

一起 10 kV 线路单相断线故障分析

徐红喜, 封波, 李红, 伏祥运
(连云港供电公司, 江苏 连云港 222004)

摘要: 10 kV 配网线路一般属于小电流接地系统, 配网线路特别是架空线路具有走线地理环境复杂、设备老化快、易受外力破坏等特点, 因而断线故障时有发生。断线后, 对用户正常供电及断口周围的行人都会产生不利影响。文中通过分析一起断线故障断口前端、后端电压及对用户供电的影响, 对调度过程中有类似现象的判断及处理提供了参考。

关键词: 断线; 接地; 电压偏移

中图分类号: TM755

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)06-0015-04

1 故障简述

2010年6月2日05:48, 某110 kV变电所10 kV X线跳闸, 重合成功。随后10 kV母线各相电压异常, A相、C相电压偏低, 约5.6 kV, B相电压偏高, 约为7.2 kV, 线电压正常。电流由故障前的410 A降至70 A。随后, X线部分用户反映电压低, 生产设备不能正常启动。06:57, 检查发现10 kV X线2号塔B相刀闸烧坏脱落, 拉开X开关后, 电压恢复正常。该变电所接线方式如图1所示。故障后经核实, 10 kV 3条出线均为架空线路, Z线约2 km, Y线约9 km, X线约10 km。

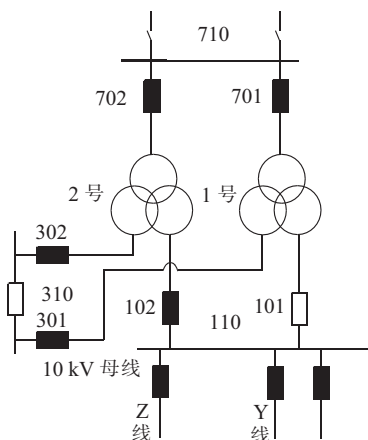


图1 变电所主接线图

2 简要分析

2.1 电压异常分析

不考虑负载阻抗和系统阻抗, 图2给出了系统对地简化的等效电路图。图2中, N为虚拟的中性点; $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ 为系统对虚拟中性点的三相电压; O点为地; Y_A, Y_B, Y_C 分别为系统三相对地的导纳, 主要是由线路和母线的对地电容、电压互感器的对地

阻抗等组成; \dot{U}_{NO} 为电源虚拟中性点和地之间的电势差。由于电源的虚拟中性点和地之间没有电流通路, 即这两点之间仅有电势差但没有电流。因此, 在图中用虚线表示。为了分析方便, 假设系统电压是理想的三相对称:

$$\dot{U}_{NO} = -\frac{\dot{U}_A(Y_A - Y_B) + \dot{U}_C(Y_C - Y_B)}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad (1)$$

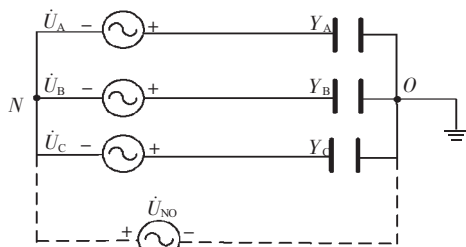


图2 简化系统等效电路图

当10 kV X线2号塔B相刀闸烧坏脱落时, 则该条线路B相对地电容减小。因此, 系统B相和A相、C相比, 对地电容减小, Y_B 比 Y_A 和 Y_C 要小, 这样将造成了中性点的偏移。假设 Y_A 和 Y_C 相同的情况下, \dot{U}_{NO} 中将含有与A相和C相电压反方向的电压成份, 如图3所示。中性点对地产生了偏移, 这时A相、C相对地电压降低, B相对地电压增加。这一点与10 kV系统电压B相升高, A相、C相降低相符。因为该变电所出线皆为架空线路, 10 kV X线线路较长, 且为2号塔断线, 所以 Y_B 减少得多, 电压中性点偏移比较明显。在此, 若考虑负荷情况, 则三相电压分布略有变化, 总的变化趋势与图3相似。

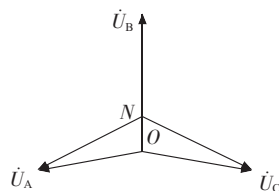


图3 电压向量图

2.2 单相断线电压分析

系统图如图 4 所示。负荷端变压器高压侧绕组角形连接, $\dot{U}_{AO}, \dot{U}_{BO}, \dot{U}_{CO}$ 为端口前端各相对地电压, $\dot{U}'_{AO}, \dot{U}'_{BO}, \dot{U}'_{CO}$ 为断口后端各相对地电压。

