

基于联合测控的电液伺服阀动态性能测试研究

权凌霄^{1,2} 盛世伟¹ 陈刚¹

(1.燕山大学机械工程学院,秦皇岛 066004; 2.燕山大学先进锻压成型技术与科学教育部重点实验室,秦皇岛 066004)

摘要:针对电液伺服阀动态特性测试精度低、高频控制效果较差的问题,在 GB/T 15623.1—2003 基础上构建电液伺服阀联合测控平台,利用 PLC 系统对作动筒进行低频控制,减小了测试原理误差。提出了一种对扫频控制信号进行积分计算来进行频率响应特性分析的计算方法。利用 LabVIEW 软件采取定采样、变采样率的方法发出信号,实现对扫频信号的精确控制。给出了 MOOG D761-2716A 型机械反馈伺服阀及 MOOG D661-1945E 型电位移反馈伺服阀的动态性能实测曲线,试验证明,所提方法对电液伺服阀动态性能测试精度可达 $\pm 4\%$ 。

关键词:电液伺服阀;联合测控;低频控制;动态测试

中图分类号: TH137 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)01-0377-06

Dynamic Performance Test of Electro-hydraulic Servo Valve Based on Joint Test and Control

Quan Lingxiao^{1,2} Sheng Shiwei¹ Chen Gang¹

(1. School of Mechanical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China

2. Key Laboratory of Advanced Forging and Stamping Technology and Science, Ministry of Education, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: To improve the precision of electro-hydraulic servo valve's dynamic state character, a method was proposed by having the excitation signal integrated while calculated the servo valve's frequency characteristic. In the measurement system, a programmable logic controller (PLC) controlled the cylinder's displacement with a low frequency, while a displacement sensor detected the response signal with a high frequency, which would reduce the inherent error. The rest automatic operations were completed in the national instruments' products (PXIe-1071, PXIe-8115 and PXIe-6251). In the software program, a LabVIEW produced control signal with a fixed value of sample and a change frequency, was sent to the PLC system, which would produce the final excitation signal. The valve's displacement could be got, and the integration of the final excitation signal and the valve's displacement signal were calculated. Finally, the servo valve's dynamic state character could be got. At last, the MOOG D761-2716A servo valve's test curve and the MOOG D661-1945E servo valve's test curve were illustrated, which meet the correct results well. In the end, several conclusions were drawn: the method of having the excitation signal integrated can be used in the test of electro-hydraulic servo valve and it can calculate the dynamic state value accurately. The composite measurement system (PLC + NI) can play a correct role in the test.

Key words: electro-hydraulic servo valve; joint test and control; low frequency control; dynamic test

引言

随着农业机械装备向大功率、高端化方向发展,

电液伺服控制系统逐步成为其动力控制系统的主要形式^[1-3]。电液伺服阀具有动态响应快、控制精度高、使用寿命长等特点,是电液伺服控制系统的主要

收稿日期: 2015-05-18 修回日期: 2015-06-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(51375423)和河北省重点基础研究项目(12962147D)

作者简介: 权凌霄(1976—),男,副教授,博士,主要从事液压系统振动及控制和智能化液压元件研究,E-mail: lingxiao@ysu.edu.cn

控制元件。电液伺服阀动态性能测试是伺服阀技术发展的重要基础,随着对电液伺服阀控制性能要求的提升,动态测试方法的同步发展显得更加重要^[4]。

作动筒速度的精确测试是伺服阀动态测试的关键。国家标准 GB/T 15623.1—2003 规定一般采用速度传感器、流量传感器或者位移传感器来测量作动筒速度。但是,对于常用的磁电式速度传感器而言,受其固有频率的影响,低频测试效果并不理想,主要表现为传感器在低频时信号灵敏度不稳定,即当测量频率低于传感器固有频率时,传感器输出电压与被测速度呈非线性关系^[5]。采用位移传感器或流量传感器来获得作动筒速度在理论上也是可行的,但是,对于前者,位移信号微分后往往难以获得能够用于分析的速度信号,而对于后者,由于流量传感器的瞬态性能较差^[6],因此,测试精度难以保证。另外,电液伺服阀的高频动态性能测试大多采用分时多任务方法完成,系统的信号采集处理方面具有一定局限性,控制实时性较差,制约了高频测试效果。

