

基于多代理技术的智能电网继电保护在线整定系统

陈新¹, 吕飞鹏¹, 蒋科², 郭亮³, 李运坤¹

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 成都电业局, 四川 成都 610021; 3. 四川省电力公司, 四川 成都 610061)

摘要: 基于多代理技术, 研究并设计了智能电网继电保护在线整定系统。该系统按分层分区模式设计, 充分利用多代理的智能化特点和并行计算优势, 实现了定值的在线整定和在线更新, 提高了保护性能。并通过使用阻抗矩阵确定定值修改范围、使用基础定值和预整定定值、使用GPS统一值更新时间及代理自检等方法, 保证了系统具有良好的实时性、同步性和抗故障能力。

关键词: 电力系统; 智能电网; 继电保护; 在线整定; 多代理系统

Protective relaying on-line coordination and calculation system of smart grid based on MAS

CHEN Xin¹, Lü Fei-peng¹, JIANG Ke², GUO Liang³, LI Yun-kun¹

(1. School of Electrical Engineering & Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Chengdu Electric Power Bureau, Chengdu 610021, China; 3. Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610061, China)

Abstract: Based on the MAS, this paper studies and designs the protective relaying on-line coordination and calculation system of smart grid. The system, which is designed based on the layering partitioning, makes full use of the intellectualized characteristic of MAS and advantages of parallel computation, achieves the on-line setting calculation and setting updating and improves the protective value. It adopts the methods of fixing on the setting modification range by the node impedance matrix, applying the basic setting and pre-setting, applying the GPS to unite the updated time, and doing the agent self-criticism, which make sure the system has a good real-time, synchronization and anti-failure capacity.

Key words: power system; smart grid; protective relaying; on-line coordination; multi-agent system

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)18-0167-07

0 引言

随着社会经济的高速发展, 电力系统运行环境的日趋复杂, 传统电力网络面临着严峻挑战。高峰负荷增长带来的容量日趋紧张, 电力设备的老化等因素严重威胁着电网的稳定与安全。此外, 越来越多的分布式电源需要并网, 提高电网利用率的要求越来越明显, 使得现今电网向着智能电网发展的趋势成为必然^[1-4]。

未来智能电网, 将是建立在以特高压为基础的互联骨干网络和灵活的可重构的配电网络拓扑基础之上。同时, 大量的分布式电源并网于中低压配电网时, 传统配电系统单向潮流的特点将彻底改变, 形成双向潮流的特点^[3]。这些就使得基于离线研究的“事先整定、实时动作”^[4]的继电保护系统将不能再满足保证系统安全的需求。即便在现今复杂化的大电网运行方式下, 离线计算的保护性能不优、

整定工作复杂等问题也日益明显。因此要求有一种系统或者控制软件能紧密跟踪电网运行, 在系统拓扑结构发生变化时, 能实时地根据变化进行保护的重新整定并在线进行定值调整。

在线整定的实现, 是智能电网发展的必然。在电力系统自适应保护的研究中已包含了在线整定的思想, 即实时跟踪系统的运行状态并根据系统的变化完成在线整定和调整保护定值。文献[5]分析了离线整定与在线整定的定值性能, 指出了研究在线整定计算系统的重要意义。文献[6]讨论了基于网络的在线整定系统构想, 对集中整定的实时性给出了解决方案, 但没有涉及具体的实现技术。文献[7]探讨了在线整定系统概念、构思及接地距离保护在线整定的方法和潮流对保护定值影响等问题, 但没有给出具体的系统结构和实现技术。文献[8]介绍了基于TH2100-EMS/DTS一体化系统开发的在线整定系统, 该系统对于外网仍分大小方式等值建模, 定值

单下发工作仍由继保工作人员确认后完成，在线应用的实时性存在不足。

多代理 (MAS) 技术是分布式人工智能发展的主要研究方向^[9]，在电力系统继电保护领域，该技术已被较多应用于广域后备保护、协调保护及在线校核预警系统等^[9-12]。

