



智能电网层次化保护

马 静 王增平 著



科学出版社

智能电网层次化保护

马 静 王增平 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了智能电网环境下就地保护、站域保护及广域保护的最新研究结果。

全书共6章,第1章主要介绍继电保护基本理论和层次化保护构成模式等基础知识;第2章主要介绍变压器和线路等就地常规保护;第3章主要介绍新能源故障特性及就地新能源保护;第4章介绍拓扑分析及其容错辨识;第5章分别介绍基于逻辑量和电气量的站域保护;第6章分别介绍基于逻辑量和电气量的广域保护。

本书内容新颖丰富,几乎涵盖智能电网层次化保护研究的各个方面,可为电气工程专业的高等院校师生以及科研技术人员提供有益的参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网层次化保护/马静,王增平著. —北京:科学出版社,2016.1
ISBN 978-7-03-045340-2

I. ①智… II. ①马…②王… III. ①电力系统-研究 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 187191 号

责任编辑:刘宝莉 孙伯元 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年1月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016年1月第一次印刷 印张:22

字数:433 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

智能电网的建设正在大力推进,层次化保护在这一大背景下被提出并迅速成为研究焦点。本书首创性地对智能电网层次化保护进行了全面宏观的探讨,并对具体方案进行了细致的分析。

随着大规模新能源的接入和交直流混合超/特高压互联大电网的发展,仅利用本地信息的阶段式保护,在解决适应网络结构和运行方式多变等方面捉襟见肘;同时,分布式电源的接入使配电网由单辐射网络变成双端或多端网络,潮流分布及故障时短路电流的大小和流向发生根本性变化,原有靠定值整定的保护方式存在很大局限性,导致继电保护的灵敏性和选择性不能有效兼顾。在国内外多次发生的大停电事故中,保护动作的不合理通常是事故诱发和扩散的主因之一,并最终成为促使电网崩溃的助力。

摆脱局部或本地信息的束缚,站在电力系统全局角度的层次化继电保护是解决传统保护上述问题的根本途径。近些年,不少高校和电力企业积极参与了层次化继电保护的探索,不仅在原理研究上取得了很多进展,还有一些局部工程示范,这些研究成果为构建层次化保护、克服传统继电保护的难点奠定了基础。本书在总结现有研究成果的基础上,充分吸收传统继电保护的教训,以作者本人的研究成果为主体,在一定的广度和深度上对层次化保护建设的关键技术问题,如层次化保护构成模式、就地保护、站域保护及广域保护等进行了前瞻性的探讨,试图为层次化保护建设指明演进方向。

本书力求基础理论部分深入浅出、公式推导严谨完整,在此基础上,通过大量的案例分析,对于书中所介绍的层次化保护相关方案进行了严密且贴合工程实际的验证。需要注意的是,由于层次化保护方兴未艾,书中所论述的内容未必为最终的解决方案,对于目前尚未统一认识的问题,作者在书中提出了鲜明的观点,真诚期待本书能起到抛砖引玉的作用,读者可在本书的启发引导下做出更为优秀的研究成果。由于篇幅所限,无法详细介绍的问题列出参考文献供读者深入探讨研究时参考。

本书可供高等院校研究生、科研单位技术人员以及有一定理论水平和实践经验的专业人员,在从事层次化保护科学研究和相关技术革新时阅读使用。由于作者水平所限,书中不足之处在所难免,望广大读者予以批评指正。

对于本书写作过程中给予大力支持的国家自然科学基金资助项目(51277193, 50907021)、国家重点基础研究发展计划项目(973 项目)(2012CB215200)、霍英

东教育基金(141057)、中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014ZZD02)、北京市科技新星支持计划(Z141101001814012)、北京市优秀人才支持计划(2013B009005000001),作者在此表示衷心的感谢!

