

文章编号:1005-0523(2016)04-0136-07

主动配电网保护研究综述

彭春华,张艳伟

(华东交通大学电气与电子工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:考虑到主动配电网控制方式灵活、复杂、分布式电源渗透率较高、潮流双向流动等特性,依据主动配电网保护研究现有成果,对主动配电网保护技术做了综述,结合主动配电网的结构特征,提出对主动配电网保护的基本要求,讨论分布式电源和储能设备、故障时的隔离策略、控制方式、运行方式对主动配电网保护的影响。并分析主动配电网保护的关键问题和研究现状。

关键词:主动配电网;分布式电源;继电保护;孤岛

中图分类号:TM771

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.04.021

化石燃料的日益枯竭和环境问题的逐年恶化促进了对新能源的开发、利用,以减轻对化石能源的过度依赖。近年来,得益于电力电子技术的发展和政策的扶持,新能源的开发利用取得了较大进展,装机容量快速增长,但是现有电网对新能源的接纳能力有限,经常存在较为严重的弃风现象,造成新能源装机容量的巨大浪费,电力装备不能充分利用,这些问题亟待解决,发展主动配电网由此成为必然趋势。国家电网公司已决定在 10 kV 配电网中无障碍接入容量小于 6 MW 的分布式发电系统,发展主动配电网正面临着巨大的机遇和挑战。

国内外已经有很多学者在可行性^[1]、规划^[2]、控制^[3]、运行^[4-5]、保护^[6]、调度^[7]等方面对主动配电网做了一些深入的研究,美国、欧洲、日本、中国都建立了主动配电网示范工程项目^[8]。其中,最具有代表性的是基于配电网主动管理概念而建立的欧盟 ADINE 示范工程项目。

本文以主动配电网的结构和对主动配电网保护的要求为基础,分析了影响主动配电网保护的关键因素,归纳出当前主动配电网保护技术在国内外研究成果并对比分析各种保护技术的优缺点,展望主动配电网保护未来的发展方向,为主动配电网保护技术的发展提供参考。

1 主动配电网保护

区别于微电网和常规配电网,主动配电网是由供电企业管理的公共配电网,常态方式下并不采用孤岛运行方式,分布式电源的存在使配电网可以在紧急情况下通过系统解列点的合理配置,使主动配电网的局部作为微电网而以非常态方式孤岛运行^[9]。

1.1 主动配电网基本结构与特征

国际大电网会议配电与分布式发电专委会 CIGRE C6 于上世纪 90 年代后期开展了“分散发电对电力系统的影响”的研究,中国对主动配电网(也译作“有源配电网”)研究开展较早并取得了一些成果。2004 年,

收稿日期:2015-10-28

基金项目:国家自然科学基金项目(51567007);江西省科技支撑计划项目(20142BBE50001);江西省自然科学基金项目(20152ACB20017,20151BAB216020)

作者简介:彭春华(1973—),男,教授,博士生导师,研究方向为智能电网调度、配网优化运行与规划。

通讯作者:张艳伟(1988—),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护、分布式发电技术。

英国有学者发表了题为“含 DG 配电网的主动管理和保护”的文章,这是学术界最早发表的针对主动配电网的论文,2006 年国际大电网会议 CIGRE 成立 C6.11 工作组,专门研究含分布式电源的配电网问题。2008 年国际大电网会议第一次提出了主动配电网(active distribution network,ADN)的概念:通过使用灵活的网络拓扑结构来管理潮流,以便对局部的分布式能源进行主动控制和主动管理的配电系统^[2]。

分布式能源的基本构成是:分布式发电(distributed generation,DG)、分布式储能、可控负荷等。其中分布式电源主要指可再生能源,包括风力发电、光伏电池、燃料电池等;需求侧管理环节的可控负荷主要包括响应负荷、电动汽车等,响应负荷同时具有发电和消费双重身份。