本文根据电力系统的具体特点和智能电网的需求，提出了基于多代理技术的继电保护在线整定系统的框架结构，并对一些具体问题进行了讨论。

1 多代理系统

1.1 代理及其特点

代理 (Agent) 是一种能连续、独立、自主地感知环境并实现其功能的计算单元或者软硬件实体^[13]。它具有一定的自适应性和推断能力，能够在没有人的引导和干预下完成设计者要求的功能。代理一般具备自主性、社会性、适应性、反应性、目标性等特点^[13-15]。

1.2 多代理系统

多代理系统 (Multi-agent System, MAS) 是“由多个代理组成的系统，它是为了解决单个代理不能够解决的复杂问题，由多个代理协调合作形成的问题求解网络”^[13]。由于多代理系统各个代理之间能够相互协调、相互通信并有机地结合，所以在处理环境复杂、不确定性强的问题时具有明显的优势。

2 基于 MAS 的在线整定系统总体结构

电力系统由不同电压等级的网络共同组成，可以把不同电压等级的网络从联络变压器处断开，当成若干个相对独立的网络来处理，即实现按电压等级分层计算。同时，电力系统在地域上也呈现出较为明显的分区特点，不同区域之间由一定的联络线连接，并且从电力系统的管理来看，也具有与地域上相仿的分区特点。因此，可以将电力系统按地区分成若干个小系统，实现分区计算。把系统按如此的分层分区处理后，可以使在线整定系统的计算任务分散，减少每次计算所需处理的数据量，较大幅度地提高系统计算速度。

基于 MAS 的继电保护在线整定系统总体结构可按上述分层分区模式设计，如图 1 所示。主要由调度 Agent 组、厂站 Agent 组、装置 Agent 组等三种 Agent 组构成，分别置于调度端、厂站端和保护装置处。厂站 Agent 组向下可与置于装置处的器件 Agent 组协调联系，向上可与置于调度端的调度 Agent 组协调联系。调度 Agent 组按分层分区模式管辖不同电压等级和区域，可进行级联。如图 1 (b)

所示，县级调度 Agent 组向上可与市级调度 Agent 组级联，协作完成全网的在线整定计算。

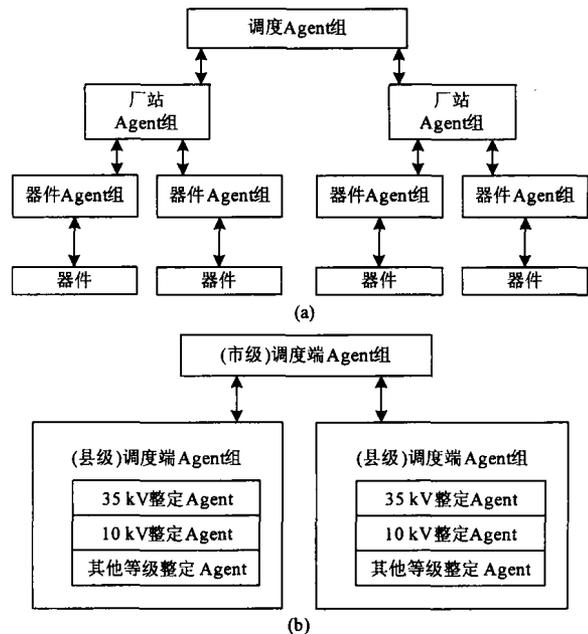


图 1 在线整定系统结构

Fig.1 Structure of the on-line coordination and calculation system

3 系统中各 Agent 组的结构与功能

3.1 调度 Agent 组

调度 Agent 组将完成绝大部分的计算任务，因此调度 Agent 组设计的好坏将直接影响整个系统的性能，其结构如图 2 所示。

3.1.1 数据获取 Agent

调度 Agent 组与厂站 Agent 组均设置有数据获取 Agent，其主要功能是获取电力系统各元件的开关状态和整定计算所需要的电网实时运行数据。这些信息可以从 EMS/SCADA 系统采集得到，在厂站端也可以从 RTU 获得。

