

基于广域一体化理念的网络保护系统研究与实施

陈朝晖¹, 赵曼勇¹, 周红阳¹, 龚建平², 王丽², 徐振宇³, 姚斌³

(1. 中国南方电网电力调度通信中心, 广东 广州 510623; 2. 广州供电局, 广东 广州 510620;
3. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085)

摘要: 针对常规保护系统保护对象主要面向单个电力元件, 保护设备之间缺乏有效的信息共享的问题, 提出并实施了新的基于广域一体化理念的网络保护系统。在研究开发的网络保护系统中, 利用电压、电流的同步采样信息以及开关量信息, 完成对区域电网多个元件的保护, 实现故障点快速定位, 不依赖延时实现选择性, 优化了保护性能。文中详细地介绍了网络保护系统的结构、功能及工程实施情况。

关键词: 广域信息; 网络保护; 电力系统

Research and implementation of network protection system based on integrated and wide area information

CHEN Zhao-hui¹, ZHAO Man-yong¹, ZHOU Hong-yang¹, GONG Jian-ping², WANG Li², XU Zhen-yu³, YAO Bin³

(1. CSG Power Dispatching & Communication Center, Guangzhou 510623, China; 2. Guangzhou Power Supply Bureau, Guangzhou 510620, China; 3. Beijing Sifang Automation Co., Ltd., Beijing 10085, China)

Abstract: In order to solve the problems of the traditional backup protection, a new network protection system scheme based on integrated and wide area information is presented in this paper. The voltage and current phasor and the status of the breaker are used in this new scheme. The protection of the several substations are also integrated in the new system. The selectivity of the protection system can be obtained not by the time delay but accurately locating the fault position. The structure, function and the implementation of the network protection system are also described in this paper.

Key words: wide area information; network protection system; power system

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0106-03

0 引言

电力系统保护以保护电力系统中的设备为出发点, 即电力系统中设备故障或异常运行时, 切除故障设备, 而不考虑对整个系统动态过程的影响。对历次大停电事件调查表明: 尽管电力系统后备保护按照设计原则正确动作, 但是客观上却加快了系统崩溃的过程, 有可能导致电力系统连锁事故的发生。例如, 在北美 8·14 大停电事故中, 由于 4 条关键的 345 kV 联络线相继因过负荷跳闸, 引起与之形成电磁环网的多条 138 kV 线路严重过负荷而发生连锁跳闸, 最终使得电网瓦解和崩溃。

大停电事故引发了对电力系统保护的新思考, 保护在利用本站内局部信息的同时也越来越希望获取本站内以及与之相关的电网其它位置的信息。广域同步测量系统(WAMS)的出现为在保护中引入系统信息提供了可能, 通过 WAMS 可以获取全网同步

动态信息, 并且高速数据传输可以保证主站的数据更新速度达到 20~50 ms。因此, 国内外广泛开展了基于 WAMS 的电力系统保护的研究^[1~4]。电力系统发生故障时, 主保护应快速、可靠地切除故障元件, 这对于减小扰动对系统的冲击, 保证系统安全稳定运行至关重要。因此, 采用本地量测量, 构成快速、简单可靠的主保护是非常必要的, 这已为系统多年的运行情况所证明。电力系统后备保护仅根据本地测量信号却很难识别由故障切除引起的潮流转移造成的过负荷, 难以阻止线路陆续过载而引起的连锁跳闸事件, 而且整定延时使得它有足够的时间来获取系统中的 WAMS 信息。WAMS 信息仅对于从电网整体最优的角度改善后备保护有益处, 而不应改变主保护的设计原则。如果后备保护能够利用系统中多点同步信息识别潮流转移造成的过负荷, 在到达元件热稳定极限前不作用于断路器跳闸, 对遏制连锁跳闸事故, 延缓系统崩溃过程有重要意义^[5]。此

外,引入 WAMS 信息也有利于解决复杂电网中后备保护配合关系难以整定,动作时间长的难题。

随着 IEC61850、电子式互感器、网络通信、智能一次设备等技术的发展,使得对目前变电站内监视、控制、保护等功能进行优化组合和系统集成,从而为形成高度集成的二次一体化系统逐渐成为可能^[6,7]。在高度集成的二次一体化系统中,在保护功能集成的基础上,将广域信息引入到后备保护系统当中去,解决常规后备保护利用本地信息难以改善的问题。基于以上理念,南方电网公司与北京四方继保自动化股份公司密切合作,开发并实施了基于广域一体化理念的网络保护系统装置;并投入实际系统运行。

