

信号调理模块的 LXI 自动测试系统设计

戴日辉¹, 陈 帅², 杨昊旻³

- (1. 海装沈阳局驻哈尔滨地区第三军事代表室, 哈尔滨 150001;
2. 哈尔滨工业大学 仪器科学与工程学院, 哈尔滨 150001;
3. 北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 430071)

摘要: 为满足自动测试系统课程实验的教学演示需要, 以某信号调理模块为被测对象设计开发了一套基于 LXI 总线的多通道自动测试系统; 该自动测试系统主要由激励信号源、信号调理模块、数据采集器以及设计的通道选择模块组成; 设计的通道选择模块以 ATmega328-PU 单片机为核心, 采用电平转换芯片 CH340T 实现与上位机间的通信, 并且使用 ULN2803 驱动芯片实现继电器开关的驱动控制; 在软件设计中, 使用“生产者-消费者”的架构进行控制软件的设计, 采用面向对象的编程思想封装设备的操作函数, 根据技术要求基于 LabVIEW 完成人机交互界面的开发; 经实验测试表明, 该自动测试系统可由计算机控制产生输入信号调理模块的激励信号, 并具备对信号调理模块输出信号的采集、分析处理以及显示功能, 同时可以进行测试通道选择切换, 在实际应用中满足自动测试系统课程实验的教学演示需求。

关键词: 自动测试系统; LXI 总线; 仪器控制

Design of LXI Auto-Test System for Signal Conditioning Module

Dai Rihui¹, Chen Shuai², Yang Haoyang³

- (1. No. 3 Military Office of Navy Armaments Department in Harbin District, Harbin 150001, China;
2. School of Instrumentation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;
3. School of Automatic Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 430071, China)

Abstract: In order to meet the teaching demonstration needs of the automatic test system course experiment, a set of multi-channel automatic test system based on LAN-based extensions for Instrumentation (LXI) bus was designed and developed with a signal conditioning module as the object under test. The automatic test system is mainly composed of excitation signal source, signal conditioning module, data collector and designed channel selection module. The designed channel selection module is based on the ATmega328-PU single-chip microcomputer, adopts the level conversion chip CH340T to implement the communication with the upper computer, and uses the ULN2803 driver chip to implement the drive control of the relay switch; In the software design, the "producer-consumer" architecture is used to design the control software, the object-oriented programming idea is adopted to encapsulate the operation function of the equipment, and the human-computer interface is developed based on LabVIEW according to the technical requirements. Through the experimental test, the automatic test system can be controlled by a computer to generate the excitation signal of the signal conditioning module, and has the functions of collecting, analyzing, processing and displaying the output signal of the signal conditioning module, which meets the teaching demonstration needs of the automatic test system course experiment through practical application.

Keywords: automatic test system (ATS); LXI; instrument control

0 引言

随着电子技术的发展, 各种电子设备的现代化、高科技化、复杂化程度也越来越高, 针对设备的测试内容也日趋繁杂, 测试工作量急剧增加, 而规定的测试时间越来越短, 导致传统的人工参数测试方法难以满足现代测试需求。因此, 必须依靠以计算机为核心的测试系统来实现设备的自动化测试^[1]。

自动化测试系统^[2-4] (Automatic Test System, ATS) 有关的研究工作最早开始于 1955 年美国的 SETE 计划, 用以解决军用电子设备 (如航空电子系统和导弹系统等) 的

维护问题。自动测试系统是指可以自动进行测量, 数据处理, 并且以合适的方式显示输出测试结果, 而无需人员参与或仅需极少参与的系统^[5]。与传统的人工参数测试方法相比, 自动测试可以提高工作效率、降低成本, 在现代测试测量技术中有着十分重要的作用。为满足自动测试系统课程实验的教学演示需要, 本文以某信号调理模块为被测对象设计了一套基于 LXI 总线^[6]的多通道自动测试系统。经实际应用测试, 该自动测试系统实现了对信号调理模块的自动测试, 同时可进行通道选择, 具有良好的教学演示效果。

收稿日期: 2020-10-20; 修回日期: 2020-10-29。

作者简介: 戴日辉(1983-), 男, 安徽铜陵人, 工程师, 学士, 主要从事自动控制方向的研究。

引用格式: 戴日辉, 陈 帅, 杨昊旻. 信号调理模块的 LXI 自动测试系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(5): 15-19, 24.