马 静

2015 年 5 月

目 录

前言

第 1 章 电力系统继电保护理论简介	1
1.1 概述	1
1.2 继电保护的作用	1
1.3 继电保护的基本要求	3
1.3.1 可靠性	3
1.3.2 选择性	3
1.3.3 速动性	3
1.3.4 灵敏性	4
1.4 继电保护的基本原理	5
1.4.1 过电流保护	5
1.4.2 方向电流保护	5
1.4.3 距离保护	6
1.5 层次化继电保护	8
1.5.1 就地保护	8
1.5.2 站域保护	9
1.5.3 广域保护	10
1.5.4 本书使用的层次化继电保护构成模式	11
1.6 小结	12
第 2 章 就地常规保护	13
2.1 概述	13
2.2 就地变压器保护	13
2.2.1 基于数学形态学识别励磁涌流	14
2.2.2 利用基波幅值变化特征识别励磁涌流	31
2.2.3 基于网格分形鉴别励磁涌流	38
2.2.4 TA 饱和识别新方法	48
2.2.5 基于等效瞬时漏感与回路方程的变压器保护	55
2.2.6 基于广义瞬时功率的变压器保护	63

2.3	就地线路保护	67
2.3.1	基于电压相位比较的单回线路距离保护	68
2.3.2	基于阻抗复数平面的单回线路距离保护	78
2.3.3	基于补偿电压的双回线路故障定位	87
2.3.4	基于复合相量平面的过负荷识别	98
2.3.5	基于电流突变量的故障线路选相	109
2.4	小结	120
第3章	就地新能源保护	121
3.1	概述	121
3.2	新能源电源故障特性	122
3.2.1	DFIG 数学模型及低电压穿越特性	122
3.2.2	Crowbar 未投入情况下 DFIG 故障暂态特性	124
3.2.3	Crowbar 投入情况下 DFIG 故障暂态特性	153
3.3	集中式新能源保护	169
3.3.1	风电场接线形式及保护配置	169
3.3.2	风电场集电线路新型自适应距离保护方案	170
3.3.3	风电场送出线路电流差动保护方案	179
3.4	分布式新能源保护	184
3.4.1	含分布式电源的配电网自适应保护方案	184
3.4.2	孤岛检测方法	190
3.5	小结	206
第4章	拓扑分析方案	208
4.1	概述	208
4.2	站内拓扑分析	208
4.2.1	主接线特征分析	208
4.2.2	基于主接线特征的拓扑分析新方法	210
4.2.3	方案验证	212
4.3	站间拓扑分析	216
4.3.1	电网静态拓扑分析	216
4.3.2	电网拓扑更新	218
4.3.3	方案验证	220
4.4	拓扑容错辨识	224
4.4.1	道路-回路方程	224
4.4.2	拓扑错误与不良数据对支路电流的影响分析	226

4.4.3 基于道路-回路方程的拓扑错误辨识方法	229
4.4.4 方案验证	230
4.5 小结	245
第5章 站域保护	246
5.1 概述	246
5.2 基于电气量的站域保护	246
5.2.1 站域分区	246
5.2.2 典型故障案例	251
5.2.3 方案性能分析	254
5.3 基于逻辑量的站域保护	254
5.3.1 自适应电流保护整定	255
5.3.2 支撑度计算方法	257
5.3.3 站域电流保护算法	261
5.3.4 方案验证	263
5.4 小结	269
第6章 广域保护	271
6.1 概述	271
6.2 基于电气量的广域保护	271
6.2.1 利用故障电源信息的广域保护	271
6.2.2 利用故障网络信息的广域保护	281
6.2.3 适用于多重故障识别的广域保护	297
6.3 基于逻辑量的广域保护	302
6.3.1 基于距离保护信号的广域保护	302
6.3.2 基于电流保护信号的广域保护	312
6.3.3 基于虚拟阻抗信号的广域保护	322
6.4 广域跳闸方案	331
6.4.1 基于方向权重的跳闸策略	331
6.4.2 方案验证	337
6.5 小结	342
参考文献	343

第1章 电力系统继电保护理论简介

1.1 概 述

继电保护作为保障电网安全的第一道防线,对于快速隔离故障、有效控制事故蔓延至关重要。然而,近年来随着大规模新能源电力的不断接入,现代电网的结构变得越来越复杂,传统继电保护也暴露出越来越多的问题,如后备保护整定配合困难,电网结构或运行工况发生非预设性变化,可能发生拒动或误动,在大负荷转移情况下易引发连锁跳闸,造成大面积停电事故等。

为解决上述问题,继电保护领域提出了智能电网层次化继电保护架构体系。层次化继电保护依托智能电网,基于信息共享技术,由间隔层保护、站域层保护和广域层保护组成。间隔层保护也即就地保护,以保护设备为目标,独立分散配置,完成站内元件主保护的功能;站域层保护即站域保护,由设置在每个厂站的站域主机集中本站各元件信息,完成站内元件后备保护的功能;广域层保护即广域保护,由相关站域保护单元交互信息,实现站间近后备和远后备保护的功能。

