

[控制系统]

广域继电保护研究综述

文/东南大学软件学院 熊 峰

分析了传统后备保护在历次大停电事故中所暴露出的不足，指出广域继电保护能有效解决传统后备保护整定困难、难以应对复杂多变的电网运行情况、无法从整个电网安全稳定的角度进行考虑的缺陷；从在线自适应整定、潮流转移识别、安全稳定控制、故障识别和跳闸策略以及系统的体系架构几个方面对国内外目前的研究成果进行了阐述。

继电保护是保护电力系统安全稳定运行的第一道防线，需要快速准确且可靠地切除故障。然而传统保护基于预设的系统运行方式预先整定的定值难以满足复杂多变的电网实际运行情况，难以兼顾保护的可靠性和安全性，有时甚至难以整定；基于局部测量信息的保护也难以反映整个电力系统的情况，做到全局最优。随着电力行业快速发展，现代电网规模越来越大，电网间的联系也日益紧密。近年来随着柔性交流输电（FACTS）等非线性设备的广泛使用、可再生能源对电网的渗透加大以及电力市场化改革的持续推进，电网运行特性更加复杂多变，系统的运行状态也越来越接近其稳定极限，电网的保护和控制变得更加困难。

2003年的美国、加拿大大停电就是由一次瞬时过负荷导致保护意外动作，继而发展为连锁跳闸累及整个电网。保护选择性和灵敏性难以权衡，保护之间、保护和安全自动装置之间缺乏协调加速了系统的崩溃。多次大停电事故说明，目前电力系统的后备保护系统还存在缺陷。因此，有必要研究基于广域测量信息的广域保护系统。

近年来随着PMU（Phasor Measurement Unit，相量测量单元）等高精度测量设备的应用、高速通信和数据处理能力的提升以及智能变电站技术的发展与成熟，使得广域保护的应用成为可能。

引入基于广域信息的继电保护其根本目的在于：一是基于电网各个节点的测量数据，经计算

后确定一定的控制手段以保证电网的安全稳定运行；二是对现有保护性能进行优化，简化传统后备保护的整定计算，消除保护失配、整定错误等危及电网稳定运行的安全隐患。

国内外学者针对以上两个目的做了大量的研究，本文仅从以下几个方面对目前已取得的研究成果进行总结：在线自适应整定、潮流转移识别、广域安全稳定控制、故障识别和跳闸策略以及系统的体系架构。

自适应整定

自适应保护通过自动调整各种保护功能来适应当前电力系统的状况。继电保护装置能够根据不同电力系统状况自动调整定值。系统状况的改变主要包括设备投退、线路故障引起的电网拓扑的变化以及发电机出力变化和负荷变化引起的潮流变化。例如当一台DG（Distributed Generation，分布式发电装置）接入配网，下游线路的过电流保护定值要随着增大的额定电流值而增大；而当上游线路保护反方向馈线故障时要调整该保护定值。

潮流转移识别

由于目前电流Ⅲ段保护在变电站直流电源失电的情况下仍然要承担后备保护的任务，故电流Ⅲ段保护不能取消。因此为现有过负荷保护配置能够识别潮流转移的算法一直是研究的热点。潮