1 系统结构及原理

通过分析课程实验的教学演示需求,以信号调理模块为被测对象设计的自动测试系统应具备如下技术要求:

1) 自动测试系统能够产生激励信号作为信号调理模块的输入。

2) 自动测试系统能够采集信号调理模块的输出信号,并具备后续的分析、处理和显示功能。

3) 能够通过上位机实现测试通道的选择切换,将信号调理模块依次接入自动测试系统进行测试。

设计的多通道自动测试系统主要由激励信号源、信号调理模块、数据采集器以及通道选择模块组成,系统结构如图 1 所示。上位机通过 LXI 总线^[7-9]发送程控仪器指令,用于控制激励信号源产生输入信号调理模块的激励信号,数据采集器采集选定通道信号调理模块的输出波形信号;同时上位机可通过串口指令控制通道选择模块完成测试通道的选择。上位机基于 LabVIEW 软件开发相应的软件界面,用于实现人机交互以及测试系统的控制。

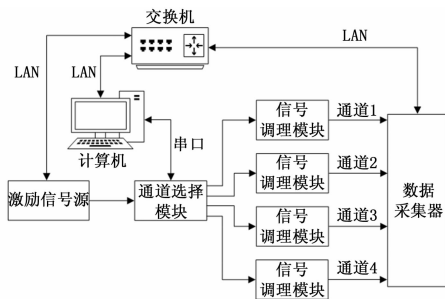


图 1 多通道自动测试系统结构

2 系统硬件设计

设计的多通道自动测试系统主要由激励信号源、信号调理模块、数据采集器以及通道选择模块组成。其中信号调理模块采用实验室已有的某信号模块,激励信号源和数据采集器分别采用 HTLX3730B 100MSPS 任意波形发生器、HTLX4484B 八通道同步数据采集仪。根据设计指标要求,多通道选择模块应采用 5 V 供电,具备与信号调理模块输出相连的 SMA 接口,并通过 BNC 接口与数据采集器的各通道连接,同时可以接收上位机的串口控制指令完成 4 个测试通道间的切换。

2.1 信号调理模块

系统中采用的信号调理模块是一款用于配套测量发动机转速传感器输出的信号调理模块,其作用是将传感器输出的正弦波信号,调理成同频率的方波信号,该模块的具体性能指标参数如表 1 所示。

2.2 激励信号源与数据采集器

多通道自动测试系统的搭建需要激励信号源和数据采集器,选用已具备的两种型号的 LXI 仪器模块。下面分别对采用的 LXI 仪器模块进行介绍:

表 1 信号调理模块基本性能指标参数

性能指标	参数值
输入信号波形	正弦波
输入信号频率范围	0~6 kHz
输出信号波形	方波
输出信号幅值	3 V
供电电压	24 V

1) 激励信号源:使用 HTLX3730B 100 MSPS 任意波形发生器。该任意波形发生器基于 LXI 总线并符合 IVI 1.3 标准,具备 16 位的分辨率和 256 MB 的板载缓存,最高数据转换率可达 100 MS/s,通过待用数字内插技术可使有效转换率达到 400 MS/s,输出信号的最大带宽为 43 MHz。

2) 数据采集器:使用 HTLX4484B 八通道同步数据采集仪。该数据采集器可使用 8 个独立的单端采集通道或 8 个独立的差分通道,所有通道共享 512 MB 的 SDRAM 数据存储,各通道均有一个独立的 16 位 A/D 转换器和信号调理电路,可实现的最高采样为 2 MSa/s。

2.3 通道选择模块

综合考虑实现硬件资源使用率、实现成本等因素后,选择采用单片机控制继电器阵列的方式实现通道选择模块,设计的硬件电路框图如图 2 所示。硬件电路主要包括单片机最小系统、通信及供电电路和继电器阵列及外部接口,下面分别对这三部分的硬件电路设计进行介绍。

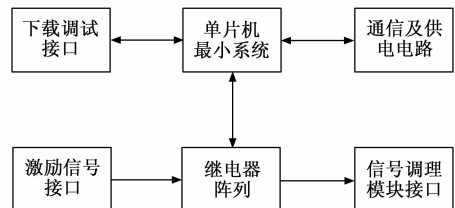


图 2 通道选择模块硬件电路图

1) 单片机最小系统:通道选择模块的微控制器采用基于 RISC 指令集的 Atmel ATmega328-PU,设计的单片机最小系统的原理图如图 3 所示。时钟电路由一个 16M 无源晶振和两个 22pF 电容组成,复位电路同时具备上电自动复位和手动按键复位两种复位方式,为便于观察上电情况和串口通信情况,添加了电源指示灯和串口指示灯。

