

发电机调速系统的模糊逻辑控制器

孙元章 黎雄 卢强

(清华大学电机系·北京, 100084)

摘要: 本文基于发电机速度/加速度相平面上的标准模糊隶属函数提出了电力系统发电机调速系统的模糊逻辑控制器. 这种模糊逻辑控制器的输入信号可由模糊隶属函数和增益所确定, 其中模糊控制器的增益可以表示为系统短路功率的函数, 由此, 整个控制器不需任何参数调整. 通过对简单电力系统的仿真研究表明, 调速系统的模糊逻辑控制器对于系统参数和运行方式的变化以及不同的故障程度等都具有很强的鲁棒性和很高的智能水平.

关键词: 模糊控制; 调速器; 电力系统

1 引言

随着电力工业的不断发展, 电力系统的结构日趋复杂. 首先由于工业用电和民用电的比例发生了变化, 使得电力系统的运行方式也随之发生了较大变化. 这不仅反映在发电机组频繁开启, 而且也反映在电力网络内线路潮流的方向和大小也经常在变化. 其次, 由于电力系统中的众多设备都属于电磁设备, 它的参数与运行方式有着密切的关系. 因此, 运行的多变性导致众多设备参数的不确定性. 还有的设备存在着各种各样的非线性特性, 如调节器的死区非线性特性和继电非线性特性等, 使得采用目前的非线性控制理论还无法进行控制器的精确设计与分析. 由此可见, 在电力系统中研究与设计智能型控制器已成为迫切需要解决的重要问题.

近几年来, 很多研究人员相继提出了基于规则库(Rule-based)的电力系统稳定器^[1], 基于模糊逻辑(Fuzzy logic based)的自校正电力系统稳定器^[2], 以及基于模糊语言的交流马达的速度控制器^[3]等, 大量的计算机仿真结果和动态模拟实验结果表明, 上述这几种控制器与常规控制器相比, 不仅可以有效地改善电力系统的稳定性和动态响应, 而且, 对于系统参数和运行方式的变化以及不同的故障程度均表现出很强的鲁棒性. 但是, 到目前为止, 已经提出的各种模糊逻辑控制器都需要对其中几个参数进行调整和多次实验, 得到一组较好的参数, 从而使设计的模糊逻辑控制器有较好的动态性能.

本文提出一种无参数调整的模糊逻辑控制器, 并应用于发电机调速系统的控制中, 对简单电力系统的研究表明, 该种模糊逻辑控制器可以有效地改善电力系统的稳定性和动态品质, 对于系统参数和运行方式的变化以及各种故障程度均具有很强的鲁棒性. 同时, 由于该种控制器不需要调整任何参数, 整个控制器表现出了极高的智能水平.

2 模糊控制方案的设计

发电机调速器的模糊控制系统是在原来的常规控制上引入一个模糊辅助信号, 它的结

* 国家自然科学基金资助研究项目(59437100).

本文于1995年6月29日收到, 1996年1月2日收到修改稿.

构如图 1 所示. 模糊逻辑控制器的输入信号取自发电机的速度与加速度, 经模糊逻辑演算后, 其输出信号与常规控制信号一起引入到调速机构中. 由于模糊逻辑控制器有众多的判断语句, 必须采用微计算机来实现控制方案的计算, 因此数/模和模/数转换环节也是必须的.

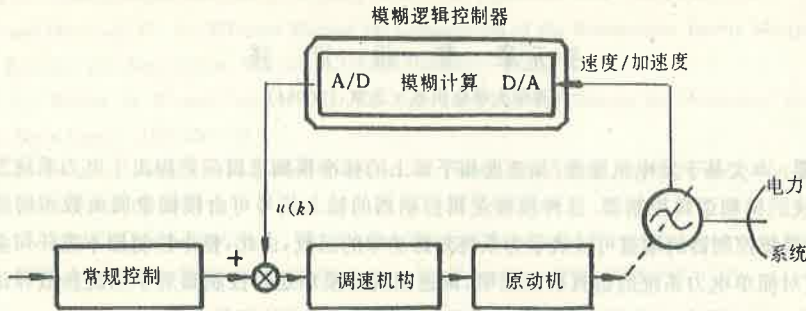


图 1 模糊逻辑调速器结构图

从图 1 中, 设模糊逻辑控制器输出的辅助信号 $u(k)$ 可以用离散信号来表示, 即

$$u(t) = u(k), \quad k\Delta T < t < (k+1)\Delta T. \quad (1)$$

这里 ΔT 为采样周期, k 为整数.

