

# 一种多功能航空测试设备的设计与实现

郑久寿, 徐 翥, 刘 帅, 夏德天

(中国航空计算技术研究所, 西安 710068)

**摘要:** 针对某航空电子产品需求, 设计了一种多功能测试设备, 详细描述了测试设备的总体设计, 硬件设计和软件设计, 并对其中关键技术进行了重点论述; 测试设备采用了虚拟仪器技术, 利用基于组件模型的开发方法, 合理划分组件, 有效提高了测试设备及构件的通用性和重用性, 缩短了产品的开发周期; 该测试设备已应用于某航空电子产品的产品调试、交付验收、故障排除; 经过使用后证明, 测试设备的软/硬件设计合理、自动化程度高、工作稳定可靠。

**关键词:** 多功能; 虚拟仪器技术; 测试设备; 组件

## Design and Implement of Multifunctional Test Equipment for Aviation Electronic Equipment

Zheng Jiushou, Xu Ao, Liu Shuai, Xia Detian

(Aeronautic Computing Technique Research Institute, Xi'an 710068, China)

**Abstract:** In order to meet the requirements of aviation electronic equipment, the article designs a kind of multi-functional test equipment. It describes overall, hardware and software design of the test equipment in detail and discuss the key technologies about it. The test equipment uses virtual instrument technology basing on component, divides into the components in a proper way. Through this way, it improves the universality and reusability and shortens the development period. It has been applied into a kind of aviation electronic equipment for debugging test, the environmental test and acceptance etc. It proves that the hardware and software design of test equipment is reasonable and the degree of automation is high with high reliability.

**Keywords:** multi-functional; virtual instrument technology; test equipment; component

## 0 引言

随着航空技术的迅速发展, 系统结构日益复杂, 航空电子设备向数字化、综合化、自动化、智能化的方向快速发展<sup>[1]</sup>。对于上述航空电子装备, 不仅需要在设计阶段进行周密、完备设计, 更需要进行完整、细致测试, 确保交付产品工作正常、可靠。一般而言, 测试工作包括调试阶段的测试、交付试验阶段测试、验收测试、以及铁鸟台架环境的验收测试。

另一方面, 由于航空电子设备的结构日益复杂, 功能日益强大, 随之而来的是装备的维修难度越来越大, “木桶—短板效应”现象越来越明显, 甚至可以说, 已经成为提高装备完好率和飞机出勤率的主要瓶颈之一<sup>[2]</sup>。从提高电子设备维修效率, 降低维修难度的角度来看, 也迫切需要能够尽可能真实模拟实际应用环境, 并具备故障诊断、定位功能的测试设备。

本文针对某航空电子设备实际测试需求, 提出了一种基于组件模型采用虚拟仪器技术的方法, 设计出一种多功能航空测试设备, 能模拟电子设备实际应用环境, 满足了该航空电子设备在产品调试、交付试验、验收、系统联试、故障排除中的测试要求, 提高了测试效率, 避免了测试设备重复带来的资源浪费, 节约了人力资源。

## 1 系统总体设计

### 1.1 系统功能需求

某航空测试设备主要用于被测产品的调试、交付试验、验收、系统联试、及故障排除。当进行产品调试时, 测试设备应能提供信号激励, 并对产品输出结果进行显示等。产品进行交付试验时, 测试设备应能提供一键测试功能, 并能保存测试结果, 生成规范的测试结果报表。系统联试时, 当被测产品与真实交联设备进行连接时, 测试设备应能监控、记录被测产品与外围系统间的关键数据, 并实时显示。测试设备应用模拟真实的使用环境, 并对关键数据及状态进行显示。

为确保测试设备测试项目的覆盖率, 保证测试设备能满足系统在试验、验收、排故等方面的既定要求, 本文对所设计的测试设备提出如下需求:

- 1) 在被测产品与外围系统设备通过测试设备交联的情况下, 能够监控、记录被测产品与外围系统间的关键数据, 并可实时显示;
- 2) 能够对自身功能进行自检, 并显示自检结果;
- 3) 可对被测产品进行一键测试, 所有测试完成后显示测试结果;
- 4) 能够模拟与被测产品交联的外围系统设备的各种信号, 并控制其工作状态, 完成各类控制功能的测试;
- 5) 能够对测试结果进行记录、分析、图形化显示并存储。

