

# 基于模糊PID控制的同步发电机励磁控制系统仿真研究

金岫, 邓志良, 张鸿鸣

(江苏科技大学电子信息学院, 江苏 镇江 212003)

**摘要:** 随着电力系统的发展, 常规PID励磁控制器已经不能满足系统运行的动态和静态性能要求, 为了克服常规PID控制器的缺点, 设计了一种新型的模糊PID控制器, 即将常规的PID控制与模糊控制优点相结合。分析了同步发电机的励磁控制系统的数学模型和模糊PID控制器的结构、工作原理和作用, 并运用Simulink对模糊PID控制器和常规PID控制器分别在同步发电机励磁系统中进行仿真, 结果表明, 模糊PID控制器具有更好的控制特性, 对进一步应用研究具有较大的参考价值。

**关键词:** PID控制; 模糊控制; 励磁

## Simulation of synchronous excitation controller based on fuzzy-PID control

JIN Xiu, DENG Zhi-liang, ZHANG Hong-ming

(School of Electronics and Information, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

**Abstract:** With the development of power system, routine PID controller could not satisfy the requirement of systemic dynamic and static performances. In this paper, in order to overcome the shortcoming of routine PID controller, a new kind of fuzzy-PID controller is designed. The new fuzzy-PID controller combines the advantages of routine PID controller and fuzzy logic controller. The mathematical model of synchronous excitation system and the architecture, principle and function of the fuzzy-PID controller are analyzed. And the application of the routine PID controller and fuzzy-PID controller in synchronous excitation system are studied with Simulink. The results show that the fuzzy-PID controller gives a better control performance and has reference value in the further applied research.

**Key words:** PID controller; fuzzy controller; excitation

中图分类号: TP273 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)19-0013-03

## 0 引言

常规的PID控制器结构简单, 具有一定的鲁棒性, 容易实现, 稳态无静差, 控制精度高, 能满足工业过程的要求。但是, 实际上, 大多数工业过程不同程度的存在非线性、大滞后、参数时变性和模型不确定性, 因而普通的PID控制器难以获得满意的控制效果。而模糊控制不依赖于被控对象的数学模型, 且设计算法简单、易于实现、适应性强。因此, 为了克服传统PID控制器的缺点, 本文将模糊控制与PID控制结合起来进行仿真, 给出了同步发电机的励磁控制系统的仿真结果。

## 1 励磁系统的数学模型<sup>[1]</sup>

由于模糊逻辑控制不需要精确地控制对象的数学模型, 而本文中的励磁同步发电机系统恰恰符合这一点, 在应用模糊逻辑之前, 有必要分析系统中各个环节的工作原理, 得出其传递函数, 从而完成

系统的开环、闭环传递函数的分析, 所以本文采用简化的传递函数来表征系统各个组成部分的数学模型。

### 1.1 同步发电机传递函数

假设该系统中的发电机的双输出绕组是严格同步变化的, 在不考虑发电机磁路的饱和和特性时, 同步发电机的传递函数可以简化为以下一阶滞后环节:

$$G_G(s) = \frac{K_G}{1 + T_{d0}'s}$$

式中:  $K_G$  为发电机的放大系数,  $T_{d0}'$  为其时间常数, 忽略发电机磁场饱和现象。

### 1.2 电压测量单元

电压测量完成励磁同步发电机输出电压到数字控制器输入信号的转化, 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, 因此, 测量比较单元的传递函数可用下式表示:

$$G_M(s) = \frac{K_C}{1 + T_R s}$$

式中:  $K_C$  为电压传感器的输入输出的比例,  $T_R$  为滤

波回路时间常数,一般取0到0.06 s之间。

### 1.3 功率放大单元

功率放大主要是指由励磁控制器输出小的控制信号  $U_{pwm}$ , 到励磁功率器件的输出  $U_f$  之间的功率转换作用。该单元可认为是一阶惯性环节, 其传递函数为:

$$G_A(s) = \frac{U_f(s)}{U_{pwm}(s)} = \frac{K_A}{1+T_A s}$$

式中:  $K_A$  为放大环节的电压比例,  $T_A$  为放大环节时间常数, 一般很小, 取  $T_A \approx 0$ 。

### 1.4 常规PID控制器

常规PID控制方式的控制器传递函数为:

$$G_k(S) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right)$$

### 1.5 同步发电机励磁控制系统框图

根据同步发电机励磁控制系统的结构, 得出该系统传递函数框图如图1所示。

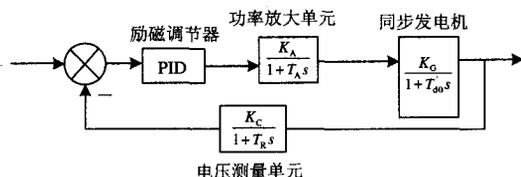


图1 同步发电机励磁系统原理框图

Fig.1 Principle diagram of synchronous excitation system

## 2 模糊PID控制器设计<sup>[2]</sup>

### 2.1 模糊PID控制器的组成原理

模糊PID励磁控制器是运用模糊控制理论及传统PID控制理论来实现对同步发电机励磁进行控制的装置, 其基本组成如图2所示。

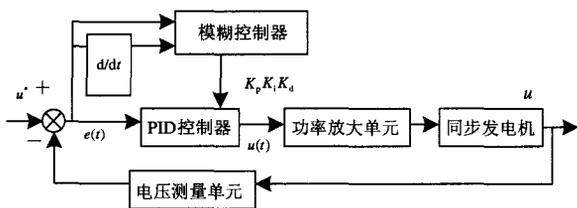


图2 模糊PID控制系统结构

Fig.2 System structure of fuzzy-PID controller

模糊PID励磁控制器是在传统PID励磁调节器的基础上增加了模糊控制器而形成的。该模糊控制器的输入变量是同步发电机的机端电压偏差量  $E$  和电压变化率  $EC$ , 输出变量是PID调节器的三个控制参数  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , 根据由传统PID调节器得到专家经验形成的模糊控制规则进行推理判决, 从而对PID励磁调

节器三个控制参数实现在线自调整。

### 2.2 参数PID整定原则

从系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等各方面来考虑,  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  的作用如下:

(1) 比例系数  $K_p$  的作用是加快系统的响应速度, 提高系统的调节精度。  $K_p$  越大, 系统的响应速度越快, 系统的调节精度越高, 但易产生超调, 甚至会导致系统不稳定。  $K_p$  取值过小, 则会降低调节精度, 使响应速度缓慢, 从而延长调节时间, 使系统动态特性变坏。

(2) 积分作用系数  $K_i$  的作用是消除系统的稳态误差。  $K_i$  越大, 系统的稳态误差消除越快, 但  $K_i$  过大, 在响应过程的初期会产生积分饱和现象, 从而引起响应过程的较大超调。若  $K_i$  过小, 将使系统的静态误差难以消除, 影响系统的调节精度。

(3) 微分作用系数  $K_d$  的作用是改善系统的动态特性, 其作用主要是在响应过程中抑制偏差向任何方向的变化, 对偏差变化进行提前预报。但  $K_d$  过大, 会使响应过程提前制动, 从而延长调节时间, 而且会降低系统的抗干扰性能。

通过分析各参数的作用, 确定模糊控制规则:

(1) 当 ( $E < 0$ ,  $EC > 0$ ) 时, 系统输出趋向稳态值的速度越快越好, 即应尽快消除偏差, 加大偏差的权; 当快接近稳态值时, 为减少超调, 应加大偏差变化的权, 适当减小积分作用, 以避免积分超调及随之而带来的振荡, 有利于控制。

(2) 当 ( $E < 0$ ,  $EC < 0$ ) 时, 系统输出值已超过稳态值, 向偏差增大的方向变化, 在此时, 控制作用应该尽力减小超调, 应加大偏差变化的权。

(3) 当 ( $E > 0$ ,  $EC < 0$ ) 时, 误差开始减少, 系统在控制作用下已呈现向稳态变化的趋势, 所以控制作用应逐渐减少, 以免系统出现回调。

