

DOI: 10.7667/PSPC160115

中性点不接地系统非对称短路故障分析

王丙东¹, 蔡蕾², 董旭¹, 李贺桥¹, 王浩轩¹, 刘灿¹, 张好勇¹, 王龙宇³

(1. 廊坊供电公司, 河北 廊坊 065000; 2. 国网天津市武清分公司, 天津 301700;
3. 冀北电力有限公司检修分公司, 北京 102488)

摘要: 为提高分布式电源接入配电网的可靠性, 以对称分量法为基础, 重点分析了中性点不接地系统各种短路故障特性。给出了单相接地短路、两相相间短路、两相接地短路以及各种经过渡阻抗短路时故障点系统电压、电流的变化特性。得出中性点不接地系统两相相间短路与中性点接地系统一致, 且不发生中性点漂移。而中性点不接地系统两相接地短路与中性点接地系统两相相间短路一致, 但发生中性点漂移。所得结论能够为分布式电源接入配电网后的短路故障分析以及继电保护整定提供理论参考。

关键词: 中性点不接地; 配电网; 短路; 电容; 漂移

A comprehensive analysis for asymmetrical short-circuit fault of electric power system with neutral-point unground

WANG Bingdong¹, CAI Lei², DONG Xu¹, LI Heqiao¹, WANG Haoxuan¹, LIU Can¹, ZHANG Haoyong¹, WANG Longyu³

(1. Langfang Power Supply Company, Langfang 065000, China; 2. State Grid Wuqing Power Supply Branch, Tianjin 301700, China; 3. Maintenance Branch, Jibe Electric Power Corporation, Beijing 102488, China)

Abstract: In order to improve reliability about distributed generation access into power system, this paper provides an intensive analysis for fault characteristics of neutral-point unground based on method of symmetrical components. It presents the variation feature of voltage and current for single phase to earth, phase to phase short circuit and two-phase grounding together with transition impedance. The result is that phase to phase short circuit of neutral-point unground is the same as neutral-point grounding with neutral-point undrift. However, two-phase grounding is the same as phase to phase short circuit of neutral-point grounding with neutral-point drift. The conclusions could be applied in contingency analysis and protection setting in real distribution system within distributed generation.

Key words: neutral-point unground; distribution system; short-circuit; capacitance; drift

0 引言

为了提高供电系统的运行可靠性, 35 kV 及以下配电网大多采用中性点不接地^[1], 当系统发生单相接地故障时, 可以持续运行 1~2 h。大多数教材均以中性点接地系统短路故障为例来详细介绍^[2-3], 而对中性点不接地系统则较少提及或简单介绍。实际上, 由于中性点不接地系统(配电网)线路多、所处地理环境复杂等特点, 其故障次数远远大于中性点接地系统, 所以中性点不接地系统短路故障分析对实际配电网稳定运行意义重大。

由于中性点不接地系统单相接地短路比例占总故障 80%以上, 所以大量文献重点分析单相接地短路故障^[4-8]。文献[4-6]以实际故障为例对中性点不接

地系统单相接地短路进行详细分析, 文献[7]提出了一种基于广域同步信息的单相接地故障测距新方法, 通过构造测距函数可以提高故障测距的可靠性和测距精度, 文献[8]则重点分析了考虑过渡电阻影响的单相接地故障。文献[9-10]重点分析中性点不接地系统两相接地短路故障, 文献[10]对两相接地短路的稳态和暂态特性进行理论分析, 而文献[9]则以实际故障为例进行总结分析。文献[11]通过实际案例, 重点分析异地两相短路故障。但以上文献均没有对中性点不接地系统两相相间短路故障以及经过渡阻抗短路情况进行介绍, 但实际情况大多数短路故障均经过渡阻抗。

随着分布式电源^[12-14]的大范围接入配电网, 造成其保护配置更加复杂, 有必要对配电网各种短路

故障进行详细分析。本文重点对中性点不接地系统单相接地短路、两相相间短路、两相接地短路以及各种经过渡阻抗短路故障情况的稳态特性进行详细分析,给出各种短路条件下系统电压、电流以及中性点漂移特性,所得结论能够为分布式电源接入配电网后的短路故障分析以及继电保护整定提供理论参考。

