

基于DSP自适应模糊控制的直流电源研究

吴延华, 邱 丽

(黑龙江科技学院 电气与信息工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150027)

摘要: 针对传统采用模拟控制或与数字控制相结合的直流电源所存在的“不仅所用元器件比较多,而且硬件电路一旦设计完成,控制策略就随之不能改变,因而控制策略不够灵活”的问题,提出了一种基于自适应神经网络模糊控制理论的PID控制移相方法,并将该方法应用到移相式PWM直流电源中,直流电源主要采用DC/DC变换器来实现;建立了基于该控制策略的直流电源实验仿真模型。验证了该控制方法的合理性。研究结果表明:该方法能够弥补传统传动控制方法的不足,且具有超调量小、稳态精度高的优点,能够有效地解决复杂控制问题,可以动态地适应外界环境的变化,并且能够实现开关管的软开关环境,从而为直流电源提供稳定、可靠的工作环境,且适用于直流电源进一步高频化、智能化、模块化和小型化的发展趋势。

关键词: 软开关; 数字信号处理器; 直流电源; 比例-积分-微分移相控制; 自适应神经模糊控制

中图分类号: TP2; TM91 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)12-1467-04

Design of DC power based on DSP self-adaptive fuzzy control

WU Yan-hua, QIU Li

(College of Information and Electrical Engineering, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China)

Abstract: The conventional DC power controlled by analog and combination digital needs more hardware, and when the hardware design is once completed, the tactic would not be changed, so the ploy is not flexible enough. In order to solve the problem, the phased-shifted PID control method was put forward based on adaptive neuro-fuzzy theory, and the strategy was applied to the phased-shifted PWM DC power. The power was mostly composed of uncontrollable rectifier converter, booster and DC/DC converter. At last, the simulation models were constructed to verify the plan. The results indicate that it can availably compensate for the lack of conventional control with little overshoot and very accurate steady-state, and effectively settle complicated control. It has excellent dynamic adaptability in various environments and has made the soft-switching for the switch. So it can provide stability and security for the power, which meets the actual needs of progress on the characteristic of high frequency, intelligence, modularity, and downsizing.

Key words: soft switch; digital signal processor(DSP); DC power; proportion-integral-derivative(PID)control; adaptive neuro-fuzzy control

0 引 言

当前,随着工业领域生产规模化发展,具有很多优越性的电气电子产品的应用越来越普遍,使得高频电源直流电源获得越来越广泛的应用。但传统的直流电源多采用模拟控制或与数字控制相结合,其缺点是:控制电路的元器件比较多,不够灵活,硬件电路一旦设计完成,控制策略就随之不能改变。

模糊控制不要求被控对象的模型精确且适应性强,但稳态精度较差、欠细腻,因此,为克服人的主观

性和被控过程时变性、非线性及随机干扰的影响,并为进一步提高模糊控制精度,本研究将自适应神经网络模糊控制理论引入直流电源的控制中,以新的模糊控制规则解决传统控制存在的问题^[1-2]。

1 直流电源的结构原理

直流电源主要由绝缘栅双极型晶体管(IGBT)逆变器、变压器和LC滤波器组成,其电路结构原理图如图1所示^[3]。

收稿日期: 2012-07-11

作者简介: 吴延华(1953-),男,上海人,教授,硕士生导师,主要从事电力电子、自动化控制方面的研究. E-mail: wuyanhua108@163.com

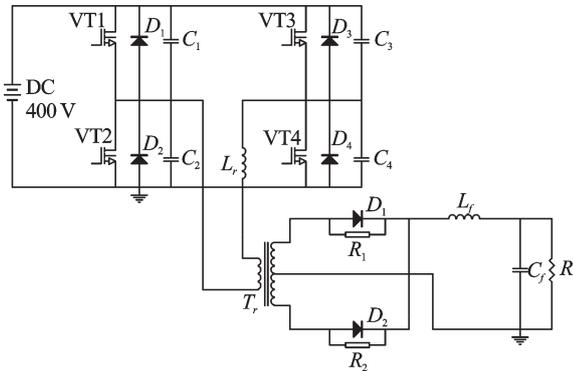


图1 直流电源电路的结构原理图

其中,功率开关VT1、VT2分别超前于VT4、VT3,则VT1和VT2为超前桥臂,VT3和VT4为滞后桥臂。 L_r 为变压器的漏感, C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为缓冲电容(含IGBT的寄生电容)。因电感当通过直流电时电感值为零,采用 R 等效为负载。