流转移识别算法能在发生潮流转移时闭锁相关设备保护,允许其短时过负荷,为接下来的切机/切负荷等控制操作赢得时间,防止因保护误动而引起连锁跳闸。

目前基于最短路径法确定受潮流转移影响的输电断面是一类具有代表性的方法,所谓最短路径是指从切除线路的一端经最短电气距离到达另一端所经过的线路。

广域安全稳定控制

广域安全稳定控制定位于保障故障后或发生大扰动时的系统稳定性。广域扰动区别于局部扰动,通常对系统可靠性有重大影响,因而研究面向广域扰动的安全稳定控制系统具有重要意义。广域稳定控制系统利用广域量测系统收集充足的信息,在面对不同的系统运行状况时能够确保合适的保护动作。广域扰动包括频率、电压、相角的暂态/动态不稳定、热过载等。严重的电压和频率偏移,发电机/负荷间相相差过大或是系统的剧烈振荡会对整个系统造成严重破坏。传统的安全稳定控制往往面向其中的一个方面进行控制,缺乏对所有约束条件的统筹考虑,因而往往达不到电网整体状况的最优。研究如何综合考虑各种因素进行广域安全稳定控制将受到越来越多地重视。在广域安全稳定控制方面,相关的控制手段主要有切机/切负荷、电网解列等,针对如何对电网的稳定性进行判断并以什么样的策略施行这些控制措施,国内外学者做了相应的研究。

加拿大的Hydro-Quebec电力公司开发了可编程减负荷系统PLSS,包含4个子系统,即严重扰动检测子系统(ECDS)、远程系统减负荷子系统(RLSS)、可编程减负荷子系统(PLSS)、发电机切除子系统(GRS)。涉及的稳定问题包括电压崩溃和暂态稳定,系统反应时间在200 ms左右。而巴西的SPS系统将整个电网分为多个稳定安全区,各个稳定安全区按照各区电网情况投入SPS系统,系统反应时间也在200 ms左右。近年来,带有精确时标的高采样率的PMU量测数据的引入为提高上述系统的实时性和精确性提供了可能性。

故障识别与跳闸策略

广域保护存在通信延时、保护算法较一般算法复杂,因而可靠性和安全性存在局限,并不能代替传统主保护,而应作为后备保护,与传统

主保护一起承担电网“第一道防线”职责。广域保护的故障识别与跳闸策略的核心在于利用多点同步测量信息,识别故障位置,并通过保护间的配合来达到隔离故障并使故障范围尽可能小的目的。目前的研究除了对电流差动保护原理、方向纵联比较原理的拓展,还有利用各保护动作信息来构建故障识别算法的,近年来智能算法的引入也提升了算法的容错性

广域差动保护算法灵敏度高、有较好的选择性、原理简单可靠,但对同步性要求高,且需要电力网络具备较高的通信能力,因而其推广受到一定的限制。

同时一些学者利用方向元件的信息或是各保护动作信息来构建故障识别算法。这类算法的决策单元只需收集开关量,因而对通信能力要求不高,也不需要时间同步,因而有一定的应用价值。

系统的体系架构

目前的电力系统广域保护一般有三种架构方式,即集中式、分布式和区域集中式。

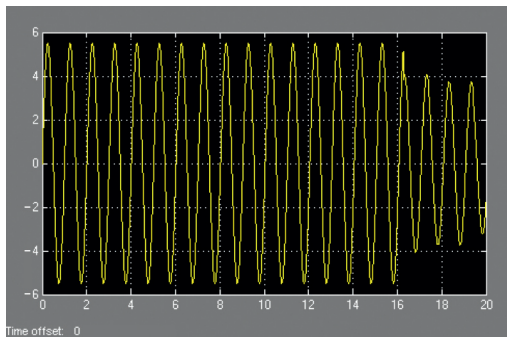
集中式架构分为广域中央决策单元和装设在各个测量点处的IED终端设备两层。集中式架构中的IED设备只需负责将量测信息上送给广域主站,同时接受广域主站下达的控制命令;中央决策单元负责对采样数据进行处理分析,并通过内置的保护控制程序进行决策并将指令下达至各IED。此种架构方式下各IED只需与广域主站进行通信,通信路径固定,拓扑结构简单。缺点是对于网络的通信能力以及中央决策单元的运算能力和处理容量要求很高,对于广域主站过于依赖,一旦广域主站发生故障,则整个广域保护系统也随之瘫痪。

分布式架构下各IED设备地位均等,既是测量执行单元,也是决策单元。各IED终端设备通过点对点通信方式与其他IED进行通信,完成保护和安全自动控制功能。此种方式保护范围不固定,保护算法复杂,牵涉到各IED之间保护控制策略的复杂配合;同时网络通信拓扑结构极为复杂,对各IED的处理能力要求较高,前期投资和后期维护成本极大。但优点是可靠性较高,某个IED发生故障时可以由相邻的IED弥补其功能。

