

# 广域保护系统研究

张晶晶, 丁明

(合肥工业大学 电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:**随着计算机技术和通信技术的发展,基于广域测量系统的广域保护技术不断发展。文章讨论了广域保护的概念以及与传统继电保护的区别、广域保护系统的结构和功能、通信网络的配置以及广域保护的应用前景,尤其是在自适应保护中的应用。基于广域测量系统的广域保护对级联跳闸将起到免疫作用,对电力系统的安全稳定运行有重要的意义。

**关键词:**电力系统; 广域测量系统; 广域保护; 通信; 自适应继电保护; 相量测量装置

**中图分类号:** TM771      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-5060(2006)04-0440-04

## Research on the wide-area protection system

ZHANG Jing-jing, DING Ming

(School of Electric Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** With the development of computer technology and communication technology, based on the wide-area measurement system(WAMS), the wide-area protection(WAP) technology has been developing continuously. Discussed in the paper are the definition of WAP, the difference between WAP and traditional protection, the structure and functions of the WAP system, configuration of the system's communication network and its application future, especially its application in adaptive protective relaying. WAP based on the WAMS can be immune to chain-trip, so it is of important significance to secure and stable operation of the power system.

**Key words:** power system; wide-area measurement system; wide-area protection; communication; adaptive protective relaying; phasor measurement unit

## 0 引 言

由于电力系统市场化,架设新的线路受到经济和环境约束,电网的发展滞后于负荷需求,要求输电线路运行在极限输送容量附近,电力系统出现故障和不稳定的几率大大增加。此外,对于电力系统中的不正常运行和故障状态,目前使用的继电保护和自动装置控制判据,大都是基于本地量构成,反映的只是系统某点或很小一个区域的运行状态,不能反映较大区域电网的安全运行水

平,装置之间缺乏相互协调和配合,难以对系统进行优化控制。这样将会导致系统某点发生故障后安全水平下降,造成继电保护和安全自动装置相继动作。由于这些装置之间缺乏相互的配合协调,可能进一步扩大故障影响范围,引起系统发生连锁跳闸等严重事故<sup>[1,2]</sup>。

北美及世界范围内的几次大停电事故让人们认识到,事故的发生并不是因为继电保护和安全自动装置误动作,恰恰相反,它们都能正确动作,但是仍然不能避免大规模停电事故的发生。其原

收稿日期:2005-04-25;修改日期:2005-07-04

作者简介:张晶晶(1977—),女,安徽寿县人,博士生,合肥工业大学讲师;

丁明(1956—),男,安徽合肥人,合肥工业大学教授,博士生导师。

因就在于它们之间缺乏相应的配合协调,基于本地量的装置难以反映区域电力系统的运行状况。广域保护的发展势在必行,成为当前电力系统的重大前沿研究课题之一。

## 1 广域保护概念及与传统继电保护区别

广域保护可定义为:依赖电力系统多点的信息,对故障进行快速、可靠、精确的切除,同时分析故障切除对系统安全稳定运行的影响,并采取相应的控制措施,可提高输电线可用容量或系统可靠性,这种同时实现继电保护和自动控制功能的系统,称为广域保护系统,又称为稳控系统。它在电网保护控制中是基本定位于常规保护及 SCADA/EMS 之间的系统保护控制手段,国际大电网会议将广域保护的功能及控制手段等进行了定义,其动作时间范围在 100 ms~100 s 之间<sup>[3]</sup>,如图 1 所示。

