

# 基于FPGA的模拟信号源系统设计

张海陵, 陈 茄, 谭海云

(电子科技大学电子科学技术研究院 成都 610054)

**【摘要】**提出了一种基于现场可编程门阵列(FPGA)的全球定位系统(GPS)卫星信号模拟源系统的设计方案。FPGA作为一种常用的可编程器件,将其应用到模拟信号源系统中,并配合射频模块,实现了多个频点的程序控制,产生出大量具有高稳定性和准确度的不同频率的GPS卫星信号,减少了多个频点的开发周期,降低了风险。

**关键词** 模拟信号源; 直接数字频率合成; 现场可编程门阵列; 全球定位系统  
中图分类号 TN914.1 文献标识码 A

## Design of FPGA Simulated Signal Source

ZHANG Hai-ling, CHEN Jia, TAN Hai-yun

(Research Institute of Electronic Science and Technology, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054)

**Abstract** A simulated signal source system is designed for the Global Position System (GPS) based on the Field Programmable Gate Array (FPGA). FPGA, a widely used programmable chip, is employed for the design of simulated signal sources. In this work the high-resolution and stable GPS satellite signal is generated by using FPGA cooperated with a Radio Frequency (RF) module. The application results show that our design can facilitate the realization of the control of multiple frequencies and hence substantially reduce the multi-frequency exploration period and risk.

**Key words** simulated signal source; direct digital synthesizer; field programmable gate array; global position system

随着现代通信、定位和导航技术的不断发展,全球定位系统(Global Position System, GPS)终端系统的功能越来越强大,系统复杂程度也随之提高,因此在终端设计中,对信号源的频率稳定性、频谱纯度、频率范围和输出频率的个数提出了越来越高的要求。为了配合GPS接收机的研制和测试,研制一种高准确度的卫星信号模拟源是必备的手段。

传统通信信号源信号的产生使用模拟方法,设备笨重,且精度不高,只能产生几种简单的波形。利用DSP芯片来实现的信号源,如使用TMS320VC5402<sup>[1]</sup>,具有可编程,灵活性大等特点,但指令执行为串行结构,转换速度不快。利用BPSK专用芯片来实现的信号源,如MAX2402<sup>[2]</sup>,具有转换速度快,使用方便等特点,但它不能满足频率个数多的要求。

本文利用现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)的灵活性,指令多路并行执行结构及可编程性产生中频信号,同时控制射频部分的本振,实现了多个频点的程序控制,产生出大量具有高稳定性和准确度的不同频率,在保证模拟源信号质量的前提下,减少了多个频点的开发周期,降低了风险,达到精确模拟卫星信号的目的。

## 1 系统整体设计方案

本文提出的模拟信号源系统设计方案,可实现多路BPSK卫星信号功能。系统整体设计方案如图1所示。模拟源由数字和模拟部分组成。其中,数字部分包含单片机和FPGA;模拟部分主要包含滤波器、放大器和上变频等射频部件。发射基带由FPGA实现,完成多通道信息格式形成,调制信号成形,BPSK调制<sup>[3]</sup>,粗码

产生,并产生各种监视信号,如帧同步、位同步、码钟、载波、调制信息的输出<sup>[4]</sup>。模拟部分实现射频的功能,即BPSK信号的滤波、放大及上变频功能。此外,模拟源还包括电源和晶振。

