

# 基于智能变电站站域保护的研究

廖先泽, 庄圣贤, 施孟阳

(西南交通大学电气工程学院, 成都 610031)

**摘要:** 传统继电保护仅利用本单元的电气量及有限的状态量完成故障判断, 不能反映电网的整体运行状况, 相互之间缺乏协调配合, 为此提出了站域保护的基本概念。研究了适用于智能变电站的站域保护逻辑结构, 站域保护系统通过交换机和以太网实现了变电站内智能设备间信息的共享和互操作, 系统采用集中式的处理结构, 利用多信息进行故障定位。结合典型的 500 kV 变电站接线, 分析了按电压等级构建的站域保护配置方案。基于智能变电站信息共享的站域保护信息量完整, 改善了传统继电保护的不足, 能提升继电保护性能和系统安全稳定运行能力。

**关键词:** 智能变电站; 站域保护; 方案; 信息矩阵

中图分类号: TM732

文献标志码: A

文章编号: 1007-1881(2015)05-0006-04

## Study on Substation Area Protection in Intelligent Substation

LIAO Xianze, ZHUANG Shengxian, SHI Mengyang

(College of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** For conventional relay protection, the electrical quantity and limited quantity of state are used for fault diagnosis. The two kinds of quantity are not enough to reflect the overall operation of power grid and lack coordination and cooperation. Therefore, the paper proposes a basic concept of substation area protection and investigates substation area protection logic structure applicable to intelligent substations. The substation area protection system enables information among intelligent devices in substation to share and interoperate via exchanger and Ethernet; it uses a structure of centralized processing and employs multiple information for fault location. Combining typical 500 kV substation wiring, the paper analyzes substation area protection configuration scheme established in line with voltage class. The substation area protection based on information sharing of intelligent substation, owning complete information quantity and improving disadvantages of conventional relay protection, can enhance relay protection performance and operation safety and stability.

**Key words:** intelligent substation; substation area protection; scheme; information matrix

## 0 引言

随着我国智能电网规模的不断扩大, 各大区域电网逐渐互联, 运行方式愈加灵活多变, 使得电网故障出现的几率也显著增加。继电保护作为保障电网系统安全的第一道防线, 其准确、快速和可靠的动作将有效遏制故障范围扩大, 减小局部故障对整个电网的影响; 反之, 在故障情况下保护的拒动或误动将扩大故障范围, 甚至可能加速电网的崩溃。对大停电事件的研究表明, 传统继电保护仅利用本单元的电气量信息和断路器状态量, 只是反映局部保护元件的故障特征, 保护与安稳控制相互之间缺乏协调, 已不能适应电网安全的要求。因此, 研究如何将全局信息引入继

电保护系统, 提高保护的准确性和可靠性, 解决后备保护受运行方式的影响有着重要的理论和现实意义<sup>[1]</sup>。

最新研究的基于信息共享的站域保护能够适应当前和未来智能变电站的发展要求<sup>[2]</sup>。目前, 国内外针对站域保护的研究主要集中于以下几个方面: 解决相关的技术应用问题; 保护算法的研究<sup>[3-6]</sup>; SABP(服务区域广播协议)与主保护之间如何协调配合<sup>[7]</sup>; SABP 信息通信网络实时性能研究及减小信息传输延时和动作延时<sup>[8]</sup>等。

综合近年来国内外智能变电站站域保护的研究方案, 着重论述了站域保护的原理和故障定位方法, 提出了站域保护配置方案, 实现全站信息的共享, 利用更多的故障信息以提高后备保护的

准确性和可靠性。针对典型智能变电站站域保护应用实例,进行了较系统地分析。

## 1 智能变电站站域保护的概念和功能

### 1.1 站域保护的概念

目前,学术界对站域保护还没有明确、具体的定义。分析当前出现的几种主要观点对站域保护概念作如下简述:基于智能变电站高速通信网络,在利用变电站全站信息实现信息共享的基础上,根据网络拓扑结构,对故障进行快速、可靠、精确的切除,这种整合集成站内后备保护和控制系统于一体,以简化后备保护配置,改善保护及控制系统性能的继电保护称为站域保护。