1 单相接地短路故障分析

中性点不接地系统发生单相接地短路时,由于电源与接地故障点之间无法构成回路,在不考虑系统对地等效电容的情况下,故障点不存在短路电流,所以图 1 只给出故障点电压。

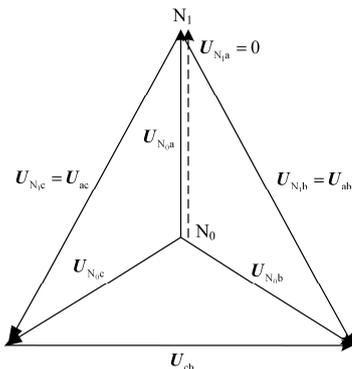


图 1 不考虑系统对地等效电容影响时单相接地短路故障点电压分布

Fig. 1 Voltage distribution of single phase to earth without equivalent capacitance

相关文献对其已有详细叙述,这里不做过多介绍,图 1 中 N_0 为故障前系统中性点, N_1 为故障后系统中性点,图中虚线箭头表示中性点从 N_0 漂移到 N_1 处。其中, U_{N_0a} , U_{N_0b} , U_{N_0c} 为故障前系统相电压, U_{N_1a} , U_{N_1b} , U_{N_1c} 为故障后系统相电压, U_{ab} , U_{cb} , U_{ac} 为系统线电压。

正常运行时,忽略电源和线路压降,系统各相对地电容相等,在相电压的作用下,每相都有一超前于相电压 90° 的电容电流注入地中,且满足式(1)。

$$I_{Ca} + I_{Cb} + I_{Cc} = j\omega C(U_{N_0a} + U_{N_0b} + U_{N_0c}) = 0 \quad (1)$$

式中: C 为各相对地等效电容; I_{Ca} , I_{Cb} 和 I_{Cc} 分别为各相对地电容电流,表达式如式(2)。

$$I_{Ca} = I_{Cb} = I_{Cc} = j\omega CU_\varphi \quad (2)$$

其中, U_φ 为系统相电压。

如图 2 所示,当系统发生 a 相接地短路故障时,故障点电流为

$$I_{Ca} = I_{Cb} + I_{Cc} = 3j\omega CU_\varphi \quad (3)$$

可以看出,中性点不接地系统发生单相接地短

路后,故障点短路电流等于非故障相对地电容电流之和,并且短路电流大小是系统正常情况下各相对地电容电流的 3 倍。

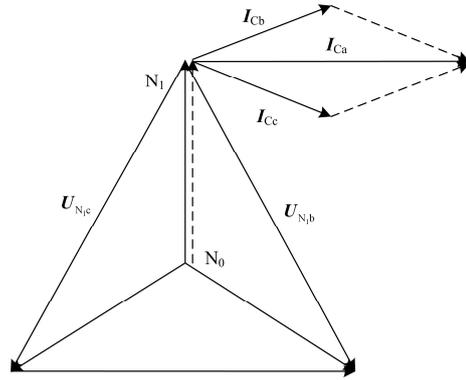


图 2 考虑系统对地等效电容影响时单相接地短路故障点电压与电流分布

Fig. 2 Voltage and current distribution of single phase to earth with equivalent capacitance

2 两相相间短路故障分析

由于两相相间短路故障时,系统线路没有接地,系统中性点不会发生漂移,所以其与中性点接地系统两相相间短路故障的电压与电流分布相同,如图 3 为电压与电流分布图,文献[2-3]对其电压与电流已有详细叙述。

