

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2108591

基于FPGA的某型遥测装置检测工作台设计*

聂聪聪¹ 李永红¹ 岳凤英² 薛磊² 王慧敏¹

(1. 中北大学仪器与电子学院 太原 030051; 2. 中北大学电气与控制工程学院 太原 030051)

摘要: 针对传统的信号源只能产生单一的信号、不可调等缺点,及本次某型遥测装置的测试需求,提出了一种基于上位机控制输出并且可以手动调节的检测工作台设计方案。本文对检测工作台结构、工作原理进行了详细的设计和分折,以及上位机的简单介绍,该检测工作台以FPGA、数字量板、继电器为核心,具有集成度高、多路复用、结构简单、操作便捷等特点。检测工作台包含2路数字量、13路可调的模拟信号和1路-230~0 V模拟电压,13路模拟信号通过上位机实现0~30 V模拟电压调节,1路-230~0 V模拟电压由220 V逆变器得到。试验表明该检测工作台的数字量输出完全正确,模拟量的输出误差小于1%,完全满足此次测试的要求,并且抗干扰能力强,具有很好的复用性和实用价值。

关键词: 检测工作台;FPGA;继电器;信号源

中图分类号: TN914.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510

Design of test table of a telemetry device based on FPGA

Nie Congcong¹ Li Yonghong¹ Yue Fengying² Xue Lei² Wang Huimin¹

(1. School of Instrument and Electronics, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. School of Electrical and Control Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: To address the shortcomings of traditional signal source that can only produce single signal and can not be adjusted, and to meet the testing requirements of a certain type of telemetry device, a design scheme of detection table based on the output controlled by upper computer and adjusted by hand is proposed. This paper discusses the detailed analysis and design of the structure and working principle of the detection table, as well as a brief introduction of the upper computer. The detection table is centred on FPGA, digital measuring board and electric relay with the characteristics of high integration, multiplexing, simple structure and convenient operation. The 13 channels of analog signals are adjusted by the upper computer to achieve 0~30 V analog voltage. The 1 channel of -230~0 V analog voltage is obtained by the 220 V inverter. The test results show that the digital output of the test table is completely correct, and the output error of the analog output is less than 1%, which fully meets the requirements of the test, and has strong anti-interference ability, good reuse and practical value.

Keywords: test bench; FPGA; relay; signal source

0 引言

众所周知,信号发生器是一类非常重要的测试仪器,也是现代通信、雷达等技术的重要组成部分。在是电子设备研制、生产及测试、分析研究被测设备产品的性能状况验证中一个可靠的信号源显得尤为重要^[1-2]。产生各种信号的主要有模拟方式和数字方式两种^[3-4]。但是传统的信号源往往只能产生单一的信号,不能灵活切换输出信号,达不到此次试验的测试要求,尤其是某些复杂条件和特殊环境

的实验中,需要产生不同种类、不同幅值且可调的信号源,为检测的目标设备提供作信号输入,以此试验便是检测某型遥测装置的工作状态和各项性能指标,为该遥测装置的正常工提供数据支持^[5-6]。

FPGA器件属于专用集成电路中的一种半定制电路,是现场可编程逻辑门阵列,集成度高、编程方便、可靠性高等优点,近些年广泛应用于电路设计中^[7-9]。为了满足此次试验的需求,本文设计了一种以FPGA、数字量板、光耦板、继电器为核心的检测工作台,能够产生试验需求的可调的

收稿日期:2021-12-13

* 基金项目:山西省自然科学基金(201901D111158)项目资助

信号源^[10]。该检测工作台由上位机发送控制指令,由 FPGA 发送数字量、控制不同幅值模拟量输出,而且通过上位机便可方便的进行输出信号的调整 and 切换,实现了多个信号测试的需求。该设计能检测工作台作为输出信号源,其信号产生灵活、参数可调,能够很好的满足试验的需求。

