

基于 PXI 总线便携式万用测试仪的设计

徐 卫, 林春材, 杨 建

(成都天奥测控技术有限公司, 成都 611731)

摘要: 随着电子工业和军事工业的快速发展, 对各种各样复杂信号测试的需求日益增多; 为了能够满足多信号、多频段、多变量测试的需求, 设计一款集成多用表、任意波形发生器、示波器、射频信号源、音频分析仪和频谱分析仪等多种测试仪器功能的高性能便携式万用测试仪; 硬件采用 PXI 总线架构, 独立功能模块设计; 软件采用分层架构, 层次分明且可扩展性强; 该仪器体积小、功能强大, 满足了现场对多种类型信号同时测试的实际需求, 且在很大程度上提高了测试效率。

关键词: 便携式; 万用测试仪; PXI 总线

Design of Portable Multifunctional Tester Based on PXI Bus

Xu Wei, Lin Chuncai, Yang Jian

(Spaceon Observation and Control Technology Co., Ltd., Chengdu 611731, China)

Abstract: With the rapid development of electronic and military industry, there is an increasing test need of different kinds of complex signal. In order to meet the need of multi-signal, multi-frequency segment and multi-variable test, a high effective portable multifunctional tester is designed, which integrates many kinds of instrument functions including multimeter, audio analyzer, arbitrary waveform generator, oscillograph, RF signal generator, spectrum analyzer and so on. The hardware frame of the tester is based on PXI bus, and each function module is unattached. The software frame of the tester is layered which is clear and has strong expansibility. The volume of the multifunctional tester is small, but its functions are multiple, it can meet the need of testing different kinds of signal at the same time, and improve test efficiency obviously.

Keywords: portable; multifunctional tester; PXI bus

0 引言

目前, 不管是电子元器件或部件还是电子设备, 其研制、生产和维护始终离不开通用测试类仪器的影子。而且, 在测试过程中, 需要同时使用多种电子测试仪器以达到信号测试目的的情况已日益增多。但是市面上通用的测试仪器一般外形尺寸较大, 并且应用和操作也较为不便, 最为严重的是购置这些仪器将花费非常高昂的代价。而大型自动化测试设备^[1] (ATE) 虽解决了操作上的问题, 但体积和购置成本仍居高不下。因此, 现在测试领域的市场上迫切需要一种便携式、低成本、具备多种通用测试仪器功能于一体的测试设备, 在这种背景下, 集合多种仪器功能^[2]于一体的万用测试仪应运而生。

万用测试仪在一台小型便携式仪器中集成^[3]9种常用仪器仪表功能于一体, 这些功能包括: 万用表、示波器、功率计、频率计、频谱仪、任意波发生器、调制度分析仪、音频分析仪、射频信号源。该便携式仪器在功能、性能、环境适应性和操控性等方面具有优异的特性, 使用该仪器可大大降低其他测试仪器的采购和使用成本, 满足内场联试和外场保障快速机动的测试需求。该便携式仪器还适合于电子设备以及高端光电设备的科研生产、联试、维修和外场保障等场合的测试测量。

1 硬件架构的搭建

1.1 硬件架构设计

万用测试仪的硬件系统是基于 PXI 总线架构搭建的, 主要由 PXI 功能模块、PXI 控制器模块、PXI 加固式机箱三部分组成。其中, PXI 加固式机箱包括 PXI 箱体 (含接口和显示面板)、机箱电源等部件, 它和 PXI 控制器模块构成通用的 PXI 总线平台, 为各功能模块在平台上的集成使用提供了必要的总线通信协议和电气接口, 是构建万用测试仪的基础。PXI 功能模块主要包含: 数字示波器模块、数字多用表模块、任意波形发生器模块、射频信号源模块、射频综合测试模块; 除射频综合测试模块外的其他四个模块分别实现数字万用表、任意波形发生器、射频信号源和数字示波器功能, 而射频综合测试模块则兼顾频谱分析、调制度分析、音频分析、频率测量和功率测量等 5 大功能, 具体硬件组成原理框图如图 1 所示。

