

基于虚拟仪器的装备 ATS 系统硬件平台设计与实现

汤官民¹, 刘福军¹, 汤潇奕², 梁清果¹, 乔晋崑¹

(1. 中国人民解放军 72465 部队, 济南 250022; 2. 华中师范大学, 武汉 430079)

摘要: 在对现有维修检测设备存在不足分析的基础上, 结合武器装备的维修技术保障需求, 利用分块设计思想, 采用虚拟仪器、人工智能、计算机通讯与控制等技术, 搭建了基于虚拟仪器的装备自动测试系统硬件平台整体架构, 在对系统各功能模块原理进行分析之后, 对系统主控电路、电磁兼容性进行了设计; 采用虚拟仪器的装备自动测试系统硬件平台, 具有智能化、通用化、可视化的特点, 通过试验结果分析, 测试系统硬件平台能够实现装备的性能检测和故障诊断, 测试数据符合任务要求, 能满足各级修理机构维修测试需求。

关键词: 虚拟仪器; 自动测试系统; 硬件平台; 模块化设计; 人工智能

Design and Implementation of Equipment ATS Hardware Platform Based on VI

Tang Gongmin¹, Liu Fujun¹, Tang Xiaoyi², Liang Qingguo¹, Qiao jinwei¹

(1. 72465 Unit of the PLA, Jinan 250022, China; 2. Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Combining with the security requirements of equipment maintenance technology, using modular design thought, the article employed the technology of virtual instrument, artificial intelligence and computer communication and control, designed the hardware platform architecture of equipment automatic test system based on virtual instrument. After analyzing each function module principles, the paper designs the system main controlled circuit and electromagnetic compatibility. The results indicate the system platform realizes the equipment performance test and fault diagnosis, and the test data conform to the task requirements. The platform can satisfy the maintenance requirements for all levels repair departments.

Keywords: virtual instrument (VI); automatic test system (ATS); hardware platform; modular design; artificial intelligence

0 引言

随着新型武器装备陆续装备部队, 其技术越来越先进, 具有的功能越来越强, 系统构成的复杂性和集成度越来越高, 大大增加了武器装备的技术保障难度。早期开发的装备维修检测设备由于受历史条件的限制, 存在着设备分散、功能单一、智能化程度低、通用性、实用性不高等问题, 不能满足对新型武器装备保障的需要, 尤其不能适应武器装备的系统性、通用性和快速维修保障的要求, 影响部队战斗力的形成。

结合装备性能检测和故障诊断的特点, 采用了虚拟仪器^[1]、计算机通讯及控制、人工智能^[2]、智能并口扩展^[3]、模块设计^[4]、多口 RAM^[5]等多种先进技术。该系统涵盖了部队武器装备修理技术规程的内容要求, 可以完成现行维修体制中的主要修理任务。

1 系统架构与原理

基于虚拟仪器的装备 ATS 硬件平台整体架构如图 1 所示, 主要有自动量程多用表、16 路数据采集分析仪、100 M 采样双踪示波器/100 M 采样双踪频谱分析仪、1 G 频率计/1 G 计数器、函数信号源和实验稳压电源组成。

1.1 自动量程多用表

自动量程多用表电路由电压/电流/电阻的输入衰减电路、自动量程电路、交直流转换电路、模数转换电路、单片机控制电路组成。在 CPU 的控制下, 将交流信号经交直流转换电路变为直流信号, 将输入的电压/电流/电阻的信号经自动量程电

路变成模数转换电路所需的电平, 从双积分电路输出的数据直接送主板的双口 RAM 电路, 在软件的支持下实现与系统计算机的通讯。其工作原理如图 2 所示。

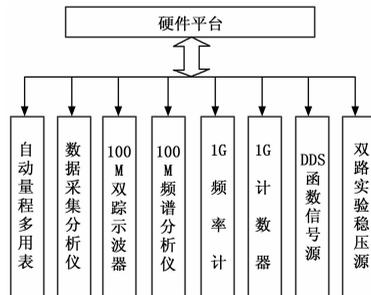


图 1 基于虚拟仪器的 ATS 硬件平台架构

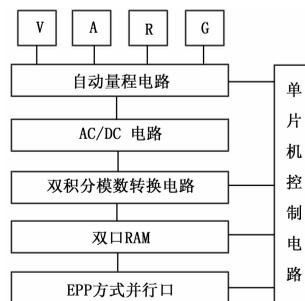


图 2 自动量程多用表电路工作原理图

工作时输入的直流电压、直流电流、交流电压、交流电流和电阻值的模拟量经过 CPU 控制的自动量程电路转换为标准电压, 再经过 AC/DC 电路转换为标准的直流电压, 在 CPU