本文针对力反馈两级电液伺服阀高频性能测试存在的信号测试精度不高,高频控制效果较差的问题,提出通过检测作动筒位移,反过来对扫频控制信号进行积分,然后进行频率响应特性分析,得到伺服阀动态特性的测试方法。在此基础上,构建一套高频联合测控系统,该系统由“PLC (Programmable logic controller) 控制子系统 + NI (National instruments) 采集子系统”组成,为高性能伺服阀的高频性能测试提供参考。

1 理论分析

频率分析是电液伺服阀动态性能测试普遍采用的方法。传统测试方法是由伺服阀及作动筒共同构成阀控缸动力元件,以伺服阀的固定幅值、频率由低频连续增大到一定范围的扫频控制信号作为输入,检测得到的作动筒速度作为输出,然后分析频率响应得到伺服阀动态性能^[7]。

1.1 电液伺服阀数学模型

力反馈两级电液伺服阀是广泛应用的一种伺服阀。在大多数电液伺服系统中,伺服阀的动态响应往往高于动力元件的动态响应。为了简化系统的动态特性分析与设计,将所研究的伺服阀看作二阶振荡环节^[8],如以控制电流 ΔI 作为输入量,空载流量 Q_0 作为输出量,则得到其传递函数为

$$\frac{Q_0}{\Delta I} = \frac{K_{sv}}{\frac{s^2}{\omega_{sv}^2} + \frac{2\zeta_{sv}}{\omega_{sv}}s + 1} \tag{1}$$

式中 K_{sv} ——伺服阀流量增益
 ω_{sv} ——伺服阀固有频率
 ζ_{sv} ——伺服阀阻尼比

1.2 作动筒的数学模型

首先做如下假设:被测阀是零开口四边滑阀;供油压力恒定,回油压力为零;作动筒泄漏、运动部分质量和负载刚度的影响可以忽略。本文取作动筒活塞的中间位置为初始位置,测试过程中,作动筒的活塞在中间位置附近往复运动,根据传统理论,可以得到其输出位移为

$$X_p = \frac{\frac{K_q}{A_p}X_v - \frac{K_{ce}}{A_p^2}\left(1 + \frac{V_t}{4\beta_e K_{ce}}s\right)F_L}{s\left(\frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\zeta_h}{\omega_h}s + 1\right)} \tag{2}$$

式中 K_q ——被测阀的流量增益
 A_p ——作动筒活塞的有效面积
 X_v ——被测阀的阀芯位移
 K_{ce} ——总流量-压力系数
 β_e ——有效弹性模量
 ω_h ——液压固有频率
 ζ_h ——液压阻尼比
 F_L ——作动筒受到的外负载力
 V_t ——液压缸总压缩容积

1.3 测试系统理论分析

由于作动筒的内泄漏、活塞受到的摩擦力难以完全对称,及被测阀存在零偏,因此,在实际测试过程中,会导致作动筒的活塞逐渐偏向一侧。为了解决这一问题,本文利用位移传感器,构成低增益位置闭环对中反馈,实时检测作动筒的位移,对其纠偏^[9]。

测试过程中,作动筒不受外负载力,因此可以忽略,由式(2)可得作动筒对输入指令 X_v 的传递函数

$$\frac{X_p}{X_v} = \frac{\frac{K_q}{A_p}}{s\left(\frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\zeta_h}{\omega_h}s + 1\right)} \tag{3}$$

由式(1)、(3),得到被测系统高频测试过程中的控制框图如图 1 所示。图中, K_a 为伺服阀放大器系数, K_h 为位移传感器系数, U_i 为输入放大器的电压信号。

为使被测系统的频率特性尽可能接近伺服阀频率特性,需要使其固有频率尽量与伺服阀接近,因此,要求作动筒固有频率的 ω_h 应尽可能大,即要求作动筒运动部分质量尽量小、活塞及负载阻尼系数尽量小。此时,可将作动筒视为比例积分环节,其数学模型为

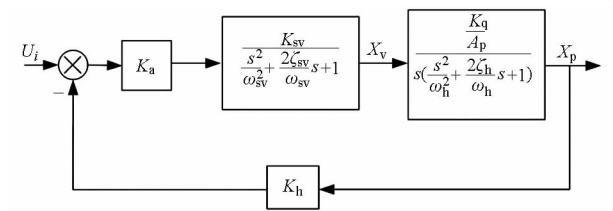


图 1 测试系统原理框图
Fig. 1 Block diagram of test system

$$\frac{X_p}{X_v} = \frac{A_p}{s} \frac{K_q}{K_a} \quad (4)$$

于是,可以得到被测系统的闭环传递函数为

$$G(s) = \frac{K_a K_q K_{sv} s}{A_p s \left(\frac{s^2}{\omega_{sv}^2} + \frac{2\zeta_{sv}}{\omega_{sv}} s + 1 \right) + K_a K_q K_{sv} K_h} \quad (5)$$

由式(5)可知,闭环系统测试时,被测阀的低频频率特性曲线与阀控缸被测系统的频率特性曲线有很大差异。这是因为低频时,微分环节特性占主导作用,只有当频率达到一定数值后,被测系统频率特性才能逼近被测阀的频率特性。

由于位置闭环的反馈信号与标准正弦波信号叠加后构成伺服阀上的实际输入信号,该信号与频率特性测试要求的标准正弦波信号有一定偏差,给伺服阀频率特性测试结果带来测试原理误差^[10]。因此,为了减小测试误差,本文利用 PLC 控制系统对作动筒进行低频位置控制,以减少叠加在标准正弦输入信号上的位置反馈信号,并利用 NI 采集系统对作动筒的位移进行高频采集和运算。前者具有控制效果好,能够满足作动筒低频控制需要的优点;后者具有数据采集、信号处理能力强,能够满足高频信号采集的优点。

2 测控系统硬件与软件实现

2.1 硬件实现

测试液压系统原理如图 2 所示,该原理图是在 GB/T 15623.1—2003 中“典型动态试验回路”的基础上改进得到的。

构建的测控原理图如图 3 所示,是一套“PLC 控制系统 + NI 采集系统”共同组成的高频联合测控系统,PLC 系统负责对被测系统的实时低频控制,NI 系统负责作动筒数据的高频采集、计算与存储,二者通过工业以太网实现数据实时交互。PLC 系统由 CPU224XP 模块和 EM235CN 模块组成,NI 采集系统由 PXIe-1071 机箱、PXIe-8115 控制器及 PXIe-6251 采集板卡组成。

作动筒的位移信号被 PXIe-6251 采集板卡高

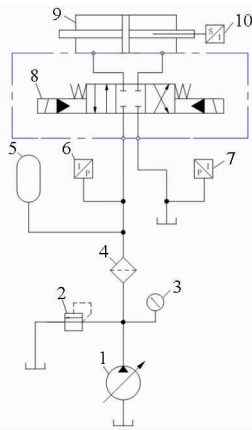


图 2 液压系统简图
Fig. 2 Diagram of hydraulic system

1. 变量泵 2. 溢流阀 3. 压力表 4. 过滤器 5. 蓄能器
6, 7. 压力传感器 8. 被测阀 9. 作动筒 10. 位移传感器

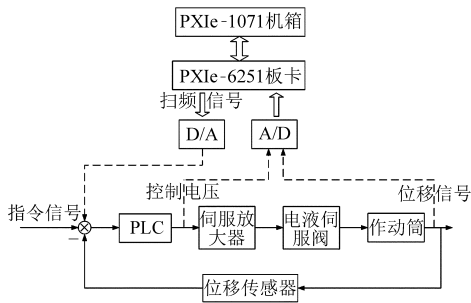


图 3 联合测控原理图
Fig. 3 Joint test and control system

频采集,同时被 EM235CN 模块低频采集并进行分析计算。PLC 系统将采集到的作动筒的位移信号经计算得到偏差信号,再把偏差信号叠加到由 NI 系统发出的正弦扫描信号上,然后将叠加后的信号分别输送至 PXIe-6251 采集板卡与被测阀,从而实现对作动筒的低频闭环控制与对伺服阀高频扫描测试的协调进行,达到了精准定位、高速响应、分频计算的效果,使得对伺服阀的动态测试精度大大提高,稳定性得到了保证。

