

基于遗传算法的同步发电机 模糊PID励磁控制器

王德意, 谢 博, 孙新志

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 在常规模糊比例、积分、微分 PID(Proportional, Integral and Differential)励磁控制器基础之上, 提出了一种利用遗传算法优化模糊控制器的量化因子和比例因子的同步发电机励磁控制器。介绍了同步发电机自动励磁系统及模糊 PID 励磁控制器的构成、模糊 PID 控制器的原理及作用, 给出了用遗传算法优化模糊控制器的实现方法。进行了仿真研究, 结果表明利用该方法设计的励磁控制器具有更好的动态特性和静态特性。

关键词: 遗传算法; 模糊控制; PID 控制; 励磁控制

中图分类号: TM 621; TM 76

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)06-0066-04

0 引言

励磁自动控制系统是同步发电机的重要组成部分, 对发电机运行的可靠性、经济性及电力系统的稳定性有着直接的影响。传统比例、积分、微分 PID(Proportional, Integral and Differential)励磁控制器结构简单, 具有一定的鲁棒性, 容易实现, 有着广泛的应用, 并取得了良好的控制效果。但是, 随着电力系统的发展, 要求越来越高, 传统 PID 励磁控制器已经不能满足这一要求, 寻找更好的控制算法势在必行。

模糊控制各参数一旦确定后就无法改变, 不能够大范围自动适应参数的变化。而且模糊控制器的设计过程中包含了大量的主观因素, 如控制规则的获取、隶属函数的选择、量化因子及比例因子的选择等, 某些不合理的主观成分使系统的特性指标难以得到保证, 必须通过反复试验、修正的办法加以克服。量化因子和比例因子的变化, 对控制系统的品质影响很大。因此, 优化量化因子和比例因子非常重要。

在此本文提出了一种基于遗传算法的模糊 PID 控制参数自校正励磁控制器, 首先利用遗传算法确定初始的 PID 参数, 然后由模糊控制在线自调整励磁控制的 PID 参数, 并且利用遗传算法来优化模糊控制的量化因子和比例因子, 最后由模糊控制实现在线调整。

1 同步发电机自动励磁控制系统^[1]

同步发电机自动励磁控制系统主要由同步发电机、励磁调节器、电压测量比较单元、综合放大单元、功率单元等组成。下面给出各部分的传递函数。

$$\text{发电机 } G_G(s) = \frac{K_G}{1 + \tau'_{d0}s}$$

式中 K_G 表示发电机的放大系数; τ'_{d0} 表示其时间常数。

$$\text{电压测量比较单元 } G_R(s) = \frac{K_R}{1 + \tau_R s}$$

式中 K_R 表示电压测量比较单元的放大倍数; τ_R 表示电压测量比较单元的时间常数。

$$\text{综合放大单元 } G_A(s) = \frac{K_A}{1 + \tau_A s}$$

式中 K_A 表示综合放大单元的放大倍数; τ_A 表示综合放大单元的时间常数。

$$\text{功率单元 } G_Z(s) = \frac{K_Z}{1 + \tau_Z s}$$

式中 K_Z 表示功率单元的放大倍数; τ_Z 表示功率单元的时间常数。

$$\text{励磁调节器部分 } G_k(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{1 + \tau_i s} + \tau_d s \right)$$

式中 $K_p, K_i = \frac{K_p}{\tau_i}, K_d = K_p \tau_d$ 分别为调节器的比例、积分、微分系数。

2 模糊 PID 励磁控制器^[2~4]

模糊 PID 励磁控制器是由模糊控制器和 PID 调节器构成。模糊控制器的输入变量为电压偏差值 E 和电压偏差变化率 E_c , 输出变量为 PID 控制器的 3 个参数 K_p, K_i, K_d 的变化量 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 。它首先进行模糊化计算, 然后根据模糊控制规则进行逻辑推理和判决, 得到 3 个输出变量 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 。本文采用的遗传算法优化可调因子的模糊 PID 励磁控制器结构图如图 1 所示, 主要是根据电压偏差值 E 和电压偏差变化率 E_c 调整量化因子 (K_E, K_{EC}) 和比例因子 (K_{up}, K_{ui}, K_{ud}) 大小, 最终达到优化控制效果的目的。

在这里, 选择误差的绝对值小于 30%, 那么 $K_E = 6/0.3 = 20$, 误差变化率小于 8, 则 $K_{EC} = 6/8 = 0.75$; $\Delta K_p,$

