

基于数字化变电站的集中式保护研究

吴国阳, 王庆平, 李刚

(中国电力科学研究院, 北京 100192)

摘要: 阐述了数字化变电站的研究现状。针对现有微机保护无法共享信息的缺陷, 提出了基于数字化变电站的集中式保护的概念。集中式保护在原理上以变电站作为完整的保护对象, 统一考虑全站的保护功能; 在技术上以先进的智能一次设备、可靠的网络通信为基础; 在逻辑上采用两层配置方案: 以差动保护为主的单元保护模块作为间隔级保护, 以基于拓扑理论的网络保护模块作为全站系统级保护。介绍了集中式保护的硬件系统构成、对象建模以及保护功能的实现。试验证明了基于数字化变电站的集中式保护的可行性。由于实现了广泛的信息共享, 有利于提高保护性能, 提高对电网运行方式变化的适应能力, 降低长期运行成本。

关键词: 数字化变电站; 集中式保护; IEC61850

Study of centralized protection based on digital substation

WU Guo-yang, WANG Qing-ping, LI Gang

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: The present study status of digital substation is described in this paper. With the obvious deficiencies of unable information sharing in the microprocessor-based protection, a new concept of centralized protection is proposed. And the whole substation is taken as an integrated protection object to consider its full protection functions. The centralized protection chooses advanced intelligent primary equipments and reliable network as its basis. Logically, the protection scheme is constituted with two layers including the differential protection as interval-level unit and the network protection based on topology theory as system-level protection unit. In addition, the paper also introduces the hardware framework of centralized protection, object modeling as well as the realization of protection functions. Through tests, the feasibility of centralized protection based on digital substations is improved. The centralized protection based on digital substation, sharing a wide range of information, promotes relay's performance, enhances the adaptation capacity of network operation mode change, and lowers long-term system running costs.

Key words: digital substation; centralized protection; IEC61850

中图分类号: TM76; TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)10-0015-04

0 引言

目前,微机保护已在电力系统中得到广泛应用,但仍有一些问题没有得到有效的解决,如后备保护的整定时间过长;保护整定值无法适应系统的动态变化;保护的故障检测技术有限,故障判断和定位还未能做到及时、准确;自适应保护虽然能根据电网的运行状态调整保护功能,但由于其检测到的信息量有限,调节能力不够理想,保护间的配合也尚未考虑周全等。

数字化变电站的发展为电力系统继电保护的发展提供了新的契机^[1]。本文基于数字化变电站具有信息获取和共享便利的优势,提出了基于数字化变电站的集中式保护,阐述了集中式保护的基本原理及其实现方式,并通过试验验证其可行性与可靠性,

希望能为相关研究提供参考。

1 集中式保护的提出

智能化一次设备改变了以往传统一次设备难以满足现代自动化技术需求的窘境,高速发展的网络技术满足了日益增加的对网络传输能力和安全、可靠性能的需求,IEC61850标准有效地解决了原有系统信息集成和共享的复杂程度和技术实现问题^[2]。这些先进技术的应用为信息共享和数字化变电站的实现奠定了基础,也为集中式保护的研究、实施提供了可能性。

数字化变电站与常规变电站的最大区别就在于其各元件的电参量以及运行状态参数可以进行实时测量和传输。安装于数字化变电站上的保护装置因此也可以得到远多于以往的实时信息。相比传统保

护，基于数字化变电站的集中式继电保护装置具有明显的优势：

(1) 提高可靠性方面

①通过数字化变电站各构成设备的拓扑结构及可靠性参数分析其系统的可靠性指标。意义在于找出数字化变电站系统设计在可靠性上的薄弱环节，为冗余设计提供依据。

②系统中某些干扰和特殊工况，例如：变压器的励磁涌流、谐波电流、合闸冲击电流、负荷曲线波谷时电机的启动冲击电流、系统振荡等等，会影响保护动作的可靠性。由于数字化变电站拥有多点信息的优势，保护所能获取的信息相当丰富，可以通过相邻设备保护或断路器的状态，综合分析决定保护的出口动作，提高保护动作的可靠性。

