

分布式发电对配电网继电保护的影响

温阳东, 王欣

(合肥工业大学电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 提出大量的分布式发电的并网运行, 必将对现有的配电网的结构、故障时配电网中短路电流的大小、方向产生深刻的影响, 从而影响配电网的可靠性和安全性。以 10 kV 馈线的保护为例, 探讨了分布式发电对单侧电源、辐射型网络中基于断路器的三段式电流保护、熔断器保护以及自动重合闸的影响。并针对今后大量 DG 接入配电网的情况提出若不改变电网的结构, 保持配电网保护设备的协调性的最佳的方案就是把整个配电网分区, 按选择性要求切除故障区域的分布式电源, 实现故障线路的隔离。

关键词: 分布式发电; 三段式电流保护; 熔断器; 重合闸; 保护设备协调性

Effect of distributed generation on protection in distribution system

WEN Yang-dong, WANG Xin

(Dept of Electric Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The paper includes that the increasing amount of distributed generation (DG) in power system will deeply affect the network structure, the direction and amperage of short-current in the system, and will affect the reliability and stability of the net. Taking the 10kV network as an example, the paper explores the effect of DG on protective device such as 3-sectional current protection based on circuit breakers, fuse-fuse coordination and reclosure. It concludes that if protection scheme is not changed, the best way to maintain coordination in presence of arbitrary DG penetration is to divide the network into several zones, then disconnect the right DG selectively and instantaneously in case of fault.

Key words: distributed generation; 3-sectional current protection; fuse; reclosure; coordination of protective device

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)01-0012-03

0 引言

集中式供电是当代电力系统的一大主要特点, 正在为全世界90%以上的电力负荷供电。但它也存在一些弊端, 主要有对于偏远地区的负荷供电, 传输损耗过大。并且大型互联电力系统中局部事故极易扩散, 而导致大面积停电。同时世界范围内环境的日渐恶化及能源危机, 使得电力系统中形成一个新的研究热点——分布式发电DG(Distributed Generation)。

DG指的是为了满足一些特殊用户的需求、支持已有的配电网的经济运行而设计和安装的在用户处或其附近的小型发电机组, 或坐落在用户附近使得负荷的供电可靠性及电能质量都得到增强、又或者由于就地应用热电联产使得效率得到提高的发电形式。分布式电源包括很多种类, 根据DG通常所使用的技术来分可分为: 水力发电、风力发电、光伏发电、燃气轮机和燃料电池等^[1]。

1 配电网的保护配置

随着 DG 应用技术的发展, DG 在电力系统中的渗透率将越来越高。目前, 我国的中低压配电网主要是不接地(或经消弧线圈接地)单侧电源、辐射型供电网络, 且地区之间继电保护水平很不均衡, 整体水平不高。由于辐射状配电网的潮流是单向流动的, 且考虑到 80%~90% 的故障都是瞬时的, 所以传统配电网的保护设计通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。根据“故障后仅断开故障支路, 对瞬时故障进行自动重合闸”的原则, 使自动重合闸装置与断路器及各侧支路上的熔断器相互协调, 而每个熔断器又分别与其直接相连的上、下一级支路上的熔断器协调配合以实现整个网络的保护, 此种保护不具有方向性^[2]。DG 一般通过 10 kV 馈线接入配电系统, 因此我们以 10 kV 馈线的保护为例。下图即为 10 kV 配电网模型。如图

1, 将变电所以上的系统等值为一电压源, R1~R3 为基于三段式电流保护的断路器。F1~F6 为熔断器。

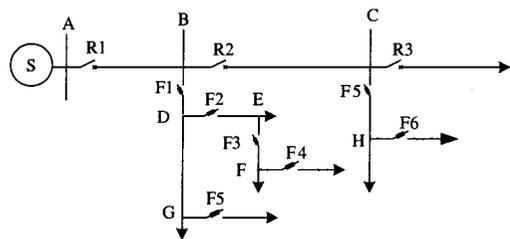


图 1 10 kV 配电网模型
Fig.1 Model of 10kV network

2 DG 对配电网保护的影响

若 DG 与电力系统并网运行, 将会有一系列的问题产生。DG 的引入使得配电系统从传统的单电源辐射型网络变成双端甚至多端网络, 从而改变故障电流的大小、持续时间及其方向; DG 本身的故障行为也会对系统的运行和保护产生影响。配电网潮流的不确定性, 将会对电力系统继电保护的设置和动作值的整定增加一定的难度。传统的保护系统是在假定配电系统都是放射状的基础上设计的, 而随着 DG 在配电网的渗透, 保护系统设计的基础就发生了改变。