2.2 软件实现

本测试采用 NI 系统专用的图形化编程软件 LabVIEW 2012 编写程序。该软件具有丰富的图形代码,使得编程更加容易;提供了大量的驱动和应用程序,方便与各种硬件进行连接;内嵌了各种函数库,从基本的数学函数到数据分析函数,可以直接供用户调用^[11-13]。本试验的程序流程如图 4 所示。

在开始测试前,需要根据被测阀的型号设定扫描信号参数;在测试过程中,能够实时显示采集到的原始信号及分析处理结果;完成测试后,可以选择性地对测试结果进行存储或打印。

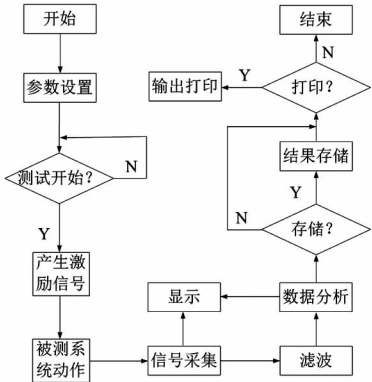


图 4 测控程序流程图
Fig. 4 Flow chart of program

3 编程与分析

3.1 扫频信号发生

采用逐点频率特性测试方法,根据被测阀的频宽,以某一起始频率输出幅值恒定的正弦信号,以一定的步长改变输出正弦信号的频率,在每个频率点处,输出有限个样本点。

根据采样定律有

$$\frac{b}{f} = \frac{N}{f_s} = \frac{bn}{fn} = t \tag{6}$$

式中 f ——正弦信号的频率;

N ——每个测试频率的总采样点数

f_s ——采样频率

n ——单个正弦信号的采样点数

t ——输出正弦信号所用时间

式(6)中 f 是变量,则要求在另外3个量 n 、 b 、 f_s 中至少存在一个变量。测试过程中要求每个频率下正弦信号的个数必须为整数,以保证下一个频率测试开始时动态油缸处于中位附近,这就要求 b 为整数,为缩短测试时间并尽可能保护伺服阀,取 $b = 10$ 。以下讨论如何合理地设置其它参数。

为方便论述,假设扫频信号的频率范围为5~200 Hz。如果采样率 f_s 取定值,为2 000 Hz,采样点数 n 及 N 为变量。则当 $f = 5$ Hz时, $n = 400$, $N = 4 000$;当 $f = 200$ Hz时, $n = 10$, $N = 400$ 。高频时信号会产生一定的失真。此时,如果要使高频信号不失真,就要求采样率 f_s 较大,但是这会导致低频率时采样点数太多,对硬件提出了更高的要求。如果将采样率 f_s 取为变量,采样点数 n 及 N 取为定值,为保证信号不失真,取 $n = 400$, f_s 取值范围为2 000~80 000 Hz,这样既可得到精确结果而又不影响系统运算速度。本文采用后一种方法设计信号发生器。

由于软件自带的传统信号发生器不能同时保证不同测试频率时信号的样本点数及信号周期相同,从而造成高频时信号失真或低频时样本点数过大,

使系统运行速度下降,影响测试效果。因此,本文根据归一化思想自行设计正弦信号发生器,其数学模型为

$$f/f_s = x \tag{7}$$

$$B\sin(\omega t + \varphi) = B\sin(2\pi xN + \varphi) \tag{8}$$

式中 B ——信号幅值

ω ——信号角频率,rad/s

φ ——信号相位,一般取为0

由式(8)可知,令无量纲数 x 为一常量,正弦信号的输出值只随采样点数 N 变化。所以正弦信号的频率 f 变化时, f_s 的取值发生相应变化,从而达到测试频率变化时,信号的样本点数及信号周期不变的目的。正弦信号发生器的子VI程序框图如图5所示,将上述变量关系转化成逐点的正弦信号后,再将其转换到时域范围,便可输出理想的正弦波信号。

