

基于虚拟仪器的自动测试系统设计

郭壮壮, 武梦龙

(北方工业大学 电子信息工程学院, 北京 100144)

摘要: 目前由于电子信息和计算机等技术的飞速发展, 仪器设备的测试复杂程度越来越高, 传统的测试仪器已经难以满足绝大多数设备的测试需求; 针对当前的军用配电器测试系统操作复杂、成本高等问题, 设计了一种基于虚拟仪器的自动测试系统; 系统的提出可以提高系统单元测试的先进性、通用性、规范化以及自动化程度, 并且可以完成配电器自动化测试、装置的功能测试、电阻测试、延时时间测试, 以及对装置振动测试过程中的继电器触点闭合状态可靠性的监测; 系统硬件主要由基于 PXI 总线的计算机和多种 NI 板卡构成, 其中包括 PXI-2737 矩阵开关板卡、PXI-4072 数字万用表板卡以及 PXI-7811r 数字 I/O 板卡等; 软件部分采用 LabVIEW 作为自动测试系统的软件开发平台, 使系统具有较强的扩展性和维护性; 系统经实验测试实现了对测试数据的实时采集、显示及自动存储等功能, 并完整地记录了被测配电器的测试数据。经实际应用系统满足了安全可靠, 操作便捷, 成本低, 效率高的工程要求, 适应现代化测试要求。

关键词: 测试技术; 虚拟仪器技术; PXI-7811r

Design of Automatic Test System Based on Virtual Instrument

Guo Zhuangzhuang, Wu Menglong

(College of Information Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

Abstract: At present, due to the rapid development of electronic information and computer technology, the testing complexity of the equipment is becoming more and more high, the traditional testing instruments have been difficult to meet the test requirements of most equipment. An automatic test system based on virtual instrument is designed to solve the problems of complex operation and high cost of the current military distribution equipment testing system. The proposed system can improve the advanced nature, generality, standardization and automation of the system unit test, and can complete the automatic test of distribution equipment, the function test of the device, the resistance test, the delay time test. And monitoring the reliability of relay contact closing state in the process of vibration testing. The hardware of the system is mainly composed of a computer based on PXI bus and a variety of NI boards, including PXI-2737 matrix switch board, PXI-4072 digital multimeter board and PXI-7811r digital I/O board. In the software part, LabVIEW is used as the software development platform of the automatic test system, which makes the system more extensible and maintainable. The system realizes the functions of real-time acquisition, display and automatic storage of the test data, and records the test data of the distribution apparatus under test. The practical application system meets the engineering requirements of safety and reliability, convenient operation, low cost and high efficiency, and meets the requirements of modern testing.

Keywords: test technology; virtual instrument technology; PXI-7811r

0 引言

某军用配电器在调试阶段没有配套的自动化测试工装, 在应力筛选工序中需要多台抖动仪器, 连接器种类繁多, 接线复杂, 给人工测量增加了难度, 工作量大的同时人工出错率的风险较高。随着测试技术的不断发展, 虚拟仪器技术逐渐占据测试领域的主导地位^[1]。在测试系统中引入虚拟仪器技术作为软件平台, 利用其图形化编程的特点, 针对不同的测试要求编写虚拟测试面板, 可以快速组建出一套具有良好人机交互界面的测试系统^[2]。本文设计研发一种基于虚拟仪器的自动测试系统。

该自动测试系统的测试效率较高, 能够完成配电器的多项测试要求以及振动试验信号的监测, 并具备时间测量、电阻测量、继电器通断检查、供电及供电控制等功能, 同时测试过程自动完成, 对测试数据自动进行采集、存储、判读, 为配电器的生产提供调试、测试^[3]。基于系统软硬件的可扩展功能, 可以通过硬件机箱的板卡配置以及软件的编写来满足未来同类型配电器的测试需求。所以该自动测试系统的研制具有非常重要的意义, 不需要重复接线, 降低了工作人员的工作强度, 减少人为的误操作, 提高了测试精度和劳动效率, 在测试过程中, 操作更为简便, 数据呈现更为清晰, 实现了无人看守, 安全稳定的运行, 保证了产品的质量。

