

基于自调整变间距模糊控制的 UPFC的研究

侯丽,鲁宝春

(辽宁工学院信息科学与工程学院,辽宁 锦州 121001)

摘要: 针对统一潮流控制器 (UPFC) 控制系统的设计, 提出了一种在全论域范围内带有自调整因子的变间距模糊控制算法, 该算法能同时提高系统稳态精度和动态性能, 并且本身具有优化的特性。仿真结果表明: 所设计的控制系统可以有效地控制节点电压和线路潮流, 改善了电力系统的暂态稳定性, 并且响应快, 精度高, 鲁棒性强。

关键词: 统一潮流控制器; 自调整; 变间距; 模糊控制

中图分类号: TM712 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)07-0024-03

0 引言

统一潮流控制器 (UPFC) 作为灵活交流输电系统 (FACTS) 家族中最具代表性的一员, 集多种控制功能于一体, 更具灵活性。而 UPFC 的控制效果取决于控制系统的设计, 因此设计一个简单而又控制性能优越的控制系统, 对统一潮流控制器的研究具有理论和实际意义。目前, 对 UPFC 控制系统的设计, 有传统的比例 - 积分 (PI) 控制^[1,2]、解耦控制^[3]、非线性控制^[4]、模糊控制^[5,6]。

本文是在参考文献 [5] 的基础上, 吸取了采用多个调整因子的模糊控制算法的优点, 并考虑了随着调整因子数目的增加, 会增加寻优的复杂性, 以及为进一步提高系统的控制精度和动态性能, 进而提出了一种在全论域范围内带有自调整因子的变间距模糊控制算法, 并将其应用于 UPFC 的控制系统设计中, 并对含有 UPFC 的单机无穷大系统进行了 Matlab 仿真, 仿真结果表明所设计的控制系统可以有效地控制节点电压和线路潮流, 改善电力系统的暂态稳定性, 并且响应快, 精度高, 鲁棒性强。

1 模糊控制算法

1.1 变间距模糊量化

对误差 e 、误差变化 ec 采用变间距模糊量化, 克服了等间距模糊量化在提高系统稳态精度和提高系统的动态性能之间存在的矛盾。具体算法如下:

第一步: 预设参变量。设 n_1 和 n_2 为可变的;

$L_1(0), L_1(1), \dots, L_1(n_1 - 1)$ 分别对应误差 e 的 $0, \pm 1, \dots, \pm(n_1 - 1)$ 等级的模糊子集; $L_2(1), \dots, L_2(n_2 - 1)$ 分别对应误差变化 EC 的 $0, \pm 1, \dots, \pm(n_2 - 1)$ 等级的模糊子集; 并设置量化函数为:

$$Q(x) = \begin{cases} -n_k, & x < -L_k(n_k - 1) \\ -i, & -L_k(i) < x < -L_k(i - 1) \\ 0, & -L_k(0) < x < L_k(0) \\ i, & L_k(i - 1) < x < L_k(i) \\ n_k, & x > L_k(n_k - 1) \end{cases}$$

其中: $i = 1, 2, \dots, (n_k - 1); k = 1, 2$ 。

第二步: 计算 $e(nT), ec(nT)$

$$\begin{cases} e(nT) = S - y(nT) \\ ec(nT) = e(nT) - e(nT - T) \end{cases}$$

第三步: 计算 $E(nT), EC(nT)$

$$\begin{cases} E(nT) = Q(e(nT) K_e) \\ EC(nT) = Q(ec(nT) K_c) \end{cases}$$

在此算法中, $L_k(i)$ 是主观设置的, 该参数的选取影响系统的响应性能, 选择遵循 $|L_k(i) - L_k(i - 1)| > |L_k(i - 1) - L_k(i - 2)| > \dots > 2L_k(0)$, 这样做的目的是为了保证控制系统的稳态精度高, 动态性能好。

1.2 全论域自调整模糊控制规则

设误差 E , 误差变化 EC 及控制量 U 的论域为:

$$\{E\} = \{EC\} = \{U\} = \{-N, \dots, -1, 0, 1, \dots, N\}$$

则在全论域范围内带有自调整因子的模糊控制规则为:

$$\begin{cases} U = - < E + (1 -) EC > \\ = \frac{1}{N} (s - o) |E| + o \end{cases}$$

基金项目: 辽宁省高校重点实验室开放课题资助 (200521315); 辽宁省教育厅科研项目资助 (202152049)

