

风电 T 接双电源系统对距离保护的影响分析

陈伟伟¹, 李凤婷¹, 张玉^{1,2}, 樊艳芳¹

(1. 新疆大学可再生能源发电与并网技术教育部工程研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830047;

2. 国家电网新疆送变电工程公司, 新疆 乌鲁木齐 830047)

摘要: 风电并网影响接入系统距离保护测量阻抗及保护动作特性, 风电 T 型接入对保护的影响有其特殊性。推导风电 T 接双电源系统距离保护测量阻抗公式, 研究故障点位置、风电场运行方式及过渡电阻对风电 T 接线路距离保护测量阻抗的影响, 并讨论上述因素对本段距离保护和下段距离保护的影响。以新疆某地区风电 T 接系统为算例, 仿真验证了理论分析的正确性。研究成果可为风电 T 接电网的继电保护配置和整定提供依据, 具有一定的实际应用价值和意义。

关键词: 风电 T 接; 距离保护; 影响因素; 保护动作特性

Impact of wind farm on distance protection for T-connected to the dual power system

CHEN Weiwei¹, LI Fengting¹, ZHANG Yu^{1,2}, FAN Yanfang¹

(1. Engineering Research Center of Education Ministry for Renewable Energy Power Generation and Grid Technology, Xinjiang University, Urumqi 830047, China; 2. Xinjiang Power Transmission and Substation Engineering Company, Urumqi 830047, China)

Abstract: Wind power integration on power system influences the measured impedance as well as operation characteristics of distance protection. The impacts has particularity for wind farm connecting to the grid with T-type. The distance protection measure impedance formula is deduced for wind farm connected to dual power system with T-type. The impacts of fault location, operation mode of wind farm and transition resistance on measured impedance are studied, and the influence of these factors on the distance protection and next distance protection are discussed. Taking a wind farm connected to the grid with T-type in Xinjiang as an example, the simulation model is established, the correctness of theoretical analysis are verified by simulation. The study provides a theoretical basis for relay setting and configuration, and has theoretical significance and practical value.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51267019).

Key words: wind power T-type connection; distance protection; influencing factors; protection operation characteristics

中图分类号: TM614 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)07-0108-07

0 引言

随着系统中风电比例的增加, 风电对保护的影响越来越明显^[1-9]。有些偏远地区的风电场受附近电网网架结构、变电站数量、出线间隔等因素制约, 选择 T 型接入电网, 导致保护配置更复杂, 有必要结合风电特点研究 T 接线路的保护配置。

基金项目: 国家自然科学基金项目(51267019); 新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(2012211A002); 新疆维吾尔自治区高校科研重点项目(XJEDU2011105)

目前针对常规电源 T 接高压输电线路及分布式电源 T 型接入中低压配电网线路对距离保护的影响研究较多。文献[10]针对三端高压输电线路提出了一种故障测距方法。文献[11]基于分布参数线路模型, 提出利用三端电压电流工频量对输电线路 T 接进行故障分支识别和短路点定位。文献[12]提出基于 π 型等效线路模型在线计算线路正序参数, 利用 T 型线路三端正序电压和电流的突变量进行故障定位的自适应算法。文献[13-17]对过渡电阻对距离保护动作性能的影响进行相关探讨和分析, 并提出相应的解决措施。这些研究主要集中在故障测距、定位

及算法方面, 结合风电特点, 针对风电场 T 型接入高压电网对距离保护的影响研究较少。

本文理论分析了风电 T 型接入线路故障点、风电场运行方式及过渡电阻对保护测量阻抗的影响。重点研究了上述因素对本段距离保护和下段距离保护动作特性的影响。以新疆某地区风电场 T 接系统为例, 结合实际电网参数, 仿真验证了风电 T 接对系统距离保护的影响。

1 风电 T 接对系统距离保护的影响

1.1 风电 T 接对本段距离保护的影响

考虑风电的出力波动特性, 将风电场等效为可变电流量, 讨论故障位置在 T 接点前(k1 处) 和 T 接点后(k2 处) 对本段距离保护的影响。风电 T 接系统示意图如图 1 所示。