1 检测工作台总体设计

根据所需要测试的遥测装置主要指标,主要指标有遥测指标、发射功率、RS-422 总线数字量采集、模拟量采集等设计了检测工作台^[11-12]。本检测工作台主要有上位机控制软件、数据分析软件、直流稳压源、程控电源、数字量板、继电器电路、RS-485 接口、FPGA 控制模块等部分组成^[13]。

检测工作台的总体设计框图如图 1 所示,检测工作台的工作主要是:上位机软件通过 RS-485 接口与检测工作台进行通信,检测工作台内的 FPGA 控制信号的发送。在测工作台和遥测同时上电后,会自动按上位机配置发送数据,其中检测工作台输出数字量输出是由写入 FPGA 芯片内部的程序提供的,可以按照试验需求通过检测工作台的调试端口进行程序修改。整个检测工作台采用外部 +17 V 供电,模拟信号除去 -230 V 的信号由逆变器逆变 220 V 交流和 +17 V 直接输入,其余路信号由上位机发送给 FPGA 指令,FPGA 通过 RS-485 串口控制程控电源输出上位机配置的信号,同时将命令发送到继电器控制输出供电系统的开断。

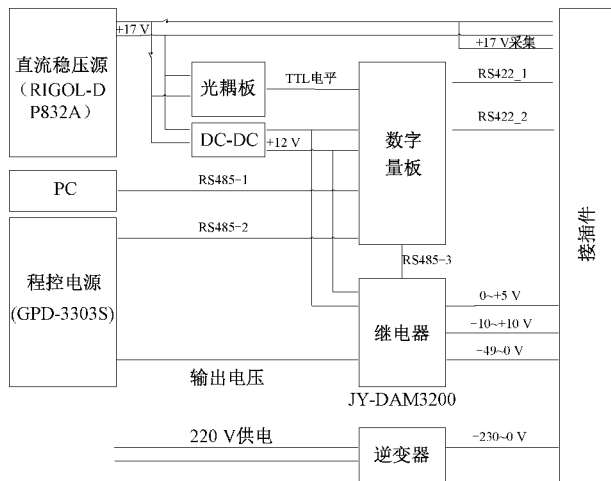


图 1 检测工作台设计框图

2 检测工作台的主要模块

2.1 RS-485 接口模块

RS-485 是一种利用差分传输的半双工接口,RS-485 是一个定义平衡数字多点系统中的驱动器和接收器的电气特性的标准。使用该标准的数字通信网络能在远距离条件下(1 200 m 左右,100 kbit/s 情况下)以及电子噪声大的环境下有效传输信号。此次设计的检测工作台就是通过

RS-485 接口实现与上位机通信,检测工作台内部数据的传输以及继电器的开关和程控电源输出切换控制,也是通过 RS-485 串口实现^[14]。

2.2 FPGA 控制模块

本检测工作台采用 FPGA 作为处理器,FPGA 选用的是 XILINX 公司的 XC7A100T-2CSG324I,该款芯片的逻辑单元数量有 101 440 个,输出/输出 IO 口有 240 个,数据速率高达 6.25 Gb/s,其工作温度范围是 -40 °C ~ +100 °C^[15],芯片的各项性能完全满足此次试验的环境和性能要求。本文设计是将所编写的程序下载到下位机系统,但由于目前的大多数 FPGA 芯片是基于 SRAM 的结构,而 SRAM 储存单元中的数据掉电就会丢失,每次系统上电都需要重新烧写程序。本文设计使用的是 flash,将程序通过 ISE 软件和 USB-Blaster 下载器烧写到检测工作台,这样每次上电便不需重新烧写程序。本次设计的检测工作台内 FPGA 控制模块工作流程如图 2 所示。

