

一种作动器自动测试平台的设计与实现

吴 玮 许海岗 阙向东

(航空工业西安飞行自动控制研究所,西安,710065)

摘要:针对飞控系统作动器测试自动化程度低的问题,设计了一种作动器自动测试平台,采用基于 PXI 总线的计算机虚拟仪器系统进行构建,可实现作动器性能参数的“一键式”自动测试。测试结果表明,该平台可满足用户测试及批量生产的需求,且操作简便、测试效率高。

关键词:作动器;自动测试;PXI 总线

中图分类号:TP212 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2615(2017)S-0140-04

Design and Realization of Actuator Automatic Testing Facility

WU Wei, XU Haigang, QUE Xiangdong

(Flight Automatic Control Research Institute, AVIC, Xi'an, 710065, China)

Abstract: Aiming at the problem of low automatic testing extent for aircraft servo-actuator existing in traditional tests, an actuator automatic testing facility is designed in this paper. Based on PXI bus technology and virtual instrument, the actuator automatic testing facility can implement one-touch automatic testing of actuator performance parameter. Experimental results prove that this facility can meet test and production requirements well with simple operation and high test efficiency.

Key words: actuator; automatic testing; PXI bus

作动器是飞机飞控系统的伺服执行机构,是整套系统的关键部件^[1-2],其性能指标直接关系到飞机飞行安全。作动器作为一种复杂的机电液一体化产品,在测试时涉及到液压、电子、伺服控制和机械等多学科知识,测试方法复杂,所需仪器较多,测试精度要求高。传统的作动器测试平台大多由简易手动设备与通用测试仪器组成^[3-4],这种测试平台复杂庞大,自动化程度低,无法满足作动器大批量生产的测试需求,且对作动器测试人员要求较高,需要测试人员具备相关的专业技术知识^[5-6]。

针对此问题,本文设计了一种作动器自动测试平台,该平台可以完成作动器的调试、磨合、性能测试和成品检验。此外,该平台可实现作动器性能的“一键式”自动测试,极大地提高了测试效率,降低

了对测试人员的专业要求,具有操作简便、测试精度高和自动化程度高等优点。

1 自动测试平台工作原理

根据作动器测试需求及指标要求,自动测试平台采用基于面向仪器系统的 PCI 扩展(PXI extensions for instrumentation, PXI)总线的计算机虚拟仪器系统^[7-8]进行构建。自动测试平台主要由电源、逻辑开关、信号调理和数据采集等部分组成,其原理如图 1 所示。

自动测试平台通过软件设置,可自动对被测作动器输入激励信号,处理、采集作动器输出的响应信号,并对这些信号数据进行综合分析,从而确定作动器的各项性能指标,检验作动器性能是否满足

收稿日期:2017-05-15;**修订日期:**2017-06-20

通信作者:吴玮,女,工程师,E-mail:weiwu330@163.com。

引用格式:吴玮,许海岗,阙向东.一种作动器自动测试平台的设计与实现[J].南京航空航天大学学报,2017,49(S):. WU Wei, XU Haigang, QUE Xiangdong. Design and realization of actuator automatic testing facility[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2017, 49(S):.

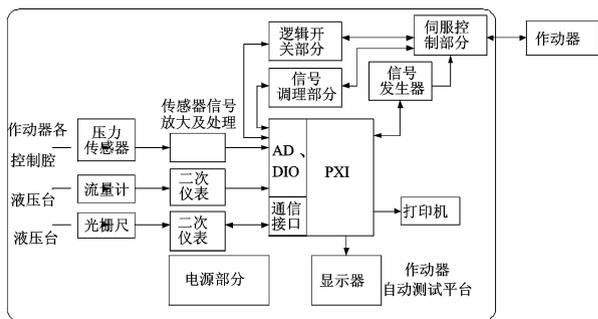


图1 作动器自动测试平台原理图

Fig. 1 Schematic diagram of actuator automatic testing facility

要求。通过测试平台能够实现作动器各测试项的自动测试,实时采集、显示、存储测试数据和测试曲线,并根据性能指标要求对测试数据进行分析,生成测试报告。此外,测试平台还具有自检测功能,可对供电电源、作动器主回路增益和解调增益等关键数据进行检测,对测试的可靠性和安全性有着重要的作用。

