

# 基于 DDS 的波形信号发生器的设计

詹艳艳

(沈阳理工大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**直接数字合成技术(Direct Digital Synthesis, 简称 DDS)将先进的数字处理技术与方法引入频率合成领域,优越的性能和突出的特点使其成为现代频率合成技术中的佼佼者.应用 AD 公司的直接数字频率合成芯片 AD9954 作为核心并以 TI 公司的 TMS320C5509A 数字信号处理芯片作为控制部分,基于 DDS 技术结合水声实验的应用背景设计一种结构简便、性能优良的任意波形通信信号发生器.实验测试表明,该发生器不仅能产生正弦、余弦、方波、三角波和锯齿波等常见波形,而且还可以利用各种编辑手段,产生传统函数发生器所不能产生的真正意义上的任意波形.

**关键词:**DDS 技术;信号发生器;AD9954;TMS320C5509A

**中图分类号:**TM935.25      **文献标识码:**A

## A Design of Waveform Signal Generators Based on DDS

ZHAN Yan-yan

(Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** Direct digital synthesis (DDS) brings advanced digital processing technology and method in frequency synthesis area. It became the best one because of its ascendant performance and characteristic. Using the AD9954 DDS chip of the AD Inc. as the kernel and the TMS320C5509A DSP chip of the TI Inc. as the control part, based on DDS technology with underwater acoustic background of the application, a excellent communication signal generator with arbitrary waveform and simple structure is designed. Experimental tests show that the generator can produce not only sine, cosine, square, triangle, sawtooth waves, and other common waveform, but can also use various means to edit and produce the arbitrary waveform that the traditional function generator can not produce.

**Key words:** DDS (Direct Digital Synthesis) technique; signal generator; AD9954; TMS320C5509A

在现代声纳、雷达等通信系统测试与仿真中都需要高精度的任意的波形信号,任意波形信号

的重构技术也是声学 and 语音信号合成等应用领域中的关键技术之一<sup>[1]</sup>.在通信对抗的研究中,为了模拟真实场景,通信信号发生器也是不可或缺的仪器.而市面上的通信信号发生器价格十分昂贵,功能也比较简单,因此开展任意波形的通信信号

收稿日期:2008-03-25

作者简介:詹艳艳(1981—),女,助教,硕士研究生.研究方向:信号与信息处理.

的高精度重构方法研究工作,具有重要的理论意义和实用价值。

信号发生器技术发展至今,引导技术潮流的仍是国外的几大仪器公司,如日本横河、Agilent、Tektronix 等.美国的 FLUKE 公司的 FLUKE - 25 型函数发生器是现有的测试仪器中最具多样性功能的几种仪器之一,它和频率计数器组合在一起,在任何条件下都可以给出很高的波形质量,能给出低失真的正弦波和三角波,还能给出过冲很小的快沿方波,其最高频率可以达到 5MHz,最大输出幅度也达到 10Vpp. 国内也有不少公司已经有类似的仪器.如南京盛普仪器科技有限公司的 SPF120DDS 信号发生器,华高仪器生产的 HG1600H 型数字合成函数/任意波形信号发生器。

DDS 技术和信号发生器的应用日益广泛,但目前可以产生多种通信信号的仪器数量并不是很多而且价格非常昂贵.在现代的通信对抗和通信监测研究中,人们使用的基于 DDS 技术的任意波形发生器,过程比较繁琐,信号参数改变时需重新产生和输入数据,操作也不很方便,使 DDS 技术的使用受到了限制<sup>[2]</sup>.如何合理地基于 DDS 研制出一种新型的结构简便、易于操作、成本低廉的多路通信任意波形信号发生器是本文的主要内容。

## 1 硬件设计

设计的任意波形信号发生器<sup>[3]</sup>主要可以分为以下几个部分:(1)直接数字频率合成部分;(2)信号处理产生和控制部分;(3)CPLD 存取数据部分<sup>[4]</sup>; (4)滤波器部分;(5)电源部分.连接逻辑图如图 1 所示。

直接数字频率合成部分是整个系统的核心部分,信号发生器的大部分常规信号正余弦波形、方波信号、ASK、FSK、PSK、跳频、扫频、调频等信号都是由这个模块产生的.产生的数字信号通过芯片内部集成的 D/A 转换器变成模拟波形,再通过滤波器产生所需要的各种信号。