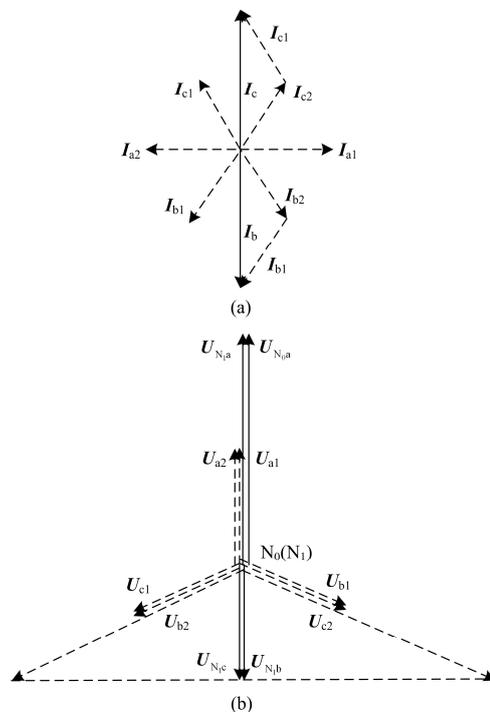


图 3 两相相间金属性短路故障点电压与电流分布

Fig. 3 Voltage and current distribution of phase to phase short circuit

如图4所示为系统b、c两相经过渡阻抗 z_f 短路时故障点电压分布示意图(经过渡阻抗短路电流分布与金属性短路一样)。

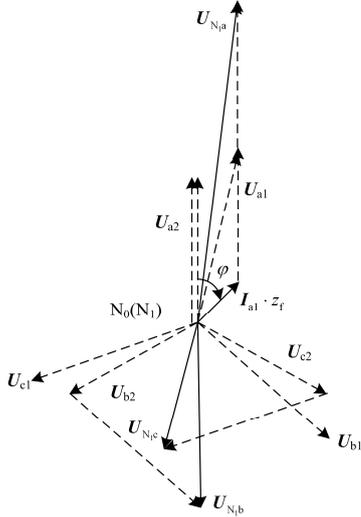


图4 两相相间经过渡电阻短路故障点电压分布
Fig. 4 Voltage distribution of phase to phase short circuit with transition impedance

假定 $z_f = a + bj$, $\tan^{-1}(\frac{b}{a}) = \theta$, 图4中最重要的就是 φ 的计算, 一旦 φ 确定, 则相应其他变量即可计算, φ 的计算公式如式(4)。

$$\varphi = 90^\circ - \theta \quad (4)$$

图4中所示 U_{a1} 、 U_{a2} 与 U_{a0} 的表达式如式(5)。

$$\begin{cases} U_{a1} = (jX_{2\Sigma} + z_f)I_{a1} \\ U_{a2} = jX_{2\Sigma}I_{a1} \\ U_{a0} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: U_{a1} 、 U_{a2} 与 U_{a0} 分别为正序、负序和零序电压; I_{a1} 、 I_{a2} 与 I_{a0} 分别为正序、负序和零序电流; $X_{2\Sigma}$ 为系统负序等效阻抗。

通过对比分析可以发现, b、c两相经过渡阻抗 z_f 短路主要影响到 U_{a1} , 相当于在金属性短路的基础上增加了一个 $I_{a1} z_f$ 量, 对于 U_{a2} 和 U_{a0} 则没有影响, 从而说明过渡阻抗主要影响系统的正序等效电路, 对于零序和负序等效电路没有影响。

3 两相接地短路故障分析

3.1 两相金属性接地短路

如图5所示为b、c两相金属性接地短路故障, 由于系统中性点不接地, 则电源与故障点之间无法形成回路, 所以 $I_d=0$, 则有

$$I_b + I_c = 0 \quad (6)$$

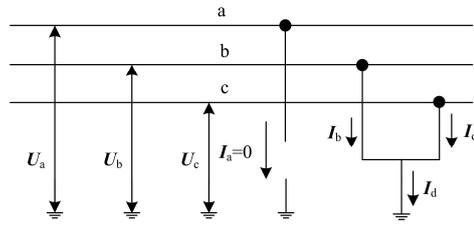


图5 两相金属性接地短路示意图

Fig. 5 Two-phase grounding without transition impedance

由于系统中性点没有接地, 只能应用如下边界条件:

$$U_b = U_c \quad (7)$$

结合式(6)和式(7)发现, 中性点不接地系统两相接地短路故障边界条件与中性点接地系统两相相间短路故障边界条件一致^[2-3], 所以中性点不接地系统两相金属性接地短路故障点的电压与电流分布如图6所示。

通过图6可知, 虽然中性点不接地系统两相金属性接地短路故障点电压和电流大小与中性点接地系统两相相间短路相同, 但是故障后系统中性点从 N_0 漂移到了 N_1 处, 也就是故障后非故障相的相电压上升为原来相电压的1.5倍, 而故障相相电压则降低为0。

