

基于改进单神经元自适应 PID 励磁控制器

邓赞高^{1,2}, 吴必军¹, 张 峰^{1,2}

(1. 中国科学院 广州能源研究所, 广东 广州 510640;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 介绍了一种新型的基于改进单神经元自适应比例积分微分(PID)的励磁控制器,使神经元比例系数 K 在线自适应修正。在动态响应初期,误差较大, K 取较大,使系统响应具有快速性;进入稳态后, K 取较小,确保系统渐趋稳定。描述了该控制器控制算法。该控制器应用自学习、自适应的控制原理,具有一定处理非线性系统的能力。以单机无穷大系统为例,在 Matlab/Simulink 环境中进行仿真,结果显示,改进单神经元自适应 PID 控制器结构简单,基本只需整定 1 个参数即可达到控制要求,且对于不同工况均有稳定的控制效果,体现出良好的鲁棒性。

关键词: 同步发电机; 励磁控制; 改进单神经元自适应 PID 控制

中图分类号: TM 761⁺.11; TM 743 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2006)11-0061-03

励磁调节系统是同步发电机的重要组成部分,对发电机运行的快速性、稳定性、动态特性等有直接影响^[1]。传统自动电压调节器(AVR)用线性化数学模型控制发电机在特定运行点下保持稳定^[2],由于同步发电机是典型非线性系统,电机在其他运行点无法得到有效控制,不能很好地跟踪目标设定值,不能满足控制要求。智能控制理论以控制器为研究对象,利用人工智能的逻辑推理、启发式知识及专家系统解决控制问题^[3]。神经网络控制是智能控制的重要分支,其中单神经元自适应 PID 控制具有记忆、自学习和自适应能力等特点,结构简单,且能适应环境变化,具备处理非线性系统的能力,在很大程度上解决了难以对受控对象建立精准数学模型的问题^[4]。但以往的单神经元自适应 PID 控制亦有快速性差、调节缓慢的缺点^[5]。为此,本文使用一种改进的单神经元自适应 PID 控制方法对同步发电机进行励磁控制。改进后的单神经元自适应 PID 控制不但修正了上述缺点,而且现场基本只需整定 1 个参数,就能达到预定控制效果,有利于工程实现。

1 改进单神经元自适应 PID 的控制算法

改进单神经元自适应 PID 控制结构如图 1 所示。

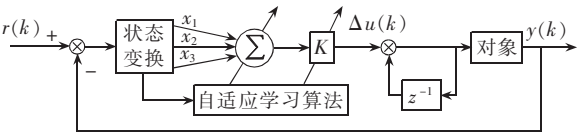


图 1 单神经元自适应 PID 控制原理
Fig.1 The principle of single nerve cell self-adaptive PID control

神经元的输入

$$\begin{aligned}x_1(k) &= e(k), \quad x_2(k) = e(k) - e(k-1) \\x_3(k) &= e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)\end{aligned}$$

神经元的特性取为

$$\begin{aligned}\Delta u(k) &= K \sum_{i=1}^3 w_i(k) x_i(k) / \left[\sum_{i=1}^3 |w_i(k)| \right] \\w_i(k+1) &= w_i(k) + \eta_i \partial E(k) / \partial w_i(k)\end{aligned}$$

式中 $\Delta u(k)$ 为 k 时刻神经元的输出增量; K 为神经元比例系数; $w_i(k)$ 为 k 时刻神经元对应的权值; $x_i(k)$ 为 k 时刻神经元的输入值, 即分别为 $x_1(k)$ 、 $x_2(k)$ 、 $x_3(k)$; η_i 为神经元学习率^[6-7]。

误差函数取为

$$E(k) = [r(k) - y(k)]^2 / 2$$

式中 $r(k)$ 为系统输入即设定值; $y(k)$ 为系统输出。

采用有监督的 Hebb 学习规则:

$$w_i(k+1) = w_i(k) + \eta_i v_i(k)$$

联想式学习策略:

$$v_i(k) = z(k) u(k) x_i(k)$$

式中 $v_i(k)$ 为递进信号; $z(k)$ 为输出误差信号。

$$z(k) = r(k) - y(k) = e(k)$$

该学习策略结合 Hebb 学习和监督学习, 通过关联搜索对未知系统作出反应并同时产生控制信号。

误差目标函数对权值的偏导数按下式推导:

$$\frac{\partial E(k)}{\partial w_i(k)} = \frac{\partial E(k)}{\partial y(k)} \frac{\partial y(k)}{\partial \Delta u(k)} \frac{\partial \Delta u(k)}{\partial w_i(k)}$$