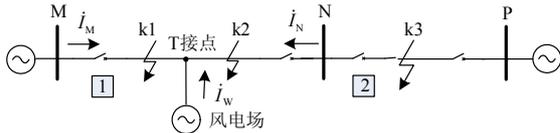


图 1 风电 T 接系统示意图

Fig. 1 Sketch of wind power access to the system with T-type

(1) 故障点位置在 k1 处(图 2)

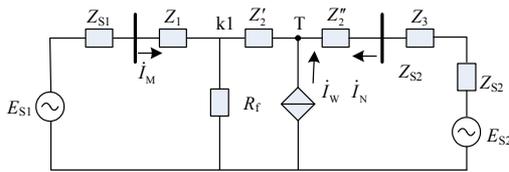


图 2 k1 处故障时系统等值阻抗网络

Fig. 2 Network of equivalent impedance when fault occurs in k1 point

风电 T 接前 M 处测量阻抗为

$$\dot{Z}_M = Z_1 + R_f + \frac{\dot{I}_N}{\dot{I}_M} R_f \quad (1)$$

风电 T 接后 M 处测量阻抗为

$$Z_M' = Z_1 + R_f + \frac{(\dot{I}_N' + \dot{I}_w) R_f}{\dot{I}_M'} \quad (2)$$

测量阻抗变化值为

$$\Delta Z = Z_M' - Z_M = \frac{(\dot{I}_w + \dot{I}_N' - \dot{I}_N) R_f}{\dot{I}_M} \quad (3)$$

其中: Z_1 表示 M 到 k1 点的阻抗; R_f 为过渡电阻; \dot{I}_w 表示发生故障时风电场提供的故障电流, 风电 T 接

前后 k1 点故障时 M、N 侧故障电流为 \dot{I}_M 、 \dot{I}_N 、 \dot{I}_M' 、 \dot{I}_N' ($\dot{I}_M = \dot{I}_M'$, $\dot{I}_N > \dot{I}_N'$)。

金属性故障时 ΔZ 为零, 风电 T 型接入对保护 1 测量阻抗没有影响。非金属性故障时, ΔZ 的大小由 \dot{I}_w 、 R_f 决定, 其中 \dot{I}_w 主要受风电场运行方式的影响。当 $\dot{I}_w + \dot{I}_N' - \dot{I}_N > 0$ 时, ΔZ 为正值, 保护 1 测量阻抗变大, 动作范围变小, 严重时可能导致保护 1 拒动; 当 $\dot{I}_w + \dot{I}_N' - \dot{I}_N < 0$ 时, ΔZ 为负值, 保护 1 处测量阻抗变小, 使保护 1 动作范围变大, 严重时可能导致保护 1 误动。

(2) 故障点位置在 k2 处(图 3)。

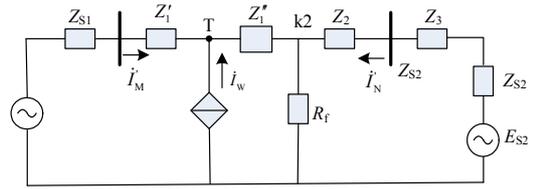


图 3 k2 处故障时系统等值阻抗网络

Fig. 3 Network of equivalent impedance when fault occurs in k2 point

风电 T 接前 M 处测量阻抗为

$$Z_M = Z_1 + R_f + \frac{\dot{I}_N}{\dot{I}_M} R_f \quad (4)$$

风电 T 接后 M 处测量阻抗为

$$Z_M' = Z_1 + R_f + \frac{\dot{I}_N' R_f}{\dot{I}_M'} + \frac{\dot{I}_w (R_f + Z_1'')}{\dot{I}_M'} \quad (5)$$

测量阻抗变化值为

$$\Delta Z = Z_M' - Z_M = \frac{\dot{I}_w (R_f + Z_1'')}{\dot{I}_M'} + \dot{I}_N R_f \left(\frac{1}{\dot{I}_M'} - \frac{1}{\dot{I}_M} \right) \quad (6)$$

其中: Z_1'' 表示 T 点到 k2 点阻抗, 风电 T 接前后 k2 点故障时 M、N 侧故障电流为 \dot{I}_M 、 \dot{I}_N 、 \dot{I}_M' 、 \dot{I}_N' ($\dot{I}_M > \dot{I}_M'$, $\dot{I}_N = \dot{I}_N'$)。