(4) 当 ( $E > 0$ ,  $EC > 0$ ) 时, 系统出现大超调时, 如果下超不太大, 即可保持  $K_d$  一个较小值, 使系统尽快稳定。

(5) 而在系统进入稳定状态时, 恢复调整初始时的PID参数。

根据以上规则, 这里选取误差的绝对值小于 30%, 那么  $K_i = 3/0.3 = 10$ , 误差变化率小于 0.08, 则  $K_{ec} = 3/0.08 = 37.5$ ,  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$  的比例因子选择为 1。

### 2.3 建立各变量隶属度函数

在这里选择三角函数, 其隶属度函数分别如图3和图4所示。

### 2.4 建立模糊规则表

表1  $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$  的调整规则

Tab.1 Tuning rules of  $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$

E	EC						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/PM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	Z/Z/NM	Z/Z/PS
NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/Z/Z
NS	PM/NB/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/PB/Z
PM	PS/Z/PB	Z/Z/PS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NM/PB/PS	NB/PB/PB
PB	Z/Z/PB	Z/Z/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB

模糊规则是整个模糊控制器的核心部分, 根据工程设计人员的技术知识和实际操作经验, 建立合适的模糊规则表, 如表 1 所示。

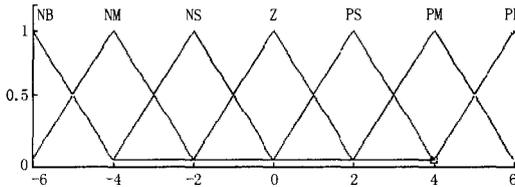


图3 E、EC的隶属度函数

Fig.3 The membership functions of E and EC

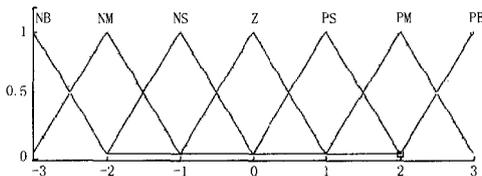


图4  $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$  的隶属度函数

Fig.4 Membership functions of  $\Delta K_p$  and  $\Delta K_i$  and  $\Delta K_d$

### 3 模糊PID控制器在同步发电机励磁控制系统中的仿真

#### 3.1 仿真框图

在simulink中构建模糊PID控制的同步发电机励磁控制系统的仿真模型, 如图5所示, 其中仿真参数设置为:

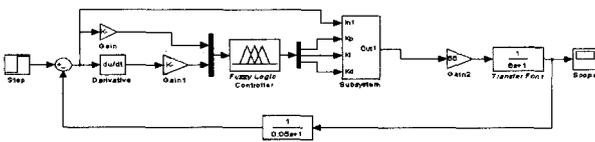


图5 模糊PID励磁控制器仿真框图

Fig.5 Block diagram of fuzzy-PID excitation controller for simulation

$$(1) \text{同步发电机 } G_G(s) = \frac{K_G}{1 + T_{d0}s}; \quad K_G = 1,$$

$$T_{d0} = 6$$

$$(2) \text{电压测量单元 } G_M(s) = \frac{K_C}{1 + T_R s}; \quad K_C = 1,$$

$$T_R = 0.05$$

$$(3) \text{功率放大单元 } G_A(s) = \frac{K_A}{1 + T_A s}; \quad K_A = 55,$$

$$T_A = 0$$

(4) 常规PID控制器的参数:

$$K_p = 80, K_i = 10, K_d = 2$$

#### 3.2 仿真结果

在simulink中对模糊PID控制系统进行了仿真, 结果如图6所示, 为了方便比较对常规PID励磁控制系统也进行了仿真, 仿真曲线如图7所示, 比较结果表明模糊PID控制器的超调量较小, 稳态误差较小, 响应速度快。

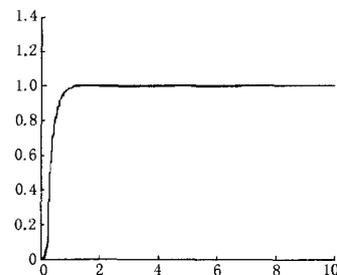


图6 模糊PID励磁控制器阶跃响应仿真曲线

Fig.6 Step response of fuzzy-PID excitation controller

(下转第21页 continued on page 21)