1.2 数字示波器模块设计

数字示波器模块负责实现时域信号测试功能, 以“ADC+FPGA”为核心, 主要包含信号调理、ADC 采样、FPGA 及外围、参考时钟、TTL 驱动和外触发等电路, 组成原理如图 2 (a) 所示。外部输入模拟信号, 经信号调理电路经阻抗匹配、通道选择、信号幅度调整、带外干扰信号滤除等处理后转换成差分信号, FPGA 在内外触发机制下控制 ADC 完成输入信号的高速实时采集 (采样率: 1 GSa/s), 并同步完成数据储存, 数字信号在 FPGA 中根据触发源实时完成时域信号的波形分析和幅度计算, 并以中断的模式通过 PXI 总线上传控制器模块。

收稿日期: 2014-09-11; 修回日期: 2014-10-17。

作者简介: 徐 卫 (1981-), 男, 山东省济宁市人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事测控技术与仪器方向的研究。

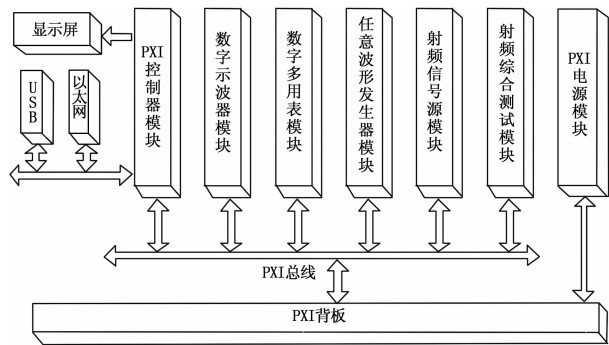


图 1 万用测试仪的硬件架构

1.3 数字多用表模块设计

PXI 数字多用表模块负责测量直流电压、直流电流、交流电压、交流电流和电阻。该数字多用表模块的设计核心是直流电压的测量，其它形式的输入都是先通过各种技术途径转化为直流电压量，然后再通过 AD 转换采集到该测量值。多用表模块是由信号转换、量程控制、高精度 ADC 数据采集，和 FPGA 逻辑处理等单元电路组成，其中，FPGA 负责量程档的选择，信号量的采集、储存等工作，组成原理框图如图 2 (b) 所示。

1.4 任意波形发生器模块设计

任意波形发生器模块负责任意波形的产生，主要由 FPGA 逻辑单元、DDS 修正单元、DAC 信号产生单元、SDRAM 存储单元、同步触单元发和信号调理单元等单元电路组成，具体组成原理如图 2 (c) 所示。

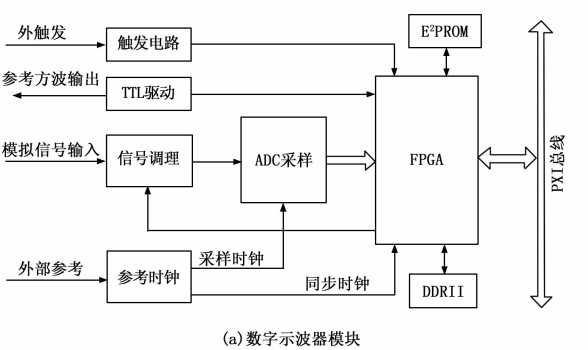
任意波形发生器包含幅度、偏置、频率等参数通过 PXI 总线传送到逻辑控制芯片 FPGA，FPGA 将数据缓存到 SDRAM，并控制 DDS 产生 DAC 采样时钟，当接收到触发信号后，由 FPGA 将数据回读到 DAC，并控制 DAC 输出模拟波形信号，再经信号调理电路完成信号幅度、偏置等参数调整后输出期望幅值和偏置的波形送到端口输出。