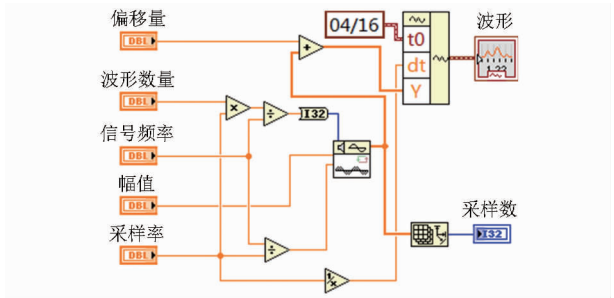


图 5 正弦信号发生器子 VI 程序框图
Fig. 5 Generator program of sinusoidal signal

3.2 数字滤波处理

实际采集到的离散信号会携带大量噪声信号,必须经过滤波处理后才能分析计算。根据单位冲激响应的宽度,数字滤波器可分为有限冲激响应滤波器(FIR)和无限冲激响应滤波器(IIR)两大类^[14]。

本试验采用无限冲击响应滤波器 IIR。无限冲击响应滤波器 IIR 可以用较低的阶数获得较高的选择性,在相同门级规模和相同时钟速度下可以提供更好的带外衰减特性。

设计 IIR 数字滤波器的方法主要有2种:利用模拟滤波器理论来设计;计算机辅助设计。常用的 IIR 模拟滤波器由巴特沃斯(Butterworth)滤波器、切比雪夫(Chebyshev)滤波器、椭圆(Ellipse)滤波器和贝塞尔(Bessel)滤波器等,这些滤波器都比较成熟。由于巴特沃斯滤波器的幅度响应在通带内具有最平坦的特性,并且在通带和阻带内幅度特性呈单调变化^[15],因此本测试选用这种滤波器。

3.3 信号分析与计算

根据经典控制理论,幅频特性计算公式为

$$L(f) = 20\lg \frac{B_2}{B_1} \tag{9}$$

式中 B_1 ——激励信号幅值

B_2 ——响应信号幅值

相频特性计算公式为

$$\varphi(f) = \varphi_2 - \varphi_1 \tag{10}$$

式中 φ_1 ——激励信号相位

φ_2 ——响应信号相位

由式(8)、(9)可以看出,频率特性的计算只需要把作动筒的位移信号转换成被测阀的阀芯位移信号,或把被测阀的激励信号转换为作动筒的位移信号。

作动筒的位移为

$$S = AC_d W x_v \sqrt{\frac{2\Delta p_t}{\rho}} \tag{11}$$

于是可得被测阀的阀芯位移为

$$x_v = \frac{\dot{S}}{AC_d W} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} \tag{12}$$

式中 S ——作动筒的位移

A ——作动筒的活塞面积

C_d ——流量系数 Δp ——阀口压差

W ——阀口面积梯度

ρ ——液压油密度

假设激励信号的表达式为

$$x_e = B_1 \sin(2\pi ft + \varphi_1) \tag{13}$$

响应信号的表达式为

$$s = -B_4 \cos(2\pi ft + \varphi_2) \tag{14}$$

则由式(11)、(13)可得被测阀的阀芯位移为

$$x_v = \frac{2\pi f B_4}{AC_d W} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} \sin(2\pi ft + \varphi_2) = B_2 \sin(2\pi ft + \varphi_2) \tag{15}$$

如前所述,由于采集到的作动筒位移信号是离散点集,且存在噪声,对位移信号取微分会大大增加信号的噪声,加大了后期处理难度,降低测试精准度。

因此,对上述激励信号和阀芯响应信号同时积分,可得

$$\int_0^t x_e dt = \int_0^t B_1 \sin(2\pi ft + \varphi_1) dt = -B_3 \cos(2\pi ft + \varphi_1) \tag{16}$$

$$\int_0^t x_v dt = -\frac{B_4}{AC_d W} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} \cos(2\pi ft + \varphi_2) \tag{17}$$

结合式(9)、式(16)及式(17),可得

$$L(f) = 20\lg \frac{B_2}{B_1} = 20\lg \left(\frac{B_4}{B_1 AC_d W} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} \right) = 20\lg \left(\frac{B_4}{B_3 AC_d W} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} \right) \tag{18}$$

