



配电网 DG 对反时限过电流保护的影响

摘要

针对分布式电源(DG)接入配电网后可能引起保护误动作的问题,分析了分布式电源接入配电网后对短路电流的影响,推导了各种情况下短路电流的计算公式,分析了反时限过电流保护误动作的可能性,对一个10 kV配电网的反时限过电流保护的启动电流和时间特性系数进行了整定计算,仿真分析了短路电流和动作时限的变化及反时限过电流保护误动作的可能性。结果表明,仅当DG所在线路上DG上游发生故障时,处于故障点和DG之间的保护发生误动作的可能性较大。

关键词

反时限过电流保护;分布式电源(DG);动作时限

中图分类号 TM73

文献标志码 A

收稿日期 2015-12-08

资助项目 国家自然科学基金(51207072)

作者简介

刘玉娟,女,博士生,讲师,主要研究方向为分布式电源和配电网继电保护。

yjliu_china@163.com

1 南京信息工程大学 江苏省气象能源利用与控制工程技术研究中心,南京,210044

2 河海大学 可再生能源发电技术教育部工程研究中心,南京,210098

0 引言

近年来,分布式电源(Distributed Generation, DG)在配电网中得到了广泛应用,包括风力发电、光伏发电、燃料电池、储能技术等越来越多地接入配电网并网运行^[1-3]。这将对配电网的潮流分布产生影响,发生短路故障时,DG也将提供部分短路电流,可能会造成配电网的继电保护拒动或误动。

反时限过电流保护在一定程度上具有三段式电流保护的功能,在配电网中有广泛的应用^[4]。文献[5]对DG接入单馈线配电网时反时限过电流保护动作时限的变化进行了分析;文献[6]引入低电压加速因子,改进了配电网反时限过电流保护的整定方法,借助通信通道改善了保护间的配合特性;文献[7]讨论了三段式电流保护对配电网允许接入DG的最大容量的影响,并提出了考虑DG短路电流衰减特性的整定计算方法,提高了电流II段的灵敏性。本文将结合一个10 kV配电网,推导各种情况下短路电流和反时限过电流保护的動作时限的变化,并仿真验证了各种情况下继电保护误动作的可能性。

1 反时限过电流保护的工作原理

反时限过电流保护采用反时限过电流继电器构成,其动作时间与流过电流的大小有关,电流较大时,动作时限短,电流较小时,动作时限长。常用的反时限过电流继电器的动作特性方程为

$$t = 0.14T_d / [(I/I_{K.act})^{0.02} - 1], \quad (1)$$

式中: $I_{K.act}$ 为继电器的启动电流, I 为流入继电器的电流, T_d 为时间整定系数, t 为动作时间。当流过的电流小于启动电流 $I_{K.act}$ 时,继电器不启动,当电流大于 $I_{K.act}$ 时,继电器启动。改变时间系数 T_d 可以得到不同的动作时限曲线, T_d 值越小,动作时限越短,反之,动作时限越长。启动电流的计算方法与定时限过电流保护的计算方法相同,即:

$$I_{K.act} = K_{rel}K_{ss}I_{L,max}/K_{re}, \quad (2)$$

式中: K_{rel} 为可靠系数,一般取1.15~1.25; K_{ss} 为自启动系数,数值大于1; K_{re} 为电流继电器的返回系数,一般取0.85; $I_{L,max}$ 为线路上的最大负荷电流。

2 配电网 DG 接入时对反时限过电流保护的影响

如图1所示的辐射形配电网,G为系统电源,系统阻抗为 Z_s ,保护

1、2、3、4、5 为相应的配电线路安装的保护,配置为反时限过电流保护。

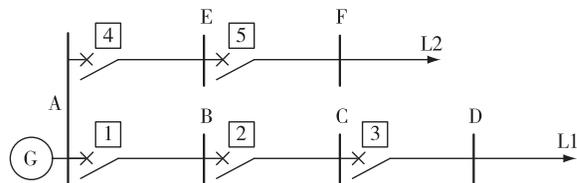


图 1 配电网接线

Fig. 1 Distribution network system

2.1 DG 相邻线路发生故障

假设 DG 接于线路 L1 上,首先分析 DG 所在线路的相邻线路(即 L2 线路)上发生故障的情况。

2.1.1 保护 4 和 5 的变化

为分析保护 4 和 5 的配合关系,假设故障发生在 L2 线路上 E 母线之后.无 DG 接入时,流过保护 4 和 5 的短路电流为

$$I_{f,4} = I_{f,5} = \frac{U_p}{Z_s + z_1 l} \quad (3)$$

在线路 L1 上接入 DG 时,DG 接入点越靠近 A 母线,对保护 4 和 5 的短路电流影响越大,因此,假设 DG 接于 A 母线,其等值阻抗记作 Z_g ,则流过保护 4 和 5 的短路电流为

