

# 分布式电源接入对变电站距离保护及重合闸的影响

赵月灵<sup>1</sup>, 李华忠<sup>2</sup>, 孙鸣<sup>3</sup>

(1. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061; 2. 南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102;  
3. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** 为研究分布式电源对所接入变电站继电保护的影响, 以 DG 接入单电源配电网的 110 kV 终端变电站为例, 以故障点是否出现在系统电源进线段为切入点, 通过分析 DG 接入对变电站线路短路电流增量的影响以及线路故障尚未切除时 DG 能够满足暂态稳定运行时间的长短, 进而研究分布式电源的不同容量、不同接入方式对所接入变电站原有三段式距离保护及重合闸的影响, 并通过 EMTDC/PSCAD 仿真加以验证。结果表明, 分布式电源对所接入的变电站距离保护的影响主要取决于 DG 容量的大小及故障时 DG 失稳时间的长短, 对重合闸的影响主要取决于故障点是否出现在系统电源进线段。

**关键词:** 分布式电源; 距离保护; 重合闸; 变电站; 故障

## Effect of DG on the distance protection and recloser of transformer substation

ZHAO Yue-ling<sup>1</sup>, LI Hua-zhong<sup>2</sup>, SUN Ming<sup>3</sup>

(1. NARI Technology Development CO.,LTD, Nanjing 210061, China; 2. NARI-Relays Electric CO.,LTD, Nanjing 211102, China;  
3. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Taking a distributed generation connected to 110 kV terminal substation as an example, the impact of distributed generation capacity and connection mode on three-section distance protection and the recloser of substation is discussed from different aspects: the fault location, the short circuit current increment and the steady running time of DG after fault. Simulative results with EMTDC/PSCAD show that: DG has impact on the distance protection depending on its capacity and its steady running time, the impact of DG on the recloser depending on the place of the fault.

**Key words:** distributed generation; distance protection; recloser; transformer substation; fault

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)20-0217-03

## 0 引言

分布式电源 DG 是指区别于集中发电、远距离传输、大互联网络的传统发电形式, 以燃料电池、生物质能、风力发电、太阳能光伏等为代表的功率为几十千瓦到几十兆瓦的小型模块式、与环境兼容、经济、高效、可靠的独立电源<sup>[1-2]</sup>。

目前, DG 已不仅局限于功率较小的微型燃气轮机、光伏发电和风力发电等, 还包含了生物质能发电、热电联产以及大型风电场等装机容量相对较大的机组。随着大量 DG 的接入, 其将会对变电站继电保护带来怎样的影响, 已成为从事分布式发电研究人员关注的重点之一<sup>[3-7]</sup>。

本文以分布式电源接入单电源配电网的 110 kV 终端变电站为例, 主要分析了 DG 对所接入变电站

三段式距离保护的影响, 以及 DG 接入对系统进线重合闸的影响。

## 1 DG 接入对系统进线重合闸的影响分析及应对措施

单电源辐射式配电网结构中, 通常采用三相一次自动重合闸的方式迅速恢复出现瞬时性故障线路的供电。为避免轻载时 DG 向系统倒送功率, 当前绝大多数 DG 无论通过中压母线接入还是通过高压母线接入, 其容量均小于负荷容量, 所以系统故障时暂不考虑 DG 孤岛运行。

### 1.1 DG 接入对系统进线重合闸的影响

现以 DG 通过 110 kV 母线接入系统为例(如图 1 所示), 来分析系统故障时 DG 接入对系统电源进线段自动重合闸装置的影响。

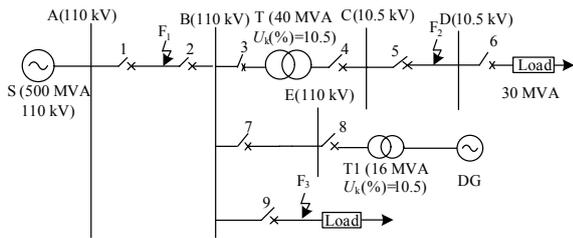


图 1 DG 通过 110 kV 母线接入系统时的等效网络图

Fig.1 Equivalent network of distribution system including DG which connected to the 110 kV bus

系统电源进线段  $F_1$  点故障时，保护 1 动作切除故障线路，系统电源 S 将与变电站解列。由于 DG 仍和变电站相连接，则断路器 1 处的重合闸无法进行检无压重合；失去系统电源 S 的支撑后，小容量的 DG 机组将快速失去稳定性，因此无法实现同期重合功能，此时若强行手动重合，则系统电源 S 与 DG 之间将出现非同期合闸的问题，将对变电站系统及分布式电源产生冲击和破坏。

### 1.2 避免非同期合闸的应对措施

系统电源进线段故障时，为避免分布式电源接入造成的非同期合闸问题，由于不考虑 DG 孤岛运行，故障后应迅速切除 DG 机组。具体实现方法如下：如图 1 所示，可在系统电源进线段开关 2 处加装功率方向元件，功率方向作为保护 8 动作的判据之一。当开关 2 处的功率方向为母线流向线路，且流过保护 8 的短路电流大于其额定值时，则可以判断故障发生在系统电源进线段，此时由远方集控室发出遥控信号断开保护 8 处的断路器，若远方集控室没有收到断路器 8 成功跳闸的返回信号，且开关 2 处仍能检测到功率方向为母线流向线路，则在自动重合闸装置动作之前应就地断开断路器 7。待瞬时故障切除后，系统电源 S 由开关 1 处的重合闸装置检无压将其重新投入运行，而 DG 机组则由其端口处的检同期装置将其重新并入变电站系统恢复供电。

## 2 DG 接入对变电站距离保护的影响分析及应对措施

由于 35 kV 及以上电压的复杂网络中，一般采用距离保护作为线路的主保护，DG 机组通过 110 kV 母线接入时，其向故障线路提供的短路电流增量将可能影响变电站原有距离保护的定值。

### 2.1 系统电源进线段故障时 DG 接入对变电站距离保护的影响分析

由 1.2 节分析可知，若故障出现在系统电源进线段（如图 1 中  $F_1$  点故障），为避免非同期合闸问

题，则迅速切除 DG 机组，此时分布式电源的接入对变电站原有距离保护不会产生影响。

### 2.2 非系统电源进线段故障时 DG 接入对变电站距离保护的影响分析

若故障出现在非系统电源进线段（如图 1 中  $F_2$  点、 $F_3$  点故障），分布式电源 DG 在解列之前将会与系统电源 S 共同向故障点注入短路电流，此时分布式电源接入将对变电站原有距离保护产生影响，具体分析如下。

#### 2.2.1 DG 接入对故障点提供的短路电流增量

图 1 中  $F_2$ 、 $F_3$  点故障时，将由 DG 与系统电源 S 共同向故障线路提供短路电流，此时 DG 对故障点提供的短路电流增量为：

$$I_{DG}^* = \frac{1}{1 + \frac{X_{DG}'' + X_{T1} + X_{BE}}{X_S + X_{AB}}} \quad (1)$$

式中： $X_S$  为系统等效电抗标么值； $X_{DG}''$  为 DG 机组等效次暂态电抗标么值； $X_{T1}$  为升压变  $T_1$  等效电抗标么值； $X_{AB}$  为线路 AB 等效电抗标么值； $X_{BE}$  为线路 BE 等效电抗标么值。

由式（1）分析可知，DG 对故障点提供的短路电流增量取决于 DG 至接入点的等效电抗标么值与接入点处至系统 S 的等效电抗标么值的比值  $X_{DG}'' + X_{T1} + X_{BE} / X_S + X_{AB}$ ，此比值越大，DG 向故障线路提供的短路电流增量就越小；反之，它向故障线路提供的短路电流增量就越大。

DG 接入后对故障点提供的短路电流增量取决于其容量的大小及故障后其稳定运行的时间。就同一故障点而言，当系统 S 等效电抗一定时，DG 机组容量越大越不易失稳，容量越小越易失稳；对于相同容量的 DG 机组而言，故障点和 DG 接入母线为同一电压等级时较其和接入母线不为同一电压等级时更易失稳。

#### 2.2.2 DG 机组正向助增电流对原有距离保护的影响

(1) 距离保护 I 段瞬时动作，其整定阻抗一般按躲开本线路末端短路时的测量阻抗进行整定。距离保护同时反应于电压和电流量，当有 DG 助增作用时，继电器的测量电流增大，相应的测量电压也增大，因此，可以认为 DG 机组的接入对原有距离 I 段保护无影响。

(2) 图 1 中  $F_2$  点故障时，由于 DG 机组助增电流的影响，与无 DG 机组的情况相比，将使保护 1 处的测量阻抗增大，所以 DG 机组的接入只会使保护 1 距离 II 段的保护范围缩小，可能会影响其灵

敏度, 但不会失去选择性。DG 机组接入对原有距离 II 段保护的灵敏度有无影响, 视其助增电流的大小及稳定运行时间的长短而定。若 DG 机组失稳前向故障线路提供的短路电流增量小于 DG 机组接入前速断保护整定值的 10%, 则 DG 机组的接入对原有距离 II 段保护的灵敏度无影响; 如果 DG 机组失稳前向故障线路提供的短路电流增量大于其接入前速断保护整定值的 10%, 则 DG 机组的接入将可能影响原有距离 II 段保护的灵敏度, 此时为满足其灵敏度的要求, 应重新校验原有距离 II 段保护的定值。

DG 机组通过 110 kV 母线接入后, 其失稳前向故障线路提供的短路电流是否大于原整定值的 10% 可按式 (2) 加以判断:

$$\frac{1}{(X_{DG}'' + X_{T1} + X_{BE}) / (X_S + X_{AB})} - \frac{1}{(X_S + X_{AB})} \leq 0.1 \frac{1}{(X_S + X_{AB})} \quad (2)$$

化简可得:

$$(X_{DG}'' + X_{T1} + X_{BE}) / (X_S + X_{AB}) \geq 10 \quad (3)$$

(3) 因小容量的 DG 机组向距离保护 III 段提供的助增电流很小, 并且距离保护 III 段能够从动作时限上躲过 DG 机组正向助增电流对它的影响。因此, 可以认为分布式电源的接入对距离保护 III 段无影响。

### 2.2.3 DG 机组反向助增电流对原有距离保护的影响

距离保护可以在多电源的复杂网络中保证动作的选择性, 因此 DG 机组的反向助增电流对原有距离保护无影响。

### 2.3 避免 DG 接入对变电站距离保护影响的应对措施

当 DG 机组失稳前向故障线路提供的正向助增电流大于其接入前速断保护整定值的 10%, 则 DG 机组的接入将可能影响原有距离 II 段保护的灵敏度。此时为满足原有距离 II 段保护灵敏度要求, DG 机组投入运行时, 距离 II 段保护应采用重新校验后的保护定值。因此, 应实时检测 DG 机组是否投入运行: 若 DG 机组投入运行, 距离 II 段保护应采用重新校验后的保护定值; 若 DG 机组退出运行, 则距离 II 段保护应采用原有保护定值。

## 3 结论

本文主要研究了 DG 对所接入变电站的距离保护及重合闸的影响, 现将结论总结如下:

1) 系统电源进线段故障时, 若强行手动合闸将会引起非同期合闸问题, 若快速切除 DG 机组, 则 DG 的接入不会对变电站原有距离保护产生影响;

非系统电源进线段故障时, DG 机组和系统电源 S 仍然保持电气联系, 不会出现非同期合闸问题, 但此时 DG 向故障线路提供短路电流增量将可能对变电站原有距离保护产生影响。

2) 非系统电源进线段故障时, DG 机组接入对距离保护的影响:

(1) DG 机组的正向助增电流对距离保护 I 段无影响; 对距离保护 II 段而言, 只会缩小其保护范围, 可能降低其灵敏度, 但不会使其失去选择性; 对距离保护 III 段而言, 能够从动作时限上躲过对它的影响。

(2) DG 机组的反向助增电流对原有距离保护无影响。

## 参考文献

- [1] 梁振锋, 杨晓萍, 张娉. 分布式发电技术及其在中国的发展[J]. 西北水电, 2006, 1: 51-53.  
LIANG Zhen-feng, YANG Xiao-ping, ZHANG Pin. Distributed power generation technology and its development in China[J]. Northwest Water Power, 2006, 1: 51-53.
- [2] Davis M W, Distributed resource electric power system offer significant advantages over central station generation and T&G power system (Part II) [C]. // Proceeding of IEEE / PES Winter Meeting. New York (USA): 2002: 1034-1036.
- [3] 庞建业, 夏晓宾, 房牧. 分布式发电对配电网继电保护的影响[J]. 继电器, 2007, 35 (11): 5-8.  
PANG Jian-ye, XIA Xiao-bin, FANG Mu. Impact of distributed generation to relay protection of distribution system[J]. Relay, 2007, 35 (11): 5-8.
- [4] 王希舟, 陈鑫, 罗龙, 等. 分布式发电与配电网保护协调性研究[J]. 继电器, 2006, 34 (3): 15-19.  
WANG Xi-zhou, CHEN Xin, LUO Long, et al. Research on the coordination of distributed generation and distribution system protection[J]. Relay, 2006, 34 (3): 15-19.
- [5] 张超, 计建仁, 夏翔. 分布式发电对配电网馈线保护的影响[J]. 继电器, 2006, 34 (13): 9-12.  
ZHANG Chao, JI Jian-ren, XIA Xiang. Effect of Distributed generation on the feeder protection in distribution network[J]. Relay, 2006, 34 (13): 9-12.
- [6] 胡成志, 卢继平, 胡利华, 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, 29(8): 36-39.  
HU Cheng-zhi, LU Ji-ping, HU Li-hua, et al. Analysis of the impact of DG on the protection of distribution system[J]. Journal of Chongqing University, 2006, 29 (8): 36-39.

(下转第 224 页 continued on page 224)

噪声能力变弱。因此应将接地线尽量加粗，使它能通过三倍于印刷线路板的允许电流。

④ 将接地线构成闭环路。在设计只由数字电路组成的地线系统时，将接地线作成闭环路可以明显地提高 PCB 抗噪声能力。因为当印刷线路板上继承电路元件比较多时，耗电量比较大，受接地线粗细的限制，会在地结上产生较大的电位差，引起抗噪声能力下降，若将接地构成环路，则能减小电位差值，提高 PCB 的抗噪声能力。

⑤ 当采用多层线路板设计时，可将其中一层作为接地层，这样可以减少接地阻抗，同时又起到屏蔽作用。设计中常在印刷板周边布一圈的地线，也是起同样的作用。

⑥ 在多层板的设计中，应把电源面和接地面尽可能近地放置在相邻层中，因为电源面和接地面间的绝缘薄层可以产生 PCB 电容。在单层板中，电源线和地线的平行布放也存在这种电容效应。PCB 电容的一个优点是它具有非常高的频率响应和均匀地分布在面或整条线上的低串联电感，它等效于一个均匀分布在板上的去耦电容。

⑦ 布放高速电路和元件时应使其接近地面，而低速电路和元件应使其接近电源面。

⑧ 当电路需要不只一个电源供给时，应采用接地将每个电源分离开。

### 5 结束语

抗电磁干扰问题是很复杂的，在硬件系统设计中考虑问题稍有不慎，就有可能给微机保护系统留下先天性的故障隐患。随着继电保护装置的更新换

代，电磁兼容问题变得尤为突出，因此结合工程实践对微机继电保护装置的抗电磁干扰性能展开研究，针对可能产生的电磁干扰提出抑制相应的抗电磁干扰措施是有工程参考意义的。

### 参考文献

[1] 黄益庄. 变电站智能电子设备的电磁兼容技术[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (15): 6-9.  
HUANG Yi-zhuang. EMC technology for IED in substations[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (15): 6-9.

[2] 黄海, 张辉, 华栋. 变电站内的电磁干扰及电磁兼容问题[J]. 电力建设, 2002 (2): 32-33.  
HUANG Hai, ZHANG Hui, HUA Dong. Problems of electromagnetic interference and compatibility within substations[J]. Electric Power Construction, 2002 (2): 32-33.

[3] 杨吟梅. 变电站内电磁兼容问题——有关的基本概念[J]. 电网技术, 1997, 21 (2): 61-69.  
YANG Yin-mei. Problems of compatibility within substations about basic concepts[J]. Power System Technology, 1997, 21 (2): 61-69.

[4] Designing for electromagnetic compatibility (EMC) with HCMOS microcontrollers[M]. Motorola Inc, 2000.

[5] 顾海洲, 马双武. PCB电磁兼容技术——设计实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

收稿日期: 2009-10-30; 修回日期: 2009-12-24

#### 作者简介:

黄 蕙 (1962-), 女, 副教授, 主要从事电气自动化系统控制方面的教学与变电站综合自动化方面的科研工作。

E-mail: hh19620124@126.com

(上接第 219 页 continued from page 219)

[7] 高飞翔, 蔡金锭. 分布式发电对配电网电流保护的影响分析[J]. 电力科学与技术学报, 2008, 23 (3): 58-61.  
GAO Fei-ling, CAI Jin-ding. Analysis for distributed generation impacts on current protection in power distribution networks[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2008, 23 (3): 58-61.

#### 作者简介:

赵月灵 (1983-), 女, 硕士, 主要从事电力系统继电保护的工作; E-mail: zhaoyue06@163.com

李华忠 (1983-), 男, 硕士, 主要从事电力系统继电保护的工作;

孙 鸣 (1957-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为电力系统继电保护及调度自动化和分布式发电技术。

收稿日期: 2009-11-12; 修回日期: 2009-12-02