1 基本原理

网络保护系统利用电压、电流的同步采样信息以及开关量信息,完成对区域电网多个元件的保护与控制,保护功能主要包括广域差动保护和后备距离保护、失灵保护、低压低频减载等功能。网络保护功能需要借助于广域信息完成,利用空间多点信息做出判断而不是动作时间上的配合来保证后备保护的选择性,从而达到缩短后备保护的動作时间,缩小故障切除范围的目的。此外,借助于多点信息,网络保护系统的自适应性显著增强,能够更好地适应系统运行方式的变化。

2 网络保护系统体系结构

2.1 网络保护系统总体结构

网络保护系统由采集控制子站、主站和高速通信系统组成,整个系统结构如图 1 所示。主站完成系统管理、保护与控制逻辑判别等功能。子站主要完成信号采集和跳闸执行功能。主站和子站之间采用 2 M 专用通道进行通信。子站数据采集单元每隔 10 ms 将电压、电流幅值、相位和频率计算结果以及断路器位置、刀闸位置等状态量连同计算时刻的 GPS 时间信息通过网络上送到主站单元。控制执行单元通过网络接收主站下达的跳闸、合闸命令,并把执行结果通过网络反馈给主站,同时把控制执行单元收到的命令以报文的形式存储到控制执行单元中,以备日后查询。

2.2 主、子站系统结构

网络保护主站系统完成整个网络保护系统保护控制功能,它根据子站上送的数据进行计算及逻辑判定,下发命令给子站的跳闸执行单元。

主站由控制服务器和文件服务器组成,其中控制服务器为配有实时操作系统的工业控制计算机,

通过网络接口交换机与子站设备以及文件服务器进行通信。控制服务器采用实时数据库存储来自子站采集单元上送的数据,并将各个子站上送的具有 GPS 同步时标的的数据按照时间顺序排列成数据序列,这些数据是进行继电保护和控制决策的数据源。控制服务器根据子站上送的数据进行计算和分析以判断被保护的电网是否发生了异常和故障,并根据判断的结果通过网络给相应的子站下达跳闸或者合闸的控制命令。文件服务器为配有大量存储量硬盘和实时操作系统的计算机。文件服务器实时存储控制服务器收到的数据,并记录存储控制服务器下达给子站的各种命令和控制服务器发出的其他信息,以备日后查询分析。

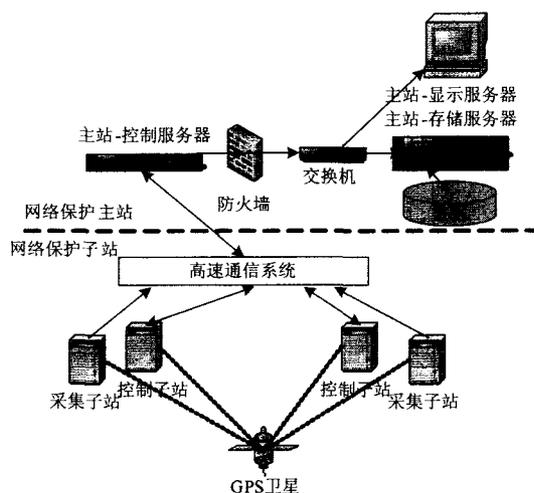


图 1 网络保护系统体系图

Fig. 1 Schematic diagram of the network protection

主站单元的核心是控制服务器,由控制服务器完成所有的控制策略的分析和判断。控制服务器内存储了被保护电网的拓扑结构和预先设定的控制策略和相关的定值。控制服务器包含的保护和控制功能模块相互独立,可以通过控制字进行投退。

网络保护子站系统由采集子站与控制执行装置及相关组成。采集子站由同步相量采集单元、GPS 授时单元,以太网交换机、协议转换器、数据集中处理单元等设备组成。

3 网络保护系统功能

3.1 主站系统功能

为了达到网络保护应有的性能和功能,网络保护系统主站具备如下功能:完成区域电网的所有保护与控制功能;实时显示网络状态以及主站与子站通信状态;接收各子站上送的运行信息,对当前系