收稿日期:2015-09-27; 修回日期:2015-12-07。

作者简介:汤官民(1968-),男,山东莱阳人,硕士,工程师,主要从事复杂装备的测试性、维修性与故障诊断、测试计量等方向的研究。

的控制下送入 15 位二进制位精度的双积分模数转换电路，转换成数据后再送入双口 RAM，等候系统计算机的调用。

1.2 数据采集分析仪

16 路数据采集分析仪由外接电压适配器、一次矩阵电路、整形电路、交流/直流转换电路、脉冲/直流转换电路、二次矩阵电路、模数转换电路和单片机控制电路组成。

外接适配器将输入的直流/交流/正脉冲/负脉冲信号变至 +2 V 的标准电平，经整形和一次矩阵分配后进入 AC/DC 或正负脉冲/直流转换电路，再经二次矩阵整合在一起，以直流电压方式送模数转换器，从双积分模数电路输出的数据直接送主板的双口 RAM 电路，在软件的支持下实现与系统计算机的通讯。工作原理如图 3 所示。

在 CPU 的控制下，一次矩阵可以将输入置于单 16 路输入或双 8 路差分状态下。输入一次矩阵的信号可以是 +2 V 以下的直流电压、交流电压、正向脉冲、负向脉冲，最窄捕捉宽度大于 10ns。对于 ±2 V 以上的电压，由适配器予以衰减，衰减量在 -20~-60 dB 之间，适配器还可将小信号放大到要求的电平，增益在 20~60 dB 之间。

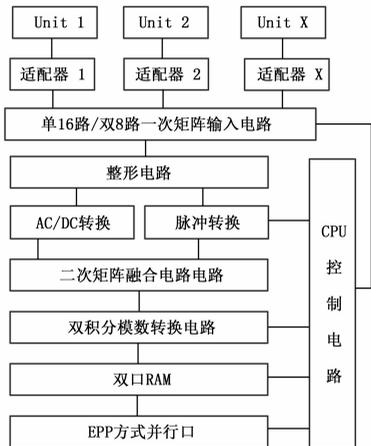


图 3 虚拟数据采集分析仪工作原理图

对具体装备确定的检测点一次不超过 16 路，经专用适配器过滤后送入一次矩阵电路，经一次矩阵电路的甄别后确定信号性质，分别送入 AC/DC 和脉冲转换电路，再经二次矩阵电路整合，整形送入模数转换器形成数据，在 CPU 的控制下送入双口 RAM，等候系统计算机的调用。

1.3 100 M 采样双踪示波器电路/100 M 采样双踪频谱分析仪

示波器由 A、B 两路输入端口电路、信号前置处理电路、程控增益控制电路、高速模数转换电路、CPU 控制电路、双口 RAM 电路、单片机控制电路等组成。在软件的支持下实现与系统计算机的通讯。工作原理框图如图 4 所示。

工作时信号由 A/B 通道同时或分时采入，经前置处理电路和程控增益放大器后再送入高速模数转换器量化为数字信号，两路的 CPU 获取数据后送入双口 RAM 数据存储器，并发出指令让系统计算机读取。系统计算机从并行口分时取得的数据经过计算就可在 LCD 上显示虚拟波形和数字。

为了提高交换速度，系统的并行口必须设置为 EPP 方式^[6]。EPP 口与负责数据采集的 CPU 之间通讯是通过双口 RAM 进行的，这个双口 RAM 具有两组数据线，地址和读写控制线，一组指向主板 CPU，另一组指向系统计算机 EPP 口，

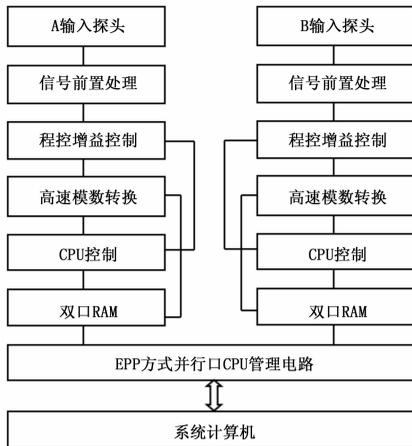


图 4 虚拟示波器工作原理框图

这使得系统计算机/主板 CPU 之间的通讯速度大大提高，为示波器显示高频波形提供了必要条件。

EPP 双通道虚拟示波器在 CPU 的控制下将两路数据综合处理，可以形成李沙育图形，逻辑分析仪、频谱分析仪，在相应的界面上显示，成为有效的分析工具。

1.4 频率计/计数器

1 G 频率计/计数器主要由高阻抗输入电路、A 通道 10 分频电路、B 通道 256 分频电路、整形电路、高速计数模块和单片机控制电路组成。在 CPU 控制下，将输入的信号进行整形形成标准脉冲，时钟控制高速计数器工作。由计数器的时钟与总个数的关系，即可计算出信号频率。在软件的支持下实现与系统计算机的通讯。工作原理框图见图 5。

