

doi: 10.7690/bgzdh.2016.12.001

基于 PXI 总线的伺服机构测试系统

张晓雨, 何华锋, 郑建飞, 董海迪
(火箭军工程大学控制工程系, 西安 710025)

摘要: 针对现有测试系统可扩展性差且无法准确获知伺服机构健康状态的问题, 以导弹伺服机构测试系统研制为背景, 提出一种基于 PXI 总线和虚拟仪器的自动化测试方案。从系统总体设计出发, 详细阐述测试系统的软、硬件设计, 并利用虚拟仪器和 PXI 总线仪器, 搭建了具有高可靠性、便捷性和实用性的伺服机构测试平台, 最后提出基于模糊层次分析的数据融合方法, 对各项测试指标隶属度进行融合, 进而得到伺服机构的健康状态等级。实验结果表明: 该系统能够较好地实现各项功能, 并具有一定的可移植性和扩展性, 能够实现不同伺服机构的测试要求, 为装备测试系统开发提供了一定借鉴价值, 对长期贮存装备的维护与保养具有十分重要的意义。

关键词: 虚拟仪器; PXI 总线; 测试系统; 伺服机构

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Servo Mechanism Test System Based on PXI Bus

Zhang Xiaoyu, He Huafeng, Zheng Jianfei, Dong Haidi

(Department of Control Engineering, Engineering University of Rocket Forces, Xi'an 710025, China)

Abstract: Existing test system has poor scalability, with an inability to obtain the health status of servo mechanism. Taking the development of missile servo test system as background, this paper proposes an automatic test scheme based on PXI bus and virtual instrument. Firstly, from the collectivity design of the test system, this paper expounds the software and hardware design. Secondly, based on PXI bus and virtual instrument, a test platform of servo mechanism with high reliability, convenience and practicability is constructed. Finally, a data fusion method based on fuzzy analytic hierarchy process is introduced to fuse the membership degree of each test index, and then get the health state level of the servo mechanism. Experimental results show that the system can better achieve the function, and has certain portability and scalability. It can meet the test requirement of different servo mechanism. It provides certain reference value for equipment test system development, and has very important significance for maintenance of long-term storage equipment.

Keywords: virtual instrument; PXI bus; test system; servo mechanism

0 引言

伺服机构是导弹控制系统的执行部分, 其性能的优劣直接影响了导弹的稳定性^[1]; 因此, 对其进行性能测试和健康评估方面的研究有着重要意义。传统的伺服机构测试系统尽管对各项指标测试得比较完全, 但只采用了一种“是非制”来直观地告诉测试人员伺服机构各项指标的合格与否, 而对其健康状态却无法准确获知。基于此, 笔者设计了一种基于 PXI 总线和虚拟仪器的伺服机构测试系统。它不仅可进行测试数据的采集、记录和显示, 还能根据得到的测试数据对伺服机构的健康状态等级做出评估, 并根据测试数据判断出相应的薄弱环节。

1 系统总体设计

伺服机构作为导弹控制系统的重要执行部分, 其作用是根据输入指令和反馈, 精确高速地控制作动筒做出相应的动作。绝大多数导弹上采用的是电液位置伺服机构, 集机、电、液于一体, 本身比较

复杂。在设计测试系统时, 对测试项目要考虑全面, 不仅能够测量状态参数, 而且能够进行动态和静态测试。这就要求伺服机构测试系统具有较高的采样精度和可靠性。

作为伺服机构的测试系统, 硬件资源要满足下列性能: 测量状态参数、产生激励信号以及采集处理反馈信号。特别是在进行动态测试时, 不仅要具有足够的采样精度, 而且具有较高的数据处理能力。同时, 也应具有良好的扩展性, 便于扩展测试不同型号的伺服机构。另外, 为满足健康状态评估要求, 该系统应具有较强的数据存储和运算能力。测试的流程控制是由测试软件实现, 这就要求软件具有较高的可靠性; 同时, 测试软件还应该具有良好的界面效果, 便于不同人员操作使用; 最后, 还要能够对测试结果进行分析, 并且能够将数据打印出来。

