

基于模糊自调整 PID 控制的同步发电机励磁研究

揭海宝¹, 郭清滔², 康积涛¹, 李平¹, 谢建¹, 古树平¹

(1. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031; 2. 福建省电力试验研究院, 福建 福州 350007)

摘要: 随着发电机单机容量和电网规模的增大, 发电机组及电力系统对励磁控制在可靠性和动态品质等方面提出了越来越高的要求。在日益复杂的被控过程面前, 由于不可能得到过程的精确数学模型, 传统的基于精确模型的常规 PID 控制模型已不能满足系统的动态和静态运行性能要求; 为了克服这个缺点, 设计了一种新型的基于模糊自调整 PID 的控制系统。运用 Simulink 对传统 PID 与模糊自调整 PID 在励磁控制过程中进行仿真比较, 并比较了在加入干扰信号情况下两者的性能, 结果表明模糊自调整 PID 具有明显动态运行性能和抗干扰能力优势。

关键词: 同步发电机; 模糊控制; 励磁控制器; 自调整 PID

Simulation of synchronous excitation controller based on fuzzy self-regulation PID control

JIE Hai-bao¹, GUO Qing-tao², KANG Ji-tao¹, LI Ping¹, XIE Jian¹, GU Shu-ping¹

(1. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Fujian Electric Power Test & Research Institute, Fuzhou 350007, China)

Abstract: With generator unit capacity and the scale of transmission-line system of electric power becoming larger and larger, higher and higher standard demands are made on reliability and dynamic quality of excitation control for generating set and electric power system. Being confronted with more and more difficult in control process, and without exact mathematic model, the traditional and general PID control, which is based upon exact mathematic model, is no longer satisfying the demands of the dynamic and static quality. In order to overcome this deficiency, a kind of fuzzy self-regulating PID excitation control is designed. The simulation research between general PID and fuzzy self-regulation PID is carried out by using MATLAB SIMULINK, and the performance of them with adding the disturbance are analyzed. The result shows that the fuzzy self-regulation PID has the obvious advantage in dynamic and anti-disturbance aspects.

Key words: synchronous generator; fuzzy control; excitation control; self-regulation PID

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)09-0089-04

0 引言

现代大型同步发电机励磁控制的主要目标包括^[1]: 高精度的电压调节功能; 机组无功功率分配功能; 提供适当的人工阻尼和提高系统稳定性和传输功率的功能, 而基于常规 PID 的励磁控制器越来越不能适应现有的要求, 很难达到励磁控制的目的, 其中主要原因: (1) 励磁系统精确数学模型难以获得; (2) 实际模型的简化处理牺牲了控制的准确性; (3) 励磁模型是时变的。

模糊控制系统^[2]是一种现代智能控制系统, 它以模糊数学、模糊语言形式的知识表示和模糊逻辑的规则推理为基础, 采用计算机控制技术构成的一种具有反馈通道的闭环结构的数字控制系统, 基于模糊自调整 PID 励磁控制器在很大程度上克服了以

上(1)、(3)的缺点, 即它不需要精确的数学模型, 同时励磁参数具有自调整性; 本文首先分析了常规 PID 控制器与模糊自调整 PID 控制器设计原理, 然后在 Simulink 里搭建仿真图, 最后进行了两者的仿真比较。

1 常规 PID 控制器设计(图 1)

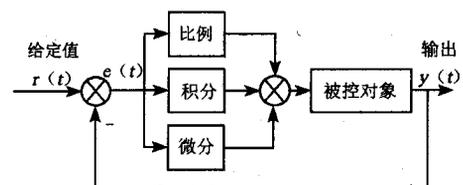


图 1 常规 PID 控制原理框图

Fig.1 Block diagram of conventional PID control

如图 1 所示其数学表达式为:

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

通过设置合适的 K_p 、 K_i 、 K_d 参数来改善系统的静态特性。

1.1 同步发电机传递函数

同步发电机的传递函数是非常复杂的,但如果只研究励磁系统的动态特性时,同步发电机的传递函数可以简化为一阶滞后环节

$$G_G(s) = \frac{K_G}{1 + T'_{d0} s}$$

其中: K_G 代表发电机放大系数, T'_{d0} 表示其时间参数,忽略发电机磁场饱和现象。

1.2 电压测量和比较单元传递函数

电压测量比较单元由测量变压器、整流滤波电路及测量比较电路组成。其中整流滤波电路略有延时,可用一阶惯性环节来近似描述。其它电路一般可以忽略它们的延时。因此,测量比较单元的传递函数可用下式表示:

$$G_R(s) = \frac{U_{dl}}{U_G(s)} = \frac{K_R}{1 + T_R s}$$

其中: U_{dl} 表示测量比较单元的输出信号, U_G 表示机端电压, K_R 表示电压比例系数, T_R 表示测量回路的时间常数。

1.3 移相触发单元及功率单元传递函数

$$G_R(s) = \frac{K_z}{1 + T_z s}$$

其中: K_z 为放大环节的电压比例, T_z 为放大环节时间常数。

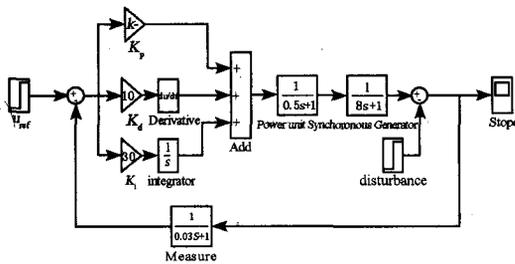


图 2 基于常规 PID 的同步发电机励磁控制仿真框图

Fig.2 Simulation of synchronous generator excitation control based on conventional PID

2 模糊自调整 PID 控制器设计

模糊自调整 PID 的设计原理如图 3 所示,主要分为以下几个阶段:

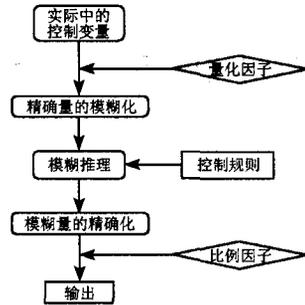


图 3 模糊控制系统原理

Fig.3 Principle of fuzzy control system

2.1 精确量的模糊化

通过量化因子将输入变量(实际中的控制变量)从基本论域(实际量的变化范围)转换到对应的语言变量模糊集的论域(语言变量的范围)。

2.2 模糊控制规则

模糊规则是模糊控制的核心,规则的制定主要根据工程设计技术人员以及现场操作人员的经验,普遍采用 IF-THEN 语句。

2.3 模糊推理

模糊推理又称为模糊决策,是一个由输入模糊变量得到输出模糊变量的过程,是模糊控制的核心,它利用知识库的信息模拟人类的推理决策过程,给出合适的控制量。常用的模糊推理方法有最大最小推理和最大乘积推理等。

2.4 模糊的清晰化

通过模糊推理得到的结果是一个模糊集合。但在实际使用中,特别是模糊控制中,必须要有一个确定量才能去控制和驱动执行机构;常见的清晰化有以下几种方法:最大隶属度法,重心法,加权平均法等。

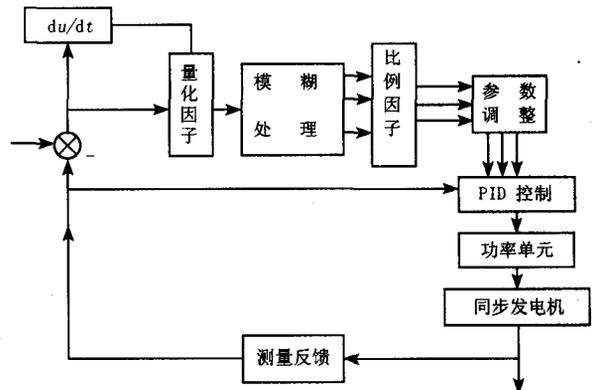


图 4 模糊 PID 控制原理图

Fig. 4 Schematic diagram of fuzzy control system

2.5 控制变量输出

经模糊控制算法计算后得到的控制量,为控制

量语言变量的论域中的值, 利用比例因子要将其转换为控制量基本论域中的值, 最后, 加到被控过程的控制量应是清晰化的结果与比例因子的乘积。

模糊控制器的系统结构^[3,4]主要由参数可调 PID 和模糊控制系统两部分构成, 其结构如图 4 所示, 将电压偏差 E 与电压偏差变化率 EC 作为输入, 然后经过量化因子处理使其变量映射到模糊处理的变量论域中, 经模糊处理后的变量, 需乘以比例因子才能转化成为常规 PID 中的系数变量, 经系数调整后, 获得新的 K_P 、 K_I 、 K_D 值, 后面与常规 PID 过程一样。