1.5 射频信号源模块设计

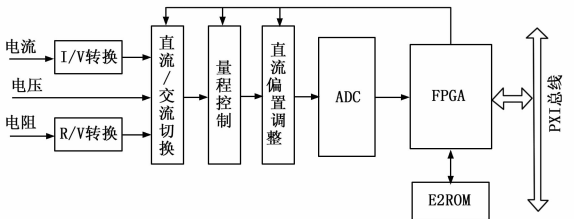
射频信号源模块负责 150 kHz~6 GHz 射频信号的产生，硬件上是由频综模块、上变频模块和数字基带模块三部分组成，原理框图如图 3 (a) 所示。其中，数字基带模块是由 FPGA 逻辑、DDS 信号产生、SDRAM 存储三部分单元电路组成，负责基带信号的产生；频综模块、上变频模块是两个射频模块，用于把基带信号上变频至用户设置的频率值和幅度值。

1.6 射频综合测试模块设计

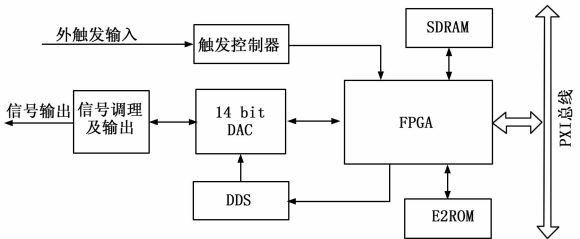
射频综合测试模块负责信号频域分析与处理，硬件上由中频数字化模块、频综模块和下变频模块三部分组成，如图 3 (b) 所示。为方便模块的升级和维护，射频综合测试模块的设计采用了功能模块化和控制集中化的设计思路。中频数字化模块是由 DSP 数据处理、FPGA 信号处理、ADC 数据采集、SDRAM 数据缓存等单元电路组成，该模块除完成数据采集、分析、处理和结果上报外，还通过串口控制频综模块和下变频模块的工作参数；频综模块和下变频模块依照工作参数完成本振频率、程控衰减、开关选择等参数设置，同时将工作状态上报给中频数字化模块，该模块再通过 PXI 总线适时上报各功能模块的工作状态。



(a) 数字示波器模块

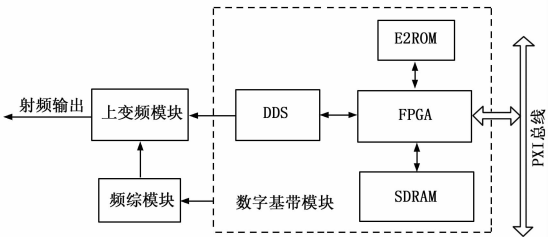


(b) 数字多用表发生器模块

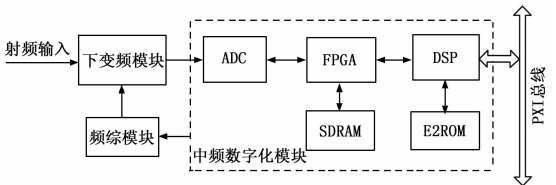


(c) 任意波形发生器模块

图 2 中低频模块功能原理框图



(a) 射频信号源模块



(b) 射频综合测试模块

图 3 射频模块原理框图

1.7 面板设计

面板设计包括前面板和后面板设计，后面板提供通用仪器的常用接口，包括电源接口、电源保险、同步时钟、维护接口等；前面板支持九种仪器功能用于测试的输入输出接口，测试功能操作界面以及操作按键等，详细的前面板设计参见图 4。



图 4 万用测试仪前面板图

2 万用测试仪的软件设计

2.1 软件平台

软件设计平台和运行平台均采用 Windows XP 操作系统，软件设计实现采用 C#^[5] 和 C 两种编程语言来完成。其中，由于 C 语言在与硬件交互上有其独特优势，所以硬件模块的驱动程序^[6]采用 C 语言设计编写；其他部分软件均采用 C# 语言设计，C# 语言设计是一种简单、现代、类型安全和面向对象的高级语言，其在图形处理和显示、窗体应用与处理等方面表现比较突出。

2.2 软件架构设计

软件架构是对软件结构组成的规划和职责设定，根据万用测试仪的硬件架构设计，其软件架构^[7]设计采用层次化架构设计，主要包括展现层、业务层、模块管理层和模块驱动层，层次间的关系和每一层功能说明的详细描述如图 5 所示。