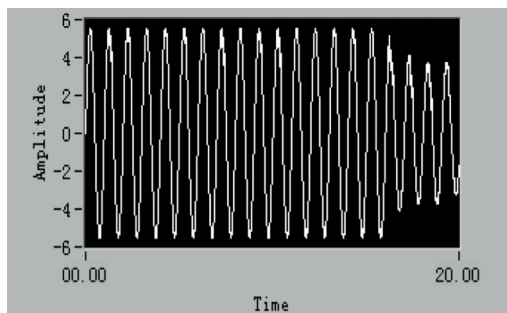
区域集中式保护则是综合了上述两种方案,即该方式第一层为站域层,集成了一个变电站内的常规保护、后备保护以及面向本站的安全自动

(下转第95页)

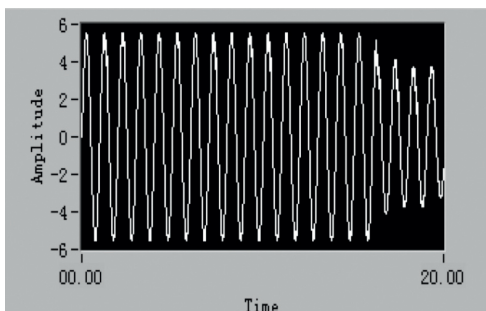
LabVIEW人机界面以及浏览器远程访问界面的输出波形如图6所示。



(a) Simulink仿真波形



(b) LabVIEW人机界面仿真波形



(c) Web浏览器仿真波形

图6 仿真波形对比

由图6可知, LabVIEW与Simulink能够实现仿真模型数据的实时传输, 同时还能对Simulink模型的参数进行在线修改。LabVIEW人机界面通过Web服务器实现了界面之间的远程访问, 控制具有实时性。

结束语

通过仿真验证, 本文的设计方法能够较好地实现风电场仿真系统的功能, 为风电场仿真系统后续的研究奠定了良好的基础。EA

(收稿日期: 2015.06.05)

(编辑: 杨得润)

(上接第91页)

控制功能, 充分利用全站信息, 避免设备重复投资; 第二层为区域层, 若干变电站构成一个区域, 区域决策主站设置在其中的一个变电站, 其他变电站作为区域执行单元, 区域决策主站面向区域电网实现跨变电站的后备保护性能优化以及区域电网的稳定控制和供电恢复控制; 第三层为广域层, 即设置一个广域智能决策单元用于处理收集到的各区域主站上送的信息, 面向广域的空间尺度实现紧急控制、大扰动控制和恢复控制。对于继电保护功能采用IED节点的分散布置方式, 就地采集、分布计算、分布决策, 提高了继电保护功能的可靠性, 避免了通信负荷增大而可能产生的延时; 对于安全自动控制功能采用IED节点的集中式布置方式, 分为站域、区域、广域三个层级, 层级之内以及层级之间建立通信联系, 每个层级关注不同的问题、达成不同的保护控制目标。远期还应与调度监控系统之间形成交互(如广域控制主站与EMS, 站域保护设备与变电

站监控计算机或智能远动机), 实现在线调整整定值, 在线选择保护控制方案以及在线投退保护控制功能。基于上述方案的区域保护控制系统已在广州某区域电网投入了运行, 目前该系统运行良好, 显示出良好的工程实用性, 并为以后向广域保护控制系统的扩展积累了经验。

结束语

广域继电保护系统利用多点信息, 面向电网的系统级层面进行保护控制, 将继电保护系统与安全自动控制装置相结合, 是保障互联大电网安全与稳定的有效手段。随着我国电网互联趋势的发展, 广域继电保护将具有越来越重大的意义。相信随着国家智能电网战略的推进, 各项支持技术的升级, 广域继电保护将会有越来越完备的工程化和实用化应用。EA

(收稿日期: 2015.07.13)

(编辑: 杨得润)