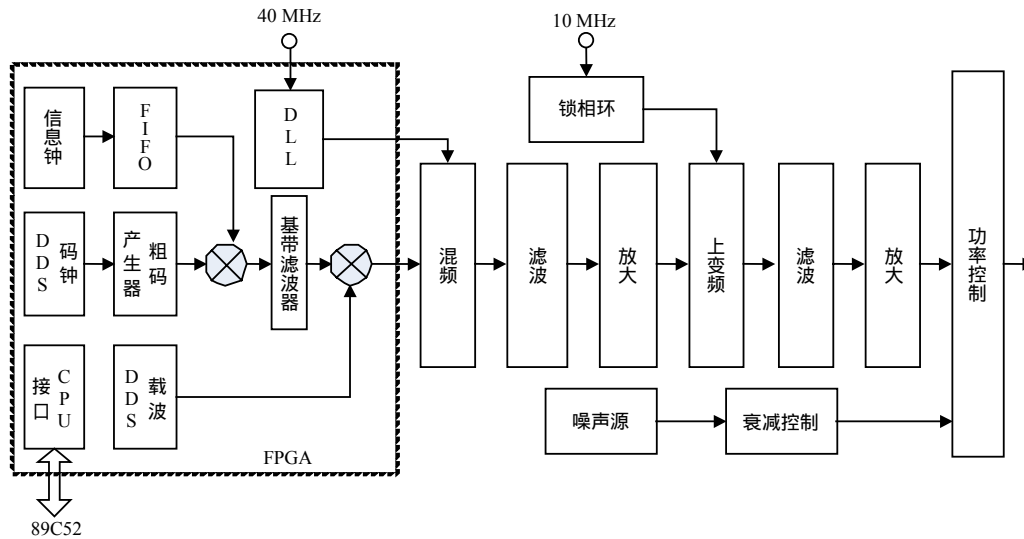


图1 信号模拟源原理框图

## 2 系统具体实现

### 2.1 基带单元的实现

发射基带由单片FPGA实现,采用Xilinx公司的Spartan2E系列。主要包含有CPU接口, DLL和多通道的BPSK调制。CPU接口实现数据通讯接口,地址译码功能。DLL为FPGA内部的延迟锁相环,通过40 MHz的系统工作时钟产生80 MHz的DA采样时钟。BPSK调制过程包含有信息钟产生、码钟直接数字频率合成器(Direct Digital Synthesizer, DDS)、载波DDS、信息FIFO、加扩电路、以及 $0/\pi$ 调制。

基带单元利用DDS,通过40 MHz的工作时钟产生10.23 MHz的码钟和18.52 MHz的载波这两种不同频率的波形,然后对数字基带信号进行扩频调制,输出中频数字信号到射频单元。DDS主要由相位累加器、加法器、正弦查询表、数模转换器(D/A)和低通滤波器(LPF)组成<sup>[5]</sup>,如图2所示,相位累加器在参考时钟 $f_c$ 的控制下以频率控制字 $K$ 作累加,输出的 $N$ 位二进制码与相位控制字、波形控制字相加后转换成代表输出信号相位的相位码,然后通过查询表把数字相位信息转换成数字式幅度值,经D/A转换,LPF平滑后就得到合成的信号波形。用DDS可以产生任意的信号波形,可实现卫星信号的快速转换。

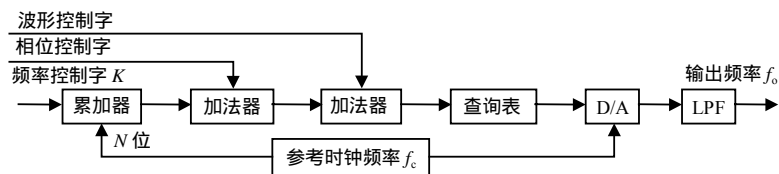


图2 DDS的原理框图

DDS的方程为： $f_o = f_c K / 2^N$ ，其中， $K$ 为频率控制字； $f_o$ 为输出频率； $f_c$ 为参考时钟频率。当 $K=1$ 时，DDS输出最低频率，也即频率分辨率，为 $f_c / 2^N$ ，而DDS的最大输出频率由Nyquist采样定理决定，即 $f_c / 2$ ，也就是说 $K$ 的最大值为 $2^N - 1$ 。因此，只要 $N$ 足够大，DDS可以得到很细的频率间隔，也就是频率精度很高。根据实际需要,并考虑FPGA的容量,通过计算仿真后,本系统选用 $N=8$ ,  $K=32$ 。

单片机89C52实现基带和上位机的数据通信功能,并执行上位机对发射基带的监视和控制。通过上位机的控制,从而实现多路发送数据的任意改变。上位机实现人机交互,基带初始化,粗码生成多项式的注入,载波及码钟频偏的控制,调制数据的编辑及注入。