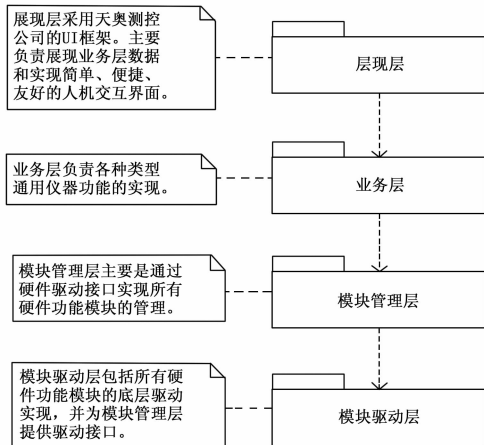


图 5 万用测试仪的软件架构

根据万用测试仪的软件架构设计，在不同软件层次上又采用许多组件^[8]完成总体架构的细化，架构详细的组件关系图如图 6 所示。在展现层中，采用经典软件体系结构风格——事件驱动系统，该风格要求系统不是直接调用一个过程而是触发一个或多个事件；为实现各种信息组合和配置，软件单独设计了一个 XML 配置管理操作组件。该组件通过读写配置文件（后缀为 XML）来完成仪器功能切换、功能按键切换、中英文语言转换、单个仪器功能界面参数配置等工作。业务层封装了 9 种通用仪器功能，每种仪器功能的实现是独立的。模块管理层主要工作是整合 5 种硬件模块驱动，实现硬件资源的集中调配和管理。模块驱动层主要是 5 种模块独立功能驱动程序的集合，这些模块驱动以动态链接库（后缀为 DLL）的形式存在，相互之间完全独立。

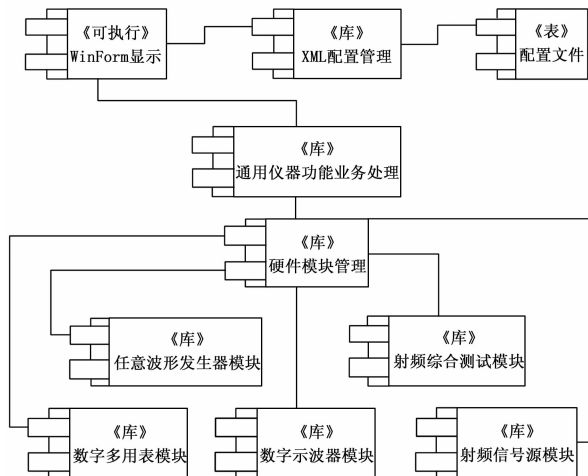


图 6 万用测试仪的组件关系图

2.3 软件设计关键点

软件设计是采用面向对象和事件驱动的设计方式来实现的，下面对软件设计过程中的设计关键点介绍如下，正是运用这些关键技术才最终达到多种仪器功能的自如切换和同步测试。

1) 功能菜单的重组：

为实现相同的按钮操作流程调用不同的菜单功能项，设计将采用函数指针的方式，利用该指针指向具有相同参数的一类函数，当菜单项在变化时，改变函数指针指向的函数，从而实现在菜单消息通告函数中相同的操作调用不同的函数。

为实现菜单的动态更新，软件采用链表的方式来组织菜单，每一个节点为一级菜单，包含 9 个按钮的具体执行函数和参数，单位按钮的响应函数和参数，以及菜单的嵌套。链表的顶端是程序运行之初的菜单项，各级子菜单作为不同菜单项的子节点被连接，最后形成一个 9 叉树的单向链表结构。在程序运行之初动态的建立该链表，。该链表的建立主要是通过 CMenuList 类提供的 CreateMenuLayer、SetPara 和 SetMenuFunc 函数来完成。其中，CreateMenuLayer 函数用于创建一个新的菜单链表节点，并把该节点连接到指定菜单位置；SetPara 函数用于配置包含整体链表工作所需的函数和参数在内的结构体；SetMenuFunc 函数用于把配置好的 PARA 参数挂接至相应的 9 个按钮菜单中的一个，并指定该按钮的操作函数。

