

含高渗透率 DG 的配电系统区域纵联保护方案

丛伟¹, 潘贞存¹, 王成山², 于春光¹, 王伟¹, 荀堂生³, 宋志明³

(1. 山东大学电气工程学院, 山东省济南市 250061; 2. 天津大学电力系统仿真控制教育部重点实验室, 天津市 300072; 3. 山东电力学校, 山东省泰安市 271000)

摘要:近年来分布式发电技术得到了快速发展,配电系统中分布式电源(DG)的渗透率水平不断提高。多个DG的并入将会使配电系统短路电流的大小、流向和分布发生较大变化,将会导致传统的阶段式过电流保护无法正常工作。为了满足含高渗透率DG的配电系统对继电保护的要求,解决现有保护技术存在的问题,提出了一种以纵联比较保护原理为基础、以通信为支撑、以包含DG的配电变电站及其馈线为保护对象的主从式区域纵联保护方案。讨论了保护系统工作的方式,研究了故障检测与定位的基本方法。

关键词:配电系统; 分布式电源; 区域纵联保护; 通信

中图分类号: TM773

0 引言

随着全球能源危机的显现和人们环保意识的增强,分布式发电技术逐渐被重视并在近几年得到快速发展和应用。为提高分布式电源(DG)运行的安全性和可靠性,一般都并入电网,如果DG数量较多、分布相对集中、具有相当容量即渗透率较高时,一般以微网的形式出现。DG接入配电系统后,使配电系统变成多源网络。正常运行时,网络中的潮流分布及故障时短路电流的大小、流向和分布均会发生变化。传统配电系统中保护之间的配合关系被打破,保护的动作为和性能都会受到影响,甚至无法起到保护作用^[1-2]。

针对上述问题,本文主要开展适用于高渗透率DG并网的配电系统继电保护原理与技术研究,提出一种“主从式”变电站级区域纵联保护方案,研究纵联信息交换方式,提出了故障方向检测元件的动作原理和配置方式,讨论了保护系统工作模式。

1 高渗透率 DG 并网对配电网保护的影响

目前多数配电网从本质上都看成单电源辐射状网络,发生故障时,故障电流会沿着唯一的路径从电源流向故障点。在这种情况下,采用阶段式定时限过电流保护、反时限过电流保护或重合器、分段器、熔断器等,能够实现良好的保护功能,快速、灵

敏、可靠和有选择地切除故障。

DG接入后,配电系统变成多电源网络,正常运行时网络中的潮流分布及故障时短路电流的大小、流向和分布均会发生变化。传统保护间的配合关系被打破,保护的动作为和性能将无法满足新的要求。以图1所示的系统为例来说明DG并网对传统配电网保护的影响。

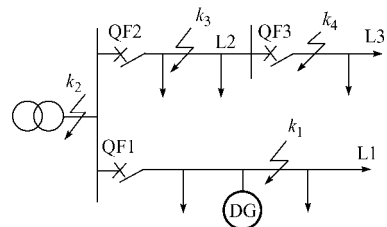


图 1 DG对继电保护的影响
Fig. 1 Impact of DG to protection

主要表现在以下几方面^[3-4]:

1) 导致本线路保护的灵敏度降低甚至拒动。以 k_1 点故障为例。DG引入前,短路电流只由系统提供;DG引入后,DG和系统都会提供短路电流,但 $QF1$ 处的保护只感受到系统提供的短路电流。在其他条件不变时,该电流会因DG的助增作用而减小,如果 $QF1$ 处的过流保护定值不变,其灵敏度将会降低,严重时甚至会拒动。DG的容量越大,对原有保护灵敏度的影响也越大。

2) 导致本线路保护误动。当 k_2 或其他馈线如 k_3 处发生故障时,DG引入前, $QF1$ 处的保护感受不到故障电流;DG引入后,相同地点故障时, $QF1$ 处的保护会感受到DG提供的故障电流。如果该电流