(2) 提高保护性能方面

①加速后备保护动作时限

电力系统各元件的主保护和后备保护之间的配合需要通过不同动作时限的整定来完成。由于有了实时测量的数据，可以在主保护不能正确动作的时候，以较短延时就去触发后备保护，加速后备保护的動作。另外，也可加速按阶梯时限整定的保护动作时限，或为了系统稳定延迟保护的動作。

②保护逻辑、范围的灵活调整

实时测量的数据包含变电站所有设备的数字量信息，可以由多点信息决定保护的動作逻辑。例如，可以实现大差动、小差动等。

(3) 故障检测方面

目前距离保护所用的故障计算方法仍使用的是线路的单端电气量，这种故障距离的计算方法受双端电源参数及故障电阻等因素的影响，数字化变电站使保护故障距离计算使用双端电气量成为可能，可以避免保护的超越动作或拒动。

2 集中式保护的原理

2.1 集中式保护原理

集中式保护并不只是简单地在一个装置中集成多个传统保护装置的功能，如线路三段式过电流保护，距离保护，母线差动保护，变压器差动保护等。由于它集成了全站各个设备的信息，从原理上讲，将能大大提高保护动作的选择性、灵敏性和可靠性，并且能够克服过渡电阻等等的影響。如根据相邻线路的故障信息，实现本线路保护的可靠闭锁或者快速动作；根据相邻设备如变压器的信息，判断线路的故障情况，实现保护动作的绝对可靠性，防止保护误动；根据线路对端断路器的动作信息，实现本端断路器加速动作跳开故障。

本文所提的集中式保护是以变电站作为完整的保护对象，统一考虑全站的保护功能，在逻辑上采用两层配置方案：以差动保护等为主的单元保护模块作为间隔级保护；以基于拓扑理论的网络保护模块作为全站系统级保护。

(1) 间隔保护模块

众所周知，差动保护具有原理简单、动作速度快、可靠性高等优点，但也存在实施难度较大和成本高的缺点，因此，在其他常规保护可以满足灵敏度和可靠性要求的情形下，一些重要元件如 10kV 母线通常也不配置差动保护。数字式变电站实现了数据共享，在任何情况下都可以方便获取差动保护所需的信息，技术和成本不再是差动保护的瓶颈，因此，在数字化变电站中，差动保护可以也应当成为所有一次设备的主保护，从而形成集中式保护的间隔级单元保护模块。

采样信号的同步、CT 饱和、CT 断线、变压器励磁涌流、电容器的充电电流等是影响差动保护正确动作的主要因素。显然，前两者对数字化变电站而言已不存在，其他问题也由于可以方便地得到被保护元件的多端信息，大大改善了差动保护的性能。例如：差动保护元件本端保护在无故障的情形下由于 CT 断线造成误启动，但此时对端差动保护不会启动，因此，对端保护的启动状态可作为本端保护出口的闭锁条件，以确保本端保护不会误出口，从而可以大大降低保护的误动概率。

(2) 网络保护模块

基于全站信息的网络保护模块，可自适应地建立变电站的拓扑结构图，根据拓扑图中各个断路器之间的位置关系，以及它们检测到的状态量信息，判断是哪一个元件发生了故障，并控制其动作。网络保护模块在集中式保护的体系中实际上可以看作是后备保护。网络保护模块的计算速度较快，在单元保护拒动的情况下，能够比传统后备保护具有更短的动作时间和更可靠的动作特性。

2.2 集中式保护示例

当故障发生时，间隔保护模块、网络保护模块都应当开始判断故障类型，并进入保护动作逻辑判定，所不同的是网络保护的動作整定时间要比间隔保护长。两个保护之间的配合应该分两种情况来进行控制：一种就是间隔保护由于某种原因没有正确动作（拒动），而网络保护仍在正常运行，计算出故障位置之后自动触发断路器动作；另一种是间隔保护正确动作、断路器失灵，网络保护通过比较保护的動作信号和断路器的状态量信息后，明确哪一个断路器失灵，然后根据拓扑图去寻找与他相邻的断