1 测试系统的硬件设计

1.1 测试系统功能概述

该自动化测试系统是基于 PXI 总线模块集成开发的一套自动化测试设备。基于配电器的共同测试特点, 以 PXI

收稿日期:2018-05-09; 修回日期:2018-05-29。

作者简介:郭壮壮(1994-),男,北京人,硕士研究生,主要从事电子通信及测试技术方向的研究。

武梦龙(1972-),男,山西太原人,博士,副教授,主要从事嵌入式系统与无线光通信方向的研究。

总线技术和高性能测试板卡为平台, 通过独立的转接机箱, 来实现时间测量、电阻测量、继电器通断检查、供电及供电控制等功能, 并可以对测试数据进行采集、存储、判读。根据产品的特点和测试要求, 测试系统应具备如下功能:

- 1) 系统具备功能测试、调试和振动试验中的抖动监测功能;
- 2) 完成延迟时间测量、电阻测量、继电器通断检查等;
- 3) 对历史数据进行回访, 并可完成统计分析;
- 4) 主控计算机与测试系统进行连接, 实现控制和测试功能;
- 5) 测试数据直接报表打印输出;
- 6) 系统具有自检和故障提示功能;
- 7) 系统人机界面友好, 操作简便;
- 8) 软件模块独立性好, 测试流程可扩展, 易于维护。

用户外部可通过键盘、鼠标给设备中的嵌入式计算机主板输入指令, 计算机主板接收到外部的指令后, 按照指令自动执行测试流程, 进而实现对各项产品技术指标的测试和分析。

测试系统是集成有嵌入式控制器、多种测试板卡、信号调理电路、系统软件的综合测试系统^[4]。该系统具有数据采集, 数据分析处理功能, 并且具有一定的通用性, 系统可配置不同的信号转接箱实现对不同类型配电器产品的综合能力测试。信号转接箱是针对产品测试需求设计的信号转接模块, 使用时通过测试电缆将被测产品与测试系统连接。

1.2 系统设计原理及组成

测试系统所需测试板卡集成在 PXI 机箱中, 通过 PXI 总线和嵌入式控制器进行数据交换和管理。系统设备组成如图 1 所示。

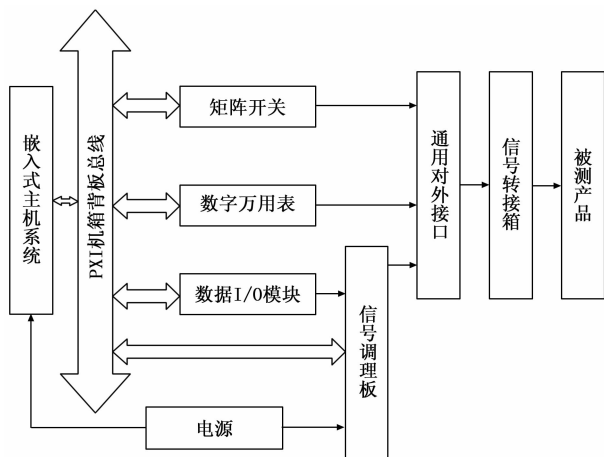


图 1 测试设备组成框图

其中电源采用固纬 PSU60-25 程控直流电源, 功率最高可达 1520 W, 额定电压 6~60 V 可调。矩阵开关、数字万用表和数字 I/O 板卡通过 PXI 机箱背板总线与 PC 进行数据交换和保存。信号调理板选用 ULN2803 驱动继电器, 该

器件具有集电极开路输出和续流二极管, 用于抑制跃变。在线圈两端接发光二极管, 通过数字 I/O 进行选通, 对应继电器吸合, 同时发光二极管点亮, 表明继电器已经上电。进而控制产品内部继电器触点闭合, 完成逻辑关系, 同时采集节点电平, 判断产品功能是否正常。

1.3 NI 板卡选择

1.3.1 数字万用表及矩阵开关

电阻以及常闭点测试需要数字万用表和矩阵开关共同完成。矩阵开关选用 NI PXIe-2737, 用于自动化测试系统内的高密度矩阵开关模块。模块配置为一个 4x64 的双线矩阵, 可用于执行即时开关操作。每个通道使用的继电器可切换高达 100 VDC/100 VAC 的电压和 2 A 的电流。

数字万用表选用 NI PXI-4072, 具有 3 种常见仪器功能: 7 位半万用表、LCR 表和 1.8 MS/s 隔离数字化仪, 它提供了各种通用的测量功能, 包括电压、电流、电容、电感、温度和电阻等 20 种最常用的 ATE 测量。模块集各种测量功能于一身, 既降低了测试系统的规模 and 成本, 又提高了系统的处理能力, 缩短了测试的开发时间^[5]。