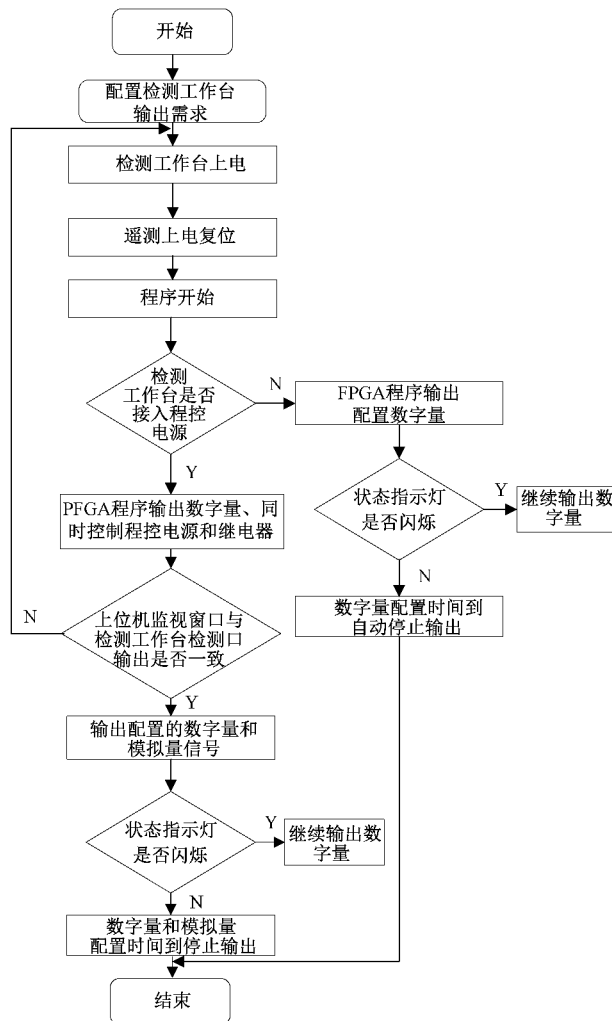


图 2 程序控制流程

FPGA 模块包含在数字量板中,FPGA 模块主要有两个作用:1)输出数字量,即检测工作台向遥测装置输入数字

量,检测工作台的输出可通过其调试端口进行改写,也可以通过上位机可设置不同方案、不同帧头帧尾的数字量,在检测工作和遥测上电时,FPGA 会按配置方案执行上位机命令,本次设计需要发送两路数字量,其格式如表 1 所示。
2)控制程控电源和继电器模块,FPGA 控制程控电源和程控电源输出模拟量,即 FPGA 控制程控电源输出,同时控制继电器打开对应的通道输出模拟信号。FPGA 程序判断在无程控电源接入时,便只输出数字量,反之同时输出数字量和模拟量。

表 1 数字量发送格式

序号	1	2
信息头(3 Byte)	AA BB 22 00	BB CC 2F 00
计数器(3 Byte)	00 00 00 开始	00 00 00 开始
内容	00~1B(28 Byte)	00~28(41 Byte)
信息尾	00 0B B8 A1	00 2E E0 A1
帧长	38(十进制)	51(十进制)

2.3 继电器模块

继电器是一种电控制器件,是当输入量(激励量)的变化达到规定要求时,在电气输出电路中使被控量发生预定的阶跃变化的一种电器。它具有控制系统(又称输入回路)和被控系统(又称输出回路)之间的互动关系。在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用^[16]。本次设计信号开关量用的是继电器 JY-DAM3200,FPGA 与继电器连接图如图 3 所示。