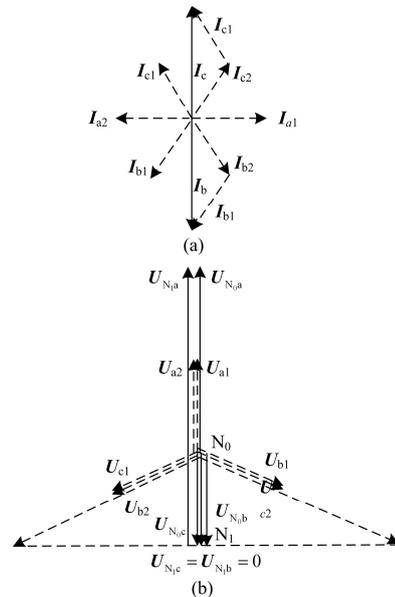


图6 两相金属性接地短路故障点电压与电流分布

Fig. 6 Voltage and current distribution of two-phase grounding without transition impedance

3.2 两相经过渡阻抗接地短路

如图7所示为b、c两相经过渡阻抗接地短路故障。由于 $I_d=0$, 所以仍然满足式(6)的边界条件, 同时由于b、c之间存在过渡电阻, 所以边界条件如下,

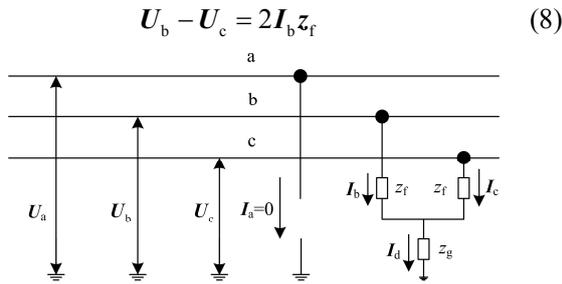


图 7 两相经过渡阻抗接地短路示意图

Fig. 7 Two-phase grounding with transition impedance

结合式(6)和式(8), 采用对称分量法即可得到式(9)。

$$\begin{cases} I_{a1} = -I_{a2} = \frac{E_{\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma}) + 2z_f} \\ I_{a0} = 0 \\ U_{a1} = (jX_{2\Sigma} + 2z_f)I_{a1} \\ U_{a2} = jX_{2\Sigma}I_{a1} \\ U_{a0} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

其中, E_{Σ} 和 $X_{1\Sigma}$ 分别为正序等效电压和阻抗。

可以判断各电流序分量与图 6(a)中一致, 但各电压序分量则发生变化, 电压分布如图 8 所示。

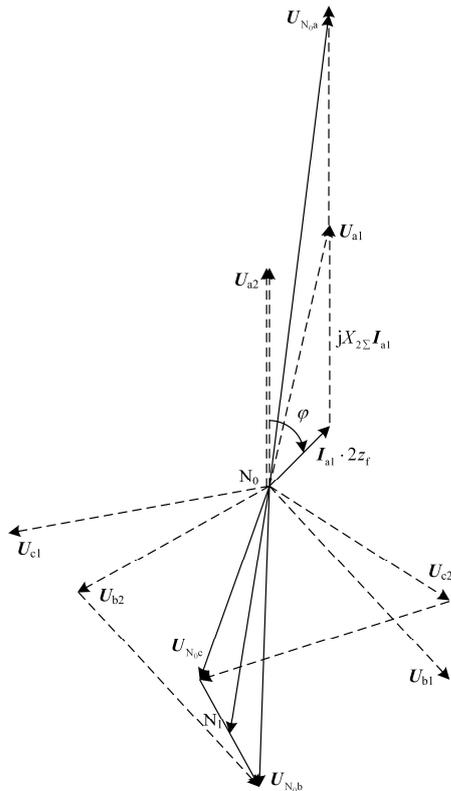


图 8 两相经过渡阻抗接地短路故障点电压分布
Fig. 8 Voltage distribution of two-phase grounding with transition impedance

图 8 中 φ 表达式如式(4)所示。重点是中性点发生漂移, 如图中实线箭头所示, 中性点从 N_0 处漂移到 N_1 处, 并且漂移后中性点 N_1 电压表达式如式(10)。

$$U_{N_1} = -j\sqrt{3}I_{a1} \cdot z_f \quad (10)$$

4 总结

本文重点分析了中性点不接地系统非对称故障, 包括单相接地短路、两相相间短路、两相接地短路以及经过渡阻抗短路故障。通过分析得出中性点不接地系统单相接地短路不存在短路电流(不考虑对地电容时), 但中性点发生漂移; 中性点不接地系统两相相间短路与中性点接地系统完全一致; 中性点不接地系统两相接地短路与中性点接地系统两相相间短路一致, 但中性点发生相应漂移。本文所得出的结论可以为配电网故障分析、继电保护配置等提供参考。