### 1.2 站域保护的功能

由于集中了变电站的全站信息,与传统的继电保护相比,站域保护获得了更多的故障信息,有利于提高和改进其保护性能;站域保护实时获取变电站全站的电气量,可以快速、精确、可靠地对变电站站内以及引出线上发生的故障进行定位,以优化的跳闸策略快速切除故障设备;主保护拒动时,站域保护起到快速近后备保护作用;断路器失灵时,跳开失灵断路器的相邻断路器;当变电站直流电源消失,本站不能切除故障时,由相邻后备保护切除相应的断路器,实现远后备保护<sup>[9-10]</sup>。

站域保护系统可以提供各种需要的信息,如有关元件的电压、电流、频率、故障状态和就地动作结果等。站域保护还可以简化变电站继电保护及控制系统的结构,改善其性能,并且根据网

络拓扑结构和潮流的变化智能调整定值,如故障时调整为重负荷定值,根据电网拓扑结构自动调整定值等。同时也可以作为子站接入保护系统,与主保护配合,实现区域电网保护与安全控制。子站可以提供实时同步的电网运行数据,在此基础上可实现一些高级的分析功能,如利用PMU(同步相量测量单元)数据实现双端电源系统的振荡自动识别等<sup>[11]</sup>。

## 2 站域保护系统结构

站域保护过程包括相应的数据采集、传输和处理。智能变电站的分层分布式结构,即站控层、间隔层和过程层,以及高速的网络通信功能完全能够满足站域保护对数据采集,传输和处理的要求。基于智能变电站的信息共享特点,站域后备保护系统结构设计如图1所示。

按照国家电网制定的协议标准,SV(电压电流采样值)报文和GOOSE(面向通用对象的变电站事件)报文包含的开关量信息和跳闸/关断命令,应该直接传送给继电保护设备。而且,SV和GOOSE将通过以太网发送给过程总线构建双信息网络,间隔层的其他IED(智能电子设备)从这个双网络获得数字信号以执行相应的功能。在站控层,MMS(制造报文规范)网络实现了工作站、调度中心和间隔层IED的自动控制和监控。

如图1所示,站域保护层位于间隔层,全站配置了2套站域保护系统,在保护原理上2套系统完全一样,都包括了数据采集及计算模块、故障定位模块、保护跳闸决策模块等3个功能模块

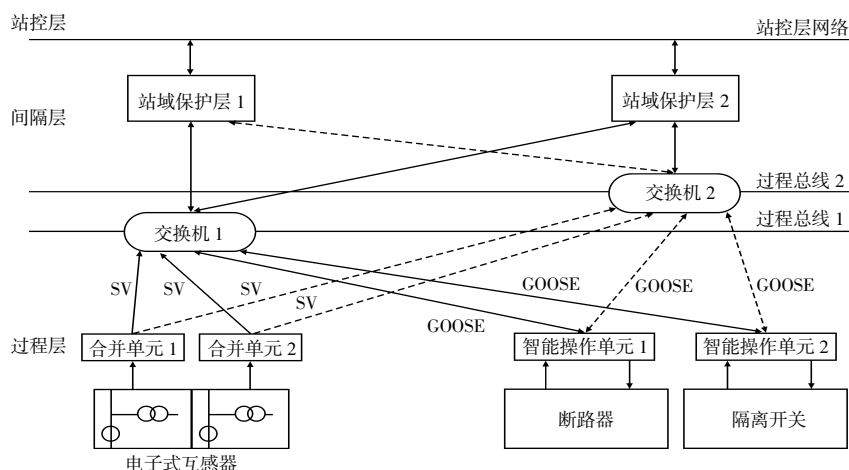


图1 站域后备保护系统结构

组成, 彼此互为备用工作, 提高了保护系统的可靠性和稳定性。控制设备, 测量单元和其他 IED (不包括保护设备) 通过相同的通信网络获取电压/电流采样值, 开关状态信息并传送控制命令, 实现了 IED 之间的信息共享和电气设备间的互操作。