3.1.2 电网预测 Agent

在正常情况下，电网中线路等元件的投切、中性点接地的改变都按一定的计划进行，是可预见的。电网预测 Agent 将根据电网的检修运行计划，提前模拟出接下来时刻的电网结构，并向整定启动判断 Agent 集发出命令启动预整定。

3.1.3 整定启动判断 Agent 集

整定启动判断 Agent 集主要通过数据获取 Agent 所得到的电网实时运行方式判断是否需要改变保护的定值而启动整定计算，由定值修改范围 Agent 和定值校核 Agent 构成。电网运行方式的变

化, 包括线路等元件的投切、中性点接地的改变、发电机组投切等。线路等元件投切和中性点接地的改变, 发生频率相对较少, 但将改变电网拓扑结构, 引起短路电流重新分布, 对定值的影响较大。此时应启动定值修改范围 Agent, 计算出定值修改范围, 并发出重新计算新定值的命令。而发电机组投切相对频繁, 不宜每次改变均重新计算定值, 且发电机组投切对定值影响相对较小, 故可在此时先进行定值校核, 在灵敏度和选择性得到保证的情况下不对定值做调整。当某等级电网内部结构发生改变时, 其等值阻抗也发生改变, 此时与其相连接的电网也将进行定值校核。

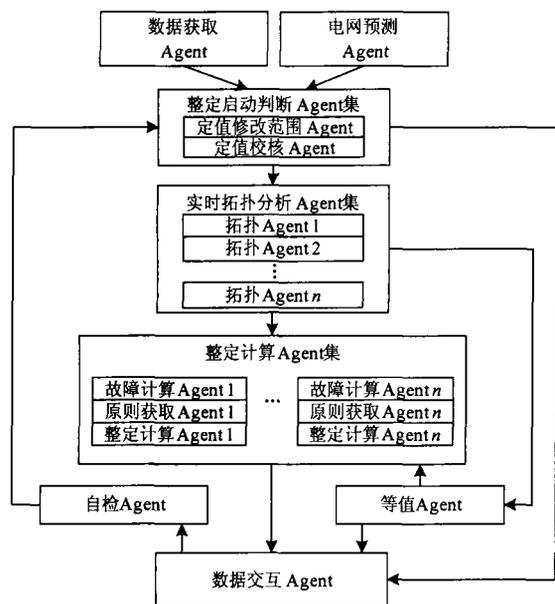


图2 调度 Agent 组结构

Fig.2 Structure of the dispatching Agents

另外, 该 Agent 集会 将电网实时运行方式与电网预测 Agent 做出的预测方式进行对比, 若相同, 则直接通过数据交互 Agent 下发预整定定值。该 Agent 也可以根据自检 Agent 给出的指令启动整定计算。同样, 厂站 Agent 组也设置有功能相似的整定启动判断 Agent, 用于启动厂站内整定计算。

3.1.4 实时拓扑分析 Agent 集

实时拓扑分析 Agent 集由多个拓扑分析 Agent 组成, 共同对电网进行实时拓扑分析, 并将结果交由整定计算 Agent 集使用。该 Agent 集内部 Agent 的个数可以根据电压等级或者电网大小确定, 以提高拓扑分析的速度。

3.1.5 整定计算 Agent 集

整定计算的具体工作将在此 Agent 集内完成。整定计算 Agent 集由若干子集组成, 分别负责不同

电压等级网络的整定计算, 如图 1 (b) 所示。同时, 每一个子集又由故障计算 Agent、原则获取 Agent 和整定计算 Agent 组成, 如图 2 所示。故障计算 Agent 为整定计算提供所需故障信息。原则获取 Agent 将根据实际情况为整定计算提供合理的整定计算原则。

