

# 三通道地震波信号发生器的设计<sup>\* 1</sup>

夏界宁<sup>1,2)</sup> 吴 鹏<sup>1,2)</sup> 杨 江<sup>1,2)</sup> 陈志高<sup>1,2)</sup> 杨 建<sup>1,2)</sup>

(1) 中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室), 武汉 430071  
(2) 中国地震局地壳应力研究所武汉科技创新基地, 武汉 430071

**摘 要** 设计了一款三通道地震波信号发生器, 该发生器的整个系统由波形输出与频率脉冲计数两部分组成, 其中波形输出可分别产生常规波形、存储波形和地震波形信号。应用和测试结果表明, 该地震波信号发生器能基本满足应用需求。

**关键词** 地震波信号; 波形存储; 频率脉冲计数; 三通道同步发生; 幅频可调

**中图分类号**: TH762

**文献标识码**: A

## DESIGN OF THREE-CHANNEL SEISMIC WAVE SIGNAL GENERATOR

Xia Jiening<sup>1,2)</sup>, Wu Peng<sup>1,2)</sup>, Yang Jiang<sup>1,2)</sup>, Chen Zhigao<sup>1,2)</sup> and Yang Jian<sup>1,2)</sup>

(1) Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071  
(2) Wuhan Base of Institute of Crustal Dynamics, CEA, Wuhan 430071

**Abstract** The seismic wave signal generator is designed, which is made up of two parts: a waveform output unit and a frequency pulse counter unit. The waveform output unit can generate conventional waveform signals, storage waveform signals and seismic waveform signals, respectively. According to application and testing results, the seismic wave signal generator can basically satisfy the application requirements.

**Key words**: seismic wave signal; waveform storage; frequency pulse counter; simultaneously generation in three channels; adjustable amplitude and frequency

## 1 引言

用传统信号源进行地震观测记录系统的触发特性研究时, 地震波信号的特殊性(正弦波信号频谱单一、幅度没有层次变化等问题)使得在整个研究或验证工作过程中凸显诸多不便, 而人为产生的振动信号与实际地震信号又有一定差距而且无法重复, 同样给验证和研究实验造成了很多困扰, 因此模拟真实地震信号发生装置非常重要。为此, 本文设计的三通道地震信号发生器就是将由真实地震记录的波形复原成的模拟地震波信号直接提供给数据采

集单元。

## 2 地震波信号

地震波按传播方式通常分为纵波(P波)、横波(S波)和面波(L波)。纵波是推进波, 它使地面发生上下振动, 破坏性较弱。横波是剪切波, 它使地面发生前后左右的横向振动, 破坏性较强。面波是由纵波与横波在地表相遇激发产生的混合波, 其波长长、振幅大, 是造成建筑物强烈破坏的主要因素<sup>[1]</sup>。

其中 P 波以同等速度向所有方向外传, 交替地挤压和拉张它们穿过的介质, 其颗粒在这些波传播的方

\* 收稿日期: 2013-08-06

基金项目: 中国地震局地震研究所所长基金(IS20136106)

作者简介: 夏界宁, 男, 1982 年生, 硕士, 助研, 主要从事强地震仪器仪表方面的研究. E-mail: xjnyqy@163.com

向上向前和向后运动,即是垂直于波前,它是首先到达的波。而S波是弹性物质通过使物体剪切和扭动传播,在S波通过时岩石的表现与在P波传播过程中的表现相当不同,因为S波涉及剪切而不是挤压,使岩石颗粒的运动横过运移方向。这些岩石颗粒的运动可在一垂直向或水平面里,这与光波的横向运动相似<sup>[2]</sup>。P和S波同时存在使地震波列成为具有独特的性质组合,使之不同于光波或声波的物理表现。

由于地震波信号的特殊性,在现有的认识下通过数学模型模拟的方法不易实现<sup>[3-5]</sup>,所以本研究将强震台网监测到的真实地震波形的数字记录直接变换成模拟信号。

### 3 需求分析和整机设计

#### 3.1 需求与功能分析

由于地震波的数据采集和分析需要水平向和垂直向共三个通道同步进行,而且三个通道之间存在数据的相关性。因此地震波信号发生器在设计过程中就需要考虑三通道的同步信号输出特性。另外地震波信号发生器在设计时还需考虑以下几个因素:1)可靠性。地震波信号发生器主要用在地震观测记录系统的研发、验证试验以及相关工程应用中,考虑到应用场合,可靠性十分重要;2)幅度可调;3)频率可调。因此,系统的主要设计思路是挑选已有的真实地震加速度记录数据,将其按照原始频率以及