基于此, 本测试系统以工控机作为测控计算机, 以 PXI 总线仪器作为测试模块的组成部分。综合各方面考虑, 不仅可以实现对伺服机构的测试; 而且

收稿日期: 2016-08-17; 修回日期: 2016-09-14

作者简介: 张晓雨(1991—), 男, 河北人, 在读硕士, 从事导弹测试计量及故障诊断研究。

能够分析测试结果，并及时对被测系统的健康状态进行评估^[2]。

2 测试系统硬件设计

伺服机构测试系统采用了 PXI 总线的测试控制方案。PXI 总线智能测试系统采用模块化的组建方法，各模块通过 PXI 总线与计算机通信，PXI 总线是以 PCI 计算机局部总线 IEEE1014—1987 标准为基础的模块化仪器结构标准。与 CPCI、VXI 总线相比，它具有体积小，传输速率高、性价比较高的优点。如图 1 所示，测试系统主要组成包括打印机、显示器、鼠标、键盘、计算机、PXI 测试设备、信号转接箱和电源组成。测控计算机采用工控机，主要实现系统管理、过程控制、数据处理，信息显示和人机交互。信号转接箱主要实现阻抗匹配和对信号的放大、滤波和隔离等，并代替伺服放大器构建反馈回路。PXI 测试模块采用了 ADLINK 公司的 PXI 产品，主要完成激励信号的发生、测试信号的采集、通道的选择、信号的转换和处理。

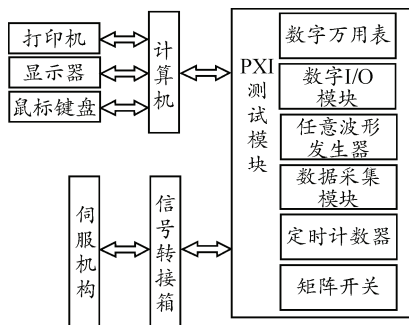


图 1 测试系统结构组成

本测试系统主要测试模块的功能如下：

- 1) 主机箱为包含 8 个插槽的 PXIS-2630 机箱，其中 0 槽为控制器插槽；
- 2) 机箱控制器 PXI-PCI8570 包括 1 个 PCI-8570 板卡和 1 个 PXI-8570 模块，分别插入测控计算机和 PXI 机箱中，实现测控计算机和 PXI 机箱间的控制和通信；
- 3) 数字万用表 SMX-204Q 主要实现对各种状态参数信号的测量，能够达到 6 位半精度；
- 4) 任意波形发生器 TE-5201 可以提供需要的激励信号；
- 5) 数据采集模块 DAQ-2205 能够达到 16 位 A/D 采用精度和最高 500 kS/s 的采样率；
- 6) 数字 I/O 模块 cPCI-7432，具有 32 路光隔离输入和 32 路达林顿输出，用于状态控制和状态信号读取；

7) 定时计数器 GTX-2200 主要用于阶跃特性测试中对上升时间的测量；

8) 矩阵开关 PXI-7921 具有多路复用功能，主要用通道和信号的转换。

3 测试系统软件设计

测试系统的软件设计是系统设计的关键部分，笔者采用基于虚拟仪器的开发方式。目前较常用的虚拟仪器主要有基于图形化编程语言(如 G 语言)的 LabVIEW 和 VEE 以及基于文本式编程语言(如 C 语言)的 Lab Windows/CVI 和 VC 等^[3]。由于 LabVIEW 结构清晰且便于进行调试和维护；因此，笔者采用 LabVIEW 作为上位机测试程序的开发平台。

3.1 软件流程

本测试系统主要由上位机软件控制实现。测试软件的主要流程为：首先，进行测试系统自检，检查测试系统是否能够正常工作；然后，按照操作要求对伺服机构进行相应项目的测试；最后，根据测试结果进行健康状态评估，并以表格的格式将测试结果显示并打印。测试软件的流程如图 2 所示。

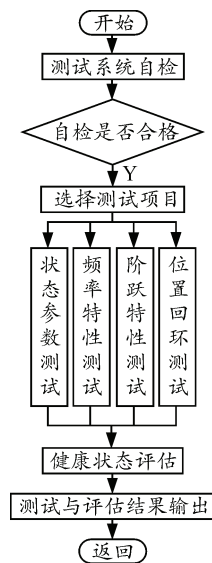


图 2 测试软件流程

3.2 软件组成

本系统的软件部分主要由测试模块、自检模块、指标判断状态评估模块、数据管理模块、系统帮助模块组成^[4]。系统的软件结构如图 3 所示。

自检模块主要完成对系统本身的自我检测，同时对伺服机构等效器进行测试。系统通过自检，来检测系统本身是否符合相应指标要求，从而为进一步测试做准备。

测试模块主要包括信号产生模块、数据采集模

块和仪器驱动模块。信号产生模块主要实现激励信号生成，比如频率测试所用到的正弦波信号及阶跃特性测试所需要的阶跃信号；数据采集模块主要实现对状态参数信号和反馈信号的采集；仪器驱动模块主要实现计算机和 PXI 模块间信号的传递和交互。