### 1.2 系统设计方案

基于上述系统需求, 本文提出的系统设计方案如下: 以 PXI 计算机为硬件平台核心, 采用 LabVIEW 工具开发控制逻辑及界面显示, 其工作原理: 驻留在 PXI 计算机上的测试软

收稿日期: 2016-03-15; 修回日期: 2016-04-12。

作者简介: 郑久寿(1983-), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事计算机容错技术及软件工程方向的研究。

件, 通过 PXI 总线驱动各测试模块, 由硬件产生被测产品所需的信号激励, 完成被测产品所输出信号的采集和测量, 由软件实现数据的计算、分析和处理, 利用计算机显示器来模拟传统仪器的控制面板, 并形象直观地表达出测试结果, 从而实现被测产品的各项测试。

测试设备有两种可切换工作模式: 机载模式和仿真模式。当工作在机载模式, 测试设备将系统传感器和手柄等外部部件与被测产品之间的交联信号进行断连处理, 对断连信号进行监控、显示, 并将监控结果进行存储、记录。当切换到仿真模式, 测试设备不再接收外部传感器和手柄等信号, 而是由测试设备仿真手柄、系统传感器等信号, 与被测产品进行信号交联。并且在仿真模式下, 测试设备软件与被测产品软件进行配合, 由测试设备提供被测产品测试所需外部条件, 从被测产品读取测试结果并处理, 实现被测产品的一键测试。

为满足被测产品的测试需求, 测试设备具备下列接口功能: 提供 12 路 7 V 1 800 Hz RVDT 信号交流输出; 提供 60 路离散量输出; 提供 20 路离散量采集; 提供 2 路 0~5 V 模拟量输出; 提供 24 路模拟量采集; 提供 4 路 0~3 kHz 方波信号输出; 提供 8 路全双工 422 总线通讯; 提供 12 路 429 总线通讯, 分别为 6 路发送和 6 路接收; 提供 8 路 232 总线通讯。

2 系统硬件设计及实现

2.1 硬件总体设计

测试设备由一台 19 英寸 38U 高的标准机柜组成。机柜前面板包括: 标牌、电流电压显示及开关控制面板、信号断点板、开关切换板、主控计算机显示器、信号调理箱、键盘鼠标抽屉、主控计算机、Nport 串口服务器等。其硬件架构如图 1 所示。

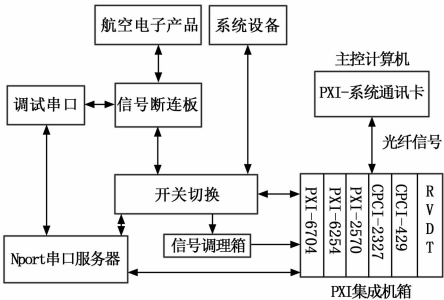


图 1 测试设备硬件架构

其中, 信号调理箱完成模拟信号的转接、幅值调整、信号变换, 数字信号的整形和电平转换, 电源激励的隔离和变换, 提供模拟负载等功能, 使得仿真信号与实际机载设备信号电气特性一致。开关切换模块的主要功能是提供机载和仿真模式的切换。当处于机载模式时外部系统设备与被测产品进行信号交联, 切换到仿真模式时 PXI 计算机与被测产品进行信号交联。信号断连板的功能是提供信号断连, 便于对断连信号进行测量、监控等。PXI 集成机箱内插各种板卡包括 RVDT 模拟卡、429 板卡、离散量板卡等, 当处于仿真模式时, 由上述板卡模拟产生所需的 RVDT、429 总线、离散量输入输出等信号。PXI 集成机箱与主控计算机通过光纤信号进行交联。在整个硬件系统中, PXI 工控机是核心, 当测试设备处于机载模式时, 外部系统设备通过开关切换模块、信号断连板与被测产品直接进行信号交联, 通过信号断连板上的测试点可实时监控交联信

号的状态。当测试设备处于仿真模式时, 由 PXI 计算机模拟仿真各种信号源如 RVDT 模拟量、离散量、429 数据、422 数据、232 数据等。仿真数据经信号调理箱调理成与被测产品匹配的各种信号, 通过开关切换模块、信号断连板与被测产品交联。PXI 计算机接收来自被测产品的数据信号与上述过程通路一致, 但信号流向相反。