1.3.2 数字 I/O 模块

数字 I/O 模块选用 NI PXI-7811r 提供多路可编程的数字输入输出信号, 具有高密度的特点, 实现多路控制的双向操作。该模块具有 NI 可重构 I/O 技术, 能够使用可重配置现场可编程门阵列芯片和 NI LabVIEW 图形开发工具定义自己的定制测量硬件电路。NI R 系列多功能设备通过将该 FPGA 技术与 8 个模拟输入, 8 个模拟输出和 96 个数字 I/O 线集成在一起, 提供了最佳的价值和性能组合。使用 LabVIEW FPGA 模块, 可以创建自己的硬件特性, 用于自定义数据采集, 高速控制, 数字通信协议以及传感器仿真。

1.4 信号调理板设计

信号调理板由 ULN2803 达林顿晶体管阵列、多个欧姆龙 G6A 继电器构成。电路如图 2 所示。以继电器 K1, 2 为例, 数字 I/O 端产生 3.3 V 电压, 连接达林顿管 1 脚输入, 18 脚为输出, 驱动继电器, 继电器线圈一端接电源正, 另一端接 18 脚。1 脚加 3.3 V 高电平, 微型继电器吸合, 程控电源输出的 28 V 电压加到产品内部继电器, 使其触点闭合, 回采电平。

达林顿晶体管 ULN2803 具有八路 NPN, 适用于低逻辑电平数字电路和较高的电流/电压要求的接口, 广泛应用于计算机和工业中的继电器或其它类似负载中。所有器件具有集电极开路输出和续流箱位二极管, 用于抑制跃变。ULN2803 片内有 8 路驱动器, 脚 1-8 分别是这 8 路驱动器的输入, ULN2803 的设计与标准 TTL 系列兼容, 而 ULN2804 最适于 6 至 15 伏高电平 CMOS 或 PMOS。脚 1-18 分别是 8 路驱动器输出。输出是 OC 门, 集电极, VCE=50 V, 驱动电流 500 MA。可直接驱动感性负载继电器等。片内 8 路输出都带有续流二极管, 从 10 脚并联接出。使用时 9 脚接地, 驱动继电器时 10 脚接继电器驱动正电源^[6]。

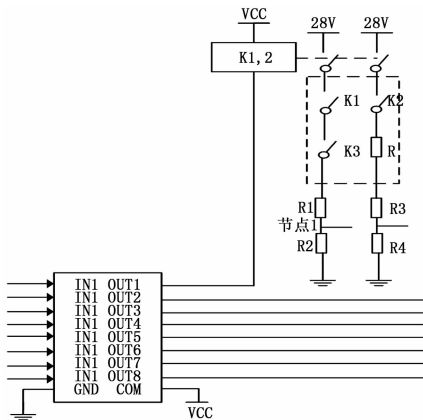


图 2 信号调理板原理图

G6A 微型继电器的型号是 G6A-274P-ST-US，抗电磁干扰性能强，可实现高密度安装。抗冲击耐压 1500 V·FCC 规格标准，实现耐高压。而且低接点振动，可以发挥高接触可靠性，用途广泛。其可供选择的线圈额定电压有 3~24 V，这里选择 5 V 作为继电器线圈的额定电压。闭合微型继电器，进而控制产品内对应继电器触点的闭合，记录数据，完成测试。

1.5 信号转接箱设计

信号转接箱采用标准 19 英寸机箱，高度 5 U，深 480 mm。信号转接箱设计的关键是通过信号调理板将信号进行转接、切换和显示。对于电阻测试，采用四线连接，当选择 100 欧姆量程时，四线电阻的测量精度可以达到 0.010% 读数 + 0.004% FS。对于功能测试，采用数字 I/O 板卡采集测试节点电平，产品内部继电器由程控电源输出 28 V 驱动，节点电压通过 10 K 和 1.2 K 电阻分压，当采集电压为 3.0 V ± 3 V 时，视为继电器功能正常。信号转接箱的前面板设计以使用方便为原则，兼顾美观。

2 测试系统的软件设计

2.1 软件设计概述

系统的软件部分基于 Windows 系统平台，采用 LabVIEW 高级语言进行编程。利用虚拟仪器的图形化编程，完成对配电器的控制，数据的分析和显示。用户可以根据需要进行操作面板的编程与设计，使得系统具有很高的灵活性和简易的操作性，又能节省大量的人力和物力。

