

# 基于多 Agent 技术的电流速断保护自适应研究

杨伟, 华梁

(南京理工大学动力工程学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 现代电力系统是一个复杂开放的分布式系统, 多 Agent 系统(MAS)是分布式人工智能的新技术。将多 Agent 技术应用于自适应保护中去, 建立基于 MAS 的自适应保护体系, 通过各个 Agent 之间的协作, 使得自适应保护能够自动智能地适应电力系统的各种变化。以自适应电流速断保护为实现目标, 利用 Agent 设计原理, 对各 Agent 进行各自功能的定义和它们之间通信机制的设计。为了验证其可行性, 在一简单系统上对其进行仿真, 结果表明, 基于 MAS 的自适应电流速断保护, 不仅可以扩大保护范围, 还可以缩短后备保护的動作时间。

**关键词:** 多 Agent 系统; 自适应继电保护; 电流速断; 保护范围; 動作时间

## Study on current fast tripping adaptive protection based on multi-agent technology

YANG Wei, HUA Liang

(College of Power Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Modern power system is a complex, open and distributed system. Multi-agent is a new technology of distributed artificial intelligence. In this paper, the multi-agent theory is applied in the adaptive protection, and the architecture of MAS is built in it. Through the cooperation among agents, the adaptive protection can adapt protection to various changes of power system automatically and intelligently. To achieve adaptive current fast tripping protection, this paper defines each agent function and designs the communication mechanism between them by the Agent's design principle. To prove its feasibility, a simulation is made on a simple system. The results of the simulation validate that MAS-based adaptive current fast tripping protection can not only expand the scope of protection, but also shorten the backup protection action time.

**Key words:** multi-agent system; adaptive protection; current fast tripping; protection scope; action time

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)10-0005-06

## 0 引言

电力系统保护实质上属于电力系统自动控制的范畴, 它的主要作用是切除发生故障的设备以保证电力系统的正常运行。它的性能关系到电力系统中输电线路的传输容量和电力系统安全运行的可靠性及灵活性。由于技术等方面的原因, 由常规的继电保护装置构成的继电保护系统是一种非自适应继电保护系统, 其动作特性不能随着电力系统的运行方式的变化而自动改变。

自适应保护是在 20 世纪 80 年代提出的一个研究课题。自适应保护的基本思想是使保护尽可能地适应电力系统的各种变化, 进一步改善保护的性能。为了适应电力系统运行情况和故障条件的变化, 自适应保护必须能够快速获取大量的信息并能够进行高速实时信号处理<sup>[1,2]</sup>。

虽然自适应继电保护的研究已经开展多年, 并且也取得一定的成果, 但是现有自适应继电保护尚未充分利用计算机的潜在智能和电力系统固有的分布性来构筑保护系统。随着分布式人工智能(DAI)技术的一个分支——多 Agent 系统(MAS)在电力系统中的应用, 使得基于多 Agent 的自适应保护系统, 可以改进现有保护系统的缺陷, 使保护更趋于完善<sup>[3-6]</sup>。

## 1 MAS 简介

尽管目前还没有关于 Agent 的统一定义, 但不能阻挡该应用技术的发展。基于 Agent 的应用系统已经在制造业、过程控制、电信系统、交通运输管理、信息收集与过滤、电子商务和商业过程管理、娱乐及远程医疗等许多方面发挥了重要作用。在这些应用系统中, Agent 系统是指能够主动感知所处环境的变化并能够作用于环境的软硬件集合。

一般来说, Agent 具备自治性、社会性、反应性和自发性。对于个别应用系统来说,也可能主要利用 Agent 的移动性等特征。

多 Agent 应用系统往往用于解决单个 Agent 无法处理的问题,因此它不但涉及设计单个 Agent 时遇到的体系结构、开发手段等问题,更重要的是处理好 Agent 间的组织策略、消息传递、冲突化解、协调协作与协商等。总的来说,多 Agent 系统具备如下 4 个特点: 1) 各 Agent 完全有能力解决自身应解决的问题,但都只能解决整个系统中的部分问题; 2) 各 Agent 有各自的数据输入、输出接口,这样整个系统中的数据被分散了; 3) 对整个系统没有一个统一的控制,但各 Agent 之间能够通过协作的机制来解决各 Agent 之间存在决策分歧时的问题; 4) 各 Agent 的计算过程是异步的<sup>[7-9]</sup>。