收稿日期: 2008-09-17; 修回日期: 2009-02-05。
国家自然科学基金资助项目(50807032); 山东省优秀中青年
科学家科研奖励基金资助项目(2007BS01007)。

足够大,将导致 QF1 处保护误动。DG 的容量越大,越容易造成相关保护误动。

3) 导致相邻线路的速断保护误动。当 k_4 处发生故障时, DG 引入前,短路电流只由系统流向故障点; DG 引入后, DG 和系统都会提供短路电流, QF2 处的保护感受到的故障电流增大,可能导致其速断保护误动,失去选择性。

4) 导致重合闸不成功。DG 引入后,线路 L1 接有 2 个电源,线路故障时,如果只有 QF1 跳闸而 DG 不跳开, DG 会继续向故障点提供短路电流。如果此时系统侧重合闸,会重合于故障,导致重合闸不成功。即使故障点的绝缘已经恢复,也可能因为非同期重合闸而导致重合闸失败或设备损坏。

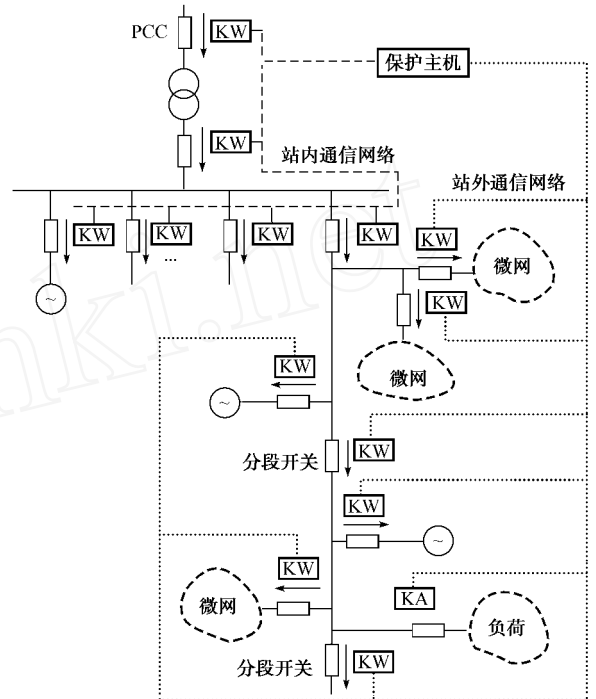
2 变电站级区域纵联保护原理

在 DG 发展的初期,供电公司一般均采取限制 DG 接入数量、接入容量和接入点位置等措施,来减小它对配电系统继电保护的影响;为 DG 配置防孤岛保护来防止 DG 孤岛运行,并消除对重合闸的影响。通常用 DG 的渗透率来描述一个配电系统中 DG 容量与负荷总容量的比值,用刚度比来描述系统故障时系统主电源提供的短路电流与 DG 提供的短路电流的比值。一般认为,当 DG 的渗透率不大于 10%、刚度比不小于 20、且 DG 配置有性能良好的防孤岛保护时, DG 接入对配电系统保护的影响就可以忽略,原配电系统保护的配置和参数均不必调整。从配电系统的角度看, DG 的接入相当于“即安即忘 (fit and forget)”^[5-7]。

当 DG 的渗透率提高、短路电流刚度比减小时,配电系统保护的配置、原理和参数必须相应调整。在高渗透率下, DG 一般以微网的形式与配电系统连接。微网是指由 DG、储能装置、用电负荷以及相关监控和保护装置汇集而成的自治发电电子系统,它既可以并网运行,也可以独立运行^[8-11]。由于微网中的 DG 具有同步发电机、异步发电机和逆变器接口等多种不同的类型,且风力发电、太阳能发电等受气象条件影响具有间歇性发电的特点,使 DG 高渗透率下配电系统的运行方式、故障特征十分复杂,传统的方向过电流保护无法协调。

