

doi: 10.7690/bgzd.2018.04.007

基于 chirp 信号的导弹伺服机构动态测试系统

申 军

(海军研究院 92578 部队, 北京 100161)

摘要: 针对常规导弹伺服机构动态测试方法存在的不足和动态测试需求, 设计基于 chirp 信号测试的导弹伺服机构动态测试系统。系统由数据采集和信号发生功能模块、伺服放大器电路、信号调理电路、显示器、鼠标/键盘和打印机等组成。硬件采用研华 IPC-610L 工控机和 PCI-1706U 多功能数据采集卡, 并用 C#编程实现人机交互界面。系统具有系统自检、激励信号产生、测试数据的采集、数据处理和测试数据管理功能。在测试过程中, 系统产生超低频信号, 并同步采集输入激励和响应输出, 采用 chirp 信号作为激励信号, 充分激励模态, 应用 FFT 变换, 完成导弹伺服机构的动态性能的测试。测试结果表明: 该系统能快速准确地获得系统频率特性, 缩短测试时间。

关键词: 伺服机构; 动态测试; chirp 信号; FFT 变换

中图分类号: TJ760.3 **文献标志码:** A

Dynamic Test System of Missile Servo Mechanism Based on Chirp Signal

Shen Jun

(No. 92578 Unit of PLA, Naval Academy of Armament, Beijing 100161, China)

Abstract: In view of the deficiency existing in current dynamic test method and demand for dynamic testing of missile servo mechanism, a dynamic test system was designed based on chirp signal test. The test system consists of data acquisition and signal generation module, servo amplifier circuit, signal conditioning circuit, display, mouse/keyboard and printer, etc. IPC-610L industrial computer and PCI-1706U multi-function data acquisition card were utilized to construct the test system hardware, and computer interface was realized by c # programming. System function includes self-check, excitation signal generation, data acquisition, data processing and test data management. In the process of testing, dynamic test system is sustainable producing ultra-low frequency signal, and synchronous sampling input excitation and output response. Chirp signal is taken as excitation signal to incentive system mode fully and FFT transform is applied to calculate dynamic performance. Test results show that the system can rapidly and accurately obtain system frequency characteristics and shorten test time.

Keywords: servo mechanism; dynamic testing; chirp signal; FFT transform

0 引言

伺服机构是导弹控制系统的执行部件, 通过推动发动机喷管改变导弹的飞行姿态, 其性能对导弹的稳定飞行和命中精度具有直接影响^[1]; 因此, 在发射前必须对导弹伺服机构进行必要的性能测试, 确保导弹发射后能够正常工作^[2-6]。

常见的伺服机构动态测试方法存在如下不足:

1) 正弦相关分析法测试时间长, 测试频率点较少且不连续, 对伺服机构的模态激励不够充分; 2) 谱分析法测试精度低, 抗干扰能力和可重复性差; 3) 多频声信号对伺服机构的模态激发不够充分且激励信号峰峰值比较大; 4) 多谐差相信号的激励信号频谱是等间隔的离散谱, 不能够充分反映伺服机构的动态特性, 且信号产生困难。针对上述问题, 笔者设计基于 chirp 信号测试的导弹伺服机构测试系统。

1 基于 chirp 信号测试原理

基于调频脉冲信号的测试方法是一种常见的频率特性测试方法, 被广泛应用于雷达、通信和地震勘探等行业^[2,4]。调频脉冲信号数学模型为:

$$s(t) = A \exp[j2\pi(f_0 t + (k_0 / 2)t^2)] \quad t \in [0, T]。 \quad (1)$$

其中: A 对应 chirp 信号幅值; f_0 对应信号的初始频率; k_0 对应调频斜率; T 为信号区间(时宽)^[6]。

基于调频脉冲测试方法的激励信号为 chirp 信号, 这里采用其实部, 表达式为:

$$x(t) = A \cos(2\pi(\beta t + f_0)t)。 \quad (2)$$

其中: A 为 chirp 信号的幅值; β 为频率变化速率; f_0 为信号的起始频率; t 为时间变量。绘制得到的 chirp 信号波形如图 1 所示, chirp 信号是幅值不变, 频率随时间线性变化的连续信号。

收稿日期: 2018-01-02; 修回日期: 2018-01-22

基金项目: 国家自然科学基金(61403399)