目前在电力研究领域中,由 90 年代初期开始,多 Agent 技术开始应用于电力市场、EMS、电压控制、潮流<sup>[10-14]</sup>等方面。国外的一些研究成果表明: Agent 在电力控制领域具有实用性,可以将其应用于继电保护领域。

将 Agent 技术引入继电保护领域始于 1995 年。在 1995 年“能量管理和电力输送”国际会议以及 1996 年“智能系统在电力系统中的应用”国际会议上, Wong 和 Kalam 提出将多代理技术应用于电力系统保护设计、分析和评估,以实现自动化,同时也可以作为保护系统人员进行培训的工具<sup>[15-17]</sup>。

## 2 基于 MAS 的电力系统自适应保护设计

### 2.1 系统结构和各 Agent 的功能

根据保护系统固有的分布性特点,建造一种分层分布式的混合型组织结构,各 Agent 按照各自承担的职责采用分级分布,整个多 Agent 系统在组织结构上是分层的,在控制上是分布的<sup>[3]</sup>。其结构如图 1 所示。多个 Agent 采用分级分布,对应不同层次的任务。系统中每个 Agent 都是具有独立求解能力的个体,具有很高的灵活性和自主性,Agent 这种无需外界干预的自主决策能力提高了整个保护系统的可靠性、灵活性和自适应性。

为了实现整个系统的协作保护,按照实现功能的不同,将 Agent 进行分类,Agent 可大可小,但组成多 Agent 系统的每个 Agent 都有自己的功能和目标。

执行层由数据采集 Agent 和执行 Agent 组成。其中,数据采集 Agent 可以实时采集被保护设备的电流值、电压值和相角等,进行预处理后传递给计算 Agent; 执行 Agent 根据保护 Agent 发送的信息,发出

相应的跳闸信号或告警信息。

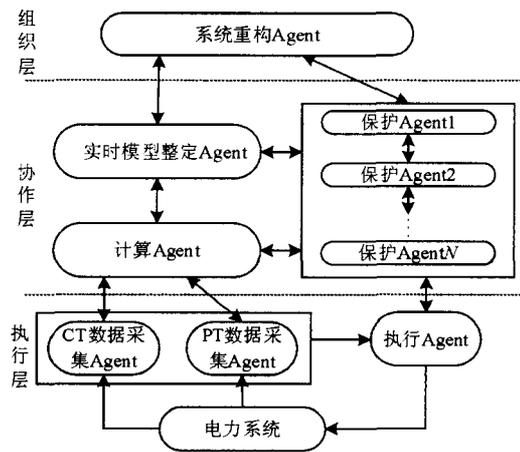


图 1 基于 MAS 的自适应保护系统结构

Fig.1 MAS-based adaptive protection system structure

协作层由计算 Agent、实时模型整定 Agent 和保护 Agent 组成。计算 Agent 根据数据采集 Agent 传送的实时信息,计算出判断系统运行状况所需的值,并将计算结果传送给实时模型 Agent; 实时模型 Agent 通过和系统重构 Agent 交互,根据系统的运行状态,对系统模型进行实时更新,对保护的定值进行在线自适应调整,并将重新整定的结果发送给保护 Agent; 保护 Agent 根据不同的保护对象,确定每套装置的主保护 Agent 和后备保护 Agent,并且根据接收到的信息,按照选择性和可靠性的要求选择合适的执行 Agent 发出相应的自适应控制信号。

组织层主要由系统重构 Agent 组成,其主要功能包括从全局整体的角度对保护进行规划,当系统结构发生变化或开关变位后,对网络的拓扑重新进行调整,并以一定方式显示给运行人员。利用通信网络,系统重构 Agent 可以共享全系统的运行和故障信息,各个保护单元在分析这些数据的基础上协调动作,提高整个系统的可靠性和灵活性。

通过三层之间的相互协作, MAS 就能自动智能地使保护适应不断变化的电力系统。

### 2.2 协作模型

协作(Cooperation)是联盟的目标,随着计算机系统越来越复杂,将 Agent 集成起来则更具挑战性,而 Agent 间的协作是保证系统能在一起共同工作的关键,是与分布式计算、面向对象的系统、专家系统等区别开来的关键性概念之一。

早期的协作也叫资源共享或交互,可以通过共享变量,消息传递实现。协作模型则通过提供一个框架,来表示 Agent 间的交互。

Overhearing 协作模型的优点是: 增加了协作的灵活性, 协作结果被增强。该模型结构如图 2(a)所示。

原理: Agent 要求协作者 (称为 Service Agent) 协作, 在协作过程中, 通过 overhearing, 一些外部的 Agent (称为 Suggestive Agent) 能够提供帮助, 有助于协作的进行。

在本系统中, 保护 Agent 可以视为 Service A, 需要在故障环境下要求 Service B (实时模型整定 Agent) 提供协助, 才可以完成保护动作。而实时模型整定 Agent 的数据库并不和电力系统的实时运行参数是同步的。这就需要 Suggester (计算 Agent) 实时地把经过计算的电力系统的运行数据量传递给甲和乙, 这样就优化了协作。适用于本系统的 Overhearing 模型结构如图 2(b)所示。

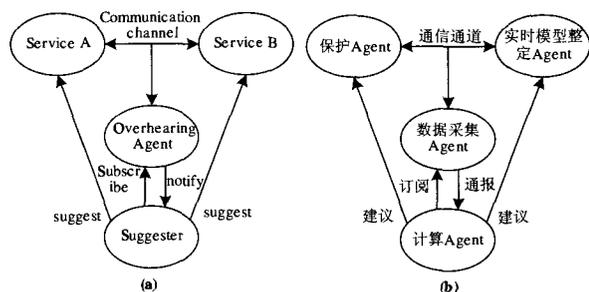


图 2 协作模型

Fig.2 Cooperation model

### 3 基于 MAS 的自适应电流速断保护设计

本文主要以反应式体系结构 (Reactive Architecture) 作为框架, 设计系统中自适应电流速断保护部分。

#### 3.1 自适应电流速断保护算法<sup>[18]</sup>

电流速断保护可看成是一种瞬时动作的过电流保护, 它的动作选择性不依靠时限, 而是依靠动作电流来解决。传统的电流速断保护, 保护的整定值在运行中保持不变, 为保证动作的选择性, 保护定值的整定必须按躲过系统最大运行方式时线路末端三相短路的条件进行。自适应电流速断保护, 其关键技术有两点: 一是短路类型的判断; 二是系统运行方式的在线检测。其动作电流表达式为:

$$I_{dzl} = K_k K_g \left| \frac{E}{Z_{sj} + Z_l} \right|$$

式中:  $Z_{sj}$  为保护在线实时求出的系统综合阻抗,

$K_g$  为故障类型系数。

#### 3.2 系统流程图

基于多 Agent 系统的自适应电流速断保护系统流程图如图 3 所示。

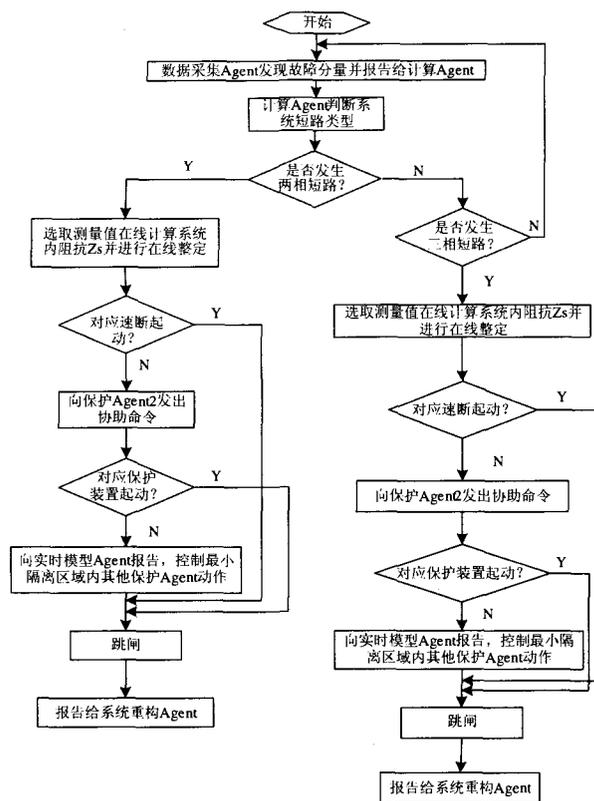


图 3 基于多 Agent 系统的自适应电流速断保护系统流程图

Fig.3 MAS-based adaptive current protection system

系统开始运行, 数据采集 Agent 根据前后周期采集的数据量的变化, 计算出故障分量, 并立即报告给计算 Agent。计算 Agent 判断出故障类型, 根据计算需要选择合适的电气量进行系统内阻抗的在线计算, 并将其发送给实时模型整定 Agent。接收到数据后, 实时模型整定 Agent 在线整定出动作电流, 将其发送给相应线路的电流速断保护 Agent。电流速断保护 Agent 通过与其他保护 Agent 的交互, 确定其动作原则, 发送消息给相应线路的执行 Agent 操作跳闸。如果此执行 Agent 拒动, 则由相邻线路的执行 Agent 协作完成跳闸动作。如还没有成功, 则由实时模型 Agent 控制最小隔离区域内其他保护 Agent 动作并报告给系统重构 Agent。

在整个过程中, 所有 Agent 的行为起源于外界的“刺激” (线路发生故障), 通过各 Agent 之间的通讯 (请求协助) 来完成各自 Agent 的功能。Agent 的行为并不需要自身的“深思熟虑”, 因此, 该 Agent 系统属于反应式体系结构。

### 4 仿真算例

选取图 4 所示简单系统作为仿真对象, 验证基于多 Agent 自适应保护系统的可行性, 其中系统的  $Z_{smin} = 5 \Omega$ ,  $Z_{smax} = 9 \Omega$ , 线路阻抗  $Z_0 = 0.32 \Omega/km$ ,  $K_k = 1.2$ 。

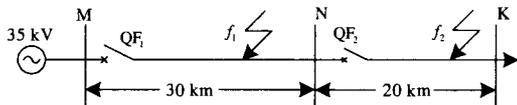


图4 系统接线图

Fig.4 System connection

4.1 仿真算例1

假设 $t=0.1$  s时, 距M侧12 km的 $f_1$ 处发生AB两相短路, 系统阻抗为 $7.8 \Omega$ 。其中 $QF_1$ 的电流速断和限时电流速断的配合时限为 $\Delta t = 0.5$  s。

根据传统电流速断保护的计算公式, 动作电流小于短路电流, 因此,  $f_1$ 点故障时, 故障点超出了 $QF_1$ 的电流速断保护范围, 所以 $f_1$ 点故障时, 由 $QF_1$ 的保护II段经过0.5 s的延时, 在 $t=0.6$  s时将故障切除。

而采用基于多Agent的自适应电流速断保护, 各Agent协作整定保护过程如图5所示。

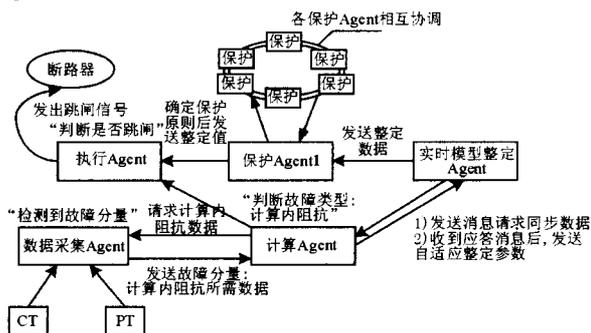


图5 故障处理过程

Fig.5 Fault processing

系统开始运行, 位于此线路的数据采集Agent1中的电压、电流互感器根据前后周期采集的数据, 发现电压电流值有异常突变, 立刻记录数据, 进行预处理, 根据前后工频周期采样值先计算出故障分量, 并将故障分量及自身IP报告给计算Agent。

计算Agent根据故障线路的位置, 向实时模型整定Agent请求寻找足够的资源(包括系统电源阻抗, 线路单位阻抗等)以保证在线整定。当实时模型整定Agent在数据库中找到线路信息后, 将其调出, 并向计算Agent发送消息, 请求系统内阻抗及故障类型信息。同一时间, 计算Agent判断出AB相发生两相短路。计算Agent立刻向对应的数据采

集Agent1请求此线路主保护安装处的负序电压和电流。

数据采集Agent1根据收到的消息, 根据端口号取得保护安装处负序电压、电流过滤器中的负序电压、电流, 并将数据发送给计算Agent。计算Agent根据负序电压、电流, 实时计算出系统阻抗为 $7.8 \Omega$ 。同一时间, 计算Agent把短路类型、系统阻抗和线路保护装置的IP报告给实时模型整定Agent。

实时模型整定Agent根据自适应整定原则计算出实时整定值, 向保护Agent1(电流速断保护Agent)发送自适应信号。

保护Agent1在收到自适应整定数据后, 与其它保护Agent进行协调, 判断应该由 $QF_1$ 进行保护跳闸, 根据IP地址立刻将自适应控制信号发送给执行Agent1。

执行Agent1根据短路电流实际值, 判断应该跳闸, 发出跳闸指令。跳闸成功后, 执行Agent发送跳闸成功信息给实时模型整定Agent, 用于管理和信息共享。

假设整个数据处理、传输过程为0.002 s, 执行Agent1检测到故障后迅速发出跳闸指令, 在 $t=0.102$  s时将故障切除。

常规保护与基于Agent的自适应保护性能上的比较如表1所示。

表1 常规保护与基于Agent的自适应保护性能比较

Tab.1 Conventional protection and agent-based adaptive protection performance comparison

保护方式	故障切除设备	故障切除时间
常规保护	$QF_1$ 的保护II段	0.6 s
基于Agent的自适应保护	$QF_1$ 的保护I段	0.102 s

仿真结果表明, 与常规保护相比, 基于多Agent的自适应保护, 能够根据系统的实际运行方式调整保护定值, 扩大保护的I段动作范围, 改善保护系统的性能。

4.2 仿真算例2

设 $t=0.1$  s时, 距N侧9 km处 $f_2$ 点, 系统发生三相短路, 系统阻抗为 $5.1 \Omega$ 。其中 $QF_1$ 和 $QF_2$ 的后备保护配合时限为 $\Delta t = 0.5$  s。根据常规保护和自适应保护算法可知 $f_2$ 位于 $QF_2$ 常规速断保护和自适应电流速断保护范围内。假设 $QF_2$ 拒动, 针对这种情况, 常规保护在 $t=0.6$  s, 由 $QF_1$ 的III段过流保护跳开 $QF_1$ 将故障切除。

而基于多Agent的保护, 按照算例1的故障处理过程, 执行Agent2向 $QF_2$ 发出跳闸指令。经过0.1 s的故障切除时间, 如果 $QF_2$ 拒动, 则执行Agent2会发送跳闸失败信息给实时模型整定Agent。实时模型

整定Agent向上报告给系统重构Agent。操作人员通过终端得知QF<sub>2</sub>拒动, 便于维护。同一时间, 如果数据采集Agent检测故障仍存在(为了防止其它执行Agent误动已将故障切除), 通告给执行Agent2, 需要由QF<sub>1</sub>跳闸。因此执行Agent2向执行Agent1发送消息请求协助。

执行Agent1收到此消息后, 立刻发出跳闸指令, 控制QF<sub>1</sub>将故障切除。假设整个数据处理、传输过程为0.002 s, 最终在t=0.202 s时将故障切除。

整个协作过程示意图如图6所示。

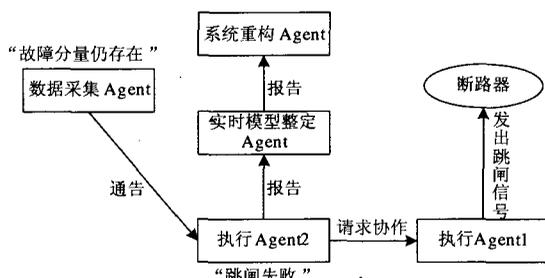


图6 协作过程

Fig.6 Cooperation processing

常规后备保护与基于Agent的自适应后备保护性能上的比较如表2所示。

表2 常规后备保护与基于Agent的自适应后备保护性能比较

Tab.2 Conventional backup protection and agent-based backup protection adaptive performance comparison

