

[PID]

基于双控制器切换的模糊PID励磁控制的仿真研究

文/贵州大学电气工程学院 宗超凡

针对电力系统的不断发展需求，传统PID控制的发电机励磁控制器存在动态和静态性能的不足，提出了模糊PID控制技术在励磁系统上的应用，经过两者反复比较发现，采用传统PID控制和模糊PID控制两者优势相结合的双控制切换控制励磁系统更具优势。通过Matlab仿真，结果证明了双控制器切换控制励磁系统的优势。

同步发电机的励磁控制器，是同步发电机的重要组成部分，也是电力系统的重要组成部分。励磁控制器的控制效果直接反应到机端电压，从而影响电力系统的电压稳定。因此，研究同步发电机的励磁控制器的控制效果是具有重要意义的。

系统数学模型

同步发电机的数学模型具有多种模型，根据研究对象的不同，采取适当的数学模型，以突出研究对象的特点。忽略同步发电机内部动态特性，只对励磁系统的动态特性及控制策略进行研究，可以把同步发电机的励磁系统简化为一个一阶的单输入单输出系统（SISO）。

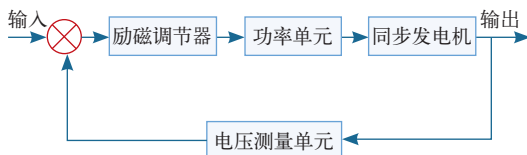


图1 同步发电机励磁系统图

1. 同步发电机的传递函数

同步发电机在运行时，三绕组在结构上完全对称，忽略励磁绕组磁饱和的非线性和气隙的磁路的不良影响。因此，可以认为发电机的机端电压与励磁电压成一个正相关的关系，可以将同步发电机简化为一阶惯性环节，从而突出励磁动态特性和控制策略的研究。同步发电机的一阶惯性环节

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

式中， K_G 为发电机的放大倍数，即发电机机端电压和励磁电压的比值； T'_{d0} 为 $T'_{d0} = x_i / (\omega r_i)$ ，是定子绕组开路时励磁绕组的时间常数。

2. 功率单元的传递函数

功率单元是由一组晶闸管电路构成的调压电路，交流电源通过整流电路时会产生换向电抗，换向电抗具有阻止电流在瞬时变化，因此，在触发控制信号和晶闸管输出之间存在滞后现象，功率单元的传递函数是一阶惯性环节

$$G_P(s) = \frac{K_p}{1 + T_p s}$$

式中， K_p 为输出功率的放大倍数； T_p 为功率单元的时间常数。

3. 电压测量单元的传递函数

电压测量单元是把发电机机端电压测量后反馈，与给定值进行比较，发电机机端电压值到数字控制器的输入，其中的整理滤波电路会产生一个滞后效应。因此，电压测量单元的传递函数为

$$G_M(s) = \frac{K_M}{1 + T_M s}$$

式中， K_M 为电压测量元件和发电机机端电压的比例系数； T_M 为测量回路的时间常数。

模糊PID励磁控制器设计

1. 模糊PID励磁控制器原理

模糊PID是将传统PID和智能控制中的模糊控

制理论的优点相结合的一种更好的控制方式。其结构图如图2所示。

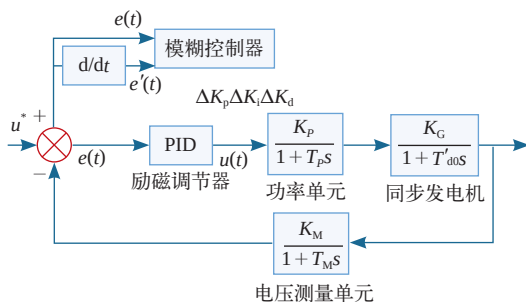


图2 模糊PID的组成结构图

模糊控制器中有两个输入变量，一个是电压偏差 e ，另一个是电压偏差对时间的导数 ec 。选用这两个变量， e 是为了表明机端电压和给定值的偏差； ec 是为了表明目前电压偏差的变化率，这给模糊控制更加鲜明的条件判断，也更加符合模糊逻辑的思维。模糊控制器是由模糊化环节，知识库，推理决策和解模糊化环节构成。