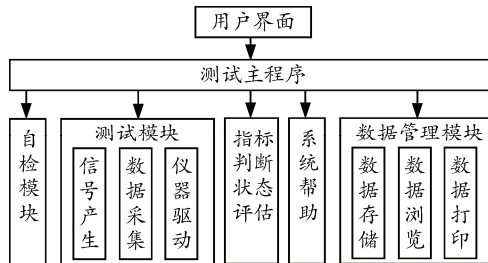


图 3 测试系统软件组成

指标判断状态评估模块是对测试数据进行进一步处理，通过和历史数据以及给定标准数据进行比较，判读指标合格与否。同时，利用模糊层次分析的方法，对测试数据进行处理融合，进而计算出伺服机构健康状态等级。

数据管理模块主要完成数据的存储和管理功能，由数据库接口和数据库管理软件组成。通过建立数据表将数据存储到相应的字段中，同时建立各表之间的关系模型，将同一次测试的数据联系在一起，便于调用和浏览。

系统帮助模块主要是对系统的使用相关事项进行说明，更方便操作人员的使用。

3.3 频率信号处理方法

在对伺服舵机进行频率测试时，采用了正弦相关分析法。此方法只适用于单点频率特性测试，即该方法只适用于单一频率正弦激励测试的情况。采样输入和输出信号，根据互相关原理求出系统的频率特性响应^[5]，具体原理分析如图 4 所示。

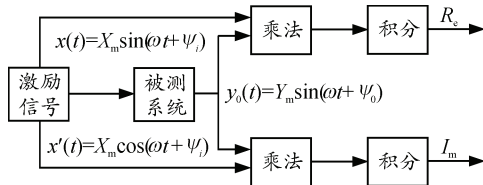


图 4 互相关法测频率特性原理

图 4 中： $x(t) = X_m \sin(\omega t + \psi_i)$ 为输入信号， X_m 为输入信号幅值， ω 为输入信号角频率， ψ_i 为输入信号初始相位； $x'(t) = X_m \cos(\omega t + \psi_i)$ 为与之相对应的余弦信号； $y_o(t) = Y_m \sin(\omega t + \psi_o)$ 为系统的输出信号， Y_m 为输出信号幅值， ω 为输出信号角频率， ψ_o 为输出信号初始相位。利用三角函数的正交性以及

$n(t)$ 信号的独立性，当 $T \rightarrow \infty$ 时（即当积分周期足够多时），可滤掉输出信号中的谐波干扰信号和随机干扰信号。可得图 4 中信号变换的实部和虚部分别为：

$$R_e = X_m Y_m \cos(\varphi_0 - \varphi_i); \quad (1)$$

$$I_m = X_m Y_m \sin(\varphi_0 - \varphi_i). \quad (2)$$

利用式(1)和式(2)可以计算被测系统的幅值增益 A_m 和相位 φ 分别为：

$$A_m = \sqrt{I_m^2 + R_e^2}; \quad (3)$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{I_m}{R_e}\right). \quad (4)$$

对被测系统的输入、输出信号采样，得到输入输出信号的采样序列为 $x(nTs)$ 、 $y(nTs)$ ， $n = 1, 2, \dots, N$ ，则计算 R_e 和 I_m 的离散化公式为：

$$R_e = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(nTs)y(nTs); \quad (5)$$

$$I_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x'(nTs)y(nTs). \quad (6)$$

式中： $x(nTs)$ 为输入信号的正弦采样序列； $x'(nTs)$ 为输入信号的余弦采样序列。将 R_e 和 I_m 代入到式(3)和式(4)，即可以计算出幅值增益 A_m 和相位 φ 。

3.4 健康评估方法

测得数据后，系统利用模糊层次分析的方法，依据测试所得数据，对伺服机构的健康状态进行实时评估^[6]。模糊层次分析法的基本思想是建立伺服机构的递阶层次模型^[7-8]，通过将各评价指标模糊量化确定其隶属度，进而计算伺服机构的健康状态等级。

模糊层析分析法的具体步骤为：

- 1) 根据已有的测试项目分类，建立相应的递阶层次结构模型。
- 2) 根据经验和多方因素，建立权重判断矩阵。
- 3) 对判断矩阵进行求解，求出相应等级间各指标的组合权重。
- 4) 根据指标期望区间和测试所得数据，代入相应隶属度函数计算其隶属度。本步骤采用了线性归一化公式，采用不同的隶属函数分布：

升半梯形分布为

$$\mu(x) = (x-a)/(b-a). \quad (7)$$

降半梯形分布为

$$\mu(x) = (b-x)/(b-a). \quad (8)$$

式中： x 为指标实际值；隶属域为 $[a, b]$ 。