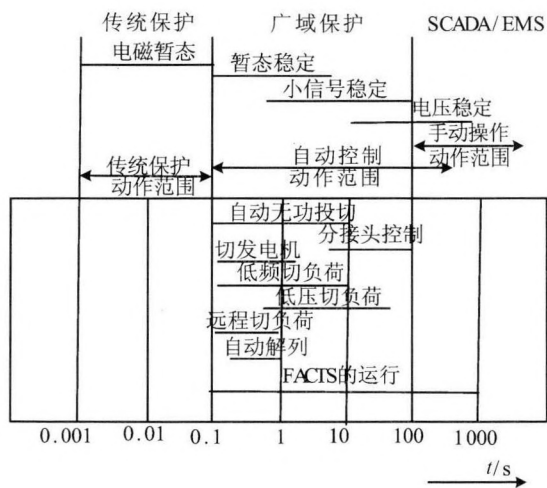


图 1 广域保护的定义

传统的继电保护主要集中于元件保护,以线路、母线、变压器、发电机和电动机等为保护对象。传统的保护以切除被保护元件内部故障为己任,主要通过开关动作来实现故障隔离,各电力设备的主保护相互独立,不顾及故障元件被切除后,剩余电力系统中的潮流转移引起的后果。比如故障元件被保护装置正确切除或正常元件被保护装置误切除后,由于功率的转移引起相邻电力元件的过载,导致过载保护动作等,这是传统继电保护的固有弊端。广域保护更注重保护整个系统的安全

稳定运行,可识别系统的各种运行状态(正常状态、警戒状态等),通过调节系统的  $P-\delta$ 、 $Q-v$  和各种保护措施,同时实现继电保护和自动控制的功能,其中可能会有本地、远程开关的动作,以避免局部或整个系统大面积停电或崩溃等严重事故的发生,保证电网在故障后仍能保持所需的安全稳定工况。

目前提出的广域保护系统可以分为 2 类:一类是利用广域信息,主要具有安全监视、控制、稳定边界计算及状态估计等功能,其侧重点在广域信息的利用和安全功能的实现;另一类则是利用广域信息,完成继电保护功能。

## 2 广域保护系统功能结构

以广域信息的采集、传送、分析和使用为线索,广域保护系统由相量测量、安全稳定控制装置、厂站安全稳定监控子站、通信线路、电网安全稳定监测与控制主站、网络服务器及数据库等组成,如图 2 所示。具体功能如下<sup>[4~6]</sup>:

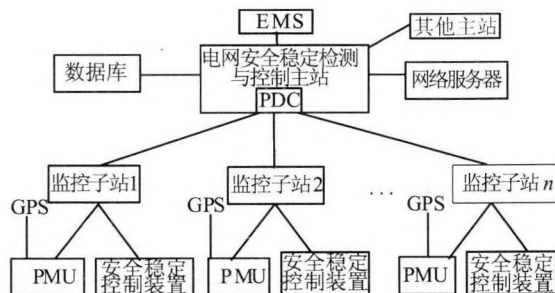


图 2 电力系统广域保护的基本结构

(1) 相量测量装置(Phasor Measurement Unit, 简称 PMU)。基本功能为:① GPS 同步采样,所有测得的数据都有精确的同步性。② 实时测量采样点电压/电流的幅值及正序功角,更新速率至少为 1/25 s。③ 故障记录功能,录波点的时间精度为微秒,并按 IEEE 1344 规定的格式记录。而常规测量设备所能提供的其他数据(如开关位置、发电机组投切状态及继电保护动作信号等)也可作为广域保护系统的输入数据。

(2) 安全稳定控制装置。在系统的非正常运行状态(如功角不稳定、频率不稳定、电压不稳定等)及事故条件下,安全稳定控制装置根据安全稳定监控子站的控制命令,直接进行切机和切负荷

操作;或者本身实时判别,自动进行灵活切机和切负荷控制;也可以由调度人员远方操作,维护电网安全稳定运行。

(3) 厂站安全稳定监控子站。安装在变电站,向上通过光纤与主站通信,向下通过以太网与 PMU 及安全稳定控制装置通讯,是发电厂变电站安全稳定监测与控制系统的决策中心和通讯桥梁。可就地实现一些广域保护算法,各子站之间可以相互通讯。