主动配电网是智能电网技术发展到高级阶段的产物。相比较传统的配电网,主动配电网主要具备下列显著特征:首先要有一定比例的可控分布式资源,包括可控负荷和分布式储能;其次网络拓扑灵活、便于调节;最后要有完备的调节、控制方法和建有集量测、控制与保护系统于一身的可以实现协调优化管理的管控中心^[10-11]。

1.2 主动配电网保护的基本要求

主动配电网属于第三代电网^[12],其保护问题与传统配电网保护有着明显的区别,主要表现在以下几个方面。

1) 主动配电网存在分布式电源并网和孤岛两种运行方式,两种运行方式下的配电网网络拓扑不一样,短路电流方向、大小不同且差异明显。

2) 主动配电网的主动控制、主动管理、分布式电源主动参与、需求侧管理等特点使主动配电网网络具有规模庞大、分层分区域结构复杂、分布式电源的接入点分散且可控性弱、终端用户的行为模式丰富但与系统的交互随机性强的特点。主动配电网中的可中断负荷实行主动响应,且储能设备的使用使得短路电流和传统配电网差别较大。

3) 分布式电源接入配电网后,配电网由原来的辐射状单端供电网络变成多端供电网络,潮流的双向流动对电网保护的故障方向判断和保护定值的整定提出了新的要求。

4) 发生故障后,分布式电源和储能设备与配电网的不同隔离策略直接影响配电网保护,这是主动配电网保护的关键问题。

在主动配电网与 DG 隔离策略和配电网运行方式不同的前提下,研究一种适应主动配电网保护要求的新方法,使得保护无论是在 DG 并网运行模式还是在孤岛运行情况下,都具备高度适应性的故障识别处理能力、能快速并准确感知配电网内外部故障,同时保证具备良好的选择性、快速性、灵敏性和可靠性,是对主动配电网保护的基本要求。

2 主动配电网保护的影响因素

2.1 分布式电源和储能设备对主动配电网保护的影响

分布式电源和储能设备的接入改变了原有配电网的拓扑结构,加上分布式电源出力的波动性和随机性^[13],使故障电流的方向和幅值发生变化,引起保护的误动作、拒动作、故障水平变化以及非同期重合闸。当配电网中分布式电源的渗透率较大时,这些问题更加突出,储能设备接入配电网后具有负荷和电源的双重性质,但由于容量的限制,储能设备对配电网影响较小。现有中压配电网的故障处理方法一般是在没有考虑分布式电源和储能设备接入的情况下设计的,主要涉及故障段自动隔离、自动重合闸、潮流转移等基本操作,而分布式电源的接入会影响这些操作的安全、可靠。在馈线故障且具有分布式电源的情况下,非同步的自动重合可能会损坏分布式电源并可能引起供电系统出现震荡。在潮流转移时,分布式电源的接入可能使馈线的短路电流水平超过限值。在瞬时故障后分布式电源未断开的情况下,重合闸操作有可能导致大电流以及逆变器跳闸的出现。所以,分布式电源的并网地点、并网容量和储能设备的运行状态都将影响主动配电网的保护。

2.2 故障时不同隔离策略对主动配电网保护的影响

分布式电源与公用电网的隔离策略指的是当故障发生在不同位置时,分布式电源与配电网的连接点 PCC 点动作的最优化策略。传统配电网出现故障时分布式电源退出运行;如果配电网侧故障时,分布式电源并网点 PCC 点不动作,分布式电源在主动配电网中运行于故障穿越状态,由于配电网原有的保护装置并不具有方向识别能力,可能出现故障长时间存在并导致更严重的故障发生。而在主动配电网中,当配电网故障时,视具体的故障情况,允许在主动配电网的管理系统协调控制下,给非故障区域的重要负荷继续供电。所以不同的隔离策略直接影响相应的分布式的电源并网与否即影响配电网的拓扑结构,从而对配电网保护产生影响。

2.3 主动配电网不同控制方式对保护的影响

在主动配电网中,分布式电源、负荷、储能设备和其他电器设备的配合使用、协调控制有利于提高配电网供电可靠性和配电网对新能源的吸纳能力。主动配电网通常设置集中式、分散式及混合分层式 3 种控制方式^[14]。