自动测试系统软件部分包括计算机操作系统软件、设备底层驱动软件和高层应用软件等组成，其软件界面流程图如图 3 所示。

测试应用软件将提供测试、数据库管理、系统自检等功能。在测试功能中，将设有功能测试、调试和振动试验监测等功能。其中功能测试将包括继电器常闭点测试、继电器功能测试、延迟时间测试、电阻测试以及继电器常闭点测试。调试功能主要包括延迟时间调试和磁保持继电器的调试。测试主要完成自动测试功能，手动调试功能和试验监测功能，以及系统自检功能。根据系统的应用场合，

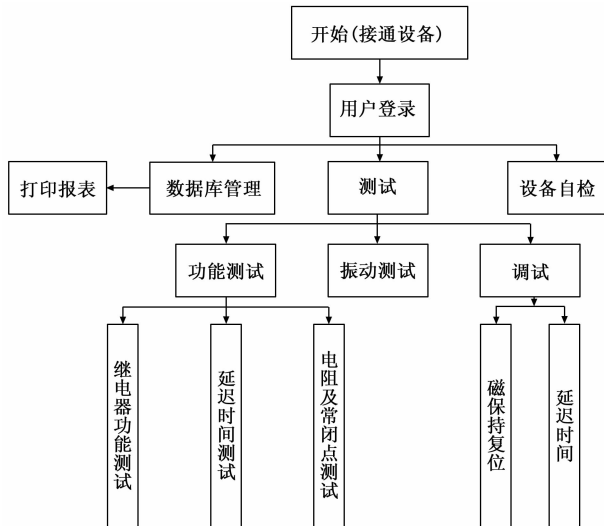


图 3 软件界面流程图

将分别设计单独的测试界面，调试界面和试验监测界面，对特定的参数采用不同的显示方式。

在测试过程中，对关键操作进行提示，并有防止误操作的功能，对不正常的参数和不正常的状态，设有红色报警提示，并根据合格范围，提示超差范围。测试软件操作界面除有正常的启动、停止按键外，将根据需要设定强制停止按键。数据管理软件包括试验数据和用户的管理，试验数据指试验信息、测试数据、产品信息等，用户管理将用户分为不同级别，并采用密码登录的方式，确保数据的安全性。试验数据管理包括试验数据的查询、统计、试验报表输出、打印等功能。

整个软件开发将遵从软件开发规范进行代码测试和功能测试，以确保软件的正确性。软件在确保概要设计、详细设计的基础上，完成代码编写和代码测试工作。对重点操作状态采取状态回读功能，确保系统执行的正确性。

2.2 上位机界面设计

测试系统软件方面的编写基于 LabVIEW 的数据流编程思想进行设计。利用虚拟仪器的特点，将程序模块化。根据不同功能使用各种模块，最后组建出一整套系统。上位机为用户提供了良好的人机交互界面，操作便捷，数据呈现清晰。在编写中使用状态机模块能够满足主程序结构的需要。状态机由 While 循环、移位寄存器和条件结构 3 个部分组成的，其中 While 循环保证了程序可持续运行；条件结构各个分支内的代码描述了系统不同状态；移位寄存器则将上一次状态所做出的结果传递到下一次状态中，使系统的各个功能以状态的方式顺序执行，保证了程序的可读性，也为将来系统更新升级提供了很强的扩展性^[7]。系统测试界面如图 4 所示。

2.3 下位机驱动设计

系统的测试实验需要控制产品电柜内继电器的通断，并采集节点参数，产品内继电器的通断由信号调理板控制切换，而信号调理板则需要数字 I/O 模块来控制通断。



图 4 系统测试界面

控制程序如图 5 所示。系统的测试单元实验较多, 但是大致流程是一致的。以功能测试为例, 在测试之前上电, 执行初始化, 确保全部继电器处于断开状态, 然后依次切换闭合继电器, 采集测试节点电压, 若节点电压在 3.0 V (± 3 V) 内, 视为继电器功能正常。直到所有继电器测试完毕, 实验结束, 将实验结果写入报表, 继续下一个项测试。