(4) 电网安全稳定监测与控制主站。安装在调度室内,与子站通讯,获取各种数据,进行广域保护计算,且对多站间的实时功角及各站模拟和开关信号进行在线监测,记录有关数据,存入数据库。并将实时监测到的电压电流相量和功角传送到 EMS 系统,供 EMS 系统进行静态和动态安全稳定分析,并把 EMS 系统的安全稳定控制命令传达到发电厂变电站的安全稳定控制装置,进行投切机组和负荷控制。其中包含相量数据集中器(Phasor Data Concentrator,简称 PDC)和系统分析软件,主站通过 PDC 管理和控制 PMU 的工作状态;接收来自子站或其他主站的测量数据、事件标识、录波文件及实时记录文件等。系统分析软件是广域保护系统的核心,包括拓扑状态估计、广域保护、有效输电容量计算、动态安全分析和其他。

(5) 网络服务器。中央监控站将各站间的电压电流相量和功角数据存入 SQL SERVER 数据库的实时表和历史表中。WEB SERVER 负责响应用户的请求,从数据库中获取相应数据并传给用户,使用户可利用浏览器登录网站,实时观测各站间的电压电流相量和功角。同时在数据库中存储动态记录文件并生成索引表。

(6) 数据库。存储实时的电压电流相量和功角,管理各种分析所需的数据(如稳控策略)。所有的历史数据可以方便地存放到硬盘或 CD 上长期保存,可以对归档的历史数据进行反演和计算,并对各时段及用户自定义时段的历史数据进行统计处理。

### 3 广域保护通讯网络设计

目前计算机可通过串口通信和网络 2 种方式进行远程通信。传统的电力系统中远方终端/调制解调器(RTU/Modem)模式下远程测量数据传

输延时大,误码率高,满足不了电网实时同步相量的监测与控制要求。实时功角测量需要构建一套实时性非常好的电网相量分布式测量系统。

传统的微波通信传输 100~200 km 距离会产生 40~100 ms 的延时,这对于电力系统控制应用是无法满足要求的。信号在光纤中可以以光速传输,信号传输 3 000 km 的延时仅为 10 ms,由此可见,即使在一个分布非常广的电网中也可以在 2 个周波内完成所有数据传输。光纤通信系统为电力系统的控制、保护及监控提供最佳的通信服务。光纤通信具有通信容量非常大、传输损耗小、抗雷电和电磁干扰性能好、无串音干扰及保密性好等显著的优点。同步光纤网(Synchronous Optical Network,简称 SONET)和同步数字系列(Synchronous Digital Hierarchy,简称 SDH)为光纤传输系统定义了线路速率的等级结构以及标准光信号,为数字信号的复用和操作过程定义了帧结构<sup>[7~9]</sup>。

将以太网交换机与异步传输模式(ATM)交换机进行配合使用,通过全光纤通道,并采用 TCP/IP 协议和 MFC Socket 手段,克服了在测量子站数目较多情况下的网络数据传输延时不确定的缺点,从算法上消除了网络发生拥塞的各种可能性,较好地解决了“漏斗问题”。湖南湘能许继公司构建了一种电网安全稳定控制系统的通讯网络,如图 3 所示,子站和主站可以实现双向实时数据交换和各地区监测数据共享,构成一个坚强的电力实时数据交换的计算机网络系统。

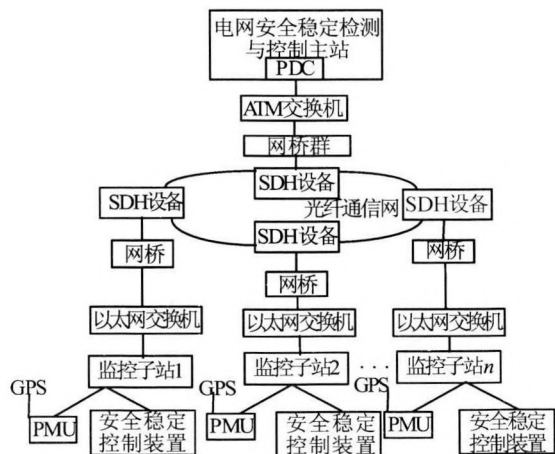


图 3 通讯网络结构

#### 4 广域保护的应用前景

广域保护可能的应用领域如下:系统检测及事故记录、状态估计、各类广域稳定控制系统和自适应保护<sup>[10]</sup>。

传统的保护技术主要基于以往系统研究的某些假设,采取离线分析,并不能反映系统工作情况的改变,因此其保护配置可能不是最优的。而广域测量技术则反映系统状态的变化,同时使用不同地点的实时数据,能够减少系统出错的可能性,基于该技术的保护具有自适应性。