分析可知, 当故障点发生在 T 接点后时, 无论是金属性故障或非金属性故障, ΔZ 恒大于 0, 风电接入都会使保护 1 测量阻抗变大, 动作范围变小, 可能导致保护 1 拒动。 ΔZ 主要受 \dot{I}_w 、 R_f 和 Z_1'' 的影响, \dot{I}_w 、 R_f 、 Z_1'' 越大, 对保护 1 处距离保护影响越大, 严重时可能导致保护 1 失去选择性。 \dot{I}_w 主要受风电场运行方式的影响^[18]。

1.2 风电 T 接对下段距离保护的影响

风电 T 接前 N 点的测量阻抗为

$$Z_N = Z_3' + R_f + \frac{R_f \dot{I}_Q}{\dot{I}_M} \quad (7)$$

风电 T 接后 N 点的测量阻抗为

$$Z_N' = Z_3' + R_f + \frac{R_f \dot{I}_Q'}{\dot{I}_M + \dot{I}_W} \quad (8)$$

测量阻抗变化值为

$$\Delta Z = Z_N' - Z_N = \dot{I}_Q R_f \left(\frac{1}{\dot{I}_M + \dot{I}_W} - \frac{1}{\dot{I}_M} \right) \quad (9)$$

其中: Z_3' 为 N 点到故障点阻抗; R_f 为过渡电阻; \dot{I}_W 表示发生故障时风电场提供的故障电流, 风电 T 接前后 k3 点故障时 M、Q 侧故障电流为 \dot{I}_M 、 \dot{I}_Q 、 \dot{I}_M' 、 \dot{I}_Q' ($\dot{I}_M + \dot{I}_W > \dot{I}_M$, $\dot{I}_Q = \dot{I}_Q'$)。

如图4所示, 风电 T 接后 k3 点故障时, 金属性故障时风电接入对保护2动作特性没有影响; 非金属性故障时, ΔZ 的大小主要受 \dot{I}_W 、 R_f 的共同影响, 受 R_f 影响较大(相对于 \dot{I}_W), 保护2的测量阻抗比风电 T 接前的小。当 R_f 的值较小时, \dot{I}_W 的变化对保护处测量阻抗有一定影响, 但不会影响保护动作的准确性; 当 R_f 的值较大时, 随着 \dot{I}_W 的增大, 保护2的灵敏度变大, 保护范围变大, 严重时可能导致保护2误动。

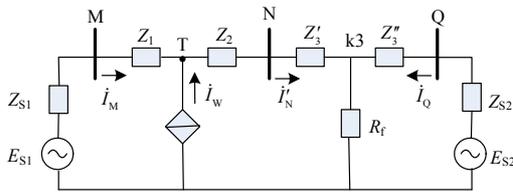


图 4 k3 处故障时系统等值阻抗网络
Fig. 4 Network of equivalent impedance when fault occurs in k3 point

2 含风电 T 接系统建模

2.1 风电 T 接系统电网概况

本文以含风电场 W 的新疆某地区电网为算例, 研究风电 T 接对距离保护的影响。电网结构如图 5 所示。风电场 W 以 110 kV 电压 T 接于 M-N 线。

2.2 风电 T 接系统建模

结合新疆某电网实际情况, 基于 PSCAD 软件

搭建简化仿真模型(见图 6)。相关参数: 线路 MN 长 73 km, 线路 NP 长 52 km; 风电场容量 49.5 MW, 由 66 台 750 kW 绕线式异步风电机组组成, 每条集电电路上有 8 台风机, 风电机组参数见表 1。W 风电场 T 接在 M-N 线路上, 线路电压等级 110 kV, 风电场 T 接线路长 1 km。

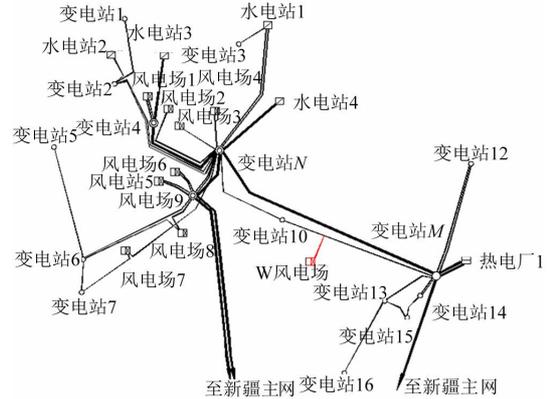


图 5 风电 T 接的新疆某地区电网示意图

Fig. 5 Sketch of Xinjiang power system where wind power access to the system with T-type

