

System Structures and Key Techniques for Wide-Area Relaying Protection

Zengchao Wang¹, Yaguang Shi², Genghui Zeng¹, Wei Liu¹, Yuxue Wang¹

¹Power Dispatch and Control Centre of Guangdong Power Grid, Guangzhou Guangdong

²State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology, Hubei Electric Power Security and High Efficiency Key Laboratory, School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei

Email: 519518137@qq.com

Received: Nov. 16th, 2017; accepted: Nov. 30th, 2017; published: Dec. 7th, 2017

Abstract

First, several system structures for wide-area relaying protection (WARP) are presented. Aimed at station centralize structure and regional centralized structure, research status for related key techniques is reviewed, including fault identification algorithm, tripping strategy, information redundancy, etc. Afterwards, advantage and disadvantage of two different structures on communication range, communication traffic, algorithm complexity and reliability are analyzed. In the end, needs for coordination development between WARP and Wide-Area System Protection (WASP) are discussed and further research for WARP is prospected.

Keywords

Wide-Area Relaying Protection, System Structure, Station Centralize Structure, Wide-Area System Protection

广域继电保护系统结构与关键技术

王增超¹, 史亚光², 曾耿晖¹, 刘 玮¹, 王育学¹

¹广东电网有限责任公司电力调度控制中心, 广东 广州

²华中科技大学电气与电子工程学院强电磁工程与新技术国家重点实验室, 电力安全与高效湖北省重点实验室, 湖北 武汉

Email: 519518137@qq.com

收稿日期: 2017年11月16日; 录用日期: 2017年11月30日; 发布日期: 2017年12月7日

摘 要

介绍了广域继电保护的几种结构形式, 并着重对变电站集中式和区域集中式在故障识别算法、跳闸策略、

信息冗余等关键技术上的研究现状进行综述,分析了两种结构在通讯范围、通讯量、算法复杂程度和可靠性等方面的优缺点。阐述了继电保护与安稳保护协调发展的需求,并对广域继电保护下一步研究进行展望。

关键词

广域继电保护, 系统结构, 变电站集中式, 区域集中式, 广域安稳保护

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国电网规模不断扩大、结构不断复杂,在提高了供电可靠性的同时给继电保护和安全稳定控制带来了新的考验。传统继电保护基于就地量信息,依靠固定的整定值工作,难以在电网不同的运行方式下兼顾选择性和灵敏性。尤其是传统后备保护,在复杂电网中整定更加困难,其依靠多级延时配合保持选择性的特点会增加电网在紧急状态下的风险[1] [2] [3]。

针对以上问题,国内外学者试图结合快速发展的计算机与通信技术,利用广域信息构造保护系统以适应电力系统的新特征。一般来说,广域保护可分为广域安稳保护与广域继电保护。国际大电网会议(CIGRE)将广域保护定义为,基于广域信息的安全稳定控制[4]。随着广域监测系统的发展,广域安稳保护得到了广泛的研究[5] [6] [7]。广域继电保护利用广域信息,改善传统继电保护特别是后备保护整定困难、自适应能力差等问题[8] [9] [10] [11]。作为电力系统安全紧急控制的“第一道防线”,继电保护遵循故障切除优先原则和故障必须被切除的原则,是安稳控制有效的前提[12]。因此,本文主要针对广域继电保护,探讨广域继电保护的研究现状。

目前,针对广域保护的研究主要集中在构成模式、故障识别及跳闸策略 3 个方面。构成模式是实现广域保护功能的基础,故障识别是广域保护的核心,跳闸策略是广域保护实现的保障[13]。在构成模式上,许多学者进行了有益的探索,提出了分布式、集中式、以及分布集中混合式的广域保护构建模式,并基于不同的系统结构,在故障识别、跳闸策略、信息冗余、通讯模式等关键问题上做了大量研究。但目前仍未就如何构建广域继电保护达成一致,各类的研究较为分散和独立。混合式结构如变电站集中式和区域集中式结构综合了分布式和集中式结构的优点,成为当下研究的重点。构成模式是实现广域继电保护系统的前提和基础,介绍了几种广域保护的构成模式,并着重对变电站集中式和区域集中式在故障识别等关键技术上的研究现状进行综述,简要分析两者的优缺点及存在的问题。最后,结合广域安稳保护的研究现状,对今后广域保护的研究方向提出了建议。