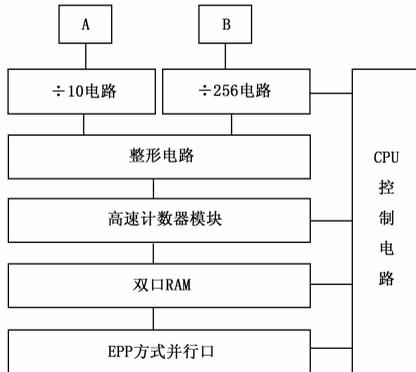


图 5 1 G 频率计/计数器工作原理框图

由 A/B 传感器采入的正弦和脉冲信号分别经各自的分频器和整形电路送入高速计数模块产生数据，在 CPU 的控制下送入双口 RAM，等候系统计算机的调用。

1.5 DDS 函数信号源^[7]

函数信号源由输出电路、幅度调节电路、滤波电路、DDS 模块、双口 RAM 及单片机控制电路等组成。其中 DDS 模块有 3 个组成部分：第一部分是一个 32 位的相位累加器，一个余弦/正弦表，一个 D/A 转换器，一个相位和两个幅度寄存器组成的可编程数字合成系统；第二部分是用于设置工作模式的一个命令寄存器和幅度调制单元；第三部分是串行/并行接口及控制电路，用来对寄存器进行写入修改。

DDS 芯片的内部包括可编程 DDS 系统、高性能 10 位

DAC、与 CPU 并行口通讯的电路, 能实现全数字编程控制的频率合成器和时钟发生器, 外接精密时钟即可产生频率、相位、幅度均可调的正弦波。获取了命令的 DDS 模块输出的正弦波经滤波后一路直接输出, 另一路经高速比较器产生方波输出。函数信号源工作原理框图如图 6 所示。

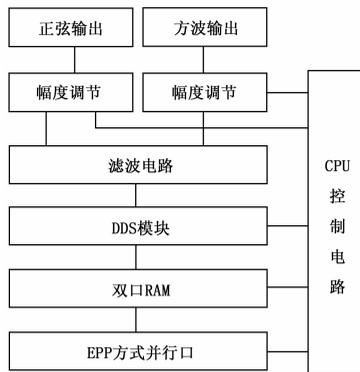


图 6 工作原理框图

由系统计算机控制将余弦/正弦表中的数据经过可编程数字合成系统和幅度调制单元, 实现信号的相位、幅度、频率等参数的程序控制。D/A 转换器将信号的数据转换成实际模拟信号, 通过串行/并行接口及控制电路输入到测试要求的响应激励接口。

1.6 实验稳压电源

实验稳压电源由调整模块、滤波电路和 D/A 转换电路组成, 由 CPU 控制输出电压幅度, 通过滤波和 D/A 转换获得 $\pm 2.5 \sim \pm 12.5$ V 之间幅度任意调整的直流电压。在软件的支持下实现与系统计算机的通讯。工作原理框图如图 7 所示。

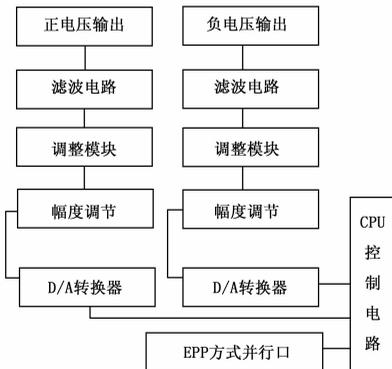


图 7 实验电源工作原理框图

来自系统计算机的指令, 经过两个 D/A 转换器, 分别送入正负幅度调节电路, 并对来自系统计算机的指令锁存, 保持上次输出值直到再次读入系统计算机的指令, 才刷新输出。

2 系统设计

2.1 虚拟仪器结构

目前应用广泛的虚拟仪器软件结构 VISA^[8], 是一种用于虚拟仪器的标准输入输出应用编程技术, 它是一种调用低级驱动程序的高级应用编程接口, 本身不提供仪器的程控能力。

VISA 技术常用的接口方式有以下几种: ISA, PAR, VXI, GPIB, PXI, USB, 1394 和 BLU。其中 GPIB, VXI, PXI 方式适合大型高精度集成系统, 而 ISA, USB, PAR,

1394 方式适合于小型综合检测系统。

虚拟仪器关键技术在于 VISA 控制技术, 其分层结构如图 8 所示。

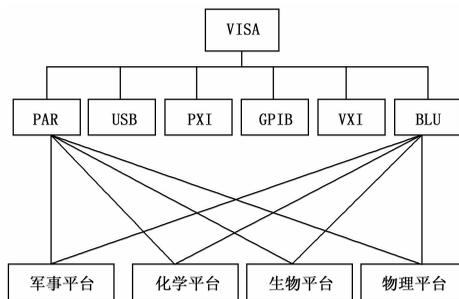


图 8 VISA 技术的分层结构图

当前基于 VXI 总线开发的检测诊断系统, 主要应用于大型高精度集成系统, 而基于 PCI 总线开发的检测诊断系统的应用对象是雷达整机, 以在线检测方式实现故障诊断。我们通过对国内外测试仪器发展趋势及军用测试设备开发情况的深入研究, 选用数据吞吐能力强、连接方便的并行口作为主选接口, 采用智能并口扩展方式连接虚拟仪器群, 构成硬件开发平台。这种系统构成模式不受系统计算机设备限制, 通过军网可实现远程维修技术支持, 且可以方便的和已推广的其他检测诊断系统兼容, 构成功能更为强大的系统。

2.2 主控制电路

主控制电路设计在一块电路板上, 主要由并口扩展管理 CPU、数据处理 CPU 及其外围电路组成, 具有良好的温度一致性和合理的电磁分布。其作用是将虚拟仪器检测平台及程控激励平台必需的硬件电路与系统计算机连接, 实现全数字化信息交换。主板 CPU 还担负着对量化后数据进行分类、排序、计算、存贮的功能。

另外, 主板产生 +12 V、+5 V 两组直流稳压电源供各功能电路使用, 纹波抑制比高达 60 dB, 储备功率充足, 允许整机连续工作。多片 CPU 和大量的数据使原来就拥挤的并行口无法进行正常通讯, 经过大量实验, 本系统采用了多口 RAM 处理技术和软件数据压缩技术, 使得扩展并行口通讯顺畅, 整个仪器的实时性得到较好的保证。其框图如图 9 所示。

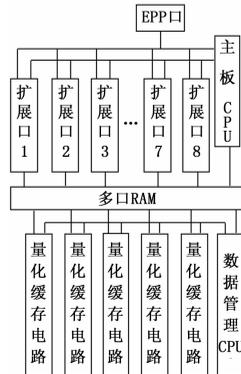


图 9 主控电路工作原理框图

2.3 电磁兼容性设计

系统针对武器装备结构复杂, 频率高、发射功率大, 容易产生干扰的特点, 在硬件设计中, 应用涡流效应的电磁屏蔽机

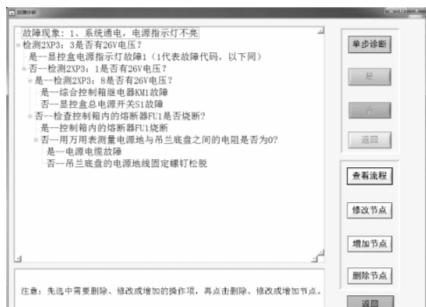


图 3 完整的故障诊断树



图 4 单步诊断流程

的故障诊断效果。该方法具有以下优点: 1) 直观形象, 故障诊断树通过简单的二叉树将系统间的逻辑关系清晰地表达出来, 判断节点与结论节点直观形象地展现了故障及其发生的原因, 便于维修人员理解接受; 2) 针对性强, 故障诊断树分层体现了与故障现象相关的测试点, 不需要盲目地采集所有信号,

(上接第 7 页)

理^[9], 采用良导体金属结构进行电磁兼容性设计, 有效地屏蔽了雷达、导弹等复杂电子武器装备产生的高频电磁场对系统工作的干扰。针对被测信号类型的多样性、信号间产生的串扰、信号与公共地线阻抗形成的干扰, 系统分别采用隔离、滤波、地线分组敷设技术, 抑制了共地产生的干扰, 提高了系统的屏蔽效能。

3 试验结果与分析

本系统硬件平台已经成功应用于装备维修测试中, 可完成军械电子装备分系统(组合)的维修检测与故障诊断。根据系统整体架构连接好的硬件系统, 本文研究的硬件平台主要包括多用表、数采分析仪、采样频谱分析仪、频率计/计数器、函数信号源和实验稳压电源, 数字多用表测量直流电压量程从 5~750 V, 数采分析仪适配器放大 2 V 小信号的增益为 34.6 dB, 双踪示波器带宽满足测量要求, 实验稳压电源可输出 -2.5~+12.5 V 的负电压和 +2.5~+12.5 的正电压。

从运行试验结果可见, 平台各功能模块能够满足装备测试和维修要求, 并提供装备维修检测所需的激励信号。系统平台运行稳定、良好, 满足设计要求, 目前已成功于军械装备分机(组合)的维修检测、故障诊断,

4 结束语

本文根据装备特点和发展趋势, 着眼装备维修保障需求, 利用虚拟仪器技术、计算机技术, 采用模块化设计^[10]思想, 设计了一种基于虚拟仪器的装备自动测试系统硬件平台, 并用

针对性强; 3) 应用范围广, 故障诊断树分析法可适用于各个层级的故障诊断, 针对不同层次的诊断对象, 进行不同的分析研究; 4) 用途多样, 故障诊断树建立后, 不仅利于维修人员的诊断工作, 还有助于设备的管理、维修和技术培训。

参考文献:

- [1] 陆雪梅, 尚群立. 动态控制系统的故障诊断方法综述 [J]. 机电工程, 2008, 25 (6): 103-107.
- [2] 朱大奇, 于盛林. 基于知识的故障诊断方法综述 [J]. 安徽工业大学学报, 2002, 19 (3): 197-204.
- [3] 李光升, 康洪铭, 谢永成, 等. 基于 BP 神经网络的装甲车辆电源系统故障诊断方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (10): 2719-2721.
- [4] 陈德道, 安虎平, 等. 基于模糊故障树的数控机床故障诊断方法 [J]. 机床与液压, 2015, 43 (5): 177-180.
- [5] 张雷, 常天庆, 朱斌, 等. 基于模糊推理的炮控系统性能评估与故障诊断 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (8): 1815-1817.
- [6] 苏健, 陈玉强, 陈军伟, 等. 基于故障树分析的火控系统故障诊断专家系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (11): 3008-3010.
- [7] 许斌, 周鸣岐. 测试点优化及故障诊断树生成技术 [J]. 国外电子测量技术, 2006, 25 (3): 15-19.
- [8] 郑伟, 冯富强, 皮文静, 等. 故障诊断树生成技术研究与装实验证 [J]. 装备指挥技术学院学报, 2012, 23 (1): 119-122.
- [9] 王建新. LabWindows/CVI 虚拟仪器测试技术及工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.

以实现装备的性能检测和故障诊断, 满足各级修理机构维修设备需求。

参考文献:

- [1] 路亚峰, 陈义军, 温新岐, 等. 虚拟仪器技术研究现状及展望 [J]. 国外电子测量技术, 2010, 29 (11): 35-37.
- [2] IEEE Std 1232-2002, IEEE Standard for Artificial Intelligence Exchange and Service Tie to All Test Environments (AI-ESTATE) [S].
- [3] 邢冠培. 基于 PC104 模块的嵌入式计算机串口通信系统 [J]. 工业控制计算机, 2011, 24 (11): 24-25.
- [4] 王昉, 史贤俊, 肖支才, 等. 基于虚拟仪器的数字电路板测试系统研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2014 (4): 8-10.
- [5] 徐军, 张磊, 孙军峰. 应用于安全计算机的双口 RAM 数据通信方法 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2015 (2): 13-16.
- [6] 张鹏, 陈昕, 程高峰. 基于 EPP 方式的双 CAN 接口卡的设计与实现 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2005, 19 (3): 53-55.
- [7] 肖炎根. DDS 信号发生器的设计实现 [J]. 今日电子, 2011 (7): 54-57.
- [8] 赵常寿, 陈征祥, 樊蓉. 基于 LabVIEW 和 NI-VISA 的 RS232 串口通信程序设计 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2015 (1): 68-70.
- [9] 高晓丁, 王耀杰, 佟元. 基于导线涡流效应的等阻抗引接线 [J]. 铁道通信信号, 2009, 45 (01): 25-26.
- [10] 韩惠莲, 王浩. 基于虚拟仪器的导弹火控系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (3): 621-624.