统运行工况进行监视, 监视各子站的运行情况; 保护系统装置定值与策略均可保存、查询、打印和修改, 并提供友好的人机管理界面, 方便管理人员的使用操作。主站可自动对保护子站装置进行查询, 及时报告装置运行情况。当保护主站和子站出现异常情况时, 可通过相应的诊断工具, 对保护子站装置进行远方异常诊断; 主站具备人工触发功能, 可分别对子站进行人工触发, 同时主站具备召唤子站数据功能, 可按照时间设定或事件内容, 召唤子站记录的数据。

保护系统主站与子站通过分布式网络连接, 可适应各种系统规模要求, 扩充性强, 易于维护和管理; 实时显示网络状态以及主站与子站通信状态; 接收各子站上送的运行信息, 对当前系统运行工况进行监视, 监视各子站的运行情况。

3.2 子站系统功能

子站主要包含以下两方面功能, 一是量测信息的采集转换和上送, 二是执行跳闸等主站控制命令。此外, 系统还具有子站信息的监视和管理功能。

同步相量采集单元测量被保护线路和设备的模拟量和开关量, 并将测量的数据经 GPS 打上同步的时间标记上送到主站。控制执行装置通过以太网接收网络保护主站的控制命令, 转化为跳闸命令, 并输出到开关等控制对象, 实现电力系统广域后备保护功能。控制执行装置接入 GPS 授时信号, 能够根据本地 GPS 时标、自检结果、主子站连接状态等对控制命令的时标进行精确补偿, 也能在工作状态异常时及时闭锁出口, 防止保护控制功能误动。同时, 控制执行装置能够将自身的工作状态及输出、回测结果等实时上传主站, 便于主站有效监测全系统工作状态, 及时调整保护控制策略。

3.3 通信功能

3.3.1 网络保护系统通信方案

基于广域保护控制的实时性需求, 网络保护系统采用 2 M 专用通道, 包含主站与 4 个测量子站和 4 个控制子站之间的通信, 通讯协议具体包括 100 Mbps 以太网底层网络协议, UDP/IP 传输协议, 以及参照《电力系统同步相量测量传输信息格式》设计扩展的应用层协议。

3.3.2 传输层协议

控制系统选用 100Base-T 为硬件物理层和链路层的网络协议, 以太网传输速率 100 Mbps, 网络传输延时主要由 IP 路由产生。

控制系统固定分配 IP 地址, 点对点传输方式, 固定端口分别传输数据信息和控制信息。支持 IP 路由, 方便跨区域数据通信。

控制系统网络传输协议为 UDP 用户数据报协议。该协议提供应用程序之间传输数据的基本机制, 传输内容包括用户数据、目的端口号和源端口号, 无报文到达确认, 不对传入报文排序, 也不提供反馈信息控制各数据点信息流。与 TCP 协议相比较, 没有因可靠连接服务带来的重传、等待等传输延时问题, 实时性强。在采用专用 2 M 通道时, UDP 的通信可靠性可以得到保证。

3.3.3 应用层协议

控制系统中主站与数据采集单元子站的通信协议符合《电力系统动态监测系统技术规范》, 与控制子站的通信协议参照《电力系统同步相量测量传输信息格式》设计。由于使用 UDP 传输协议, 控制系统的通信应用程序承担包括报文丢失、重复、时延、乱序以及连接失效等工作。

4 结语

经过项目各方的通力协作, 研究开发的网络保护系统于 2008 年 5 月底在田心、龙口、湖畔、凤凰站完成现场安装调试投入试运行。试运行期间, 保护经受区内外多次故障考验, 区内故障正确动作, 区外故障, 保护系统没有误动。通过广域一体化保护系统在田心、龙口、湖畔、凤凰变电站的实施效果看, 提出的网络保护系统方案切实可行, 达到了预期的效果。

参考文献

- [1] Phadke A G, Thorp J S. Expose Hidden Failures to Prevent Cascading Outages[J]. IEEE Computer Application in Power, 1996, 9(3): 20-23.
- [2] Pourbeik P, Kundur P S, Taylor C W. The Anatomy of a Power Grid Blackout - Root Causes and Dynamics of Recent Major Blackouts[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2006, 4(5): 22-29.
- [3] Tamronglak S, Horowitz S H, Phadke A G, et al. Anatomy of Power System Blackouts: Preventive Relaying Strategies[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1996, 11(2): 708-715.
- [4] Horowitz S H, Phadke A G. Boosting Immunity to Blackouts[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2003, 1(5): 47-53.
- [5] Xu H M, Bi T S, Huang S F, et al. Study on Wide Area Backup Protection to Prevent Cascading Trips Caused by Flow Transferring[A]. in: 2005/2006 IEEE Transmission and Distribution Conference & Exposition[C]. Dallas(USA): 2006. 833-838.
- [6] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