## 参考文献

- [1] 翟世隆.线损知识问答[M].北京:水利电力出版社,1990.  
ZHAI Shi-long. Catechism of Knowledge about Line Loss[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1990.
- [2] 侯其锋,许跃进,等.低压线损计算的“改进竹节法”[J].农村电气化,2005,(4):30-31.  
HOU Qi-feng, XU Yue-jin, et al. The Improving on Calculating Line Loss of Low Voltage Distracted[J]. Rural Electrification,2005,(4):30-31.
- [3] 丁心海,罗毅芳,刘巍,等.改进配电网线损计算方法的几点建议[J].电力系统自动化,2001,25(7):57-60.  
DING Xin-hai, LUO Yi-fang, LIU Wei, et al. Proposals on Improving the Current Methods for Calculating Line Losses of Distribution Network[J].Automation of Electric Power Systems,2001,25(7):57-60.
- [4] 王成山,刘姝,林勇.基于区间算法的配电网线损理论计算[J].电力系统自动化,2002,2(1):22-27.  
WANG Cheng-shan, LIU Shu, LIN Yong. Electric Network Loss Calculation Using Interval Iteration Method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002,2(1):22-27.
- [5] 董继征,陈洪云,何怡刚.基于负荷分类的台区线损测算方法[J].现代电力,2006,23(1):44-48.  
DONG Ji-zheng, CHEN Hong-yun, HE Yi-gang. Method for Calculating Transformer District Line Loss Based on Load Classification[J]. Modern Electric Power, 2006,23(1):44-48.
- [6] 徐凌燕.网络结构变化对线损的影响[J].华北电力技术,2005,增刊:79-82.  
XU Ling-yan. Influence on Line Loss Affected by Network Structure Changes[J].North China Electric Power,2005,(S):79-82.

收稿日期:2007-04-16; 修回日期:2007-05-17

作者简介:

王凌(1982-),女,硕士研究生,主要研究方向为电力网线损计算;E-mail:wangling\_0819@yahoo.com.cn

许跃进(1958-),男,教授,主要研究方向为电力系统规划。

(上接第15页 continued from page 15)

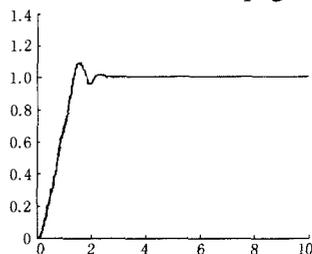


图7 常规PID励磁控制器阶跃响应仿真曲线

Fig.7 Step response of routine PID excitation controller

## 4 结束语

本文把传统PID和模糊控制相结合组成了模糊PID励磁控制器,从仿真结果看,具有较好的控制性能,既达到了较快的响应速度,又抑制了超调量,达到了优化PID控制器和模糊控制器的目的,为励磁控制器的设计提供了一种新的思路。

## 参考文献

- [1] 张代峰.数字式励磁控制系统的研究与实现[D].长沙:湖南大学,2004.  
ZHANG Dai-feng. Research and Realization of Digital Excited Control System[D]. Changsha: Hunan University, 2004.
- [2] 刘金琨.先进PID控制MATLAB仿真[M].北京:电子工业出版社,2006.  
LIU Jin-kun. The Simulation of Advanced PID Controller Based on Matlab[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2006.
- [3] 张立峰,金秀章,等.基于模糊自调整PID技术的励磁控制器研究[J].华北电力大学学报,2006,33(4):20-22.  
ZHANG Li-feng, JIN Xiu-zhang et al. Study on Excitation Controller Based on Fuzzy Self-tuning PID Technique[J]. Journal of North China Electric Power University, 2006,33(4): 20-22.

收稿日期:2007-05-08; 修回日期:2007-06-07

作者简介:

金岫(1983-),女,硕士研究生,主要从事船舶电力推进系统方面的研究;E-mail:susan19830225@sohu.com

邓志良(1962-),男,博士研究生,教授,主要从事智能控制方面的研究;

张鸿鸣(1983-),女,硕士研究生,主要从事电力系统方面的研究。