3.1.6 等值 Agent

等值 Agent 将按照电压等级对电网分别进行等值, 并提供给整定计算 Agent 集使用。同时, 等值 Agent 还负责将整个电网等值, 并将等值信息提供给与其有联系的外部电网整定计算使用。若网络过大, 也可设置多个等值 Agent 并行工作。

3.1.7 自检 Agent

调度 Agent 组和厂站 Agent 组均设置自检 Agent, 用于检测通信故障。在通信故障时向整定启动判断 Agent 发出指令启动通信故障时的整定, 并向工作人员发出警告。

3.1.8 数据交互 Agent

数据交互 Agent 负责在各 Agent 组之间传递所需信息, 包括下发定值信息。调度 Agent 组、厂站 Agent 组和器件 Agent 组均需设置。

3.2 厂站 Agent 组

厂站 Agent 组的结构如图 3 所示。其中部分 Agent 功能与调度 Agent 组的相似, 这里不再赘述。

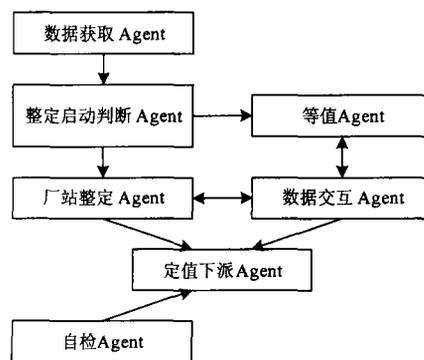


图3 厂站 Agent 组结构

Fig.3 Structure of the substation Agents

3.2.1 厂站整定 Agent

站内某些保护的某些整定原则, 并不需要与相邻保护配合或者仅根据站内能得到的信息就能完成整定。对于这些原则的整定, 便可由厂站整定 Agent 在厂站内完成。这样不仅可以减轻调度 Agent 组的工作量, 还能减少数据的传输, 从而提高整个系统的工作速度。

3.2.2 定值下派 Agent

将厂站整定 Agent 和调度 Agent 组计算出来的

新定值下派到器件 Agent 组执行。

3.3 器件Agent组

器件 Agent 组的主要功能是使用在线整定系统所计算出来的新定值替换保护上所运行的旧定值，结构如图 4 所示。



图4 器件Agent组结构

Fig.4 Structure of the device Agents

3.3.1 执行 Agent

执行 Agent 在数据交互 Agent 接收到新定值后，用新定值更新保护设备上的旧定值。

3.3.2 校核 Agent

校核 Agent 也会从数据交互 Agent 得到新定值，并与保护当前运行定值进行校核。若发现不一致，命令执行 Agent 按正确的定值进行修正。

4 系统中各 Agent 的通信

多代理系统是通过各个代理之间相互协调通信来共同对分布式问题进行求解的，因此对于多代理系统，通信必不可少，而且通信机制的好坏直接影响到系统能否正确高效运行。又因基于 MAS 的在线整定系统对实时性的要求相当高，该系统各代理之间便必须能够进行快速、高效的信息传递。

4.1 多代理系统的通信语言

协作与通信在多代理系统中是必不可少的，最有效和最直接的方式就是让各 Agent 之间能按各自需求进行会话。会话则需要一定的通信语言，Agent 可采用结构化 Agent 通信语言 (Agent Communication Language, ACL) 进行通信^[15]，如 KQML、COOL 等。目前应用最广泛的是 APRA (美国高级研究计划署) 的知识查询操纵语言 (Knowledge Query and Manipulation Language, KQML)，KQML 是一种用于交换知识的语言和协议，为表达消息和处理消息提供了标准的格式，用于支持代理之间的实时知识共享^[16]。