权值学习算法:

$$w_i(k+1) = w_i(k) + \eta_i K(k) e(k) u(k) x_i(k)$$

一般, 学习率越大, 学习速度就越快, 快速性就越好, 但容易产生超调, 甚至可能使系统不稳定; 学习率偏小, 系统的快速性变差^[8]。

通常的单神经元控制算法其神经元比例系数 K 为一固定常数, 不能随误差的大小而变化, 如果要求系统响应快速性好, 超调势必较大, 而如果要求超

调较小时,响应必然非常缓慢。为此,提出动态响应的目标为:响应的初期,误差 $e(k)$ 较大, K 应取较大使系统响应具有快速性;进入稳态后, K 应取较小直至逐渐趋近于稳定值,确保系统渐趋稳定。因此,采用非线性变换地在线修正神经元比例系数 K :

$$K(k)=K_0+\xi[r(k)-y(k)]^3/r(k)^2$$

式中 $K(k)$ 为 k 时刻的神经元比例系数; K_0 为神经元比例系数的初始稳态值; ξ 为调整系数,一般取值 $0.1 K_0$ 。

仿真过程中发现 K 的在线自适应修正削弱了神经学习率产生的不利影响,几乎可以忽略其影响,权值 $w_i(k)$ 可以直接根据误差进行自适应调整,进而使控制对象跟踪设定目标值。

改进后的控制算法保证了系统响应既有好的快速性又不会产生较大超调。在调试过程中,基本只需整定1个参数即可达到控制要求,有利于系统调试。通常, K_0 值整定应从小开始逐渐增大(一般从百分位开始),直到达到控制效果才确定其最终值。

2 仿真模型

图2为单机无穷大系统图,仿真在 Matlab / Simulink 中进行^[9-10],选用 SimPowerSystems 中自带的模型 psbturbine。

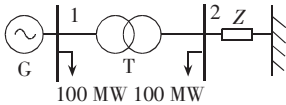


图2 单机无穷大系统图
Fig.2 A single-machine infinite-bus system

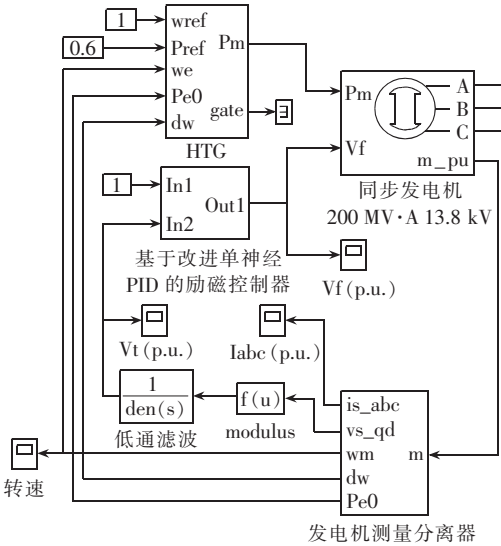


图3 仿真结构模型

Fig.3 The simulation model

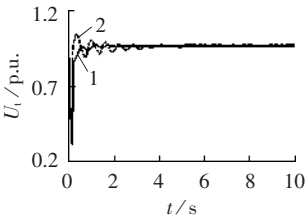


图4 端电压输出对比(I)
Fig.4 Comparison of terminal voltage(I)

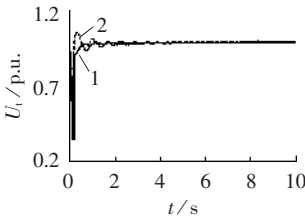


图5 端电压输出对比(II)
Fig.5 Comparison of terminal voltage(II)

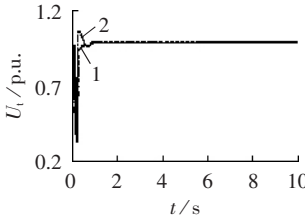


图6 端电压输出对比(III)
Fig.6 Comparison of terminal voltage(III)

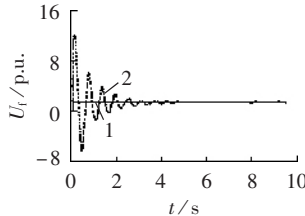


图7 励磁电压输出对比
Fig.7 Comparison of excitation voltage

本文比较了2种励磁控制方法的控制效果,一种为传统AVR,选用 Matlab / Simulink 中 Excitation System 模块进行励磁控制;另一种为改进单神经自适应PID励磁控制,控制器算法通过 S-Function 编程实现^[11]。原动机采用 Matlab/Simulink 中的 HTG (Hydraulic Turbine and Governor)模块,其他模块的参数均为默认值。图3为改进单神经自适应PID控制同步发电机励磁的仿真结构模型图。

3 仿真结果

对上述2种控制器分别进行仿真,仿真采用 ode23 tb 算法,仿真时间均为10 s。在不同的工况下对2种控制器控制效果进行比较。

发电机出力为额定功率200 MW,0.1 s时母线2处发生三相短路接地故障,0.1 s后切除,2种控制器分别控制下端电压输出的比较见图4(图中1为改进单神经元自适应控制,2为传统控制;后同)。出力减至120 MW,两控制器的控制效果如图5所示。当大幅度减少出力至60 MW,2种控制器的控制效果如图6所示。图7为发电机出力在额定功率200 MW情况下,控制器输出的励磁电压对比。

从图中可以看出,传统的 AVR 励磁控制下的端电压有较大的超调、调节时间偏长且振荡较大,相比之下,在改进单神经自适应PID励磁控制下,端电压输出只有微弱的振荡,很快趋于稳定,且在不同的工