400 V的直流电源再经由IGBT构成的H型逆变器得到高频交流逆变电压,再经变压整流得到所需的直流电压。由于所得直流电压是脉动的,研究者需通过L型滤波器使负载得到稳定的直流电压。

2 基于神经模糊控制器移相式PWM控制策略的实现

2.1 模糊控制器的设计

本研究对IGBT栅极的控制信号进行自适应神经模糊控制:当电压的测量值低于给定值的-10%时,减小DC/DC电路上移相的大小,即通过减少它们之间相对的死区时间来使得电压上升;当电压的测量值超过给定值的+10%时,增加DC/DC电路上移相的大小,即通过增加它们之间相对的死区时间使电压降低。

本研究所用的模糊控制器结构如图2所示。将给定直流电压与反馈电压的差值作为电压误差 e ,以及

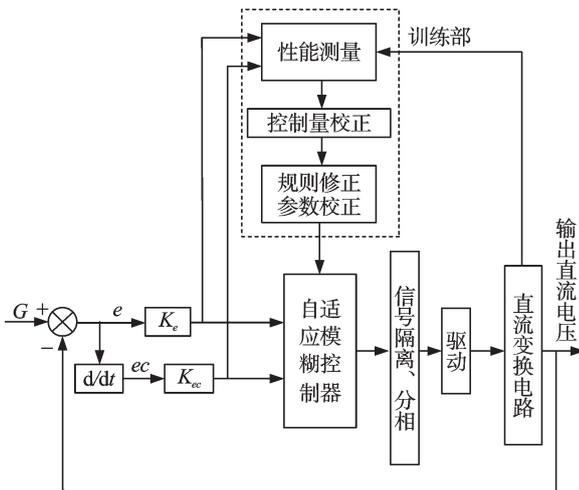


图2 二维自适应模糊控制器结构

误差 e 的变化率 ec 经过模糊化后作为模糊控制器的两个输入^[4-5]。由于本研究采用T-S型的模糊控制器,其控制器输出时,不需要再经过反模糊化过程,直接用增量形式输出,该输出的信号被隔离、分离和驱动后,便得到直流变换电路中的移相式PWM控制信号。

在图2中,基于1阶T-S型的模糊控制模型所用到的模糊规则形式为^[6]:

$$\text{If } e \text{ is } A_i \text{ and } ec \text{ is } B_i \text{ then } \Delta y = p_i e + q_i ec + k_i$$

式中: p_i 、 q_i 、 k_i —与 A_i 和 B_i 有关的常数, $A_i = \{\text{负大、负中、负小、零、正小、正中、正大}\} (i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$, $B_i = \{\text{负大、负中、负小、零、正小、正中、正大}\} (i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$ 。

其中,本研究所取的自适应模糊控制规则是应用神经网络的学习功能来建立参数 K_p 、 K_i 、 K_d 与偏差 e 、偏差变化率 ec 间的二元连续函数,从而即可得出三角形隶属函数及模糊规则^[7]。

2.2 自适应神经模糊控制器的推理过程

本研究输入两组训练数据和两组校验(样本/期望)数据:电压偏差 e 、电压偏差变化率 ec 。然后,根据模糊推理系统的初始值(隶属函数的类型选取三角形函数、训练次数50和训练误差 10^{-12})^[8],利用组织分类法发现隶属函数的中心、宽度,利用监督学习发现模糊逻辑规则,再对模糊规则进行修正,最后用BP反向传播算法和最小二乘法找到最优控制的 K_p 、 K_i 和 K_d 控制规则,从而得出移相 $\Delta y(t)$ 的大小和方向。

本研究采用增量形式 $\Delta y(t)$ 作为输出的神经模糊控制器,能使执行机构在原有位置上增加或减少相应于 $\Delta y(t)$ 的动作量,因而若由于某种故障原因使 $\Delta y(t)$ 为零,则执行机构仍可保持原有的动作位置,对控制系统不会造成很大的影响。 $\Delta y(t)$ 经过积分器后,便可用于控制DC/DC电路里的IGBT的移相的大小。当 $\Delta y(t) > 0$ 时,表示移相增加,即移相时间再在原来基础上往后移;当 $\Delta y(t) < 0$ 时,表示移相减少,即移相时间再在原来基础上往前移;当 $\Delta y(t) = 0$ 时,移相时间仍在原来位置上。

3 基于DSP的直流电源控制系统总体结构

直流电源的控制系统的总体结构框图如图3所示^[9-11]。本研究用DSP TMS320LF2407控制对DC/DC变换电路里的移相式PWM控制信号以实现自适应神经模糊控制,最终得到负载所需要的可靠的稳定直流电源(电压和电流)。

最后得到的输出直流电压依次经霍尔传感器和

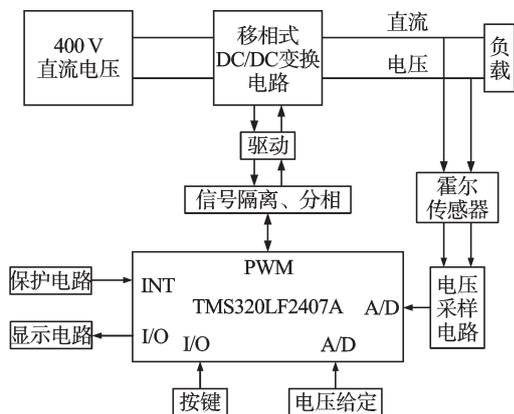


图3 直流电源的控制系统的总体结构框图

电压采样电路送入DSP的A/D做模数转换处理后,即可输出DC/DC变换电路的移相式PWM控制信号,输出直流电压经反馈回路与DC/DC变换电路构成一个电压闭环系统。为保护下级控制电路和DC/DC电路不被短路,本研究在分别进行信号隔离和分相后经过驱动电路的放大再控制DC/DC变换电路的PWM。当发生故障时,保护电路发出控制信号送到DSP的INT, DSP由此进行故障处理,如封锁信号或报警等。

4 直流电源的仿真

为了验证控制方法的有效性,本研究利用 Matlab/

Simulink 仿真软件建立了基于自适应神经模糊控制的移相式的DC/DC^[12-13]仿真模型。

在DC/DC输出50V/130A下的仿真实验波形如图4~8所示。图4显示的是4个开关管的驱动波形(粗线表示)及其电压(细线表示)、电流(虚线表示)的波形,其中, u_{g1} 、 u_{g2} 为超前臂的驱动控制信号, u_{g3} 、 u_{g4} 为滞后臂的驱动控制信号。从波形中可看出,当驱动信号开始由负方向变为正方向时,开关管的电压早已经变为零,而开关管的电流是从驱动信号变为正方向以后,才开始从零上升;当驱动信号变为负方向,电压从零上升,电流已变成零,并且同时满足 $u_i = 0$ 。因而可以实现开关管零损耗和软开关的工作环境。

变压器原边电流的波形图如图5所示,由于变压器漏感的存在阻碍电流的变化,从而没有传统开关电路所出现的开通电流。

副边整流后的电压波形如图6所示,从图6中可以看出,副边电压有少许振荡,是由于变压器副边的漏感、输出整流管的反向恢复的存在。

在0.001s加入输入突变扰动的仿真图形分别如图7、图8所示:常规PID控制直流电源输出电压(粗线表示)和电流波形(细线表示)、自适应神经模糊控制直流电源输出电压(粗线表示)和电流波形(细线表

