

# DDS 任意波形发生器研究

张博君

(西安电子工程研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 工程实践中往往会应用到多种信号形式的信号源。为了实现信号源中信号的多样性, 采用直接数字频率合成技术设计了一种任意波形发生器。波形存储器中存储的波形数据是任意波形发生器的关键, 详细说明了使用 Matlab 生成波形存储器中波形数据的方法。采用上述方法得到了一种工程实践中常用的扫频信号仿真波形图。实验表明, 所设计的任意波形发生器实现简单, 可编程, 适合广泛应用于工程实践中。

**关键词:** 直接数字频率合成; 任意波形发生器; Matlab 波形存储器; 波形数据

中图分类号: TN911-34

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2012)14-0100-03

## Research of arbitrary waveform generator for DDS

ZHANG bo-jun

(Xi'an Electronic Engineering Research Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** The signal sources in the various forms are often applied to engineering practice. In order to realize the signal diversity of signal sources, an arbitrary waveform generator was designed with the direct digital frequency synthesis technology. The waveform data stored in waveform memory is the key of the arbitrary waveform generator. A method to generate the waveform data in waveform memory by Matlab is described in detail. A swept frequency signal simulation oscillogram usually used in engineering practice was obtained by the above method. The arbitrary waveform generator designed with this method is easy to realize, programmable and suitable for engineering application.

**Keywords:** direct digital frequency synthesis; arbitrary waveform generator; Matlab; waveform memory

近年来频率合成技术得到了迅速的发展, 目前主要有直接模拟频率合成、锁相频率合成、直接数字频率合成和混合式频率合成四种技术<sup>[1]</sup>。其中, 直接数字频率合成技术以其相对带宽宽, 转换时间短, 分辨率高, 输出相位连续, 可产生宽带正交信号及其他多种调制信号、可编程、全数字化, 以及控制灵活方便等特性, 近年来得到普遍应用。而任意波形发生器的特点是可产生任意可以设计的波形, 结合 DDS 技术实现了目前信号源的功能, 适合各种仿真和测试要求, 极大方便了设计和调试。

### 1 DDS 基本原理

直接数字合成技术 (Direct Digital Synthesis, DDS) 是建立在采样定理基础上, 通过控制频率控制字对需要产生的波形进行采样, 将采样值数字化后存入存储器作为查找表, 然后通过查表读取数据, 再经 D/A 转换器转换为模拟量, 将保存的波形重新合成出来<sup>[2]</sup>。其基本原理框图如图 1 所示。

DDS 系统主要由参考时钟、相位累加器、正弦查找

表、D/A 转换器和滤波器组成。除滤波器之外, DDS 系统都是以数字集成电路实现, 因此 DDS 系统易于集成和小型化。DDS 系统的参考时钟源通常是一个具有高稳定性的晶体振荡器, 为整个系统的各个组成部分提供同步时钟。频率控制字实际上是相位增量值 (二进制编码), 作为相位累加器的累加值。相位累加器在每一个参考时钟脉冲输入时, 将相位数据与频率控制字相加, 相位寄存器可以将加法器在上一个时钟作用后产生的新相位数据反馈到加法器的输入端, 使加法器在下一个时钟作用下继续将相位数据与频率控制字相加。当相位累加达到上限时, 就会产生一次溢出, 完成一个周期性的动作, 这个周期就是合成信号的一个周期, 累加的溢出频率也就是 DDS 合成信号的频率。由于相位寄存器的输出连接在波形存储器 (ROM) 地址线上, 因此其输出的改变就相当于查表, 相位数据与频率控制字相加一次, 查表一次。这样就可把存储在波形存储器内的波形抽样值 (二进制编码) 经查找表查出。查表后的结果送到 D/A 转换器, 经 D/A 转换器转换成模拟量输出。最后经滤波器平滑处理, 即可得到由频率控制字决定的连续变化的正弦波。

收稿日期: 2012-02-11

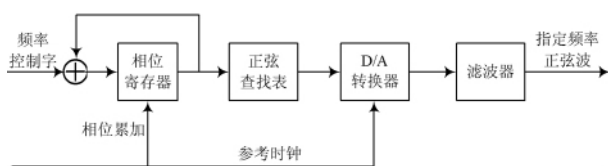


图 1 DDS 结构原理图

## 2 基本参数及其计算

在系统时钟脉冲的作用下,相位不停累加,即不停查表,把波形数据送到 D/A 转换器转换成模拟量输出,从而合成波形。滤波器则进一步平滑 D/A 转换器输出的近似正弦波的锯齿阶梯波,同时衰减不必要的杂散信号<sup>[3]</sup>。设频率控制字的值为  $K$ ,系统时钟频率为  $f_s$ ,相位寄存器  $N$  位,则系统的输出频率为:

$$f = K \cdot f_s / 2^N \quad (1)$$

由式(1)可看出,当  $K=1$  时,输出频率  $f_{\min}$  最小,即 DDS 系统的最小输出频率为:

$$f_{\min} = f_s / 2^N \quad (2)$$

$f_{\min}$  也称为 DDS 系统的频率分辨率(或频率间隔)。

输出频率最大值为:

$$f_{\max} = K_{\max} \cdot f_s / 2^N \quad (3)$$

通过控制频率控制字的改变和寄存器位数的增加,可以得到令人满意的频率。

## 3 DDS 任意波形发生器设计方案

### 3.1 系统原理

DDS 任意波形发生器原理框图如图 2 所示。

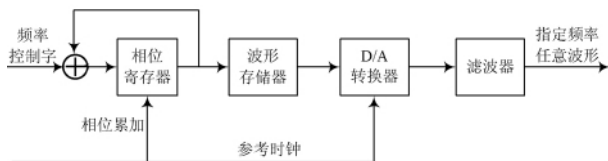


图 2 DDS 任意波形发生器原理框图

由图可以看出,可以在波形存储器(ROM)中储存一个周期任意波形信号,每个周期由若干波形点构成,每个点与相位一一对应,相当于一个相位/振幅变换器。通过设置频率控制字及相位寄存器位数,对存储波形进行采样,得到采样相位对应的振幅信息。振幅信息通过 D/A 转换器生成阶梯波形,经过滤波得到需要的波形。

### 3.2 波形数据的生成

任意波形发生器的关键是波形的任意性,而实现这一功能的关键是在波形存储器(ROM)中存储波形数据。构成 ROM 中初始化波形数据文件的格式有两种:Memory Initialization File(.mif)格式和 Hexadecimal (Intel-Format)File(.hex)格式,实际应用中使用其中一种格式的文件即可。本文着重介绍.mif 文件的生成

方法<sup>[4]</sup>。

利用 Matlab 可以生成.mif 文件,但此文件不能直接在定制 ROM 中使用,可以把 Matlab 计算出来的数据粘贴到 Quartus II 中生成.mif 文件,以三角波为例说明。

图 3 是利用 Matlab 生成的三角波波形。

Matlab 生成三角波数据的程序:

```
clear
clc
Fs = 1023; %只要 1 024 个值
t=0:0.2/Fs:0.2;
x1=round((sawtooth(2*pi*5*t,0.5)+1)/2*255)'; %三角波归一化

plot(t,x1),axis([0,0.2,0,255])
len=length(x1) %len=1024
fid=fopen('d:\delta_rom.mif','w'); %为幅度值的存储准备一个文件
fprintf(fid,'MEMORY_INITIALIZATION_RADIX=16;
\n');
fprintf(fid,'MEMORY_INITIALIZATION_VECTOR=
\n');
for i=1:len %len=1024
fprintf(fid,'%x,\n',x1(i)); %循环将值写入文件中
end
fclose(fid);
```

打开 Matlab 的 Workspace 中参量  $x_1$ ,复制里面生成的 1 024 个数据。在 Quartus II 中打开 ROM 数据文件编辑窗<sup>[5]</sup>,即 File\New\Other files\Memory Initialization File,根据 DDS 设计要求,设置 ROM 的数据数 Number 为 1 024,数据宽 Word size 取 8 位,把 Matlab 中的波形数据粘贴入.mif 数据表格,保存此数据文件即可。若希望生成其他波形数据,只需修改程序中“ $x_1=\text{round}((\text{sawtooth}(2 * \pi * 5 * t, 0.5)+1)/2 * 255)'$ ”语句即可。