信号处理产生和控制部分主要是 DSP 部分,它是整个系统的控制中心,这个部分主要完成以下一些工作:(1)控制并配合 DDS 部分产生常用

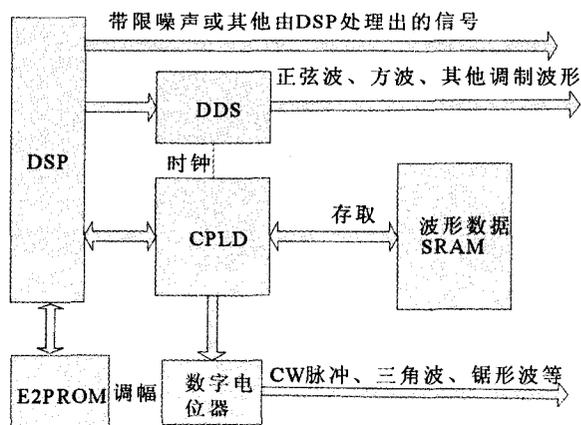


图1 硬件系统框图

的波形和调制信号;(2)与 ARM 主控制机进行通信,执行相应的操作,并进行处理数据的任务;(3)进行信号数据处理,产生 DDS 部分无法产生的波形信号,如三角波、锯齿波、带限白噪声等常用的信号波形;(4)控制 CPLD,并把上一步中所得的数据存入 SDRAM 中,以备需要时使用。

CPLD 存取波形数据部分是产生另外一些非周期信号的关键,它利用 DDS 所提供的高精确度的方波时钟,与 DSP 控制部分通信,也可产生频率分辨率很高的信号.此外,CPLD 还控制信号选通开关,让相应的信号进入滤波器,并且控制能够使信号幅度调节的电位器,为用户得到需要的波形。

滤波器部分是为了得到性能良好的波形信号、降低干扰的重要模拟部分,由有源和无源滤波器构成.有源滤波器的设计引入了有源元件—集成运算放大器,由于运算放大器具有近似理想的特性,且可以省去电感,因此可以得到接近理论预测的频率响应特性,并能减小体积.但由于受到运放带宽的限制,有源滤波器的滤波频带一般不是很高.无源滤波器采用分立元件进行设计,其频率范围比较宽,因此一般用于高频设计.巴特沃斯型滤波器具有最平坦的通带幅频特性,考虑到巴特沃斯低通滤波器对于元器件的精确度要求不是很高,分别设计了有源 4 阶巴特沃斯低通滤波器和 10 阶线性相位低通滤波器来满足不同的需要。

DDS 芯片采用 AD 公司的 AD9954<sup>[5]</sup>高集成度 DDS 器件.它内置高速、高性能 D/A 转换器及超高速比较器,可作为数字编程控制的频率合成器,最高能产生 200MHz 的模拟正弦波. AD9954 内含 1024 × 32 位静态 RAM,利用该 RAM 可实现

高速调制,并支持几种扫频模式. AD9954 也支持自定义的线性调频操作模式. AD9954 可实现快速变频且具有良好的频率分辨率. 频率控制字可以通过串行 I/O 口输入. 其应用范围包括灵敏频率合成器、可编程时钟发生器、雷达和扫描系统的线性调频信号源、测试和测量装置以及声学 and 光学的驱动设备等.

TMS320C5509A<sup>[6]</sup> DSP(以后简称 C5509A)是美国德州仪器公司生产的 TMS320 系列 DSP 芯片中的一种. TMS320 系列包括定点(fixed-point)、浮点(floating-point)和多处理器(multiprocessor)等 3 种类型的数字信号处理器(DSP). 它的结构是专门针对实时(real-time)信号处理而设计的,具有指令灵活、可操作性强、速度快以及支持并行运算和 C 语言编程等特点. 是一类性价比较高的 DSP,在通信设备中得到了广泛的应用.

CPLD 芯片为 ALTERA 公司的 MAX II 器件系列中的 EPM570T144C3. EPM570T144C3 内部有 570 个逻辑单元,相当于 440 个宏单元,此前常用的 EPM7128 只有 128 个宏单元. EPM570T144C3 内部分为两个 I/O bank,共 116 个通用 I/O,引脚延时为 8.8ns. 满足系统的设计要求.

## 2 软件设计

### 2.1 单频信号的产生

采用 AD9954 的单频模式<sup>[7]</sup>产生单频信号. AD9954 的上电模式即为单音频模式,此种模式下 RAM 未能使不可用,DDS 核使用的是单一的控制字. 寄存器 FTW0 驱动频率转换寄存器,POW 驱动相位偏移器. 其中 FTW0 是 32 位的寄存器,POW 是 14 位的寄存器.

程序设计流程图如图 2 所示,可以通过设置 CFR < 12 > 来控制输出为正弦或者余弦信号,默认为余弦信号. 设置模拟 SPI 口之后,对 DSP 的时钟和串口方式进行设置<sup>[8]</sup>,然后配置 AD9954 的 CFR1、CFR2、FTW0 和 POW0. 给 I/UPDATE 引脚一个上升沿之后,系统即可输出与 FTW0 相对应频率的单频信号,如图 2 所示.