为解决高渗透率 DG 并网运行对继电保护的要求,本文提出一种“一主多从”的主从式区域纵联比较的保护方案。它以包含 DG 在内的变电站及所有馈出线为保护区域,在变电站中设置一个站级保护主机,在每条馈出线的独立 DG、微网、分段开关或用户接口等具有切断短路电流能力的开关处均安装一个保护从机,从机借助通信通道与主机通信实现信息交互。区域纵联保护系统的结构见图 2。其中

保护主机负责进行故障的判断和定位,从机则负责向主机提供安装点处故障方向信息,根据本地检测的结果和主机的信息,决定是否跳开相应的开关。



□ 从机安装处; --- 站内通信网络; 站外通信网络; KW 为从机的故障方向判断元件,用于下游包含 DG 的线路; KA 为过流元件,用于下游只包含负荷的线路; PCC 为变电站与外网连接点

图 2 变电站级区域纵联保护的结构
Fig. 2 Configuration of substation area longitudinal protection

在本方案中,整个纵联保护系统实现变电站及馈出线的主保护功能,分散安装的保护从机实现后备保护功能。由于配电系统保护对快速性的要求相对较低,可采用分层纵联比较原则,工作过程如下:

1) 正常运行时,通过对变压器高低压侧电流、各馈出线电流、母线电压的检测,判断系统是否发生故障。无故障情况下,监视系统状态,等待触发启动。

2) 系统发生故障后,首先根据变电站与外网连接点处(如图 2 中的 PCC)方向元件的动作情况,判断故障是否在本站范围之内。若该方向元件动作,说明故障在本站范围之内,区域纵联保护系统将进行下一步的判断;否则故障不在本站范围之内。

3) 如果故障位于变电站内,根据变压器低压侧方向元件的动作情况,判断故障发生在变压器内部还是外部。若该方向元件不动,说明是变压器内部故障,经适当的逻辑判断后跳开变压器;若该方向元件动作,说明故障在变压器下游,继续判断。

4) 根据母线分段开关及各馈出线出口处方向元件的动作情况,判断有无母线故障。若变压器低压

侧方向元件动作,而母线分段及馈线出口处的方向元件均不动作,则判为母线故障;若分段处方向元件动作,则故障发生在另一条母线上;若某条馈线出口处的方向元件动作,则故障发生在该馈线上。

5) 在判为某条馈线故障时,保护主机在网络拓扑信息的支持下,收集对应馈线上各保护从机的方向元件的动作情况,判断出故障所在的区段。若某区段上游分段开关处方向元件动作,而其下游分段开关处方向元件未动,则本区段就是故障区段。

6) 故障区段确定后,进一步比较故障区段内从机方向元件的动作情况。区段内所有从机方向元件均不动作时,故障发生在该区段的配电线路上,此时主机将向从机发允许跳闸信号,各从机则在必要的逻辑和可靠性措施后,跳开开关将故障区段隔离。

7) 故障区段内任何一个从机方向元件动作时,表明故障发生在该从机下游,主机仅向动作的保护从机发允许跳闸信号,仅将其下游的 DG、微网或负荷与主网隔离,而电网的其他部分继续并网运行。

通过上述层次化的比较,可以方便、明确地判断出故障的位置,在不影响其他设备正常运行的情况下,能够快速、灵敏、有选择地将故障可靠切除。保护系统工作流程如图 3 所示。

