

文章编号:1671-7333(2009)03-0244-05

基于 FPGA 的信号产生与调制设计

杨 雷,汲伟明

(上海应用技术学院 机械与自动化工程学院,上海 200235)

摘要: 基于 FPAG 技术,对采样获得的 ROM 数据,通过功能模块对其进行选择乘法处理,并经 DAC 芯片加以转换。实现了信号的产生与调制(2ASK,2PSK,2FSK)。经过系统仿真、SignalTap II 分析以及在示波器上的观察显示,信号稳定可靠,高频谐波少。整个系统结构紧凑,实现灵活方便,可扩展性强。

关键词: FPGA; 信号发生器; 调制

中图分类号: TN 911.71; TN 741

文献标识码:A

Design of Signal Generator and Modulation Based on FPGA

YANG Lei, JI Wei-ming

(School of Mechanical and Automation Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China)

Abstract: Based on the FPGA technology, the signals were generated and modulated (2ASK, 2PSK, 2FSK) by multiplying the ROM data through function modules and transforming them with DAC chips. The system simulation, SignalTap II analysis and oscilloscope displays showed the steady and reliable, less high-frequency harmonics signals. The system implementation featured flexibility, and a compact design with good extensibility.

Key words: FPGA; signal generator; modulation

在很多工业应用方面,精确产生和控制各种频率、各种波形的信号的能力已成为关键技术。基于现场可编程门阵列(FPGA, Field Programmable Gates Array)技术设计的信号发生器,其产生的波形稳定,可控性高,弥补了专用的数字频率合成器芯片在控制方式、设置频率速度等方面与系统的要求差距,因而获得了广泛重视。

1 信号发生器实现的原理

1.1 信号发生器实现的方法和技术

信号发生器的实现一般有三种方法,即:(1)采用集成函数发生器产生波形;(2)采用传统的

频率法直接合成;(3)采用 FPGA 和 DAC(Digital to Analog Converter,数模转换器)。

本设计采用 FPGA 和 DAC 方法来产生正弦波。依靠 FPGA 内部构造的存储器存储所需波形的量化数据,按不同的频率要求以频率控制字 Fword 的位宽为步进,对相位增量进行累加,以累加相位值作为地址码读取存放在存储器内的波形数据,通过改变频率控制字来改变地址,而地址的快慢决定了查表的速度,即输出一个周期波形所需时间。最后经过 DAC 和幅值的控制就可以实现所需波形。

1.2 信号发生器产生原理

以正弦信号为例,如图 1 所示,把它看成一个矢量旋转式的相位圆振动。每个相位圆上的点和

收稿日期:2009-04-23

作者简介:杨 雷(1987-),男,机械与自动化工程学院 05103341 班学生。

正弦波周期上的点一一对应。由于矢量圆围绕中心转动,通过正弦波角度的变化产生与之对应的正弦波输出。矢量以恒定的速度围绕相位圆旋转一周,就产生了一个完整周期的正弦波^[1]。

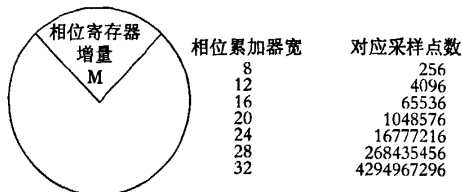


图1 相位圆振动图

2 基于FPGA的信号发生器正弦波实现

通过FPGA内部的控制模块来计算并产生正

弦波所需的频率控制字和相位控制字,然后将控制字输入ROM以产生波形数据输出。在每一个时钟周期,频率累加器以输入的频率字Fword为步进进行自增累加;累加结果的高位被送给相位累加器与相位字进行累加;相位累加器的高10位输出作为波形查找的地址,从地址表中读出相应的数据后送给DAC进行转换,最后经过低通滤波、后级放大等信号调理电路形成模拟量的波形输出。

2.1 信号发生器的电路系统

本设计采用康芯公司的KX-DVP实验系统板,主芯片为Altera的EP1C3,DAC转换芯片为THS5651,将转换结果输入放大器THS4001实现信号的放大,经低通滤波输出。系统框架见图2所示。