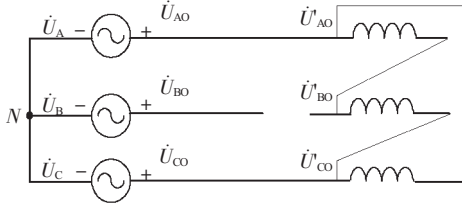


图 4 系统图

通过上面分析得知,断口前端断线相对地电压略升高,另两相对地电压略降低且幅值相等。通过计算可得出 \dot{U}_{NO} 最大为 0.5 倍 \dot{U}_B , 最小为 0。所以,断线相一般不高于 1.5 倍相电压,另两相不低于 0.866 倍相电压。对于断口后端,非断线相对地电压与电源侧一样。若不计断线相分布电容电流在负荷变压器绕组上产生的微小压降,B 相断线后 AC 间线电压不变,A 相与 B 相和 B 相与 C 相间共同承担反向的线电压 \dot{U}_{CA} 。断口后端 B 相电压偏移至 C 相、A 相间电压的中分点。此时电压向量图如图 5 所示。

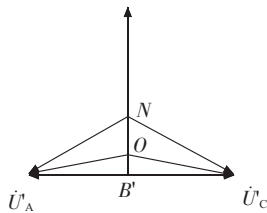


图 5 单相断线两端悬空向量图

从图 5 可知,断口后端三相电压降低,断线相 U'_{BO} 小于 0.5 倍相电压且方向与 \dot{U}_B 相反,另两相不低于 0.866 倍相电压。同理,可以分析得出其他几种单相断线情况下断口两端电压情况,如表 1 所示。

表 1 各种单相断线类型电压情况

单相断线类型	断点两端悬空	单相断线、电源端接地	单相断线、负荷端接地
向量图			
断口前端各相电压	断线相对地电压略升高,另两相对地电压略降低且幅值相等	断线接地相电压为 0,另两相升高至线电压。	故障相升高至 1.5 倍相电压,非故障相降低至 0.866 倍相电压。
断口后端各相电压	断线相小于 0.5 倍相电压,另两相不低于 0.866 倍相电压。	三相对地电压都会升高,故障相升高至 1.5 倍相电压,另两相升高至线电压。	故障相电压为 0,非故障相降低至 0.866 倍相电压。

2.3 对低压用户的影响

2.3.1 电压分析

一般的 10 kV 配电变压器采用 Dyn11 联接组别,其接线示意如图 6 所示。

其低压侧电压为:

$$\dot{U}_{an} = \dot{U}_{AB} / k \quad (2)$$

$$\dot{U}_{bn} = \dot{U}_{BC} / k \quad (3)$$

$$\dot{U}_{cn} = \dot{U}_{CA} / k \quad (4)$$

式(2—4)中:k 为变压器变比。

若高压侧 B 相断开,绕组 r3 电压即 \dot{U}_{CA} 不变。绕组 r1 和 r2 共同承担反向的绕组 r3 电压,即 $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{AB} = -\dot{U}_{CA} / 2$ 。假设变压器变比 k 为 1,则 B 相断开后低压侧电压为:

$$\dot{U}_{an} = -\dot{U}_{CA} / 2 \quad (5)$$

$$\dot{U}_{bn} = -\dot{U}_{CA} / 2 \quad (6)$$

$$\dot{U}_{cn} = \dot{U}_{CA} \quad (7)$$

则低压侧 a 相的各序电压为^[1]:

$$\dot{U}_{a1} = (\dot{U}_{an} + \alpha \dot{U}_{bn} + \alpha^2 \dot{U}_{cn}) / 3 = \alpha \dot{U}_{CA} / 2 \quad (8)$$

$$\dot{U}_{a2} = (\dot{U}_{an} + \alpha^2 \dot{U}_{bn} + \alpha \dot{U}_{cn}) / 3 = \alpha^2 \dot{U}_{CA} / 2 \quad (9)$$

$$\dot{U}_{a0} = (\dot{U}_{an} + \dot{U}_{bn} + \dot{U}_{cn}) / 3 = 0 \quad (10)$$