路器, 并控制动作。

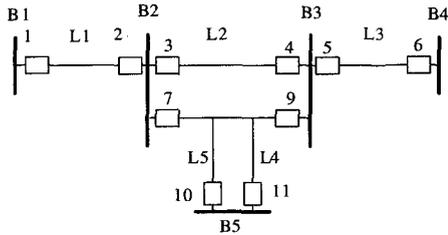


图 1 五节点电网系统

Fig.1 Five-node power system

以图 1 所示的五节点系统为例, 图中的数字 1、2、3 等为断路器和相应间隔保护编号, L 表示线路, B 表示母线。数字化变电站中间隔保护都采用差动保护, 则在线路 L2 发生故障时, 3、4 应动作跳闸。考虑以下情况:

(1) 间隔保护 3 或 4 拒动。

网络保护可以通过采集各断路器安装点的功率流向, 来确定故障位置。此时, 间隔保护 (1、2) 所检测的功率流向相反, 间隔保护 (5、6)、间隔保护 (7、10)、间隔保护 (9、11) 所检测的功率流向也是相反的, 惟有间隔保护 (3、4) 的功率流向相同, 可以判定 L2 发生故障。因此, 网络保护跳开断路器 3、4 切除故障元件。

(2) 间隔保护 3、4 能够正确判断, 但某个断路器失灵。

间隔保护发出跳闸命令后监视对应开关的状态, 如果判断发生了断路器失灵, 则由网络保护进入失灵逻辑, 根据相邻断路器是否存在故障电流及方向确定是否跳闸。若断路器 3 失灵, 网络保护需要跳开与失灵断路器相邻的所有断路器 2、4、7 (有源支路) 来实现线路 L2 的后备保护。

显然这种方案具有明显的优点: 简化了现在保护装置的主、后备保护功能, 确保主保护动作的可靠性, 加速后备保护动作速度。后备保护所需信息量较小。大大减少了保护整定值的设置。

为了确保装置的可靠性, 集中式保护可以采用双机、双网冗余配置, 即两台集中式保护为一组, 实现主、备功能。此外, 集中式保护还具有良好的扩展性, 可加入变电站的站级的控制功能, 例如: 无功补偿、小电流接地选线等。

3 集中式保护的实现

IEC 61850 标准主要是以通信的方式体现在硬件上。基于数字化变电站的集中式保护同样依赖于

通信。过程层通过合并单元将采集到的信号以通信方式传递给间隔层保护装置, 智能执行单元以通信方式接收保护装置发出的命令。保护装置作为间隔层设备主要实现控制和保护功能。变电站层则实现变电站就地操作、外部数据交互接口和通用功能服务等。

3.1 硬件系统

(1) 通信基础

基于 IEC61850 的集中式保护系统以网络交换以太网技术为基础。由于涉及较多实时过程数据的采集, 如测量、控制、保护, 特别是暂态信息的采集, 信息量大, 实时响应要求高。为防止出现实时信息在网络上发生碰撞以至影响实时响应要求, 站内网络拓扑采用星型结构, 通信介质使用 100M 光纤以太网, 组网方式为 VLAN 虚拟以太网。必要时可考虑采用 VLAN 优先级协调多以太网跨过多交换机运行。为了增强网络通信的可靠性, 可配置双网。

(2) 合并单元

过程层通过合并单元将采集到的信号以通信方式传递给间隔层设备——集中式保护装置。为了实现高速精确的交流同步采样, 合并单元采用了运算速度达 200 MPS 的 ARM9200 芯片, 并选用 6 通道 16 bit 差分信号的 ADS8364 作为 A/D 转换芯片, 转换速度可达 250 kHz。每个合并单元的对应标准输入 12 路, 采样率为 4800 Hz。

(3) 智能执行单元

为了确保处理能力以及平台的一致性, 智能执行单元同样采用 ARM9200 芯片。除了完成对断路器和刀闸的控制之外, 智能执行单元还负责相关开关量的采集。

(4) 集中式保护装置

作为间隔层设备的集中式保护装置除完成全站的保护功能、人机对话外, 还要实现与过程层和变电站层通信, 功能较为复杂, 计算量较大。为了保证系统能稳定可靠的工作, 采用功能强大的 X86 系统, 并选用高可靠性、强实时性 VxWorks 实时操作系统。

3.2 保护对象建模

由于 IEC61850 采用面向对象技术在 IED 中建立分层的对象模型, 集中式保护装置实际上包含了站内所有和保护功能相关的逻辑设备 (LD)。LD 由多个基本的逻辑节点 (LN) 组成, LN 则具有多个数据对象 (DO) 及其对象属性集 (DA)。LD 和 LN 只是分别提供服务和对数据的操作, 规定保护功能所在 LN 的对外表达和接口, 对保护算法内容并不做描述。各 LN 相应的保护功能仍然可以按照传统微机保护的方式