令

$$K = \frac{1}{AC_d W} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}}$$

则式(18)转换为

$$L(f) = 20\lg \left(\frac{B_4}{B_3} K \right) \tag{19}$$

其中, B_3 、 B_4 是通过提取响应信号和积分后的激励信号的单频信息得到,而 K 为一常量。

在信号处理时,需将采集到的两路信号先经过 Butterworth 低通滤波器,滤掉干扰信号,然后对激励信号积分。由于每个频率下作动筒的响应可能会从不稳定趋向稳定的过程,所以应该截取两路信号的后几个周期研究,而且截取的长度必须相同,然后分别提取两路信号的幅值、相位、频率等信息,再进行相应计算。其中计算相频特性时应保证相位差在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间。最后,对频率特性曲线进行拟合显示。

4 试验结果分析

运用该方案分别对美国 MOOG 公司的 D761-2716A 型机械反馈伺服阀和 D661-1945E 型电液位移反馈伺服阀在系统压力 14 MPa 下,按照 GB/T 15623.1-2003 规定的步骤进行测试,所得频率特性曲线如图 6、7 所示。

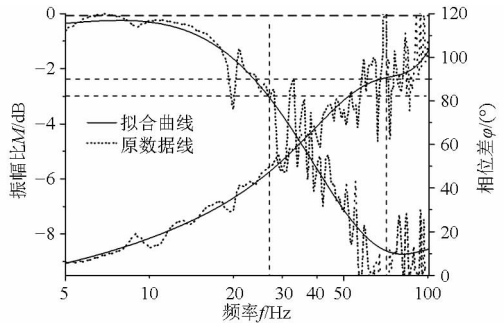


图 6 D761-2716A 伺服阀频率特性曲线

Fig. 6 Curves of frequency characteristic of D761-2716A

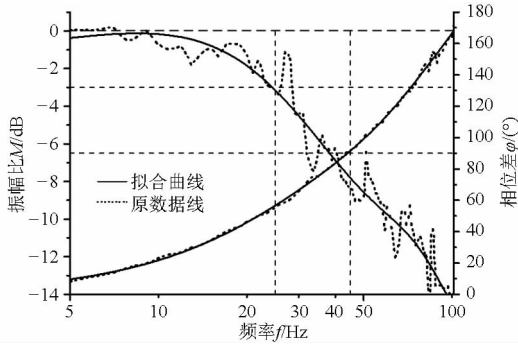


图 7 D661-1945E 伺服阀频率特性曲线

Fig. 7 Curves of frequency characteristic of D661-1945E

频宽是伺服阀响应速度的度量,是分析伺服系统动特性以及设计综合电液伺服系统的重要依据^[16]。由图 6 可以看出该机械反馈伺服阀的幅频宽为 27 Hz,相频宽为 72 Hz,而由该阀提供的技术参数中标明,在输入信号为 $\pm 100\%$ 额定电流的条

件下,其幅频宽为 30 Hz,相频宽为 75 Hz,测试结果较为准确;由图 7 可以看出该位移反馈伺服阀的幅频宽为 24 Hz,相频宽为 43 Hz,而由该阀提供的技术参数中标明,在输入信号为 $\pm 90\%$ 额定电流的条件下,其幅频宽为 25 Hz,相频宽为 40 Hz,测试结果较为准确。