一定比例的幅度恢复成模拟信号。

考虑到仪器可靠性要求高、功能较为复杂、研发周期短,决定在已有产品的基础上设计研制相关样机。如图1,整个系统具备波形输出以及频率测脉冲计数两大块功能。可通过键盘来选择功能切换和选择,对于波形输出部分可采用数字小键盘或者旋钮编码器来进行输出信号的频率、幅度等各种参数的调整。

地震波信号发生器有4个工作模块(图1):

1)模块一

数控模块对DDS芯片进行命令控制<sup>[6,7]</sup>,实现常规波形(如正弦波、方波等)的信号输出,并可通过数字键盘或旋钮编码器对波形的频率、幅度等参数进行调整。

2)模块二

数控模块对固定波形存储模块进行控制操作,固定波形存储模块中预先存储多个常用波形,用户可根据需要对波形的种类进行选择并对输出信号进行参数调整。

3)模块三

由3路独立的地震波形信号发生模块构成,其中每路存储模块可存储多个地震波形文件,用户可根据键盘或者旋钮编码器进行选择。该3路地震波形数据发生通道共用同一高精度温度补偿晶振,共用波形输出触发控制线路SYN,从而保证3路波形

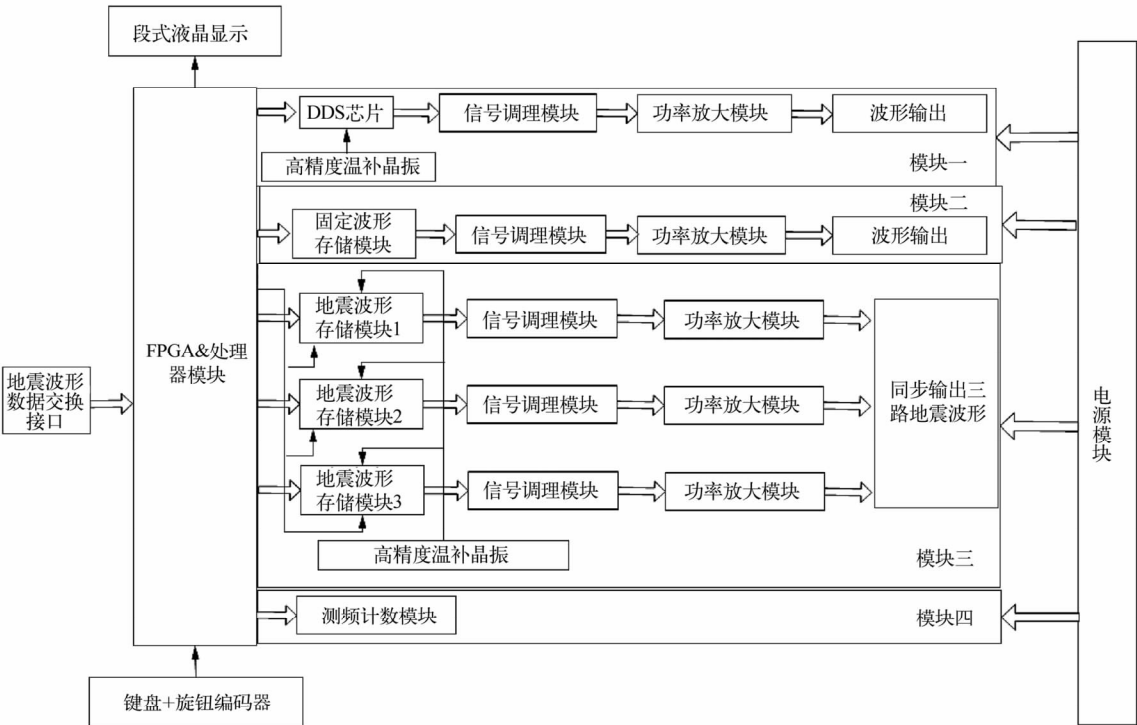


图1 地震波信号发生器的整机结构框图

Fig.1 Structure diagram of seismic wave signal generator

输出保持同步。在实际使用中,用户通过与地震波信号发生器配套的上位机软件经数据交换接口将需要导入的地震波形数据下载到地震信号发生器中,即可生成与该波形数据对应的地震波形输出。

4)模块四

可实现对外部信号进行频率测量,同时也可对前3个模块的输出信号进行测试和校准。

3.2 设计与实现

地震波信号发生器的核心部分是FPGA和微处理器组合的中心控制模块。本文选用Altera公司的飓风系列FPGA芯片,其丰富的资源和灵活的配置为本设计提供了巨大的方便,实现了数字化高精度调节多路信号的频率、相位、幅度、偏移量,进而降低硬件电路设计难度和硬件电路的成本。模块一中的标准信号生产采用专用DDS芯片外,模块二和模块三的DDS功能均在FPGA上实现,另外模块四的频率计数器也是在FPGA上实现的<sup>[8]</sup>。