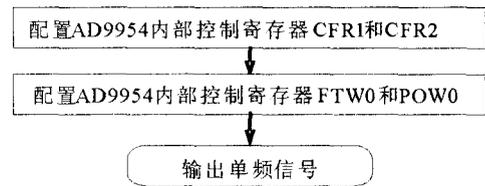


图2 单频信号产生的流程图

### 2.2 FSK 或 PSK 信号的产生

采用 AD9954 的 RAM 的 Direct Switch 模式产生 FSK 和 PSK 信号,此种模式下各个 RAM 段只有首地址的数据有效,不支持扫频模式,通过 PS < 1:0 > 的值控制 RAM 段的选择. 由于不同 RAM 段首地址存放的数据不同,所以选择不同的 PS < 1:0 > 就选择了不同的数据来驱动相位累加器或者相位偏移器,从而达到了 FSK 或者 PSK 的效果. 使用两个 RAM 段可以实现 BPSK 或者 2FSK,使用 4 个 RAM 段则可以实现 4FSK 或者 4PSK. 设置 CFR1 < 30 > 的值可以实现 FSK 或者 PSK. 2FSK 的程序设计流程图如图 3 所示.

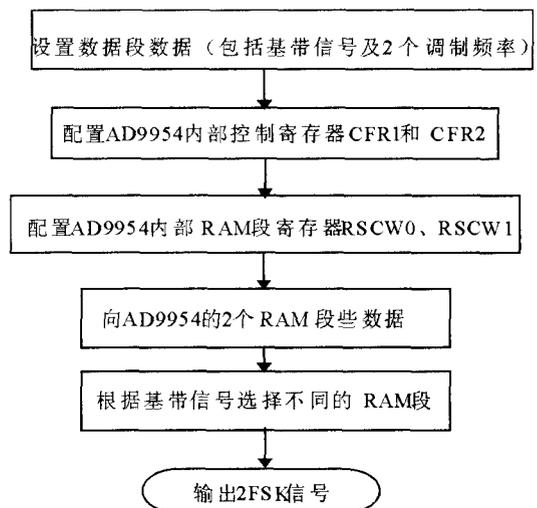


图3 FSK 产生流程图

设置模拟 SPI 口之后,在程序末端开辟数据区,写入基带信号和 2 个载波频率值,接着配置 AD9954 的 CFR1、CFR2、RSCW0 和 RSCW1 寄存器,为方便起见,可以使每个 RAM 段都为 1 × 32 位. 定义 2 个段的起始地址和工作方式 000 即 Direct Switch 模式之后,将数据区的数据写入 2 个 RAM 段,最后根据基带信号的 0、1 改变 PS0、PS1 的值,就能输出相应 RAM 段首地址数据对应频率

的信号,即产生了 2FSK 信号.

### 2.3 非周期信号的产生

信号发生器仅仅产生常规信号还不能满足日常实验的需求,在很多实验中,尤其是水声方面的实验,非周期信号经常会被用到,所以,能够产生非周期信号是设计的信号发生器灵活性、全面性的重要体现.

非周期信号可以按两类产生:第一种是可以由数学公式表达的,对于这样的信号,可以通过数学公式,得到它们重要的特征参数,经 SPI 口传送到 DSP 中进行计算,并且得到要求数量的采样点,然后将采样点传输到 SDRAM 中,当需要时就可以通过读取 SDRAM 中的数据样本点产生信号;第二种是不可用数学公式表达的非周期信号,这样的信号在实际生活中很多,在实验中也会经常用到,比如水下鱼雷爆破的冲击信号,在水声实验中很重要.对于这样的信号,可以通过主机直接提取信号的样本点,然后下载到 SDRAM 中,需要时读取数据得到信号.非周期信号的产生流程图如图 4 所示.

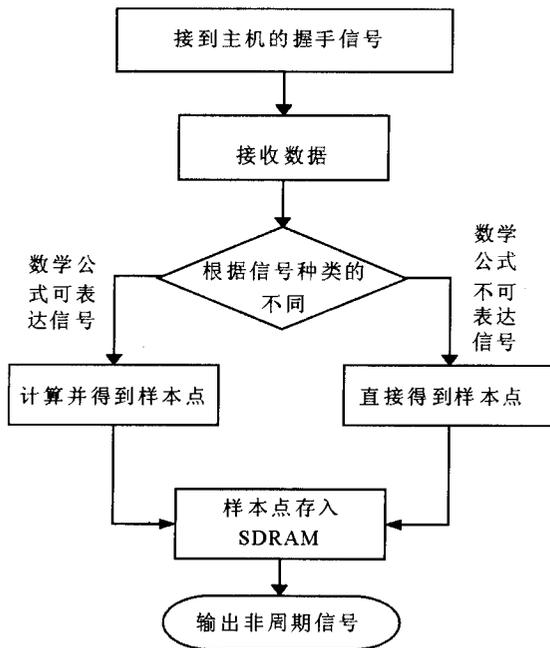


图4 非周期信号产生的流程图

## 3 实验结果

### 3.1 单频信号的测试

单频信号是设置 AD9954 在 Single Tone 模式下进行测试的.由公式计算出单频对应的频率控制字,即可产生单频信号,更改频率控制字,则可产生不同频率的单频信号.本文测试了 10Hz 到 15kHz 频率之间的输出波形的具体情况.如图 5 所示,分别为 10Hz 和 15kHz 频率点的波形图.