在集中式控制方式下,各测量点将电气量上传至配电网中央控制器,中央控制器向配电区域内的电源、负荷、储能和其他中间设备发送控制指令以维持配电网正常运行,这类控制方式的可靠性较差,当中央处理器出现故障时,整个系统将会崩溃,保护信号不能可靠地在系统内传输。

分散式控制方式对配网结构适应性较强,结合配电网中电源及负荷本身分散性,配电网中的设备规模可以不受限制,本地控制器通过对本地采集的数据与相邻设备送来的信息的分析发出控制指令。

混合分层式管理是一种最有发展前景的配电网管理方式,该方法具备多层式结构,包含了集中式和分散式框架的共同特点,其中位于最上层的是能量优化管理层,中间层依据能量优化管理层发送的命令,计算出最优的保护、控制参数并发送至底层控制器,底层控制器利用该类数据控制配电网中的具体设备,实现对配电网的管理和控制功能。

在 3 种不同的控制方式下,保护信号的传递方式不同,抗干扰能力不同,保护系统的可靠性也不同。

2.4 不同运行方式对主动配电网保护的影响

主动配电网可以在分布式电源联网和孤岛运行两种状态下运行,其中孤岛又分为计划孤岛和非计划孤岛两种。

配电网孤岛运行时,若内部出现接地短路故障,附近的 DG 所含逆变器的保护将会启动,限定了 DG 所提供的短路电流。并网运行时,故障点的短路电流由 DG 和公用电网提供,因此并网模式下,配电网可以向故障点提供故障电流,所以故障特性与正常运行的配电网差别不大,而在孤岛模式下,对于逆变型电源,由于控制方法的差异,逆变器会产生限流作用,使得故障电流数值增加不多,约为额定电流的 1.2~2 倍。对于这种情况,反应于电流幅值的变化而动作的过电流保护很难准确可靠地动作。

总之,针对主动配电网中接入的分布式电源特性的不同以及接入点的不同,设计主动配电网保护时应尽可能使其不受潮流的影响。

3 主动配电网保护在国内外的研究现状

依据实现保护的思路可以把国内外关于主动配电网的保护方法分为以下 5 类,即: 对配电网中 DG 的并网位置和容量做适当限制; 通过故障电流限制器限制 DG 注入的故障电流; 配电网故障时快速切除 DG; 对配电网原有保护方案做相应修改; 基于人工智能算法的保护方案。

3.1 限制配电网中 DG 接入位置和接入容量

文献[15]在保证继电保护具有较高可靠性的前提下,分析了分布式电源并网容量、并网位置、电源组合方式和导线参数等多因素对其准入容量的影响。结果表明,当不改变配电网原有保护配置时 DG 的准入容量将会受到较大限制。这种方法不需要对原有保护进行修改,但是 DG 的接入容量受到很大制约,这与在配电网中接入 DG 以实现开发利用清洁能源、减少输电成本、提高供电可靠性的目的相悖。文献[15]提出适当

选取 DG 接入点、在配电网关键处引入电压量,以判别故障方向的方法。该方案需要对配电网原有保护进行修改,同时,考虑 DG 接入后,保护整定工作量较大,其次该方案需要利用电压信息来判断方向,而配电网为节省成本一般不提供电压信息。因此,如果有可以不需电压信息的方向元件,将降低为主动配电网提供保护的难度。