为了求得模糊逻辑控制器输出的辅助信号 $u(t)$ 的值, 首先我们要分析发电机在相平面上的各种运行状态. 设发电机的速度为 $\Delta\omega$, 发电机的加速度可定义为:

$$\Delta\dot{\omega} = [\Delta\omega(k) - \Delta\omega(k-1)]/\Delta T. \quad (2)$$

由发电机的速度与加速度即可定义发电机运行的相平面, 如图 2 所示. 发电机的任何一种运

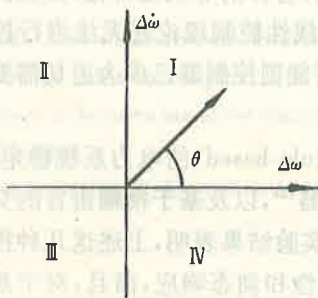


图 2 发电机运行相平面

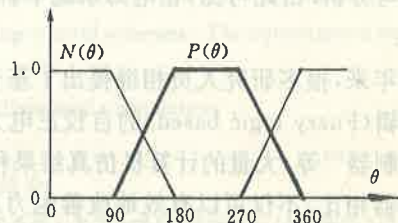


图 3 模糊隶属函数

行状态都对应着相平面上的一点, 其中原点对应着理想的稳定状况.

当发电机受到干扰后, 即当系统发生各种类型的短路故障或系统突然失去一部分负荷后, 发电机输出的电磁功率减少, 致使电机加速功率大于零, 这时发电机的速度与加速度均大于零, 运行点落在相平面的第一象限内, 这时发电机应该减少汽门开度, 即施加减速的可能性应为 $N(\theta) = 1$, 施加加速控制的可能性应为 $P(\theta) = 0$. 当系统突然切掉部分发电机组, 或突然增加大的负荷后, 发电机输出的电磁功率增大, 致使发电机加速功率小于零, 这时发电机的速度与加速度均小于零, 运行点落在相平面的第三象限内. 在这种运行条件下, 发电机应该增大汽门开度, 即施加加速控制的可能性应为 $P(\theta) = 1$, 施加减速控制的可能性应为 $N(\theta) = 0$.

当发电机运行在相平面第二和第四象限时, 可能出现 $\Delta\dot{\omega} > 0, \Delta\omega < 0$ 或 $\Delta\dot{\omega} < 0, \Delta\omega > 0$

的情况,这是由于系统故障后发电机加速能量在释放过程中所引起的.当运行在第二象限时,当 θ 角大于 90° 而小于 135° 度时,表明角加速度信号过大,这时施加减速控制的可能性大于施加加速控制的可能性.根据发电机稳定性分析的面积定则,可同样分析出在相平面上任意点所对应的控制信号.由此我们得到如图3所示的模糊隶属函数图^[4].

根据模糊隶属函数图,发电机调速系统的模糊逻辑控制规律可定义为:

$$u(k) = G_c(k) \frac{[P(\theta) - N(\theta)]}{[P(\theta) + N(\theta)]} U_{\max}. \quad (3)$$

其中 U_{\max} 为调速汽门最大开度幅值,其值为1.0, $G_c(k)$ 为模糊控制器增益.

根据模糊隶属函数的定义有 $N(\theta) + P(\theta) = 1.0$,则 $u(k)$ 可以表示为:

$$u(k) = G_c(k)[P(\theta) - N(\theta)]. \quad (4)$$

为了充分反映故障的程度与控制规律输出信号大小之间的对应关系,本文选取模糊控制器增益 $G_c(k)$ 为:

$$G_c(k) = \frac{|P_{e0}| - |P_d(k)|}{|P_{e0}| + |P_d(k)|}. \quad (5)$$

其中: P_{e0} 为发电机初始的输出功率, $P_d(k)$ 为故障时的短路功率,当发电机三相短路或三相开路这种严重的故障时,短路功率 $P_d(k)$ 为0,这时模糊控制器增益 $G_c(k)$ 取得最大值为1.0,即施加最强的控制信号,其他故障方式下 $G_c(k)$ 均小于1.0.这样选择模糊控制器增益后,可充分反映故障程度的大小与控制信号大小的关系,即故障越严重,控制信号的强度越大.