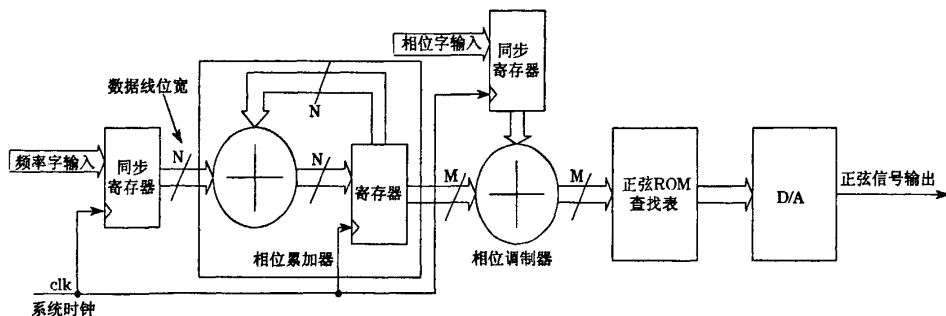


图2 系统框架图

2.2 正弦波采样点数据的获取

Quartus II支持使用.mif文件格式来初始化存储器,因此可以通过Matlab来生成其中所需的1024个正弦波采样数据,其命令为:

$$\text{wave} = \text{round}(127 * \sin([0:2 * \pi / (2 \wedge 10):2 * \pi])' + 128)' \quad (1)$$

将采样数据复制到Quartus II中的Memory Initialization File中,生成所需的Rom_data.mif

文件,以作为正弦波产生的ROM数据使用^[2]。

2.3 Quartus II的实现

为了直观方便地在顶层连接系统中各个模块,本系统中采用原理图的方式进行顶层设计,见图3。

由于Altera公司的EP1C3器件自带1个锁相环(PLL)和ROM,通过Quartus II提供的MegaFunction宏功能模块生成PLL和ROM模块。经过编译,可以仿真以验证其功能,如图4所示^[3]。

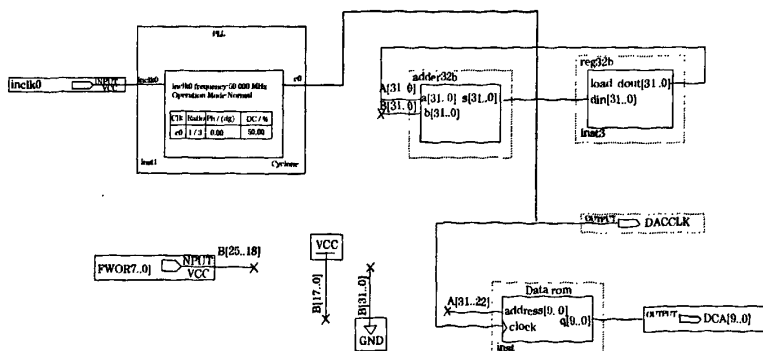


图3 正弦波信号发生器顶层原理图

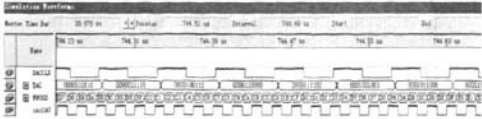


图 4 正弦波信号仿真图

SignalTap II (嵌入式逻辑分析仪)集成到 Quartus II 设计软件中,能够捕获和显示可编程单芯片系统(SOPC)设计中实时信号的状态,从而可以在整个设计过程中以系统级的速度观察硬件和软件的交互作用^[4]。正弦波的 Signal Tape II 显示见图 5。

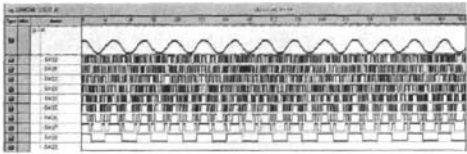


图 5 正弦波信号 SignalTapII 图

2.4 正弦波的示波器观察

通过 USB-Blaster 编程方式将文件通过 JTAG 下载端口下载到实验系统中,并在 GW-SIO DAC 转换板上加上 ±12 V 的电压,以供 THS4001 工作使用。通过 Agilent DSO8064A 示波器观察到的正弦波如图 6 所示,可以看出该系统获得的正弦波非常稳定,几乎没有高频干扰。

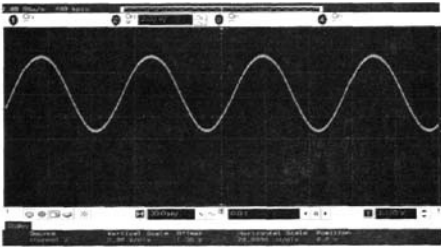


图 6 正弦波的实现

3 信号的调制

在通信系统中,调制是将物理信号转换为信道信号或发送信号,其主要作用有:便于发送和接收;提高接收端输出信号质量(信噪比 SNR,误码率);实现多路复用。可以说,调制技术是通信系统的核心,不同的调制方式(ASK,FSK,PSK 等)形成通信系统的不同体制,从而决定各种通信系统的基本性能^[5]。

利用上述 FPGA 的信号发生器正弦波的实现,通过对 ROM 输出数据的适当处理和控制在方便地实现信号的调制。在整个信号调制系统共分为分频器,m 序列产生器,2:1 数据选择器等部分。