来实现,只不过需要和LN的服务方法对应,建立起相应的调用关系^[3]。

以线路保护逻辑设备建模为例,一个标准的12路输入的合并单元可以被抽象为一个逻辑设备。每个合并单元采集三相保护用电流,三相测量用电流、零序电流、零序电压、母线电压、线路抽取电压共12路信号。

3.3 保护功能的实现

集中式保护基于 IEC61850 标准协议通过以太网通信实现保护功能。合并单元采集模拟信号转换为数字信号,并通过网络将发送给集中式保护装置。智能执行单元同样通过网络将开入信号传送给集中式保护装置。保护装置接收到合并单元的数字采样信号和智能执行单元的开入信号后,在调度定时中断时间片到来时,采用网络传来的最新模拟信号,依次调用各保护算法进行计算,在完成所有计算、判别后更新相应对象属性,并将出口信号组织成相应的报文,例如快速跳闸的指令、告警报文等,启动报文发送任务,通过网络给智能执行单元发送出口动作命令,从而实现保护功能。

经过一系列的仿真和测试,集中式保护的可行性得到了充分验证。

4 结束语

基于数字化变电站的集中式保护,具有信息获取和共享便利的优势,有利于继电保护的原理改进和创新,提高继电保护的安全性和可靠性保障措施,提高后备保护的选择性、灵敏度和快速性,提高对电网运行方式变化的适应能力。和传统的分布式保护相比,基于数字化变电站的集中式保护有其不可替代的优越性^[4]。

本文探讨了基于数字化变电站的集中式保护的优点和原理,提出了实现方案,并通过试验验证了其可行性。

当然,基于数字化变电站的集中式保护的研究尚处于刚刚起步阶段,国内外尚无先例,本文的设

想还很不成熟,无论是理论上还是实践上,都还需要作大量的工作。

参考文献

- [1] 王大鹏,栗俊凯,晁军征.浅谈数字化变电站发展和应用[J].山东电力技术,2007,(1):14-18.
WANG Da-peng, LI Jun-kai, CHAO Jun-zheng. Brief Introduction of the Development and Application of Digital Substation[J]. Shandong Electric Power, 2007, (1): 14-18.
- [2] 高翔,张沛超.数字化变电站的主要特征和关键技术[J].电网技术,2006,30(12):67-71.
GAO Xiang, ZHANG Pei-chao. Main Features and Key Technologies of Digital Substation[J]. Power System Technology, 2006,30(12):67-71.
- [3] 王丽华,江涛,盛晓红,等.基于 IEC 61850 标准的保护功能建模分析[J].电力系统自动化,2007,31(2):55-59.
WANG Li-hua, JIANG Tao, SHENG Xiao-hong, et al. Analysis on Protection Function Modeling Based on IEC 61850 Standard[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(2):55-59.
- [4] 国家电网公司.数字化电网及数字化变电站关键技术研究框架[Z].2007.
State Grid Corporation of China. Key Technologies Research Framework of Digital Power Grid and Digital Substation[Z]. 2007.

收稿日期:2008-06-11

作者简介:

吴国暘(1974-),男,高级工程师,硕士,研究方向为微机保护及变电站综合自动化;E-mail:wugy@epri.ac.cn

王庆平(1975-),男,高级工程师,博士,研究方向为电力系统故障分析及继电保护;

李刚(1978-),男,工程师,硕士,研究方向为电力系统及其自动化。

(上接第4页 continued from page 4)

ZHANG Yong-jun, LI Yong, CAI Guang-lin, et al. Modeling of Dynamic Voltage Support Optimization for Receiving Networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(24): 29-33.

作者简介:

廖民传(1983-),男,硕士研究生,主要从事电压无功优化研究;E-mail:liao mch@163.com

蔡广林(1980-),男,博士,主要从事电压稳定分析与控制研究及设计工作;

张勇军(1973-),男,博士,副教授,研究方向为电力系统无功优化、电压稳定研究。

收稿日期:2008-07-01; 修回日期:2008-08-05