

基于 DSP 的蒸汽发生器水位 模糊控制系统研究

彭 威, 张大发

(海军工程大学 船舶与动力学院, 湖北 武汉 430033)

摘要: 为克服传统的核动力蒸汽发生器水位 PID 控制器存在的缺点, 利用模糊推理技术和数字信号处理器 (DSP) 技术设计了基于 DSP 的核动力蒸汽发生器水位模糊控制系统。通过总结熟练操作人员的经验, 给出了模糊控制规则, 确定了一些重要的控制参数。考虑到控制的实时性, 系统的稳定性, 采用 DSP 设计了水位模糊控制系统。仿真实验表明, 该系统性能良好。

关键词: 蒸汽发生器; 水位; 模糊控制; 数字信号处理器

中图分类号: TL362 文献标志码: A 文章编号: 1000-6931 (2010) S0-0283-04

Fuzzy Control for Steam Generator Water Level Based on Digital Signal Processor

PENG Wei, ZHANG Da-fa

(College of Naval Architecture and Power, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: In order to overcome shortcomings of the traditional PID controller for nuclear steam generator water level, the paper designs a fuzzy control system for steam generator water level using fuzzy reasoning and digital signal processor (DSP) technology. By summing up the experience of skilled operators, it gave a set of fuzzy control rules, and determined some important control parameters. Considering the real-time control, and system stability, it also designed a fuzzy control system using DSP. Simulation results show that the system has good performance.

Key words: steam generator; water level; fuzzy control; digital signal processor

为保证压水堆的安全, 蒸汽发生器 (SG) 的运行水位必须控制在一定的范围内。在运行过程中, SG 存在的“虚假水位”现象使得水位难以控制^[1]。传统的 PID 控制方法在 SG 水位控制过程中存在着一些缺点^[2]。对 SG 这种高度复杂的系统而言, PID 控制器的参数整定繁琐且控制效果不理想。并且要在变工况运行情况下仍获得良好的控制效果, 往往需要改变

PID 控制器的参数。而模拟 PID 控制器的参数难以实现在线调节。模糊控制是建立在模糊推理基础上的一种非线性控制策略, 它通过模糊语言表达了熟练操纵员的操作经验以及常识推理规则, 不需知道被控对象精确的数学模型, 对过程参数的变化也不敏感, 具有很强的鲁棒性, 因此, 具有更快的响应和更小的超调, 能获得更好的控制效果。

常用的微机平台一般体积较大和可靠性不是很高,单片机虽体积小、简单,但运行速度不够快,难以执行高效但复杂的控制算法,而数字信号处理器(DSP)作为新一代先进的处理器,在体积、功耗、处理速度和可靠性等方面均有出色表现。因此,本工作利用 DSP 平台设计 SG 水位模糊控制系统。

1 水位模糊控制系统的设计

1.1 水位模糊控制系统结构

该系统用模糊控制器替代传统的水位 PID 控制器,其结构框图示于图 1。

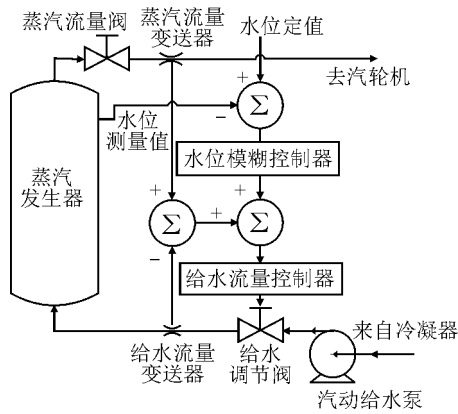


图 1 SG 水位模糊控制系统结构框图
Fig. 1 Block diagram of fuzzy control system for SG water level

将水位偏差 e 及其变化率 ec 作为水位模糊控制器的输入,其输出为阀门开度增量 Δu 。同时,将蒸汽流量前馈以克服“虚假水位”现象,将给水流量反馈以克服给水侧的波动。模糊控制的原理框图示于图 2。

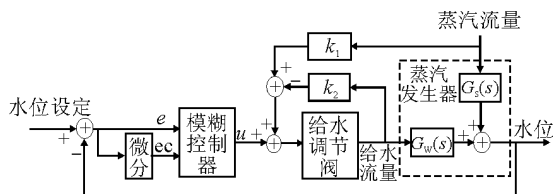


图 2 SG 水位模糊控制器结构
Fig. 2 Structure of fuzzy controller for SG water level

图 2 中, k_1 、 k_2 分别为给水流量和蒸汽流量变送器的转换系数。为保证给水流量能匹配

蒸汽流量, k_1 和 k_2 取值应相等^[3]。

1.2 模糊论域、模糊子集及隶属度函数

e 、 ec 及 Δu 的模糊论域均为 $[-6, 6]$, 均用 7 个模糊子集 NB (负大)、NM (负中)、NS (负小)、ZO (零)、PS (正小)、PM (正中) 及 PB (正大) 来描述。 e 、 ec 及 Δu 均采用三角形隶属函数, 如图 3 所示。