4.2 多代理系统的通信机制

对于调度 Agent 组和厂站 Agent 组、厂站 Agent 组与器件 Agent 组之间定值与实时信息的通信，可以采用协调者转发的通信机制，这个“协调者”就分别建立在调度端和厂站端，如图 5 所示。



图5 MAS通信体系结构

Fig.5 Communication structure of the MAS

调度 Agent 组为了完成整定计算，需要外部网络的等值信息。这些信息的计算由其他同级调度 Agent 组负责完成。调度间交换等值信息的通信机制可以选择基于黑板的通信。所谓黑板通信，即代理可将需要传递的信息张贴到黑板上，也可以从黑板取得自己需要的其他代理张贴的信息。调度 Agent 组用于张贴等值信息的黑板可以设置在其上级调度，调度 Agent 组可以从这里取得其所需的外部网络等值信息。

5 在线整定几个具体问题的讨论

5.1 定值修改范围的确定

有研究表明^[17]，运行方式变化对电网的影响只会限于一定的区域内。保护定值受运行方式变化的影响也限于此区域，因此重新整定只需对该区域内的保护和配合保护在此区域内的保护进行。这将避免对全网保护定值进行重新整定，大大减少在线整定计算量，避免了大范围的更改保护定值。这个区域称作定值修改范围。

电网运行方式的变化，将使电网短路电流重新分布，保护定值也因此受到影响。节点阻抗矩阵能很好地表征电网的结构，反映此变化。因此，在电网运行方式发生变化时，可以通过节点阻抗矩阵考察流过保护短路电流变化情况来确定在线整定定值修改范围。流过保护短路电流变化情况用短路电流变化比来表征，短路电流变化比即是运行方式变化前后流过保护的短路电流之差与变化前流过保护的短路电流之比的绝对值。若短路电流变化比大于某一预定值 ϵ (如 $\epsilon=0.05$)，则认为运行方式变化的影响较大，列入定值修改范围；反之，则认为影响较小，不列入定值修改范围。

如图 6 所示网络，当 9 号节点和 14 号节点间的 I 号线路检修退出运行时，短路电流变化比大于 0.05 的支路限于图中虚线框所示区域。可见，若只对该区域保护定值重新整定，并相应修改与它们相配合的保护，则可以大大减少计算量，提高计算速度。

同时，某一电压等级电网运行方式发生改变，影响一般局限于该级电网内部，即其等值阻抗变化较小。因此在电网运行方式发生变化后，定值的重新整定在该级电网内部进行，对与其相连的电网只进行定值校核，在满足条件的情况下不重新计算定值。

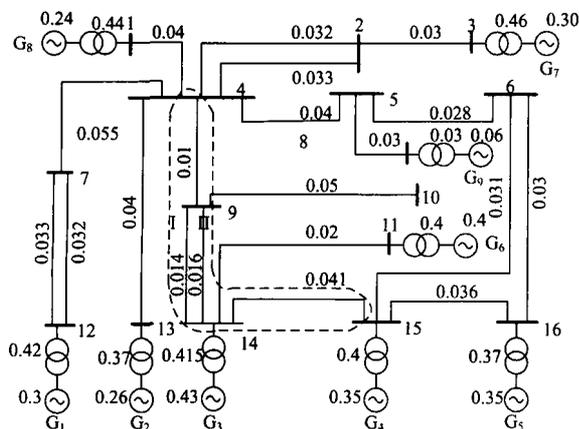


图6 算例系统 I

Fig.6 Test system I

图7(a)所示为某实际电网35 kV网络(虚线框部分),该网络与110 kV网络相连接。当I号线路检修停运,35 kV网络等值阻抗(图7(b)所示)由4.070 5变为4.097 6,变化很小,因此对110 kV网络的影响也很微弱。