本章首先对电力系统继电保护基本理论进行介绍,概述继电保护的作用以及基本要求,并对继电保护的基本原理进行阐述;然后详细分析层次化继电保护的构成模式,讨论就地保护、站域保护与广域保护间的配合关系与各自的保护范围,为本书后续章节内容的展开打下基础。

1.2 继电保护的作用

电力系统是指电能生产、变换、输送、分配和使用的各种电气设备按照一定的技术与经济要求有机组成的一种能量传输网络,一般将电能通过的设备称为电力系统一次设备,如发电机、变压器、断路器、母线、输电线路、补偿电容器、并联电容器、并联电抗器、电动机和其他用电设备等。对一次设备的运行状态进行监视、测量、控制和保护等的设备称为电力系统的二次设备。通过电压、电流互感器将一次设备的高电压、大电流信号按比例转换为低电压、小电流信号,供二次设备使用^[1]。

电力系统的运行状态,一般可由运行参量来描述,主要的运行参量包括有功功率、无功功率、电压、电流、频率以及各电动势相量间的角度等。根据电力系统

的不同运行工况可以将电力系统的运行状态分为正常状态、不正常状态和故障状态。

在电力系统正常运行时,各种一次设备和主要的运行参量均处于允许的偏差范围以内,电力系统及其所有设备可以长期运行,以提供合格的电能。然而,当电力系统受到某种干扰时,主要运行参量的平衡将被打破,运行状态也将随之而变。

电力系统在受到干扰后,依据干扰程度的不同,其结果有两种可能性:一种情况是系统由原来的稳定状态过渡到另一种新的稳定状态后,运行参量相对于正常值的偏差能够保持在一定的允许范围,系统仍能继续正常工作,如负荷的增减、原动机的调整等;另一种情况是当电力系统发生各种故障的时候,系统的运行将发生剧烈变化,导致电力系统、电气设备、用户的正常供电遭到局部破坏,甚至全部破坏。

对于故障状态,如果不采取特别措施,那么系统就很难恢复正常运行,将给工农业生产、国防建设以及人们的生活带来严重的影响。电力系统可能发生的故障类型较多,包括短路、断相及多种故障的相继发生等。最常见和最危险的故障是各种形式的短路,包括三相短路、两相短路、两相接地短路、单相接地短路以及电机、变压器绕组的匝间短路等。此外,还可能发生一相或两相断线,以及上述几种故障相继发生的复杂故障。

因为电力系统各设备之间都是相互联系的,某一设备发生故障,瞬间就会影响整个系统的其他部分,所以切除故障设备的时间必须很短,有时甚至要求短到百分之几秒,即几个周波。在这样短的时间内,不可能由运行人员发现故障并将故障设备切除,只能依靠自动装置完成,即继电保护装置。

继电保护装置是指装备于整个电力系统各个元件上,能在指定区域内快速准确地对电气元件发生的各种故障或不正常运行状态做出响应,并在规定的时限内动作,使断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。继电保护一词泛指继电保护技术或各种继电保护装置组成的继电保护系统。

继电保护的基本任务如下^[2~8]:

(1) 自动、迅速、有选择性地故障元件从电力系统中切除,并最大限度地保证其他无故障部分的正常运行不受影响。

(2) 反映电气设备的不正常状态,发出信号,通知值班人员进行处理或进行自动调整,甚至跳闸。

电力系统正常运行时,继电保护不动作,只是实时地严密监视电力系统及其元件的运行状态。一旦发生故障或不正常运行状态,继电保护将迅速动作,实现故障隔离并发出告警,保障电力系统安全。继电保护对保证系统安全运行、保证电能质量、防止故障扩大和事故发生都有极其重要的作用。

1.3 继电保护的基本要求

动作于跳闸的继电保护,在技术上一般应满足“可靠性、选择性、速动性、灵敏性”的四个基本要求(简称四性)。四性是分析、评价和研究继电保护的重要标准,下面分别予以讨论。