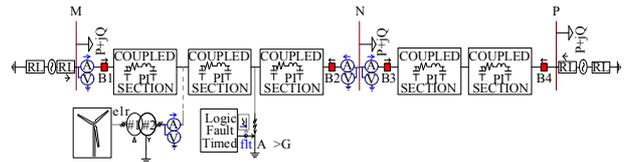


图 6 风电 T 接系统模型示意图

Fig. 6 Simulation model of wind power access to the system with T-type

表 1 异步风电机组参数

Table 1 Parameters of asynchronous wind turbine

序号	参数	数值	序号	参数	数值
1	额定容量	0.75 MW	5	转子电阻	0.007 p.u.
2	额定电压	690 V	6	定子电抗	0.106 p.u.
3	额定频率	50 Hz	7	转子电抗	0.121 6 p.u.
4	定子电阻	0.005 3 p.u.	8	互感电抗	4.020 9 p.u.

3 风电 T 接对距离保护影响的仿真分析

3.1 故障位置的变化对距离保护的影响

3.1.1 故障位置在 T 接点前

风电 T 接在 MN 线路, 全长 $L=73$ km, 过渡电阻保持不变(0.2Ω), 在 2 s 时发生单相接地故障, 故障时间持续 1.5 s, 风电场投运 66 台风电机组, 运行风速 9 m/s, 故障点位置在 T 接点前的距离阻抗圆仿真结果如图 7 所示, 保护动作特性见表 2。图中 R_a 表示单相接地故障距离保护 A 相测量阻抗。仿真结果表明: 风电 T 接双电源系统, 故障点

位置的变化影响距离保护的動作特性, 可能导致距离保护误动或拒动。算例中, 当风电场 T 接在 MN 线路 70%L 处时, 故障点位置超过 50%L 处时, 保护拒动; 当 T 接点位置为 90%L 时, 故障点位置超过 85%L 时, 保护误动。

表 2 故障位置在 T 接点前的保护 1 動作特性

Table 2 Characteristics of protection 1 when fault occurs in the upper of T point

类型	T 接点位置	故障点位置	保护動作特性
类型 1	70%L	45%L	正确動作
类型 2	70%L	50%L	拒动
类型 3	90%L	85%L	误动

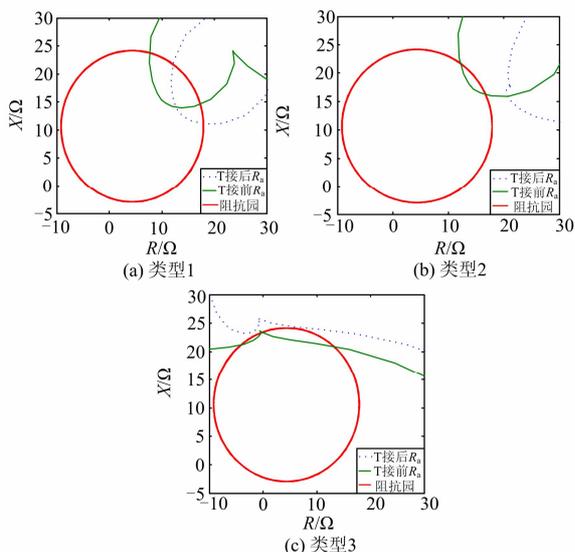


图 7 故障位置在 T 接点前的距离阻抗圆

Fig. 7 Impedance circle characteristics when fault occurs in the upper of T point

3.1.2 故障位置在 T 接点后

假设过渡电阻不变, 风电场运行方式不变, 风电场 T 接至 MN 线路 50%处。故障点位置分别取 MN 线路全长的 55%、65%、70%。故障点位置在 T 接点后的距离阻抗圆仿真结果如图 8 所示, 保护動作特性见表 3。

表 3 故障位置在 T 接点后的保护 1 動作特性

Table 3 Characteristics of protection 1 when fault occurs in the downstream of T point

类型	故障点位置	保护動作特性
故障点位置在 T 接点后, 过渡电阻值不变, 风电场运行方式不变	55%L	正确動作
	65%L	正确動作(临界)
	70%L	拒动

分析可知故障发生在 T 接点之后, 当风电场运行方式不变、过渡电阻不变时, 测量阻抗随着故障点与 T 接点之间的距离增大而增大。算例中, 当故

障点位置超过 MN 线路全长的 65%, 保护拒动。风电场 T 接后系统距离保护的保護范围由保護线路全长的 80%变为 65%, 保護范围变小。

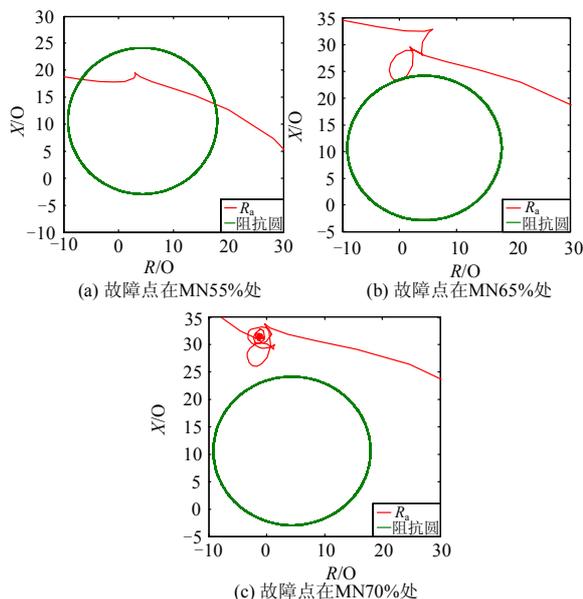


图 8 故障位置在 T 接点后的距离阻抗圆

Fig. 8 Impedance circle characteristics when fault occurs in the downstream of T point

3.2 过渡电阻值的变化对距离保护的影响

风电场运行方式不变, 在 MN 线路的 55%处发生单相接地故障, 分别取过渡电阻为 0, 2, 4, 8, 10 Ω, 仿真分析过渡电阻的变化对距离保护動作特性的影响。仿真结果如图 9 所示, 保护動作特性见表 4。

表 4 不同过渡电阻下的保护 1 動作特性

Table 4 Characteristics of protection 1 under different operation modes

类型	过渡电阻值/Ω	保护動作特性
过渡电阻值变化, 故障点位置不变, 风电场运行方式不变	0	正确動作
	2	正确動作
	4	正确動作
	8	正确動作
	10	拒动

由图 9 仿真结果分析可知, 当故障点和风电场运行方式不变时, 随着故障点处过渡电阻的增加, 测量阻抗增大, 当过渡电阻增大到一定值时, 造成保护 1 处距离保护拒动。