2. 广域继电保护的系统结构及对比

广域继电保护的系统结构主要分为分布型、集中型,以及将两者相结合的混合型结构。集中式结构只设置一个决策中心,虽然可获取的信息量多,通讯简单,但中心交换信息以及决策处理负担很重,极端情况下可能导致主站信息的大量爆发,影响主站处理速度[14]。并且一旦中心发生故障,整个保护系统将失效。而分布式结构将计算、策略分布在各 IED 节点上,当局部 IED 或通信线路故障时,不会影响其他节点的保护功能。但电网复杂时各 IED 之间的功能配置、数据交互变得非常复杂,实现难度大。因此,

现阶段集中式和分布式结构并不适用。混合式结构又分为变电站集中式和区域集中式，以变电站或区域为单位设置决策中心，有分布式和集中式的特点，降低了系统的通信压力以及对中心的要求，成为目前研究的重点[12]。

2.1. 变电站集中式结构

文献[15]提出变电站集中式结构，如图1所示。每个变电站设置一个变电站集中决策中心(substation centralized decision center, SCDC)，一个备用决策中心。该结构有两个层级：底层各IED节点采集保护安装处的信息量，上传至SCDC，并接收决策中心的控制执行跳闸；SCDC通过站内通讯网络获取站内信息，通过广域网决策中心与相邻变电站的SCDC进行通讯，获取站间信息，并综合各类信息判别故障，控制底层IED进行跳闸动作。

2.2. 区域集中式结构

文献[16]提出区域集中式结构，如图2所示。每个变电站设置子站处理单元(sub-station processing unit, SSPU)，实现简单的信息处理。在由多个变电站构成的区域中设置区域决策中心(regional centralized decision center, RCDC)。该结构有三个层级：相比变电站集中式，区域集中式增加了RCDC，收集由于站上传的区域信息，进行故障判断并制定跳闸策略。而SSPU不再参与广域保护的决策计算，而是对全站信息进行处理并与RCDC进行通讯。

区域集中式结构涉及到电网的分区，电网分区是的目的把电网分成有限个区域，并对各个区域分别构建有限广域保护系统[16]，系统分区不仅能降低系统通讯量，并且更利于广域继电保护的工程化。文献[17][18]介绍了区域集中式结构区域划分的原则，并利用图论技术形成保护对象及相互间联系的邻接矩阵和可达矩阵，基于可达矩阵形成保护分区。

2.3. 系统结构优缺点对比

两种系统结构的优缺点对比如表1所示。

变电站集中式系统结构简单、逻辑清晰，将决策分散至各个变电站中，降低了决策中心的计算和通讯压力，系统可靠性更高，但可利用的信息较少；区域集中式结构可利用的信息更广，通信量小，更有