作者简介: 申 军(1972—), 男, 山东人, 高级工程师, 从事导弹测试与控制研究。

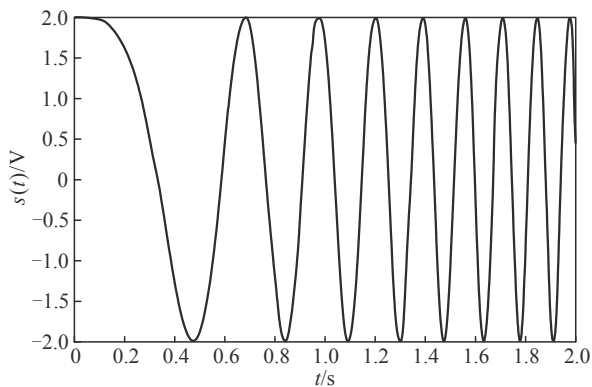


图1 chirp 信号波形

基于 chirp 信号的测试原理如图 2 所示, 首先产生 chirp 激励信号, 施加给被测系统, 同时对系统的输入输出信号进行同步采样, 得到离散的输入信号 $x(k)$ 与输出信号 $y(k)$, 对采集到的信号进行快速傅里叶变换 (FFT), 计算比值 $Y(\omega_k)/X(\omega_k)$, 对应的相角为相位差, 绝对值为幅值比。测试过程中由于带宽较窄, 为获得准确的测试结果, chirp 信号的频率变化不应太快^[7-8]。

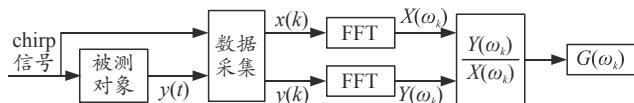


图2 chirp 信号测试原理

基于 chirp 信号的测试方法涉及到 FFT 变换。图 2 中输入输出序列的比值 $Y(\omega_k)/X(\omega_k)$ 是一组离散且对称的复数序列, 序列模值对应幅频特性, 相角为相频特性。复数序列各点处的角频率计算如下。

设测试过程中采样频率为 f_s , 采样点数为 N , 得到的采样序列为 $n=0:1:N-1$, 则采样序列对应的角频率序列为:

$$\omega = n \times f_s / N. \quad (3)$$

因 FFT 变换得到对称的双边谱, 测试结果只取 $0 \sim \text{Nyquist}$ 频率范围的频率特性。

基于 chirp 信号的测试方法, 因一次扫频测试就可完成对所测试频域范围内的频率特性的获取, 测试速度快、测试效率高, 能够充分激励系统模式^[9]。信号采样时间与调频脉冲信号扫描时间有关, 较正弦相关分析法采样时间大大缩短, 较谱分析法具有很好的重复性和测试精度, 因 FFT 变换对噪声有抑制作用, 测试过程中也表现出了较好的测试效果, 确保快速准确地获得系统频率特性^[10]。

2 系统组成

导弹动态测试系统设计的基本思想为: 采用标准总线系统和总线模块进行系统集成; 采用“软件就是仪器”的思想^[11-12], 充分发挥虚拟仪器的优势, 使用计算机软件代替测试系统中部分硬件, 简化测试系统组成, 缩短系统的开发周期, 提高系统的可靠性和可移植性。

动态测试系统由以下部件组成: 数据采集和信号发生功能模块、伺服放大器电路、信号调理电路、显示器、鼠标/键盘和打印机等。

2.1 数据采集和信号发生功能模块

伺服机构动态测试过程中, 不仅需要产生特定波形的超低频信号, 还需要同步采集输入激励和响应输出。测试过程中, 为提高测试精度, 选择采用差动输入的方式抑制共模干扰。综合考虑系统需要的采集端口数和采集精度、采样频率, 以及数模信号的频率、幅值要求, 选择研华 PCI-1706U 多功能数据采集卡作为信号发生和数据采集的功能模块。

2.2 伺服放大器电路

多功能数据采集卡产生的激励信号最大输出电压范围为 $\pm 10 \text{ V}$, 无法直接驱动伺服机构。为此, 需要设计伺服放大器进行功率放大。在信号放大过程中, 首先进行电压放大, 然后进行电流放大。在信号放大之前, 需进行信号综合。导弹电液伺服机构采用负反馈调节, 在伺服放大器前, 将激励信号与系统反馈电位器的反馈信号进行综合, 综合后的信号为伺服机构响应信号对应的输入信号。

2.3 信号调理电路

伺服机构中的传感器将各类型信号转换为电信号, 但受传感器和采集卡量程等限制, 需要对电信号进行相应处理。常见的处理办法如下。

1) 电平调节。

传感器输出的电信号幅值相对较小, 与板卡的模拟量输入端口的范围差别较大, 这时需要将信号进行放大处理; 部分需要采集的信号范围较大, 超出数据采集卡最大量程, 这时需要对信号进行衰减。