况条件下,均有较好的控制效果,有较好鲁棒性。励磁电压在传统 AVR 控制下有很大的超调,波动很大,调节时间长,而在改进单神经自适应控制下不仅响应平稳,而且能快速捕捉稳态励磁电压。

比较上述各种情况可见:系统在不同的工况条件下,传统的励磁控制的控制效果不稳定,这是由于系统的非线性特性,而传统的控制器不具备处理非线性系统的能力所至;改进单神经自适应 PID 控制器基本能保持较稳定的控制效果,仅需经过 1 次成功训练,便可使用同一控制网络对不同的工况进行有效控制,具有良好的稳定性和鲁棒性。

4 结语

本文使用改进单神经元自适应 PID 方法设计了一种新型的同步发电机励磁控制器,此控制器结构简单,可调参数少(基本只需整定 1 个参数),易于整定,而且具有良好的自适应能力,能够实现快速的在线调节。仿真实验表明:该控制器可以对系统不同的运行条件进行稳定控制,控制性能优于传统控制器。

参考文献:

- [1] 刘增煌. 同步发电机励磁控制的任务及其设计思想比较[J]. 电网技术,1999,23(8):6-9,16.
LIU Zeng-huang. Task of generator excitation control and design idea comparison[J]. Power System Technology, 1999, 23(8): 6-9, 16.
- [2] 周双喜,李丹. 同步发电机数字式励磁调节器[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [3] 韩英铎,谢小荣,崔文进. 同步发电机励磁控制研究的现状与走向[J]. 清华大学学报:自然科学版,2001,41(4/5):142-146.
HAN Ying-duo, XIE Xiao-rong, CUI Wen-jin. Status quo and future trend in research on synchronous generator excitation control[J]. Journal of Tsinghua University:Sci & Tech, 2001, 41(4/5):142-146.
- [4] 万健如,张海波,曹才开. 单神经元 PID 控制器永磁同步电机调

速系统[J]. 电力电子技术,2005,39(1):75-77.

WAN Jian - ru, ZHANG Hai - bo, CAO Cai - kai. Drive system based on single neuron PID controller[J]. Power Electronics, 2005, 39(1):75-77.

- [5] 肖松,王印松,杨光军. 一种基于专家调节增益的单神经元控制[J]. 自动化技术与应用,2003,22(4):14-16.
XIAO Song, WANG Yin-song, YANG Guang-jun. A single neuron PID control based on expert[J]. Techniques of Automation and Applications, 2003, 22(4):14-16.
- [6] 闵松,罗慧,万淑芸. 基于有监督单神经元的交流调速控制算法研究[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2002,30(10):72-74,77.
MIN Song, LUO Hui, WAN Shu-yun. A study of control algorithm for AC driver based on a supervised single neuron controller[J]. Journal of Huazhong Univ of Sci & Tech: Nature Science Edition, 2002, 30(10):72-74, 77.
- [7] 侯勇严,郭文强. 单神经元自适应 PID 控制器设计方法研究[J]. 微计算机信息,2005,21(8-1):8-9,117.
HOU Yong-yan, GUO Wen-qiang. Research on design of single neural element self-adaptive PID controller[J]. Control & Automation, 2005, 21(8-1):8-9, 117.
- [8] 丁军,徐用懋. 单神经元控制 PID 控制器及其应用[J]. 控制工程,2004,11(1):27-30,42.
DING Jun, XU Yong-mao. Single neuron adaptive PID controller and its applications[J]. Control Engineering of China, 2004, 11(1):27-30, 42.
- [9] 薛定宇,陈阳泉. 基于 Matlab/Simulink 的系统仿真技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [10] 刘金钊. 先进 PID 控制 Matlab 仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [11] 赵文峰. 控制系统设计与仿真[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2002.

(责任编辑:李育燕)



作者简介:

邓赞高(1982-),男,江西吉水人,硕士研究生,主要研究方向为波浪能独立发电系统运行控制(E-mail:dengzangao@yahoo.com.cn)。

Excitation controller based on improved single nerve cell PID

DENG Zan-gao^{1,2}, WU Bi-jun¹, ZHANG Feng^{1,2}

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: An excitation controller based on improved single nerve cell PID (Proportional Integral Derivative) control is introduced, in which the nerve cell proportional coefficient K is modified adaptively on line. During the early period of dynamic response with big errors, big values are selected for K to realize the fast system response. During the steady state period, small values are selected to ensure the system stability. The control algorithm is described. It applies self-adaptive and self-learning control principles and has the ability to handle nonlinear system such as synchronous generator. A simulation model of a single-machine infinite-bus system is constructed in Matlab/Simulink. The excitation controller based on improved single nerve cell PID control is simple, more efficient and highly robust under different operation conditions, and almost only one parameter is needed to be set.

This project is supported by the High Tech Research and Development (863) Program of China (2001AA516010) and the Chinese Academy of Science Pilot Project of the National Knowledge Innovation Program (KGCX2-SW-305).

Key words: synchronous generator; excitation control; improved single nerve cell PID control