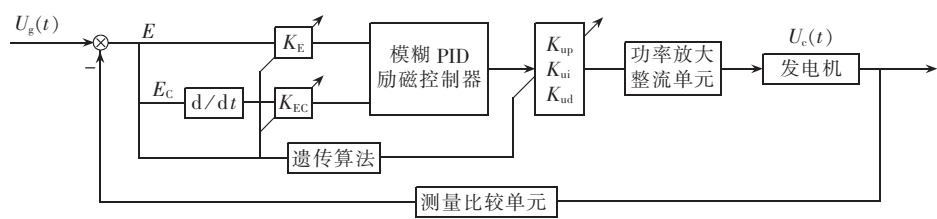


图 1 因子可调的模糊 PID 励磁控制器

Fig.1 The fuzzy-PID excitation controller with tunable factors

$\Delta K_i, \Delta K_d$ 的比例因子选择为 1,然后在线计算校正这些量化因子和比例因子。隶属函数选择三角函数,清晰化方法选用重心法。

根据 PID 参数整定原则、专家经验以及参考文献[2,3]等,可以列出输出变量 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的控制规则如表 1~3 所示。输入语言变量 E 和 E_c 的论域均为 $\{-6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6\}$,输出语言变量 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的论域均为 $\{-3 -2 -1 0 1 2 3\}$ 。

表 1 ΔK_p 的调整规则
Tab.1 The tuning rules of ΔK_p

E	E_c						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	Z	Z
NM	PB	PB	PM	PS	PS	Z	NS
NS	PM	PM	PM	PS	Z	NS	NS
Z	PM	PM	PS	Z	NS	NM	NM
PS	PS	PS	Z	NS	NS	NM	NM
PM	PS	Z	NS	NM	NM	NM	NB
PB	Z	Z	NM	NM	NM	NB	NB

表 2 ΔK_i 的调整规则
Tab.2 The tuning rules of ΔK_i

E	E_c						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	PM	NM	NS	Z	Z
NM	NB	NB	NM	NS	NS	Z	Z
NS	NB	NM	NS	NS	Z	PS	PS
Z	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
PS	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PB
PM	Z	Z	PS	PS	PM	PB	PB
PB	Z	Z	PS	PM	PM	PB	PB

表 3 ΔK_d 的调整规则
Tab.3 The tuning rules of ΔK_d

E	E_c						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	Z
NS	Z	NS	NM	NM	NS	NS	Z
Z	Z	NS	NS	NS	NS	NS	Z
PS	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
PM	PB	PS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

3 遗传算法优化模糊控制器的实现^[5,6]

下面是利用遗传算法优化模糊 PID 励磁控制器参数的主要步骤。

3.1 确定编码方案

遗传算法的编码方法有很多种,主要包括二进制编码、实数编码等,要具体情况而定。这里遗传算法的编码方式采用实数制编码,分别对自调整模糊 PID 励磁控制器的 $K_E, K_{EC}, K_{up}, K_{ui}, K_{ud}$ 等 5 个参数进行寻优。

3.2 初始群体的产生

随机产生 psize 个个体的群体,个体编码方式为实数编码,程序代码如下:

```
for i=1:psize
    for j=1:nvars
        pop(i,j)=lbound(j)+rand*(ubound(j)-lbound(j));
    end
end
```

其中 psize 是群体大小,nvars 是变量的个数,lbound 和 ubound 是变量的上下限制。

3.3 确定适应函数

个体适应度函数是确定个体评价方法,是遗传算法的关键。在这里选用 ITAE 最佳性能指标作为遗传算法优化模糊控制器的适应度函数,由于遗传算法是求最大值问题,故此适应度函数 fitness 应作如下变换:

$$J = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \tag{1}$$

式中 J 为 ITAE 性能指标。

$$fitness = 1 / (1 + J) \tag{2}$$

3.4 控制参数的选取

控制参数主要包括种群规模、变量个数、算法执行的最大代数、执行不同遗传操作的概率及其他一些辅助性控制参数等。这里初始群体大小 psize=20,变量个数 nvars=5,最大代数 maxgen=100,交叉概率 $p_c=0.85$,变异概率 $p_m=0.05$ 。

3.5 遗传算子的设计

遗传算法中的遗传算子,主要包括选择(select)、交叉(crossover)、变异(mutation)以及其他高级操作。其中,基于 Matlab 语言的交叉函数设计主要语句如下所示:

```
function[pop]=crossover(pop,nvars,psize,p_c) %交叉
first=0;
one=0;
for i=1:psize
```

```
ran1 = rand;
if ran1 < p_c
    first = first + 1;
    if(mod(first,2)==0)
        ran2 = rand;
        for j=1:nvars
            pop(one,j) = pop(i,j)*ran2 + pop(one,j)*(1-ran2);
            pop(i,j) = pop(one,j)*ran2 + pop(i,j)*(1-ran2);
        end
    else
        one = i;
    end
end
end
end
```