2) 图形显示的处理：

万用测试仪软件采用 GDI+ 图形处理技术^[9]和图形缩放处理技术。GDI+ 技术是在 GDI 技术基础上发展而来，提供了更丰富的功能和操作，可以支持众多图像格式的读取，显示操作以及更好的图形渐变效果，对程序的美观有重要的作用，在应用程序中主要的 GDI+ 对象是 Graphics、LinearGradientBrush、GraphicsPath 以及 Image 对象，它们分别对应画图操作、渐进画刷、图形区域以及各种图片操作。

为了兼顾多功能界面显示与单一功能界面显示的任意切换，软件需要随时可以对各功能图形显示进行相应的缩放处理。在 CFuncWnd 类中定义了窗口的缩放方法，通过定时器按一定比例从一个窗口大小改变至另一个窗口大小。在改变完成后调用相应的放大完成函数 ZoomInFin，或者缩小完成函数

ZoomOutFin 用于完成一些指定操作, 例如隐藏一些窗体, 或者显示一些窗体。重绘函数 PrepareMemDC 用于在缩放过程中的窗体显示重绘。

3) 具备多种测试功能随意重组:

万用测试仪集 9 种仪器功能于一身, 具有仪器资源的自动或手动配置能力; 每种仪器功能既可单独使用, 也可并行工作。用户可根据测试需要, 既任意组合现有仪器功能, 也可以额外增加选件选配其它仪器功能, 万用测试仪均可以灵活多变地适应这种仪器自定义功能。

图 7 是常用的一种“5 合 1 组合测试功能”呈现的仪器工作界面, 五种功能包括: 数字多用表、射频信号源、任意波形发生器、数字示波器、频谱分析仪。其中, 射频信号源、任意波形发生器属于信号激励模块, 在完成参数设置后, 模块可以在应用软件不参与的情况下完成信号输出功能; 而数字多用表、数字示波器、频谱分析仪功能独立性体现在内部模块独立完成信号测试并缓存数据, 应用软件采用中断触发机制来获取

并显示测试结果。

3 结束语

将 PXI 仪器模块的灵活性和台式仪器的便携性结合于一体^[10]的万用测试仪, 最大限度的利用了 PXI 模块的现有资源, 快速实现台式仪器的功能组合和更新, 凭借其性价比高、体积小、重量轻等众多优势, 不但可为被测设备的现场测试提供有效保障, 而且将大大减少仪器资源的占用量, 极大地降低保障设备或系统的购置成本, 同时, 一体化的万用测试仪也利于维修保障人员的现场携带和使用。万用测试仪必然在工业生产、民用航空和科研测试等领域呈现出良好的市场发展前景。

参考文献:

[1] 于劲松, 李行善. 下一代自动测试系统体系结构与关键技术[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13 (1): 1-3, 17.

[2] 种 山, 吴昱程, 王凯让. 合成仪器体系架构与关键技术研究[J]. 宇航计测技术, 2011, 31 (1): 7-10.

[3] 方葛丰, 黄珍元, 宋 斌. 合成仪器技术的发展及应用研究[J]. 计算机测量与控制, 2011, 16 (5): 595-597, 612.

[4] PXI Systems Alliance, PXI Hardware Specification [S]. Revision 2.1, February 4, 2003.

[5] Nagal C, Evjen B, Glynn J, 等. C# 高级编程 (第 6 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.

[6] PXI Systems Alliance, PXI Software Specification [S], Revision 2.1, February 4, 2003.

[7] 史贤俊. 基于 NET 的 PXI 总线平台软件架构设计 [J]. 电子测量技术, 2011, 34 (6): 68-72.

[8] 童红兵. 组件技术发展与应用前景 [J]. 宿州教育学院学报, 2012, 15 (1): 137-140.

[9] 闫宇晗, 常 鑫. 在 C# 中用 GDI+ 实现图形动态显示 [J]. 计算机技术与发展, 2003, 16 (12): 116-118.

