发生器的设计[J].电子设计工程,2009(5):13-15.
- [2] 郝小江,罗彪.基于 FPGA 的函数信号发生器[J].电测与仪表,2008(5):49-51.
- [3] 黄根春,陈小桥,张望先.电子设计教程[M].北京:电子工业出版社,2007.

(收稿日期:2011-04-12)

#### 作者简介:

李璐,女,1990年生,本科生,主要研究方向:电路设计。

欢迎网上投稿 [www.pcachina.com](http://www.pcachina.com) 33