此外, 智能变电站站域保护系统的硬件设备采用集成化, 能够实现测量、保护和控制等功能一体化, 使站域保护系统突破了间隔的限制, 简化了硬件结构, 降低了开发成本, 减少了现场运行维护工作量和难度。

### 3 站域保护原理

站域保护在运行理念和原理方面和广域后备保护很相似, 仅仅是保护域和应用范围的不同, 可以参考广域后备保护算法进行研究。在此分析了可以应用于站域保护系统的电流差动保护和纵联方向比较保护 2 种算法。

#### 3.1 电流差动保护原理

传统电流差动保护原理可以描述为: 被保护对象各端差流的产生引起差动继电器电流比较结果的变化, 该变化反映了保护区域内有故障的存在<sup>[12-13]</sup>。站域电流差动保护的运行机制与传统电流差动保护很相似, 然而, 站域电流差动保护对象针对的是区域, 而不是单个元件, 明显减小了后备保护系统的动作延时和故障切除范围。

文献[14]提出了一种可行的分区结构: 对于每个保护单元, IED 是广域保护的核心元件, 最小的保护区域由线路和安装了 IED 的主变压器组成, 最大保护区域是由最小的保护区域及其线路和相邻母线组成。图 2 为一种电流差动保护区域划分图。

图 2 中每个保护 IED 安装在相应的断路器上并对其进行编号, L1 和 L2 代表线路, T 表示主变压器, A, B, C 和 D 代表母线。区域 I 为最小的保护区域, 包括 IED 所在线路和背侧母线, 由区域 I-1 和区域 I-2 组成。区域 II 是最大保护区域, 划分为与最小保护区域相邻的所有线路和母线构成的区域, 由区域 II-1 和区域 II-2 组成。

以 IED5 为例, 其他 IED 的分析方法类似。故障发生后, 首先判断 IED5 电流与 IED2 电流、IED3 电流、IED4 电流和 IED6 电流的关系, 如果确定区域 I 发生故障, IED 立即发送跳闸信息跳

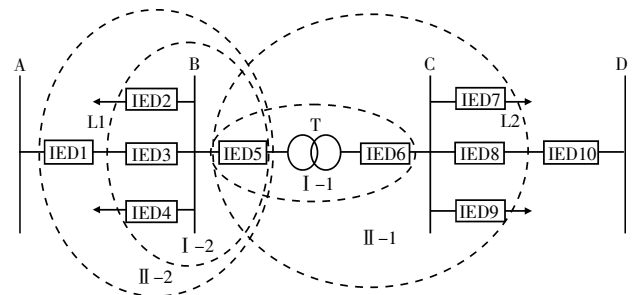


图 2 电流差动保护区域划分

开所控制的断路器。如果主变压器 T 发生故障, IED5 不能获得来自 IED6 的电流信息, IED5 将自动扩展当前的电流差动保护区域。

站域电流差动保护的优势在于相对简单的工作原理和良好的快速性及选择性。这种保护对电流采样值的实时通信具有很高的要求, 需要与 GPS(全球定位系统)和相位测量单元相配合。因此, 站域保护系统的设计具有一定的复杂性。

#### 3.2 纵联方向比较原理

纵联方向比较原理可以描述为: 保护系统通过方向保护 IED 采集各安装点的故障方向信息, 并在对方向信息矩阵评估和分析的基础上完成故障的定位和判断, 然后向相应的 IED 发送动作信息跳开断路器。如图 3 所示, 以 5 节点电力系统结构为例, 详细的描述了广域方向保护的故障过程模式。