3.3 风电运行方式的变化对距离保护的影响

3.3.1 对本段距离保护的影响

考虑到风电出力、风电投切机组数目及控制策略等因素造成风电场运行方式的多变, 以 750 kW

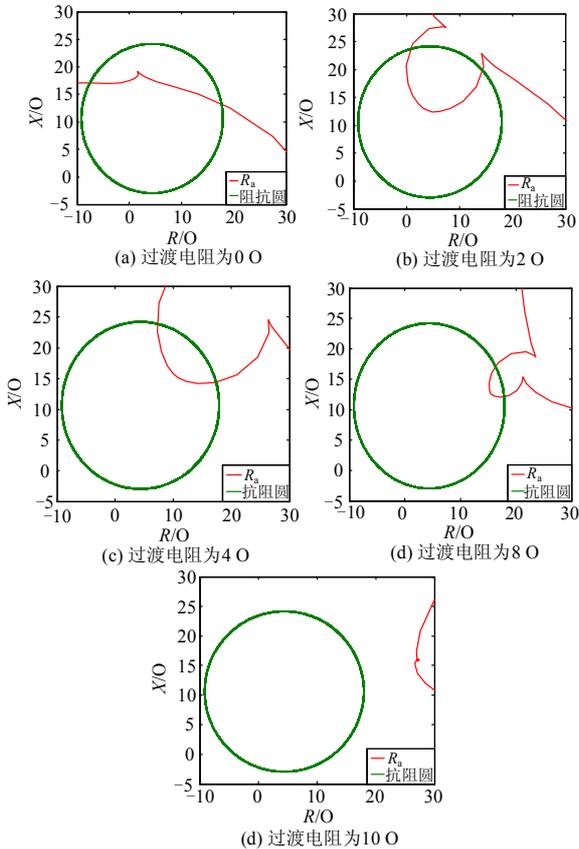


图 9 不同过渡电阻下的距离阻抗圆曲线

Fig. 9 Impedance locus under different fault resistance

异步风电机组的风电场 T 接在 MN 线路 50% 处为例，在 MN 线路的 55% 处发生单相接地故障，过渡电阻为 0.2Ω 为例，仿真研究风电场运行方式的变化对距离保护动作特性的影响。仿真结果如图 10 所示，保护动作特性见表 5。运行方式如下：

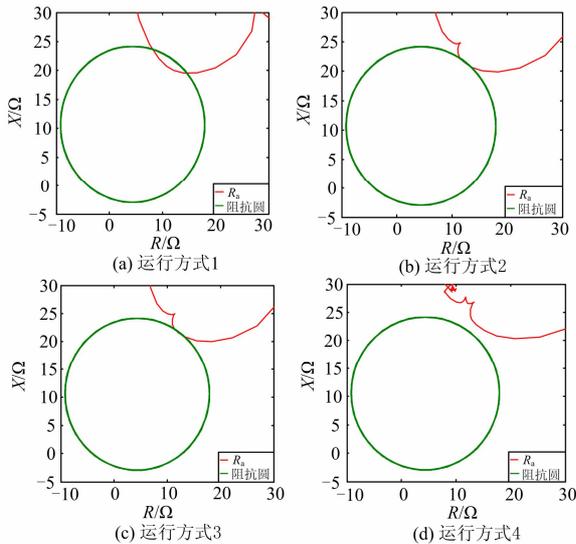


图 10 不同运行方式下距离阻抗圆曲线

Fig. 10 Impedance locus under different operation modes

方式 1: 16 台机组投运，风电场出力 12 MW；
方式 2: 32 台机组投运，风电场出力 12 MW；
方式 3: 32 台机组投运，风电场出力 24 MW；
方式 4: 48 台机组投运，风电场出力 36 MW。

表 5 不同运行方式下保护 1 动作特性

Table 5 Characteristics of protection lunder different operation modes

运行方式	保护动作特性
方式 1	正确动作
方式 2	正确动作(临界状态)
方式 3	正确动作(临界状态)
方式 4	拒动

风电场运行方式不同，风电场 T 接双电源系统距离保护测量阻抗也不同。分析可知：风电场出力对测量阻抗大小无影响(方式 2、3)。当其他影响因素不变时，改变风电场投运机组数目，距离保护测量阻抗随之改变，随着风电投运机组数目的增加，有逐渐偏离保护阻抗圆保护范围的趋势，可能会使测量阻抗在距离阻抗圆外，导致距离保护拒动。

3.3.2 对下段距离保护的影响

风电场 T 接在 MN 线路 50% 处，在 NP 线路的 86% 处发生单相接地故障，过渡电阻为 0.6Ω ，仿真研究风电 T 接后风电场机组投运数目的变化对下段距离保护(保护 2)动作特性的影响(见图 11)，保护动作特性见表 6。