5 结论

(1)提出了通过检测作动筒位移,反过来对扫描控制信号进行积分,然后进行频率响应特性分析,

得到伺服阀动态特性的测试方法。

(2)构建一套高频联合测控系统,分别利用 PLC 控制系统高精度低频控制的优点和 NI 系统高频采集、高速处理的优点,降低了测试原理带来的误差。

(3)在软件实现上通过定采样、变采样率发出信号可以实现对测试的精确控制,从而可以更好地利用虚拟仪器的高频、精准的优势,减少人为误差,提高测试数据的准确度。

参 考 文 献

- 鄂世举,杨志刚,程光明,等.压电型电液伺服阀控制参数优化[J].农业机械学报,2009,40(7):208-211.
E Shiju, Yang Zhigang, Cheng Guangming, et al. Optimizing control parameters for a piezoelectric hydroelectric servo-valve[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 208-211. (in Chinese)
- Shujiro Dohta, Tetsuya Akagi, Yusuke Masago, et al. Development of small-sized digital servo valve for wearable pneumatic actuator[J]. Procedia Engineering, 2012, 41: 97-104.
- Chen Changqi, Tang Hongjun, Qi Songsong, et al. An electro-hydraulic servo control system research for CFETR blanket RH[J]. Fusion Engineering and Design, 2014, 89(1): 2806-2813.
- 王庆丰,范文玲.基于互相关原理的伺服阀频率特性测试系统研究[J].中国机械工程,2008,19(13):1543-1546.
Wang Qingfeng, Fan Wenling. Research on frequency characteristic test of servo valves[J]. China Mechanical Engineering, 2008, 19(13): 1543-1546. (in Chinese)
- 汪首坤,汪军政,李金仓.基于位移测量的电液伺服阀动态测试方法[J].北京理工大学学报,2011,31(6):666-669.
Wang Shoukun, Wang Junzheng, Li Jincang. A new testing method for dynamic performance of servo valves based on displacement measurement[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2011, 31(6): 666-669. (in Chinese)
- 邓罗泉,王立国,郑铁军,等.一种节流流量传感器测量滞后的校正方法[J].传感器与微系统,2015,34(3):11-14.
Deng Luoquan, Wang Liguang, Zheng Tiejun, et al. A correction method of measurement hysteresis for throttle flow sensor[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2015, 34(3): 11-14. (in Chinese)
- Yao Jinyong, Li Yuan. The hardware design and application of CAT system for electro-hydraulic servo valve [C]//2011 IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2011, 1(2): 770-772.
- 田源道.电液伺服阀技术[M].北京:航空工业出版社,2008:13-15.
- 许益民.电液伺服阀频率特性测试系统误差分析[J].武汉科技大学学报:自然科学版,2005,28(4):346-348.
Xu Yimin. Error analysis for frequency characteristics test system of electro-hydraulic servo valve[J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2005, 28(4): 346-348. (in Chinese)
- 许益民.电液伺服阀动态相频特性 CAT 数据处理误差分析[J].机械工程学报,2005,41(1):46-49.
Xu Yimin. Analysis of the CAT data progress error for electro-hydraulic servo valve dynamic phase frequency characteristic[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 41(1): 46-49. (in Chinese)
- 陈无畏,刘翔宇,杨军,等.基于 LabVIEW 的车辆稳定性控制硬件在环系统[J].中国机械工程,2010,21(23):2882-2886.
Chen Wuwei, Liu Xiangyu, Yang Jun, et al. Hardware in the loop system of vehicle stability control based on LabVIEW[J]. China Mechanical Engineering, 2010, 21(23): 2882-2886. (in Chinese)
- José Marcos S A, Guilherme K C, Emília Villani. A proposal and verification of a software architecture based on LabVIEW for a multifunctional robotic end-effector[J]. Advances in Engineering Software, 2013, 55(1): 32-44.
- 郑玲,朱大洲,王成,等.基于 LabVIEW 的小麦生物量检测系统[J].农业机械学报,2013,44(9):214-218.
Zheng Ling, Zhu Dazhou, Wang Cheng, et al. Detection system for wheat biomass based on LabVIEW[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(9): 214-218. (in Chinese)
- 周耀辉,王芸波,朱维新,等.IIR 数字滤波器设计[J].电力自动化设备,2010,30(9):129-131.
Zhou Yaohui, Wang Yunbo, Zhu Weixin, et al. Design of IIR digital filter[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(9): 129-131. (in Chinese)
- Yao Jianjun, Fu Wei. Amplitude phase control for electro-hydraulic servo system based on normalized least-mean-square adaptive filtering algorithm [J]. Journal of Central South University of Technology, 2011, 1(3): 755-759.
- 李文宏,裴丽华,王占林.基于 VXI 总线的电液伺服阀动态特性测试系统[J].同济大学学报:自然科学版,2002,30(10):1267-1270.
Li Wenhong, Qiu Lihua, Wang Zhanlin. Dynamic state character test system of electro-hydraulic servo valve based on VXI bus [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2002, 30(10): 1267-1270. (in Chinese)