模糊控制器经过解模糊化过程，向外输出变量 dK_p ， dK_i ， dK_d 的参数给PID控制器，经PID控制器内部原有PID参数和 dK_p ， dK_i ， dK_d 参数叠加后送给功率单元，功率单元经过PID参数给同步发电机提供相应的励磁电压。

$$K_{p,i,d} = K_{p,i,d} + \Delta k_{p,i,d}$$

2. 模糊PID控制逻辑

PID的参数 K_p ， K_i 和 K_d 对系统的影响： K_p 参数加快系统的动态响应速度； K_i 参数消除系统的稳态误差； K_d 参数预测误差变化趋势，提前修正。

1) 当 $(e < 0, ec < 0)$ 时，这时励磁系统刚刚建立磁场，系统的动态响应要快，因此需要较大的 K_p 参数；当快接近给定值时，为减少超调，应减小积分作用，减小 K_i 参数。

2) 当 $(e > 0, ec < 0)$ 时，系统输出值已超过给定值，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，应减小 K_p 参数，应减小积分作用，减小 K_i 参数。

3) 当 $(e > 0, ec > 0)$ 时，系统出现大超调时，应保持 K_d 为较小值，使系统尽快稳定。误差开始减少，系统在控制作用下已呈现向给定值靠近的趋势，所以控制作用应逐渐减少，以免系统出现回调。

4) 而在系统进入稳定状态时，恢复调整初始时的PID参数。

3. 建立各个变量的论域以及隶属度函数

输入变量 e 的论域为 $[-1, 1]$ ， ec 论域为 $[-0.5, 0.5]$ ，输出变量 K_p ， K_i ， K_d 的论域为 $[-6, 6]$ 。各个输入输出变量的隶属度函数图如下图所示，本文隶属度函数采用三角形模式。本文采用在Matlab命令窗口中输入fuzzy，调出模糊控制编辑器，在其内形成个变量的隶属度函数和控制规则。

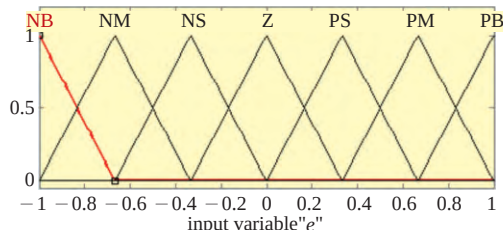


图3 输入变量 e 的隶属度函数图

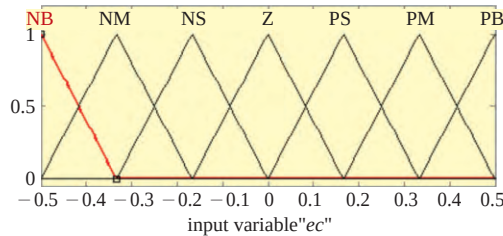


图4 输入变量 ec 的隶属度函数图

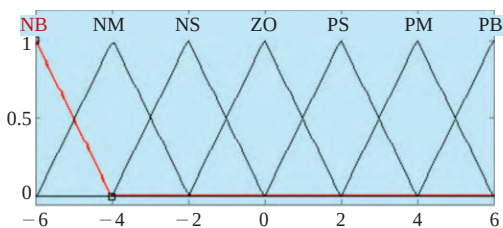


图5 输出变量 K_p ， K_i ， K_d 的隶属度函数图

4. 建立模糊规则表

根据模糊PID控制逻辑建立模糊控制规则如下表所示。

将上文的模糊控制规则在Matlab的fuzzy editor中用if-then语句编写，选取解模糊方法采用重心法(centroid)。编辑好后，可以查看控制规则关系和控制变量空间关系图，如图6、图7所示。