## 2.2 射频单元的实现

射频单元实现方案的原理框图如图3所示。

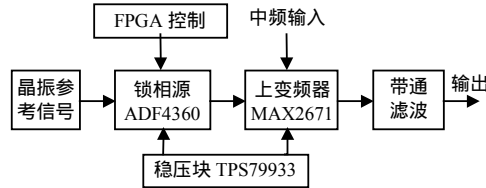


图3 模拟源射频单元原理简图

高稳定度的晶振输出的参考信号源, 经过锁相频率合成器获得载波射频信号, 其频率受FPGA的程序控制在一定范围内可调。此信号作为上变频器的本振激励。中频信号由基带部分输入, 经上变频器求和输出, 最后经过带通滤波器滤除混频器产生的带外谐波信号, 得到需要的信号。可见, 在基于FPGA的结构中, 射频部分受FPGA的控制, 大大简化电路, 仅需要对基带部分的中频信号进行频谱的完整搬移。为此, 适合的对鉴相纹波有良好的抑制作用的PLL低通环路滤波是考虑的重点, 以减少相位噪声。

当 $\omega_a < \omega_r$ 时, PLL低通环路滤波对杂波抑制度有改善作用, 改善量为:  $\Delta s = 20 \lg \frac{\omega_a}{\omega_r}$  (dB), 其中,  $\omega_a$ 为

低通滤波器的自然谐振角频率;  $\omega$ 为参考信号角频率。因此在设计系统中在鉴相器允许的条件下尽量选取较高的参考频率。而对于 $\omega_a$ , PLL低通环路滤波的谐振频率由VCO和参考频率的噪声谱决定, 选择在两噪声谱密度线的交叉点频率附近为最佳点<sup>[6]</sup>。

如图4所示, 参考信号10 MHz由R&S公司的SMU200A产生, 由计数器测得其输出频率为9.999 900 MHz, 而输出本振信号由Agilent的E4440A频谱仪测得为1.210 000 112 GHz。测试时频谱仪分辨率带宽为1 Hz, 因此, 所得信号频率的频率偏差小于120 Hz, 相位噪声在偏移中心频率100 Hz处约为-65 dBc/Hz。完全能够满足精确模拟导航卫星信号的功能。同时, FPGA可对频率进行1 Hz步进的程序控制, 用于模拟在实际卫星信号中由于晶振的不稳定性或天气变化引起的频率偏移。通过实测曲线可看出, 运用FPGA来设计信号源的控制部分有很大的优越性, 系统灵活可调, 性能稳定, 复杂的控制用软件实现简单, 系统的高速特性也得到满足。



图4 FPGA控制产生1210 MHz所得测量结果

## 3 结束语

本卫星信号模拟源系统已用于测试GPS接收机, 具有频率分辨率高, 频率转换时间短, 可编程, 体积小, 系统工作稳定, 使用方便灵活等特点, 测试效果较佳。本文介绍了研制的模拟信号源系统, 通过基于FPGA的模拟器具体设计和应用于GPS接收机的测试, 充分体现了在系统实现中的优越性。可以在计算机上仿真系统的所有信号处理步骤, 在取得满意的结果后, 选用FPGA实现, 这样大大地缩短系统的设计周期, 实现高度集成和精确的电路设计, 增加了电路的可靠性, 降低了设计成本, 提高了产品竞争能力。

### 参考文献

- [1] 张玉梅, 阔永红, 傅丰林. 基于DSP和DDS的高精度频率信号源实现[J]. 电子工程师, 2004, 30(1): 43-45.
- [2] 张鑫. BPSK调制芯片——MAX2402[J]. 世界电子元器件, 2002, 1: 38-39.
- [3] 曹志刚, 钱亚生. 现代通信原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 257-262.
- [4] 张欣. 扩频通信数字基带信号处理算法及其VLSI实现[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 28-32.
- [5] Xilinx. DDS V5.0 data sheet[EB/OL]. www.xilinx.com, 2006-03-25.
- [6] 张厥盛, 郑继禹, 万心平. 锁相技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000: 67-71.