3.6 确定算法的终止准则

由于演化计算没有利用目标函数的梯度等信息,所以在演化过程中,无法确定个体在解空间的位置。从而无法用传统的方法判定算法的收敛与否以终止算法。常用的方法是预先规定一个最大的演化代数或者算法在连续多少代以后解的适应值没有什么明显的改进时即终止,这里选择的最大迭代代数为 100。

当然在实际运行程序的过程中可以根据具体情

况改变遗传算法的不同参数,以达到不同的效果。

4 仿真研究及结果分析

4.1 励磁控制系统参数选定^[7]

结合 Matlab 中的 simulink 仿真环境对所设计的可调因子的模糊 PID 励磁控制器进行仿真,控制系统各部分参数为:同步发电机 $\tau_{d0}' = 6\text{ s}$, $K_G = 1.0$; 电压测量比较单元 $\tau_R = 0.02\text{ s}$, $K_R = 1.0$; 整流功率单元 $\tau_Z = 0.3\text{ s}$, $K_Z = 1.0$ 。

4.2 PID 参数的整定公式

$$K_p = K_p(0) + \Delta K_p$$
$$K_i = K_i(0) + \Delta K_i$$
$$K_d = K_d(0) + \Delta K_d$$

式中 K_p, K_i, K_d 是经过模糊 PID 励磁调节器调解后的 3 个参数修正值; $K_p(0), K_i(0), K_d(0)$ 是模糊 PID 励磁调节器的 3 个参数的初始值; $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 是模糊控制器根据实时变化校正的 PID 励磁调节器的 3 个参数的变化值。

4.3 控制系统仿真框图

在 Matlab 中所设计的可调因子的模糊 PID 励磁控制系统仿真框图如图 2 所示,其中模糊 PID 子系统如图 3 所示。

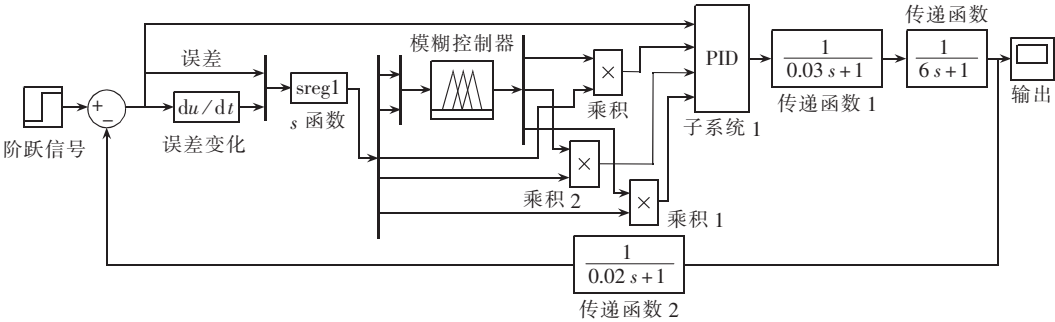


图 2 系统仿真框图
Fig.2 The block diagram of system for simulation

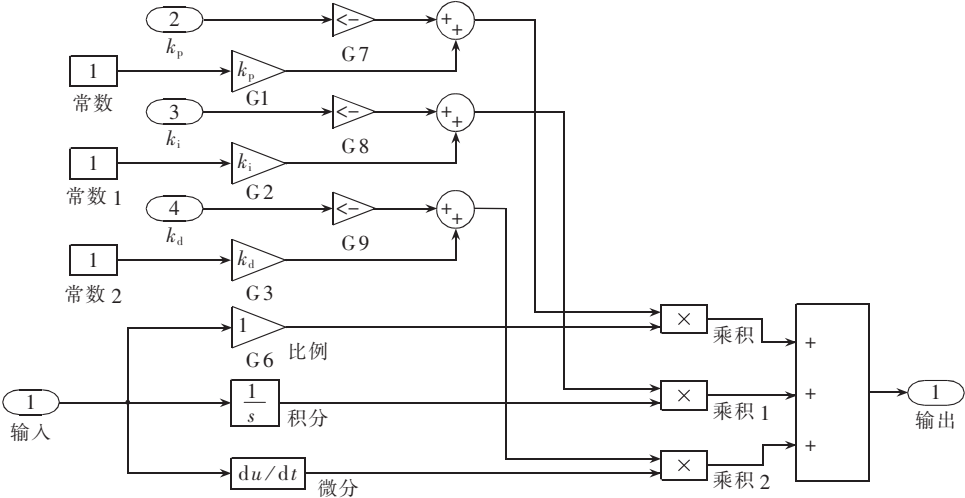


图 3 子系统框图
Fig.3 The block diagram of subsystem

4.4 仿真结果的分析及比较

在 Matlab 的 simulink 环境下对两种模糊 PID 励磁控制器(遗传算法优化因子前后的模糊 PID 励磁控制器)以及参考文献[7]中的 PID 励磁控制器进行仿真,结果如图 4 所示(图中 1 为用遗传算法优化的模糊 PID 励磁控制器仿真曲线,2 为模糊 PID 励磁控制器仿真曲线,3 为文献[7]中的 PID 励磁控制器仿真曲线)。