2) 通信及供电电路:为保证通道选择模块能够接收上位机的控制指令进而完成测试通道的选择,因此需要实现与上位机之间的通信,采用常见的 Micro USB 接口实现。由于 ATmega328-PU 单片机的串口输出为 TTL 电平,所以采用 CH430T 电平转换芯片实现串口信号和 USB 信号之间的转换。由于 CH340T 的正常工作需要独立的时钟源,所以用 12 M 无源晶振和 2 个 22 pF 电容组成时钟电路。此外针对通道选择模块的供电需求设计了两种方式:通过 USB 接口直接供电或者由外部直流电源通过接线端子供电,这两种供电方式通过一个单刀双掷开关进行选择。通信及供电电路的原理图如图 4 所示。

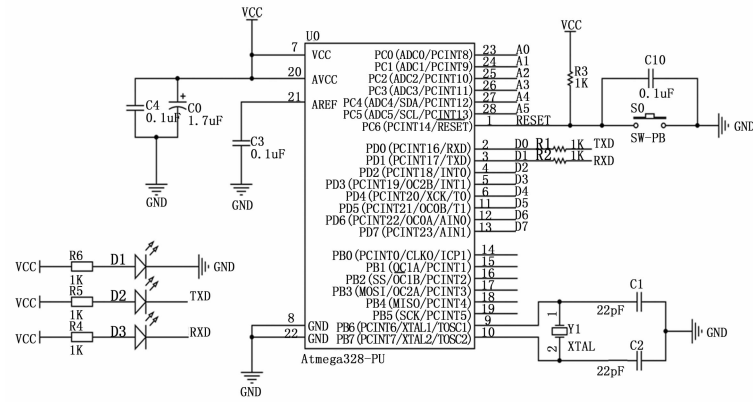


图 3 ATmega328-PU 最小系统原理图

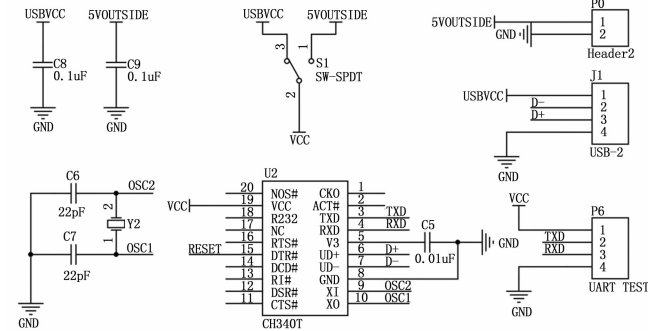


图 4 通信及供电电路原理图

3) 继电器阵列及外部接口: 考虑单片机 I/O 口的负载驱动能力有限, 无法直接驱动控制继电器, 因此采用 ULN2803 驱动芯片, 该驱动芯片最多可实现八路驱动, 现选用其中四路用作继电器驱动。在 COM 引脚外接高电平时, 一旦单片机的 I/O 口输出低电平, 对应的继电器吸合, 使能信号调理模块的输入, 从而实现通道选择的功能。由于激励信号源的输出接口为 SMA, 数据采集器的输入接口为 BNC, 因此通道选择模块的外部接口设计为一个 SMA 接口和 4 个 BNC 接口。继电器阵列及外部接口的原理图如图 5 所示。

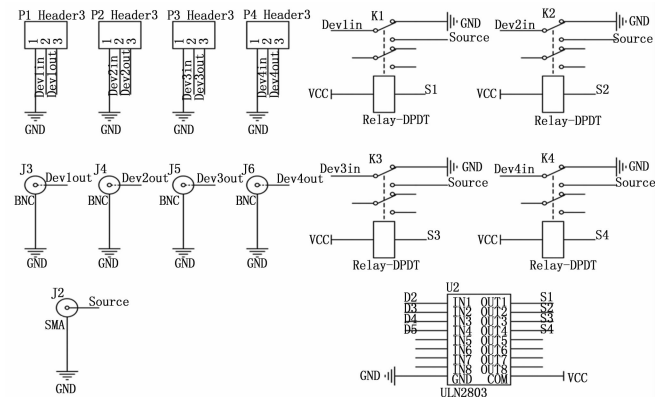


图 5 继电器阵列及外部接口原理图

现需要在硬件设计的基础上进行相应的系统软件设计。通过分析该多通道自动测试系统的工作原理, 设计的系统软件应实现以下功能点:

- 1) 具备本地人机交互界面, 能够响应鼠标、键盘操作。
- 2) 能够控制激励信号源、数据采集器这两个 LXI 仪器模块。
- 3) 实现与通道选择模块之间的串口通信, 用于发送通道选择控制指令。

因此系统软件设计主要包括上位机软件设计和下位机程序设计, 下面就多通道自动测试系统的软件设计工作进行介绍。

3.1 上位机软件架构设计

由于上位机的控制软件既要响应软面板的用户事件, 又需在后台执行激励信号源和数据采集器的控制操作, 同时还要进行采集波形信号的分析处理, 因此需要采用多线程的设计实现。然而各个线程之间并非完全独立, 它们之间还会进行必要的数据交换和信息传递, 因此控制软件采用“生产者-消费者”架构, 即通过顺序队列 (FIFO) 缓冲区实现线程之间的同步和通信。

在生产者线程中使用事件结构, 因此当用户在软面板执行例如按下按键、输入数据等操作时, 就会产生一个对应的事件, 在控制程序中每个事件都映射着一个操作响应函数。每当用户操作被事件结构响应后, 都会将一个捆绑有对应事件枚举变量的簇送入顺序队列缓冲区, 供消费者线程读取。此外, 在簇中还有一个用来传递事件数据的变量。在消费者线程中使用状态机结构。首先判断顺序队列缓冲区是否为空, 如果非空则从中依次读取缓存簇并进行解绑, 然后使用条件结构根据簇中的枚举变量执行相应分支的响应操作。基于“生产者-消费者”架构完成上位机控制软件的设计, 能够有效避免用户事件的丢失, 提高测试系统的运行可靠性, 其执行流程图如图 6 所示。

3 系统软件设计

多通道自动测试系统的自动测试、通道选择功能的实

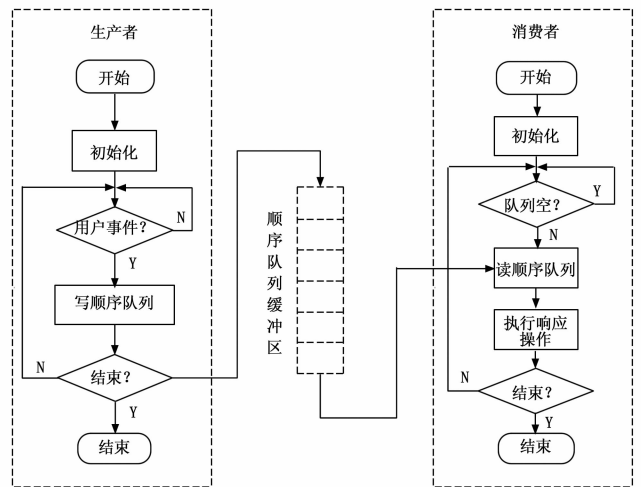


图 6 上位机控制软件执行流程图

3.2 上位机仪器驱动设计

系统中上位机通过 TCP/IP 协议发送 SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) 指令对激励信号源和数据采集器进行控制。此外,上位机还需通过串口指令控制通道选择模块完成测试通道选择。虽然两者的硬件接口分别是 LAN 口和串口,但是控制软件可以调用 VISA (Virtual Instrument Software Architecture) 对不同接口的仪器以统一的形式发送程控指令^[10-11]。图 7 分别为 VISA 资源库中的打开、关闭、发送和读取 4 种基本结构,通过 VISA 库对自动测试系统中的仪器进行控制时,均需要调用上述 4 种基本结构。