利用广域测量可以实现自适应的纵联保护、距离保护、自动重合闸及失步保护等。例如,在传统距离保护中,由于分支系数的存在,测量阻抗不等于实际保护安装处至故障点的阻抗,从选择性角度考虑,根据最小的分支系数来整定,因此,在分支系数增大的条件下,保护范围将缩短。为克服以上缺点,采用自适应控制措施,由于很容易取得广域信息,在故障条件下实时获得故障线路的电流,可根据电网的运行方式实时确定分支系数和距离保护的整定值。自适应保护原理可以提高灵敏性和选择性,广域测量可以用于实现继电保护自适应功能。

失步保护是传统保护中最难设计的保护之一。传统的失步保护,其判别依据是:视在阻抗进入动作区后,在一整定时间内不能离开动作区,则认为要失去同步稳定,执行解列操作。将不能同步运行的部分相互解列运行是提高大电网可靠性的重要措施之一。

随着电力系统的发展,电网结构和经营方式都发生了很大的变化,为了考虑系统的各种运行工况,其整定越来越困难,在许多场合下经常得不到定值。功角稳定性是同步运行的前提,广域测量提供给失步保护功角数据,用于失步解列就使大电网失步保护设计迎刃而解。

#### 5 结束语

本文对广域保护的概念和结构功能与传统继电保护的区别及其应用前景等进行了分析和探

讨。由于广域保护的保护对象并不像常规保护一样有明确的目标,不是靠修改整定值所能实现的。这就导致广域保护系统没有一个通用的系统设备。常用的策略为切机组、切负荷<sup>[11]</sup>、分散励磁控制、系统解列、稳定器、高压直流控制、失步保护、电气制动、无功补偿及低频切负荷等,需根据具体情况来分析。

随着电网效率的提高和市场化的发展,需要利用广域保护来协调各种保护和自动装置动作,防止无序的连锁跳闸,保证电力协调安全稳定的运行。

#### [参 考 文 献]

- [1] Anderson P M, LeReverend B K. Industry experience with special protection schemes[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1996, 11(3): 1 166—1 179.
- [2] Ingelsson B, Lindstrom P-O, Karlsson D, et al. Wide-area protection against voltage collapse[J]. IEEE Computer Application in Power, 1997, 11: 30—35.
- [3] 蔡运清,汪磊,周逢权,等.广域保护(稳控)技术的现状及展望[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 20—25.
- [4] 曾祥君,郭自刚. 继电保护的新发展——广域保护[J]. 大众用电, 2004, (8): 42—43.
- [5] 鞠平,郑世宇,徐群,等.广域测量系统研究综述[J]. 电力自动化设备, 2004, 27(7): 37—49.
- [6] 丁道齐. 未来型电力系统的广域测量和通信[J]. 电力系统通信, 2004, 25(11): 1—6.
- [7] 严登俊,袁洪,高维忠,等. 利用以太网和 ATM 技术实现电网运行状态实时检测[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(10): 67—70.
- [8] 严登俊,鞠平,袁洪. 网络通信模式下电网相量的广域测量与实时传输系统[J]. 电网技术, 2004, 28(4): 15—18.
- [9] 黄永皓,何南强,代飞,等. 新型功角与相量广域测量系统及其在河南电网中的全面实施[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(8): 97—100.
- [10] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1996. 316—351.
- [11] Begovic M, Fulton D, Gonzalez M R, et al. Summary of "System Protection and Voltage Stability" [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1995, 10(2): 631—637.

(责任编辑 张 镛)