参考文献

- [1] 苏继锋. 配电网中性点接地方式研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(8): 141-148.
SU Jifeng. Research of neutral grounding modes in power distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(8): 141-148.
- [2] 何仰赞, 温增银. 电力系统分析(上册)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001: 202-208.
- [3] 李林川, 肖峻, 张艳霞. 电力系统基础[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 168-174.
- [4] 顾秀芳. 10 kV 配电网中性点不接地短路电流的分析[J]. 继电器, 2008, 36(5): 14-18, 27.
GU Xiufang. Analysis on short-circuit current of 10 kV distribution network with neutral point ungrounded[J]. Relay, 2008, 36(5): 14-18, 27.
- [5] 周羽生, 彭琢, 韦肖燕, 等. 小电流接地系统单相故障的 Matlab 仿真[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(4): 50-52, 99.
ZHOU Yusheng, PENG Zhuo, WEI Xiaoyan, et al. Matlab simulation on single phase to earth fault of small current grounding power system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2009, 21(4): 50-52, 99.
- [6] 许晔, 郭谋发, 陈彬, 等. 配电网单相接地电弧建模及仿真分析研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 57-64.
XU Ye, GUO Moufa, CHEN Bin, et al. Modeling and simulation analysis of arc in distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 57-64.
- [7] 赵军, 袁雪琼, 阮琦, 等. 基于对地参数跟踪测量的不

- 接地系统单相接地故障选相研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(21): 81-85.
- ZHAO Jun, YUAN Xueqiong, RUAN Qi, et al. Research on single phase grounding fault phase selection based on ground parameter tracking and measurement[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(21): 81-85.
- [8] 唐昆明, 杨伟, 张太勤, 等. 基于 Stehfest 算法的配网单相接地故障双端测距方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(14): 76-83.
- TANG Kunming, YANG Wei, ZHANG Taiqin, et al. A new two-terminal fault location method for distribution network based on Stehfest algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(14): 76-83.
- [9] 张波, 王越. 中性点不接地系统同一点两相接地短路故障分析[J]. 继电器, 2007, 35(15): 59-61.
- ZHANG Bo, WANG Yue. Analysis of two-phase grounding fault of isolated neutral system[J]. Relay, 2007, 35(15): 59-61.
- [10] 刘健, 张小庆, 张志华. 配电网两相接地短路故障定位与供电恢复[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(5): 105-110.
- LIU Jian, ZHANG Xiaoqing, ZHANG Zhihua. Location and restoration for two-phase grounded short-circuit in distribution system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(5): 105-110.
- [11] 王学羽. 中性点不接地电力系统异地两相短路故障的案例分折[J]. 电力科学与技术学报, 2012, 27(3): 81-85.
- WANG Xueyu. Case analysis on phase-to-phase grounding faults in different spots of electric power system with neutral-ungrounded[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2012, 27(3): 81-85.
- [12] 陈丽娟, 王致杰. 基于改进下垂控制的微电网运行控制研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(4): 16-21.
- CHEN Lijuan, WANG Zhijie. Research of operation control of micro-grid based on improved droop control[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(4): 16-21.
- [13] 易映萍, 罗海, 胡四全. 小功率光伏并网逆变器控制策略的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(4): 64-68.
- YI Yingping, LUO Hai, HU Siquan. Study on control scheme based on low-power photovoltaic grid-connected inverter[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(4): 64-68.
- [14] 张顺, 葛智平, 郭涛, 等. 大规模新能源接入后系统调峰能力与常规电源开机方式关系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 106-110.
- ZHANG Shun, GE Zhiping, GUO Tao, et al. Research on relationship between the capacity of systematic peak regulation and conventional power startup mode after access to large-scale new energy[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(1): 106-110.

收稿日期: 2016-01-19; 修回日期: 2016-06-27

作者简介:

王丙东(1988-), 男, 硕士, 助理工程师, 研究方向为电力系统安全稳定分析与变压器检修和维护。E-mail: wbdtju@163.com

(编辑 张爱琴)