[10] 黄盛霖, 沈聪辉, 孙伟超, 等. 下一代自动测试系统的核心: 合成仪器系统 [J]. 电子测量技术, 2011, 34 (5): 64-67.

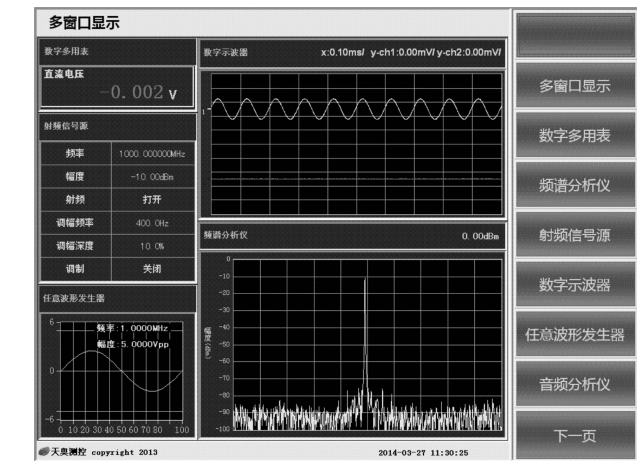


图 7 万用测试仪“5 合 1 组合测试功能”界面

(上接第 1815 页)

[3] 牛尔卓, 王 青, 董朝阳, 等. 马尔可夫跳变系统的鲁棒故障检测与时域优化 [J]. 控制与决策, 2014, (2): 379-384.

[4] Mozaffari-Kermani M, Azarderakhsh R. Efficient fault diagnosis schemes for reliable lightweight cryptographic ISO/IEC Standard CLEFIA benchmarked on ASIC and FPGA [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2013, 60 (12): 5925-5932.

[5] Mohammed Chadli, Ali Abdo, Steven X. Ding. H- / H ∞ fault detection filter design for discrete-time Takagi-Sugeno fuzzy system [J]. Automatica, 2013, 49 (7): 1996-2005.

[6] Zhang S G, Pattipati K R, Hu Z, Wen X S, Sankavaram C. Dynamic coupled fault diagnosis with propagation and observation delays [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2013, 43 (6): 1424-1439.

[7] Su Y F, Huang J. Cooperative adaptive output regulation for a class of nonlinear uncertain multi-agent systems with unknown leader [J]. Systems & Control Letters, 2013, 62 (6): 461-467.

[8] Arun T. Vemuri, Marios M. Polycarpou, and Amt R. Fault diagnosis and fault-tolerant control in linear drives using the Kalman filter [J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 2013, 59 (11): 4285-4292.

[9] Xu C H, Li J, Zhang P, at al. ESO-based fault diagnosis and fault

-tolerant for incipient actuator faults [A]. Guiyang: Control and Decision Conference (CCDC) [C]. 2013, 143-152.

[10] Yoo S J. Distributed adaptive containment control of uncertain nonlinear multi-agent systems in strict-feedback form. system control letter [J]. Automatica, 2013. 49 (5): 1304-1309.

[11] Lizarralde F, Antonio C L, Liu H, et al. Adaptive visual servoing scheme free of image velocity measurement for uncertain robot manipulators [J], Automatica, 2013, 31 (2): 297-300.

[12] Olfati-Saber R, Murray R M. Consensus problems in networks of agents with switching topology and time-delays [J]. IEEE Trans. on Automatic Control, 49 (9): 1520-1533, September 2004.

[13] 颜秉勇, 田作华, 吕冬梅. 一类非线性随机时滞系统的故障诊断 [J]. 化工自动化及仪表, 2007, 1 (2): 12-15.

[14] CIGRE Working Group 14. 02. The CIGRE HVDC Benchmark Model—A New Proposal with Revised Parameters [J]. Electra, 1994, (157): 61-64.

[15] Olfati-Saber R. Distributed Kalman Filter with embedded consensus filters [A]. IEEE Conference on Decision and Control & European Control Conference [C]. vol. 8, no. 1, pp. 8179-8184, Dec, 2005.