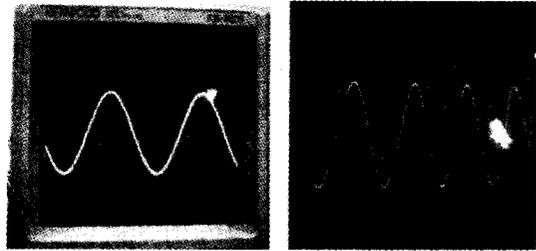


图5 单频信号的测试

### 3.2 2FSK 信号测试

2FSK 信号通过设置 AD9954 在 Direct Switch 模式下进行测试, RAM0 和 RAM1 设置的频率值分别为 8kHz 和 7.5kHz. 设  $PS0 = 0$ , 根据基带信号 0 或 1 改变  $PS1$  的值为 0 或 1 即可产生 2FSK 信号. 测试结果如图 6 所示, 可见当基带信号由 1 变为 0 时, 输出信号的频率由 8kHz 变为 7.5kHz; 当基带信号由 0 变为 1 时, 输出信号的频率由 7.5kHz 变为 8kHz.

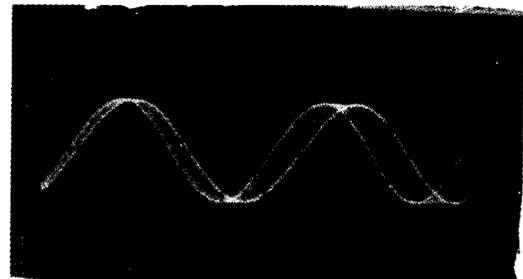


图6 2FSK 信号测试

### 3.3 非周期信号的测试

验证了当主机能够给出样本点或者信号特征参数时, DSP 所能仿真生成的信号的准确性. DSP

仿真输入的波形图由采样数据依次读入获得,只要采样点数够多,它的波形图非常标准,不会出现偏差和失真.由图 7 可见,DSP 仿真输出结果是输入数据点数的周期输出,波形连续不断,周期性复现,而且平滑流畅.

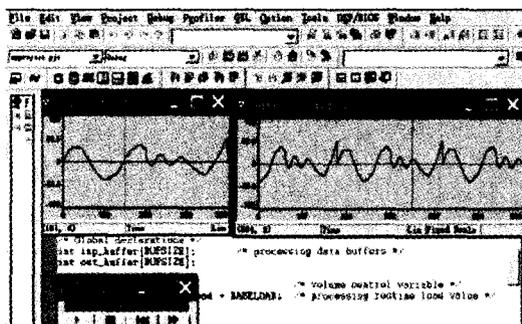


图 7 非周期信号的测试

## 4 结论

本文完成了通信信号发生器的系统设计、硬件 PCB 设计和实现,和相应的产生信号的软件设计.经过测试,该信号发生器可以产生 0.1Hz - 15kHz 频带内单频信号、三角波、方波、FSK、PSK、

线性调频等常规通信信号以及带限噪声等水声实验中常用非周期信号.该信号发生器具有输出频率准确、频率稳定度高、频率分辨率高、频率转换速度快、产生信号种类多等特点,达到了设计指标的要求.

## 参考文献:

- [1] 许惠波,张厥盛. DDS-直接数字式频率合成综述[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1989.
- [2] 张静,李廷军,刘长茂,等. 基于 DDS 的高分辨率信号发生器的实现[J]. 现代电子技术, 2004, 27(14):4-5.
- [3] 许加枫,刘抒珍,刘小红. 高性能 DDS 芯片 AD9954 以及应用[J]. 国外电子元件,2004, 11(6):23-26.
- [4] 宋万杰,罗丰,吴顺军. CPLD 技术及其应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1999. 107-109.
- [5] AD9954 data sheet. AD Inc,2003.
- [6] 申敏,邓矣兵,郑建宏,等. DSP 原理及其在通信中的应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2001.
- [7] 崔建鹏,赵敏,江帆. 采用 DDS 技术实现的虚拟任意波形发生器[J]. 计算机测量与控制,2003,6(7):53-55.
- [8] 汪春梅,孙洪波,任治刚,等. TMS320C5000DSP 系统设计与开发实例[M]. 北京:电子工业出版社,2004.