

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.01.09

基于 PXI 总线的舵机性能测试平台

牛振¹, 杨雷²

(1. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009; 2. 驻中国空空导弹研究院军事代表室, 河南 洛阳 471009)

摘要: 舵机是空空导弹控制系统的执行机构, 舵机测试在导弹性能考核中有重要意义。为了满足对各种类型舵机性能测试的需求, 搭建了一个通用化的基于 PXI 总线的舵机性能测试平台, 系统能够实现电动与气动舵机的空载与加载性能测试。软件开发选用 LabWindows/CVI 语言, 采用多线程技术和模块化设计方法, 具有很强的扩展性。应用结果表明: 该系统操作简便、覆盖性广、通用性强、精度高, 为舵机的性能研究、评估和改进提供了一个良好的工具。

关键词: 舵机; 测试平台; 通用化; PXI 总线; LabWindows/CVI

中图分类号: TP336

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2016)01-0038-03

The Performance Test Platform of Servo-actuator Based on PXI Bus

NIU Zhen¹, YANG Lei²

(1. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China;

2. PLA's Military Representative Office in China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: Servo-actuator is the executive mechanism of airborne missile control system, and servo-actuator test has vital significance in missile performance examination. To meet the testing requirements of various servo-actuators, a universal performance test platform of servo-actuator based on PXI bus is built, which can test unload and load performance of electric and pneumatic servo-actuator. Software development opts for LabWindows/CVI language, adopts multithreading technology and modular design method, and has strong expansibility. The results show that this system is convenient with wide coverage, strong commonality and high precision, and provides a good tool for performance research, evaluation and improvement of servo-actuator.

Key words: servo-actuator; test platform; universal; PXI bus; LabWindows/CVI

0 引言

舵机是导弹制导与控制系统的执行机构, 它依据制导系统的控制信号, 克服气动铰链力矩和弯曲力矩, 驱动舵面偏转, 改变弹体的飞行姿态, 从而控制导弹的飞行轨迹。舵机的性能直接影响导弹的战斗性能和制导精度^[1]。

传统的舵机性能测试设备只适用于单一类型的舵机, 不具备通用性, 造成了科研资源的浪费, 特别是对于预研舵机, 既没有专用测试设备, 又没有通用测试设备, 给预研工作带来了很大的不便。因此, 需要研制一种通用化的舵机性能测试平台, 为舵机的性能测试、研究、评估和优化改进提供一个良好的工具。

本文设计的舵机性能测试平台, 以 PXI 总线计算机为核心, 能够测试各种电动(模拟和数字)与气动舵机的静态、动态、时域和频域等特性。通过仪器总线实现机箱内 PXI 仪器、电源和测控计算机之间的信息交换, 通过调理电路实现被测产品与设备的互不干扰。该系统的研制, 建立了一个具有通用性和扩展性的测试和评估平台, 适用于当前各种型号舵机的测试, 提高了科研资源的利用效率。

1 工作原理

系统的整个工作过程是在测控计算机的统一控制下完成的, 组成原理框图如图 1 所示。以常见的数字电动舵机性能测试为例, 系统工作时, 首先输入舵机工作电压, 通过 GPIB 接口发送命令给电源, 为被测舵机供电。同时将电源的电压与电流回读以便实时监控。之后进行舵机自检, 自检正常后开始性能测试。

收稿日期: 2015-12-18

作者简介: 牛振(1983-), 男, 安徽界首人, 工程师, 硕士研究生, 主要研究方向是舵机总体设计。

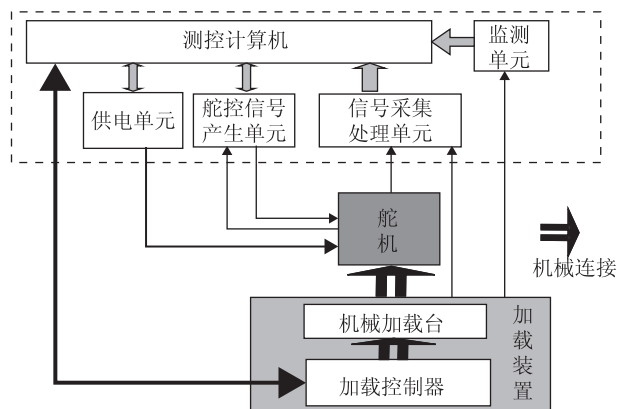


图1 系统组成原理框图

空载性能测试时,系统通过舵控信号产生单元向被测舵机发出命令并通过信号采集处理单元接收舵反馈数据,绘制成舵机实际的运行曲线,同时进行零位误差、最大舵偏角、角速度等动态参数的计算并将结果显示在多反馈曲线图的下面,便于测试人员观察和分析^[2]。