3.2 限制 DG 接入点故障电流

文献[16-18]提出使用故障电流限制器,以限制分布式电源在故障情况下对故障电流的影响,在 DG 并网点装设故障限流器(FCL),限制 DG 提供的助增故障电流。FCL 主要通过两大类方面的技术予以实现:一类采用功率电子器件;另一类利用具有特殊性质的新材料,如超导材料。两者原理都是保证 FCL 呈现出类似分裂绕组变压器的性质,即在正常负载时呈现低阻抗,在故障时呈现高阻抗以达到限制故障电流的目的,图 1 为在 DG 并网点装设 FCL 的示意图,通过对 DG 的串联阻抗 X_1, X_2 的调节,实现以上目的。这种方案和故障时切除 DG 的方法有一定的相似性,都是在不改变原有保护配置的情况下通过减小故障电流以确保原有保护能正确动作,为了保证在不同故障地点、DG 不同运行状态下,都能把故障电流限制在能保证配电网保护可靠动作的范围内,对 FCL 或 DG 自身变流器的适应能力及调控能力都提出了较高要求,由于故障电流限制器的反应较慢,不能快速对故障做出反应。

3.3 配电网故障时退出 DG 单元

配电网出现故障时,快速切除 DG 单元,由此可以保持原有配电网的结构及短路电流分布情况不变,从而消除分布式电源对继电保护的影响^[19]。如图 2 中 f_1 处故障后,断路器 4 快速跳闸,保护和重合闸都可以按照传统配电网三段式电流保护方案整定,待故障消除后,重新将 DG 同期并网。

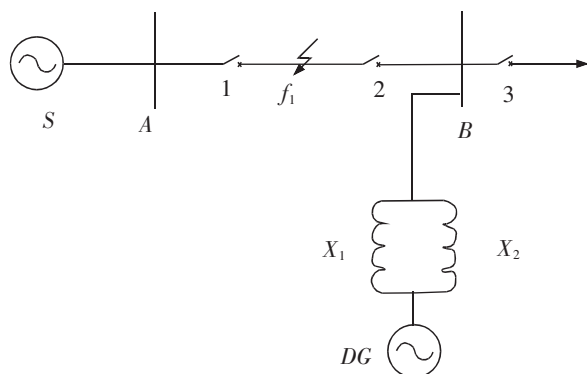


图 1 DG 串联故障限流器示意图
Fig.1 Diagram of DG with FCL

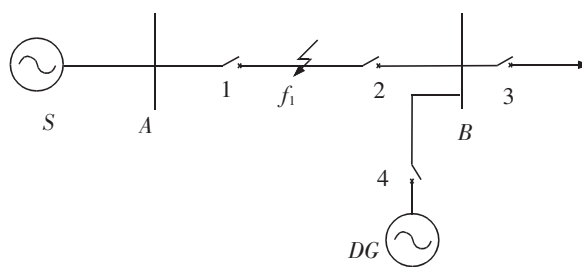


图 2 故障时切除 DG 示意图
Fig.2 Diagram of DG removing in fault

但是该方法主要存在以下问题:在故障发生时,DG 单元需要在接收到故障信号之后才能退出,这要求配电网具备较高的故障检测能力;配电网在 DG 退出之后才恢复原有拓扑,需要 DG 退出时间及保护动作时间的精确配合。发生故障时,线路电压降低,电能质量和供电可靠性都会变差,系统要求处于运行状态的 DG 做低电压穿越运行,以提高系统的稳定性并改善电能质量。按照该保护方案,DG 在故障时提前退出,就不能实现这些功能;配网系统中的故障多为瞬时性故障,若 DG 在瞬时性故障时频繁投切,会加剧开关触头的老化,降低开关寿命,同时会增加 DG 重新并网同期检测的工作量。

3.4 改变配电网原有保护方案

这类保护通过改变原有的三段式电流保护方案,引入保护的方向启动判据,采用差动保护或故障序电流保护等其他用于输电网的保护,保证 DG 在不受并网位置,并网容量,运行方式影响的情况下,保护都能够快速可靠动作,是目前的研究热点。这种方案对原有保护的改动较大,同时,固定设置的保护方案也很难适应 DG 在不同运行方式下配电网发生故障的情况。

文献[19]提出了一种网络化自适应保护方案,该方案能适应分布式电源运行情况、主动管理控制方法而自动调整过电流保护定值。该保护方案在保护结构上由四层结构构成:一次系统层、执行系统层、协调控制

