

10 kV 不接地系统单相接地故障接地相判别分析

李 飞, 王文松, 王能进, 聂慧元, 李 成
(锦屏水力发电厂, 四川 西昌 615000)

摘要: 采用电路理论分析以及数学公式推导, 分析了 10 kV 不接地系统单相接地故障时接地相特征, 并通过一起实际事故案例, 结合故障录波及 CAD 软件分析, 提出一种新的判别不接地系统单相接地故障时接地相的方法。

关键词: 中性点不接地系统; 向量分析; 高阻接地

中图分类号: TM73 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2020)05-0053-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.05.012

Discrimination Analysis for Single-phase Ground Fault in 10 kV Ungrounded System

Li Fei, Wang Wensong, Wang Nengjin, Nie Huiyuan, Li Cheng
(Jinping Hydropower Station, Xichang 615000, Sichuan, China)

Abstract: The circuit theory analysis and mathematical formula derivation are used to analyze the characteristics of single-phase ground fault in 10 kV ungrounded system. Combined with the analysis of fault recording and CAD software in a practical accident case, a new method of judging the fault phase for single-phase ground fault in 10 kV ungrounded system is proposed.

Key words: neutral point ungrounded system; vector analysis; high-resistance grounding

0 前 言

10 kV 配电系统多采用不接地系统。单相接地是电网运行的主要故障形式, 约占总故障 70% 以上。在不接地系统发生单相接地故障时, 各相电压会发生变化, 而线电压不变, 三相系统仍然保持对称。为防止事故扩大, 必须尽快消除故障, 带故障运行时间不超过 2 h。

为准确判断不接地系统发生单相接地故障的故障相, 通过向量分析结合数学公式推导, 发现不接地系统发生单相接地故障时, 新的中性点会在以故障相为直径的圆轨迹上, 进而得出故障相的电压不一定最小的结论。同时, 通过一起实际的事例, 结合故障录波和 CAD 软件分析, 提出一种新的判别不接地系统单相接地故障时接地相的方法。

1 原理分析

对于 10 kV 不接地系统, 由于系统容抗远大于系统电阻, 系统阻抗呈容性。利用叠加原理, 发生单

相接地故障时的零序等效电路如图 1 所示, 图中: \dot{U} 为零序等效电源电压, 实际情况中, 系统中性点不对称电压可忽略不计, 因此有 $\dot{U} = \dot{U}_A$; R_g 为故障点的接地电阻; C_0 为系统的零序电容; \dot{U}'_0 为系统中性点位移电压, \dot{U}'_A 为故障相接地电压^[1]。

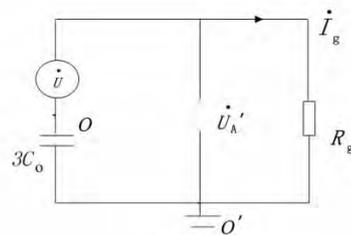


图 1 单相接地故障时零序等效电路

由图 1 可知, 单相接地故障时接地电流 \dot{I}_g 为

$$\dot{I}_g = \frac{\dot{U}_A}{R_g + \frac{1}{j3\omega C_0}} = \frac{j3\omega C_0}{1 + j3\omega C_0 R_g} \dot{U}'_A \quad (1)$$

中性点位移电压 \dot{U}'_0 为

$$\dot{U}'_0 = \frac{1}{j3\omega C_0 R_g} (-\dot{I}_g) \quad (2)$$

将式(1)带入式(2)中得到

$$\dot{U}'_0 = -\frac{1}{1+j3\omega C_0 R_g} \dot{U}_A \quad (3)$$

令: $L = j3\omega C_0 R_g$;

$$\dot{K} = \frac{1}{1+j3\omega C_0 R_g} = \frac{1}{1+jL} = x + jy$$

则有

$$\dot{U}'_0 = -\dot{K} \dot{U}_A \quad (4)$$

$$jL = \frac{x - x^2 - y^2 - jy}{x^2 + y^2} \quad (5)$$

由式(5)可知

$$\begin{cases} x - x^2 - y^2 = 0 \\ -\frac{y}{x^2 + y^2} = L \end{cases} \quad (6)$$