加载性能测试时,测控计算机向加载控制器发出加载指令,加载控制器控制机械加载台进行加载;同时,加载控制器向测控计算机发送一个同步采集信号,测控计算机在加载的同时进行舵偏角、力矩和转角等信号的采集。

全部测试工作完成后,系统通过 GPIB 接口控制电源下电,通过加载装置完成力矩的卸载。

2 硬件设计

2.1 硬件结构

系统硬件基于 PXI 总线搭建, PXI 总线是在 PCI 及 CompactPCI 基础上形成的一个构架,峰值数据吞吐率高达 132 MB/s(32-bit, 33 MHz)。PXI 标准仪器具有良好的电磁兼容性和高可靠性,易于扩充,模块选择范围广,系统能够根据不同的测试任务方便地进行相应的组装,大大缩短了开发周期^[3]。

由图 1 可知,系统由测控计算机、供电单元、舵控信号产生单元、信号采集处理单元和监测单元组成。主要组成部分的构成与功能如下:

1)测控计算机:整个系统的控制中心,通过 GPIB 接口控制电源的开关以及电流与电压的回读,通过 PXI 接口实现命令的发送、舵反馈信号的采集以及力矩与舵轴转角信号的实时监测。同时与加载装置通讯,控制加载装置进行相应力矩的加载与卸载。由 NI 公司的

PXI-8108 控制器和 PXI-1042 机箱组成^[4]。其他板卡安装在机箱自带的插槽中。

2)信号采集处理单元:完成模拟舵控和舵反馈等模拟信号的高速高精度采集,以及信号的差动/单边变换和隔离。同时对加载台的力矩与转角信号进行采集,从外部监测舵机的实际负载能力与运行状态。通过 NI 公司的数据采集卡 PXI-6259 来实现,具有 32 路输入与 4 路输出通道,单通道采样率可达 1.25 MS/s^[5]。

3)舵控信号产生单元:产生舵机测试所需要的阶跃信号和方波等形式的信号,之后将其变换为 3 种舵控信号,分别是控制气动舵机的电流信号(通过调理电路实现)、控制模拟舵机的模拟电压信号(通过 PXI-6259 的 D/A 变换实现)和控制数字舵机的数字电压信号(通过多功能串口卡 PXI-8433/2 来实现)。

4)供电单元:用于给舵机供电,有 27 V 信号电源和 85 V 功率电源两种,测控计算机通过 GPIB 总线控制电压输出以及电压与电流的回读。

5)监测单元:接收加载装置中光电编码器输出的 4 路舵轴旋转光电脉冲信号,转换为角度信号,从外部监测舵机的实际工作状态,由定时/计数卡 PXI-6602 来实现。

2.2 调理电路设计

由于舵机是机电一体化的大功率部件,在舵机测试时可能会对设备造成干扰,同时为了增加信号的驱动能力,减少信号畸变和延迟对测试结果的影响,设计了相应的调理电路。如图 2 所示,通过隔离放大器 ISO-124P 以及相应的辅助电路来实现对舵控电压信号的隔离与比例运算。

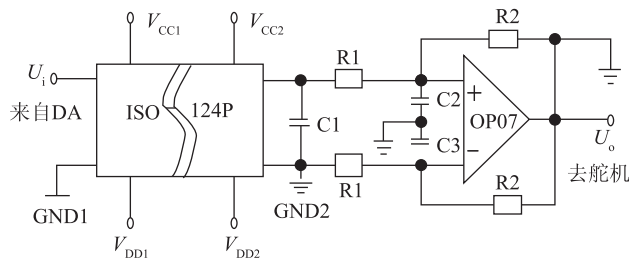


图2 舵控电压信号调理电路

气动舵机的控制信号为电流信号,该信号由电压信号控制的恒流源产生,为了满足气动舵机的测试需要,设计了相应的调理变换电路。图 3 是气动舵机控制信号调理电路,将 D/A 输出的 $-10 \sim +10$ V 双边信号变换为 $0 \sim 10$ V 的单边信号,驱动恒流源产生气动舵机所需的电流控制信号。