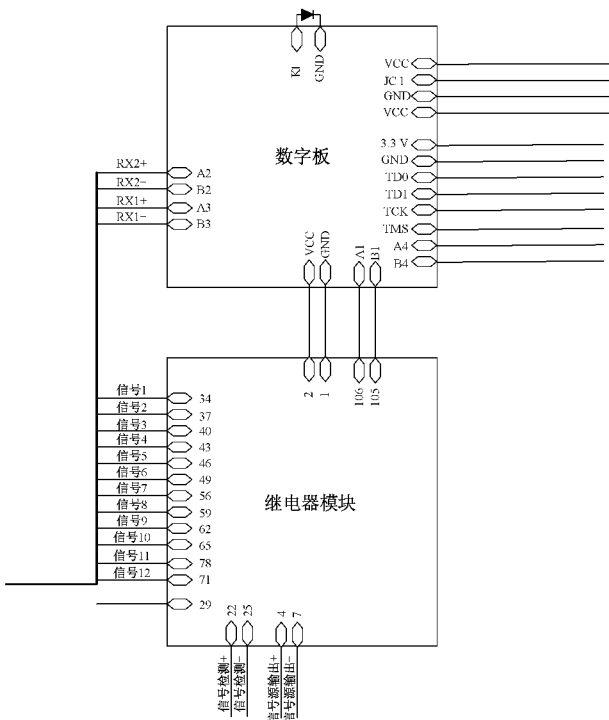


图 3 FPGA 与继电器电路连接图

系统上电之后,数字量板里面的 FPGA 芯片复位,按上位机配置控制继电器输出模拟信号。按本次设计需求需要实现 14 路可调模拟信号,但设计时充分考虑其复用性留有多路通道,可以按照不同的实际需求进行添加。14 路中 1 路-230~0 V 供电是由 220 V 逆变器独立供电,4 路 0~5 V、7 路-10~+10 V、1 路+17 V、1 路-30~0 V,图 4 所示是继电器内部接线示意图。与传统的 DA 转换配和模拟开关实现多路转换不同,它是 FPGA 控制程控电源和继电器进行多路切换输出,简化电路降低了噪声干扰的同时也很容易对电路进行调整。

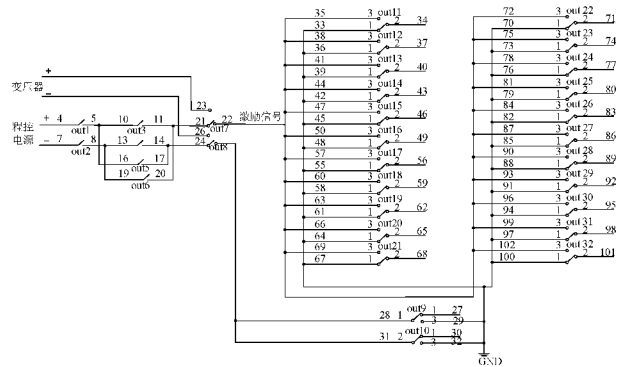


图 4 继电器内部接线图

为了保证上位机指令下发和数据接收的准确性,将 FPGA 芯片收到的指令再反馈给上位机进行指令确认,并对继电器的通信协议进行约定,如表 2 所示。

表 2 继电器通信协议表

名称	内容	备注
设备地址	FE	—
0F 指令	0F	返回指令;如果查询错误,返回 0x82
起始地址	00 00	—
控制数量	00 20	控制继电器的数量
字节数	04	发送命令的字节数
全开全关命令	FF FF	FF FF FF FF 全开命令
	FF FF	00 00 00 00 全关命令
	FF FF	每 8 路为一个字节,起始位右侧开始,如 1,5,8,10,12,16,21 通道打开;
	(00 00 00 00)	1,5,8 为 10010001;10,12,16 为 10001010;21 打开为 00010000
CRC16	F6 0B (F7 9F)	CRC16 校验位;CRC-16/MODBUS x16+x15+x2+1

2.4 保护电路设计

为了保证系统电路能够安全可靠的工作,设计了保护电路。实际应用中会有各种各样的干扰,可能产生伪短路信号等故障,光耦便能消除这些影响,其次也能判断输出

电压能否达到预定值,不符合要求不给供电,保证检测工作台工作在合适的电压范围内。

3 上位机界面设计

3.1 检测工作台控制上位机界面设计

系统中采用 C# 设计上位机界面,实现对检测工作台的控制。上位机通过 RS-485 与检测工作台进行通信,上位机的操作界面如图 5 所示。界面包括数字量以及帧头帧尾设置、检测工作台 ID 读取按钮、信息加密、模拟量设置、循环次数、程控电源打开与关闭按钮、程控电源输出检测端口、延迟断电按钮、串口信息检测,通过上位机程控电源检测端口可以方便地观察各路模拟信号的输出,通过串口信息检测可以观察检测工作台输出的串口信息进而了解检测工作台的工作状态。如需增加模拟信号时,上位机只需在电压下拉菜单下进行添加便可。