层和能量管理层。

文献[20]基于通信技术提出了一种新的反时限过电流保护方案,该保护方案将 DG 支路的助增故障电流数据发送至上级线路保护,并在动作方程中引入了低压加速因子构成低压加速反时限过电流保护,该保护方案对通信信道的要求较高。

文献[21-23]介绍了欧盟 FP6 主动配电网示范工程项目 ADINE 的基本情况,ADINE 采用差动保护和距离保护的主动配电网保护设计方案,但是采用的差动保护对通讯通道和数据同步要求较高。

文献[24]提出了一种新型的自适应保护方案,方案采用诺顿定理根据配电网的运行方式和配电网的拓扑结构,做出保护背侧网络的等值电路,并建立支路贡献因子矩阵,消除 DG 产生的电流对保护的影响,该方案对网络结构的自适应能力不够。

文献[25]借鉴反时限过电流保护的思想提出了一种基于负荷阻抗的反时限低阻抗保护,对保护的原理、动作特性、整定方法进行了研究,分析了过渡电阻对反时限低阻抗保护的影响,并提出低电压加速和配合加速 2 种改进方法。

文献[26]提出将电流正序故障分量差动保护引入有源配电网,针对不同的配电网结构,给出了适应性差动保护动作判据整定原则。该方案对通信技术要求较高。

文献[27]提出一种基于网络化的四层结构保护方案,不同数据在不同的结构层间交换,可以保证保护信号在通信故障的情况下仍然能准确传输,不足之处在于该方案对硬件要求较高。

文献[28]提出分别对保护进行分布式电源联网和分布式电源被切除以后的两套设定方案,但该方案需要时刻监控网络拓扑结构以进行保护定值的调整。

文献[29]在配电网拓扑结构已知的情况下,提出一种分级分层的保护方案,不足之处在于该方案不具备普遍性,只是针对特定的电网结构有效。

3.5 基于人工智能算法的保护方案

继电器的反时限动作特性是指保护动作时间能够随着故障电流的大小而变化,利用继电器的反时限动作特性可以构成反时限过电流保护,对于不同的故障电流就有不同的保护动作时间,具有对故障的自适应能力,目前反时限过电流保护已经大量用于中低压配电网线路部分的保护。

文献[30]提出了一种基于改进粒子群算法的方向性反时限过电流保护配合方案,选取使系统中保护的動作时间最小为目标函数,通过对时间整定系数和起动电流参数的优化取值,实现目标函数的最小化,但是该方案在实现过程中首先把非线性问题简化为线性问题,其次是在粒子群算法本身上,由于其容易陷入局部最优,在具体的保护过程中保护可靠性无法保证。

文献[31]分析了传统的反时限过电流保护的配合特性受逆变型分布式电源的影响,对含分布式电源的配电网设计了一种依托故障电流限制器的保护方法,但是在配电网保护设置上没有考虑暂态过程中网络拓扑结构的变化。

上述方案中,方案 1~方案 3 从减少 DG 注入故障电流的角度出发,对原有保护的改动较少,较为经济,三者中方案 1 效果相对较好,但三种方案都不能彻底地解决主动配电网可能出现的保护误动、拒动问题。方案 4 从改变保护原理角度出发,利用主动配电网和输电网在网络拓扑结构上的相似性,引入输电网的保护方法到配电网中,保护整体效果较好,但需要对原有保护做较大改动,经济性较差。方案 5 依托人工智能算法和反时限过电流保护相结合,依据不同的故障电流,对保护的起动电流和动作时间整定系数进行优化,以实现在最短的时间内保护动作,该保护方案的可靠性在一定程度上取决于算法的可靠性,要求算法具备抗早熟和陷入局部最优的能力。

现有的大部分保护研究结果仍处于理论研究阶段,尚未进入工程应用领域,因此各类方法在生产一线的实际效果尚未可知。目前的研究成果在理论角度的不足有:1)在自适应保护方面。自适应保护在复杂多变的电力系统中能有效克服传统保护“事前整定,故障动作”的缺点,有着广阔的应用前景。但是现有的自适应