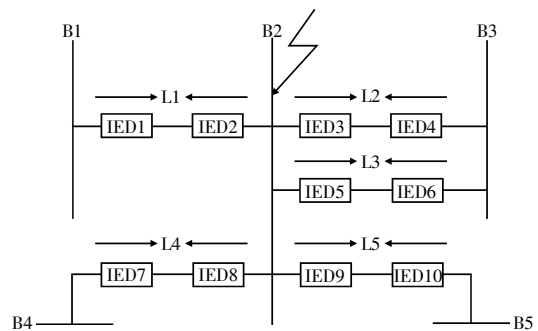


图 3 5 节点电力系统方向保护原理

每个方向保护 IED 安装在对应的断路器和电路互感器上, 标记为 IED1—IED10。L1—L5 代表线路, B1—B5 表示母线。母线作为变电站电能汇聚和分配的重要一次设备, 所有的方向元件和断路器都与其直接相连, 其与出线的联系可以表示出站域的拓扑联系<sup>[15]</sup>。变电站实时采集站域内各方向元件的信息, 形成如表 1 格式的方向保护

IED 和线路/母线的关系表。

表 1 方向保护 IED 和线路/母线的关系

母线	IED 对应线路				
	L1	L2	L3	L4	L5
B1	IED1				
B2	IED2	IED3	IED5	IED8	IED9
B3		IED4	IED6		
B4				IED7	
B5					IED10

假定流出母线的电流为正，用 1 表示；流入母线的电流为负，用-1 表示。图 3 所示箭头方向即为各方向元件电流的正方向。正常情况下形成的方向信息矩阵表示为  $Z$ 。

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

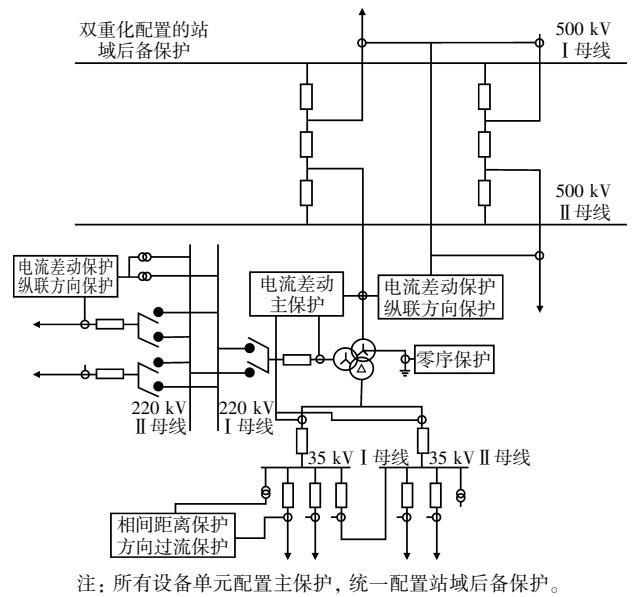
信息矩阵  $Z$  一直处于更新状态，同时保护系统不断地分析矩阵  $Z$ ，如果出现和矩阵  $Z$  有不同的元素，启动保护元件，经逻辑判断实现故障的定位。

这种基于纵联方向比较原理的站域保护以方向信息的综合判断为基础，优势在于传输的实时数据量较少，只有方向信息和开关状态量，原理简单可靠。然而，在特定的状况下，如系统振荡引起电压、电流幅值和频率的变化，故障分量中会出现较大的不平衡量，方向保护 IED 的性能会受到一定的影响，可能引起保护的误动。

#### 4 500 kV 变电站站域保护配置方案

在智能变电站设计中，应该坚持主保护面向间隔，后备保护面向站级的站域保护配置原则，主保护仍然由变电站内智能保护设备实现<sup>[16]</sup>。为了满足继电保护速动性、选择性、可靠性、灵敏性的要求，500 kV 变电站采取如图 4 所示的直采直跳双重化的主保护加后备保护配置方案，二者并行、协同地工作。

图中 500 kV 出线和 220 kV 出线配置电流差动保护和纵联保护作为线路主保护，35 kV 出线配置相间距离保护和方向过流保护作为本单元的主保护。对变电站内主设备和间隔单元不单独配置后备保护，而是在主保护基础上只增加 1 套站域后备保护，对后备保护进行集中控制和决策，



