

文章编号:1671-6833(2003)03-0017-04

基于DSP 的轧机调速系统模糊神经控制

冯冬青, 李小雄

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 研究了基于 DSP 芯片 TMS 320LC2406A 的轧机调速模糊神经控制系统的设计, 以替代传统 PID 模拟控制系统, 其主要内容涉及模糊神经控制器的设计和硬件电路的构成, 并对该系统进行了计算机仿真实验. 从仿真结果可知: 该调速系统具有良好的控制性能, 并能达到很高的控制精度.

关键词: 模糊神经控制; 轧机调速系统; DSP 芯片; 仿真

中图分类号: TP 273.5 **文献标识码:** A

0 引言

在钢铁工业中, 现代化的轧机电动机应具有良好的起制动性能, 能在大范围内平滑调速, 以满足轧制钢材的工艺要求. 然而传统的轧机调速系统所采用的是由分立元件构成的复杂 PID 模拟控制系统. 模拟控制的电流调节器和转速调节器组成双闭环调节系统. 由于模拟元件对温度变化敏感, 有漂移、易老化、参数经常变化、可靠性低, 而且 PID 控制的参数整定值只能在某一范围内有较好的控制效果, 鲁棒性差, 因此应逐渐予以淘汰. 本文提出一种基于 DSP(Digital Signal Processor) 芯片的智能模糊神经控制, 以替代传统 PID 模拟控制, 提高轧机调速系统的控制性能.

1 控制系统的控制方案

轧机电动机控制系统采用主从式结构, 用 PC

机作为上位机, 进行实时监控, 以 TMS 320LC2406A DSP^[1] 芯片为核心构成轧机控制系统的下位机. 该芯片将 DSP 内核, AD 转换电路、时钟电路、看门狗电路、PWM 电路、采样保持电路, 串行接口电路等等集于一个芯片上, 其性能好, 运算速度快, 精度高, 价格便宜, 是自动控制系统实时控制的首选芯片. PC 上位机和 DSP 下位机采用串行通讯传输数据, 下位机根据命令对轧机电动机进行控制. 整个控制系统结构简单, 具有高可靠性和可扩展性.

系统控制框图^[2]如图 1 所示, 采用串级控制, 分为转速控制器和电流控制器. 为保持电流控制器的抗扰动能力强和快速性好的特点, 电流控制器采用 PI 算法. 电流控制器调节时, 根据当前电流的测量值与模糊控制器输出的差值按 PI 算法调节 PWM 斩波输出的参数, 并对电机的最大电流进行限幅.

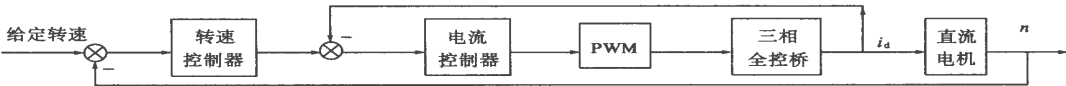


图 1 控制系统框图

Fig. 1 Control system diagram

由于转速控制器主要用于增强系统抗负载扰动的能力, 抑制速度波动, 是系统的主要控制环节, 为提高系统的动静态特性, 速度调节器采用模

糊控制, 其结构图如图 2 所示. 图中电流环包括电流控制器和 PWM 电路, 电机部分包括三相全控桥和直流电机.

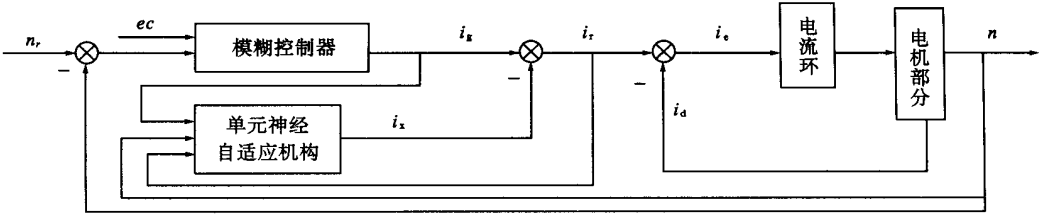


图 2 自适应模糊神经控制器的结构图

Fig. 2 Structure diagram of adaptive Fuzzy neural controller

2 自适应模糊神经控制器的设计

2.1 模糊控制器

该模糊控制器设计为二维模糊控制器,以速度反馈和给定转速的误差 e 及误差的变化率 ec 作为模糊控制器的输入变量,经模糊控制器进行模糊化后变成模糊量 E 和 EC ,经过模糊控制推理和模糊决策后,得到决策后的控制输出模糊量 U ,再经去模糊化处理,得到精确的输出量 $u(i_g)$,并将它和修正值 i_x 作为电流环的给定值 i_r ,进而促使电流环去控制被控对象.模糊控制系统框图^[3,4]如图3所示.

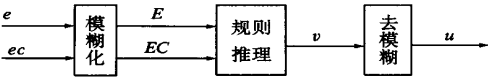


图 3 模糊控制器框图

Fig. 3 Fuzzy contrller diagram

实际应用中,实现模糊控制的常规方法为查表法,但一张较好的模糊控制表必须经过反复精心调整才能投入使用,量化因子和精确化因子的选择也影响整个系统的品质,这些因素致使简单的模糊控制器存在一些缺陷.笔者采用一种自带调整因子的模糊控制器,它根据误差的大小,对误差和误差变化率进行不同的加权处理,对于二维模糊控制系统,当误差较大时,控制系统的主要任务是消除误差,这时对在控制规则中误差的加权应取大一些;相反,当误差较小时,此时系统已接近稳态,控制系统的主要任务是使系统尽快稳定,为此必须减小超调,这就要求在控制规则中误差变化率起的作用大些,即对误差变化率加权取大一些.在本系统中,对误差及误差变化和控制量的模糊变量的论域定义为 $\{\pm 6, \pm 5, \pm 4, \pm 3, \pm 2, \pm 1, 0\}$.根据转速误差模糊量 E 的当前值采用不同的 α 值自调整如下:

$U = \text{INI}[0.89E + (1 - 0.89)EC], (E = \pm 6)$

$U = \text{INI}[0.74E + (1 - 0.74)EC], (E = \pm 5)$

$U = \text{INI}[0.55E + (1 - 0.55)EC], (E = \pm 4)$

$U = \text{INI}[0.43E + (1 - 0.43)EC], (E = \pm 3)$

$U = \text{INI}[0.36E + (1 - 0.36)EC], (E = \pm 2)$

$U = \text{INI}[0.22E + (1 - 0.22)EC], (E = \pm 1)$

$U = \text{INI}[0.12E + (1 - 0.12)EC], (E = 0)$

采用带调整因子的模糊控制器不需要建立模糊查询表,而是利用DSP强大的计算能力直接实时计算输出控制量,从而节省大量存储空间,同时也可以方便地实现对控制策略的调整.

2.2 自适应机构

2.2.1 自适应机构的结构

为进一步提高控制系统的性能,以满足不同受控对象的要求,特设计一个用于修正模糊控制器输出的自适应机构,由于自适应机构要在系统运行过程中不断对被控对象进行在线辨识,故自适应机构采用具有自学习功能的单元神经网络,以提高学习速度,其结构功能如图4.这个神经单元有2个输入量 x_1 和 x_2 ,一个输出量 o_s ,采用斜率为0.1的线性激发函数,此神经元的输入输出可描述为:

$o_s = f(x_1, x_2) = 0.1(w_1x_1 + w_2x_2) \quad (1)$

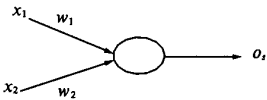


图 4 自适应机构的单神经元

Fig. 4 One nerve cell of adaptive structure

2.2.2 自适应机构的学习算法

作为自适应机构的单神经元需要在系统运行过程中不断在线学习,学习算法选用有监督的Hebb学习算法,简略表述为

$\Delta w_{ij}(k) = \eta [d_j(k) - o_j(k)] o_i(k) o_j(k) \quad (2)$

式中: w_{ij} 神经元 i 与 j 之间的连接权重; o_j 和 o_i 为神经元 j, i 的输出; d_j 为神经元的理想输出,即教师信号; η 为学习因子.对于一个2个输入,1个输出的单元神经元,算法表示为

$$o_s=0.1(x_1+x_2) \tag{3}$$

$$\Delta w_i=(d_j-o_s)x_jo_s \tag{4}$$

$$w_1=w_1+\Delta w_1 \tag{5}$$

$$w_2=w_2+\Delta w_2 \tag{6}$$

单神经元的工作过程之一是辨识对象过程,在辨识过程时,以 $x_1=i_r(k-1)$, $x_2=n(k-1)$, $d=n(k)$ 为训练样本,采用上述有监督Hebb的学习法则进行动态学习,调整权重使单神经元能够反映此时被控对象的输入输出特性(即数学模型)。

2.2.3 自适应机构修正过程的算法

自适应机构在辨识过程以后,进入修正过程阶段.修正过程又分为预测阶段误差反传阶段.预测阶段中,单神经元处于正向计算状态,此时,单神经元的输入量为常规模糊神经控制器的修正量 $i_g(k)$ 和转速 $n(k)$,代入下列表达式:

$$n(k+1)=0.1[w_1i_g(k)+w_2n(k)] \tag{7}$$

就可得到单神经元的输出,即转速的预测值.

在误差反传阶段中,将根据预测转速 $n(k+1)$ 与转速给定值 n_r 之间的预测误差,确定对常规模糊控制器输出量的修正量,表达式为

$$i_x=0.1[n(k+1)-n_r]w \tag{8}$$

自适应模糊神经控制器的最终输出为常规模糊控制器的输出量与自适应机构的修正量之差:

$$i_x(k)=i_g(k)-i_x \tag{9}$$

可以看出,神经网络自适应机构是以修正模糊控制器输出量的形式来调整控制规则的。

3 控制系统硬件设计

3.1 功率主回路硬件设计

功率驱动电路为三相全控桥,采用可关断晶闸管GTO作为功率变换器件,全控桥的前置驱动器采用IR213S,从TMS320LC2406A芯片来的PWM输出信号直接输出到前置驱动器IR213S的输入端,IR213S的输出通过一个电阻与功率GTO管的控制极相连,实现对全控桥的控制。

3.2 电流和转速检测回路硬件设计

采用电流传感器KT100A/P KJZ检测直流电流 i_d ,当检测到电流值超过设定的限幅值时,DSP则立即产生中断处理,马上封锁输出给GTO的PWM信号,并发出声光报警控制信号。

本系统采用测速发电机测量电动机转速,把转速信号转换成电压信号并经分压电阻送给DSP的ADC转换输入端.本系统的硬件结构示意图如图5所示。

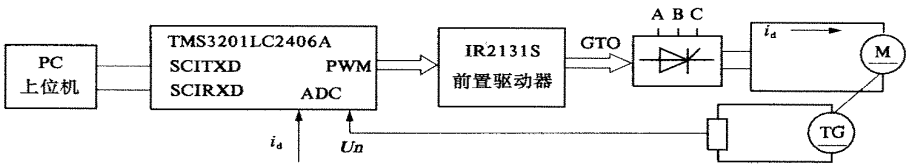


图5 DSP 控制器硬件结构示意图

Fig .5 Hardware sketch map of DSP controller

4 控制系统软件设计

串行通讯协议:上位机负责监控,如设置数据,发送当前运行状态等,下位机对上位机的命令进行响应;进行数据的传输,为了简单起见,采用定长帧的通信协议。

软件结构:本系统软件采用功能模块设计方法,软件由系统主程序、中断服务子程序及其它相关的子程序组成.主程序主要完成芯片的初始化,变量的初始化等.中断程序主要包括串行口中断、捕获中断、ADC转换结束中断等几个部分。

在串行口中断中,主要完成与主机信息的传输,根据制定的串行通信协议,按照主机的命令进

行各种动作.捕获中断主要用于得到当前电机的速度,并调整PWM输出的相序.在ADC中断中,通过ADC转换的数值经过计算得到当前负载电流值,进行电流环调节,每经过一定次数电流环调节,就进行一次速度环调节,以保证系统按照要求进行控制。

5 系统抗干扰措施

轧机调速系统长期工作运行于环境恶劣的工业现场,并且主电路功率开关器件工作于大电流的高频通断状态,由此亦将产生高频电磁辐射,因而抗干扰措施是必不可少的.本系统从硬件和软件两方面设置了抗干扰措施。

主电路中,三相电路后端设置有滤波电路,以消除或减弱来自外部的噪声干扰及电路本身的干扰.

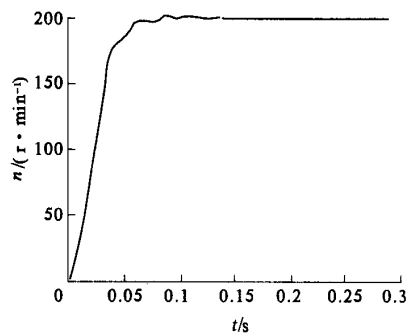


图 6 空载启动转速变化曲线

Fig. 6 Speed curve when no load starting

在控制电路中,着重采取如下抗干扰措施:①在电源输入端加设电源滤波器,电源变压器采用屏蔽变压器.②在输入输出全部采用高速光电耦合器件来隔离外围电路与 DSP 数字电路之间的电联系,而所用的传输导线均采用双绞线.③设计电路时,在元器件的布置上将数字电路与模拟电路元件尽量隔开距离,并且将接地线构成闭合回路.各集成芯片的电源的正负极之间配置 0.01 μ F 的去耦电容.另外 DSP 片内监视定时器能实现软件抗干扰.

6 仿真实验

为检验本系统的控制性能,对直流电机(额定数据:380 V, 37 A, 200 r/min)进行了空载启动和突加负载的仿真实验,得出电流和转速的变化曲线如图 6 和图 7 所示.

从仿真曲线可以看出:系统在空载启动时有较好的上升特性,且超调小,过渡时间短.突加负载时,转速波动小,平稳性好,调节时间很短,具有较好的控制性能.

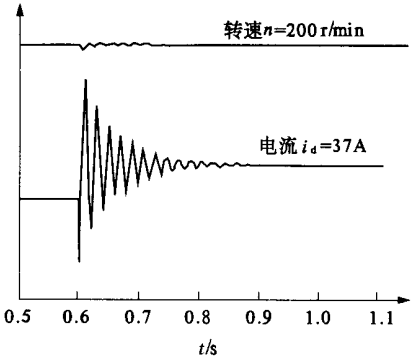


图 7 突加负载时电流、转速变化曲线

Fig. 7 Speed and current curve when loaden suddenly

7 结束语

实验结果表明,轧机调速系统采用了本文提出的基于高性能高精度的 DSP 芯片的自适应模糊神经控制算法,能达到很高的控制精度,并具有较好的动静态特性,而且在负载发生变化的情况下,控制器仍然能保持较好的控制效果,使系统具有自适应能力.同时,系统采用主从式结构具有扩展能力,可以用一台上位机管理多台下位机.串行通讯使用 19 200 B/s,数据传输快,能具有较好的实时性.如果需要进行更为复杂的控制,只需要对通讯协议进行修改并升级控制器软件即可.

参考文献:

[1] 宁改娣. DSP 控制器原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
[2] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
[3] 冯冬青. 模糊智能控制[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
[4] 易继锴. 智能控制技术[M]. 北京: 北京工业出版社, 1999.
[5] 向 兵, 丁天增, 冯冬青. 无超调无静差系统的最优控制[J]. 郑州大学学报(工学版), 2002, 23(3): 78~80.

Fuzzy Neural Control Based on DSP Chip for Roller Speed Regulation Systems

FENG Dong - qing , LI Xiao - xiong

(College of Electrical Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002, China)

Abstract : This paper presents the design of roller speed regulation system controlled by Fuzzy neural controller based on DSP chip in order to replace the traditional analog PID control . This article mainly introduces the design of fuzzy neural controller and the hardware circuit . This system is simulated , and the simulation results prove that this speed regulation system not only has better control performance , but also can gain higher control precision .

Key words : fuzzy neural controller ; roller speed regulation ; DSP chip ; simulation