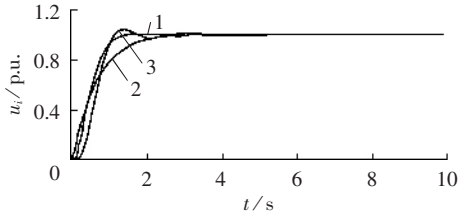


图 4 励磁控制器阶跃响应仿真曲线

Fig.4 The step responses of excitation controller

仿真结果表明模糊 PID 励磁控制器较之常规的 PID 励磁控制器有着较好的性能,遗传算法优化的可以调整的模糊 PID 励磁控制器比参数固定不变的模糊 PID 励磁控制器有较好的响应速度和较小的超调量。

5 结语

通过本文的研究可以看出:改变模糊控制中的比例因子和量化因子可以起到优化模糊控制器的目的,所设计出来的用遗传算法改变模糊 PID 励磁控制器的量化因子和比例因子有很好的效果,为励磁控制器的设计和优化提供了一种新方法。

参考文献:

- [1] 黎平. 基于 Matlab 的励磁控制系统性能分析与设计的软件开发[J]. 东北电力学院学报, 2000, 20(4): 24-29.
LI Ping. The software development of excitation systemic design and performance analysis based on the Matlab[J]. *Journal of Northeast China Institute of Electric Power Engineering*, 2000, 20(4): 24-29.
- [2] 刘骏跃. PID 参数的模糊整定器研究[J]. 机电工程, 2001, 18(4): 65-67.

- LIU Jun-yue. Study on fuzzy PID auto-tuning [J]. *Mechanical & Electrical Engineering Magazine*, 2001, 18(4): 65-67.
- [3] 姜学宝. 基于模糊 PID 控制理论的双微机励磁调节器的研制[D]. 福州:福州大学, 2001.
JIANG Xue-bao. The manufacture of dual microcomputer based on fuzzy-PID control theory[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2001.
- [4] 郝加臣, 余发山, 王福忠, 等. 参数自适应模糊 PID 控制器在自动励磁调节系统中的应用[J]. 贵州工业大学学报(自然科学版), 2003, 32(1): 54-57.
HAO Jia-chen, YU Fa-shan, WANG Fu-zhong, et al. Parameter self-tuning fuzzy PID controller's application in automatic regulating excitation system[J]. *Journal of Guizhou University of Technology (Natural Science Edition)*, 2003, 32(1): 54-57.
- [5] 李红星, 闫红书. 基于遗传算法的自调整模糊控制器[J]. 大连轻工业学院学报, 2001, 20(1): 52-55.
LI Hong-xing, YAN Hong-shu. Self-tuning for fuzzy controller using genetic algorithms [J]. *Journal of Dalian Institute of Light Industry*, 2001, 20(1): 52-55.
- [6] 施青平. 遗传算法在模糊控制规则优化中的应用[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2002, 24(3): 34-37.
SHI Qing-ping. Application of the genetic algorithm to regulation optimization in fuzzy control system [J]. *Journal of WUT (Information & Management Engineering)*, 2002, 24(3): 34-37.
- [7] 张小勇, 谷俊杰. 基于不同性能指标的励磁控制系统的分析与比较[J]. 河北电力技术, 2003, 22(2): 31-33.
ZHANG Xiao-yong, GU Jun-jie. Analysis and comparison of excitation systems based on different property indexes [J]. *Hebei Electric Power*, 2003, 22(2): 31-33.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:

王德意(1962-),男,陕西西安人,教授,主要从事厂站自动化系统与装置研究;

谢博(1980-),男,河北辛集人,硕士研究生,研究方向为电力自动化;

孙新志(1979-),男,河南焦作人,硕士研究生,研究方向为电力自动化(E-mail: sunxinzhi@tom.com)。

GA-based fuzzy-PID excitation controller for synchronous generators

WANG De-yi, XIE Bo, SUN Xin-zhi

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Based on the general fuzzy-PID (Proportional, Integral and Differential) excitation controllers, an excitation controller for synchronous generators is brought forward, whose quotation factors and scale factors are optimized by GA (Genetic Algorithm). The automatic excitation system is introduced, as well as the principle, architecture and functions of the fuzzy-PID controller. The implementation of optimization using GA is presented. Simulations are carried out and the results show that the excitation controller designed has better dynamic and static performances.

Key words: genetic algorithm; fuzzy control; PID control; excitation control