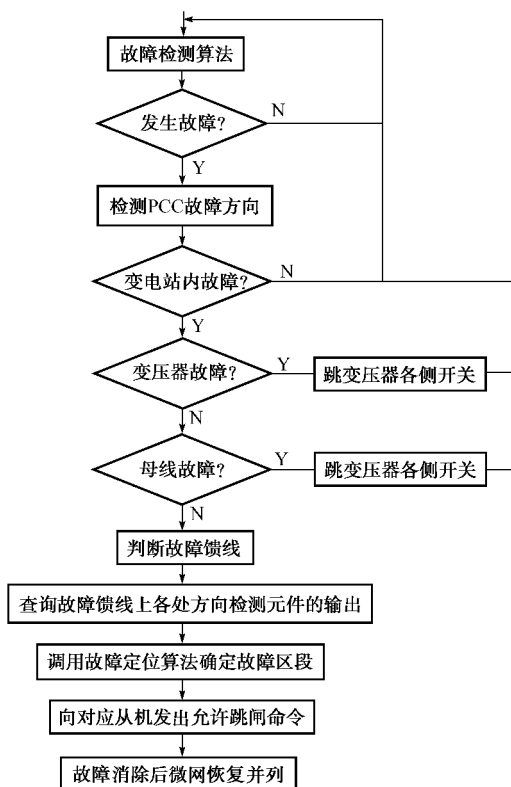


图 3 区域纵联保护系统工作流程
Fig. 3 Operation procedure of area longitudinal protection

3 故障方向检测元件

在区域纵联保护系统中,借助对故障方向的比较来确定故障位置,因此,故障方向的检测是实现区域纵联比较功能的基础,要求故障发生后图 2 中所有的保护从机均能正确检测出安装点的故障方向,否则会出现由于故障方向判断不正确而导致停电区域扩大的可能。在下游包含 DG 时,依靠功率方向元件或方向阻抗元件来检测方向;在下游仅有负荷时,按躲最大负荷电流整定的过流元件就反应故障方向^[12]。

为解决方向元件的灵敏度易受 DG 容量影响的问题,本文规定所有方向元件的正方向均为“自上而下”,即由系统指向配电系统的末端方向,如图 2 中箭头方向所示。这样当下游故障时,方向元件可靠动作,而下游无故障时,方向元件不会动作。

以图 4 中的方向元件 KW 为例分析其灵敏度。设在 k_1 点发生故障,此时 KW 感受到的故障电流为系统和检测点上游所有 DG 提供的短路电流之和。由于系统容量较大,完全能够保证方向元件的检测灵敏度。KW 上游的 DG(微网 1 中的电源)与主电源并联后向故障点供电,一般情况下其容量相对系统小很多,所以微网 1 运行方式的变化对 KW 灵敏度的影响不大。

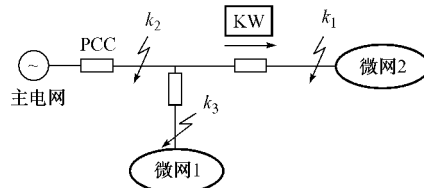


图 4 故障方向检测元件工作示意图
Fig. 4 Illustration of directional element

在 KW 上游的 k_2 或 k_3 点发生故障时,流过 KW 的电流为其下游微网(微网 2)提供的短路电流,灵敏度会随微网 2 中 DG 的容量、类型、运行方式等因素的变化而变化,但此时 KW 的正向元件不会动作,故不会影响故障检测及故障区域的确定。

需要指出的是,对本保护系统而言,故障发生后只需要判断出故障点位于配电网系统内还是位于微网系统内,对于微网内的故障需要依赖当地的保护控制装置处理,本文只涉及到并网点处的故障方向信息,对微网内部的故障情况不做分析。

4 区域纵联保护系统应用的可行性分析

主从式区域纵联保护系统借助通信通道收集相关检测点方向元件的动作情况,通过相互比较来确

定故障位置,最终跳开对应的开关以隔离故障。该保护系统适用于 DG 容量不大但渗透率较高、接入电网为放射状结构的配电网系统中。其中方向检测元件和通信通道是完成区域纵联保护功能的关键。方向检测元件与传统的功率方向元件没有本质区别,只是对正方向重新进行了定义,达到方向检测灵敏度基本不受 DG 容量、类型、并网位置和运行方式变化等因素影响的目的。方向检测元件完全可以在现有保护装置甚至馈线终端单元(FTU)的硬件基础上,通过软件开发来实现。