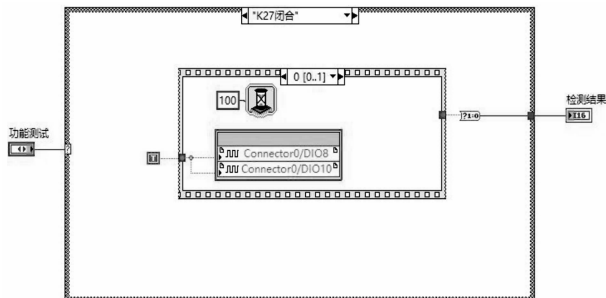


图 5 主程序状态及模块

程控电源、矩阵开关和数字万用表的驱动程序由官方提供, 功能齐全, 可以由自己编写所需的功能, 方便主程序的调用。所谓驱动程序, 就是一组 VI, 每组 VI 都包含了硬件设备的各种基础功能。驱动 VI 可以由一个或者多个程序组成。矩阵开关的 VI 程序, 首先配置矩阵开关, 选择 2 线电阻的测量方式, 闭合一组通道例如: r0c0, 通过万用表读取电阻值并显示, 最后断开开关。

3 系统的测试实验

虚拟仪器技术最显著的特点就是利用软件代替硬件, 降低开发成本。本测试系统的人机交互界面友好, 用户可以手动设置参数, 并且实时的观察测试数据, 操作方式与传统仪器的操作方式相似。系统中包含多种测试, 每种测试都需要生成报表, 用来记录每项测试的数据。同时界面上也可以显示测试状态, 如果测试出现异常, 则报警灯变亮, 用户可以根据需要选择终止测试或者继续下一项测试^[8]。

3.1 功能测试及延迟测试

功能测试是对产品内继电器能否正常工作进行测试。通过上位机发送上电指令, 数字 I/O 模块的电平变高产生

3.3 V 电压, 信号调理板上的继电器导通, 把 28 V 的加到产品内相应继电器两端, 触点闭合, 测试节点经过 10 K 和 1.2 K 电阻分压, 得到 3.3 V 电压, 数字 I/O 的输入端把 2.7~3.3 V 视为高水平, 低于 2.7 V 视为低水平, 并通过 PXI 总线与上位机进行数据交换, 将测量到的节点电平送回上位机显示, 根据测试逻辑判断该继电器是否正常工作。若继电器未正常工作, 则报警灯变红, 操作人员可选择终止测试或继续测试。经实验测试证明, 系统能控制和切换产品内每组继电器闭合或断开, 能采集每组继电器一个或多个测试节点的电平并根据测试要求显示结果。

延迟测试是为了检测产品内的延迟继电器的延迟时间是否处于合格范围。若延迟时间在 80±5 ms 的范围之内为合格。在测试过程中, 要求需要程控电源电压拉偏, 分别为 25 V、28 V、31 V, 各测出其延时时间是否在 80±5 ms 内。在上电前, 节点处于断开状态, 数字 I/O 模块输入“1”态。通过上位机给出上电指令后, 延时起始继电器闭合, 开启计数器, 待终末继电器闭合后, 数字 I/O 模块输入“0”态, 结束计数器, 进而测量继电器延迟时间。经实验测试证明, 在 3 种电压下的延时时间均在合格范围之内, 产品内延时继电器功能正常。

3.2 振动测试

振动试验时, 产品在振动仪上分别进行 X, Y, Z 三个方向的测试, 每组测试 5 分钟。主控计算机通过数字 I/O 模块完成对全部继电器的加电控制, 使产品内共 80 路继电器全部闭合, 对所有触点进行并行的监测, 并实时测量继电器的抖动时序, 采集记录每一个触点的抖动情况。测试精度为 10 μs (±0.5 μs)。若继电器触点发生抖动, 记录抖动发生时刻, 抖动的触点和抖动时间等参数, 便于操作人员故障排除。继电器发生抖动时, 数字 I/O 模块接收到触发信号, 开启计数器, 计算触点断开时间并判断电器是否故障。若断开时间大于 10 μs, 则继电器故障, 输出“1”态。反之则正常, 输出“0”态^[9]。抖动模块时序图如图 6 所示。

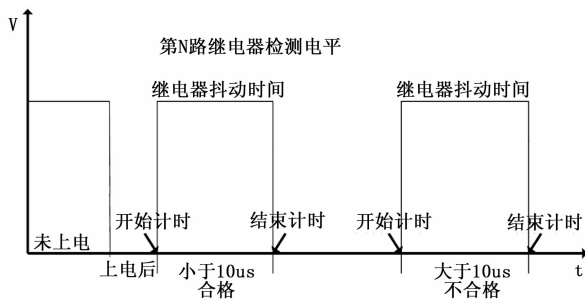


图 6 抖动模块时序图

4 结束语

经过实际应用的结果表明, 该测试系统能够满足多种型号产品的测试要求。与人工测试相比, 运行平稳可靠, 精度符合所要求的标准, 并对以后的更新升级留有很大空间。