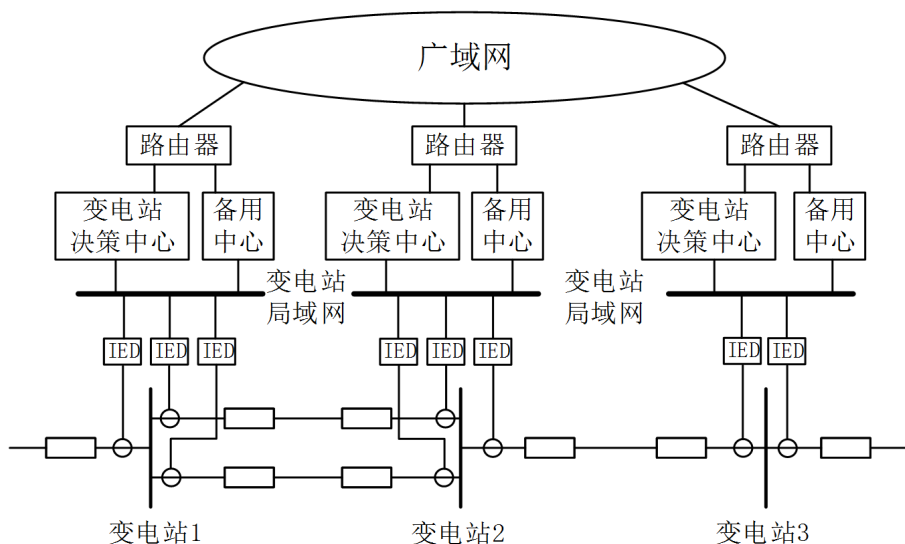


Figure 1. Schematic diagram of station centralized structure

图1. 变电站集中式结构示意图

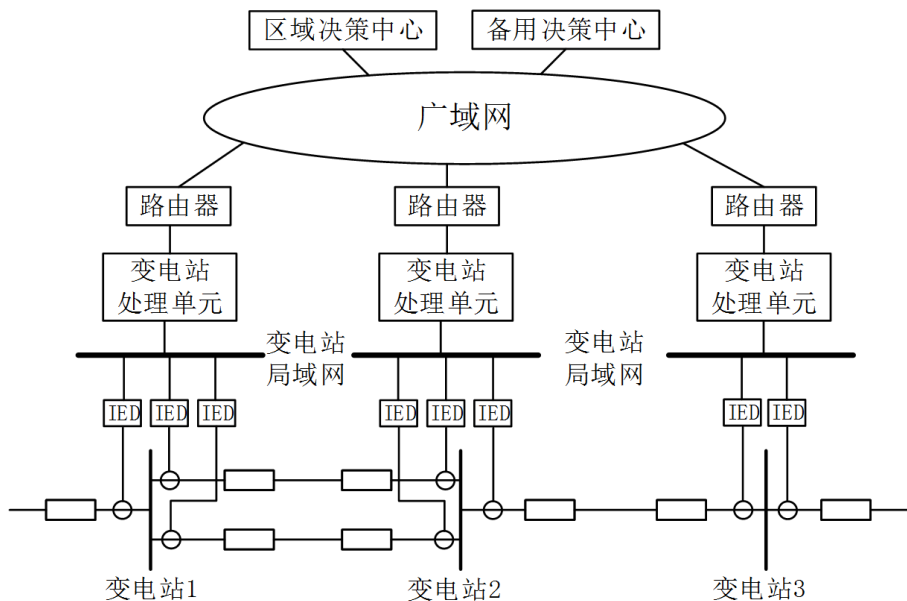


Figure 2. Schematic diagram of regional centralized structure
图 2. 区域集中式结构示意图

Table 1. Comparison of two structures
表 1. 两种结构优缺点对比表

	变电站集中式	区域集中式
工作特点	每个变电站与相邻变电站通信并形成决策	每个区域设置区域决策中心，汇总区域信息形成决策
优点	将保护决策分布于各变电站中，可靠性较高，少量信息错误不会导致误判	可利用的信息范围广，系统通讯压力小，易于实现和维护
缺点	可用信息较少；变电站之间需要完成信息交互，通信网络复杂，实现难度较大	通信层级多，延时较高；对决策中心要求很高，一旦决策中心故障，广域保护将会失效

利于决策的形成。但对决策中心十分依赖，并且还需额外制定完善的分区策略，当新建变电站时可能会改变现有的分区。下面将在保护算法、跳闸策略、信息冗余以及与广域安稳保护结合几个方面，通过综述的方式，简要比较两种结构的优劣。

3. 变电站集中式和区域集中式系统结构的关键技术

3.1. 保护算法

关于广域后备保护的算法，很多学者进行了相关研究。考虑到电流差动保护和方向比较式保护在传统保护中已被广泛应用，相关研究已相对成熟，有学者提出将电流差动保护和方向比较式保护应用于广域保护中。

1) 广域方向比较式纵联保护

文献[19] [20]采用基于方向元件的变电站集中式保护系统，根据发电厂或变电站的接线形式和方向元件位置形成关联矩阵，获取变电站内部以及相邻变电站的方向元件信息，以判断故障文件的位置。文章还介绍了故障方向信息缺失情况下会产生问题及其对策。

文献[21] [22]采用区域集中式结构，系统增设集中智能控制处理中心，中心预存了与被保护的电力系统拓扑结构有关的关联矩阵，从而判断故障位置并制定动作策略。文献[22]继而阐述了该广域保护系统的软、硬件实现方案，并以河南某 220 kV 局部电网为基础，通过动模试验验证了该方案的可行性。