$$I_{f,4} = I_{f,5} = \frac{U_p}{Z_s / Z_g + z_1 l} \quad (4)$$

可见,DG 接入后,流过保护 4 和 5 的短路电流都增大,动作速度变快,理论上不会改变两者的配合关系.即发生短路故障时,保护 4 和 5 都启动,但保护 5 的动作时限小于保护 4 的动作时限,保护 5 动作切除故障后,短路电流消失,保护 4 返回,不会误动.但是,若保护 4 和保护 5 都变得过于灵敏,两者的时限差很小,保护 5 动作后,由于继电器的固有动作时限的影响,保护 4 可能来不及返回,将会发生误动作.但在实际中,一般 DG 容量比系统容量小得多,因此对保护 4 和 5 的助增作用有限,导致误动作的可能性非常小。

2.1.2 保护 1 的变化

无 DG 接入时,保护 1 上无短路电流流过,保护 1 不动作.假设 DG 由母线 B 接入,保护 1 上将流过反向短路电流:

$$I_{f,1} = I_{f,4} \times \frac{Z_s}{Z_s + Z_g + Z_{AB}} \quad (5)$$

从式(5)可知,大多数情况下, $Z_s \ll Z_g$,因此,

$$I_{f,1} \ll I_{f,4}, \quad (6)$$

保护 1 不会误动作。

但是,当 DG 接入位置离 A 母线非常近(即线路 AB 非常短),且 DG 容量与系统容量相当时,

$$I_{f,1} \approx \frac{1}{2} I_{f,4}, \quad (7)$$

保护 1 可能会误动。

2.2 DG 上游发生故障

假设图 1 所示的配电网仅在 C 母线处接入了 DG,且在 DG 的上游发生故障,分析对反时限过电流保护的影响。

当故障发生在线路 BC 上时,线路末端将流过由 DG 提供的反向短路电流,但由于线路末端不安装保护,故不会引起保护误动作.当故障发生在线路 AB 上,则线路 BC 将流过反向短路电流,设故障点与 A 母线的距离为 l ,保护 1 流过的短路电流为 $I_{f,1}$,保护 2 流过的反向短路电流如 $I_{f,2}$,若保护 2 动作时限小于保护 1,保护 2 将误动。

$$I_{f,1} = \frac{U_p}{Z_s + z_1 l}, \quad (8)$$

$$I_{f,2} = \frac{U_p}{Z_g + z_1 (L_{AC} - l)}. \quad (9)$$

因此,故障点越靠近线路末端(即 B 母线), $I_{f,2}$ 越大,动作速度越快,而 $I_{f,1}$ 则相反,即故障点距离 DG 越近,保护 2 更容易误动。

2.3 DG 下游发生故障

线路 CD 发生故障时,若无 DG 接入,流过保护 1、2、3 的短路电流为

$$I_{f,1} = I_{f,2} = I_{f,3} = \frac{U_p}{Z_s + z_1 l} \quad (10)$$

在 C 母线接入 DG 时,流过保护 1、2、3 的短路电流为

$$I_{f,3} = \frac{U_p}{(Z_s + Z_{AC}) / Z_g + z_1 (l - L_{AC})}, \quad (11)$$

$$I_{f,1} = I_{f,2} = I_{f,3} \times \frac{Z_s + Z_{AC}}{Z_s + Z_g + Z_{AC}}. \quad (12)$$

可见,当 DG 所在线路 DG 的下游(即线路 CD)发生故障时,由于 DG 的助增作用,流过保护 3 的短路电流将增大,动作速度变快,而流过保护 1 和 2 的电流将减小,动作速度变慢.这样,保护 1 和 2 作为远后备保护,动作时限将变长,灵敏性变差,但是不会影响几个保护之间的配合关系,可靠性不受影响。

3 算例分析

如图 1 所示的 10 kV 配电网接线, G 为系统电源, 系统阻抗为 $Z_s = j0.5 \Omega$, 线路单位长度阻抗为 $z_1 = 0.210 + j0.287 \Omega/\text{km}$, 线路长度为 $L_{AB} = L_{BC} = L_{CD} = L_{AE} = L_{EF} = 10 \text{ km}$. 线路上配置了反时限过电流保护 1、2、3、4、5, 正常运行时最大负荷电流分别为 200、150、100、230 和 180 A.

计算启动电流, 并由此设置时间整定系数如表 1 所示.

表 1 启动电流和时间整定系数

Table 1 Starting current and time setting characteristic

	启动电流/A	时间整定系数
保护 1	286.307 5	0.196 5
保护 2	269.964 5	0.081 5
保护 3	208.594 6	0.007 5
保护 4	397.921 1	0.101 3
保护 5	375.242 8	0.007 8

此时, 保护 1、2、3 的动作时限如图 2a 所示, 保护 4、5 的动作时限如图 2b 所示, 可知其动作时限满足相互配合关系.

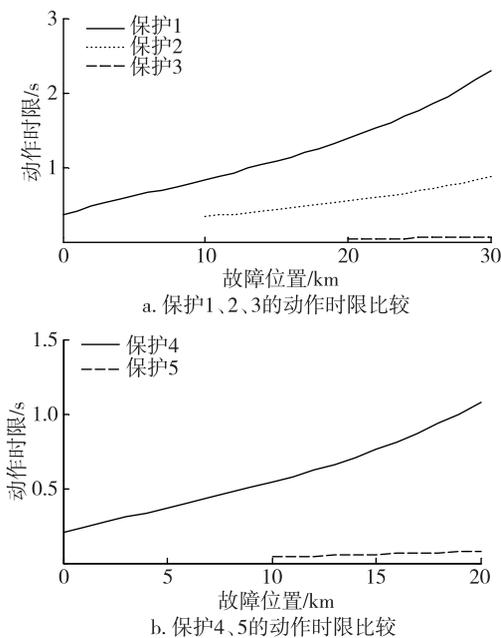


图 2 反时限过电流保护动作时限的比较

Fig. 2 Action time comparison between the ITOC protections

根据上文分析的情况, 针对图 1 所示配电网分析各保护发生误动作的可能性.

1) DG 接于 A 母线, L2 发生故障, 保护 4 的动

作情况. DG 接于 A 母线, 等效阻抗为 $1.6 + j1.2 \Omega$, 线路 L2 上发生短路时, 故障点距 A 母线的距离和短路电流的关系如图 3 所示, 图中实线和虚线分别为无 DG 接入和 A 母线上接入 DG 时的故障位置和短路电流的关系.

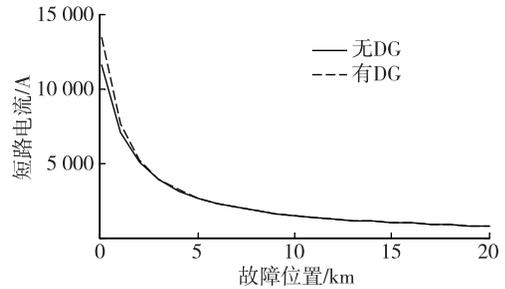


图 3 短路电流和故障位置的关系

Fig. 3 Relationship between short-circuit current and fault location

由图 3 可以看出, 只有故障点距母线 A 非常近时, 短路电流比无 DG 时明显增大, 故障点较远时, 短路电流的大小主要由线路阻抗决定, 是否接入 DG 影响不大, 故对保护 5 影响很小.

此时保护 4 的动作时限如图 4 所示. 由于故障位置较远时, 短路电流相差不大, 动作时限也相差不大, 因此, 图 4 中仅显示了故障位置为 0~3 km 的动作时限.