3 模拟计算实例

为研究本文所提出的发电机调速系统的模糊逻辑控制器对于提高电力系统的稳定性和改善动态品质的效果,本文以图4所示的单机无穷大母线系统为例,分别对调速器的常规控制,非线性控制^[5]和模糊逻辑控制器式(4)在发电机的调相运行方式($P + jQ = 1.2 + j0.4758$)和进相运行方式($P - jQ = 0.7 + j0.262$)下进行了详细的计算机仿真研究.

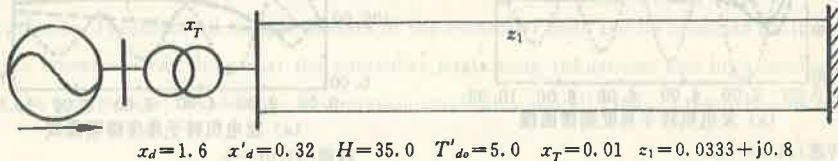
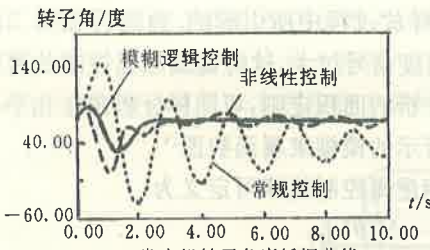
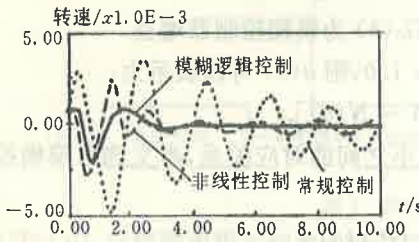


图4 单机无穷大母线电力系统结构图

在发电机为调相运行方式下,系统的故障方式设为变压器的高压侧母线零秒发生三相短路故障,当在0.4秒时刻切除系统故障的情况下,系统在三种不同控制器作用下的暂态响应如图5(a)和(b)所示.当进一步延长故障切除时间,即在0.5秒切除系统故障时,三种控制器对应的系统的暂态响应如图6(a)和(b)所示.由图5和图6可见,依据电力系统非线性数学模型的设计的非线性汽门调速控制器与不依赖于系统数学模型构造的汽门调速的模糊逻辑控制器相比较在系统受到干扰故障后几乎具有同样的暂态响应.甚至后者比前者具有更好的动态响应,因为,当采用非线性控制理论设计汽门调速控制器时,汽门的开度限制及动作死区无法较完善地考虑到控制器的设计中去.因此,得到的过渡过程响应与理论设计结果还具有一定的误差.