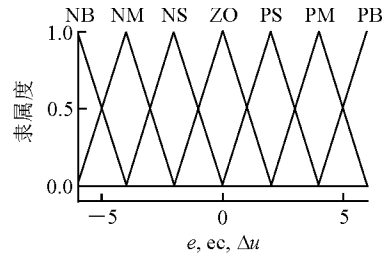


图 3 输入输出变量的隶属函数
Fig. 3 Input and output variable membership function

1.3 模糊控制规则表

模糊控制规则的建立原则为: 当误差较大时, 输出控制量应以尽快消除误差为主; 当误差较小时, 输出控制量应以防止超调为主。当 ec 为负时表明水位有上涨趋势, 如果此时水位为高, 则应减小给水阀开度; 反之, 应开大给水阀开度。通过全面分析专家经验, 建立规则表列于表 1。

表 1 模糊控制规则表

e	ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	ZO
NM	NB	NM	NM	NS	NS	ZO	PS
NS	NM	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NS	NS	ZO	PS	PS	PM
PS	NS	NS	ZO	PS	PS	PM	PM
PM	NS	ZO	PS	PS	PM	PM	PB
PB	ZO	PS	PS	PM	PM	PB	PB

1.4 推理过程与解模糊

采用 Mamdani 型模糊推理系统。该模糊推理系统的基本属性设为: “与” 运算采用极小

运算，“或”运算采用极大运算。模糊蕴涵采用极小运算，模糊规则综合采用极大运算，解模糊化采用中心法。

2 模糊控制系统的硬件设计

该系统硬件主要由中央处理器、信号测量、控制量输出、串口通信、键盘和液晶显示等大的单元组成，其余单元略。其硬件框图示于图 4。

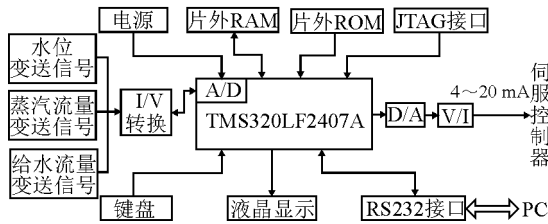


图 4 系统硬件框图

Fig. 4 Block diagram of system hardware

2.1 中央处理器单元

系统的核心部件是 TI 公司型号为 TMS320LF2407A 的超大规模 DSP 芯片^[4]。限于篇幅，电路图略。该单元使用了两片 IS61LV6416，分别为外部的数据和程序存储器。

2.2 信号测量单元

共需测量 3 路信号，即给水流量、蒸汽流量和实测水位信号。由变送器送来的均为标准的 4~20 mA 电流信号，而 TMS320LF2407A 芯片 A/D 转换模块只接受 0~3 V 之间的电压输入，因而设计了 I/V 转换电路，将 4~20 mA 电流信号转换成 0~3 V 电压信号，如图 5 所示。

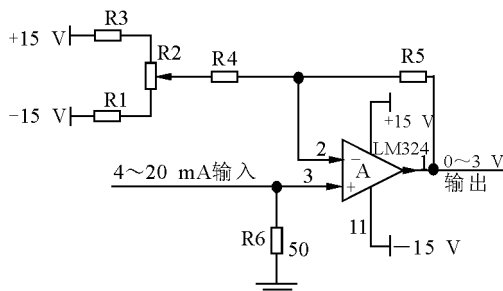


图 5 I/V 转换电路

Fig. 5 I/V converter circuit

2.3 控制量输出单元

由 DSP 计算出的控制量，通过外部数据总线送给 D/A 转换器 DAC7724，AD694 芯片将 DAC7724 输出的 0~5 V 电压转换为 4~20 mA 电流，该开度信号输入伺服控制器，伺服控制器驱动异步电机经减速后带动给水阀开闭，进而调节给水流量大小。AD587 为电源电压转换芯片。电路如图 6 所示。

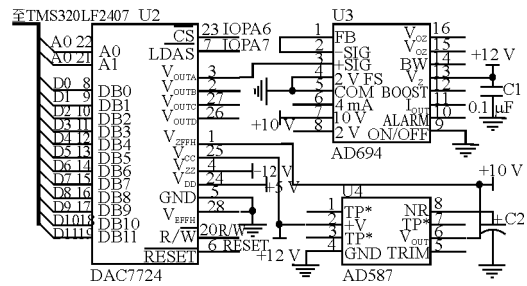


图 6 控制量输出电路

Fig. 6 Control output circuit

2.4 键盘和液晶显示

为了实现灵活对水位控制器、给水流量控制器和电动阀开度控制器的 PID 参数的赋值，设计了 4×4 的键盘。键盘采用中断查询方式实现。当有按键按下时，键盘向 DSP 外部中断口 XINT1 请求中断，在中断服务子程序里查询键值。