保护需要安装、或者升级现有保护装置;灵活性不足;对网络拓扑的自适应性不强,不支持“即插即用”;对通信要求较高;需要快速通信系统的技术支持。2)在电流差动保护方面。差动保护时刻都有通信系统故障的风险,所以必须考虑设置后备保护系统,快速通信网的成本较高;面对配电网常见的三相不平衡问题,电流差动保护性能可能会有所降低;投入/切除 DG 的暂态过程可能会造成电流差动保护误动。3)在阻抗保护方面。谐波及暂态过程干扰,可能会影响到阻抗保护的准确性;保护性能受过渡电阻影响且不适用于线路较短的情况。

4 研究与展望

主动配电网保护技术为发展、推广主动配电网技术提供了重要的技术支撑。本文首先介绍了主动配电网的基本结构,对主动配电网的重要特征进行了总结,并在此基础上提出了面向主动配电网的保护基本要求,探讨了相关因素对主动配电网保护的影响。总结了现阶段主动配电网保护领域研究现状。在已有成果的基础上,还需要在以下几个方面对主动配电网的继电保护进行更深入、系统的研究:

1) 主动配电网的保护问题必须结合其主动控制的特征,在主动配电网的主动运行、主动管理方法以及储能设备、逆变型电源、可控负荷对故障的响应特性的基础上,从并网点保护、配电网保护两个角度出发,“点、线、面”三个层次进行研究,降低误动作概率。

2) SCADA 系统的应用使主动配电网系统成为一个大数据系统,高效利用电网数据实现主动配电网的网络化、自适应保护,必须在众多的信号中,选取有效的信号,快速、可靠地实现保护功能。

3) 基于信息交换的配电网保护应满足允许分布式电源灵活接入、足够灵敏地反映分布式电源故障出力等要求,基于本地信息的并网点保护应满足主动配电网分布式自治、与配电网灵活互动的要求;

4) 从主动配电网的故障特征着手,以主动配电网的有限广域通信为基础,与主动配电网的控制功能相结合,实现集成化保护将是主动配电网保护技术的主要研究方向。

参考文献:

- [1] 范明天,张祖平,苏傲雪,等. 主动配电系统可行技术的研究[J]. 中国电机工程学报,2013,33(22):12-18.
- [2] 张建华,曾博,张玉莹,等. 主动配电网规划关键问题与研究展望[J]. 电工技术学报,2014,39(2):13-23.
- [3] 钟清,张文峰,周佳威,等. 主动配电网分层分布控制策略与实现[J]. 电网技术,2015,39(6):1511-1517.
- [4] 钟清,孙闻,余南华,等. 主动配电网规划中的负荷预测与发电预测[J]. 中国电机工程学报,2014,34(19):3050-3056.
- [5] 程林,刘琛,吴强. 主动配电网关键技术分析与展望[J]. 电力建设,2015,36(1):26-32.
- [6] 傅军栋,刘晶,余勇. 基于果蝇优化灰色神经网络的年电力负荷预测方法[J]. 华东交通大学学报,2015,32(1):93-104.
- [7] 牛焕娜,杨明皓,井天军,等. 农村主动型配电网优化调度线性模型与算法[J]. 农业工程报,2013,29(16):190-197.
- [8] 李庆生,农静. 贵州主动配电网示范工程[J]. 供用电,2014,30(1):36-38.
- [9] 范明天,张祖平. 主动配电网规划相关问题的探讨[J]. 供用电,2014,30(1):22-27.
- [10] 尤毅,刘东,于文鹏,等. 主动配电网技术及其进展[J]. 电力系统自动化,2012,36(18):10-16.
- [11] 李红,赵杨,冷莉. 主动配电网技术及其进展[J]. 中国科技信息,2014,23(12):25-26.
- [12] 周孝信,陈树勇,鲁宗相. 电网和电网技术发展的回顾与展望——试论三代电网[J]. 中国电机工程学报,2013,33(22):1-11.
- [13] 袁超,吴刚,曾祥君,等. 分布式发电系统继电保护技术[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(2):99-105.
- [14] 赵波,王财胜,周金辉,等. 主动配电网现状与未来发展[J]. 电力系统自动化,2014,38(18):125-135.
- [15] 王江海,邵能灵,宋凯,等. 考虑继电保护动作的分布式电源在配电网中的准入容量研究[J]. 中国电机工程学报,2010,30(22):37-43.
- [16] 吴昱,陆于平. 分布式发电采用故障限流器对继电保护性能的影响[J]. 江苏电机工程,2007(2):1-4.
- [17] 王晓辉,杨增辉,余颖辉. 短路限流器技术综述[J]. 华东电力,2008,36(19):43-46.