PID、模糊PID以及切换控制的励磁控制器Matlab仿真。

1. 励磁控制器simulink模块搭建

在simulink中构建三种励磁控制器的仿真模型，如图8所示。

其中，0 s时给定阶跃信号值为1。根据试探法，所有控制器的PID参数均为 $K_p = 100$ ， $K_i = 3$ ，

表 模糊控制规则表

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

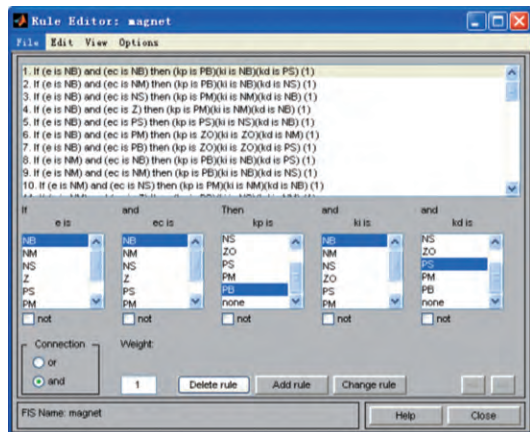


图6 模糊规则编辑器图

$K_d = 15$ 。同步发电机，功率单元和电压测量单元的传递函数参数分别是：

同步发电机 $K_G = 1$, $T_{d0}' = 6$;

功率单元 $K_p = 1$, $T_p = 0.3$;

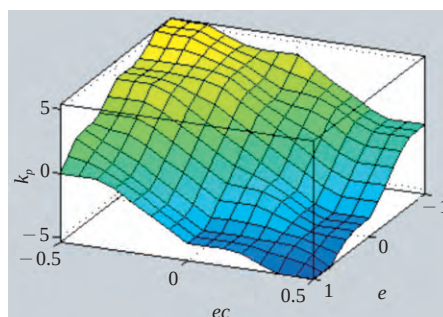


图7 k_p 与 e 和 ec 的空间关系图

电压测量单元 $K_M = 1$, $T_M = 0.02$ 。

模糊模型多采用了一个模糊控制器模块，将模糊算法的文件fis导出到Workspace中，以便模糊控制器能够读取。封装的PID的初始PID参数与传统PID参数相同，如图9所示。

(下转第106页)

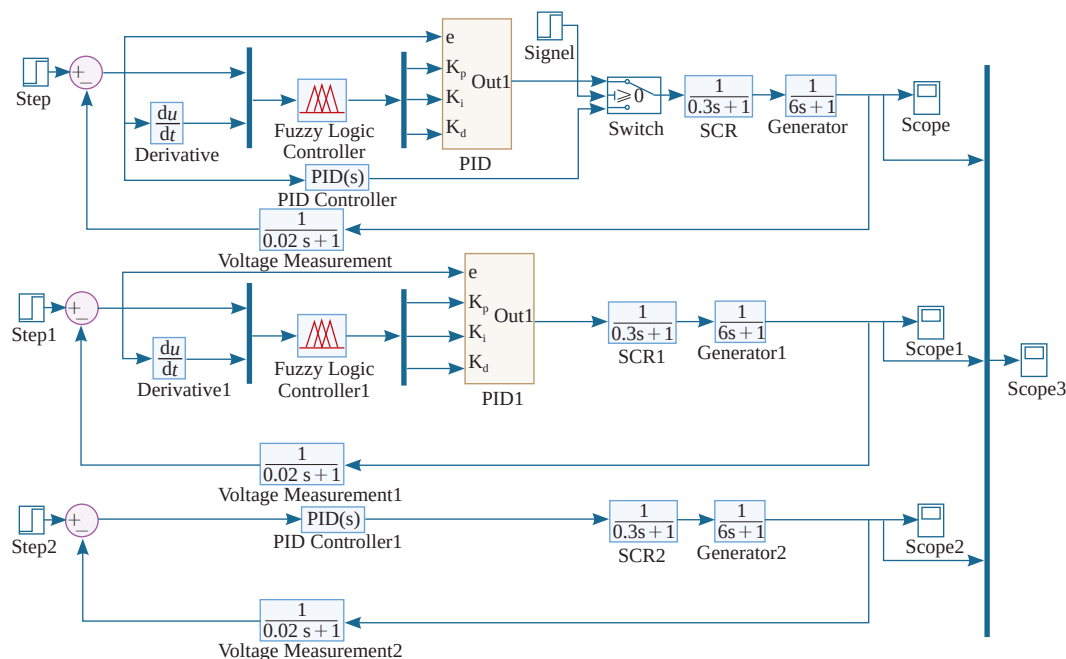


图8 三种励磁控制器的仿真模型

串联的发电机出口断路器额定开断电流值,以保证发电机出口断路器不会开断超过其额定开断电流的故障电流;当在厂用变压器低压侧发生短路时,由于短路阻抗较大,流经高速开关的短路电流(i_d)较小且短路电流上升速率较低(i_d/i_t),高速开关不应动作,而应由相关厂用变压器高、低压侧断路器动作切除故障。