(下转第 113 页 continued on page 113)

4 结语

粒子群优化算法作为群集智能的代表性方法之一, 给大量非线性、不可微和多峰值复杂优化问题的求解提供了一种新的思路和解决方法。本文从引进惯性因子和收敛因子对经典粒子群算法改进, 并考虑对实际中离散变量的处理。将改进后的算法应用于电压稳定薄弱区域恢复中, 通过对 IEEE30 节点系统进行算例验证, 实验结果表明了该算法加快收敛速度和收敛精度。目前针对 PSO 提出的不少改进算法多数取得了不错的效果, 如对其机理和数学基础能有更加深入的研究, PSO 在实际应用领域将得到更加广泛的应用。

参考文献

- [1] Ajarapu V, Lee B. Bibliography on Voltage Stability [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998,13(1):115-125.
- [2] Kosterev D M, Taylor C W, Mittelsadt W A. Model Validation for the August 10,1996 WSCC System Outrage[J]. IEEE Trans on Power Trans on Power Systems, 1999,14(3):967-979.
- [3] 周双喜, 朱凌志, 郭锡玫, 等. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京:中国电力出版社, 2004.
- [4] LI Xing-yuan, WANG Xiu-ying. Fast Voltage Stability Analysis Methods Based on Static Equivalence and Singular Value Resoulution[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(2):86-91.
- [5] 徐晓春, 万秋兰, 顾伟, 等. 在线电压稳定分析中快速连续潮流的应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2008,36(14):37-41.
XU Xiao-chun, WAN Qiu-lan, GuWei et al. Application of Fast Continuous Trend in On-line Voltage Stability Analysis[J]. Power System Protection and Control, 2008,36(14):37-41.
- [6] LI Ai-guo, QING Zheng, BAO Fu-min, et al. Particle Optimization Algorithms[J]. Computer Engineerint& Application, 2002, 38(21):1-3.
- [7] YIN Yong-hua, GUO Jian-bo, ZHAO Jian-jun, et al. Preliminary Analysis of Large Scale Blackout in Interconnected North America Power Grid on August 14 Lessons to Be Draw[J]. Power System Technology, 2003,27 (10):8-12.
- [8] 吴秀华, 朴在林, 徐静, 等. 基于改进粒子群优化算法的电力系统无功电压综合控制[J]. 继电器, 2007, 35(21):28-33,38.
WU Xiu-hua, PU Zai-lin, XU Jing, et al. Based on Improved Particle Swarm Optimization of Power System Reactive Power and Voltage Integrated Control[J].Relay, 2007, 35(21):28-33,38.
- [9] ZHOU Chi, GUO Hai-bing, GAO Liang. Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm[J]. Application Research of Computes, 2003,(12):7-22.
- [10] 梁正友, 支成秀. 基于离散粒子群优化算法的网格资源分配研究[J]. 计算机工程与科学, 2007,29(10):77-78,127.
LIANG Zheng-you, ZHI Xiu-cheng. Study of Discrete Particle Swarm Optimization Bbased on Grid Resource Allocation[J]. Computer Engineering and Science, 2007,29(10):77-78,127.

收稿日期: 2009-07-01; 修回日期: 2009-10-08

作者简介:

李 然 (1982-), 女, 助教, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统分析、运行与控制; E-mail: hdliran@163.com

盛四清 (1965-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为电力系统分析、运行和控制和人工智能在电力系统中的应用。

(上接第 108 页 continued from page 108)

- GAO Xiang. Application Technology of Digital Substation[M]. Beijing: China Electric Power Press,2008.
- [7] 杨奇逊. 变电站综合自动化发展趋势[J]. 中国电机工程学报, 1996, 16(3): 7-9.
YANG Qi-xun. Development Trend of Integrated Protection and Control in Power Substations[J]. Proceedings of the CSEE, 1996, 16(3): 7-9.

收稿日期: 2009-08-04; 修回日期: 2009-09-03

作者简介:

陈朝晖 (1979-), 男, 博士, 工程师, 从事电网继电保护运行管理及研究工作; E-mail:chenzh@csg.cn

赵曼勇 (1957-), 女, 教授级高级工程师, 从事二次专业生产运行管理及研究工作。

周红阳 (1969-), 男, 教授级高级工程师, 从事电网继电保护运行管理及研究工作。