2.2 RVDT 模块设计

RVDT 信号是被测产品重要的外围交联信号。按照设计需求, 测试设备需实现多路 RVDT 信号, 且输出及和值电压值不尽相同, 没有现成货架产品可直接采用。为满足需求采用自研模块的方式实现。

自研 RVDT 板卡由母板和子板构成, 通过两个 PMC64 连接器直插连接。母板负责 PXI 总线控制并发送 DA 信号给子板, 子板接收 DA 信号, 完成 RVDT 仿真信号的输出。母板结构框图如图 2 所示。

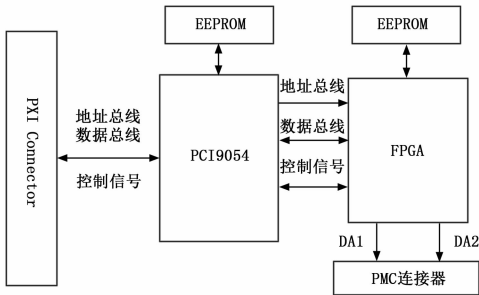


图 2 RVDT 板卡母板功能框图

其中 PCI9054 实现 PXI 总线与 PCI 总线的转换, FPGA 完成本地逻辑译码, EEPROM 保存参数调节数据。DA1 和 DA2 为用户界面输入数据, 分别表示 RVDT 信号对应的和值和角度参数。数据传递给母板后, 经过 PXI 总线到 PCI 总线转换及本地逻辑译码后, 通过 PMC 连接器传给子板模块。

图 3 为 RVDT 板卡子板功能框图。

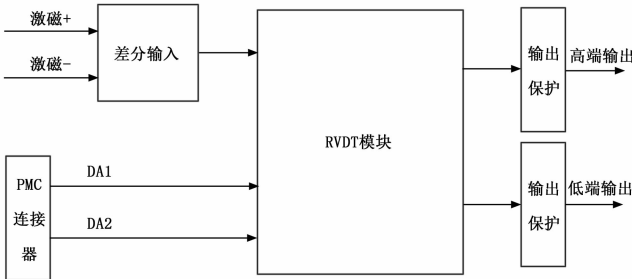


图 3 RVDT 子板功能图

其中激励输入由被测产品提供, DA1 和 DA2 信号经过 RVDT 子板的内部运算可仿真计算出 RVDT 信号的高端和低端电压。

3 软件设计

3.1 总体设计思想

测试软件的设计是实现系统所有检测功能的重要保证, 同时也是提高测试设备性能的载体, 在整个测试设备的研制中占有很重要的地位<sup>[3]</sup>。本测试设备软件采用基于组件模型的方法进行开发。在全面分析系统需求和定义的基础上, 合理划分组

件单元。对于成熟组件可直接从组件库中提取使用,对于功能明确且适合划分成组件的功能开发成新组件。因此,基于组件模型的软件开发过程实际上就是开发系统实现软件、开发新组件、利用成熟组件的过程<sup>[4]</sup>。在实际开发中,系统实现软件开发的重点是系统集成框架的开发。通过集成框架,可以把选择的组件和新开发的组件组装成一个有机的整体。整个开发流程见图 4。程序采用 WindowsXP 系统,数据库使用 Microsoft Office Access2007 保存配置信息,使用 LabVIEW2012 开发工具进行开发。LabVIEW 是一种工业标准图形化编程工具,主要用于开发测试、测量与控制系统,它提供的图形化编程语言大大提高了开发人员的工作效率<sup>[5]</sup>。