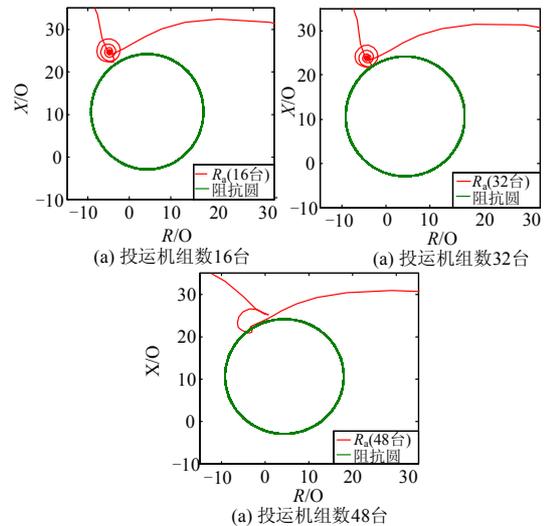


图 11 不同投运机组数下距离阻抗圆曲线

Fig. 11 Impedance locus under different commissioning

分析可知：随着风电场投运机组数目的增加，距离保护测量阻抗逐渐减小，逐渐接近保护阻抗圆的保护范围，保护 2 灵敏性变大，保护范围变大，

导致保护 2 误动。本算例中: 当投运机组数目为 48 台时保护 2 误动。保护范围由 80% 扩至 86%。

表 6 不同投运机组数下保护 1 动作特性

Table 6 Characteristics of protection 1 under different commissioning

投运机组数	保护动作特性
16 台	正确动作
32 台	正确动作
48 台	误动

4 结论

结合风电特性, 对风电场 T 型接入双电源系统对距离保护的影响进行了探讨。着重分析了故障点位置、风电场运行方式、过渡电阻对测量阻抗的影响, 研究了风电场 T 接对本段保护和下段保护的影响。仿真验证了故障点位置在风电场 T 接点前会对保护测量阻抗产生影响, 严重时会造成保护拒动或误动; 故障点位置在风电场 T 接点后, 故障点距 T 接点距离越远, 保护受到的影响越大, 可能会造成本段保护拒动; 风电场投运机组数的变化影响本段保护和下段保护的動作特性, 随着投运机组数目的增大, 本段保护可能出现拒动, 而下段保护会出现误动; 过渡电阻的增大可能造成保护拒动。篇幅有限只仿真验证了单相接地故障时风电场 T 接对距离保护的影响, 上述分析同样也适用于两相接地故障。

研究表明: 风电场 T 型接入电网时系统距离保护整定配置需要考虑故障点位置、风电场运行方式及过渡电阻的影响, 针对风电 T 接对双电源系统距离保护带来的影响, 建议在三端系统每端配置一套电流差动保护作为主保护, 解决风电场电流助增问题; 可配置零序电流保护解决过渡电阻的影响; 也可采用自适应距离保护^[19-21], 减小风电场运行方式及其他因素对测量阻抗的影响。

参考文献

[1] 迟永宁, 刘燕华, 王伟胜, 等. 风电接入对电力系统的影响[J]. 电网技术, 2007, 31(3): 77-81.
CHI Yongning, LIU Yanhua, WANG Weisheng, et al. Study on impact of wind power integration on power system [J]. Power System Technology, 2007, 31(3): 77-81.

[2] 张丽英, 叶廷路, 辛耀中, 等. 大规模风电接入电网的相关问题及措施[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(25): 1-9.
ZHANG Liying, YE Tinglu, XIN Yaozhong, et al. Problems and measures of power grid accommodating

large scale wind power[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(25): 1-9.

[3] 吴丽娜, 邵龙, 秦召磊, 等. 大规模风电并网的静态电压稳定性研究[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(4): 87-92.
WU Lina, SHAO Long, QIN Zhaolei, et al. Study on static voltage stability of large grid-connected wind power[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(4): 87-92.

[4] 时锐, 焦然, 陈艳霞. 含大规模风电电网的静态电压仿真分析[J]. 高压电器, 2014, 50(12): 105-110.
SHI Rui, JIAO Ran, CHEN Yanxia. Static Voltage simulation analysis of grid with large-scale wind power[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(12): 105-110.

[5] 迟永宁, 戴慧珠, 王伟胜. 大型风电场接入电网的稳定性问题研究[D]. 北京: 中国电力科学研究院, 2006.
CHI Yongning, DAI Huizhu, WANG Weisheng. Study on the stability problems of grid with large-scale wind farms[D]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2006.

[6] 文玉玲, 晁勤, 吐尔逊·依不拉音. 风电场对电网继电保护的影响[J]. 电网技术, 2008, 32(14): 15-18.
WEN Yuling, CHAO Qin, TUERXUN Yibulayin. Impact of interconnected wind farm on power system protection[J]. Power System Technology, 2008, 32(14): 15-18.

[7] 焦在强. 大规模风电接入的继电保护问题综述[J]. 电网技术, 2012, 36(7): 195-200.
JIAO Zaiqiang. A survey on relay protection for grid connection of large-scale wind farm[J]. Power System Technology, 2012, 36(7): 195-200.

[8] 徐岩, 林旭涛, 赵亮, 等. 大型风电场对工频故障分量距离保护影响的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(10): 118-125.
XU Yan, LIN Xu-tao, ZHAO Liang, et al. Research on impact of large wind farms on distance relay using power fault component [J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(10): 118-125.