3.1 2ASK 调制的实现

二进制振幅键控信号码元的表达式如下:

$$s(t) = A(t)\cos(2\pi f_c t + \theta), \quad 0 < t \leq T \quad (2)$$

式中: f_c 是载波中心频率, $A(t)$ 是随基带调制信号变化的时变振幅, θ 是初始相位,即

$$A(t) = \begin{cases} A & \text{当发送“1”} \\ 0 & \text{当发送“0”} \end{cases} \quad (3)$$

产生二进制振幅键控信号的方法:

(1) 相乘电路法:用基带信号 $A(t)$ 和载波 $\cos 2\pi f_c$ 相乘就得到已调信号的输出。

(2) 采用开关电路:这里的开关由输入基带信号 $A(t)$ 控制,这种方法输出的波形是断续的正弦波形。

3.1.1 相乘电路法

相乘电路法调制实现的顶层图如图 7 所示,通过 M_sequence_form 模块产生“1110010”序列,利用 shft8 模块实现当输入“1”时,对 ROM 的数据原样输出,当输入为“0”时,对 ROM 数据进行右移 1 位输出,从而实现 50% 幅值的波形。电路获得的波形如图 8 所示。

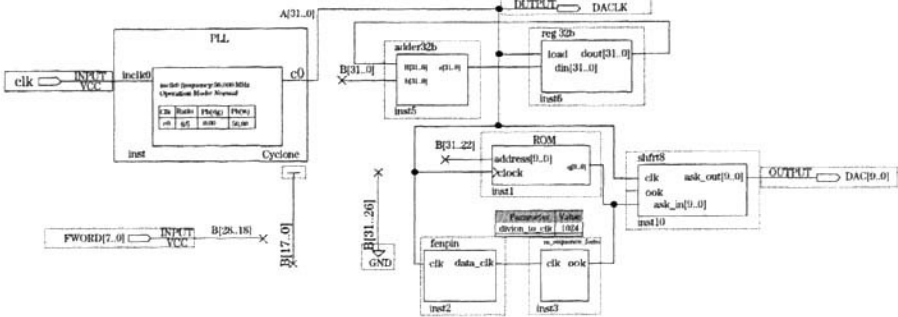


图 7 相乘电路法顶层图

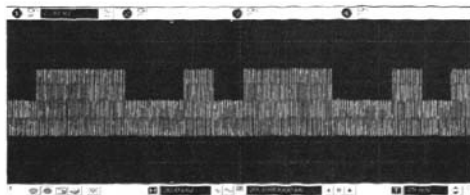


图 8 示波器实现相乘电路法 2ASK 波形图

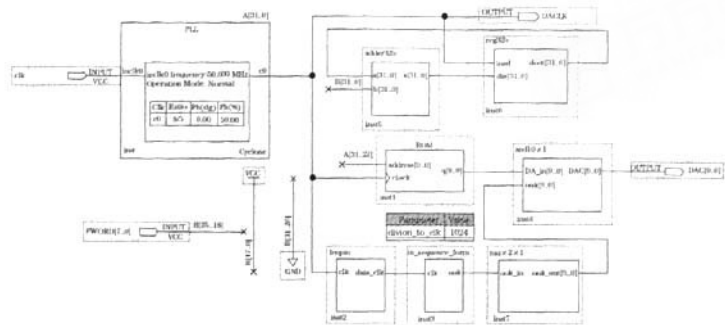


图 9 OOK 实现电路图

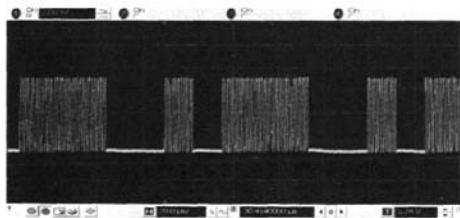


图 10 OOK 示波器实现

3.2 2FSK 调制的实现

将二进制码元“0”对应载波 $A \cos 2\pi f_1 t$ ，“1”对应载波 $A \cos 2\pi f_2 t$ ，则形成 2FSK 信号。可以写成如下表达式：

$$s(t) = \sum_n \bar{a}_n g(t - nT_s) A \cos(2\pi f_1 t + \varphi_n) + \sum_n a_n g(t - nT_s) A \cos(2\pi f_2 t + \theta_n) \quad (4)$$

当 $a_n = 1$ 时,对应的传输信号频率为 f_2 ;当 $a_n = 0$ 时,对应的传输信号频率为 f_1 。上式中, φ_n 、 θ_n 是两个频率波的初相。

2FSK 电路顶层图如图 11 所示,其中通过 fcnpin 模块产生 40 M 的频率,M_sequence_form 模块产生“1110010”序列,利用数据选择器 Mux2x1 模块对输入的频率进行控制,当选择器输入为“1”时,输出的波形频率为 80M,当输入为“0”时,输出的波形频率为 40M,电路获得的波形图如图 12 所示。