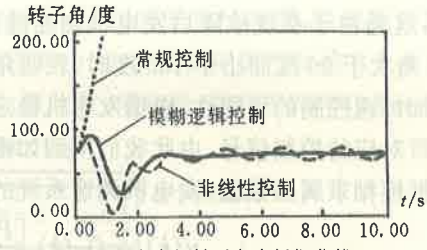


(a) 发电机转子角度摇摆曲线

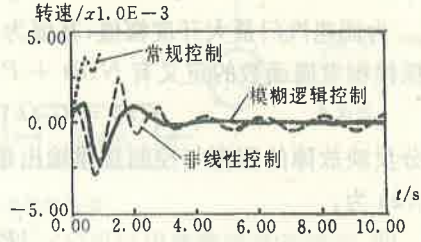


(b) 发电机角速度摇摆曲线

图5 调相运行方式下0.4秒切除的暂态响应



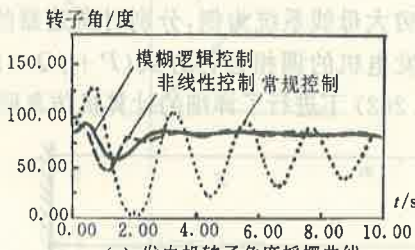
(a) 发电机转子角度摇摆曲线



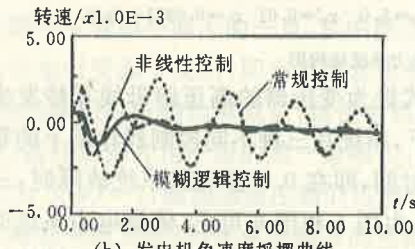
(b) 发电机角速度摇摆曲线

图6 调相运行方式下0.5秒切除的暂态响应

在发电机为进相运行方式下,系统的故障方式分别为瞬时故障和永久性故障(瞬时故障为:0秒在变压器的高压侧母线发生三相短路,0.4秒切除故障;永久性故障:0秒发生三相短路,0.4秒切除故障并切除一条线路.系统在瞬时故障下,三种控制器对应的系统的暂态响应如图7(a)和(b)所示,永久性故障下,对应的系统的暂态响应如图8(a)和(b)所示.从上图可以看出,发电机由调相运行方式变为进相运行方式后,不管是瞬时故障还是永久性故障,模糊逻辑控制器对于提高系统的暂态稳定和改善其动态品质都具有十分满意的效果.

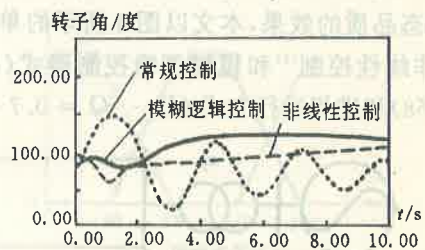


(a) 发电机转子角度摇摆曲线

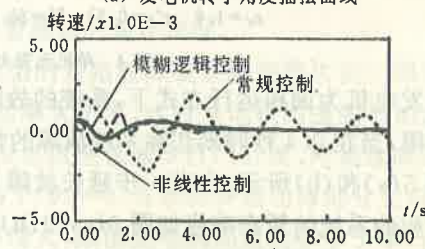


(b) 发电机角速度摇摆曲线

图7 进相运行下瞬时故障的暂态响应



(a) 发电机转子角度摇摆曲线



(b) 发电机角速度摇摆曲线

图8 进相运行方式下永久性故障的暂态响应

4 结论

依据发电机运行相平面上的模糊隶属函数构造的发电机调速系统的模糊逻辑控制器不仅可以有效地提高电力系统的暂态稳定性和改善动态品质,而且可以适应于任何故障程度

和不同的运行方式. 该控制器设计不依赖于电力系统的数学模型, 不需要进行任何实时参数辨识, 同时, 它的硬件结构和软件算法都较简单, 易于实现, 有望在电力系统中获得广泛应用.

参 考 文 献

- [1] Hiyama, T. . Rule-Based Stabilizer for Multi-Machine Power System. IEEE Trans. on Power Systems, 1990, 5(2): 403-409
- [2] Hassan, M. A. M. , Malik, O. P. and Hope, G. S. . A Fuzzy Logic Based Stabilizer for a Synchronous Machine. IEEE Trans. on Energy Conversion, 1991, 6(3): 407-413
- [3] Feng-Fu Cheng and Sheng-Nian Yeh. Application of Fuzzy Logic in the Speed Control of AC Servo System and an Intelligent Inverter. IEEE PES 1992 Summer Meeting, 92 SM, 555-3EC
- [4] Hiyama, T. and Lim, C. M. . Application of Fuzzy Logic Control Scheme for Stability Enhancement of a Power System. IFAC Symposium on Power Systems and Power Plant Control, Singapore, 1989
- [5] Qiang Lu and Yuanzhang Sun. Nonlinear Stabilizing Control of Multimachine Systems. IEEE Trans. On Power Systems, 1989, 4(1): 236-241

Fuzzy Logic Controller for Generator Governor

SUN Yuanzhang, LI Xiong and LU Qiang

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University • Beijing, 100084, PRC)

Abstract: Fuzzy logic controller of generator governor is presented in this paper based on fuzzy membership function on the phase plane of speed and acceleration. Input signal of the controller is determined by membership function and its gain which can be described as the function of generator electrical power during disturbance. Therefore all the parameters of the controller need not be modified on-line. Simulation on the simple power system show that the controller has strong robustness and high intelligence for the variation of the parameters, the changes of operation conditions and all kinds of disturbances of power system.

Key words: fuzzy logic control; governor; power system

本文作者简介

孙元章 1954年生. 1988年获博士学位, 清华大学电机系副教授. 研究方向为电力系统分析, 非线性控制, 智能控制, FACTS应用.

黎雄 1970年生. 清华大学电机系在读博士生. 研究方向为电力系统非线性控制, 智能控制及计算机的工业应用.

卢强 1936年生. 清华大学电机系教授, 中国科学院院士. 研究方向为电力系统线性非线性控制, 智能控制.