

Protection Configuration Scheme of Distributed Network Including Small Capacity Distributed Generation

Fusong Wang, Kunming Tang, Jian Luo

State key laboratory of power transmission equipments & system security and new technology, Chongqing university, Chongqing, China, 400044;

Email: wangfusong2005@163.com, cqneec2257@sina.com, luojian10000@263.net

ABSTRACT: Small capacity distributed generation will be popular widely with increased pressure of resources and environment, such as photovoltaic used in family. However, which will bring about a series of technical problems to distributed network protection's achievement and coordination, fault characteristic's detection, and drop fuse's opening. The problems will be solved well if the distributed network's protection can judge the interior fault right and fleetly. To distribution network line has communication channel, the paper deem fiber directional protection configuration can be applied to distribution network including small capacity distributed generation well if that can figure out the power flow's direction firstly; However, to distributed network line with not communication channel, the paper think the protection configuration can utilize the distance between protection and fault point, and the measurement will be not influenced by small capacity distributed generation.

KEYWORD: Small capacity distributed generation; Distribution network protection; Communication channel; Protection configuration

小容量分布式电源接入下的配电网保护配置方案探讨

王富松, 唐昆明, 罗建

重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆, 中国, 400044

Email: wangfusong2005@163.com, cqneec2257@sina.com, luojian10000@263.net

摘要: 随着资源、环境压力的加大, 类似太阳能光伏发电的小容量分布式电源在配电网中将得到愈来愈广泛的应用, 但其接入配电网也将给保护带来一系列的技术问题, 主要表现在保护的实现及配合、故障特征的检测和跌落保险的断开等几个方面。配电网线路保护能否正确快速地判断出区域内部短路故障, 将是解决小容量分布式电源接入配电网保护问题的关键。对于具有通信信道的配电网线路, 光纤方向保护是一种适用小容量分布式电源接入的保护配置, 但光纤方向保护在应用时应首先解决正确获取潮流方向的困难; 对于不具有通信信道的配电网线路, 若采用一种基于保护安装处到故障点测量距离的配电网线路保护配置, 则保护安装处到故障点的测量距离计算可不受小容量分布式电源接入的影响。

关键词: 小容量分布式电源; 配电网保护; 通信信道; 保护配置

1 引言

随着资源、环境压力的加大以及人们对低碳经济重视的提高, 以太阳能光伏发电及其储能装置等新能源和可再生能源为主的小容量分布式发电技术获得了很大的发展, 日渐成为满足负荷增长需求、减少环境污染、提高能源综合利用效率的一种有效途径^[1]。小容量分布式电源发出的电能可通过两种方式进行利

用: 一是利用储能装置储存; 二是直接接入配电网。但是通过储能利用分布式电源存在着供电与负荷需求不协调和成本高的问题。和储能方式相比, 分布式电源接入配电网则具有投入、运行成本低和发电效率高的特点, 也可更好的解决与负荷供电需求之间的协调问题, 也可延缓输、配电网升级换代所需的巨额投资。

对于容量较大的分布式电源, 接入配电网可通过变电站母线进行。但对于未来可能大规模使用的小容

量分布式电源，由于其容量较小，布局分散，更适合通过配电变压器低压侧接入配电网运行。根据当前配电网的现状，小容量分布式电源通过配电变压器接入配电网将会带来控制运行、电能质量、计费、调度、继电保护等一系列的技术问题，而继电保护问题则是限制分布式电源应用发展的一项关键问题。

2 小容量分布式电源接入带来的保护问题

传统的 10KV 配电网络的保护配置常是在变电站处安装基于断路器的三段式电流保护，主馈线上装设自动重合闸装置，支路上装设熔断器。若分布式电源通过配电变压器低压侧接入配电网，则辐射式的网络将成为一种遍布电源与用户互联的网络，潮流也不再单向地从变电站母线流向各负荷。馈线潮流的不确定性，可能会给电力系统继电保护装置的整定及自动重合闸带来很大影响^[2]，导致配电网的故障无法及时、准确的切除。分布式电源接入配电网引起的保护问题主要有以下几个方面：

2.1 保护配合及实现的困难

如图 1 所示的配电网，当 D2 点发生故障时，相邻线路上的分布式电源和故障点下游广布的分布式电源都将向故障点提供短路电流，使系统的故障潮流的分布状态发生变化，这将会给本线路与相邻线路的保护配合，以及本线路保护之间的配合带来困难。由于传统的过电流保护动作的整定依据故障潮流的大小，因此故障潮流的变化将增加过电流保护之间协调配合及其实现的困难^[2]，使其不能应对分布式电源接入配电网引起的潮流变化问题。

为了解决保护配合及实现的困难，一些学者提出改进的电流保护，但对于电流保护，由于需进行保护整定及配合，小容量分布式电源接入后，因布局分散，保护的整定配合变得十分困难，甚至可能无法协调。所以，从原理上来说，电流保护并不适用于小容量分布式电源接入的配电网^[3]。文献[4]和[5]提出一种自适应保护的解决方案，该保护方案的实质是把采集到的电气量信息与计算机存储的信息进行对比，从而确定故障区域和故障点。但是保护配置方案对通信的要求很高，由于配电网点多、面广，要求控制投资和易于维护，此种方案还有待改进。

2.2 故障特征检测的困难

如图 1 所示，当配电网 D2 点发生故障时，DG

将会向故障点注入短路电流。但是，由于 DG 的容量较小，和 DG 到故障点短路阻抗（主要由电力电子设备和配电变压器引起）的存在，DG 输出的电流在故障前后可能并不发生明显变化，从而给故障特征的检测带来困难。图 2 和图 3 是按发生两相短路时的 PSCAD 仿真结果，低压侧电流的变化随着微电源容量的增加而增大，但是电流变化并不明显。当微电源的容量较小时，可能会导致分布式电源的保护设备检测不到故障的发生，使分布式电源在配电网故障时不能及时断开与配电网的联系。

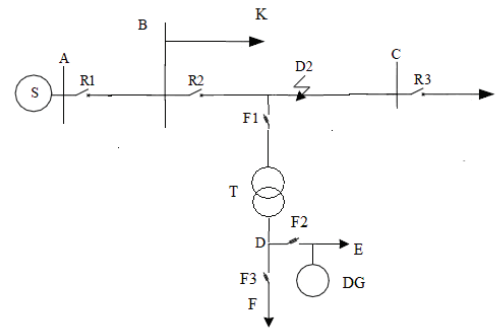


Figure 1. The schematic diagram of distribution network including distributed generation
图 1. 分布式电源接入配电网示意图

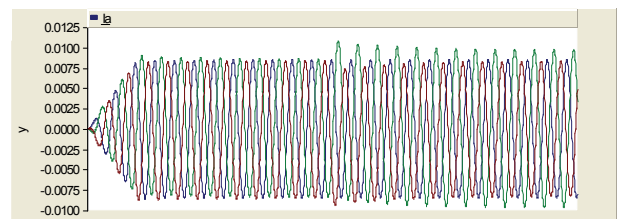


Figure 2. The short-current waveforms of lower voltage side when the capacity of distributed generation is 0.5KVA
图 2. 微电源为 0.5KVA 时短路前后低压侧电流

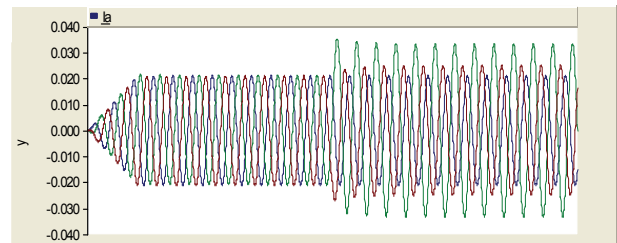


Figure 3. The short-current waveforms of lower voltage side when the capacity of distributed generation is 2.5KVA
图 3. 微电源为 2.5KVA 时短路前后低压侧电流

要解决此方面的问题，可在配电网保护设备和分

布式电源之间建立通信线路，使配电网保护动作后能告知分布式电源断开和配电网的连接；或者进行新的故障特征特征检测的保护原理研究。

2.3 跌落保险的问题

现阶段配电变压器开关以跌落保险为主，而跌落保险的断开值一般按配变内出现的短路故障进行整定，对于配变外配电网主线路出现的短路故障，跌落保险并不会断开。如图 1 所示的配电网线路，若 D2 点发生短路故障，分布式电源将会通过跌落保险向故障点提供短路电流。但分布式电源的容量较小且存在电力电子设备的限制，其向故障点提供的短路电流一般很小，不足以使跌落保险断开^[6]。若 BC 之间的配电变压器上均挂有众多小容量分布式电源，故障点汇聚的短路电流值将非常可观。即使安装在 R2 处的保护可将故障切除，分布式电源仍会在保护动作后经跌落保险向短路点提供短路电流，这将导致故障点电弧的持续存在，自动重合闸失败，降低供电可靠性。

针对此方面的问题，可将配变跌落保险开关替换为断路器开关，并配置专有保护设备解决，但这种解决方式大幅度地增加了分布式电源接入配电网的建设成本。在不过多增加建设成本的前提下，要断开分布式电源与配电网的联系，仅依靠分布式电源接入开关设备是困难的，而且在开关设备失灵或拒动时，将可能导致故障范围的扩大。

3 保护配置的关键

分布式电源接入配电网引起的保护问题，主要是因为传统的配电网的保护配置在建设初期没有考虑小容量分布式电源的接入问题，在接入配电网后，将使线路保护配置的过电流保护和跌落保险装置在配电网发生故障时存在可靠性不足以及不能充分协调的问题。若在故障条件下，配电网自身的线路保护配置能快速可靠地判断出保护区域内线路的短路故障，然后利用通信方式告知小容量分布式电源接入开关设备断开与配电网的联系，则分布式电源接入引起的保护问题可得到解决。目前，通信技术已经在日常生活中得到广泛应用，在配电网中建立通信网络不存在技术困难，由此可看出，配电网线路保护能快速可靠地判断出保护区域内线路部上的短路故障才是解决小容量分布式电源接入配电网保护问题的关键所在。因此就需要我们重新考虑配电网的继电保护的配置问题。

4 保护配置方案探讨

4.1 有通信信道的配电网

对于具有通信信道（以光纤通信为例）的配电网线路，小容量分布式电源的接入会破坏光纤纵差保护的動作基础。如图 4 所示，若 A 处发生故障，则处于保护安装处 R1、R2 之间所有通过配电变压器接入电网的分布式电源都将向故障点提供短路电流。但由于保护只能监测到主系统侧的故障电流，其检测到的故障电流值要小于故障点的实际值，可能导致保护的灵敏度降低。另外，两端的保护在动作后，分布式电源仍有可能继续向故障点提供短路电流。因此，保护区域内小容量分布式电源的存在使光纤纵差保护不再适用于配电网线路保护。

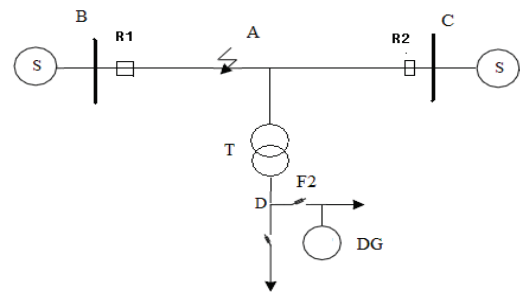


Figure 4. Distributed generation join up distribution network with two power supply
图 4. 分布式电源接入双端供电网络

由于光纤方向保护靠比较两端的的方向判断故障区域，保护区域内的小容量分布式电源的接入不会影响配电网两端保护方向的判别。因此对于具有通信信道的配电网线路，光纤方向保护装置将是一种适用于小容量分布式电源接入配电网的线路保护配置。但光纤纵联方向保护和分布式电源之间还应能够通信，以使光纤纵联方向保护在判断为区内故障时，可利用通信通道向本区内的分布式电源发出跳闸命令。自动重合闸装置可在一定的延迟后重合，重合成功，则向连接开关发出可并网连接的命令，否则并网闭锁。这种保护配置方案不但可以充分保证配电网的安全，还可以作为接入配电网开关设备的一个后备保护，为小容量分布式电源的接入提供更可靠的安全保障。但是，目前光纤方向保护在实现的时候存在如下困难：

1) 现在配电网中使用的电磁式电流互感器在流过故障电流时容易饱和，这将导致故障潮流方向的获取不再准确；

2) 由于现有的故障潮流方向的获取方法不能应付不同点两相接地（中性点不接地或经消弧线圈接地配电网系统时常发生）的情况，因此，当出现不同点两相接地时，测得的故障潮流方向也可能会不准确；

3) 小容量分布式电源的发电功率随时间发生变化会使配电网的潮流变得不确定，这将影响现有的故障潮流方向获取的准确性。

因此，要实现小容量分布式电源接入下的配电网线路光纤纵联方向保护，还需要开展更多的配电网线路故障潮流方向获取方法的研究。

4.2 无通信信道的配电网

对于辐射型线路，常利用线路单端信息通过人为的整定来判断区内或区外故障，以实现线路保护。但是，若保护能先求取故障点到保护安装处的距离，则可依据求取的距离来实现线路保护。基于上述思想，本文提出一种利用保护安装处到故障点距离，且不需人为整定值就能判断区内或区外故障的一种配电网线路保护配置，图 5 为其示意图。这种保护配置的核心是实时的求取故障点到保护安装处的距离，在求取了故障点到保护安装处的距离之后，保护依据故障点到保护安装处的距离和被保护线路的长度确定保护的动作时间，当保护判断为区内故障，利用通信措施命令接入开关跳闸。另外，此种保护配置方案不但可使配电网的保护不受小容量分布式电源接入的影响，还可根据电力系统运行方式和故障状态的变化而实时改变保护性能、特性和定值，能在很大程度上克服传统保护受系统运行方式、负荷变化、频率变化、过渡电阻、电力系统振荡以及故障类型等因素的影响。

目前，保护求取距离的方法可根据如下二种方式进行：一、将被保护线路用一个经典数学模型来替代，在线路出现短路故障时，利用线路单端检测到的电流和电压数据用数学模型进行计算，然后依据短路故障点的边界条件，搜索式地寻找故障点到保护安装处的距离。二、依据线路出现短路故障时所检测到的单端电流电压数据，就端口看进去的等效阻抗进行参数辨识，进而确定故障点到保护安装处的距离。但是由于分布式电源分布的不确定性，在利用第一种方法建立数学模型求取距离时需要已知运行模式，若运行模式未知，则保护将不能体现其良好性能。若将配电线路及小容量分布式电源等效后行参数辨识，则可不考虑电网的运行模式和分布式电源的位置等因素，因此第二种距离求取的方式可

能会有更好的应用空间。

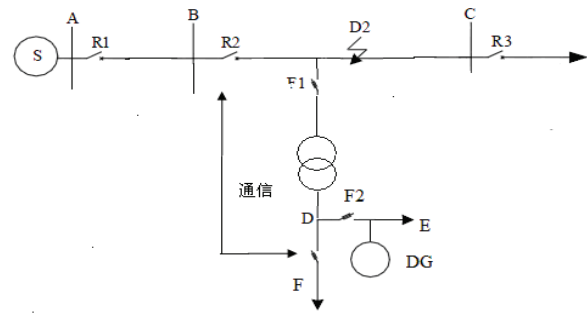


Figure 5. The schematic diagram of protection configuration of radial distribution network

图 5. 辐射型供电网络保护配置示意图

4 结论

小容量分布式电源的接入给配电网给继电保护带来了一系列的问题，本文就其接入配电网后给继电保护的配合及实现、检测和跌落保险带来的问题进行了分析，并指出当前一些研究的不足。然后根据配电网保护配置需要应对的问题，探讨了有通信信道配电网的光纤纵联方向保护配置方案及无通信信道配电网的单端信息保护配置方案，并指出其优缺点和进一步需要开展的研究工作。

References (参考文献)

- [1] HUANG Wei, SUN Chang-hui, WU Zi-ping, A Review on Microgrid Technology Containing Distributed Generation System[J]. Power System Technology, 2009, 33(9):14-18. 黄伟, 孙昶辉, 吴子平等. 含分布式发电系统的微网技术研究综述[J]. 电网技术, 2009, 33(9):14-18.
- [2] WEN Yang-dong, WANG Xin. Effect of distributed generation on protection in distribution system[J]. RELAY, 2008, 36(1):12-14. 温阳东, 王欣. 分布式发电对配电网继电保护的影响[J]. 继电器, 2008, 36(1): 12-14.
- [3] Ferry A. Viawan, Daniel Karlsson, Protection scheme for meshed distributed systems with penetration of distributed generation. 2006, PS'06, 99-104.
- [4] S.A.M.Jaradian, M.-R.Haghifam, P.Barazandeh. Adaptive over-current protection Scheme for MV Distribution Networks Including DG. 978-1-4244-1666-0/08 2008 IEEE.
- [5] S.M. Brahma and A.A Girgis. Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution System with High Penetration of Distributed Generation. IEEE Transactions on Power Delivery, vol.19, no.1.
- [6] Adly Girgis, Sukumar Brahma. Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System. Power Engineering, 2001. LESCOPE'01. 2001 Large Engineering Systems Conference on. 115-119.
- [7] Sukmumar M. Brahma, Adly A.Girgis. Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution System With High Penetration of Distributed Generation. IEEE Transactions on, 2004, 19(1):56-63.
- [8] S.A.M. Javadian, M.-R. Haghifam, P.Barazandeh. An Adaptive Over-current Protection Scheme for MV Distribution Networks

- Including DG. Industrial Electronics, 2008. ISIE 2008. IEEE International on. 2520-2525.
- [9] SUONAN Jia-le, KANG Xiao-ning, SONG Guo-bing, . Survey on Relay Protection Using Parameter Identification. Proceeding of the CSU-EPSSA, 2007, 19(1):14-20.
索南加乐, 康小宁, 宋国兵等. 基于参数辨识的继电保护原理初探[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19(1):14-20.
- [10] Kang Xiaoning, Suonan Jiale. Frequency domain method of fault location based on parameter identification using one terminal data[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(2):22-27.
康小宁, 索南加乐. 基于参数辨识的单端电气量频域法故障测距原理[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(2):22-27.
- [11] QIN Hongxia, LI Ying, ZHAO Yucai, . A New Method of Line Pilot Relay Communication Based on Fiber Optic Technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(11):70-73.
秦红霞, 李莹, 赵玉才等. 基于光纤技术的纵联方向保护信息交换方法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(11): 70-73.
- [12] HUANG Wei, LEI Jinyong, XIA Xiang, . Influence of Distributed Generation on Phaser to Phase Short Circuit Protection in Distribution Network. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(1): 93-97.
黄伟, 雷金勇, 夏翔. 分布式电源对配电网相间短路保护的影响[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(1): 93-97.