2) 广域电流差动式保护

文献[23]介绍了一种分布式电流差动保护,介绍了 IED 保护范围和关联域划分的方法,提出应对断路器失灵的措施,但对于失效元件引起的后备保护动作研究不充分。

文献[24]基于区域集中式结构,根据电网结构构造断路器和最小差动环的关系矩阵,利用广域电流信息,综合采样值差动和向量差动的动作结果,得出差动环动作矩阵。还通过矩阵运算,自动实现差动环的动态扩展,用于断路器失灵的后备保护,解决现有失灵保护容易误动的问题。文献[25]采用区域集中式结构并提出了一种基于 Petri 网理论的保护 IED 关联域的划分原则。数据库、关联域的形成需要在决策中心完成。

电流差动保护原理简单,具有优秀的选择性。基于差动保护的广域后备保护能够在较短时间识别并切除故障,缩短传统后备保护的动作时间。但广域电流差动后备保护对广域范围内各数据的同步性要求很高,且测量误差易累积产生较大的不平衡电流,影响保护性能[26]。因此,采用适当的系统结构,对减小系统通信量、提升系统可靠性十分重要。现有研究通常采用分布式及区域集中式结构,但并未对广域差动保护所采用的系统结构在通信量、同步性上进行针对性分析。随着电网的不断发展,通讯技术的不断革新以及 IEEE 1588 等协议的推广,广域电流差动式保护将会得到更广泛的应用。

而广域方向纵联保护只需对开关量及方向信号进行传输,对网络通讯的要求不高,但方向纵联保护性能劣于差动保护,传统方向元件受高阻接地、线路非全相运行和系统振荡等因素影响较大。

3) 基于其他保护原理的广域保护算法

除了常规的广域电流差动保护和广域方向比较式保护外,近些年一些学者基于其他原理,提出了一系列新的广域后备保护算法。文献[27]基于区域集中式的结构,利用距离 II 段和 III 段保护启动元件,结合系统结构各处理单元的配合关系,提出区域距离保护的原理和实现方法。文献[28]提出了一种基于故障电压比较的广域后备保护新算法,利用故障线路某侧的电压电流故障分量计算另一侧电压故障分量的推算值,以推算值与实际测量值的比值识别故障位置。仿真结果表明,该算法很好解决了广域方向比较式保护在高阻接地、非全相运行等情况下动作性能下降的问题。文献[29]基于区域集中式广域保护结构,实时监控区域内各母线序电压,设置保护启动判据并筛选出疑似故障线路,并用线路两侧的序电流相位和幅值比较构成广域后备保护故障线路识别判据。文献[30]提出了一种基于综合阻抗比较原理的广域继电保护算法。根据引起差流启动的不同情况,采用不同保护区域的测量信息进行分相保护综合阻抗计算。该算法整定简单且不受分布电容电流和过渡电阻影响。

采用不同结构的方向纵联保护在所需信息范围上差异不大,利用相邻变电站范围的信息即可完成故障元件的识别。区域集中式系统中,保护的计算及决策在决策中心中实现,而变电站集中式系统则将采取分布式计算的模式。区域集中式结构层级较多,延时较高。

3.2. 跳闸策略

根据广域保护算法确定故障元件后,还需制定完备的跳闸策略。特别当保护拒动或断路器失灵时,根据网络拓扑制定相应的跳闸方案,避免大范围切除故障导致巨额损失。

文献[19]基于方向元件的变电站集中式后备保护,实现了近后备、失灵保护、远后备保护的功能。保护配置 UPS 电源,当变电站直流电源失去时,与临近变电站通讯,实现远后备保护的功能。当由于通信问题或方向元件拒动等造成故障方向信息无法获取的情况,文章介绍了故障方向信息缺失情况下会产生的问题及其对策。文献[31]提出的基于 Petri 网的断路器跳闸序列搜索方法可正确找出变电站集中式后备保护在实现近后备保护、断路器失灵保护及远后备保护情况下需要跳开的断路器,对变电站主接线形式及运行方式有很好的适应性。但未介绍当下级变电站掉电时广域保护如何判断为远后备保护区故障。

文献[18]基于区域集中式广域结构,研究了有限广域保护结合现场接线的跳闸策略,由保护配合要求界定的配合子站选取思想,保证了子站间清晰的后备保护职责。利用系统邻接矩阵,能快速准确地识别与选取配合子站。