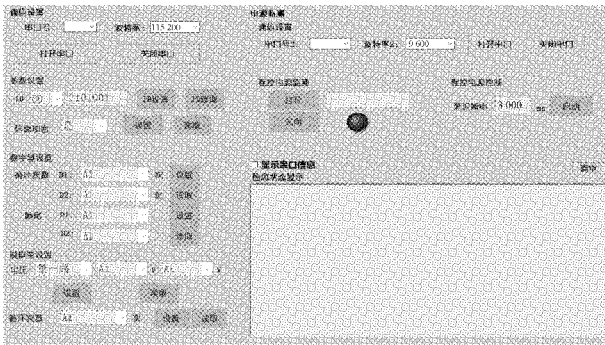


图 5 检测工作台控制上位机

3.2 数据分析上位机界面设计

数据分析软件采用 C# 设计,实现对遥测装置采集的数据的分析。遥测接收机采集到的 .dat 数据经过分离得到

数字量和模拟量的 .lxt 文件,数据分析软件对 .lxt 文件进行分析。数据分析软件界面如图 6 所示,包括配置方案按钮、选择文件按钮、模拟量时见检测框、分析值显示框。通过配置方案按钮可以配合检测工作台灵活的选择不同的输出方案分析,多次试验可以模拟实际工作中复杂多变的数据。



图 6 数据分析软件

4 试验结果

为了验证检测工作台的输出精度和实际应用下的使用情况,按照目标设备验证的试验需求,按照试验要求上位机配置检测工作台 1 min 的信号输出,检测工作台 1 min 的工作时序图如图 7 所示,对检测工作台的输出进行测量,输出数字量时上位机检测端口显示输出与所配置的数字量一致,完全正确。其输出模拟信号是在要求的电压范围之内任取两个值输出,通过 6 位半万用表(KEITHLEY 2100)测得的检测工作台模拟信号输出数据如表 3 所示。

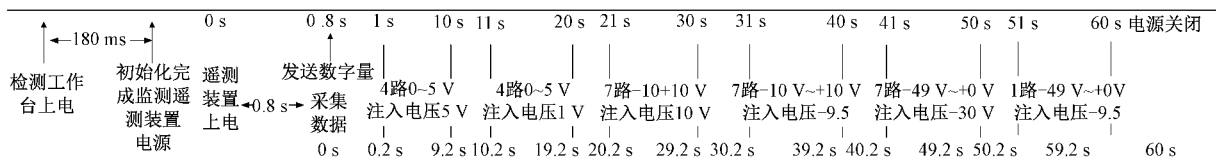


图 7 检测工作台工作时序图

表 3 检测工作台输出

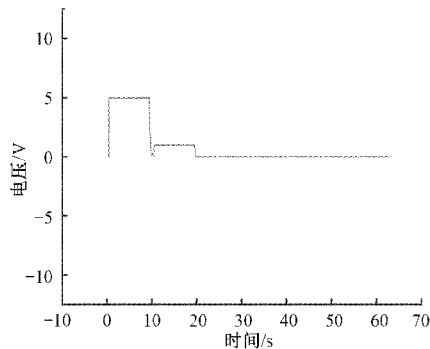
	上位机 显示值/V	检测工作台 输出/V	相对误差/ %
1	10	9.999 8	0.002
2	-9.5	-9.499 6	0.004
3	5	4.999 3	0.014
4	1	0.993 8	0.620
5	-30	-29.998 1	0.006
6	-2	-1.999 4	0.030
7	17	16.964 2	0.211
8	-80	-80.015 3	0.019

在实际的应用中,上位机设置的 1 min 方案,其中数字量由 FPGA 发送的 3 000 帧数字量 1 和 12 000 帧数字量 2 组成,用一个合格产品配合检测工作台进行试验,在正常大气环境条件下采回的数据经分离后由数据分析软件分析,收到的数字量 1 和数字量 2 误码率都为 0,如图 8 所示,表明检测工作台发出数字量符合标准;采到的模拟信号绘制图如图 9 所示,检测工作台输出信号完整,幅值精度符合要求。正常大气环境条件下采集的信号使用数据分析软件得到的精度,图 9(a)是输入 +5 V/+1 V 的波形,经数据分析软件分析得其精度分别为 4.452 mV;图 9(b)是 +10 V/-9.5 V 的波形,经数据分析得其精度为 0.008 mV;