2 自动测试平台硬件设计

考虑到可靠性、开放性、扩展性和标准化以及在速度和功能上的要求,自动测试平台以 NI 公司的 PXI 工控机为核心,运行自动测试软件,实现自动测试平台与用户的人机接口,测试信号的采集及作动器控制和输出测试结果及测试报告的输出。

2.1 工控计算机

工控计算机是整个自动测试平台的核心。选用 NI 公司的 PXI 工控机作为测试平台的测控主机,控制器主频为 2.7GHz、双核 Intel Core i5 处理器,4GB 单通道 1600MHz DDR3 RAM,接口齐全,性能稳定可靠。用于实现测试过程的自动化以及测试数据的存储、运算和处理等。

2.2 多功能数据采集卡

根据测试平台所需测试资源的种类和数量,多功能数据采集卡选用 NI 公司 PXI-6225 和 PXI-6509 多功能数据采集卡。其中,PXI-6225 具备 2 路 16 位模拟输出,24 路数字 I/O,80 路模拟输入,分辨率 16 位,采样率可达 250K。PXI-6509 具备 96 路数字 I/O。用于采集和控制作动器测试所需的各种信号。

2.3 作动器伺服控制模块

作动器伺服控制模块与作动器构成伺服回路,接收计算机发出的伺服控制指令,根据控制模型,与作动筒位置反馈综合后,驱动作动器伺服阀,控

制作动器的运动,通过硬件逻辑实现伺服系统的故障监控和作动器的各种开、闭环控制,并将所需监控信号反馈给自动测试平台。

2.4 逻辑开关模块

逻辑开关模块通过接收计算机板卡发出的数字输出量,控制该模块中的继电器,实现指令通断控制以及伺服控制系统中开、闭环控制,主要包括:作动器运动指令通断、各个通道的 DDA 位置环的开、闭环控制,电流环的开、闭环控制,速度环的开、闭环控制,SOV 通断控制,电流开关和电流均衡开关等;并实现作动器工作状态的离散量采集,包括:F/D 开关等。

2.5 信号调理模块

信号调理模块包括激磁部分、驱动部分和解调部分。其中,激磁部分可产生作动器传感器所需的激励信号,用来驱动伺服阀和作动筒中的线性可变差动变压器 (Linear variable differential transformer, LVDT)。驱动部分实现作动器执行机构的驱动,提供了电液伺服阀 (EHV) 电流驱动,直接驱动阀 (Direct drive valve, DDV) 的 PWM 电流驱动及电磁阀 (SOV) 驱动。解调部分实现 LVDT 输出信号的相敏解调或非相敏解调,解调增益可调。此外,信号调理模块为用户提供关键信号的手动测试接口。

2.6 传感器信号放大及处理模块

传感器信号放大及处理模块可实现作动器各腔压力传感器的信号放大、滤波及求差功能,并通过数据采集板卡进行采集。

2.7 电源模块

电源模块用于给作动器和测试平台供电。采用标准上架电源模块,主要提供系统所需的 28V、±15V、5V 和 24V 电源,并配接触器与滤波器实现整个系统电源的控制与滤波。可通过 GPIB 接口与工控机通讯,完成电源的自检。

2.8 信号发生器

根据测试精度要求,选用安捷伦 33521A。信号发生器由 PXI 控制器通过 USB 接口进行控制,为作动器测试提供所需的直流、正弦、方波、三角波和阶跃等运动指令信号。