保护方式	故障切除设备	故障切除时间
常规保护	QF <sub>1</sub> 的保护III段	0.6 s
基于Agent的自适应保护	QF <sub>1</sub> 的保护I段	0.202 s

仿真结果表明, 与传统保护相比, 基于MAS的自适应保护通过Agent之间的协作, 可以大大缩短后备保护的動作时间。

## 5 结论

本文利用 Agent 以及多 Agent 系统 (MAS) 的基本特性, 结合电力系统的特点, 运用分布式系统的思想, 设计了一基于 MAS 的电力系统自适应保护系统。以自适应电流速断保护为实现目标, 具体设计了基于 MAS 的自适应电流速断保护系统。通过实际算例对简单系统的故障情况进行仿真, 以故障切除时间作为指标, 验证了设计的多 Agent 系统不仅可以有效地扩大保护动作范围, 而且可以大大缩短后备保护的動作时间。

## 参考文献

[1] 葛耀中. 自适应继电保护及其前景展望[J]. 电力系统自

动化, 1997, 21(9): 42-46.

GE Yao-zhong. Adaptive Protection and Prospect[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(9): 42-46.

[2] 袁荣湘, 涂晓平. 输电线路自适应保护及其功能[J]. 中国农村水利水电, 2003,(6): 18-19.

YUAN Rong-xiang, TU Xiao-ping. Adaptive Transmission Line Protection and Function[J]. Chinese Rural Water Conservancy and Hydropower, 2003,(6): 18-19.

[3] 陈少华, 陈璟华, 杨宜民. 基于多 Agent 技术的自适应继电保护系统研究[J]. 广东工业大学学报, 2005, 22(1): 78-82.

CHEN Shao-hua, CHEN Jing-hua, YANG Yi-min. Study on Adaptive Protection System Based on Multi-agent[J]. Journal of Guangdong University, 2005, 22(1): 78-82.

[4] 束洪春, 唐岚, 董俊. 多 Agent 技术在电力系统中的应用展望[J]. 电网技术, 2005, 29(6): 27-31.

SHU Hong-chun, TANG Lan, DONG Jun. A Survey on Application of Multi-agent System in Power System[J]. Power System Technology, 2005, 29(6): 27-31.

[5] 胡舜耕, 张莉. 多 Agent 系统的理论技术及其应用[J]. 计算机科学, 1999, 26(9): 20-24, 39.

HU Shun-geng, ZHANG Li. Multi-Agent Systems Theory, and Application of Technology [J]. Computer Science, 1999, 26(9): 20-24, 39.

[6] 詹红霞, 颜泉. Multi-agent 系统在电力系统中的应用[J]. 重庆大学学报, 2006, 29(11): 53-57.

ZHAN Hong-xia, YAN Quan. Application of Multi-agent Systems in Power System[J]. Journal of Chongqing University, 2006, 29(11): 53-57.

[7] 何炎祥, 陈莘萌. Agent 和多 Agent 系统的设计和应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001.

HE Yan-xiang, CHEN Xin-meng. Agents and Multi-Agent System Design and Application[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001.

[8] 石纯一, 张伟, 徐晋晖, 等. 多 Agent 系统引论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

SHI Chun-yi, ZHANG Wei, XU Jin-hui, et al. Multi-Agent System Introduction [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.

[9] 程显毅. Agent 计算[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2003.

CHENG Xian-yi. Agent Calculation[M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 2003.

[10] 张晔, 李蓉蓉. 扩展二级电压的多 Agent 协调控制[J]. 继电器, 2006, 34(11): 27-30.