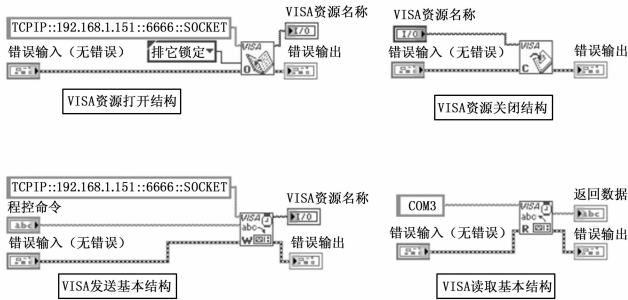


图 7 VISA 资源中的 4 种基本结构

由于多通道自动测试系统中的仪器设备具有较多共同的属性和调用方法,因此采用面向对象的方法进行仪器驱动程序的设计。针对各仪器设备间共有的属性和方法创建 ATS_Instr 类作为父类,仪器驱动程序中的其他类,例如 ATS_LXIFgen (激励信号源)类、ATS_LXIDAQ (数据采集器)类和 ATS_ATmegaSwitch (通道选择模块)类均是继承自 ATS_Instr 父类的子类,它们之间的继承关系如图 8 所示。

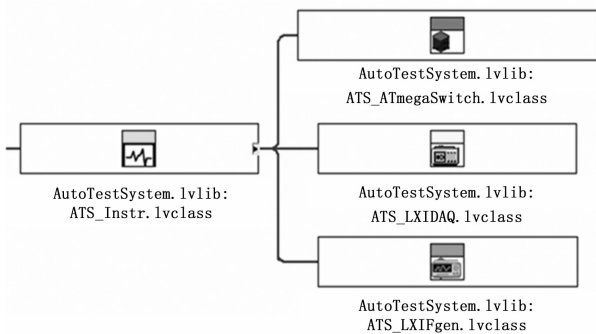


图 8 仪器驱动程序类间的继承关系

ATS_LXIFgen 类的实例化仪器是 HTLX3730B 激励信号源,该子类在父类的基础上增加了波形输出配置程序接口;ATS_LXIDAQ 类的实例化仪器是 HTLX4484 数据采集器,该子类在父类的基础上增加了采样率和采样点数的属性,还增加了配置输入、信号采集以及信号处理程序接口;ATS_ATmegaSwitch 类的实例化设备是通道选择模块,该子类在父类的基础上增加了通道选择程序接口,同时上述 3 个子类还根据自身特性重写了仪器初始化、启动

和停止的程序接口。采用面向对象的方法进行仪器驱动程序的设计,不仅可以减少重复的代码量而且便于后期的代码维护升级。

3.3 下位机程序设计

通道选择模块中的 ATmega328-PU 微控制器程序采用串口命令驱动的状态机实现,即通过接收的上位机指令来决定状态机的跳转。不同的状态机状态对应不同的 I/O 口输出电平组合,进而控制继电器阵列状态实现测试通道的选择。下位机的程序流程如图 9 所示。

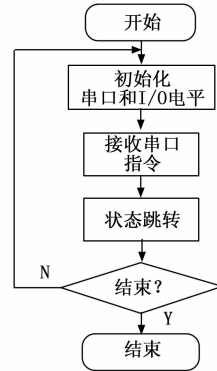


图 9 下位机程序流程图

上位机与下位机之间的串口通信命令帧采用 4 个字节,前两个字节 0xFF 作为帧头,第三个字节为命令数据,第四个字节为命令数据的反码。不同的命令数据对应不同测试通道选择,它们之间的对应关系如表 2 所示。

表 2 通达选择命令表

命令数据	通道选择
0xC0	所有通道断开
0xC1	接入通道 1,断开其他通道
0xC2	接入通道 2,断开其他通道
0xC3	接入通道 3,断开其他通道
0xC4	接入通道 4,断开其他通道

3.4 上位机软面板设计

上位机软面板通过调用仪器模块的驱动程序实现对多通道自动测试系统的控制,例如激励信号源输出信号设置,测试通道设备选择等,同时还集成了波形显示窗口以便于用户对波形的观察。如图 10 所示上位机软面板主要由 3 个区块组成:波形显示区块、设备选择区块以及输入信号设置区块。

4 实验结果与分析

为验证设计的多通道自动测试系统的功能正确性,首先上位机通过 LXI 总线发送程控命令对测试系统中的激励信号源、数据采集器两种型号的 LXI 仪器模块进行连接、功能测试,通过串口发送串口指令控制通道选择模块进行通道切换测试,随后对整个系统进行了整体功能测试。