注：所有设备单元配置主保护，统一配置站域后备保护。

图 4 智能变电站站域保护的配置方案

完成变电站内所有一次设备的后备保护功能。

若出现 220 kV 出线故障，传统继电保护只能由变压器 220 kV 侧的后备保护越级跳闸切除线路故障。直采直跳的双重化主保护加站域保护完全可以利用采集的全站信息判断出是 220 kV 线路保护的拒动，而不是 220 kV 断路器拒动，迅速地跳开 220 kV 出线，避免了事故的扩大；若是 220 kV 断路器拒动，站域保护也可以迅速地指令主变压器 220 kV 侧断路器跳闸，保证了电网的安全和稳定。

集中式后备保护简化了原来分散到变压器、母线和断路器保护重复设置的后备保护，由于实现了全站信息的共享，结合相应的站域保护算法，减少了后备保护的動作时间，提高了后备保护的容错性能。

#### 5 结语

站域保护实现了站内信息的高度共享，改善了后备保护的性能，提高了继电保护对电网的适应能力。基于电流差动原理的站域保护整定简单，动作延时固定，灵敏度较高；基于纵联比较原理的站域保护以方向信息的综合判断为基础，传输的实时数据量较少，对故障的定位具有很高的精准性。设计的双重化配置的保护方案既保留了传统主保护的性能，又优化了后备保护的配置，

(下转第 13 页)

(上接第 9 页)

提高了后备保护的容错性能。

## 参考文献:

- [1] 王慧芳,何奔腾.利用状态量信息的集合保护规范化判据研究[J].中国电机工程学报,2008,28(22):81-86.
- [2] 陈磊,张侃君,夏勇军,等.智能变电站站域保护研究综述[J].华东电力,2013,41(5):947-953.
- [3] 蔡小玲,王礼伟,林传伟,等.基于智能变电站的站域保护原理和实现[J].电力系统及其自动化学报,2012,24(6):128-133.
- [4] 王媛,焦彦军.基于多 Agent 技术的站域保护系统的研究[J].电力系统保护与控制,2013,41(3):80-85.
- [5] 刘益青,高厚磊,高伟聪.适用于数字化变电站的继电保护数据处理新方法[J].电力系统自动化,2011,35(15):68-72.
- [6] 高厚磊,刘益青,苏建军,等.智能变电站新型站域后备保护研究[J].电力系统保护与控制,2013,41(2):32-38.
- [7] CHEN LEI,ZHANG KANJUN,XIA YONGJUN,et al. Study on the Substation Area Backup Protection in Smart Substation[C]. Power and Energy Engineering Conference, 2012.
- [8] CHEN LEI,ZHANG KANJUN,XIA YONGJUN,et al. Scheme design and real-time performance analysis of information communication network used in substation area backup protection[C].Power Engineering and Automation

Conference,2012.

- [9] ZHOU L C,HANG B H,CHENG L Y,et al. Centralized substation backup protection with high reliability[J].IEEE Trans on Power Delivery,2012,17(2):375-380.
- [10] 李颖超.新一代智能变电站层次化保护控制系统方案及其可靠性研究[D].北京:北京交通大学,2013.
- [11] 耿建风.智能变电站设计与应用[M].北京:中国电力出版社,2012.
- [12] 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,2006,30(5):91-95.
- [13] 周泽昕,王兴国,杜丁香,等.一种基于电流差动原理的变电站后备保护[J].电网技术,2013,37(4):1113-1120.
- [14] CONG W,PAN Z C,ZHAO J G,et al. A Wide Area Protective Relaying System Based on Current Differential Protection Principle[J]. Power System Technology, 2006(30):91-95.
- [15] 胡忠山.基于站域信息的继电保护组网方案研究[D].北京:华北电力大学,2012.
- [16] 高东学,智全中,朱丽均,等.智能变电站保护配置方案研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(1):68-71.

---

收稿日期:2015-01-13

作者简介:廖先泽(1989),男,硕士,主要研究方向为智能变电站继电保护。

(本文编辑:杨勇)