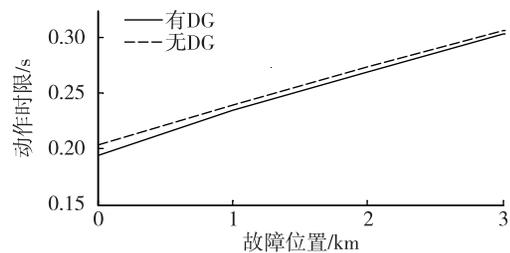


图 4 保护 4 的动作时限

Fig. 4 Action time for protection 4

由图 4 可以看出, DG 接入后, 保护 4 的动作时限变短了, 但是, 由于反时限过电流保护的動作时限由式(1)确定, 电流的变化对动作时限的影响并不大.

2) DG 接于 B 母线, L2 发生故障, 保护 1 和 4 的动作情况. 根据 2.1.2 的分析可知, 当 DG 接于 B 母线, L2 发生故障时, 通常 $I_{r,1} \ll I_{r,4}$, 但是当线路 AB 非常短, 且 DG 容量与系统容量相当时, $I_{r,1} \approx \frac{1}{2} I_{r,4}$. 线路 AB 越短, DG 容量越大时, 流过保护 1 的电流越

接近于流过保护4的电流的一半。

因此,此处假设 DG 容量与系统容量相当,线路 AB 的长度为 1 km,流过保护 1 和保护 4 的短路电流如图 5 所示。

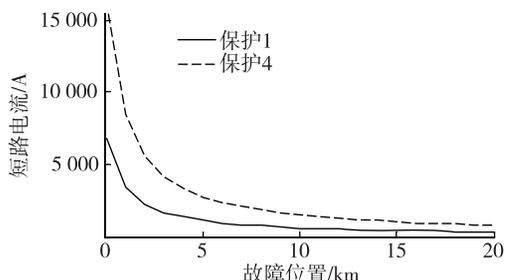


图 5 短路电流和故障位置的关系

Fig. 5 Relationship between short-circuit current and fault location

此时保护 1 和保护 4 的动作时限如图 6 所示.可见故障位置越近,保护 1 和保护 4 的动作时限相差越小,当故障发生在线路 L2 首段时,从图 6 可以看出,保护 1 的动作时限比保护 4 的动作时间长约 0.1 s.因此,保护 4 动作切除故障后,保护 1 能够可靠返回,不会发生误动作。

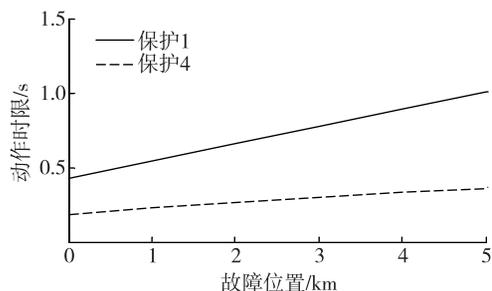


图 6 保护 1 和保护 4 的动作时限比较

Fig. 6 Comparison of the action time between protection 1 and 4

但是,若线路 AB 阻抗更小,或者 DG 系统容量更大时,保护 1 的动作时限可能会更短,有可能来不及返回发生误动作,甚至可能会比保护 4 动作时限更短而误动作。

3) DG 接于 C 母线,L1 线路上 DG 上游发生故障,保护 1 和 2 的动作情况.当 DG 接于 C 母线,L1 线路上 DG 上游(即线路 AB)发生故障,流过保护 1 和 2 的短路电流如图 7 所示.由图 7 可以看出,故障点靠近线路末端,流过保护 1 的短路电流越小,流过保护 2 的反向短路电流越大,保护 2 误动作的可能性越大。