分布式电源对配电网的继电保护造成影响, 主要表现在以下几个方面。

2.1 DG 对故障电流的影响

DG 引入配电网以后, 在故障发生时必然将对故障点提供故障电流, 影响故障电流的水平。从研究继电保护的角度而言, DG 模型可以用一个电源串联电抗的模型来表示。因此, 在故障发生时 DG 能够提供多大的故障电流是我们所关心的问题。对于不同类型的 DG, 其电抗值也是不同的, 它代表着该电源的故障电流注入能力。Barker et al 对此进行了研究, 如表 1 所示^[3]。

表 1 不同类型 DG 的故障电流注入能力

Tab.1 Fault current insert of different kinds of DG

DG 类型	故障电流注入能力
换流器	100%~400%, 持续时间取决于控制装置
同步电机	500%~1 000%, 逐渐衰减到 200%~400%
感应电机	500%~1 000%, 在 10 个周波内衰减至可忽略

2.2 DG 对三段式电流保护影响

10 kV 馈线保护在主馈线上通常配置传统的三段式电流保护, 即: 瞬时电流速断保护、定时限电流速断保护和过电流保护。除此之外, 对非全电缆

线路, 配置三相一次重合闸, 保证在馈线发生瞬时性故障时, 快速恢复供电。对于不存在与相邻线路配合问题的终端线路, 为简化保护配置, 一般采用瞬时电流速断保护加过电流保护组成的二段式保护, 再配以三相一次重合闸(前加速)的保护方式, 能够保护全线。

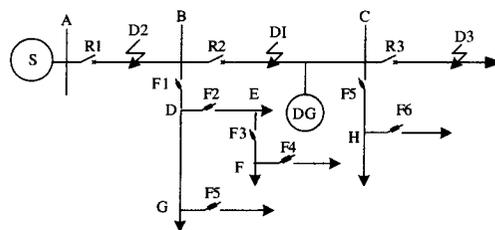


图 2 引入 DG 后 10 kV 配电网
Fig.2 10 kV network with DG

DG 对三段式电流保护动作行为的影响主要表现在以下几个方面。

1) 导致本线路保护动作的灵敏度降低, 严重时甚至拒动^[4]

如图 2, 若在线路 BC 中间的任意位置引入 DG, 此时 BC 被分为两段, 其中系统侧 A 与 DG 之间的区段变为双电源供电, 而 DG 至线路末端仍属于单侧电源供电。当系统侧 A 与 DG 之间任意点 D1 发生故障时, 故障点 D1 的总电流由系统和 DG 共同提供, 而馈线 BC 上的三段式电流保护只能感受到由系统提供的故障电流, 小于故障点 D1 的实际电流值, 因而保护动作的灵敏度将降低, 严重时甚至拒动。

2) 导致本线路保护误动作

如图 2, 当系统侧 AB 上任意点 D2 发生故障时, 应该由 AB 上的保护 R1 动作于跳闸, 其它保护不该动作。但由于故障点 D2 的总电流由系统和 DG 共同提供, 而此时线路 BC 上的保护 R2 就会感受到来自于 DG 的短路电流, 由于保护没有方向闭锁元件, 若 DG 容量足够大, 短路电流足够大, 使得其故障电流超过保护的速断或过流的定值, 则会造成 BC 上的保护 R2 误动作。

3) 导致相邻线路的瞬时速断保护误动作, 失去选择性

如图 2, 当不含 DG 的其它馈线上任一点 D3 发生短路故障时, 故障线路的保护感受到的电流为系统和 DG 共同提供的, 其值必然大于 DG 引入前由系统单独提供的故障电流, 若故障线路是终端线, 如图 2, 则此影响是有利的, 使得原保护更加灵敏; 若故障线路为非终端线, 则此时相邻故障线路的下一级保护感受到的故障电流增大, 须校核其速断保护定值, 保证其可靠躲过相邻线路出口处故障产生的最大三

相短路电流,以保证保护的选择性^[5]。

2.3 DG对熔断器保护的影响

熔断器能够在线路中出现不被允许的大电流时,由电流流过熔体产生的热量将熔体或者熔丝熔断,实现对故障线路的隔离。通常熔断器安装于配电变压器的高压侧或线路末端及线路分支处。如下图,熔断器F5和F6互相协调配合实现对线路的保护。当线路末端的任意点D发生故障时,流过F5和F6的故障电流相等,由于F5的熔断时间大于F6的动作时间,还没等F6开始动作F5就已经完全熔断实现了对故障线路的隔离。其它支路上的熔断器也是根据此原则协调保护的。

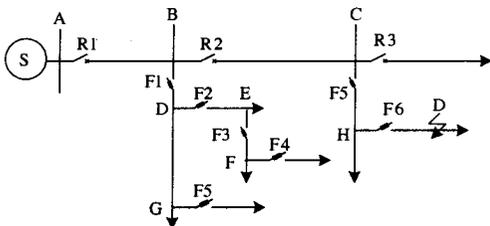


图3 不含DG时熔断器之间的配合

Fig.3 Coordination of fuses without DG

如若在线路中引入DG,见图4。配电网相当于一个多电源网络。当系统侧任意点d1和支路上的任意点d2发生故障时,流过熔断器F2和F3的短路电流相同。但根据故障后仅断开故障支路的保护选择性原则,当d1发生故障时,要求F2优先于F3动作,即F2的熔断时间小于F3的动作时间;而当d2故障时,要求F3优先于F2动作,即F2的动作时间大于F3的熔断时间^[6]。DG的引入要求其保护装置都具备方向性,这样的要求对于传统的保护配置来说是根本无法实现的,而倘若用方向继电器那样的方向性元件来替换配电网中所有的熔断器在经济上又是不具可行性的。

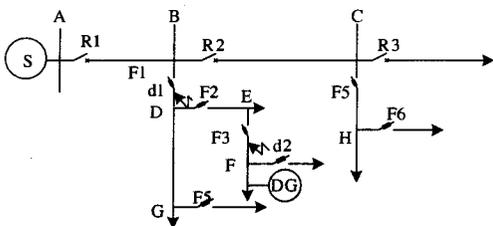


图4 引入DG后熔断器的配合

Fig.4 Coordination of fuses with DG

2.4 DG对自动重合闸的影响

在DG引入前,配电网为辐射式结构,自动重合闸在恢复瞬时性故障线路的供电时,不会对配电系

统产生任何冲击和破坏。DG引入后,一旦线路因故障而跳闸,故障部分不再与电网相连而失去系统电源。而DG很有可能在故障后没有跳离线路,与配电网相连继续工作,则在电网中形成由DG单独供电的电力孤岛。这些孤岛保持了功率和电压在额定值附近运行。然而,看似正常运行的孤岛却给自动重合闸埋下了隐患^[7]。

1) 非同期重合闸。在系统电源跳开至自动重合闸动作这段时间内,DG很有可能加速或者减速运转,以至于自动重合闸动作时,电力孤岛与电网不能保持同步,出现很大的相角差。非同期重合闸会引起很大的冲击电流或电压,如图5。在此冲击电流的作用下,线路保护很可能再次动作,发生误动,而使重合闸失去了其迅速恢复瞬时故障的职能。同时,冲击环流也很有可能对电网及DG单元中的设备带来致命的冲击。

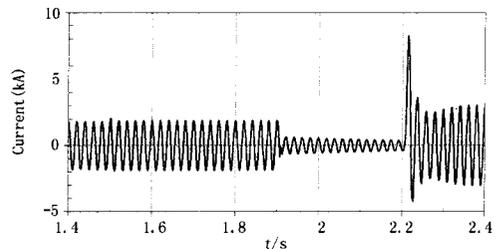


图5 非同期重合闸产生的电流

Fig.5 Fault current caused by out-of-phase reclosing

2) 故障点持续电弧。在失去系统电源以后,DG可能继续维持对故障点的供电,重合闸发生时,DG所提供的故障电流妨碍了故障点电弧的熄灭,引起故障点持续电弧。此时,原本的瞬时故障变成了永久性故障。长期的电弧的存在会给所有设备的寿命及维护带来很大的困难^[8]。

因此,DG的引入使得自动重合闸对瞬时性故障的恢复产生了很大的影响。DG侧需装设低周、低压解裂装置,同时为避免非同期重合闸给电网和DG带来的冲击,系统侧重合闸继电器需检线路无压,DG侧检同期。

3 结论

分布式发电(DG)是电力系统发展的一个主要方向,然而大量分布式发电的并网运行,可能会影响配电网的可靠性和安全性。

为了提高配电网的供电可靠性和供电质量,文献^[6]提出可以将系统分区,各区域间通过断路器连

(下转第26页 continued on page 26)

- Power Systems, 2005, 29(12): 49-52.
- [7] 孙薇, 商伟, 牛东晓. 改进蚁群优化算法在配电网架规划中的应用[J]. 电网技术, 2006, 30(15): 85-89. SUN Wei, SHANG Wei, NIU Dong-xiao. Application of Improved Ant Colony Optimization Algorithm in Distribution Network Planning[J]. Power System Technology, 2006, 30(15): 85-89.
- [8] 赵文彬, 孙志毅, 李虹. 一种求解TSP问题的相遇蚁群算法[J]. 计算机工程, 30(12): 136-137. ZHAO Wen-bin, SUN Zhi-yi, LI Hong. A Meeting Ant Colony Optimization Algorithm of Solving TSP Problem[J]. Computer Engineering, 30(12): 136-137.
- [9] 陈根军, 王磊, 唐国庆. 基于蚁群最优的配电网规划方法[J]. 电网技术, 2003, 27(3): 71-75. CHEN Gen-jun, WANG Lei, TANG Guo-qing. An Ant Colony Optimization Based Method for Distribution Network Planning[J]. Power System Technology, 2003, 27(3): 71-75.
- [10] Blum C, Dorigo M. Search Bias in Ant Colony Optimization: on the Role of Competition-balanced Systems[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2005, 9(2): 159-174.
- [11] Stutzle T, Dorigo M. A Short Convergence Proof for a Class of Ant Colony Optimization Algorithms[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2002, 6(4): 358-365.
- [12] 丁玉凤. 粒子群优化算法及其在电力系统经济运行中的应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005. DING Yu-feng. Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Applications to Power System Economic Operation[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005.

收稿日期: 2007-07-18; 修回日期: 2007-08-27

作者简介:

李秀卿(1954-), 男, 教授, 研究方向为电力系统规划, 电力系统经济调度;

王涛(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统无功优化计算; E-mail: wt0532@126.com

王凯(1970-), 男, 工程硕士, 主要从事电力系统运行与控制方面的研究。

(上接第 14 页 continued from page 14)

接, 由配电站处的继电器完成在线感应故障、识别故障类型和故障区域、并向相应的断路器发出跳闸信号的通知, 切除故障区域的分布式电源, 实现故障线路的隔离, 非故障线路继续运行, 而对于瞬时故障的自动重合闸由主继电器完成。

参考文献

- [1] 丁明, 王敏. 分布式发电技术[J]. 合肥工业大学. DING Ming, WANG Min. Technology of Distributed Generation[J]. Hefei University of Technology.
- [2] 李蓓, 李兴源. 分布式发电及其对配电网的影响[J]. 国际电力, 2005, (6). LI Pei, LI Xing-yuan. Distributed Generation Sources and Their Effects on Distributed Networks[J]. International Electric Power for China, 2005, (6).
- [3] 胡成志, 卢继平, 等. 分布式电源对配电网继电保护影响的分析[J]. 重庆大学学报, 2006, (8). HU Zhi-cheng, LU Ji-ping, et al. Analysis of the Impact of DG on the Protection of Distributed System[J]. Journal of Chongqing University, Natural Science Edition, 2006, (8).
- [4] 张超, 计建仁. 分布式发电对配电网馈线保护的影响[J]. 继电器, 2006, 33(6). ZHANG Chao, JI Jian-ren. Effects of Distributed Generation on Network[J]. Relay, 2006, 33(6).
- [5] Girgis A, Brahma S. Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System [A]. In: 2001 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering. Canada: 2001. 115-119.
- [6] Brahma S M, Girgis A A. Development of Adaptive Scheme for Distribution System with High Penetration of Distributed Generation[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19(1).
- [7] 王希舟, 陈鑫. 分布式发电与配电网保护协调性研究[J]. 继电器, 2006, 33(2). WANG Xi-zhou, CHEN Xing. Research on the Coordination of Distributed Generation and Distribution System Protection[J]. Relay, 2006, 33(2).
- [8] Kumpulainen L K, Kauhaniemi K T. Analysis of the Impact of Distributed Generation on Automatic Reclosing[J]. IEEE, 2004.

收稿日期: 2007-06-07; 修回日期: 2007-07-05

作者简介:

温阳东(1955-), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向为电力系统继电保护及调度自动化;

王欣(1983-), 女, 硕士, 主要研究方向为电力系统继电保护及调度自动化. E-mail: xinxin1186121@163.com