[9] 张保会, 张金华, 原博, 等. 风电接入对继电保护的影响(六)—风电场送出线路距离保护影响分析[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(6): 1-6.
ZHANG Baohui, ZHANG Jinhua, YUAN Bo, et al. Impact of wind farm integration on relay protection (6): analysis of distance protection for wind farm outgoing transmission line[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(6): 1-6.

[10] 周大敏. 一种实用的三端高压输电线路故障测距方法[J]. 电力自动化设备, 1998, 18(2): 17-20.
ZHOU Damin. A practical approach to accurate fault location on 3-terminal power system [J]. Electric Power Automation Equipment, 1998, 18(2): 17-20.

[11] 束洪春, 高峰, 陈学允, 等. T 型输电系统故障测距算法研究[J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(6): 416-420.
SHU Hongchun, GAO Feng, CHEN Xueyun, et al. A study on accurate fault location algorithm of EHV T-connection to three terminals[J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18(6): 416-420.

[12] 李胜芳, 范春菊, 郁惟镛. T 型支接线路的自适应故障测距算法[J]. 电工技术学报, 2004, 19(10): 59-64.
LI Shengfang, FAN Chunju, YU Weiyong. Adaptive fault location method for three-terminal transmission line [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19(10): 59-64.

[13] 李生虎, 贾树森. 风电系统距离 III 段保护动作特性分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(5): 31-35.
LI Shenghu, JIA Shusen. Operation characteristics analysis of zone 3 distance protection in wind power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(5): 31-35.

[14] 张晶晶, 曹锐. 距离保护特性元件躲过渡电阻能力分析与研究[J]. 继电器, 2004, 32(6): 17-19.
ZHANG Jingjing, CAO Rui. Analysis and research on the ability of distance protection element standing the influence of transition resistance[J]. Relay, 2004, 32(6): 17-19.

[15] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
GE Yao-zhong. Theory of new types of protective relaying and fault location[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1996.

[16] 索南加乐, 何方明, 焦在滨, 等. 工频变化量距离元件特性的研究[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(28): 59-65.
SUONAN Jiale, HE Fangming, JIAO Zaibin, et al. Research on the characteristics of distance element based on the power-frequency voltage and current variation[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(28): 59-65.

[17] 张华中, 王维庆, 朱玲玲, 等. 基于过渡电阻计算的距离保护[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(18): 37-42.
ZHANG Huazhong, WANG Weiqing, ZHU Lingling, et al. Ground distance relay based on fault resistance calculation[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(18): 37-42.

[18] 余嘉彦, 袁越, 周建华, 等. 风电场运行参数变化对其出口输电线路距离保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(15): 64-69.
YU Jiayan, YUAN Yue, ZHOU Jianhua, et al. Impact of the changes of operation parameters of wind farm on distance protection of output transmission line[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(15): 64-69.

[19] 葛耀中. 自适应继电保护及其前景展望[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(9): 42-45.
GE Yaozhong. Prospect of adaptive protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(9): 42-45.

[20] 张华中, 王维庆, 朱玲玲, 等. 风电场联络线距离保护的自适应整定方法[J]. 电网技术, 2009, 33(3): 89-93.
ZHANG Huazhong, WANG Weiqing, ZHU Lingling, et al. An adaptive setting method for distance protection of transmission lines connecting wind farms[J]. Power System Technology, 2009, 33(3): 89-93.

[21] 张华中, 朱玲玲, 张洪涛, 等. 基于估算对侧电源阻抗的自适应距离保护算法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(12): 70-75.
ZHANG Huazhong, ZHU Lingling, ZHANG Hongtao, et al. Adaptive distance protection algorithm based on estimation of contralateral source impedance[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(12): 70-75.

收稿日期: 2014-06-20; 修回日期: 2014-09-02

作者简介:

陈伟伟(1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向为可再生能源并网技术与电力系统继电保护; E-mail: 849770629@qq.com

李凤婷(1965-), 女, 博士, 教授, 硕士生导师, 清华大学电机系高级访问学者, 研究方向为可再生能源并网技术与电力系统继电保护;

张 玉(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向为可再生能源并网技术与电力系统继电保护。

(编辑 葛艳娜)