- [18] 郑文杰,王铮一. 分布式电源接入对继电保护的影响及改进措施[J]. 陕西电力,2012,39(3):27-30.
- [19] 尚璿,邹能灵,刘琦,等. 考虑分布式电源的配电网保护改进方案研究综述[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(24):40-45.
- [20] SIRSI R, DASARATHAN S. Application of fault current limiter to limit distributed generation effect on distance relay coordination[C]//2014 India Conference (INDICON). New Delhi, India; IEEE, 2014: 1-6.
- [21] AGHELI A, ABYANEH H A, CHABANLOO R M, et al. Reducing the impact of DG in distribution networks protection using fault current limiters [C]//2009 Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO). Shenzhen, China; IEEE, 2010: 298-303.
- [22] EL-KHATTAM W, SIDHU T S. Resolving the impact of distributed renewable generation on directional overcurrent relay coordination: a case study[J]. IET Renewable Power Generation, 2009, 3(4): 415-425.
- [23] REPO S, MAKI K, JARVENTAUSTA P, et al. ADINE - EU demonstration project of active distribution network[C]//2008 Smart-Grids for Distribution; Frankfurt. Germany; IET, 2008: 1-5.
- [24] SAMUELSSON O, REPO S, JESSLER R, et al. Active distribution network - Demonstration project ADINE[C]//2008 Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), Copenhagen, Denmark; IEEE, 2008: 1-8.
- [25] 马静,王希,王增平,等. 含分布式电源的配电网自适应保护新方法[J]. 电网技术, 2011, 35(10): 204-208.
- [26] 黄文焘,邹能灵,杨霞. 微网反时限低阻抗保护方案[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 105-114.
- [27] 高厚磊,李娟,朱国防,等. 有源配电网电流差动保护应用技术探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 40-44.
- [28] CHE L, KHODAYAR M E, SHAHIDEHPOUR M. Adaptive Protection System for Microgrids: Protection practices of a functional microgrid system[J]. Electrification Magazine IEEE, 2014, 2(1): 66-80.
- [29] 林霞,陆于平,王联合,等. 含分布式电源的配电网智能电流保护策略[J]. 电网技术, 2009, 33(6): 82-89.
- [30] HUCHEL L, ZEINELDIN H H. Planning the Coordination of Directional Overcurrent Relays for Distribution Systems Considering DG[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2015, 7(3): 1642-1649.
- [31] MANSOUR M M, MEKHAMER S F, EL-KHARBAWE E S. A Modified Particle Swarm Optimizer for the Coordination of Directional Overcurrent Relays[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, 22(3): 1400-1410.

Research Review on Protection of Active Distribution Networks

Peng Chunhua, Zhang Yanwei,

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In light of the new fault characteristics of AND (active distribution networks), such as flexible control method, bidirectional power flow, small fault current under fault condition, this paper reviews the ADN protection technologies. According to the existing researches, the basic requirements of ADN protection are proposed by combining the structure and fault characteristics of ADN protection. The effects of DG and controllable load, different isolation strategies, different control systems, different operation modes on ADN protection are then discussed. It summarizes the latest technology progress, the research objective and research direction.

Key words: active distribution networks; distributed generation; relay protection; islanding

(责任编辑 姜红贵 李 萍)