式中: $0 \leq \alpha \leq 1, [0, \alpha]$

上述控制规则的特点调整因子在 0 至 α 之间随着误差的绝对值 $|E|$ 的大小成线性变化,体现了调整因子按误差的大小自动调整误差对控制作用的权重。当误差大时,对误差的控制作用给予较大的权重,以尽快消除误差提高响应速度;当误差小时,为避免系统响应的超调,对误差变化的控制作用给予较大的权重,以尽快进入稳态。显然这种自调整过程符合人在控制决策过程中的思维特点,已经具有优化的特点,且非常易于通过微机实时实现其控制算法。

2 UPFC的模糊控制

UPFC装置由两个共用直流侧电容 C 的电压源逆变器 VSI (Voltage Source Inverter)组成, VSI_1 通过变压器 T_1 并联接入系统, VSI_2 通过变压器 T_2 串联接入系统,如图 1 所示。

UPFC控制的主要目标是保持所接线路的有功和无功为给定值,也要保持所接入点母线电压为给定值。所采用的控制方式是通过控制 VSI_1 输出电压的大小来控制其输出无功的大小和性质,进而达到控制所接母线的电压的目的;通过控制 VSI_2 输出电压的横分量和纵分量来分别控制线路的有功和无功功率。

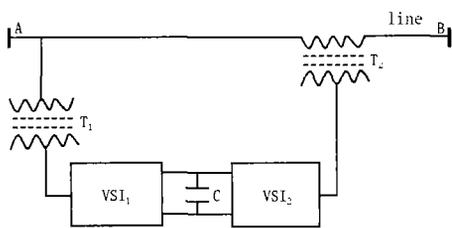


图 1 UPFC结构框图

Fig 1 Structure of UPFC

UPFC所接母线电压以及线路的有功和无功功率均采用在全论域范围内带有自调整因子的变间距模糊控制策略。控制框图如图 2~4 所示。

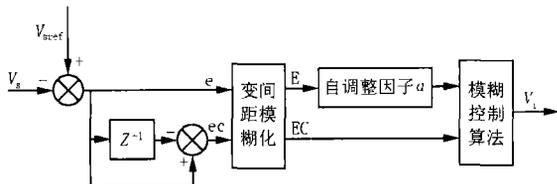


图 2 UPFC并联侧电压的模糊控制框图

Fig 2 Voltage fuzzy control of UPFC shunt side

其中: V_s, V_{sref} 表示 UPFC 所接母线电压及其参考值;

V_{jy} 代表 VSI_1 输出电压的大小。

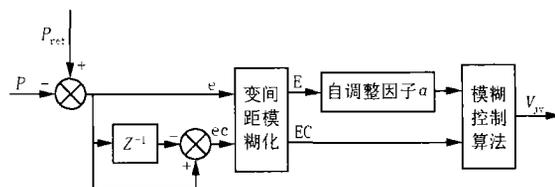


图 3 UPFC串联侧有功功率的模糊控制框图

Fig 3 Voltage power fuzzy control of UPFC series side

其中: P, P_{ref} 表示线路的有功功率及其参考值; V_{jy} 代表 VSI_1 输出电压的横分量。

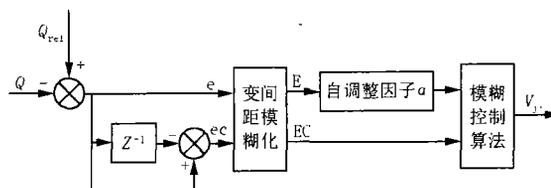


图 4 UPFC串联侧无功功率的模糊控制框图

Fig 4 Reactive power fuzzy control of UPFC series side

其中: Q, Q_{ref} 表示线路的无功功率及其参考值; V_{jx} 代表 VSI_2 输出电压的纵分量。

3 仿真结果

设 UPFC 安装于单机无穷大系统中发电机出口升压变压器的高压母线侧,经双回线与无穷大系统相连,系统结构如图 5 所示^[7]。

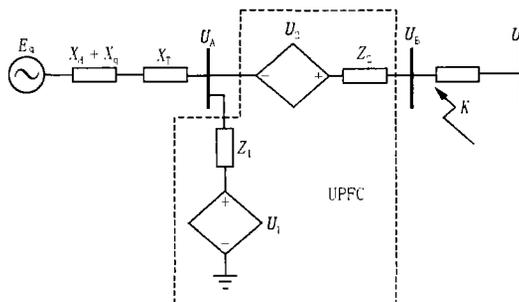


图 5 UPFC安装于单机无穷大系统

Fig 5 UPFC in single machine infinite system

仿真参数如下:

1) 系统结构和设定参数

发电机参数: $E_q = 1.6$ pu, $X_d = 0.256$ pu, $x_q = 1.003$ pu; 无穷大节点母线电压: $U_s = 1$ pu; 线路潮流设定值: $P_{Lset} = 0.5$ pu, $Q_{Lset} = 0.3$ pu; UPFC接入点母线电压: $U_{Aset} = 1.1$ pu; 升压变压器参数: $X_T = 0.1$ pu; 线路参数: $R_L = 0.1$ pu, $X_L = 0.6$ pu; 并联侧变压器参数: $R_1 = 0.05$ pu, $X_1 = 0.2$ pu; 串联侧变压器参数: $R_2 = 0.05$ pu, $X_2 = 0.1$ pu;

2) 发电机动态方程参数和直流侧电容电压动态方程参数

发电机惯性时间常数: $H = 20$; 发电机阻尼系数: $D = 8$; 频率: $f_N = 50$ Hz 直流侧电容容量: $C = 1$ pu

假设 $t = 1.2$ s时,系统在 K 点发生三相对称短路,经过 0.1 s后故障切除。3 s时 $P_{L,se}$ 跃变到 0.7 , $Q_{L,se}$ 跃变到 0.4 ;不考虑发电机的励磁调节过程。仿真结果如图 6所示。

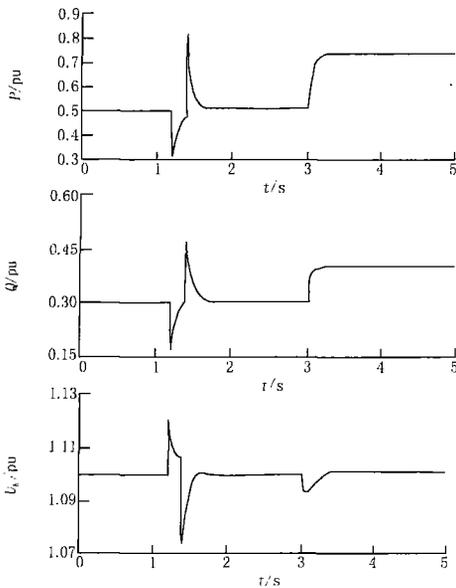


图 6 仿真结果

Fig 6 Result of simulation

4 结论

本文从等间距模糊量化在提高系统稳态精度和提高系统的动态性能之间存在的矛盾为出发点,提出了变间距模糊量化。从带有多个调整因子模糊控制算法随调整因子数目的增加,会增加寻优的复杂性,并且实时性差为出发点,提出了带有自调整因子的模糊控制算法。运用 Matlab 仿真工具对含 UPFC 的单机无穷大系统发生大的扰动进行了仿真,结果证明了采用所提出的模糊控制算法能够有效地控制节点电压和线路潮流,改善了电力系统的暂态稳

定性,并且具有响应快,精度高,鲁棒性强等优点。为 UPFC从理论到投入实际应用提供了重要的指导意义。

参考文献:

- [1] Padiyar K R, Uma R K Modeling and Control of Unified Power Flow Controller for Transient Stability[J]. Electrical Power and Energy Systems, 1999, 21: 1-11.
- [2] HUANG Zhen-yu, NI Yi-xin, SHEN C M, et al Application of Unified Power Flow Controller in Interconnected Power Systems—Modeling, Interface, Control Strategy and Case Study [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15 (2): 817- 824.
- [3] 鞠儒生,陈宝贤,邱晓刚. UPFC控制方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(6): 60-65.
JU Ru-sheng, CHEN Bao-xian, QIU Xiao-gang Basic Control of Unified Power Flow Controller [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(6): 60-65.
- [4] 谢桦,等. 统一潮流控制器的非线性控制和对电力系统稳定性的改善[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(19): 1-4.
XIE Hua, et al Nonlinear Control for UPFC to Improve Transient Stability of Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(19): 1-4.
- [5] 王超,舒乃秋,吕小静. 统一潮流控制器的模糊控制策略设计. 继电器, 2003, 31(10): 13-17.
WANG Chao, SHU Nai-qiu, LYU Xiao-jing Fuzzy Control Strategy Design of Unified Power Flow Controller [J]. Relay, 2003, 31(10): 13-17.
- [6] 李浩昱,吴建强. 模糊神经网络在能量缓冲统一潮流控制器中应用的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(10): 83-88.
LI Hao-yu, WU Jian-qiang Study on UPFC with Energy Snubber and Its Fuzzy Neural Network Control [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(10): 83-88.
- [7] 颜伟,朱继忠,孙洪波,等. UPFC的模型的控制策略研究[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(6): 36-41.
YAN Wei, ZHU Ji-zhong, SUN Hong-bo, et al Study on Model and Controller of UPFC [J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(6): 36-41.