通信系统的性能决定了区域纵联保护系统的性能。目前配电网系统大多配备了光纤,在 FTU 等终端处配备了光端机,通过串口或以太网接收终端的各种数据,光端机将电信号复用后调制成光信号并通过单模光纤与主站通信^[13-14]。光端机一般都留有丰富的冗余电气接口可使用,且电信号先经过复用再传输,因此,多通道复用通信不会增加额外的传输延时。实验室测试结果表明:数据通过速率为 9 600 bit/s 的 RS-232 接口与光端机连接进行点对点通信,延时仅为 10 ms 左右,只要制定好保护主机与从机之间的通信策略,完全可以将通信延时控制在 100 ms 以内,甚至更小,从而满足区域纵联保护系统对快速性的要求。

5 结语

高渗透率 DG 接入配电系统后,传统的保护已难以满足要求。本文提出了一种区域纵联保护方案,它通过对不同位置方向元件动作情况的比较,能准确地判断出故障位置,并对故障快速隔离。该系统采用了“一主多从”的结构和查询式的通信方案,在工程上易于实现。重新定义了方向元件的正方向,元件的灵敏度基本不受 DG 运行方式的影响,提高了保护系统的适应性。由一套区域纵联保护系统实现整个配电变电站及其所有馈出线的纵联主保护,并辅以保护从机中的后备保护功能,能够获得较好的保护性能,满足 DG 高渗透率下配电系统继电保护的需要。

参考文献

- [1] JEN KINS N, ALLAN R, CROSSLEY P, et al. Embedded Generation. London, UK: Institution of Electrical Engineers, 2000.
- [2] GIRGIS A, BRAHRNA S. Effect of distributed generation on protective device coordination in distribution system. [EB/OL]. [2008-04-05]. <http://ieeexplore.ieee.org/ie15/7487/20362/00941636.pdf>.
- [3] 黄伟,雷金勇,夏翔,等.分布式电源对配电网相间短路保护的影响.电力系统自动化,2008,32(1):93-97.
HUANG Wei, LEI Jinyong, XIA Xiang, et al. Influence of distributed generation on phase-to-phase short circuit protection in distribution network. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(1): 93-97.
- [4] DOYLE M T. Reviewing the impacts of distributed generation on distribution system protection// Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting: Vol 1, July 21-25, 2002, Chicago, IL, USA: 103-105.
- [5] IEEE Std 1547—2003 IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems.
- [6] 陈卫民,陈国呈,崔开涌,等.分布式并网发电系统在孤岛时的运行控制.电力系统自动化,2008,32(9):88-91.
CHEN Weimin, CHEN Guocheng, CUI Kaiyong, et al. Running control of grid-connected dispersed generation systems in islanding situation. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(9): 88-91.
- [7] HUANG Shylr-Jier, PAI Fu-Sheng. A new approach to islanding detection of dispersed generators with self-commutated static power converters. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(2): 500-507.
- [8] LASSETER R H. Microgrids// Proceedings of IEEE Power Engineering Society Winter Meeting: Vol 1, January 27-31, 2002, New York, NY, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2002: 305-308.
- [9] European Research Project. Integration of renewable energy sources and distributed generation [EB/OL]. [2008-05-12]. <http://microgrids.power.ece.ntua.gr>.
- [10] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等.微电网研究综述.电力系统自动化,2007,31(19):100-107.
LU Zongxiang, WANG Caixia, MIN Yong, et al. Over view on microgrid research. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 100-107.
- [11] 王成山,肖朝霞,王守相.微网综合控制与分析.电力系统自动化,2008,32(7):98-103.
WANG Chengshan, XIAO Zhaoxia, WANG Shouxiang. Synthetical control and analysis of microgrid. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(7): 98-103.
- [12] 张保会,尹项根.电力系统继电保护.北京:中国电力出版社,2005.
- [13] 周念成,贾延海,赵渊.基于配电系统保护的馈线终端.电力系统自动化,2006,30(8):94-97.
ZHOU Niancheng, JIA Yanhai, ZHAO Yuan. Feeder terminal unit based on system protection to distribution network. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(8): 94-97.
- [14] 朱锡贵,国志宏,贾明泉.有信道馈线故障处理技术.电力系统自动化,2000,24(5):33-35.
ZHU Xigui, GUO Zhihong, JIA Mingquan. Technology of fault handling in feeder automation using communication channel. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(5): 33-35.