由式(6)整理得

$$\left(x - \frac{1}{2}\right)^2 + y^2 = \frac{1}{4} \quad (7)$$

由式(7)可知, \dot{K} 的轨迹是以 $(\frac{1}{2}, 0)$ 为圆点, 以 $\frac{1}{2}$ 为半径的圆轨迹, 如图2所示。由图2可知, x 与 y 均为正值, 故圆轨迹在上方第一象限。

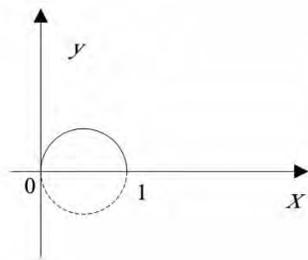


图2 \dot{K} 的圆轨迹

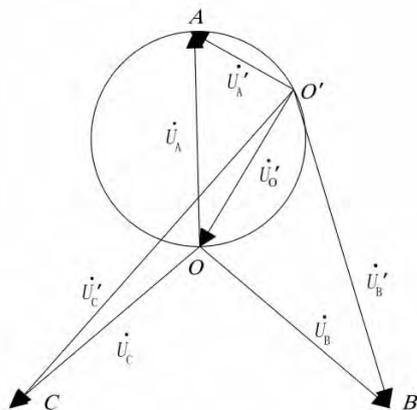


图3 \dot{U}'_0 的圆轨迹

由式(4)可知, 取 $\dot{U}_A = 57.74 \angle 0^\circ$ 时, $\dot{U}'_0 = -57.74 \dot{K}$, 即 \dot{U}'_0 也是圆轨迹但与 \dot{K} 的轨迹方向相反, 幅值为其 57.74 倍, 所以右侧半圆呈容性, 左侧半圆呈感性,

如图3所示。由此得出不接地系统经过渡电阻单相接地后, 新的偏移中性点在以故障相电压为直径的圆轨迹上。由图3可知, 由于单相接地后的新的中性点在半圆轨迹上偏移, 故单相接地故障后的故障相电压不一定是最小。下面通过这一结论提出一种新的判别单相接地故障后故障相的方法。

2 事件分析

2.1 事件现象

某电厂1号机组故障录波装置录波启动, 经检查确认为1号高压厂用变压器低压侧零序电压突变量及高越限启动。

2.2 现场检查情况

现场检查 10 kV 901M 上各开关保护装置无启动, 装置均运行正常; 901M 上小电流接地选线装置无相关启动信号, 10 kV 系统运行无异常。1号故障录波装置显示录波启动时, 1号高压厂用变压器低压侧三相电流均无变化; 分析 A 相电压为 62.82 V (升高 2.5 V 左右), B 相电压为 60.82 V (基本不变), C 相电压为 57.18 V (降低 3.2 V 左右), 零序电压 $3U_0$ 为 5.65 V, 大于突变量定值 3 V 及高定值 5 V, 录波装置为正常启动, 见图4所示。

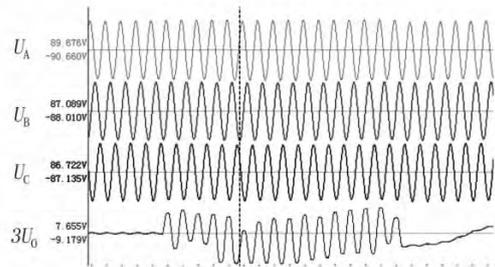


图4 1号高压厂用变压器低压侧电压波形

2.3 故障分析

根据波形可见, 1号高压厂用变压器低压侧三相电压正常运行时均为 60 V 左右, 零序电压为 0 V 左右; 在装置启动期间, A 相电压升高, C 相电压降低, B 相电压基本保持不变, 符合不接地系统单相接地特征; 同时三相电压波形在故障录波装置启动后平滑无畸变, 为标准正弦波, 且消谐装置未启动, 可初步判断为 C 相经高阻抗接地。