式(8,9)中: $\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ 。

由上述分析可知,高压侧 B 相断线后,低压侧 A 相、B 相电压降低一半,C 相电压不变,正序电压与负序电压绝对值相等。

2.3.2 对用户影响

对于单相用户,因为 C 相电压不变,所以对 C 相上的用户供电无影响。而 A 相、B 相上的用户因电压降低一半,照明灯光变暗,若为日光灯则可能无

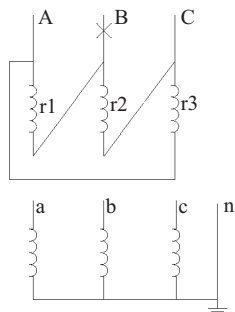


图 6 Dyn11 联接变压器接线图

法正常运行。对于整流负荷,由于输出直流电压降低,将无法满用户要求。单相电动机因电压下降,主磁通将减小,励磁电流相应减少,铁心损耗也减少,在正常负载情况下,将引起电动机的转速下降,转差率增加,转子电流增加,转子铜损耗也随之增加。由于铜损耗的增加大于铁损耗的较少,因此,电动机总的损耗增加,将引起绕组发热加剧,效率降低。若电压下降过大,还可能造成电动机停转。

对于三相用户,主要用电设备为电动机。由于三相电流不对称,在电动机内部产生椭圆形旋转磁场,使电磁转矩不再是恒值,从而引起电动机振动、转速不均匀和电磁噪声^[2]。正序电流产生的正序旋转磁场与转子绕组相互作用产生正向电磁转矩,而负序电流产生的负序旋转磁场与转子绕组相互作用产生反向制动电磁转矩,使电动机总电磁转矩减小,致使启动性能和过载能力下降,电动机出力减少,严重情况下造成电动机堵转烧毁损坏。对于三相整流负载,直流侧电压波动增大,直流电压不稳定,将影响直流设备的正常工作,影响产品质量。

10 kV X 线上多为石英厂,使用电动机较多,断线后电压的异常使得电动机不能正常工作,产生低压释放,这也是 X 线故障后电流大幅下降的原因。

2.3.3 应对措施

(1) 用户装设低压保护,在电压异常可能造成设备损坏时快速切除设备,保证设备安全。

(2) 配电变压器装设非全相保护,在高压线路缺相运行时切除负荷,保证低压用电安全。

(3) 调度在确认线路断线故障后立即拉停变电所出线开关,或故障点前分段开关,然后修复故障线路恢复送电。

3 仿真分析

为了进一步验证上文分析的正确性,采用 Matlab7.0 simlink 模块,针对单相断线情况建立如图 7 所示的仿真模型进行研究。仿真系统中,系统电压为 10.5 kV,系统侧线路对地电容 $3 \mu\text{F}$,断线线路

对地电容 $0.3 \mu\text{F}$,线路末端变压器容量为 $1 \text{ MV}\cdot\text{A}$,短路阻抗为 8%,空载电流为 2%。

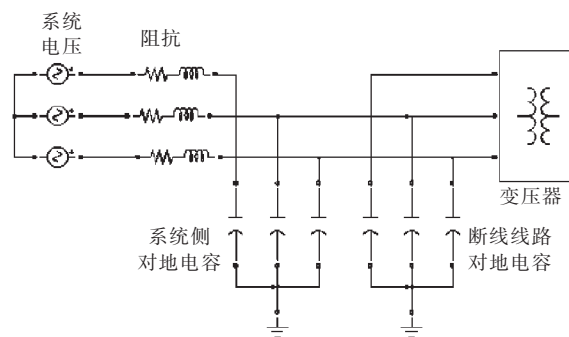


图 7 仿真系统图

图 8 给出了系统侧中性点电压偏移情况,电压偏移约为 1.1 kV。图 9 给出了配变低压侧三相电压波形图,其中 a 相、b 相电压偏低,为额定值的一半,c 相电压正常。对其进行序分量分析可以知道,其中正序、负序分量相同,均为额定电压的一半。

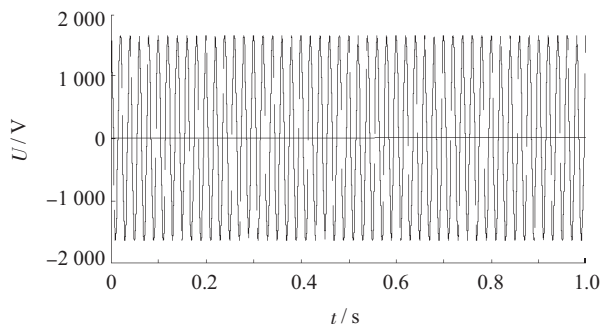
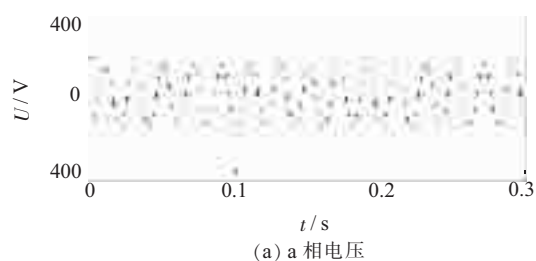
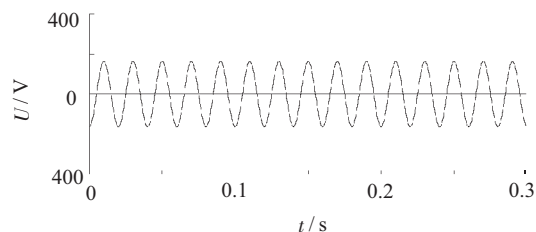