4.1 LXI 总线通信连接测试

在设计的多通道自动测试系统中,上位机与激励信号

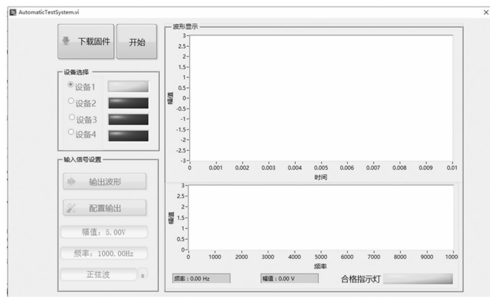


图 10 上位机软面板

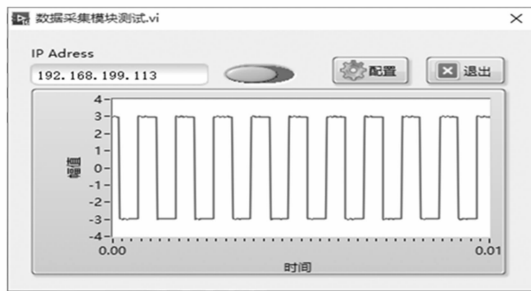


图 13 数据采集器测试

源、数据采集器之间的通信依赖于 LXI 总线, 因此首先对测试系统中 LXI 总线通信功能进行测试。用 LabVIEW 编写用于测试 LXI 总线通信连接的程序, 程序具体实现调用 VISA 发送一个通用的 SCPI 指令 *IDN?, 该指令用于查询 LXI 仪器的设备信息。测试结果如图 11 所示, LXI 仪器模块返回相关设备信息, 说明 LXI 总线的通信连接正常。



图 11 LXI 总线通信连接测试

4.2 激励信号源、数据采集器功能测试

激励信号源、数据采集器的功能测试采用如下方法实现: 采用 SMA 接头转 BNC 接头的信号传输线将激励信号源输出端和数据采集器的一个输入通道相连接, 用 LabVIEW 编写两者的测试程序并同时运行, 测试结果如图 12 和图 13 所示, 激励信号源的输出设置和数据采集器测得的波形一致, 表明两者的功能正确。



图 12 激励信号源测试

4.3 系统整体功能测试

完成自动测试系统中各模块的功能测试后, 对整个系统进行全局功能测试。激励信号源的输出端与通道选择模块的 SMA 接口连接, 作为系统的测试信号输入; 信号调理模块由直流稳压电源输出的 24 V 供电, 并将其输入、输出

端连接至通道选择模块上的接线端子; 最后将通道选择模块的 4 个 BNC 输出端与数据采集器的 4 个采集通道相连接, 通过以上步骤完成测试系统的搭建。此后, 用户可通过上位机软面板控制系统进行关于信号调理模块的自动测试。图 14 显示的是某次测试实例的结果, 上位机控制激励信号源产生幅值为 5.00 V、频率为 1 000 Hz 的正弦波作为测试信号, 经过信号调理模块的作用后, 数据采集器采集到赋值为 2.78 V、频率为 1 000 Hz 的方波输出信号, 由于输出波形信号符合预期的指标参数, 所以自动测试系统的合格指示灯为绿色, 表明信号调理模块通过测试。除此之外, 通过上位机发送串口指令进行了通道选择测试, 测试结果表明该系统可实现测试通道的灵活选择切换, 具备良好的教学演示效果。

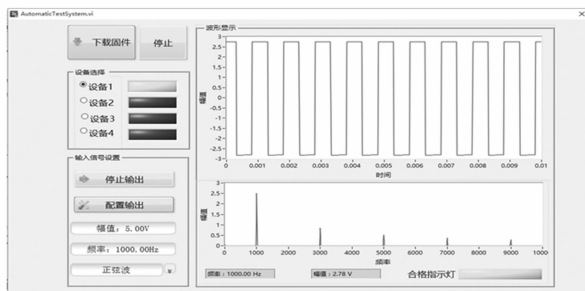


图 14 系统整体功能测试

5 结束语

本文从自动测试课程实验的教学演示实际需求出发, 以某信号调理模块为被测对象, 设计开发了一套基于 LXI 总线的自动测试系统并进行了相关测试, 测试结果表明该自动测试系统可由计算机控制产生输入信号调理模块的激励信号, 对信号调理模块的输出信号进行采集、分析处理以及显示, 同时具备通道选择切换功能, 在实际应用满足自动测试系统课程实验的教学演示需求。

参考文献:

[1] 胡 瑜, 王 熠, 顾亚萍, 等. VXI 雷达自动测试系统 [J]. 测控技术, 2001 (9): 42-45.
 [2] 张毅刚, 彭喜元, 姜守达. 自动测试系统 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.

(下转第 24 页)