收稿日期: 2005-09-09; 修回日期: 2005-11-17

作者简介:

侯丽(1981-),女,硕士研究生,研究方向为电力电子技术在电力系统稳定控制中的应用; E-mail: houli_0362@126.com

鲁宝春(1964-),男,教授,主要从事电力系统电压稳定的研究。

Study on UPFC based on self-adjusting and variable interval fuzzy control

HOU Li, LU Bao-chun

(Information Science & Engineering College, Liaoning Institute of Technology, Jinzhou 121001, China)

(下转第 37页 continued on page 37)

Lines[J]. IEEE Trans on Robotics and Automation, 2003, 19
(3): 474-480.

监控、随机 Petri网的研究; E-mail: dayspring_js@126.com

罗毅 (1966-),男,副教授,主要从事 EMS/DMS、电力系统安全
监控的研究;

涂光瑜 (1941-),男,教授,博士生导师,长期从事电力系统运行
与控制的研究。

收稿日期: 2005-08-25; 修回日期: 2005-10-14

作者简介:

罗金山 (1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统事故

Study on fault chains monitoring in regional power network by using a stochastic Petri net model

LUO Jin-shan, LUO Yi, TU Guang-yu, SONG Fu-long

(College of Electronic & Electrical Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Regional power network faults are generally caused by complicated sequences of concurrent chain events. If the model of fault chain can be built before the fault and the complicated chain events sequence of system faults can be analyzed, it is beneficial to monitor the fault of power system. This paper uses a new method on building chain events model of regional power network based on stochastic Petri nets and designs a rapid dynamic searching algorithm to calculate the chain events of the regional power network based on the change of load and structure. This method uses quantitative analysis to locate the dangerous fault chains which require monitoring specially and designs a control algorithm based on influencing factors of regional power network fault. Finally, a regional power network instance is analyzed, the result proves that this method is valid and correct.

Key words: fault chains; stochastic Petri nets; security monitoring; predictive control

(上接第 9 页 continued from page 9)

[8] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护 (第三版) [M]. 北京:中国电力出版社,1994.

HE Jia-li, SONG Cong-ju. The Protective Relaying Elements of Electric Power System, Third Edition [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.

收稿日期: 2005-09-13; 修回日期: 2005-10-31

作者简介:

胡佐 (1980-),男,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护
研究; E-mail: huzuo8000@yahoo.com.cn

李欣然 (1957-),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统分
析与控制,电力系统辨识与建模,配电网故障诊断与状态监测等方
面的研究工作。

Analysis of earth fault selection based residual current and current angle integration

HU Zuo, LI Xin-ran, SHI Ji-yin

(Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: This paper analyzes the fault feature of system with neutral ungrounding, a new scheme of line selection about earth fault diagnosis in the networks based on "Residual Current Method" and transient current angle comparison with fuzzy information fusion is proposed. It has simple design and concision subordinate function for integrated line selection. A sample selection platform has been built for testing the method. The operation results show the new method has excellent disturbance-proof ability. It is an ideal method for earth-fault selection.

Key words: artificial network; residual current comparison; transient current angle comparison; fuzzy information fusion; integration line selection

(上接第 26 页 continued from page 26)

Abstract: In this paper, a variable interval fuzzy control arithmetic with self-adjusting factor is proposed in the whole field, which aims at the control system design of UPFC. This control arithmetic can simultaneously enhance steady precision and dynamic performance, moreover it has optimization characteristic. Simulation result indicates that node voltage and line power flow are effectively controlled and the transient stability of power system is improved in the designed control system with quickly response, high precision accuracy and strong robust.

Key words: unified power flow controller; self-adjusting; variable interval; fuzzy control