

变论域自组织模糊 PID 控制 在逆变电源中的应用

黄冬梅¹,程树康²,李 军¹

(1. 哈尔滨职业技术学院 电气工程系,黑龙江 哈尔滨 150040;

2. 哈尔滨工业大学 电气工程学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:模糊控制器对于要求响应速度快、稳态精度高的高性能逆变电源系统难以实现有效控制,因此提出了一种基于可变论域思想的自组织模糊 PID 控制的新方法。可变论域思想主要是输入论域可变,用 α 和 β 作为误差和误差变化率的调节因子,该数值随误差和误差变化率的减小而减小,进而增加模糊控制规则,由模糊推理得到中间控制量 P ,再与采样周期对系统 PID 控制参数进行组合得到新的 PID 控制参数。应用 Matlab 仿真常见的模糊逻辑 PID 阶跃响应曲线,效果良好。该方法应用在逆变电源系统中,可保证系统具有较高的稳态精度和良好的动态特性。

关键词:可变论域;自组织模糊 PID 控制;逆变

中图分类号: TM 464

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)11-0045-03

现介绍一种基于可变论域思想的自组织模糊 PID 控制方法^[1-3],该方法设计实现较为简单,而且其动态响应速度快、稳态精度高,将此方法应用在逆变电源中,取得了很好的控制效果。

1 控制系统方案设计

1.1 可变论域思想

传统的模糊控制器只能在固定的输入论域上设定一定数量的控制规则,当模糊系统逐渐向零误差逼近的时候,输入论域还是最初给定的一个较大的范围,此时,在这个论域上的模糊划分就显得比较粗糙,难以取得较高的控制精度^[4]。若要提高精度,则规则搜索范围扩大,降低决策速度,不能实时地进行控制。为解决这个问题,便提出了可变论域的思想。可变论

域思想主要是输入论域可变,用 α 和 β 作为误差和误差变化率的调节因子,调整其论域, α 和 β 可以是误差和误差变化率的指数函数或是线性分段函数,随输入变量(误差和误差变化率)的减小而减小,在 0 和 1 之间变化。针对系统误差和误差变化率的变化范围将 α 和 β 线性划分为 10 级,分别对应 $\alpha, \beta = 0.1, 0.2, \dots, 0.9$,为便于计算取 $\alpha = \beta = \gamma$,即 2 个输入变量误差 E 和误差的变化率 EC 的论域为

$$E \in \gamma[-e, e], EC \in \gamma[-\Delta e, \Delta e], \gamma \in \{0.1, 0.2, \dots, 0.9\}$$

输入变量论域在做了上述处理之后,即将其与传统控制器输入变量一样进行分级,伴随着误差和误差变化率的减小,各个相邻误差和误差变化率等级之间的差值越来越小,这就相当于随着误差、误差变化率的减小,增加了模糊控制规则,对控制过程而言并没有增加复杂性,进而提高了控制的稳态精度,且方法直观简单。应用计算机技术,该查询过程可在极短的

收稿日期:2006-10-26;修回日期:2007-01-22

时间内完成,对控制时效性不会造成任何影响。

1.2 基于可变论域思想的自组织模糊 PID 控制

控制系统原理框图如图 1 所示。

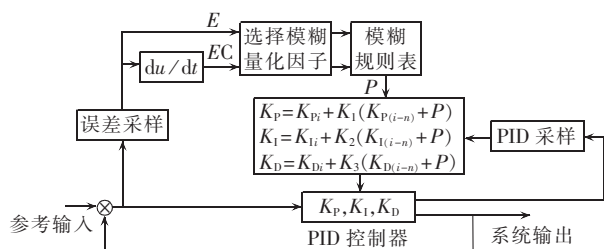


图 1 控制系统原理框图

Fig.1 Block diagram of control system

系统的输出与给定参考输入相比较得到的误差信号 E , 经微分得到误差的变化率 EC , 作为二维模糊控制的 2 个输入量, 输入量经过调整因子整定后, 查询预先设定的模糊控制规则表得到中间控制量 P 。在此, 考虑系统稳态精度要求和处理器的速度, 对于输入量 E 和 EC 以及输出控制量 P 均采用 7 个量化等级, 即: 负大、负中、负小、零、正小、正中、正大, 分别用符号 NB 、 NM 、 NS 、 ZO 、 PS 、 PM 、 PB 表示 7 个语言变量。同理, 将误差变化率对应的语言变量 EC 及模糊判决语言变量 U 划分为 13 个等级, 形成相应的模糊子集。由系统的实际情况、调试经验和 Fuzzy 合成规则, 得到下面 13 条模糊条件语句:

- a. IF E is NB and EC is NB or NM or NS then P is ZO ;
- b. IF E is NB and EC is ZO or PS or PM or PB then P is NB ;
- c. IF E is NM and EC is NB or NM or NS then P is ZO ;
- d. IF E is NM and EC is ZO or PS or PM or PB then P is NM ;
- e. IF E is NS and EC is NB or NM or NS then P is ZO ;
- f. IF E is NS and EC is ZO or PS or PM or PB then P is NS ;
- g. IF E is ZO and EC is NB or NM or NS or PS or PM or PB then P is ZO ;
- h. IF E is PS and EC is NB or NM or NS or ZO then P is PS ;
- i. IF E is PS and EC is PS or PM or PB then P is ZO ;
- j. IF E is PM and EC is NB or NM or NS or ZO then P is PM ;
- k. IF E is PM and EC is PS or PM or PB then P is ZO ;
- l. IF E is PB and EC is NB or NM or NS or ZO then P is PB ;
- m. IF E is PB and EC is PS or PM or PB then P is ZO ;

如果系统的输出与给定参考输入信号不同, 经过调整 E 和 EC , 通过模糊推理可以得到 P , P 和采样周期对系统 PID 控制参数进行一定的组合得到系统

新的 PID 控制参数, 具体方法为

$$P_i = K_{P(i-n)} + P, I_i = K_{I(i-n)} + P, D_i = K_{D(i-n)} + P \quad (1)$$

式中 $K_{P(i-n)}$ 、 $K_{I(i-n)}$ 、 $K_{D(i-n)}$ 为前一个采样周期的 PID 参数; P_i 、 I_i 、 D_i 为新的 PID 控制参数。

同时, 在控制器输出逆模糊化过程中可以根据实际经验和系统的实际情况以及 K_P 、 K_I 、 K_D 3 个控制参数对系统的影响程度引入权重系数 K_1 、 K_2 、 K_3 , 利用公式 (2) 得到系统的实际 PID 控制参数:

$$K_P = K_{Pi} + P_i K_1, K_I = K_{Ii} + I_i K_2, K_D = K_{Di} + D_i K_3 \quad (2)$$

在每一个采样周期内, 处理器可以通过模糊推理得到中间控制量 P , 结合选定的 K_1 、 K_2 、 K_3 利用式 (1)(2), 可以不断的调节 PID 参数使它连续变化, 这样系统的模糊推理规则数大为减少, 控制速度提高, 同时利用变论域提高了系统的控制精度, 保证系统具有良好的静、动态特性和适应性^[5-11]。

2 数据仿真和测试结果

系统传递函数为

$$G(s) = \frac{52\,340}{s^4 + 87.32s^3 + 10\,470s + 108.2}$$

用 Matlab 仿真软件仿真实验常见的模糊逻辑 PID 阶跃响应曲线 (如图 2 所示), 其中 PID 的初值赋为 $K_{P0}=0.5$ 、 $K_{I0}=0.02$ 、 $K_{D0}=1.0$, 加权系数 $K_1=0.2$ 、 $K_2=0.04$ 、 $K_3=0.1$ 。从动态过程仿真结果可看出: 基于可变论域自组织模糊 PID 控制的控制性能优于传统的数字 PID 控制、模糊自调整 PID (Fuzzy-PID) 以及非变论域的自组织模糊 PID (SOF-PID), 系统动态过程几乎没有超调, 且调节速度非常快, 稳态精度高。

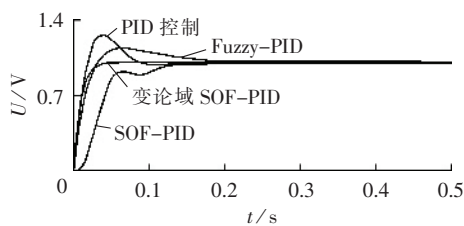
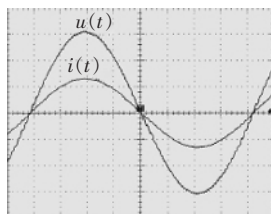


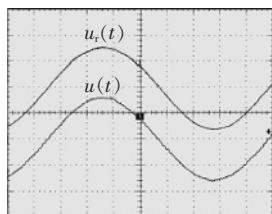
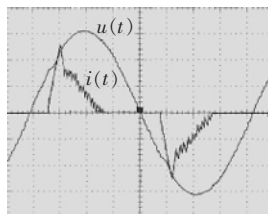
图 2 系统单位阶跃响应曲线对比

Fig.2 System responses to unit step change

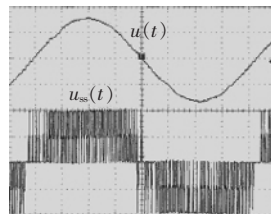
把基于可变论域自组织模糊 PID 控制的控制方法应用在逆变电源系统中, 如单相全桥逆变电路, 实验电源基本参数如下: 输入直流电压 200 V、输出电压 100 V、线性负载为 12 Ω 、非线性负载为 20 Ω /330 μ F。经过对逆变电源系统进行实验 (实验波形图见图 3~6): 图 3 给出了线性负载下电源输出电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 的实验波形, 可看出电流与电压的波形均为正弦波, 且为同相位, 说明变论域自组织模糊 PID 控制可对该负载电流进行良好的补偿, 图 4 给出了输入参考电压 $u_r(t)$ 和输出电压 $u(t)$ 的波形进行比较, 说明变论域自组织模糊 PID 控制可提高逆变电源的动态跟随性能和稳态精度; 图 5 给出了非线性整流负载下电源输出电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 的实验波形, 可以看出, 电流的波形近似为正弦波形, 只是在波形上有几个毛刺, 说明变论域自组织模糊 PID 控制对负载的谐波电流具有良好的补偿作用; 图 6 给