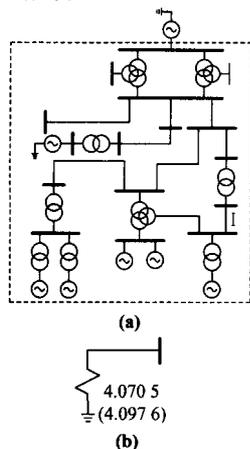


图7 算例系统 II

Fig.7 Test system II

5.2 在线整定实时性问题

在线整定计算,只考虑了电网当前的运行状态,而不像离线计算那样还考虑了极端运行方式。如果电网运行方式发生改变,而新定值未被计算出来并更改现有定值,即保护仍按旧定值运行,则此时发生故障就可能引起保护的误动或拒动。这就要求在线整定系统必须有较强的实时性能。

在线整定系统的传输网络建立在电力专网和站内高速局域网之上,基于光纤通信技术。有研究表明^[18],光纤通信技术单波道数据速率达2.5 Gbit/s,实验速率达40 Gbit/s。基于TCP/IP的数据网络实时性能达到s级,SDH/PDH专线则能达到ms级。可见,在线整定系统的数据传输延迟随通信网络情况

不同而不同。在线整定系统从获取数据、处理数据到进行拓扑分析并完成在线整定计算将会耗去一定的时间,这也给系统带入一定的延迟,且该延迟将随着电网的增大而呈现增大趋势。此外,EMS/SCADA系统是按一定频率刷新数据,因此从其获得的数据将具有一定的延迟,刷新速度的快慢将直接影响延迟的大小,工程经验表明此延迟通常会在s级。这个延迟会随着数据进入在线整定系统,再加上数据库访问、器件Agent组完成定值在线修改等时间,整个系统将有一个不小的延迟。这与系统必须具有较强实时性的要求相背。

为解决这一问题,可以按照离线计算模式计算出一套或多套基础定值,系统根据实际情况选择其中一套定值在电网运行方式发生改变而新定值整定出来之前供保护使用,待新定值整定完成之后将其更改。

同时,在线整定系统设置了电网预测Agent,在非故障情况下可以预知接下来时刻电网结构将发生的改变,并启动预整定计算。若电网按预测的运行方式改变,则在线整定系统可直接选择预整定结果来改变保护定值。由于电网故障的不可预见性,且故障后电网的结构将很快改变,没有足够时间给在线整定系统完成整定计算,此时将仍需使用基础定值。

5.3 定值修改的同步性问题

由于从调度到厂站再由厂站到器件的传输网络实时情况可能各有不同,使得在线整定系统从完成新定值计算并下发到最终更改各保护设备运行定值所需要的时间不一,即全网保护设备定值修改并不在同一时刻完成。这将在第一个保护定值修改完成到最后一个保护修改完成之间,形成全网保护运行定值分别来自两套不同定值的局面。虽然此时间段很短,但故障在此时发生,则很大可能引起保护误动或者拒动。

为了避免这种现象的发生,就要求定值修改具有同步性。实现这种同步性,可以在下发定值信息时加入定值修改具体时刻,所有保护的定值修改均在此时刻完成。整定系统在拟定这个时刻时要综合考虑实时网络情况,使得定值在修改时刻到来前必须已经下发到器件Agent组,并且最大可能缩短修改时刻与完成整定时刻之间这个延迟时间段。

基础定值和预整定定值是在需要的时候才修改,并非马上完成,所以系统可以先将定值发送并存储在器件Agent组。在需要修改时,整定系统发出包含修改时刻的修改命令,完成定值修改。

由于规定了定值修改时刻,那么整个系统必须

工作在同一个标准时钟下。系统可以从 EMS/SCADA 系统获得这个标准时钟,也可以使用全球定位系统(GPS)进行对时。

5.4 通信故障时的整定

现今发达的通信网络,为在线整定提供了强大的支持,使其成为可能。但在线整定系统完全依赖于通信网络,一旦发生通信故障,就可能使得系统瘫痪而威胁到电网安全。为了解决这一问题,在系统的厂站 Agent 组和调度 Agent 组专门设置了自检 Agent,用于检测通信网络情况。一旦出现通信故障,自检 Agent 发出指令重新配置定值,并向工作人员发出警告。厂站 Agent 组在收到自检 Agent 发来的通信故障指令后,将自身不能完成整定的保护定值设置为前一节所提到的基础定值,其余的仍根据实时信息整定。调度 Agent 组则在收到通信故障指令后,重新整定定值,并与失去联络厂站所设置的基础定值配合。在通信故障解除之后,系统回到正常工作情况。