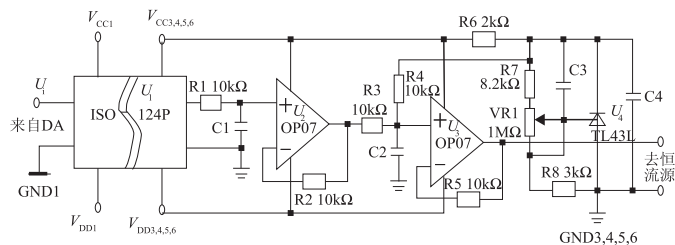


图3 气动舵机控制信号调理电路

3 软件设计

LabWindows/CVI 是基于 C/C++ 的专门用于虚拟仪器开发的可视化编程语言，将 C 语言与测控专业工具箱很好地结合在一起，具有集成式开发平台、丰富的库函数和灵活的调试手段等优点，为自动测试系统的开发提供了极大的灵活性^[6]。本文以 LabWindows/CVI 作为软件开发工具，遵循模块化编程思想设计了系统软件，易扩展升级和维护。

3.1 多线程技术

应用程序的一次动态执行过程叫进程，而线程则是进程内程序执行的路径，是进程的其中一个独立执行的单元，多线程指的是操作系统在一个进程中执行多个线程的能力。多线程技术解决了并发任务之间的耦合与冲突，保证它们都能顺利执行，提高了系统的实时响应能力，同时对线程之间数据的共享和传递，提供良好的数据保护机制^[7]。

一般情况下，主线程负责创建、显示和运行用户界面，次线程负责完成实时性较高的任务，如通信和数据采集等。在次线程中运行代码的机制有异步定时器和线程池技术，线程池适用于完成不需连续执行的任务，异步定时器用于完成定期执行的任务。

软件是测试系统运行的指挥官，在设计中充分利用了多线程和线程池技术。根据舵机测试需求，将整个任务划分为界面操作、实时通信、数据分析和图形显示，其中界面操作为主线程，实时通信、数据分析、图形显示和数据保存为次线程。在次线程中，由于实时通信非常重要，将它的优先级设为最高，仅次于主线程，因此为了避免读写同时进行时的冲突，采用线程安全队列技术处理通信数据。舵机测试是一项不定时的任务，各线程中的程序代码通过线程池来实现。

软件运行过程中，主线程的优先级最高，当主线程响应用户界面操作时，次线程会暂时挂起，界面操作执行完后，继续执行挂起的次线程。因此，系统能并行完成更多的任务且不冲突，加快了系统的响应速

度，又提高了硬件资源的利用效率^[8]。

3.2 软件功能及测试流程

根据舵机测试需求，采用模块化设计方法开发了软件，具有很好的灵活性和扩展性。舵机测试流程如图4所示。

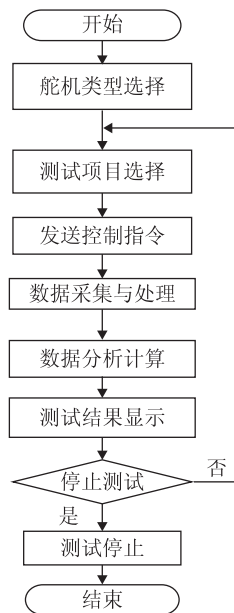


图4 舵机测试流程图

软件主要模块的功能如下：

1) 用户界面：包括数字电动舵机测试、模拟电动舵机测试、气动舵机测试数据管理模块，数据管理模块实现测试数据的保存、打印和图形回放等功能。

2) 电源设置：设置信号电源和功率电源的输出电压以及保护电流等信息。

3) 自检：对机箱内 PXI 模块的功能、通道配置情况及可用性进行检测。包括功率电源、信号电源及 RS-422 通道等，确保舵机测试结果的有效性和可信性。

4) 性能测试：软件的核心部分，实现舵机全部性能测试任务。又分为若干个子任务，每个子任务对应的模块实现相应的测试算法。测试项目有线性度、零位误差、稳态误差、空载速度、相移和时移等。

5) 通信：实现测控计算机与舵机、PXI 模块以及加载装置之间的相互通信。

4 应用与分析

该测试平台交付使用后，为了验证其测试精度、稳定性和可靠性，选用一数字电动舵机进行测试，同时利用专用设备对该舵机进行测试。经过多次测试，

(下转第 63 页)

测量光路中心点的位置一致，如图 2 所示。

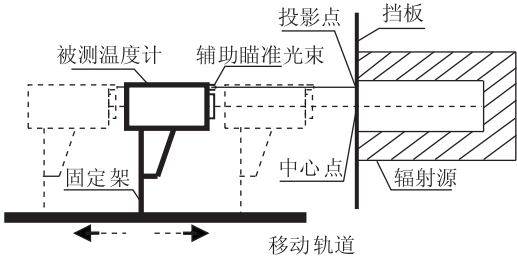


图 2 瞄准方法示意图

找到投影点以后，在检定距离位置处，用辅助瞄准光束对准该投影点，固定好被检温度计。然后，在检定距离前后位置移动，如果移动后辅助瞄准光束仍然对准该投影点，则瞄准成功。如果辅助瞄准光束偏离该投影点，则需继续调整瞄准位置。重复以上操作，直至移动后辅助瞄准光束始终对准该投影点。