从跳闸策略上来说,变电站集中式结构通过与相邻站进行通讯,能够实现近后备、远后备的跳闸策略。当断路器拒动时,实现断路器失灵保护的功能。在变电站直流电源消失时,可以通过配置 UPS 电源,与临近变电站通讯,实现远后备的功能。而区域集中式基于整个区域的广域信息,能够制定更加完备和系统的跳闸策略。当变电站直流失电或变电站通讯故障时,能够及时发现问题,并主动制定远后备跳闸方案。

3.3. 基于广域冗余信息的系统容错

广域继电保护在提高后备保护性能的同时,也会使系统的构成和通信的复杂化,广域测量信息的分布采集、分散处理和远程通信过程易发生数据出错[12]。因此,广域保护系统应利用广域冗余信息增强容错能力,提高系统的可靠性。

针对基于变电站集中式结构,文献[32]提出的保护系统收集所在变电站及相邻变电站内的各种主保护信息和后备保护信息,对获取的信息采取融合策略,构成遗传算法的适应度函数,通过遗传算法的最优搜索决策,纠正所在变电站内缺失或错误的信息。文献[33]提出一种基于方向信息和距离信息实现信息冗余的变电站集中式广域后备保护系统,根据实时电网的拓扑结构,制定了节点-支路关联矩阵、方向关联矩阵、距离关联矩阵及综合关联矩阵的形成策略,完成对故障的判断。

针对基于区域集中式结构,文献[34]将状态估计应用于基于广域冗余信息的广域继电保护系统中,搜集相邻区域保护装置的量测信息,利用状态估计辨识不良数据,建立基于增广状态估计的广域继电保护算法。文献[35]基于多信息融合,根据电网结构形成故障识别编码,并利用基于常规主/后备保护原理的保护动作信息和断路器位置信息,构建适应度函数和状态期望函数。并利用故障前后的适应度分析故障概率,以实现高容错性的故障元件识别算法。

综合来看,在广域信息的系统容错方面,学者们针对变电站集中式和区域集中式结构均做了不少研究,仿真表明,容错算法取得了不错的效果。理论上来说,变电站集中式结构仅获得本地和相邻变电站信息,而集中式结构可根据区域所有电气信息进行冗余计算,容错效果更为可靠。但大量数据是否会对区域决策中心造成通讯及计算的压力,还有待进一步的讨论。

4. 继电保护与安稳保护的协调发展

广域继电保护系统基于广域信息,能够改善传统继电保护存在的问题。但目前广域继电保护与安全稳定控制技术之间相对独立,较少从“三道防线”协调的角度统筹考虑[36]。因此,在研究广域继电保护构建模式时,需要考虑广域保护系统未来的发展方向,即将广域继电保护系统和安稳系统相结合,尽可能降低设备和通讯系统的复杂程度,避免重复投资。

从所需信息范围来看,广域继电保护仅需为电力设备提供远后备保护功能,因此,其所需的信息区域是有限的。而安稳控制系统需对电网整体的安全稳定负责,当电力系统受到较大扰动时,综合全网信息,制定切机切负荷等稳控策略,防止系统失稳。并且,不同于继电保护系统,紧急控制系统对实时性要求并不严格,许多复杂的计算功能需要依赖后台计算机完成,因此在结构上最适合采用集中控制模式[37]。

文献[38]指出稳控系统适合采用区域-就地混合型控制结构,策略的形成可采用分散决策方式或集中决策方式。文献[36]综合考虑广域继电保护和广域安稳保护,提出了多层次广域保护控制体系架构,对功

能配置、系统结构、通讯组网等问题展开研究。文献[39]介绍了电力系统安全稳定控制系统的仿真建模,采用分层分区的设计,在每个区域中设置一个控制主站、若干控制子站。文献[40]针对特高压直流输电系统,对与之配套稳控系统的总体架构、系统接口故障判据及控制策略等问题展开研究。提出集中分层式控制的方式,在整流侧、逆变侧分别设置控制主站,在交流电网内分区域设置控制子站,相关的电厂作为执行站。针对潮流转移时后备保护勿动导致的连锁跳闸问题,文献[41][42]从广域中心读取网络拓扑结构,采用分布式决策模式,由站域单元完成减载策略的制定,并告知调度中心,最终由终端单元执行策略。