50 V/div, 5 A/div

图 3 线性负载下
电源输出电压与
电流波形Fig.3 Waveforms of output
voltage and current
with linear load $u(t)$ 为 100 V/div, $u_r(t)$ 为 5 V/div图 4 线性负载下
电源输出电压与
参考电压波形Fig.4 Waveforms of output
voltage and reference
with linear load

50 V/div, 5 A/div

图 5 非线性整流负载下
电源输出电压与
电流波形Fig.5 Waveforms of output
voltage and current
with nonlinear load

100 V/div

图 6 非线性整流负载下
电源输出电压与输
入滤波电压波形Fig.6 Waveforms of output
voltage and input voltage
with nonlinear load

出了非线性整流负载下电源输出电压 $u(t)$ 与输入滤波电压 $u_{in}(t)$ 的波形,实验波形同样说明变论域自组织模糊 PID 控制可提高逆变电源的动态跟随特性、调节性能和稳态精度。

3 结论

提出了一种基于可变论域思想的自组织模糊 PID 控制方法,设计体现了智能控制的自学习功能,模拟人工控制由粗调到细调的思想,且系统的分辨率高、易设计。既保证系统具有良好的动态特性,又使系统具有较高的稳态精度,是一条行之有效的新的控制方法。

参考文献:

- [1] IBRAHIM A A S. Nonlinear PID controller design using fuzzy logic[C]//International the 2002 IEEE Conference. Cairo, Egypt: IEEE, 2002: 595-599.
- [2] SALAMI M J E, BULALE Y I. Design and implementation of fuzzy-based PID controller[C]//IEEE International Conference on Industrial Technology, 2002. Bangkok, Thailand: IEEE, 2002: 220-225.
- [3] PIVONKA P. Comparative analysis of fuzzy PI/PD/PID controller based on classical PID controller approach[C]//The 2002 IEEE International Conference. Cairo, Egypt: IEEE, 2002: 541-546.
- [4] KAZEMIAN H B. The self organising fuzzy controller[C]//The 1998 IEEE International Computational Intelligence. USA: IEEE, 1998: 319-324.
- [5] HAN Gui-hua, CHEN Li-hua, SHAO Jun-peng, et al. Study of fuzzy PID controller for industrial steam turbine governing system[C]//IEEE International Symposium on Communications

- and Information Technology. [S.l.]: IEEE, 2005: 1275-1279.
- [6] LENG G, MCGINNITY T M, PRASAD G. Design for self-organizing fuzzy neural networks based on genetic algorithms[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2006, 14(6): 755-766.
- [7] HUANG Shih-jer, LEE Ji-shin. A stable self-organizing fuzzy controller for robotic motion control[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2000, 47(2): 421-428.
- [8] CHATTERJEE A, RAKSHIT A, MUKHERJEE R K. A self-organizing fuzzy inference system for electric field optimization of HV electrode systems[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2001, 8(6): 995-1002.
- [9] LIU Min, GU Yun-dong, CHAI Ying-chun. A prediction algorithm based on self-organizing fuzzy neural networks[C]//The First International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Beijing, China: IEEE, 2002: 1688-1690.
- [10] LIN Chin-teng, HUANG Chao-hui. A complex texture classification algorithm based on Gabor-type filtering cellular neural networks and self-organized fuzzy inference neural networks[C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2005. Kobe, Japan: IEEE, 2005: 3942-3945.
- [11] ZHANG Zhi-jun, YU Hai-chen. Design of multivariable self-organizing fuzzy decoupling controller based on neural-network[C]//The Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation, 2006. Dalian, China: IEEE, 2006: 3882-3885.

(责任编辑: 康鲁豫)

作者简介:

黄冬梅(1968-),女,黑龙江哈尔滨人,副教授,研究方向为电机与电器控制、电力电子(E-mail: dongmei-68@163.com);
程树康(1946-),男,浙江杭州人,教授,博士研究生导师,研究方向为电机与电器控制;
李军(1966-),女,黑龙江哈尔滨人,教授,研究方向为电机与电器控制。

Varying-domain self-organizing fuzzy PID control in AC inverter

HUANG Dong-mei¹, CHENG Shu-kang², LI Jun¹

(1. Department of Electrical Engineering, Harbin Polytechnic, Harbin 150040, China;

2. College of Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: As fuzzy controller is not suitable for the AC inverters with fast response and high steady precision, the varying-domain self-organizing fuzzy PID control is presented, which takes α and β as the adjustment factors of error and error rate, varying along with error and error rate respectively, and increases the rules of fuzzy PID control. The intermediate parameter P is obtained by fuzzy reasoning, which combines with sampling cycle to form new PID control parameters. Simulation of fuzzy PID response to step change using Matlab show its advantages. Its application in AC inverter guarantees the higher steady precision and better dynamic performance of the power supply system.

Key words: varying domain; self-organizing fuzzy PID control; inverter