1.3.1 可靠性

继电保护的可靠性是指在其规定的保护范围内发生故障时,能够可靠动作,不拒动;而在任何不该动作的情况下,能够不误动。

可靠性是继电保护的最基本要求。可靠性主要取决于设计、制造和运行维护水平。为保证可靠性,宜选用性能满足要求、原理尽可能简单的保护方案,应采用可靠的、具备抗干扰能力的硬件和软件构成的装置,应具有必要的自动检测、闭锁告警等措施,并能够方便地进行整定、调试和运行维护。

评价继电保护可靠性的一项重要指标是继电保护正确动作率,计算方法如下:

$$\text{继电保护正确动作率} = \frac{\text{继电保护正确动作次数}}{\text{继电保护总动作次数}} \times 100\% \quad (1.1)$$

式中,继电保护总动作次数包括继电保护正确动作次数、误动次数和拒动次数。

1.3.2 选择性

选择性是指故障应由故障设备本身所配置的保护切除,仅当故障设备本身的保护或断路器拒动时,才允许由相邻设备的保护或断路器失灵保护切除故障,实现在最小的区间内将故障从电力系统中断开,最大限度地保证系统中无故障部分仍能继续安全运行。

选择性的保证,除利用一定的延时使本线路的后备保护与主保护正确配合外,还必须注意相邻元件后备保护之间的正确配合。其一是上级元件后备保护的灵敏度要低于下级元件后备保护的灵敏度;其二是上级元件后备保护的动作时间要大于下级元件后备保护的動作时间。

1.3.3 速动性

速动性是指尽快地切除故障。其目的是提高系统的稳定性,降低设备的损坏程度,缩小故障波及范围,提高恢复供电的效果。

要求快速切除故障的主要原因如下:

(1) 影响设备损坏程度的热和电动力都与故障切除时间成正比,切除时间越

短,越有利于降低损坏的程度。

(2) 短路点燃弧的时间越长,越有可能扩大故障。如单相接地短路可能会发展成为相间短路,甚至发展为对系统稳定性危害更严重的三相短路;可恢复供电的瞬时性短路演变为不可恢复供电的永久性短路。

(3) 有利于提高自动重合闸、备用电源投入等自动装置的恢复供电效果,有利于电动机的自启动和恢复正常运行。

速动性的要求应根据电力系统稳定性、接线方式和被保护设备的具体情况确定。动作速度的提高必须以可靠性为前提,在满足动作速度要求的情况下,稍微减缓一点动作速度意味能够获得更多的电气量信息,也更有利提高继电保护的可靠性。

故障切除时间等于保护动作时间与断路器动作时间之和,一般的快速保护的动作为 $0.06 \sim 0.12\text{s}$,最快的可达 $0.01 \sim 0.04\text{s}$,一般的断路器动作时间为 $0.06 \sim 0.15\text{s}$,最快的可达 $0.02 \sim 0.06\text{s}$ 。

1.3.4 灵敏性

继电保护的灵敏性是指对于其保护范围内发生故障或不正常运行状态的反应能力。满足灵敏性要求的保护装置应该是在规定的保护范围内部故障时,在系统任意的运行条件下,无论短路点的位置、短路类型如何以及短路点是否有过渡电阻,当发生短路时都能正确反应,一般以灵敏系数来衡量。

(1) 反映电气量增大而动作的保护,灵敏系数为

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护区内金属性短路的最小短路参数计算值}}{\text{保护的动作为参数}} \times 100\% \quad (1.2)$$

式中,保护的动作为参数是可设定的,称为整定值。

(2) 反映电气量减小而动作的保护,灵敏系数为

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护的动作为参数}}{\text{保护区内金属性短路的最大短路参数计算值}} \times 100\% \quad (1.3)$$

四性是分析、评价和研究继电保护的基础。对四性中的每一项要求都应当有度,应满足电力系统的安全运行行为准则,不应该片面强调某一项而忽略另一项,否则会带来不良的影响。一般情况下,选择性和速动性是一对矛盾,灵敏性和可靠性是一对矛盾,防误动与防拒动是一对矛盾,因此,需要根据电力系统的实际运行情况及被保护设备的作用等,使四性要求在所配置的保护中得到辩证的统一。继电保护的科学研究、设计、制造和运行的大部分工作也是围绕如何处理好这四者的辩证统一关系进行的。相同原理的保护装置在电力系统的不同位置的元件上如何配置和配合,相同的电力元件在电力系统不同位置安装时如何配置相应的继电保护,才能最大限度地发挥被保护电力系统的运行效能,充分体现着继电保