3 自动测试平台软件设计

3.1 软件层级设计

根据模块化、通用化和系列化的设计原则,采用三层软件设计^[9-10]。最底层为数采通讯层,可完成 AD 低速、高速采集、DIO、AO、RS232 串行总线

通讯、GPIB 总线、USB 总线仪器通讯和 EXCEL 文件 I/O 等函数的封装;中间层为功能模块层,集成了诸如滞环计算、线性度计算、对称度计算、快速傅里叶变换、最小二乘拟合、惯性滤波、二阶滤波和带宽计算等数据分析处理算法,内外环开闭环、电磁阀选通、伺服阀选通等作动器工况控制模块,以及数据记录与报表生成等模块;最顶层为逻辑测试层,即性能测试层。根据测试需求将作动器性能测试按照时序性划分为多个逻辑块,每个逻辑块是各个功能模块的有机组成。

3.2 软件结构设计

软件从功能上主要分为测试、配置和报表 3 部分,其结构组成框图如图 2 所示。测试包含综合测试、自动测试和设备自检 3 部分,是完成作动器性能测试的主体。配置包含测试项目配置和测试序列配置,信号属性配置。其中,信号属性以 EXCEL 文件形式进行配置。报表主要将测试数据以 EXCEL 报表和 QuickReport 报表形式保存下来,并提供远程发送功能。

果显示、判断、记录和打印功能。

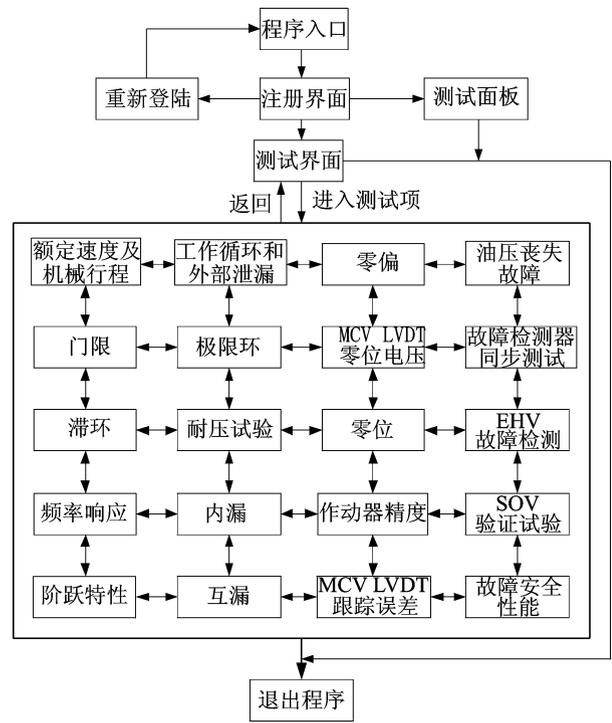


图 3 软件测试内容组成框图

Fig. 3 Diagram of software test contents

各测试项目的软件设计流程图如图 4 所示。测试程序根据所要求的测试方法进行每项测试,并与性能参数要求进行对照,将测试结果显示在屏幕上。

为了进一步提高测试效率,该自动测试平台采用“一键式”全自动测试设计方法。该方法在前述软件设计架构基础上,对作动器的运动控制、模拟信号采集、数字信号采集、仪器仪表控制、数据处理、存储和显示采用多线程技术,并通过软件代码完成测试流程的控制管理,从而实现全部性能测试项目的自动链接。当作动器进行批产交付性能测试时,操作者只需点击一次“开始”按钮,测试平台自动顺序执行全部测试项目,并自动生成全套测试报表,无需操作者全程参与。

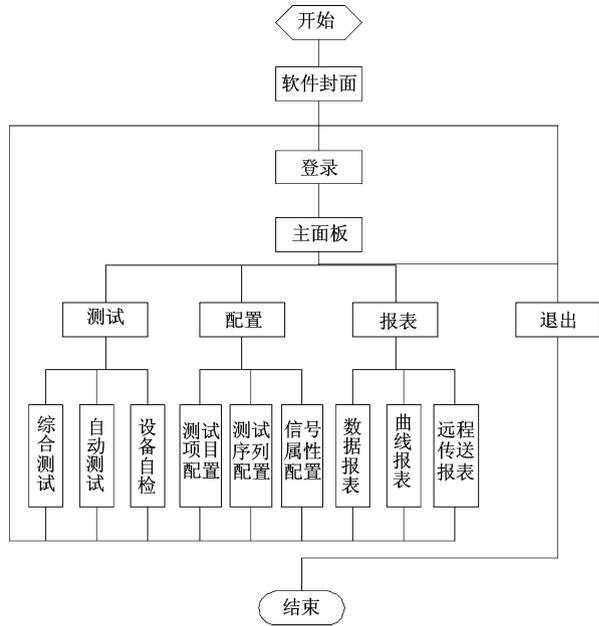


图 2 软件结构组成框图

Fig. 2 Diagram of software structure

3.3 软件测试内容

软件测试内容组成如图 3 所示。测试软件包含所有性能测试项目,主要有:信息注册、综合测试、电气参数测量、极性测试、工作密封性、耐压、输出行程、最大速度、零偏、同步、门限、滞环、频率特性、阶跃响应、极限环振荡、作动器精度、内漏、故障检测器门限、故障安全性能、互漏和中立位置长度等。对于每项性能测试,均提供测试曲线、测试结

4 应用实例

该自动测试平台已应用于多个型号作动器的调试与批产交付检验中。现以某型作动器应用为例说明。

启动测试软件后,用户可选择综合测试进行手动测试,或某测试项进行自动测试。软件界面如图 5 所示。

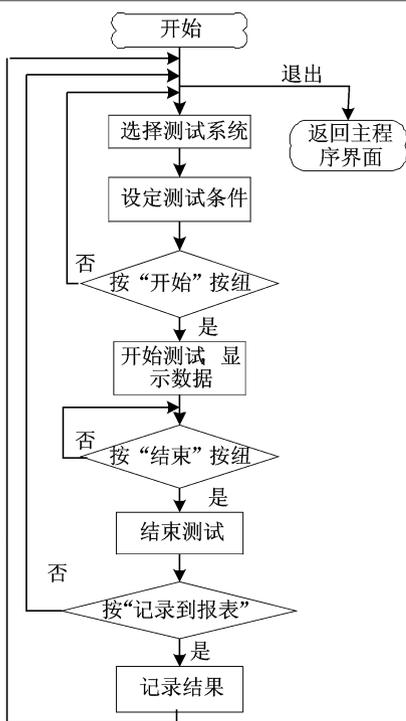


图 4 测试项目软件设计流程图

Fig. 4 Software design flow chart of test item

动评判测试结果是否在合格范围内,测试结束自动生成测试报表,并以 EXCEL 文档形式保存。测试界面如图 6 所示。该作动器测试平台完成了某型作动器的功能验证、性能测试、成品检验及批产过程的自动化。通过“一键式”测试,每台作动器的测试时间由 50 min 减少为 3 min,效率提高了近 17 倍。

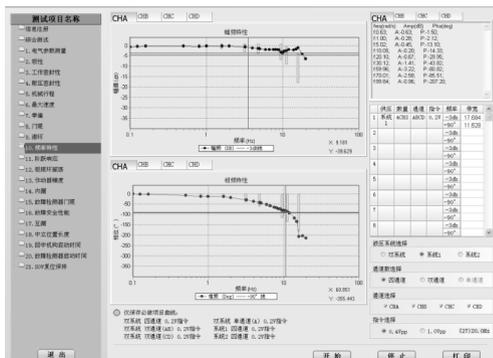


图 6 某型作动器自动测试平台频率特性测试界面

Fig. 6 Frequency characteristic test interface of automatic testing facility for one certain model of actuator

5 结束语

设计了一种作动器自动测试平台,该测试平台充分运用自动测试技术,能够对作动器的性能指标、参数进行自动测试,并根据检测所得的数据利用软件自动判断作动器的性能,能够准确发现作动器的各种问题。有效地提高了测试效率,节约了人力资源,工作稳定可靠、测试精度高,解决了飞控系统作动器测试自动化程度低的问题,完全满足测试需求。

参考文献:

[1] 吴森堂,费玉华. 飞行控制系统[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.