液晶显示器的作用有：1) 设置水位控制器 PID 参数初始值、给水流量控制器参数时配合小键盘，达到可视化效果；2) 显示水位、给水流量、蒸汽流量的波形；3) 显示时间、日历。本单元采用武汉博控科技有限公司出品的智能液晶 LCD_Tex-6448TFT-080。

3 系统的软件设计

系统软件包含主程序、定时器 T1 周期中断服务子程序、外中断 XINT1 中断服务子程序(键盘中断、参数设置)、串口通讯等 4 个大的模块，其余模块略。

3.1 主程序流程

主程序主要将各子模块组织起来成为 1 个有机的整体。在未中断时，主程序流程如图 7 所示。

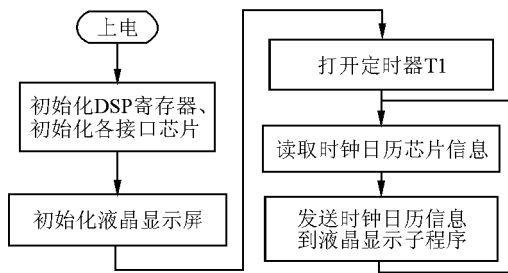


图7 主程序流程图

Fig. 7 Flowchart of main program

3.2 定时器 T1 周期中断服务子程序

进入中断后, DSP 通过 A/D 片内外设对实际水位、给水流量、蒸汽流量进行采样, 然后运行模糊推理算法, 计算出给水流量并输入到给水流量 PID 控制器子程序, 给水流量 PID 子程序计算出开度, 经 D/A 转换和 I/V 变换得到开度模拟值, 输给伺服电机, 改变给水阀开度。流程图如图 8 所示。

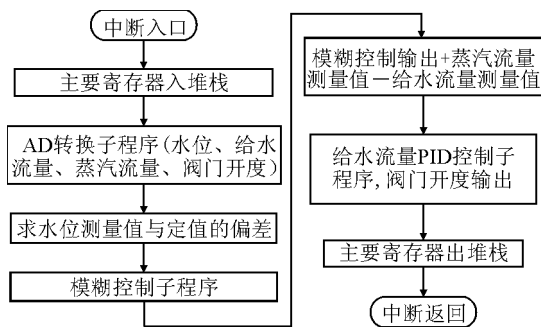


图8 定时器 T1 中断服务子程序流程

Fig. 8 Flowchart of routine program of timer T1 interrupt

4 仿真实验

用基于 DSP 的水位模糊控制系统应用于核动力装置模拟器, 替换原来的 PID 串级控制系统。模糊控制器 e 、 ec 的量化系数分别为 6 和 60, u 的比例系数为 0.5, 副调节器参数为 (4, 0, 0)。控制系统的 k_1 、 k_2 同取为 0.5。仿真步数为 2 000 步。考虑期望水位由初始的 0 m 阶跃到 10 m 的这个过程, 水位响应过程示

于图 9, 可见, 基于 DSP 的模糊控制器在响应速度、超调量方面均有良好表现。

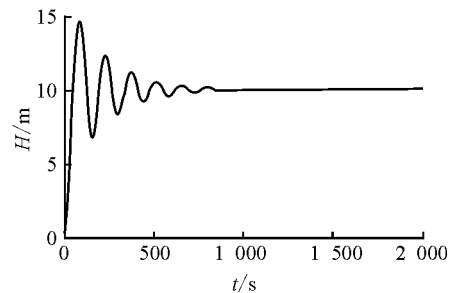


图9 SG 水位响应曲线

Fig. 9 Response curve of SG water level

5 结语

将模糊控制引入 SG 汽包水位控制当中, 来解决难以获得 SG 模型的问题, 并运用 DSP 高速运算的能力处理数据, 使水位控制与显示具有较好的实时性。仿真试验表明, 该控制系统运行稳定并具有较好的动态控制性能, 可为实际 SG 控制系统的设计及运行提供技术指导。

参考文献:

- [1] 彭威, 张大发, 周刚. 基于神经网络的 SG 过程辨识方法研究[J]. 核动力工程, 2006, 27(1): 43-45. PENG Wei, ZHANG Dafa, ZHOU Gang. Research of neural network identification method for nuclear steam generator water level[J]. Nuclear Power Engineering, 2006, 27(1): 43-46 (in Chinese).
- [2] 邱志强, 孙建华. 船用 SG 水位模糊控制器研究[J]. 舰船科学技术, 1998(6): 29-35. QIU Zhiqiang, SUN Jianhua. Research on water level fuzzy controller of marine steam generator[J]. Ship Science and Technology, 1998(6): 29-35(in Chinese).
- [3] 徐义亨. 复合量控制系统的工程设计[J]. 石油化工自动化, 1999(1): 11-35. XU Yiheng. The engineering for control system of composed variables[J]. Automation in Petrochemical Industry, 1999(1): 11-35(in Chinese).
- [4] 刘和平. TMS320LF240x DSP C 语言开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003: 45-46.