护理论研究的科学性和工程实践的技术性。

1.4 继电保护的基本原理

1.4.1 过电流保护

当电力系统中任意点发生三相和两相短路时,流过短路点与电源间线路上的短路电流工频周期分量近似计算式为

$$I_k = \frac{E_\varphi}{Z_\Sigma} = K_\varphi \frac{E_\varphi}{Z_S + Z_k} \quad (1.4)$$

式中, E_φ 为系统等效电源的相电动势; Z_k 为短路点至保护安装处之间的阻抗; Z_S 为保护安装处到系统等效电源之间的阻抗; K_φ 为短路类型系数,三相短路取 1,两相短路取 $\sqrt{3}/2$ 。随整个电力系统开机方式、保护安装处到电源之间电网的网络拓扑、负荷水平的变化, E_φ 和 Z_S 都会变化,随短路点距离保护安装处远近的变化和短路类型的不同, Z_k 和 K_φ 的值不同,短路电流也不同。

在保护范围内,短路电流的幅值总是大于负荷电流的幅值。过电流保护即是利用流过保护安装处电流幅值的大小来区分正常运行状态和短路状态,实现简单可靠、方便易行的保护。过电流保护的動作方程可以定义为

$$\text{若 } I > I_{\text{set}} \text{ 则保护区内发生故障,跳闸} \quad (1.5)$$

式中, I 为流过保护安装处的电流; I_{set} 为保护整定值。流过保护安装处短路电流的大小与 Z_S 、 E_φ 、 K_φ 紧密相关,并且随着短路点距等值电源的距离变化,越远电流越小。

1.4.2 方向电流保护

过电流保护仅利用相间短路后电流幅值增大的特征区分故障与正常运行状态,这种原理在多电源网络中使用遇到困难,如图 1.1 所示的双侧电源网络接线中,由于两侧都有电源,在线路 AB 两侧均装设断路器和保护装置。

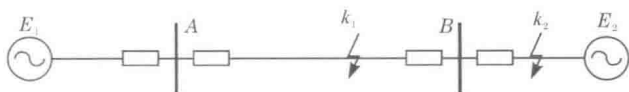


图 1.1 双侧电源系统

假设两个电源容量大小不同,且 k_1 点故障时流过保护 B 的故障电流小于 k_2 点故障时流过 B 的电流,为了对线路 AB 起保护作用,保护 B 的过电流保护整定值必然小于 k_2 故障时的短路电流,从而在 k_2 点短路时引起保护误动,保护的安全

性将不能保证。这个问题可以通过在 B 处增加一个方向保护来解决。

方向保护可以判别短路功率的流动方向,仅当功率方向由母线流向线路(正方向)时才动作,与过电流保护共同工作,可以快速、有选择性地切除故障,称为方向性电流保护。方向性电流保护既利用了电流的幅值特征,又利用了功率方向的特征。

方向保护通过测定电流、电压间相位角判别发生故障的方向。由于线路是感性元件,正方向发生故障时,流过保护的短路电流会滞后于保护所处母线电压一个相角 φ_k (φ_k 即母线至短路点之间的线路阻抗角),其值为 $0^\circ < \varphi_k \leq 90^\circ$ 。功率方向元件的输出值随输入电压与电流的相位差大小而改变,为了在最常见的短路情况下使方向元件动作最灵敏,应使其最大灵敏角为 $\varphi_{\text{sen}} = \varphi_k$ 。又为了保证当短路点存在过渡电阻使线路阻抗角 φ_k 在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围内变化时,方向元件仍能够可靠动作,其动作的角度应该有一个范围,通常取 $\varphi_{\text{sen}} \pm 90^\circ$,其动作方程可以表示为

$$\varphi_{\text{sen}} + 90^\circ > \arg \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} > \varphi_{\text{sen}} - 90^\circ \quad (1.6)$$

式中, $\dot{U}_m$ 为保护测量电压; $\dot{I}_m$ 为保护测量电流。

方向元件应满足在正方向发生各种故障时能可靠动作,而在反方向故障时可靠不动作,同时还应在正方向故障时有一定的灵敏度^[9]。

1.4.3 距离保护

电流保护的 protection 范围与灵敏度受系统运行方式变化的影响较大,难以满足复杂网络的要求,必须采用性能更加完善的继电保护原理,距离保护就是其中一种。距离保护的 protection 范围比较稳定,同时还具备判别短路点方向的功能,因此在电网中得到了广泛应用^[10]。