6 结论

智能电网作为当前电网的发展方向,必将在不久的将来替代现今的传统电网。未来的智能电网将拥有以特高压为基础的互联骨干网络、灵活的可重构的网络拓扑以及大量灵活的分布式电源,这些都要求保护能实时跟踪电网运行状态,实现在线整定。基于多代理技术的智能电网继电保护在线整定系统,充分利用了多代理系统智能化和多线程并行计算提高计算速度等特点,充分使用了现今发达的通信网络技术。因此,该系统能够很好地完成智能电网在线整定计算的要求,让保护装置时刻以最佳的状态保护电网的安全。

参考文献

[1] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (9): 1-4.
XIAO Shi-jie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (9): 1-4.

[2] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33 (8): 1-7.
CHEN Shu-yong, SONG Shu-fang, LI Lan-xin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33 (8): 1-7.

[3] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25 (1): 7-11.
YU Yi-xin, LUAN Wen-peng. Smart grid[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25 (1): 7-11.

[4] 王明俊. 自愈电网与分布能源[J]. 电网技术, 2007,

31 (6): 1-7.
WANG Ming-jun. Self-healing grid and distributed energy resource[J]. Power System Technology, 2007, 31 (6): 1-7.

[5] 段献忠, 杨增力, 程道. 继电保护在线整定和离线整定的定值性能比较[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (19): 58-61.
DUAN Xian-zhong, YANG Zeng-li, CHENG Xiao. Performance analysis of relay settings determined according to off-line calculation and on-line calculation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (19): 58-61.

[6] 刘敬华. 基于网络的继电保护在线整定计算系统[J]. 电网技术, 2008, 32 (S1): 68-70.
LIU Jing-hua. Protective relaying on-line coordination and calculation system based on network[J]. Power System Technology, 2008, 32 (S1): 68-70.

[7] 曾耿晖, 刘玮, 等. 继电保护在线整定系统的探讨[J]. 继电器, 2004, 32 (17): 38-42.
ZENG Geng-hui, LIU Wei, et al. Discussion about on-line coordination systems of relay protection in power system[J]. Relay, 2004, 32 (17): 38-42.

[8] 吕颖, 吴文传, 张伯明, 等. 电网保护定值在线整定系统的开发与实践[J]. 电网技术, 2008, 32 (8): 15-20.
Lü Ying, WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming, et al. Development and application of an on-line relay setting coordination system[J]. Power System Technology, 2008, 32 (8): 15-20.

[9] 陈振宇, 梁强. 基于多代理系统的继电保护[J]. 继电器, 2005, 33 (3): 40-42.
CHEN Zhen-yu, LIANG Qiang. Scheme of protective relaying based on multi-agent system[J]. Relay, 2005, 33 (3): 40-42.

[10] 刘红进, 袁斌, 戴宏伟, 等. 多代理系统及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (19): 45-52.
LIU Hong-jin, YUAN Bin, DAI Hong-wei, et al. Multi-agent system and its application in power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (19): 45-52.

[11] 童晓阳, 王晓茹, Kenneth Hopkinson, 等. 广域后备保护多代理系统的仿真建模与实现[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (19): 111-117.
TONG Xiao-yang, WANG Xiao-ru, Kenneth Hopkinson, et al. Simulation modelling and implements of wide-area backup protection multi-agent system[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28 (19): 111-117.