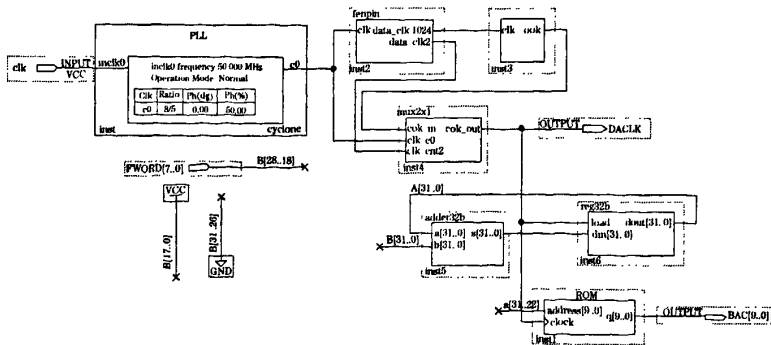


图 11 2FSK 电路原理图

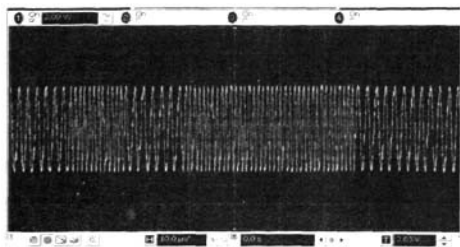


图 12 2FSK 的示波器实现

3.3 2PSK 调制

将二进制码元“0”对应相位为 π 的载波 $-A \cos 2\pi f_c t$, “1”对应载波相位为 0 的载波 $A \cos 2\pi f_c t$, 则 2PSK 信号可以写成如下表达式^[6]:

$$s(t) = \left\{ \sum_n a_n g(t - nT_s) \right\} A \cos 2\pi f_c t \quad (5)$$

其中,

$$a_n \in \{+1, -1\},$$

$$g(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T_s \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

2PSK 电路顶层图如图 13 所示,其中通过 M_sequence_form 模块产生“1110010”序列,利用数据选择器 Mux2x1 模块对输入地址数据进行控制,当选择器输入为“1”时,输出的地址从“00000000~111111111”开始读取,正相输出,即 $A \cos 2\pi f_c t$. 当选择器输入为“0”时,输出的地址从“111111111~000000000”开始读取,负相输出,即 $-A \cos 2\pi f_c t$. 电路获得的波形图如图 14 所示。

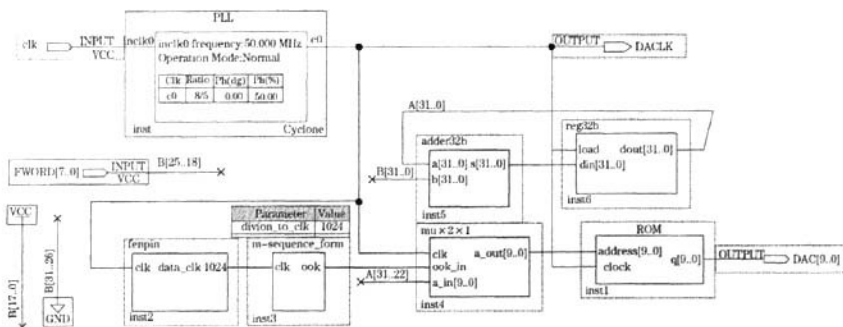


图 13 2PSK 的电路原理图

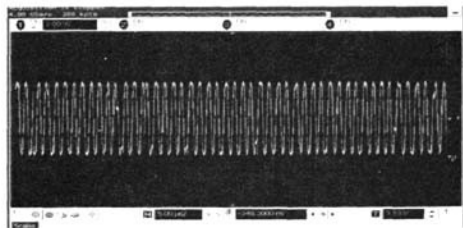


图 14 2PSK 的示波器实现

4 结论

本设计利用 FPGA 技术实现了正弦波的产生,并在此基础上通过对 ROM 输出数据的适当处理和控制在,实现了对其信号的调制(2ASK, 2PSK, 2FSK)。示波器显示所获得的波形稳定,高频干扰小。采用 FPGA 和 DAC 实现正弦波的

产生,电路简单,灵活,能实现各种扩展功能。

参考文献:

- [1] 潘松,黄继业. EDA 技术实用教程[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 郑亚民,董晓舟. 可编程逻辑器件开发软件 Quartus II[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [3] 潘松,黄继业. EDA 技术与 VHDL[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [4] 茅丰,郭伟. 基于 FPGA 的液晶驱动设计[J]. 上海应用技术学院学报(自然科学版), 2006, 6(3): 184-187.
- [5] 华容. 基于卷积混叠传输信号的去噪[J]. 上海应用技术学院学报(自然科学版), 2006, 6(1): 12-18.
- [6] 郭文彬,桑林. 通信原理—基于 Matlab 的计算仿真[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.