ZHANG Ye, LI Rong-rong. Multi-agent Based Extended Secondary Voltage Coordinate Control[J]. Relay, 2006,

- 34 (11): 27-30.
- [11] 王成山, 余旭阳. 基于 Multi-Agent 系统的分布式协调紧急控制[J]. 电网技术, 2004, 28(3): 1-5.  
WANG Cheng-shan, YU Xu-yang. Based on Multi-Agent System for Distributed Control of the Coordination of Emergency[J]. Power System Technology, 2004, 28(3): 1-5.
- [12] 杨震, 周艳平, 束洪春. Agent 在变电站自动化系统中的应用及通信研究[J]. 云南水力发电, 2006, 22(3): 88-92.  
YANG Zhen, ZHOU Yan-ping, SHU Hong-chun. The Application of Agent in the Substation Automation System and Research on Its Communication[J]. Yunnan Hydropower, 2006, 22 (3): 88-92.
- [13] 董海鹰, 常弘, 白健社, 等. 一种基于 Web 的多 Agent 变电站故障诊断方法研究[J]. 西安交通大学学报, 2003, 37(2): 196-200.  
DONG Hai-ying, CHANG Hong, BAI Jian-she, et al. Multi-Agent Fault Diagnosis Approach for Substation Based on Web[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2003, 37(2): 196-200.
- [14] 曹立霞, 厉吉文, 程新功, 等. 基于多 Agent 技术的分布式电压无功优化控制系统[J]. 电网技术, 2004, 28(7): 30-33.  
CAO Li-xia, LI Ji-wen, CHENG Xin-gong, et al. Distributed Optimal Voltage/Reactive Power Control System Based on Multi-agent System[J]. Power System Technology, 2004, 28(7): 30-33.
- [15] Wong S K, Kalam A. Development of a Power Protection System Using an Agent Based Architecture[A]. In: Proc of International Conference on Energy Management and Power Delivery[C]. 1995.433-438.
- [16] Wong S K, Kalam A. Distributed Intelligent Power System Protection Using Case Based and Object Oriented Paradigms[A]. In: Proc of International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems[C]. 1996.74-78.
- [17] Wong S K, Kalam A. An Agent Approach to Designing Protection Systems[A]. In: IEE Sixth International Conference on Developments in Power System Protection[C]. Nottingham(UK): 1997.373-376.
- [18] 李彦哲. 输电线路短路故障实现自适应保护的分析和计算[J]. 兰州交通大学学报, 2005, 24(3): 75-79.  
LI Yan-zhe. Analysis and Calculation of Adaptive Protection for Power Lines[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2005, 24(3): 75-79.

收稿日期: 2007-07-26; 修回日期: 2008-01-04

作者简介:

杨伟(1965-), 男, 副教授, 主要从事电力系统运行、控制和电力市场方面的研究; E-mail: weiyang@mail.njust.edu.cn

华梁(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制。

(上接第 4 页 continued from page 4)

- ZHANG Sheng-wang, LIN Feng. Anti-interference Measures in Microprocessor-based Protective Equipment of Power System[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(2): 93-96.
- [14] 黄盛霖, 姜海勋. 混合印制电路板的电磁兼容设计[J]. 电子产品可靠性与环境实验, 2005, (2): 39-42.  
HUANG Sheng-lin, JIANG Hai-xun. PCB Design Techniques for EMC[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2005, (2): 39-42.
- [15] 徐亮, 阮江军, 甘艳, 等. 去耦电容在 PCB 板中的应用[J]. 电测与仪表, 2002, 39(436): 5-8.  
XU Liang, RUAN Jiang-jun, GAN Yan, et al. Application of Decoupling Capacitor in PCB Design[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2002, 39(436): 5-8.
- [16] 王剑乔, 刘建新. 微机保护抗电快速瞬变脉冲群干扰的研究[J]. 高电压技术, 2005, 31(10): 36-38.  
WANG Jian-qiao, LIU Jian-xin. Research on Electrical Fast Transient Immunity for Relay Protection Equipment[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(10): 36-38.

收稿日期: 2007-09-28; 修回日期: 2007-12-06

作者简介:

周冰航(1973-), 男, 工程师, 研究方向为自动化控制系统; E-mail: hndxamd@hotmail.com

周有庆(1944-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统微机保护、变电站综合自动化与配电自动化;

刘敏(1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统微机保护。