电流保护只利用短路时电流增大的单一特征,而距离保护则利用了短路发生时电压降低、电流增大的双重特征,通过测量电压与电流的比值,反映故障点到保护安装处的距离,如果短路点距离小于整定值则保护动作。

距离保护中,测量阻抗 Z_m 表示保护安装处测量电压 $\dot{U}_m$ 与测量电流 $\dot{I}_m$ 之比,即

$$Z_m = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} \quad (1.7)$$

式中, Z_m 为一复数,在复平面上既可以用极坐标形式表示,也可以用直角坐标的形式表示。

电力系统正常运行时, $\dot{U}_m$ 近似为额定电压, $\dot{I}_m$ 为负荷电流, Z_m 为负荷阻抗。负荷阻抗的量值较大,其阻抗角为数值较小的功率因数角,阻抗性质以电阻为主。

电力系统发生故障时, $\dot{U}_m$ 下降, $\dot{I}_m$ 增大, Z_m 变为短路点到保护安装处间的线路阻抗, 其量值较小, 阻抗角为数值较大的线路阻抗角。依据 Z_m 发生的幅值与相角变化, 距离保护即可判别发生故障与否。

理想情况下, 不同位置发生金属性短路时, 测量阻抗值为图 1.2 中 AB 线上的复数。但是, 考虑到二次侧的测量阻抗受电流、电压互感器和输电线路阻抗角的误差, 以及过渡电阻的影响, 通常将阻抗元件的保护范围扩大为一个圆的形式, 如图 1.2 所示圆形区域, 将该区域称为动作特性。当测量阻抗落在动作特性范围内时, 距离保护元件动作。图中, Z_{set} 为圆的直径, 表示距离保护的整定阻抗, φ_{set} 称为最大灵敏角。

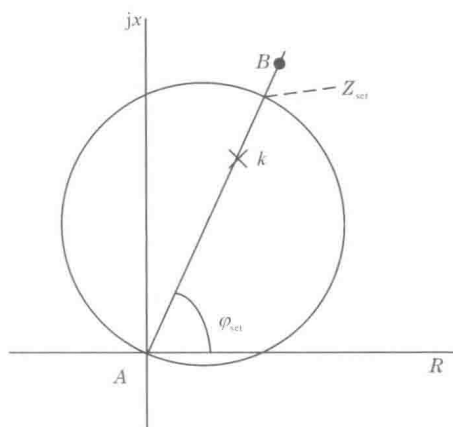


图 1.2 距离保护动作特性

距离保护虽然具有不受系统运行方式影响的良好特性, 但对于应用在高电压等级系统中的距离保护, 其可靠性还会受到其他多种不利因素的影响, 主要包括系统振荡、过负荷和过渡电阻等。这些因素会引起距离保护的拒动或者误动, 尤其对大规模复杂电网的安全运行埋下隐患, 对此还需研究相应的对策, 以便消除或降低这些不利因素的影响。

以上介绍了传统保护中的主要保护原理。在单电源网络中, 使用过电流保护即可达到良好的保护效果, 在环网或两端电源网络中, 则应增加方向保护与过电流保护进行配合。而在高压和特高压电网中, 则应使用受系统运行方式影响较小的距离保护。然而, 距离保护性能虽然良好, 但在系统发生振荡或过负荷, 以及有过渡电阻存在时, 距离保护也有发生不正确动作的风险。

1.5 层次化继电保护

由于受微机保护硬件资源、CPU 处理能力、专业分工等约束,传统继电保护采用按间隔分散、独立配置方式,并在相当长的时期内取得了成功的运行经验。但随着电力系统的发展,电网结构和运行方式也越来越复杂,传统继电保护也存在越来越多的问题。

(1) 配合关系复杂,动作延时长,对系统稳定造成不利影响。

(2) 整定困难,不能适应系统运行方式变化,时有保护失配和灵敏度不足的现象发生。

(3) 不能区分内部故障和潮流转移引起的过负荷,容易造成连锁跳闸引发大停电,严重威胁着电网安全。

随着智能电网的发展,基于信息共享技术,继电保护可获取更多、更广泛的信息资源,为解决传统保护所存在问题带来新的契机。近年来,有学者提出一种新型的层次化继电保护构成模式,该模式包含变电站间隔层就地保护(简称就地保护)、站域层保护(简称站域保护)和广域层保护(简称广域保护),实现纵向分层次的继电保护架构体系,通过时间上的相互衔接和动作信息的协同配合,达到提高继电保护性能的目的。下面就层次化继电保护各层次进行分析说明。