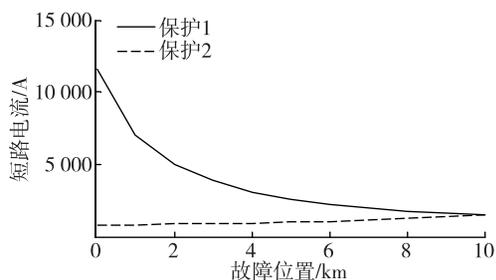


图 7 短路电流和故障位置的关系

Fig. 7 Relationship between short-circuit current and fault location

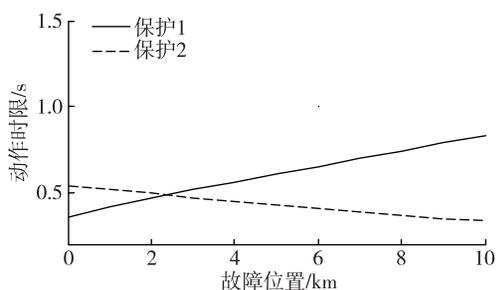


图 8 保护 1 和保护 2 的动作时限比较

Fig. 8 Comparison of the action time between protection 1 and 2

图 8 所示为保护 1 和保护 2 的动作时限和故障位置的关系.由图 8 可以看出,故障位置距 A 母线的距离超过 2.5 km 时,保护 2 的动作时限比保护 1 的动作时限短,则保护 2 误动作.这主要是由于保护 2 的启动电流较小,因此,即使流过保护 2 的短路电流小于流过保护 1 的短路电流,保护 2 的动作时限仍然小于保护 1 的动作时限。

根据式(8)、(9)可知,由于线路阻抗较大,短路电流的大小受系统电源阻抗和 DG 阻抗的影响不大.因此保护 2 是否误动作,与 DG 容量关系不大。

4 结论

本文针对配电网 DG 对反时限过电流保护的影响进行了分析.结果表明:DG 接入配电网后,当故障发生在 DG 所在线路的相邻线路时,保护发生误动作的可能性不大;当故障发生在 DG 所在线路上,且在 DG 上游时,故障与 DG 之间的反时限过电流保护可能会误动作,且误动作的可能性较大,并且 DG 接入容量的大小对此没有影响.本文仅分析了配电网中接入一个 DG 的情况,当有多个 DG 接入时,情况更为复杂,将在后续研究中进行讨论。

参考文献

References

- [1] 李鹏, 窦鹏冲, 李雨薇, 等. 微电网技术在主动配电网中的应用[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(4): 8-16
LI Peng, DOU Pengchong, LI Yuwei, et al. Application of microgrid technology in active distribution network [J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(4): 8-16
- [2] 冯希科, 邵能灵, 宋凯. DG 容量对配电网电流保护的影响及对策研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(22): 156-160
FENG Xike, TAI Nengling, SONG Kai. Research on the impact of DG capacity on the distribution network current protection and countermeasure [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(22): 156-160
- [3] 陶顺, 郭静, 肖湘宁. 基于电流保护原理的 DG 准入容量与并网位置分析[J]. 电网技术, 2012, 36(1): 156-165
TAO Shun, GUO Jing, XIAO Xiangning. Analysis on allowed penetration level of distributed generation and its grid-connected position based on principles of current protection[J]. Power System Technology, 2012, 36(1): 156-165
- [4] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 24-30
ZHANG Baohui, YIN Xianggen. Relay protection in electric power system[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005: 24-30
- [5] 李季英, 刘玉. 分布式电源接入配电网对反时限过电流保护的影响[J]. 广东电力, 2014, 27(12): 30-34
LI Jiying, LIU Yu. Impact on inverse-time over-current protection by distributed power source connecting to power distribution network [J]. Guangdong Electric Power, 2014, 27(12): 30-34
- [6] 郭煜华, 姜军, 范春菊, 等. 改进的配电网反时限过电流保护[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(10): 45-50
GUO Yuhua, JIANG Jun, FAN Chunju, et al. Improved inverse-time over-current protection for distribution network [J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(10): 45-50
- [7] 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
WANG Jianghai, TAI Nengling, SONG Kai, et al. Penetration level permission of for DG in distributed network considering relay protection [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(22): 37-43

Distributed generation impact on inverse-time over-current protection

LIU Yujuan^{1,2} ZHANG Wei^{1,2} YU Li¹

1 Jiangsu Engineering Research Center on Meteorological Energy Using and Control,

Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Research Center for Renewable Energy Generation Engineering of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098

Abstract The integration of distributed generation(DG) into the distribution network may incur the false protection action by inverse-time over-current protection. The DG impact on short-circuit current in the distribution system is analyzed, and the formula of short-circuit current under various conditions are deduced, then the possibility of false action by inverse-time over-current protection is analyzed. A 10 kV distribution system with DG is used to calculate the starting current and time characteristics of inverse-time over-current protection, and simulate the short-circuit current and the action time, as well as the false action possibility of inverse-time over-current protection. The results show that the possibility of the false action is high with location between the fault point and the DG when the short-circuit occur in the DG's upstream.

Key words inverse-time over-current protection; distributed generation(DG); action time