4 减小自热对检定结果的影响

辐射温度计的核心部分是红外探测器，它是一种把热信号转换成电信号的装置，因此它本身自热也会对检定结果产生影响。在检定过程中经常会遇到这种情况，在辐射源腔口停留的时间越长，辐射温度计的显示值变化越明显。这是辐射温度计自热造成的。尤其是检定距离比较靠近腔口或进行高温检定时。因此，

(上接第 40 页)

对两个设备的测试结果进行对比分析，其中一次的测试数据如表 1 所示。结果表明，两个设备的测试结果相差很小，该系统工作稳定可靠，测试数据能真实反映被测舵机的工作性能。

表 1 两个设备测试数据对比表

序号	测试项目	新平台	专用设备
1	空载速度/ $((^{\circ}) \cdot s^{-1})$	515.2	516.8
2	零位偏差/ $(^{\circ})$	0.22	0.25
3	20 Hz 相移/ $(^{\circ})$	11.7	11.3
4	5°阶跃上升时间/ms	11.3	11.5
5	35°稳态误差/ $(^{\circ})$	1.2	1.1

5 结论

基于 PXI 总线的舵机性能测试平台充分考虑了不同类型舵机的性能测试、研究和评估需求，是一个通用化的舵机性能测试平台。系统工作稳定可靠、操作简便，既利用了 PXI 仪器精度高、通用性强、扩展性

在检定过程中，应用隔热板遮住辐射温度计前端。待采集数据时，再去掉隔热板。注意采集时间不宜过长。一般到数据不再波动为止。采集完后，再用隔热板遮住辐射温度计前端，等辐射温度计热平衡后，再去掉隔热板继续采集。这样才能有效减小自热对检定结果的影响，采集的数据一致性较好。

5 其他注意事项

检定过程中应无明显机械振动，无强电磁干扰，应避免阳光和强辐射源，尤其是高温热辐射源对检定用辐射源和辐射温度计的干扰；应避免空调气流、开门窗引起的对流对面辐射源的影响，环境温度波动不应应对辐射温度计测温产生不可忽略的影响。

参 考 文 献

[1] 国家质量技术监督局. JJG 415 – 2001 工作用辐射温度计检定规程[S]. 北京：中国计量出版社，2001.

[2] 国家技术监督局. JJG 856 – 1994 500℃以下工作用辐射温度计检定规程[S]. 北京：中国计量出版社，1994.

[3] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 67 – 2003 工作用全辐射温度计检定规程[S]. 北京：中国计量出版社，2003.

[4] 原遵东. 黑体辐射源发射率对辐射测温准确度的影响及修正方法[J]. 计量学报，2007，28(3A)：20 – 22.

[5] 原遵东，邢波. 辐射温度计检定的源瞄准测量条件确定方法[J]. 计量学报，2012，33(6A)：39 – 41.

好的优点，又考虑了舵机性能测试的实际特点，在舵机测试设备领域达到了国内先进水平。

参 考 文 献

[1] 梁晓庚，王伯荣，余志峰，等. 空空导弹制导控制系统设计[M]. 北京：国防工业出版社，2006.

[2] 牛振，何卫国，朱剑波. 基于 LabVIEW 的数字舵机性能测试系统[J]. 航空兵器，2010(4)：43 – 45.

[3] 苏德伦，王仕成，王照峰，等. 基于 PXI 总线的正弦信号失真度测量[J]. 计测技术，2006，26(1)：39 – 41.

[4] PXI Specification[Z]. PXI Systems Alliance，2000.

[5] 韩大伟，周军，于晓洲. 基于 PXI 总线的导弹自动测试系统设计[J]. 计算机测量与控制，2008，16(11)：1650 – 1652.

[6] 郭占山，史永彬，周书信，等. AX5488 接口板在 LabWindows/CVI 下的通讯[J]. 计测技术，2003，23(1)：45 – 46.

[7] 李敏智. 基于 LabWindows/CVI 的数据采集与监控系统的设计与实现[D]. 武汉：武汉理工大学，2009.

[8] 胡浩，李保刚. 空空导弹发控综合测试系统设计与实现[J]. 电子测量技术，2014，37(11)：75 – 79.