

智能型阀门电液执行器的动态特性分析

张艾萍,叶荣学

(东北电力学院 成教学院, 吉林 吉林 132012)

摘要:当前所用的阀门电液执行机构不仅存在卡涩、滞后等缺陷,而且液压伺服系统投资大、附属设备多、系统复杂。而智能阀门电液执行器从根本上解决了上述问题。通过对智能阀门电液执行器的理论分析,系统地阐述了智能阀门电液执行器的系统组成、工作原理及实现方法,在此基础上推导出系统每一环节的数学模型,进而得到系统数学模型。根据该系统模型,利用奈魁斯特判据分析了智能阀门电液执行器的动态稳定性。它的使用可以提高调节系统的安全性和可靠性。

关键词: 电液执行器; 动态特性; 智能型阀门; 动态稳定性

中图分类号: TP 271

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)03-0038-03

随着机电液一体化技术的发展,已开发出智能成套式电液执行器,该执行器没有外置附属设备,系统简单、运行可靠、操作方便。本文就针对该执行器的特性进行分析。

1 智能型阀门电液执行器组成

智能型阀门电液执行器综合了液动、控制、机电和计算机技术,由机电伺服控制系统和液压驱动系统两大部分组成。

1.1 机电伺服控制系统

机电伺服控制系统的原理框图如图 1 所示,该系统采用数字化闭环控制方式。其基本思想是:位置给定指令和位置反馈信号共同对步进电机进行控制,使其成为一较理想的数字式积分环节,在此基础上引入直接检测运动部件的测量环节,构成包含各种误差源和非线性环节的全闭环系统,并通过计算机控制器对系统的运行进行最少拍控制。这样,该系统不但可使运动部件的定位精度由检测环节的测量精度决定,而且可对各种干扰和非线性因素对运动部件产生的影响进行有效的动态校正,使任何时刻运动部件的实际位移量总是严格跟随指令值变化,从而保证运动部件的位移具有较高的动态精度。

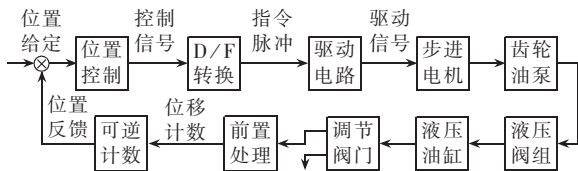


图 1 机电伺服控制系统原理框图

Fig.1 The principle diagram of electro-mechanical servo control system

1.2 液压驱动系统

液压驱动系统由双杆液压油缸、液压阀组、双向

内啮合齿轮油泵、高压电磁阀及弹簧等组成液压驱动回路,系统回路的原理框图如图 2 所示。

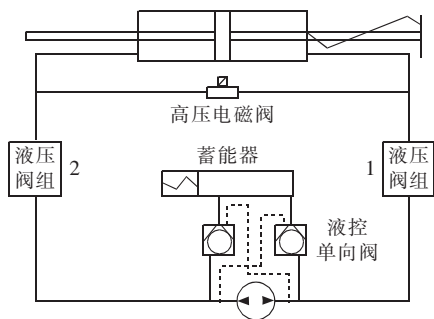


图 2 液压驱动回路原理图

Fig.2 The principle diagram of hydraulic driver

液压驱动回路采用双向定量内啮合式齿轮油泵,通过改变油泵输入转速和油流方向,控制液压缸的运动方向和速度,回路中压力的大小取决于负载的大小,因而没有过剩的压力和多余的流量,效率较高。回油背压可直接作用在油泵的吸入口上,变为推动油泵旋转的动力,减少原动机的功率消耗。当换向时由于运动惯性而产生的液压冲击,可以被回收变成推动油泵旋转的动力。由于依靠液压泵改变油流方向,因而换向冲击小,适合于功率大、换向频繁的液压系统。

2 智能型电液执行器动态特性分析

2.1 机电伺服控制系统动态特性分析

机电伺服控制系统的动态特性主要取决于位置控制器和步进电机的特性。步进电机是将脉冲信号转换成机械角位移的执行元件。步进电机转子的角位移大小及转速分别与输入电脉冲数及其频率成正比,并在时间上与输入脉冲同步^[1]。图3为闭环步进位置控制系统的动态结构图^[2](图中 $R(s)$ 为位置给定; $G_d(s)$ 为位置控制器传递函数; K_F 为D/F转换器的比例系数; K_a 为步进电机的步进角; $W_Y(s)$ 为

液压机构传递函数; $X(s)$ 为活塞位移),它包括位置控制器、被控对象和反馈通道等部分。

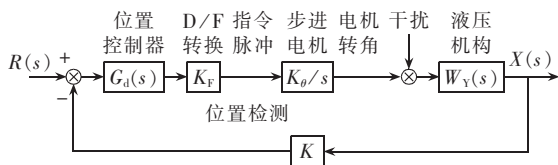


图 3 闭环步进位置控制系统的动态结构图

Fig.3 The structure of close-loop step-by-step position control system

2.1.1 位置控制器传递函数

根据电液转换器的位置控制特点和最小拍控制理论^[3]可得广义对象传递函数为

$$G_d(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \times \frac{K_F K_\theta K_P}{\frac{vC}{4E_Y A} s^2 + (A + \frac{K_T v}{E_Y A} + \frac{K_I C}{A}) s + \frac{K_T K_I}{A}} \quad (1)$$

式中 v 为活塞运动速度(m/s); A 为活塞面积(m²); K_T 为弹簧刚度; C 为粘性摩擦阻尼系数; E_Y 为液压油的有效体积弹性系数; K_I 为液压油缸泄漏系数; K_θ 为步进电机的步进角; K_F 为 D/F 转换器的比例系数; K_P 为齿轮泵的流量系数。

考虑到泄漏系数可以通过制造精度的提高而减少到不足以引起系统误差,因而可以忽略泄漏系数的影响,并对式(1)进行 Z 变换得:

$$G_d(z) = \frac{TKz^{-1}}{(1-z^{-1})(1-e^{-NT}z^{-1})} \quad (2)$$

式中 T 为位置检测采样周期; K 为对象增益, $K = K_F K_\theta K_P K_Y A / (vC)$; $N = (vC + A^2 E_Y) / (vC)$ 。

2.1.2 内啮合齿轮油泵流量计算及其传递函数

根据内啮合齿轮油泵的工作原理^[4],油泵流量为

$$Q = \frac{dv}{dt} = K_P \frac{d\phi_1}{dt} \quad (3)$$

式中 Q 为齿轮油泵的输入流量 (m³/s); $d\phi_1/dt$ 为齿轮单位时间内旋转的角度。

对式(3)进行拉氏变换,并以油泵流量为输出,以电机转角变化为输入,得:

$$W(s) = \frac{Q(s)}{\phi(s)} = K_P s \quad (4)$$

2.2 液压驱动回路动态特性分析

根据液流的连续性,考虑到液压缸的泄漏及液压油的压缩性,并且液压阀无流量调节功能,则回路的流量方程为

$$Q_p = \frac{vM}{4E_Y A} \frac{d^3 X}{dt^3} + (\frac{vC}{4E_Y A} + \frac{K_I M}{A}) \frac{d^2 X}{dt^2} + (A + \frac{K_T v}{4E_Y A} + \frac{K_I C}{A}) \frac{dX}{dt} + \frac{K_I K_T}{A} X + \frac{K_I F_L}{A} + \frac{v}{4E_Y A} \frac{dF_L}{dt} \quad (5)$$

式中 Q_p 为液压回路的油流量(m³/s); M 为活塞及运动部件的质量(kg); X 为活塞位移(m)。

对式(5)进行拉氏变换,并以流量为输入,以位移为输出,得:

$$W_Y(s) = \frac{X(s)}{Q(s)} = \frac{1 \times}{\frac{vM}{4E_Y A} s^3 + (\frac{vC}{4E_Y A} + \frac{K_I M}{A}) s^2 + (\frac{1}{A + \frac{K_T v}{4E_Y A} + \frac{K_I C}{A}}) s + \frac{K_I K_T}{A}} \quad (6)$$

2.3 智能阀门电液执行器动态稳定性分析

根据前面的理论分析和图 3 所示的系统结构,近似认为泄漏系数 $K_I=0$,可得系统开环传递函数为

$$W(s) = \frac{K_d}{\frac{vM}{4E_Y A} s^3 + \frac{vC}{4E_Y A} s^2 + (A + \frac{K_T v}{4E_Y A}) s} \quad (7)$$

式中 $K_d = K_\theta K_P K_F K$ 为系统增益。

当 $K_d = 280$ 时,根据式(7)作出的开环伯德图如图 4 所示。

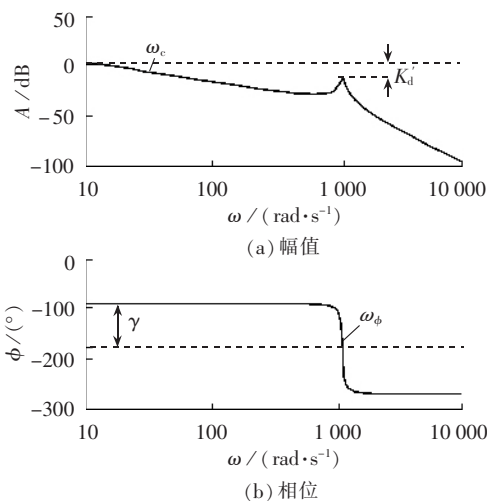


图 4 智能电液执行器控制系统开环伯德图

Fig.4 The Bode of open-loop intelligent electrohydraulic actuator control system

根据奈魁斯特判据,当开环传递函数在右半 S 平面没有极点时,闭环系统稳定的充分必要条件是在低于增益穿越频率 ω_c 的频率范围内开环相频特性不穿越 -180° 线((b)图中虚线),相位裕量 γ 不小于 $30^\circ \sim 60^\circ$,而增益裕量 $K_d' \geq 4$ dB。

由图 4 可知,相位裕量 γ 为 90° ,增益裕量 K_d' 为 11 dB,符合奈魁斯特判据,所以系统是稳定的。

3 结论

通过对智能阀门电液执行器动态特性的分析,可以得出如下主要结论:

- 智能阀门电液执行器系统稳定、系统响应速度快,并且减小系统增益、减少液压油缸的行程和增加阻尼均可增大系统稳定裕量;
- 当不考虑智能电液执行器的泄漏系数时,系统无稳态误差,因此,只要使智能阀门电液执行器的泄漏系数控制在微小值范围内,可以改善系统动态特性,减少稳态误差;
- 使用智能阀门电液执行器直接调节阀门,可

以节省投资,检修和维修费用少,且因其作用力大而无卡涩滞后等缺陷,使调节的安全性和可靠性得以大幅度提高。

参考文献:

- [1] 周 凯. 步进驱动系统模糊控制 [J]. 机械工程学报, 1994, 30(5): 105-108.
ZHOU Kai. Fuzzy controlling of step driving system[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 1994, 30(5): 105-108.
- [2] 李颖宏, 郭 栋. 基于 MSP430F149 单片机实现的步进电机通用控制器[J]. 微特电机, 2003, 31(2): 44-45.
LI Ying-hong, GUO Dong. The general step-motor controller based on the MSP430F149[J]. *Small & Special Electrical Machines*, 2003, 31(2): 44-45.

- [3] 官忠范. 液压传动系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [4] 臧利林, 贾 磊, 丁 新. 基于 GAL 器件的步进电机控制器的研究与设计[J]. 电子技术应用, 2004, 30(4): 28-30.
ZANG Li-lin, JIA Lei, DING Xin. Study and design of step-motor controller based on GAL[J]. *Application of Electronic Technique*, 2004, 30(4): 28-30.

(责任编辑: 柏英武)

作者简介:

张艾萍(1968-), 男, 内蒙古兴和人, 副教授, 硕士, 研究方向为发电设备状态监测、故障诊断技术及优化控制方法的研究 (E-mail: zap@mail.neiep.edu.cn);

叶荣学(1936-), 男, 辽宁海城人, 教授, 从事发电设备状态监测、故障诊断技术及优化控制方法的研究。

Dynamic characteristics analysis of intelligent electrohydraulic valve actuator

ZHANG Ai-ping, YE Rong-xue

(Northeast China Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China)

Abstract: Based on the theoretical analysis, the system structure, working mechanism and implementation of intelligent electrohydraulic valve actuator are systematically described. The mathematical models for different parts of the system are deduced, based on which the mathematical model of whole system is obtained. Its dynamic stability is analyzed by Nyquist criterion. Its application may improve the safety and reliability of the regulating system.

Key words: electro hydraulic actuator; dynamic characteristic; intelligent valve; dynamic stability