[12] 谢俊, 石东源, 杨增力, 等. 基于多代理系统的继电保护定值在线校核预警系统[J]. 电力系统自动

- 化, 2007, 31 (13): 77-82.
XIE Jun, SHI Dong-yuan, YANG Zeng-li, et al. An on-line verification of relay settings and early warning system of protective relaying based on MAS[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(13): 77-82.
- [13] 范玉顺, 曹军威. 多代理系统理论、方法与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
FAN Yu-shun, CAO Jun-wei. Multi-agent systems theory, method and applications[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [14] 何炎祥, 陈莘萌. Agent 和多 Agent 系统的设计与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001.
- [15] 盛万兴, 杨旭升. 多 Agent 系统及其在电力系统中的应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [16] 张士杰, 郭宏伟. 多代理系统的通信技术及其应用[J]. 计算机应用研究, 2002 (6): 15-17.
ZHANG Shi-jie, GUO Hong-wei. The application of communication technology in the multi-agent system[J]. Application Research of Computers, 2002 (6): 15-17.
- [17] 曹国臣, 蔡伟国, 王海军. 继电保护整定计算方法存在的问题与解决对策[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (10): 51-56.
CAO Guo-chen, CAI Wei-guo, WANG Hai-jun. Problems and solutions in relay setting and coordination[J]. Proceeding of the CSEE, 2003, 23 (10): 51-56.
- [18] 辛耀中, 卢长燕. 电力系统数据网络技术体制分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (21): 1-6.
XIN Yao-zhong, LU Chang-yan. Analysis of data network technology architecture for power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(21): 1-6.

收稿日期: 2009-09-23; 修回日期: 2010-01-20

作者简介:

陈新(1985-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: chenxin_sc@sina.com

吕飞鹏(1968-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为电力系统继电保护和故障信息处理智能系统;

蒋科(1983-), 男, 硕士, 从事电力调度工作。

(上接第 166 页 continued from page 166)

- [6] Peng F Z, Akagi H, Nabae A. Compensation characteristics of the combined system of shunt passive and series active filters[J]. IEEE Trans on Industry Application, 1993, 29 (1): 114-152.
- [7] 张长征, 陈乔夫, 李达义, 等. 一种高压大容量有源电力滤波器研究[J]. 电力自动化设备, 2006, 26 (1): 17-20.
ZHANG Chang-zheng, CHEN Qiao-fu, LI Da-yi, et al. Research on high voltage large capacity active power filter[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26 (1): 17-20.
- [8] Bhende C N, Mishra S, Jain S K. TS-fuzzy-controlled active power filter for load compensation[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2006, 21 (3): 1459-1465.
- [9] 陈艳, 王赛英. 混合型有源滤波器在衡钢供电系统的应用研究及参数设计[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (24): 51-57.
CHEN Yan, WANG Sai-ying. Application research and design parameters of hybrid active power filter on the Hengyang steel electric power system[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (24): 51-57.
- [10] Shyu Kuo-kai, Yang Ming-ji, Chen Yen-mo. Model reference adaptive control design for a shunt active-power-filter system[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 2008, 55 (1): 97-106.
- [11] Krzysztof Sozafiski, Marcin Jamut. Three-phase active power filter using the sliding DFT control algorithm[C]. // Power Electronics and Applications, 2005 European Conference. 2005: 1-10.
- [12] Hideaki Fujita, Hirohmi Akagi. A practical approach to harmonic compensation in power systems-series connection of passive and active filters[J]. IEEE Trans on Industry Applications, 1991, 27 (6): 1020-1025.

收稿日期: 2009-09-15; 修回日期: 2009-11-03

作者简介:

牟龙华(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统微机保护与电能质量;

张大伟(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统谐波治理与无功补偿技术; E-mail: zdw_1@126.com

周伟(1977-), 男, 讲师, 博士研究生, 研究方向为电力系统谐波治理与无功补偿技术。