目前,广域继电保护系统还未正式投入实际工程,而继电保护与稳控系统配合不协调容易造成故障隐患[43]。因此,后续研究如果要将广域继电保护与广域安稳保护协同考虑,采用区域集中式的结构更利于两者的协调发展。

5. 总结

目前,广域继电保护的研究还处于初级阶段,相关的理论研究虽然已开展多年,取得了一定成果,但缺乏总体的规划和把握[44]。广域继电保护的构成模式是实现广域系统的前提和基础,只有在确定了系统整体框架的情况下,才能对识别算法、跳闸策略、通讯模式等关键问题展开有针对性的研究,才能更快地推动广域保护的发展加快广域保护的工程实现。

从现有研究来看,不同的系统结构都有各自的优缺点,适用于不同的场合。变电站集中式与区域集中式系统结构结合了分布式和集中式结构的优点,成为目前的研究热点。

近年来高压直流输电以及新能源大规模接入电网,其复杂的故障特性和控制系统使很多基于就地量的传统保护原理不再适用。因此,研究利用全网多元信息进行综合判断的广域继电保护是改善传统保护局限性的重要途径。在广域保护未来的研究方向上,下一步不仅要针对交直流混联、新能源接入的新型电网,对广域保护的关键技术进行更深入的探索,还应结合大电网区域间的协调机制和层次化结构间的配合模式,构建一个统一的广域保护系统框架,为广域保护的进一步发展和工程化应用打下基础。

基金项目

广东电网有限责任公司科技项目资助(项目编号: GDKJXM20162476 (036000KK52160029))。

参考文献 (References)

- [1] 薛禹胜. 综合防御由偶然故障演化为电力灾难——北美“8·14”大停电的警示[J]. 电力系统自动化, 2003(18): 1-5.
- [2] 石立宝, 史中英, 姚良忠, 等. 现代电力系统连锁性大停电事故机理研究综述[J]. 电网技术, 2010(3): 48-54.
- [3] 葛睿, 董昱, 吕跃春. 欧洲“11.4”大停电事故分析及对我国电网运行工作的启示[J]. 电网技术, 2007(3): 1-6.
- [4] Adamiak, M.G., Apostolov, A.P., Begovic, M.M., *et al.* (2006) Wide Area Protection—Technology and Infrastructures. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **21**, 601-609.
- [5] Milosevic, B. and Begovic, M. (2003) Voltage-Stability Protection and Control Using a Wide-Area Network of Phasor Measurements. *IEEE Transactions on Power Systems*, **18**, 121-127.
- [6] 袁季修. 电力系统安全稳定控制的规划和应用[J]. 中国电力, 1999(5): 31-34.
- [7] 蔡运清, 汪磊, KipMorison, 等. 广域保护(稳控)技术的现状及展望[J]. 电网技术, 2004(8): 20-25.
- [8] Serizawa, Y., Imamura, H., Sugaya, N., *et al.* (1998) Wide-Area Current Differential Backup Protection Employing Broadband Communications and Time Transfer Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*.
- [9] Serizawa, Y., Imamura, H., Sugaya, N., *et al.* (1999) Experimental Examination of Wide-Area Current Differential Backup Protection Employing Broadband Communications and Time Transfer Systems. *1999 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Edmonton.
- [10] Tan, J.C., Crossley, P.A., McLaren, P.G., *et al.* (2002) Application of a Wide Area Backup Protection Expert System

to Prevent Cascading Outages, **17**, 375-380.