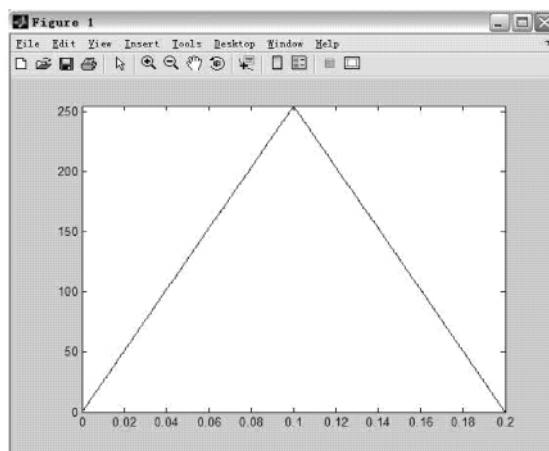


图 3 Matlab 中三角波波形

生成.mif 文件后,就可以定制 ROM 元件,很多资料中都有详细介绍,这里不再详述。当在 ROM 元件中存储任意波形后,依照前述设置频率控制字、相位寄存

器位数等参数,对存储的波形进行采样,从而得到期望频率的任意波形。

### 3.3 扫频信号的产生

利用 DDS 技术的调制特性可以方便地产生扫频信号,仅需控制 DDS 的频率控制字  $K_i$ ,让其随预期设计的规律变化即可<sup>[6]</sup>。

为了采用 DDS 实现扫频信号扫频带宽范围内的各个频点  $f_i$ ,需要为其确定相应的频率控制字  $K_i$ ,利用式(1)可以很容易地计算出各个频点对应的一系列  $K_i$  值。与 DDS 的基本原理类似,将符合设计要求的一系列  $K_i$  值存储在一张查找表中<sup>[7]</sup>。再利用一个计数器循环计数,将其输出作为查找表的寻址地址,以此不断地循环读取查找表中的各个  $K_i$ 。这样就可以使受  $K_i$  控制的 DDS 输出始终在所预期设计的各个频点  $f_i$  上变化,达到扫频的目的。其中,计数器循环一次的时间就是所要实现扫频信号的扫频周期,而计数器的计数范围则与扫频信号扫频带宽范围内的频点个数相对应<sup>[8]</sup>。

图 4 为扫频信号仿真波形。

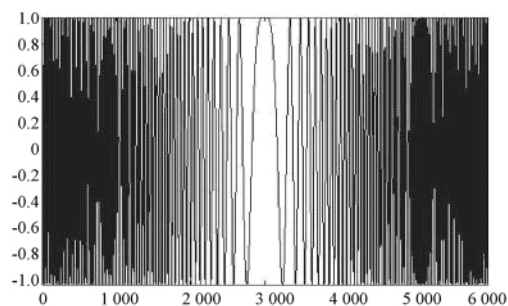


图 4 扫频产生波形

作者简介:张博君 男,1979 年出生,山东济宁人,硕士,工程师。研究方向为雷达总体设计及调试。

(上接第 99 页)

- [6] TURK M, PENTLAND A. Eigenfaces for recognition [J]. Cognitive Neurosci, 1991, 3(1): 71-86.
- [7] KWON O W, LEE T W. Phoneme recognition using ICA-based feature extraction and transformation [J]. Signal Processing, 2004, 84(6): 1005-1019.
- [8] HE X, NIYOGI P. Locality preserving projections: advances in neural information processing systems [M]. Cambridge: MIT Press, 2004.
- [9] HU Den-wen, FENG Gui-yu, ZHOU Zong-tan. Two-di-

## 4 结 语

任意信号发生器实现简单,可编程,集成化程度高,体积小,越来越广泛地应用于工程实践中,非常适合调试和测试的需求。

## 参 考 文 献

- [1] 赵曙光. 可编程逻辑器件原理、开发与应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2000.
- [2] 郝迎吉,王长乾,王荣刚. 基于 DDS 三相数字信号源的设计[J]. 电子设计工程,2007(9):57-59.
- [3] 余勇,郑小林. 基于 FPGA 的 DDS 正弦信号发生器的设计和实现[J]. 电子器件,2005,28(3):595-599.
- [4] 求是科技. Matlab 7.0 从入门到精通[M]. 北京:人民邮电出版社,2006.
- [5] 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.
- [6] 李雪梅,张宏财,王学伟. 基于 DDS 技术的信号源设计[J]. 电测与仪表,2010,47(1):55-56.
- [7] 费元春,苏广川,米红,等. 宽带雷达信号产生技术[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [8] 钱朝晖. 采用 DDS 技术的高性能雷达信号源[J]. 现代雷达,2002,24(4):50-52.
- [9] Analog Devices. AD9910 preliminary technical data [EB/OL]. [2012-04-06]. <http://www.datasheetking.com/AD9910-datasheet.html>.
- [10] Analog Devices. CMOS 300 MSPS complete DDSAD9852 datasheet [EB/OL]. [2012-03-04]. [www.doc88.com/p-504541624780.html](http://www.doc88.com/p-504541624780.html).

- mensional locality preserving projections (2DLPP) with its application to palmprint recognition [J]. Pattern Recognition, 2007, 40(1): 339-342.
- [10] YU Wei-wei. Two-dimensional discriminant locality preserving projections for face recognition [J]. Pattern Recognition, 2009, 50(15): 1378-1383.
- [11] 王庆刚,李见为. 具有局部结构保留性质的 PCA 改进算法[J]. 模式识别与人工智能,2009,22(3):387-392.
- [12] SHANNON C E. A mathematical theory of communication [J]. Bell System Technical Journal, 1948, 28: 379-423.

作者简介:刘金莲 女,1987 年出生,四川自贡人,在读硕士研究生。研究方向为模式识别、人工智能。

王洪春 男,1967 年出生,四川大竹人,博士后,副教授、硕士生导师。研究方向为模式识别、人工智能、概率统计。