[2] 刘林,郭恩友,等. 自动飞行控制系统[M]. 北京:国防科技大学出版社,2002.

[3] 李永明,王俭勤,郑晋光,等. 国外标准化通用航空电子自动化测试设备现状和发展[J]. 计算机测量与控制, 2004, 12 (1) : 1-5.

LI Yongming, WANG Jianqin, ZHENG Jinguang, et al. About standard avionics ATE of overseas [J]. Computer Measurement and Control, 2004, 12 (1) : 1-5.

[4] STORA M J, DROSTE D. “ATE open system platform” IEEE P1552 structured architecture for test systems [C]//IEEE Systems Readiness Technology Conference. Anaheim:IEEE, 2003: 85-94.

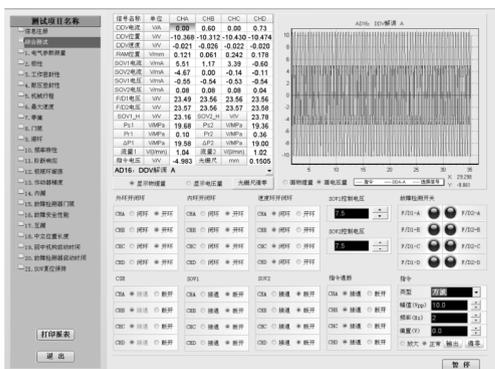


图 5 某型作动器自动测试平台综合测试界面

Fig. 5 Comprehensive test interface of automatic testing facility for one certain model of actuator

软件的综合测试界面是针对作动器调试所开发的软件模块。用户可通过综合测试界面手动设置指令的类型(正弦、三角、方波、直流)、频率、幅值和偏置值;设置 SOV 通断、指令通断、EHV 通断和 LVDT 开闭环等状态;对作动器的主要参数进行曲线显示和数字显示,并可设置光栅尺状态,标定光栅尺,以方便作动器的调试。

软件的自动测试界面实现作动器各项性能参数自动测试。软件根据测试项要求,自动设置信号发生器提供测试所需的各种信号,并对测试过程中的测试状态进行自动切换,完成数据记录、曲线绘制和数据分析处理。根据作动器技术性能指标,自

- [5] 屈建兵. 军用自动测试系统的发展综述[J]. 直升机技术, 2014(1): 59-64, 68.
QU Jianbing. Review of the development of military automatic test system [J]. Helicopter Technique, 2014(1): 59-64, 68.
- [6] 田涌. 飞控作动系统通用测试环境设计[J]. 测控技术, 2010, 29(6): 85-88.
TIAN Yong. Design of general test platform for actuator in flight control system [J]. Measurement & Control Technology, 2010, 29(6): 85-88.
- [7] 岳宏达, 何卫国, 曾漫. 基于PXI总线的舵机综合性能测试系统[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(9): 2339-2341.
YUE Hongda, HE Weiguo, ZENG Man. Comprehensive performance test system of servo-actuator based on PXI bus [J]. Computer Measurement and Control, 2013, 21(9): 2339-2341.
- [8] 刘贵喜, 邵明礼, 刘先红. 基于PXI平台的弹上计算机自动测试系统[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(8): 265-266.
LIU Guixi, SHAO Mingli, LIU Xianhong. The PXI-based automated test system for computer system embedded in missile [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(8): 265-266.
- [9] 李育明. 直升机并联舵机自动测试系统设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012
LI Yuming. Helicopter parallel steering gear automatic test system design[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [10] MCDONELL R, BRACKETT R. Designing an open test software architecture featuring Lockheed Martin LM-STAE case study [C]// Autotestcon Proceedings. [S. l.]IEEE, 2004: 202-208.