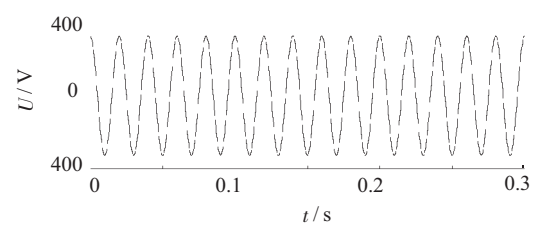
图 8 中性点偏移电压



(a) a 相电压



(b) b 相电压



(c) c 相电压

图 9 配变低压侧电压

通过仿真结果可以看出,单相断线后系统侧中性点电压将会发生偏移,同时由于缺相运行,配变低压侧两相电压降低,且出现很多的负序分量,这与前文的分析是吻合的。

4 结束语

断线断口两端悬空时中性点偏移与线路长度、线路类型、断线点、线路条数都有关系。对于出线多、电缆线路长的变电所某条架空线路断线,或者线路末端断线,对 10 kV 母线电压影响很小,凭电压或电流波动情况并不能判断出断线。因此,当变电所 10 kV 母线电压异常,要结合电压、电流以及用户反应的情况,才能正确判断出线路故障类型。

断线后部分低压用户设备将不能正常运行甚至会损坏。因此,作为供电部门一方面要加强巡视,减

少断线故障发生几率;另一方面敦促用户装设相应的保护装置,减小设备损害风险。

参考文献:

- [1] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 北京:中国电力出版社, 1995.
[2] 叶水音. 电机学[M]. 北京:中国电力出版社,2005.

作者简介:

- 徐红喜(1970),男,江苏连云港人,工程师,从事配电管理工作;
封波(1983),男,江苏灌云人,助理工程师,从事电力系统运行分析、方式安排等工作;
李红(1980),女,江苏连云港人,工程师,从事电力系统规划设计及分析等工作;
伏祥运(1977),男,江苏赣榆人,高级工程师,从事电力系统运行分析、无功功率补偿及谐波抑制等工作。

An Analysis on Single-phase Disconnection Fault of a 10 kV Line

XU Hong-xi, FENG Bo, LI Hong, FU Xiang-yun

(Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222004, China)

Abstract: Generally, 10 kV distribution line belongs to the indirectly grounding power system. Distribution lines especially overhead transmission lines have some characteristics like complicated wire-traveling geographical environment, fast-aging equipment and vulnerable to external forces destroy, so disconnection faults often happen on these lines. The disconnection faults may have adverse effects on normal supplying users power and the passerby around the fractures. The effects of a single-phase disconnection fault of a 10 kV line were analyzed, including the voltage of the front end and back end of the fracture and the effect on power supply for users. The analysis can offer reference for judgment and handling of a similar phenomenon in scheduling process.

Key words: disconnection; grounding; voltage deviation

(上接第 14 页)

Analysis on Counterattack Performance of the Lightning Stroke at the Middle of a Span of Ground

ZHOU Zhi-cheng, MA Yong, TAO Feng-bo, CHEN Shao-bo, WEI Xu

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: With more and more applications of high tower, span, cross-cutting, multi-circuit in one tower, wire commutation of EHV transmission lines and more and more accidents of counterattack trip and ground broken which are created by the lightning ground files from central, it is of important value to do research on counterattack the lightning protection performance of transmission lines span the middle. 220 kV transmission line simulation model including overhead line model, multi-wave impedance model tower lightning current model is built in PSCAD. Intersection and pilot method are used to analyze counterattack the lightning protection performance of lines with lightning span middle ground from three points of size of the lightning current, location of the lightning and the size of span. Examples are used to validate. It is proved that when lightning withstand level of the lightning stroke at the middle of a span of ground is checked, the location of lightning stroke at the middle of a span should be as standard with consideration of factors such as size of a span and structure of rod Tata head.

Key words: lightning stroke at the middle of a span; counterattack performance; PSCAD simulation model; intersect method; pilot method