- [11] Sheng, S., Li, K.K., Chan, W.L., *et al.* (2006) Agent-Based Self-Healing Protection System, **21**, 610-618.
- [12] 尹项根, 李振兴, 刘颖彤, 等. 广域继电保护及其故障元件判别问题的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2012(5): 1-9.
- [13] 马静, 裴迅, 马伟, 等. 基于方向权重的广域后备保护跳闸策略[J]. 电力自动化设备, 2015(10): 107-114.
- [14] 周兴人. 广域保护与控制系统的信息传输与交互研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2015.
- [15] Lin, X., Li, Z., Wu, K., *et al.* Principles and Implementations of Hierarchical Region Defensive Systems of Power Grid.
- [16] 吴科成, 林湘宁, 鲁文军, 等. 分层式电网区域保护系统的原理和实现[J]. 电力系统自动化, 2007(3): 72-78.
- [17] 李振兴. 智能电网层次化保护构建模式及关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [18] 尹项根, 汪珏, 张哲. 适应智能电网的有限广域继电保护分区与跳闸策略[J]. 中国电机工程学报, 2010(7): 1-7.
- [19] 张保会, 周良才. 变电站集中式后备保护[J]. 电力自动化设备, 2009(6): 1-5.
- [20] 杨增力, 石东源, 段献忠. 基于方向比较原理的广域继电保护系统[J]. 中国电机工程学报, 2008(22): 87-93.
- [21] 王冬青, 苗世洪, 林湘宁, 等. 基于光纤网的后备保护系统的研制[J]. 电网技术, 2006(7): 77-81.
- [22] 苗世洪, 刘沛, 林湘宁, 等. 基于数据网的新型广域后备保护系统实现[J]. 电力系统自动化, 2008(10): 32-36.
- [23] 丛伟, 潘贞存, 赵建国, 等. 基于电流差动原理的广域继电保护系统[J]. 电网技术, 2006(5): 91-95.
- [24] 张兆云, 陈卫, 张哲, 等. 一种广域差动保护实现方法[J]. 电工技术学报, 2014(2): 297-303.
- [25] 谭乾. 差动保护新原理的研究及其在广域保护中的应用[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [26] Miao, S., Liu, P. and Lin, X. (2010) An Adaptive Operating Characteristic to Improve the Operation Stability of Percentage Differential Protection. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **25**, 1410-1417.
- [27] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 分区域广域继电保护的系统结构与故障识别[J]. 中国电机工程学报, 2011(28): 95-103.
- [28] 何志勤, 张哲, 尹项根, 等. 基于故障电压比较的广域后备保护新算法[J]. 电工技术学报, 2012(7): 274-283.
- [29] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 基于序电流相位比较和幅值比较的广域后备保护方法[J]. 电工技术学报, 2013(1): 242-250.
- [30] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 基于综合阻抗比较原理的广域继电保护算法[J]. 电工技术学报, 2012(8): 179-186.
- [31] 周良才, 张保会, 薄志谦. 广域后备保护系统的自适应跳闸策略[J]. 电力系统自动化, 2011(1): 55-60.
- [32] 田聪聪, 文明浩, 刘航, 等. 基于相邻变电站信息融合的广域后备保护系统[J]. 电力系统自动化, 2012(15): 83-90.
- [33] 田聪聪, 文明浩. 具有高信息冗余的广域后备保护系统[J]. 电网技术, 2011(10): 214-219.
- [34] 吕颖, 张伯明, 吴文传. 基于增广状态估计的广域继电保护算法[J]. 电力系统自动化, 2008(12): 12-16.
- [35] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 基于多信息融合的广域继电保护新算法[J]. 电力系统自动化, 2011(9): 14-18.
- [36] 刘育权, 华煌圣, 李力, 等. 多层次的广域保护控制体系架构研究与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2015(5): 112-122.
- [37] 丛伟, 潘贞存, 丁磊, 等. 满足“三道防线”要求的广域保护系统及其在电力系统中的应用[J]. 电网技术, 2004(18): 29-33.
- [38] 袁娟. 电网安全稳定控制系统研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2008.
- [39] 吴国珏, 宋新立, 汤涌, 等. 电力系统动态仿真中的安全稳定控制系统建模[J]. 电力系统自动化, 2012(3): 71-75.
- [40] 李德胜, 罗剑波. 特高压直流配套安全稳定控制系统的典型设计[J]. 电力系统自动化, 2016(14): 151-157.
- [41] 张玮, 潘贞存, 赵建国. 新的防止大停电事故的后备保护减载控制策略[J]. 电力系统自动化, 2007(8): 27-31.
- [42] 王艳, 张艳霞, 徐松晓. 基于广域信息的防连锁过载跳闸保护[J]. 电力系统自动化, 2008(10): 37-41.
- [43] 赵丽莉, 李雪明, 倪明, 等. 继电保护与安全稳定控制系统隐性故障研究综述及展望[J]. 电力系统自动化, 2014(22): 128-135.
- [44] 何志勤, 张哲, 尹项根, 等. 电力系统广域继电保护研究综述[J]. 电力自动化设备, 2010(5): 125-130.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2328-0514，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：aepe@hanspub.org