结束语

大容量高速开关FSR具有额定电流大,开断能

力强、切除速度快,对于维持电力系稳定、保证设备安全、减少电气设备投资及经济运行都有重要意义。

但该接线方案尚存在一些难以克服的缺点,如当高速开关动作后,其桥体、高压熔断器均需重新更换,需要增加投资,并且有一定的发电机停电修复时间。高速开关开断的稳定性及安全性也需经工程实践进一步验证。EA

(收稿日期:2014.05.07)

[栏目编辑 朱金凤]

(上接第76页)

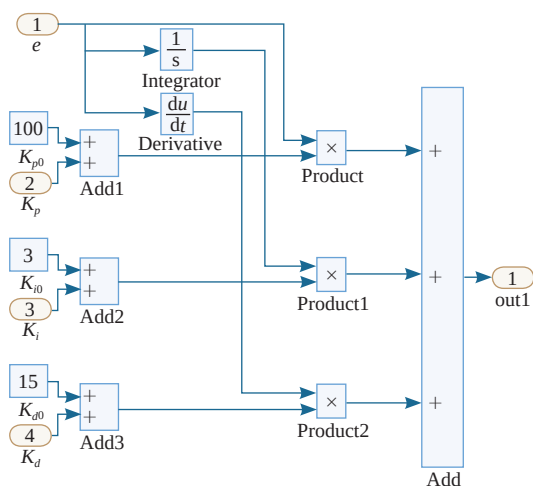


图9 封装PID的解封图

双控制器切换控制器是给开关一个控制信号,使开关在0到0.01 s采用传统PID控制,在0.01 s后采用模糊PID控制励磁系统。

2. 仿真结果

将仿真参数配置设置为仿真时长为5 s,仿真步长选为0de23tb。单击仿真按钮,出现如图10所示的仿真曲线。

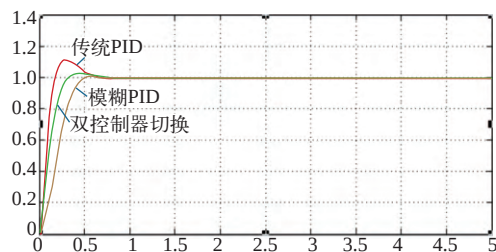


图10 双控制器切换控制、传统PID和模糊PID仿真结果比较

由仿真结果图可以看出,采用传统PID控制的励磁系统仿真曲线具有较大的超调量:11.1%,而采用模糊PID控制的励磁系统的仿真曲线能较平滑地进入控制目标值,其超调量:0.8%。传统PID具有较好的动态特性,它的响应速度比模糊PID更快。传统PID控制的上升时间是0.17 s,而模糊PID的上升时间是0.52 s。

双控制器切换控制励磁系统的控制效果介于传统PID和模糊PID的控制效果之间。双控制器切换控制励磁系统相比较于模糊PID增加了动态响应速度,具有0.31 s的上升时间。但是双控制器切换控制励磁系统比模糊PID控制的超调量大一些,具有2.8%的超调量。三者都具有较好的稳态精度。

跟踪在0.01 s处,控制器切换时的曲线情况,如图11所示。

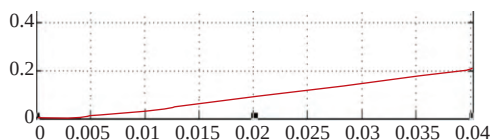


图11 0.01 s处控制器切换的仿真图

由图可以看出,两个控制器切换是平滑切换,在0.01 s处的左右导数的极限是相等的,因此认为是平滑切换。

结束语

本文将传统PID与模糊PID的优势相结合构成的双控制器切换控制的思路,具有更好的控制性能。EA

(收稿日期:2014.07.15)