直接数字频率合成器(DDS)具有硬件要求低、频率切换速度快、频率分辨率高等优点,已广泛应用于自动测控系统、仪器仪表、通信等领域。一般采用专用DDS芯片实现波形信号发生器的功能(如模块一),但其控制方式相对固定,因此不能完全满足用户的需求。而基于高性能FPGA芯片设计出的DDS可根据需求实现复杂的调频、调相和调幅功能,其具有良好的实用性和灵活性。因此,在应用中需要对多路波形信号的频率、相位、幅度进行高精度调节控制,所以模块二和模块三的DDS功能在FPGA上自定义实现<sup>[9]</sup>。

DDS主要由频率控制器相位累加器、地址生成器、波形查找表、D/A转换和滤波器组成。相位累加器与频率控制器生成的控制字进行线性累加,累加结果反馈到相位累加器输入端并输送到地址生成器。相位累加器将输入端累加结果再与控制字相加,如此循环。当相位累加器积满时就产生一次溢出,完成一个周期波形信号输出。地址生成器截取相位累加器的结果编码处理后作为寻址值,查找波形查找表的地震波形数据。频率控制器生成的控制字大小不同导致相位累加器积满时溢出频率不同,也即输出波形频率不同。通过改变频率控制字的大小来改变输出波形频率。

控制DDS各组件工作的系统时钟是该设计比较重要的环节,运用FPGA芯片中集成的数字锁相环,通过PLL的倍频和分频得到满足频率设计要求的DDS系统时钟。查找表的波形数据存储需要一定的存储空间,FPGA芯片上自带的存储容量满足部分波形存储,另外扩展一些存储空间备用。信号调理模块主要由数模转换和滤波处理两部分构成,功率放大模块包括放大电路及隔离电路两部分,确保对幅度的调整以及整机的可靠性。模块四的频率计采用FPGA中的多位计数器实现。

4 仪器应用情况及测试指标

该地震波信号发生器的样机生产出来后,分别在核电站及高速铁路的相关地震观测记录系统的项目开发过程中进行了应用和测试。通过本系统的应用,使得在项目进展中可以有选择地重复测试并验证地震观测记录系统的功能及各项性能指标,例如准确度、线性度、频率带宽等。

据相关测试,该地震波信号发生器总体达到了较高的技术指标:

波形长度:8~16 000点;

输出频率范围:100 μHz ~ 100 kHz;

频率误差:≤±5×10<sup>-6</sup>;

频率稳定度:优于±1×10<sup>-6</sup>;

幅度范围:2 mV ~ 20 V<sub>p-p</sub>(高阻),1 mV ~ 10 V<sub>p-p</sub>(50 Ω);

最高幅度分辨率:2 μV<sub>p-p</sub>(高阻),1 μV<sub>p-p</sub>(50 Ω);

幅度误差:≤±1 % +0.2 mV(频率1 kHz正弦波);

幅度稳定度:±0.5 % /3小时。

5 结束语

在地震行业观测记录仪器设备的研发过程中经常需要考虑仪器的功能验证、整体性能指标的评价以及如何搭建一个方便的调试环境以改进核心算法等问题。为此,根据实际需求设计了一款地震波信号发生器,挑选已有的真实地震加速度记录数据,将其按照原始采样频率以及一定比例的幅度恢复成模拟信号,可以有选择地可重复地测试并验证被测系统的各项功能和性能指标。从应用情况和指标测试上看,该仪器基本达到设计要求。

参 考 文 献

1 盛菊琴,等. 数字化地震波形小震P波、S波震源参数对比研究[J]. 地震地磁观测与研究,2007,(5):116-122.

2 马强. 地震预警技术研究及应用[D]. 中国地震局工程力学研究所,2008.

3 郭杰,郑杰,雷宁. 利用地震波特征变化与地震关系提取地震前兆信息[J]. 河南科技,2013,(5):26-27.

4 周毅刚,田浩. Windows98下模拟地震波信号源的设计[J]. 计算机测量与控制,2003,(1):69-71.

5 黄朝光,彭大文. 人工合成地震波的研究[J]. 福州大学学报(自然科学版),1996,(4):84-90.

6 宋蕊. 基于DDS的任意波形信号发生器[D]. 河北工程大学,2012.

7 胡力坚. 基于DDS的任意波形发生器设计与实现[D]. 西安电子科技大学,2009.

8 张启涛. FPGA技术与信号源应用设计问题研究[J]. 科技致富向导,2011,14:400.

9 黄燕. 基于FPGA的DDS信号发生器的研究[D]. 南京林业大学,2012.