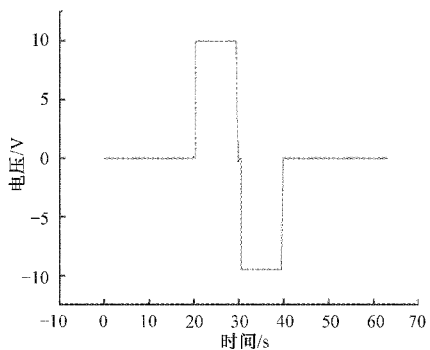
图9(c)是输入+17 V信号的波形,经数据分析软件分析得到其精度为58.822 mV;图9(d)是-30 V/-2 V信号的波形,经数据分析软件分析得到其精度为117.645 mV;图9(e)是-80 V信号的波形,经数据分析软件分析其精度为491.764 mV,各项精度都达到遥测产品的合格标准,这也证明了检测工作台的可行性。在其余的高低温、震动、挂飞、自由飞、冲击等环境下试验也满足了遥测装置的输入要求。在实际应用中测试系统如图10所示。

数字量1测试结果(20211110)		数字量2测试结果(20211110)	
结论:		结论:	
总帧数: 3 000		总帧数: 12 000	
实际帧数: 3 000		实际帧数: 12 000	
帧是否连续: 连续		帧是否连续: 连续	
误码: 0		误码: 0	
误码率: 0.0000e+00		误码率: 0.0000e+00	