2) 信号变换。

数据采集卡输出为电压信号, 需要转换成能够控制电液伺服阀运行的电流信号。

3) 滤波。

信号传输时, 不可避免地引入噪声。chirp 激励信号的扫频频带范围为 $0.1 \sim 20 \text{ Hz}$ 。因激励信号

的频带范围较低,在数据采集前采用低通滤波器去除高频干扰。为有效滤除信号传输过程中的干扰,滤波环节应放置在靠近传感器和数据输出端口的位

置。采用研华 IPC-610L 高性能工控机和 PCI-1742U 多功能数据采集卡设计完成的动态伺服系统组成如图 3 所示。

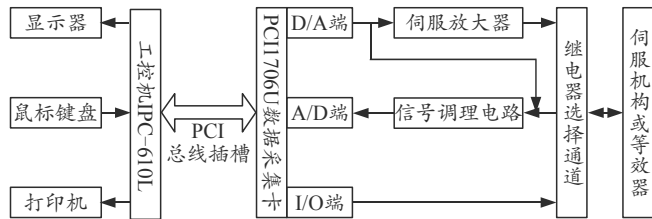


图 3 伺服机构测试系统组成

3 系统功能

系统主要具备以下功能。

1) 系统自检:测试前,需进行系统自检,以确保测试系统功能完好。

2) 激励信号产生:通过测试软件控制多功能数据采集卡产生系统所需的激励信号,完成激励信号幅值、频率设置等。

3) 测试数据的采集:完成测试通道选择、信号转换触发方式以及数据采集参数设置等。

4) 数据处理:数据预处理过程与预处理后的测试数据到测试结果的转换。

5) 测试数据的管理:数据的存储、打印、查询和输出等。

系统实现功能如图 4,设计完成的软件界面如图 5。

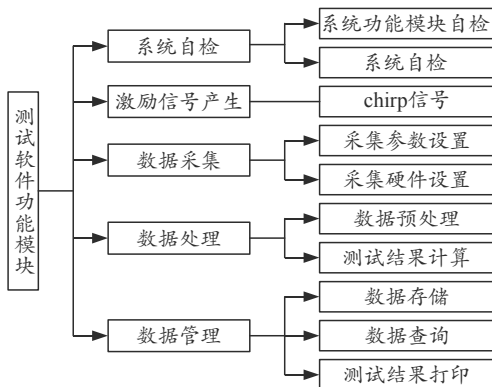


图 4 测试程序功能设计

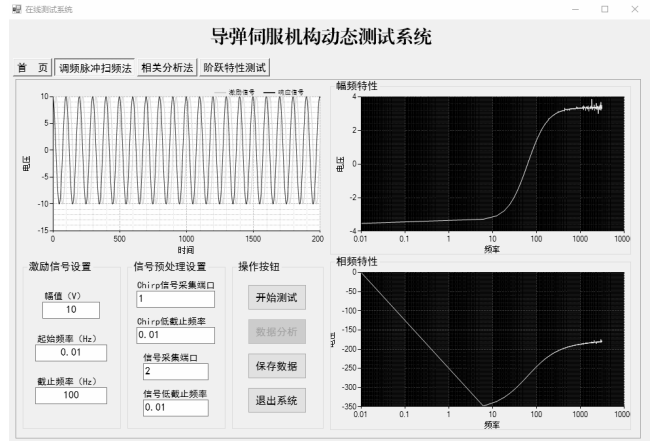


图 5 软件设计界面

4 结论

测试结果表明:该测试方法能够充分激励模态,测试速度快,能很好地完成伺服机构动态测试任务。

参考文献:

- [1] 沈秀存,李谟喜,陈世年,等. 导弹测试发控系统[M]. 北京:宇航出版社,1994:225-229.
- [2] 王建华,岳瑞华,顾凡. 基于 chirp 信号导弹伺服机构频率特性测试研究[J]. 现代防御技术,2017,45(4):30.
- [3] 张婷婷. 液压元件与系统测试技术内涵、发展趋势[J]. 液压气动与密封,2016,36(2):92-95.
- [4] 廖红才,鄢小清,樊贺斌. 舵系统频率特性测试方法的研究[J]. 战术导弹控制技术,2012,29(3):25-31.
- [5] 张东煜,摆卫兵,邓福平. 某型导弹伺服机构动态测试系统设计[J]. 仪表技术,2014(1):17-20.
- [6] 王志洋. chirp 信号参数估计方法的研究[D]. 吉林:吉林大学,2013.
- [7] 耿克达,周军,高智刚,等. 虚拟舵机频率特性测试系统及实现[J]. 测控技术,2013,32(11):59-62.
- [8] 汪首坤,王军政. 基于调频脉冲扫频的导弹的舵机频率特性测试方法[J]. 北京理工大学学报,2006,26(8):697-703.
- [9] 胡广书. 数字信号处理—理论、算法与实现[M]. 3 版. 北京:清华大学出版社,2012:166-188.
- [10] 杨方伟,王小青. 基于运动耦合的战术导弹协调控制技术[J]. 兵工自动化,2017,36(3):17-19.
- [11] 白清鹏. 国内液压测试技术的现状与发展趋势[J]. 液压气动与密封,2015(1):20-23.
- [12] 严乐,司斌,张从霞,等. 美军自动测试系统的现代化发展综述[J]. 航空兵器,2016(2):71-76.