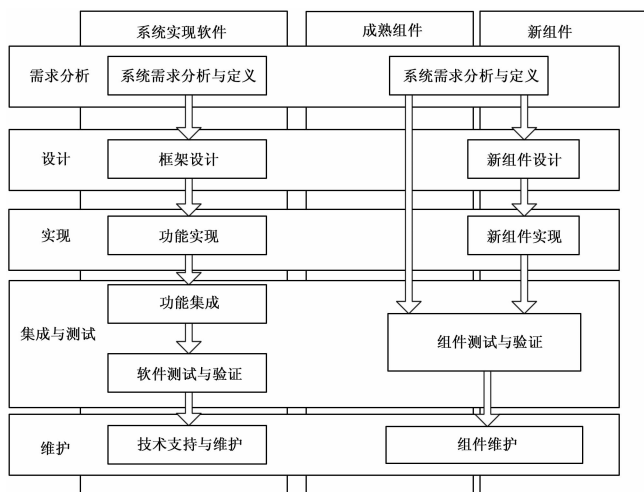


图 4 软件总体设计思想

### 3.2 组件划分

组件是软件系统中具有相对独立功能的软件实体,合理的划分组件,有利于组件的复用和实现,以及系统的配置管理。组件粒度越大,其复用程度就越高,但实现和理解组件就相对困难,重用难度加大<sup>[6]</sup>;粒度越小,组件越易于复用,但管理组件等代价将增大,甚至大于复用带来的好处。划分组件时应从功能模块的完整性、高内聚和低耦合性等方面出发。依据重用原则、闭包原则、单人组件原则、消息传递原则,将测试设备组件划分如图 5 所示。



图 5 测试设备软件组件划分

其中用户管理组件主要完成用户身份的验证、用户的增加、删除、修改、查询等功能。可通过不同的用户身份进入不同的系统测试操作方式。比如,调试、测试、联调等都有不同的操作权限。系统自检组件完成设备及板卡的自检功能,并能给出测试结果。系统校准组件提供测试设备各种信号的校准功能,并将校准结果保存到资源配置库中。总线解析组件将测试设备所需处理的总线信号如 429 总线、422 总线、232 总线进行解析并将解析结果通过组件接口传递,供系统功能实现软件调用。数据管理组件主要功能是保存测试数据并按固定格式

生成测试报表。

### 3.3 软件编程方法

基于组件模型的软件编程和传统软件编程方法不同,系统开发不再采用一切“从零开始”的模式,充分利用过去应用开发中积累的知识和经验,只需重点关注每个应用的特殊性。

具体到本测试设备软件开发,其工作可以概括为:从组件库中提取可用组件、根据需求开发新组件、根据系统需求编写“粘连”代码。

可重用组件:用户管理、系统校准、数据管理组件。由于上述组件功能具有通用性,且现有组件库中已存在,可直接从组件库中提取使用,在使用过程中按照组件已定义的接口进行调用。

新开发组件:系统自检、总线解析组件。不同测试设备对应的硬件资源不同,因此需针对具体测试设备开发系统自检组件,并定义好组件调用接口。总线解析组件的主要功能是根据系统要求对总线数据进行解析、封装等。由于该部分功能较为独立,可开发成新组件,供系统软件调用。后续测试测试如有类似功能,可调用该组件。

“粘连”代码:系统需求除可重用组件及新开发组件已实现的功能外均由“粘连”代码实现。系统功能通过“粘连”代码将可重用组件及新开发组件串联起来最终实现测试设备的系统功能。

### 3.4 系统测试流程

系统的整体测试流程如图 6 所示。

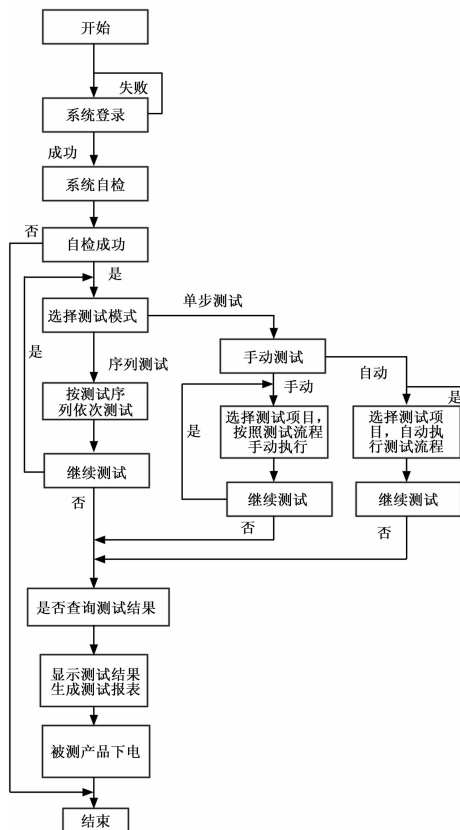


图 6 测试流程图

测试系统上电后,首先进行登录确认,通过登录后进行测试

(下转第 38 页)