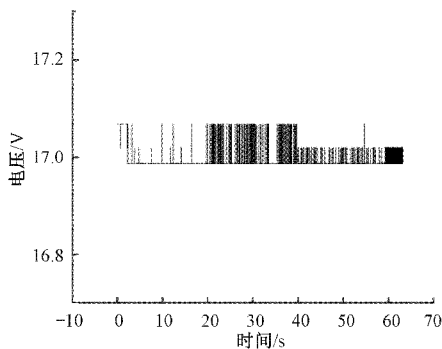
图8 数字量误码率



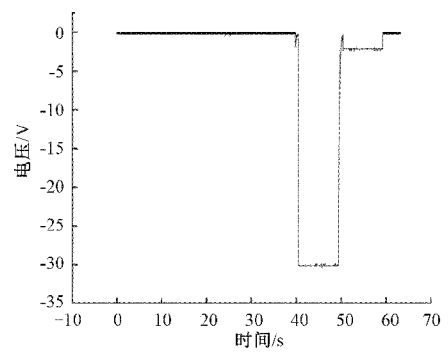
(a) +5 V/+1 V信号的波形



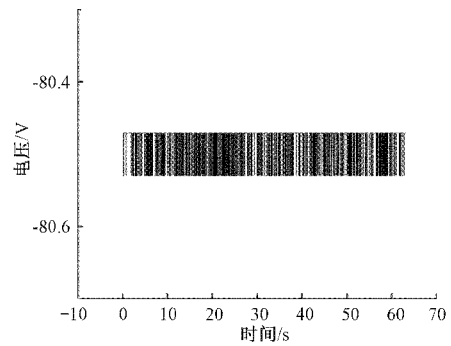
(b) +10 V/-9.5 V信号波形



(c) +17 V信号的波形



(d) -30 V/-2 V信号的波形



(e) -80 V信号的波形

图9 实际应用采集数据波形

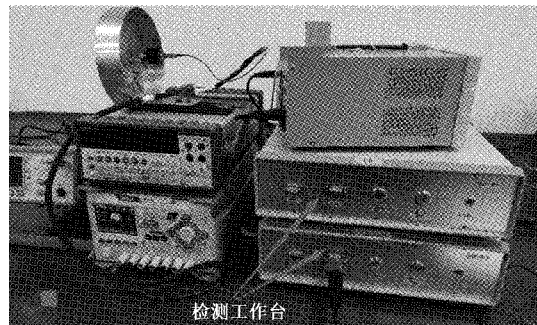


图10 测试系统

5 结 论

本文针对特定检测试验需求及FPGA的优势提出将FPGA作为控制芯片的检测工作台设计方案,详细介绍了检测工作台系统的设计以及硬件电路设计。本文设计包含2路数字量、13路可调的模拟信号和1路-230~0 V模拟电压。试验结果表明该检测工作台的数字量输出完全正确,模拟量的输出误差小于1%,完全满足此次测试的要求。并且本设计具有自动控制、灵活切换特定信号需求、上位机监控功能及数据分析,产生的信号频率、幅值灵活可调,可满足不同的实验要求,同时对外部供电系统可以灵活控制。实际应用数据表明设计的检测工作台不仅结构简单而且输出稳定,控制系统抗干扰性强、工作稳定可靠。FPGA的强可扩展性,设计的检测工作台具有很好的

通用性,只要对 FPGA 重新编程便可实现不同的控制方式进而满足其他应需求。

参考文献

- [1] 冯宇航,任勇峰,刘东海.基于 FPGA 的多路信号源的设计与实现[J].电子测量技术,2021,44(11):136-140.
- [2] 骈洋,苏淑靖.多通道输出可调的 PCM 信号源设计[J].电子技术应用,2016,42(4):67-69,77.
- [3] 李超,谢雪松,张小玲.基于弹载遥测模块的自动测试系统设计[J].计算机测量与控制,2013,21(8):2139-2141,2151.
- [4] 冯源,尹晓东.基于 FPGA 的精密信号源设计[J].现代计算机,2020(4):85-90.
- [5] 张有志,张鹏.基于 FPGA 的幅值可调信号发生器设计[J].电子设计工程,2011,19(9):115-117,120.
- [6] 唐俊龙,文楨,陈益如,等.一种新型信号源与示波器虚拟一体机的设计[J].电子测试,2020(12):13-15,43.
- [7] 潘泽跃,程健,陈园玲.基于 FPGA 的脉冲电源及其控制系统设计[J].强激光与粒子束,2015,27(9):243-248.
- [8] 李映晟,严厚伟,杜睿.模块化中频信号源设计[J].火力与指挥控制,2021,46(6):155-160.
- [9] 刘宇,姚远程,秦明伟.基于 FPGA 的多通道信号源设计与实现[J].测控技术,2020,39(10):56-61.
- [10] 张有志,张鹏.基于 FPGA 的幅值可调信号发生器设计[J].电子设计工程,2011,19(9):115-117,120.
- [11] 张凯琳,苏淑靖,刘利生,等.基于 FPGA 的 DDS 多路信号源设计[J].电测与仪表,2011,48(3):63-65,78.
- [12] 朱枫,陈跃东,舒圣焱.基于 FPGA 的高精度正弦波信号源设计[J].井冈山大学学报(自然科学版),2015(1):56-60.
- [13] 付扬.基于 FPGA 的信号源设计[J].工矿自动化,2016,42(7):59-62.
- [14] 樊刘华,彭旭锋,张跃林,等.基于双通信接口的多通道信号源设计[J].电子器件,2017,40(4):833-837.
- [15] 陈涛.多功能信号源的设计及 FPGA 实现[D].重庆:重庆大学,2018.
- [16] 王鹏辉,王春成,韩亮亮.某系统中 FPGA 控制行程继电器上电故障分析[J].科学技术与程,2012,12(20):5053-5055.

作者简介

聂聪聪,硕士研究生,主要研究方向为动态测试、FPGA。

E-mail:1648637153@qq.com

李永红,博士,教授,主要从事卫星/微惯性组合导航技术、MEMS 传感器设计与生产工艺方向的研究。

E-mail:466678237@qq.com

岳凤英,博士,副教授,主要从事导航、制导与控制方向的研究。

E-mail:303979057@qq.com