1.5.1 就地保护

就地保护面向单个被保护对象,保留常规主保护和简化后备保护功能,以快速、准确隔离故障元件为目的,利用被保护对象自身信息独立决策,实现对设备元件快速、可靠的贴身防护。就地保护不依赖于外部通信通道,即使通信通道受到破坏,也能完成保护功能。主要包括线路保护、主变保护、母线保护等。

就地保护保留的主要原因包括两个方面。一方面,就地保护是层次化保护的具体实现层,考虑到主保护的可靠性和快速性,站域保护或广域保护都难以替代主保护或集成主保护,所以从目前来看,站域保护和广域保护主要是实现后备保护功能。另一方面,站域保护和广域保护的实现均依赖于系统的通信可靠性,在通信故障的情况下,两者的后备功能就会失效,因此,就地保护在通信系统故障情况下,提供切除故障的末级后备措施,必须作为电力系统的最后一道“生命防线”予以保留。

与此同时,就地保护不仅完成自身的保护功能,还需要与站域保护通信,为站域保护提供组织信息。所提供的信息主要包括保护信息、测控信息、故障信息和电量信息,由间隔层相关功能设备产生,作为站控层设备功能应用和信息远传的数据源。信息以报文的形式在站内传递,按照 IEC—61850 标准定义的数据接口

模型,变电站分为站控层、间隔层和过程层。间隔层与过程层之间的信息交换主要是采样值信息和开关量信息,信息交换主要通过过程层网络实现。间隔层与控制层间的信息交换主要是保护动作报文、装置动作及告警、操作控制命令等,信息交换主要通过站控层网络实现。

综上所述,就地保护保留了常规主保护功能,简化了后备保护功能,改善了常规后备保护复杂整定配合关系及其性能,同时也作为站域保护的节点接入站域保护系统,与站域保护配合,实现变电站级保护。就地保护肩负着为站域保护提供数据支撑和执行决策的重要任务,是层次化保护的基石。

随着我国西电东送、特高压电网的建设以及新能源大规模并网,仅利用单个元件信息的就地保护将面临诸多问题。就地常规保护方面,如并列运行变压器空投时产生的励磁涌流可能导致变压器差动保护误动作;又如同杆双回线路间存在很强的零序互感耦合及复杂的跨线故障,直接影响距离保护或方向保护的動作特性及保护性能。就地新能源保护方面,如集中式发电的新能源场站保护,未能考虑新能源电源变流器暂态调节及弱馈特性,导致集电线路保护误动以及送出线路保护灵敏性降低等问题。

本书将分别对于就地常规保护和就地新能源保护所存在的问题进行详细探讨并介绍相应的解决方案,大幅改进和完善就地保护功能,为层次化保护的建设打下坚实的基础。

1.5.2 站域保护

站域保护主要负责站内元件的保护以及站间联络线的后备保护,由站域主机依据 GOOSE 网络和 SV 网络共享的站内多源电气量以及逻辑量信息,对站内故障进行精确识别,快速切除故障,实现站域保护功能。

站域保护在功能上区别于传统保护的最大优势是可以根据多信息进行综合决策判断。综合利用站内及相邻站信息,一方面是各处电压、电流信息和断路器、刀闸状态等这些直接信息;另一方面是经过处理后的中间信息或动作结果等这些间接信息。利用冗余的直接信息以及间接信息,可以优化保护之间的配合,缓解保护选择性与速动性之间的矛盾。

站域保护还可以简化后备保护的整定配合。基于就地量的近后备、远后备保护,在网络拓扑越来越复杂的现代电网下,由于获得信息有限,保护范围互相覆盖,使得配合十分复杂,整定值计算工作量大。通信正常情况下,站域保护收集站内信息后,根据变电站的网络拓扑结构,经过简单判别就能准确隔离故障。所以,站域保护不仅能有效提高保护性能,而且能取代或者大大简化后备保护整定配合等一系列繁琐复杂的工作。

目前,站域保护主要有以下两种形式: