

文章编号:1672-6413(2015)02-0059-03

# 基于 AMESim/Simulink 的液压位置伺服系统仿真

麦云飞, 程奇

(上海理工大学机械工程学院, 上海 200093)

**摘要:** 针对液压位置伺服系统的不确定性、非线性和常规 PID 控制器的缺点, 设计了单神经元自适应 PID 控制器, 该方法可以显著减小液压位置伺服系统中由于元件参数变化等引起的超调和振荡。利用 AMESim 与 MATLAB 软件各自的优势, 分别进行了液压伺服系统建模和控制器设计。联合仿真结果表明, 单神经元自适应 PID 控制器比常规 PID 控制器使系统具有更好的鲁棒性, 同时使系统具有良好的环境适应性和较好的物理性能。

**关键词:** 位置伺服; 单神经元自适应 PID; AMESim; Simulink; 仿真

**中图分类号:** TP271+.31; TP391.9 **文献标识码:** A

## 0 引言

某 HPS 疲劳试验台的驱动供油单元主要由一个伺服直线缸提供动力, 该液压伺服系统主要包含有提供动力的电机和液压泵、保证系统压力的溢流阀、保证控制系统具有快速性和稳定性的高精度电液伺服阀、提高液压系统动态稳定性的高低压蓄能器, 以及滤油器、压力表和冷却装置等。在液压伺服系统中, 位置控制系统是最常见的, 由于液压位置控制系统具有高响应、高精度、高可靠性等优点, 因此在航空、军事、工业等各方面都得到广泛的应用。但由于液压伺服系统是非线性系统, 而且工作环境和液压元件的性能都随时间发生变化, 从而导致系统的参数发生改变。这些非线性和不确定性使系统的动态特性变得十分复杂, 因此很难建立起精确的数学模型<sup>[1]</sup>。为使液压伺服系统在实际应用中达到更好的控制性能, 所以越来越多的智能控制技术在电液伺服控制领域得到了广泛的应用<sup>[2]</sup>。其中单神经元自适应 PID 控制方法不仅具有自学习和自适应能力强的特点, 而且结构简单, 能适应环境变化, 有较强的鲁棒性, 已经成功地应用于其他工业场合解决了相似的控制问题<sup>[3]</sup>。本文采用单神经元自适应 PID 控制算法, 并与常规 PID 控制算法相对比, 利用 AMESim 和 Simulink 的联合仿真对该疲劳试验台的液压位置伺服系统进行仿真分析。

## 1 单神经元自适应 PID 控制器及其算法

单神经元自适应 PID 控制器结构框图如图 1 所示。

图 1 中,  $z(k)$  为性能指标, 转换器的输入为  $r(k)$  和  $y(k)$ , 其中  $r(k)$  为系统的输入量,  $y(k)$  为系统的输出量。转换器的输出为神经元学习控制所需要的状态

量  $X_1$ 、 $X_2$  和  $X_3$ , 所以增量式 PID 可以写成:

$$\Delta u(k) = W_1(k)X_1(k) + W_2(k)X_2(k) + W_3(k)X_3(k)$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) = u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 \bar{W}_i(k)X_i(k)$$

其中:  $u(k-1)$  为上时刻神经元输出量;  $\Delta u(k)$  为输出量增量;  $K$  为神经元比例系数,  $K > 0$ ;  $W_i(k)$  为  $X_i(k)$  的加权系数;  $\bar{W}_i(k)$  为  $W_i(k)$  的加权平均值<sup>[4]</sup>,  $\bar{W}_i(k) = \frac{W_i(k)}{\sum_{i=1}^3 |W_i(k)|}$ 。

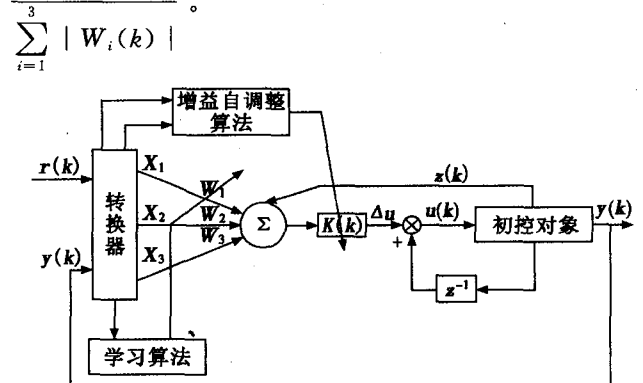


图 1 单神经元自适应 PID 控制器结构框图

对于单神经元自适应 PID 学习算有:

$$W_1(k+1) = W_1(k) + \eta_p z(k) u(k) X_1(k)$$

$$W_2(k+1) = W_2(k) + \eta_i z(k) u(k) X_2(k)$$

$$W_3(k+1) = W_3(k) + \eta_D z(k) u(k) X_3(k)$$

其中:  $\eta_p$ 、 $\eta_i$  和  $\eta_D$  分别为比例、积分和微分的学习速率。对积分 P、比例 I 和微分 D 分别采用了不同的学习速率, 以便对不同的权系数分别进行调整。K 值的选择非常重要, 它对系统的快速跟踪和抗干扰能力有较大的影响<sup>[5]</sup>。K 越大, 则快速性越好, 但超调量大,

收稿日期: 2014-05-30; 修订日期: 2014-12-30

作者简介: 麦云飞 (1962-), 男, 上海人, 副教授, 工学硕士, 主要从事机电一体化设备及计算机测控系统和液压伺服控制系统的研发。

甚至可能使系统不稳定;当被控对象时延增大时,K值必须减少,以保证系统稳定;K值选择过小,会使系统的快速性变差<sup>[6]</sup>。

### 2 系统建模及联合仿真结果分析

本文利用 AMESim 对 Simulink 的接口技术,把两个优秀的专业仿真工具联合起来使用,能既发挥 AMESim 突出的复杂系统的建模能力,又能借助 MATLAB/Simulink 强大的数值处理能力,从而取得更加完美的仿真效果<sup>[7-8]</sup>。

#### 2.1 联合仿真系统设计

在 AMESim 环境中建立系统模型,如图 2 所示。AMESim 系统模型中各元件的参数设置如表 1 所示。首先利用 AMESim 的 Interface 模块将液压伺服系统以非线性被控对象的形式输入到 MATLAB/Simulink 中,并以 S 函数形式表示,S 函数的调用语法可以与 AMESim 中的求解器进行交互<sup>[9]</sup>。再将 Simulink 中的控制算法模型连接到 AMESim 中的 Controller 内,修改文件名和设置系统参数,这样通过 MATLAB 中的 S 函数实现了 AMESim 和 MATLAB 的无缝衔接。单神经元自适应 PID 控制算法通过 S 函数和 Simulink 结合的方式实现<sup>[10]</sup>,并作为一个子模块参与联合仿真系统的构建。MATLAB 中单神经元自适应 PID 控制的仿真模型如图 3 所示,常规 PID 控制的仿真模型如图 4 所示。

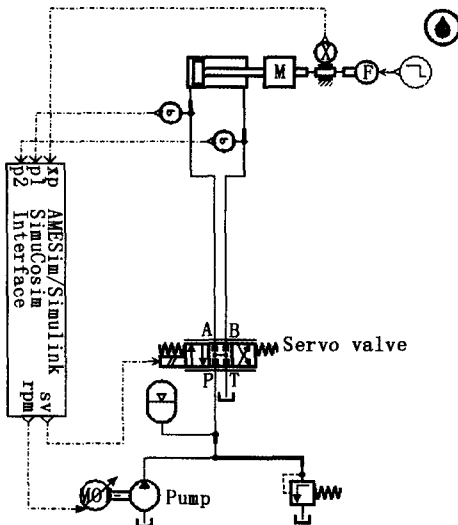


图 2 AMESim 液压位置伺服系统模型

表 1 AMESim 系统中各元件的参数设置

系统参数	数值	系统参数	数值
电动机转速 (r/min)	1 450	液压缸活塞直径 (mm)	50
液压泵排量 (mL/r)	60	液压缸活塞杆直径 (mm)	35
蓄能器充气压力 (Pa)	$8 \times 10^6$	液压缸活塞杆行程 (m)	1
蓄能器公称容积 (L)	10	位移传感器增益	10
伺服阀压降 (Pa)	$3 \times 10^5$	外负载力 (N)	2 000
伺服阀固有频率 (Hz)	80	流体指数	0.6
伺服阀阻尼比	0.6	液压油密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	850
液压缸活塞质量 (kg)	60	液压缸泄漏系数 ( $(\text{L} \cdot \text{Pa})/\text{min}$ )	0.1
溢流阀安全压力 (Pa)	$1 \times 10^7$	溢流阀溢流流量梯度 ( $(\text{L} \cdot \text{Pa})/\text{min}$ )	$3 \times 10^6$

#### 2.2 联合仿真结果分析

在图 3、图 4 中选取单位阶跃信号作为系统的设定输入,阶跃信号的阶跃时间设定为 1 s。AMESim 的采样时间设定为 0.01 s。单神经元自适应 PID 控制器中比例、积分和微分的学习速率分别设置为 6、0.3 和 0.8。常规 PID 控制的比例、积分和微分系数分别设置为 45、30 和 0.5。该系统分别经过单神经元自适应 PID 控制和常规 PID 控制之后,系统的阶跃响应曲线分别如图 5 和图 6 所示。在 AMESim 中可以得到液压缸两腔的压力特性曲线,如图 7、图 8、图 9 和图 10 所示。

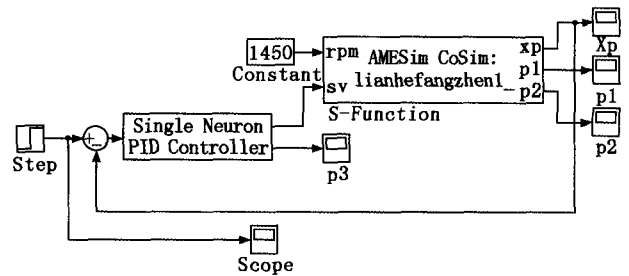


图 3 单神经元自适应 PID 控制仿真模型

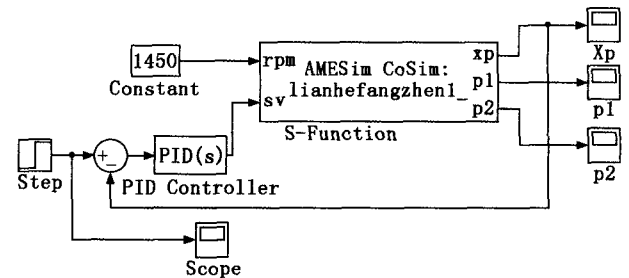


图 4 常规 PID 控制仿真模型

由图 5 和图 6 可见:采用单神经元自适应 PID 控制时,系统响应的超调量几乎为零,响应速度很快;而采用常规 PID 控制时,系统响应的超调量约为 10%,而且响应速度较慢,所以采用单神经元自适应 PID 控制时液压伺服系统能够更快速地响应系统的输入信号。通过比较图 7 与图 8、图 9 与图 10 可知,采用单神经元自适应 PID 控制时液压缸两腔压力变化的响应速度更快,而且两腔的压力值突变范围分别约为 2 MPa 和 4 MPa,而采用常规 PID 控制时压力变化的响应速度较慢,两腔的压力值突变范围分别约为 3 MPa 和 6 MPa。而压力值突变的现象会引起噪声和振动,使整个液压系统不能平稳地工作,压力的突然升高或者降低,还可能会产生超压或气蚀现象,因此采用单神经元自适应 PID 控制比常规 PID 控制具有更好的适应性和控制效果。

### 3 结论

本文利用两种建模仿真软件 AMESim/Simulink 联合仿真分析了某疲劳试验台的液压位置伺服系统,并对比研究了采用单神经元自适应 PID 控制器和常规 PID 控制器的控制效果。通过分析可以得到:AMESim/Simulink 联合仿真具有建模速度快、仿真计算速度快、算法设计灵活、仿真准确度较高等优点,适用于复杂机电液系统的仿真分析及优化设计;单神经元自适应 PID 控制器较传统的 PID 控制器具有响应快、准确性好、超调量小、环境适应性强等优点,而且能

够减小液压缸两腔压力的突变,这样能够保证液压伺服系统的运行性能可靠。

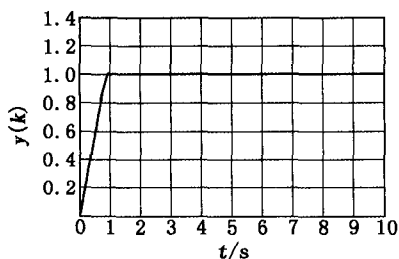


图5 单神经元自适应PID控制阶跃响应图

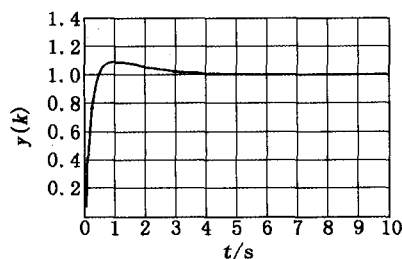


图6 常规PID控制阶跃响应图

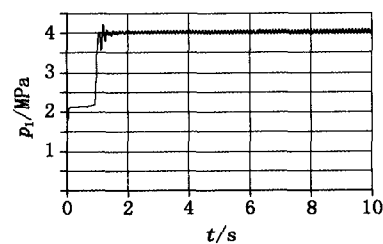


图7 单神经元自适应PID控制液压缸无杆腔压力  $p_1$

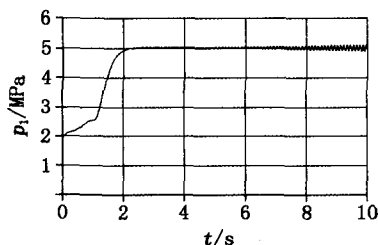


图8 常规PID控制液压缸无杆腔压力  $p_1$

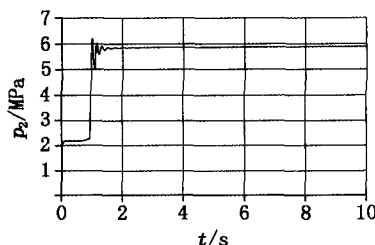


图9 单神经元自适应PID控制液压缸有杆腔压力  $p_2$

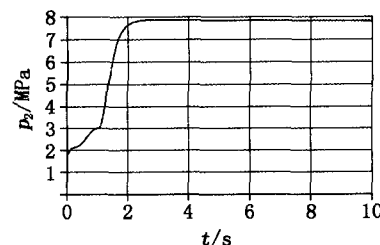


图10 常规PID控制液压缸有杆腔压力  $p_2$

#### 参考文献:

- [1] 吴振顺. 液压控制系统[M]. 北京:高等教育出版社,2008.
- [2] 邢宗义,张媛. 电液伺服系统的建模方法研究与应用[J]. 系统仿真学报,2009(3):1719-1725.
- [3] 朱玉斌,樊思齐,张秀华,等. 基于自调整神经元的航空发动机多变量自适应解耦控制[J]. 航空动力学报,2007,22(3):490-494.
- [4] 丁军,徐用懋. 单神经元自适应PID控制器及其应用[J]. 控制工程,2004,11(1):27-30.
- [5] Jose R, Noriega H W. A direct adaptive neural-network control for unknown nonlinear systems and Its application[J]. IEEE Transactions on Neural Network,1998,19(1):33-3.
- [6] 刘金琨. 先进PID控制MATLAB仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [7] 王纪森,胡峰波. 基于AMESim电液力伺服系统动态仿真研究[J]. 液压气动与密封,2011(12):11-13.
- [8] 田凡,靳宝全,程珩. 基于联合仿真的电液系统模糊PID控制研究[J]. 液压与气动,2010(6):27-31.
- [9] 王纪森,胡峰波. 电液位置伺服系统的模糊自整定PID控制研究[J]. 机电一体化,2011(10):32-35.
- [10] 薛定宇. 反馈控制系统设计与分析——MATLAB语言应用[M]. 北京:清华大学出版社,2000.

## Hydraulic Position Servo System Simulation Based on AMESim/Simulink

MAI Yun-fei, CHENG Qi

(School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** To the problems of uncertainty and nonlinearity in hydraulic position servo system and the shortcomings of conventional PID controller, a single neuron adaptive PID controller is designed, which can decrease the overshoot and oscillation coming from the components parameters' changes in the hydraulic position servo system. Based on the advantages of AMESim and MATLAB respectively, the model of the hydraulic servo system is set up and the controller is designed. The joint simulation results show that the single neuron adaptive PID controller makes the system being more robust than conventional PID controller, meanwhile, the system has better adaptability and physical properties.

**Key words:** position servo; single neuron adaptive PID; AMESim; Simulink; simulation

(上接第58页)

## Finite Element Analysis of Bottom Holder for Double Eccentric Pendulum Flying Shear

CAO Fu-lei<sup>1</sup>, LI Hao-lin<sup>1</sup>, XIONG Jian-xin<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Shanghai Baoling Metallurgical Equipment Engineering Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

**Abstract:** The 3D model of the bottom holder of a double eccentric pendulum flying shear is established with ANSYS Workbench, and the strength and stiffness of the bottom holder is analyzed on basis of the actual dimensions of the pendulum flying shear. The result coming from the finite element method is compared with the theoretical result. Through the finite element analysis, the weakness of the bottom holder is found out, and the structure of the bottom holder is improved to ensure the safety of bottom holder in the process of flying shear working.

**Key words:** pendulum flying shear; bottom holder; finite element analysis