丛伟(1978—),男,通信作者,博士,讲师,主要研究方向:电力系统继电保护。E-mail:weicong@sdu.edu.cn

潘贞存 (1962—2008),男,教授,博士生导师,主要研究方向:分布式发电的保护与控制技术、电力系统继电保护和自动装置。

王成山(1962—),男,教育部长江学者特聘教授,国家杰出青年基金获得者,博士生导师,主要研究方向:分布式发电的运行与控制技术、电力系统运行与控制、电力系统规划。

A Substation Area Longitudinal Protection (SALP) Scheme for Distribution System with High DG Penetration

CONG Wei¹, **PAN Zhencun**¹, WANG Chengshan², YU Chunguang¹, WANG Wei¹, XUN Tangsheng³, SONG Zhiming³

(1. Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Key Laboratory of Power System Simulation and Control of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Shandong Electric Power School, Tai'an, 271000, China)

Abstract: Distribution generation (DG) technology has been rapidly developed and the DG penetration level is becoming higher and higher in the distribution system in recent years. The magnitude, direction and distribution of the short circuit current in distribution power system have changed a lot due to the introduction of DGs. This has brought several problems to the traditional staged over current protection devices and may cause them mal-operation. To satisfy the requirements and resolve the existing problems of the relay protection of the distribution systems under high DG penetration level, a new protection scheme is introduced. The new protection scheme is based on longitudinal comparison principle. With the foundation of communication technology, the new scheme is a kind of substation area longitudinal protection with master-slave structure, for the purpose of protecting the whole distribution substation and all of its outgoing feeders that are under high DG penetration level. The operation procedure and fault location method of the protection system is described.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50807032) and Excellent Yong Scientist Scientific Research Foundation of Shandong Province (No. 2007BS01007).

Key words: distribution systems; distribution generation(DG); area longitudinal protection; communication

(上接第 77 页 continued from page 77)

[16] 陈祥训. 一类样条函数导数型小波. 中国电机工程学报, 1999, 19(8): 76-79.

CHEN Xiangxun. A new class of derivative wavelets based on cardinal B-spline. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(8): 76-79.

[17] 林福昌. 高电压工程. 北京: 中国电力出版社, 2006.

郭宁明(1980—),男,通信作者,硕士,主要研究方向:电力系统故障诊断。E-mail: guonm@epri.ac.cn

覃剑(1967—),男,博士,教授级高级工程师,主要研究方向:电力设备及电力系统故障分析和诊断、小波变换技术在电力系统的应用。E-mail: jqin@epri.ac.cn

Locating Method of Short-circuit Point for Transmission Lines Under Lightning Stroke Fault

GUO Ningming, QIN Jian

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

Abstract: Location of lightning point and fault point may be different under lightning stroke fault of transmission lines, because the amplitude of lightning current is tremendous difference. This may influence on precision of traveling wave locating. When lightning wave reflect at the fault point, the distance between lightning stroke and fault points can be calculated with the arrival time difference between lightning wave and reflect wave. Based on fore mentioned analysis, a new approach to locate fault point through the calculation of relative position between lightning and fault points if lightning point is known is proposed. Factors which may affect the fault locating is also discussed. The validity of the methods is proved by EMTDC simulation and confirmation of real example.

Key words: fault locating; lightning stroke; traveling wave; wavelet transform; short circuit fault point