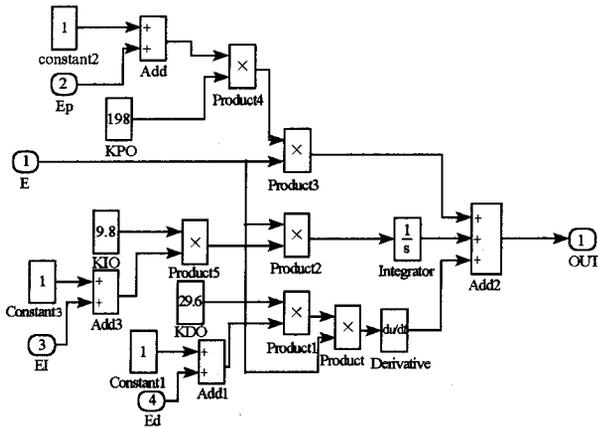


图 5 参数调整模块图

Fig.5 Module chart of parameter adjustment

其中: 新参数的获得根据以下公式

$$\begin{cases} K_p = (1 + E_p)K_{p0} \\ K_i = (1 + E_i)K_{i0} \\ K_d = (1 + E_d)K_{d0} \end{cases}$$

2.6 变量的隶属度函数

此次设计中, 输入变量为电压偏差 E 和偏差变化率 EC , 输出为 PID 控制参数的变化量 EP 、 EI 、 ED , 输入输出变量的论域为: $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。输出变量的论域为: $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ 。

输入输出变量的隶属度函数如图 6 和图 7 所示。

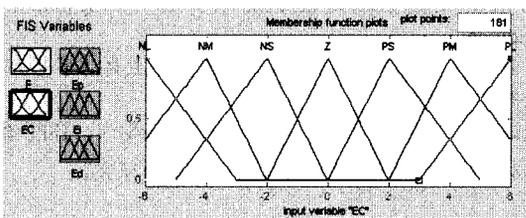


图 6 E/EC 变量的隶属度函数

Fig. 6 Subject function of E/EC variables

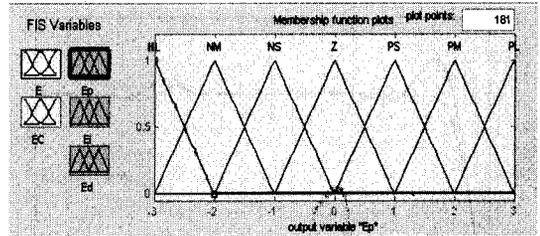


图 7 EP, EI, ED 变量的隶属度函数

Fig.7 Subject function of EP, EI, ED variables

图 8 中“NL, NM, NS, Z, PS, PM, PL”分别代表“负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大”调节, 此规则表是根据专家知识和现场操作人员经验获得的。

E_p	EC						
	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	PL/NL/PS	PL/NL/NS	PM/PM/NL	PM/NM/NL	PS/NS/NL	Z/Z/NM	Z/Z/PS
NM	PL/NL/PS	PL/NL/NS	PM/NM/NL	PS/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/Z/Z
NS	PM/NL/Z	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/PS/NS	NS/PS/Z
Z	PM/NM/Z	PM/NM/NS	PS/NS/NS	Z/Z/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/Z
PS	PS/NM/Z	PS/NS/Z	Z/Z/Z	NS/PS/Z	NS/PS/Z	NM/PM/Z	NM/PL/Z
PM	PS/Z/PL	Z/Z/PS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NM/PL/PS	NL/PL/PL
PL	Z/Z/PL	Z/Z/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NL/PL/PS	NL/PL/PL

图 8 $EPEIED$ 的调整规则

Fig.8 Adjustment rules of EP, EI, ED variables

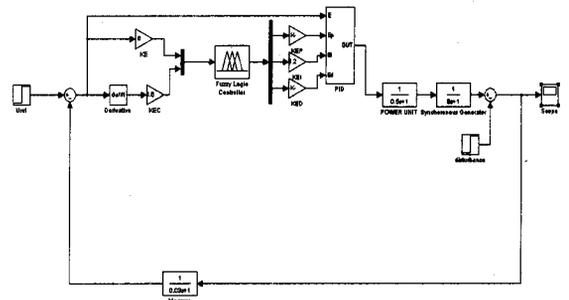


图 9 基于模糊 PID 的同步发电机励磁控制仿真框图

Fig.9 Simulation of synchronous generator excitation control based on fuzzy PID

3 仿真比较及结果分析

利用 Matlab 里的 Simulink 软件, 如图 2 与图 9 所示搭建仿真图进行仿真; 其中相关参数的选择如下:

$$K_{p0} = 300 \quad k_{i0} = 20 \quad K_{d0} = 30$$

$$T_R = 0.03, K_R = 1 \quad T_z = 0.5, K_z = 1.0$$

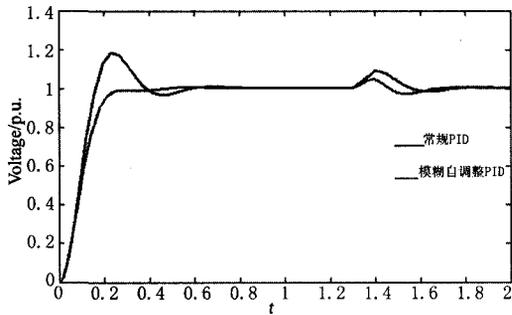


图 10 常规 PID 及模糊自调整 PID 仿真图

Fig.10 The simulation diagram of conventional PID and fuzzy self-regulation PID control

如图 10 所示:

(1) 在时间为 0 s 时, U_{ref} 发出幅值为 1 的阶跃信号(模拟机端电压), 此时常规 PID 调节时间 0.6 s, 而模糊自调整 PID 只用了 0.25 s 的时间。

(2) 在 1.3 s 时加入干扰 Disturbance 信号(幅值为 0.1 响应时间为 0.1 s 的方波脉冲信号), 可见模糊自调整 PID 调整效果明显优于常规 PID。

通过仿真比较发现,模糊自调整 PID 控制器调节速度快、超调量小、调节精度高, 较常规 PID 具有明显的优势。

4 结论

模糊自调整 PID 励磁控制器采用模糊推理方法对参数进行在线调整, 以满足不同工况对控制参数的不同要求, 仿真结果表明, 它与经典 PID 励磁控制器相比, 在改善系统动态品质、提高抗干扰能力及对模型改变时的鲁棒性^[5]均优于常规 PID 励磁控制器, 在实际应用中有一定的推广价值。

参考文献

[1] 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, 2001, 41(4/5):34-59.
HAN Ying-duo, XIE Xiao-rong, CUI Wen-jin. Status Quo and Future Trend in Research on Synchronous Generator Excitation Control[J]. J Tsinghua Univ (Sci &Tech), 2001, 41(4/5):34-59.

[2] 李国勇. 智能控制及其 Matlab 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
LI Guo-yong. Intelligent Control and Realization by Matlab[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.

[3] 陶永华, 尹怡欣, 葛芦生. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
TAO Yong-hua, YI Yi-xin, GE Lu-sheng. The Control and Application of a New Kind of PID[M]. Beijing: China Machine Press, 1998.

[4] 谭文, 王耀南, 段峰. 一种参数自调整 PID 模糊控制器[J]. 基础自动化, 2001, 8(6).
TAN Wen, WANG Yao-nan, DUAN Feng. A Kind of Parameter with Self-regulation PID Control[J]. Basic Automatization, 2001, 8(6).

[5] 卢强, 孙元章. 电力系统非线性控制[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
LU Qiang, SUN Yuan-zhang. Nonlinear Optimal Control of Electric Power Systems [M]. Beijing: Science Press, 1993.

收稿日期: 2008-05-09; 修回日期: 2008-11-03

作者简介:

揭海宝 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定与控制; E-mail:48917549@qq.com

郭清滔 (1983-), 男, 硕士, 从事高压方面的研究工作;

康积涛 (1962-), 男, 教授, 主要研究方向为电力系统及其自动化。

(上接第 77 页 continued from page 77)

HAN Zheng-qing, GAO Shi-bin, LI Qun-zhan. New Method to Identify Inrush Current Based on Half-wave Fourier Analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(14): 60-63.

[15] 吕志娟, 刘万顺, 龚延萍. 利用电流波形特性识别变压器励磁涌流和故障电流[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(19): 53-56.

Lü Zhi-juan, LIU Wan-shun, GONG Yan-ping, et al. New Scheme to Discriminate Magnetic Inrush Current from Internal Fault of Power Transformer Based on the

Characteristic of Current Waveform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(19): 53-56.

收稿日期: 2008-10-08

作者简介:

梁志坚 (1969-), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统继电保护及安全稳定控制的研究工作; E-mail:lzhij@gxu.edu.cn

古斌 (1969-), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统继电保护的研究;

谭建成 (1963-), 女, 教授, 博士生导师, IEEE 会员, 主要从事电力系统运行规划及继电保护的研究。