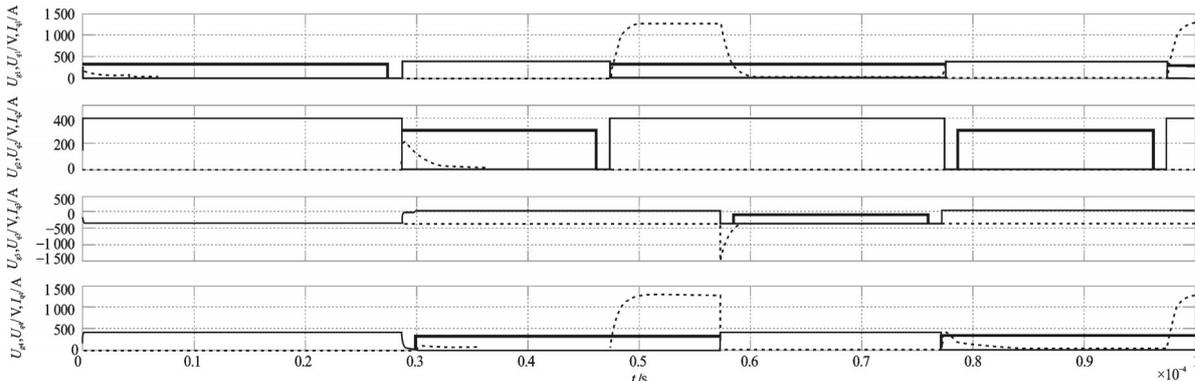


图4 开关管的驱动波形及其集电极电流、集射极电压的波形

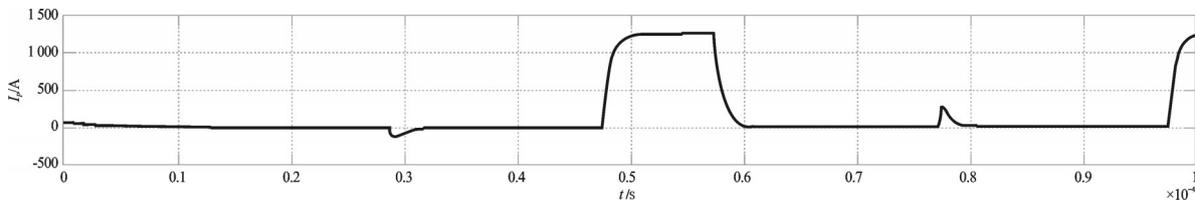


图5 变压器原边电流

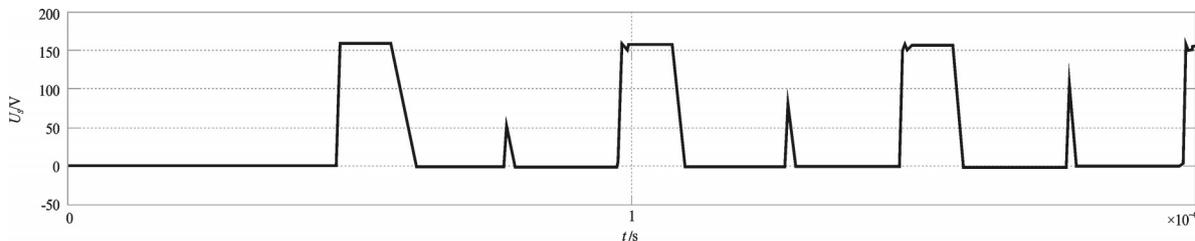


图6 副边整流后的电压波形

示)。从图中看出,经过神经网络训练的自适应模糊控制的响应曲线与常规PID控制的响应曲线相比,其超调量小、过渡时间短、动态响应过程快、稳态误差小,系统较稳定且鲁棒性好。

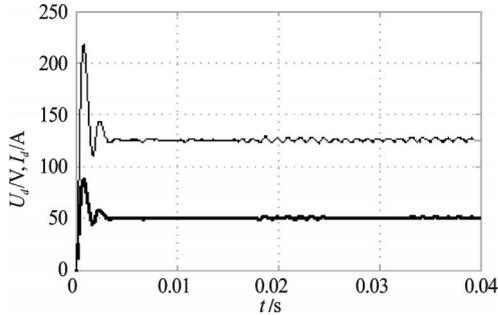


图7 常规PID控制直流电源输出电压和电流波形

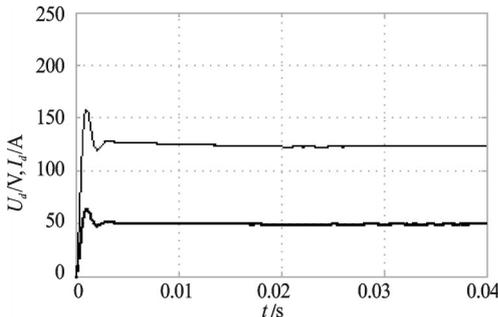


图8 自适应神经模糊控制直流电源输出电压和电流波形

5 结束语

本研究通过DSP TMS320LF2407实现神经网络算法,得出采用神经网络来调整模糊控制规则的方法,并将该控制规则应用于直流电源中。

实验仿真结果表明,利用该方法已可以取得良好的控制效果:既可以有效地解决常规控制方法普遍存

在的自适应能力不强和抗干扰能力差等问题,又可以动态地适应外界环境的变化,从而更有利于满足直流电源实际工作的需要。

参考文献(References):

- [1] 沈 盼. 移相全桥 ZVZCS 式船用充电电源的研究[D]. 武汉:湖北工业大学电气工程学院,2010.
- [2] 张松兰. 自适应模糊控制器设计[J]. 自动化技术与应用, 2009, 28(2):12-14.
- [3] 刘文军, 罗玉峰. 开关电源模糊控制 PID 的设计和 MATLAB 仿真研究[J]. 微型计算机, 2006, 3(28):36-72.
- [4] 张军涛. 数字电流滞环控制的 Boost DC-DC 变换器[D]. 西安:西安科技大学通信与信息工程学院,2011:26-30.
- [5] 李 恒, 韩向锋. 基于 Matlab 的模糊 PID 双闭环直流调速系统的仿真[J]. 煤矿现代化, 2009(1):72-73.
- [6] 张德丰. Matlab 模糊系统设计[M]. 北京:国防工业出版社,2009
- [7] KOVACIC Z, BOGDAN S. 模糊控制器设计理论与应用 [M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [8] 全钟华. 智能建模、仿真与控制平台[D]. 合肥:中国科学技术大学自动化系,2002.
- [9] 崔雅嵩. 浅谈电力变换技术的几种方式[J]. 吉林工程技术师范学院学报, 2011, 27(7):49-50.
- [10] 张 立, 祝龙记, 李 莉. 基于 DSP 的连续可调高压直流电源的研究[J]. 煤矿现代化, 2008(2):43-44.
- [11] 谢聪乾. 变电站直流电源运行车维护探讨[J]. 机电工程技术, 2011, 40(4):27-29.
- [12] 曹 勇, 王 飞. 基于 UC3848 的降压程控 DC/DC 电源设计[C]//中国高校通信类院系学术讨论会. 南宁:[出版者不详], 2009.
- [13] 任大为, 胡建人. 准谐振开关电源工作频率的研究[J]. 机电工程, 2011, 28(6):765-768.

[编辑:李 辉]

(上接第 1463 页)

- [2] LEKSONO E. Cooperative Control of Multi-manipulator based on Workspace Disturbance Observer considering the Interaction with External Force Environments [C]. Proc. of the IEEE Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics. Tokyo:[s.n.], 1997.
- [3] MA Hang, YANG Song, LI Ying-shun, et al. Segmented Compensation using Compound Iterative Learning Control on 2D System for Linear Motor [C]. Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Qingdao[s.n.], 2010.
- [4] 史伟民, 杨亮亮, 陶 维, 等. 基于脉冲整形滤波的轨迹涂胶残余振动抑制研究[J]. 中国机械工程, 2011, 22(7): 860-863.
- [5] 张德丰. Matlab 自动控制系统设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.
- [6] 王中鲜. Matlab 建模与仿真应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.
- [7] 高延荣, 舒志兵, 耿宏涛. 基于 Matlab/Simulink 的永磁同步电机(PMSM)矢量控制仿真[J]. 机床与液压, 2008, 36(7):296-299.
- [8] 贺 凯, 熊光煜. 基于 Matlab7. 1/Simulink 的永磁直线同步电机的建模与仿真[J], 电力学报, 2007, 22(4): 450-453.
- [9] 秦 忆. 现代交流伺服系统[M]. 武汉:武汉理工大学出版社, 1995.
- [10] 杨 勇. 基于模糊自整定的改进型永磁同步电机矢量控制仿真研究[J]. 机电工程技术, 2010, 39(8):47-49.
- [11] 钱 昊, 赵荣祥. 永磁同步电机矢量控制系统[J]. 农机化研究, 2006, 28(2):90-91.

[编辑:李 辉]