由于无 10 kV 系统实测阻抗值, 无法进行定性计算。可根据高压厂用变压器低压侧三相电压及零序电压的幅值及角度(见图5), 对三相电压向量进行分析: 以 A 相电压为参考点, 其故障前后相位均

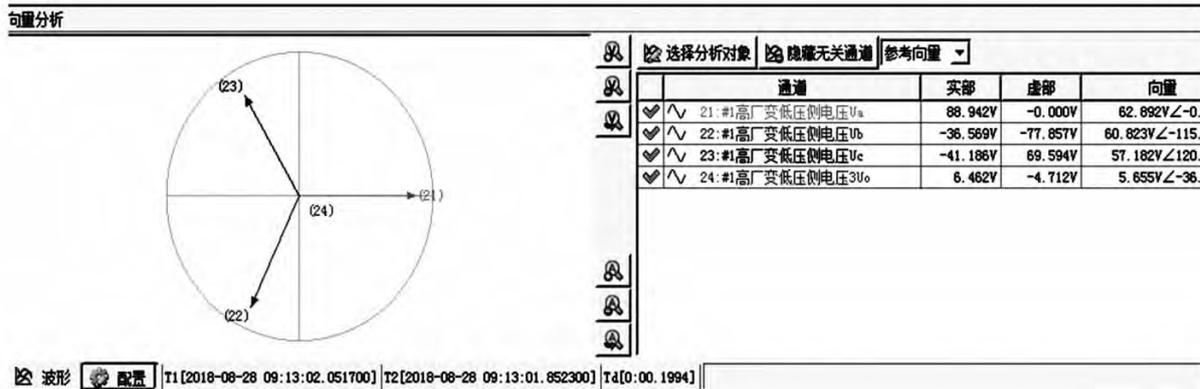


图 5 1 号高压厂用变压器低压侧电压向量分析

为 0° , B 相电压故障后相位为 -115° 左右, 即与 A 相之间相位减小 5° 左右, C 点电压相位故障后为 120° , 基本不变。

根据上述的三相电压在故障时幅值和相位变化, 通过 CAD 软件作图展开进一步确认。即以故障时刻的 A、B、C 三相电压幅值为半径作圆, 3 个圆的交点即为故障后新的偏移中性点 O' , 如图 6。根据前面原理分析可知, 新的中性点在以故障相为直径的圆轨迹上, 通过故障前的三相电压幅值为直径作圆确定偏移后的新的中性点落在哪个圆上, 该相即为故障相。

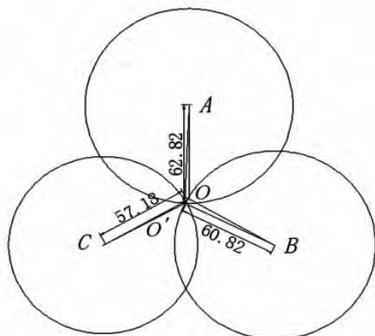


图 6 故障后新的偏移中性点 O'

如图 7 所示 (AO 、 BO 、 CO 为故障前, AO' 、 BO' 、 CO' 为故障后), 结合图 4 和图 5 综合分析, 发现新的中性点 O' 在以 B 相电压为直径的圆轨迹上, 故可判断为 B 相经高阻抗接地。

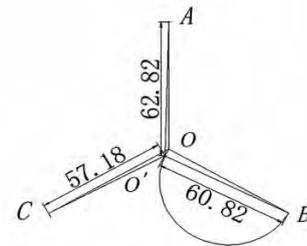


图 7 1 号高压厂用变压器低压侧电压圆轨迹分析

3 结 语

通过作出不接地系统单相接地故障时的零序等效电路图, 由向量分析, 结合数学公式推导证明了不接地系统发生单相接地故障时, 新的中性点会在以故障相为直径的圆轨迹上, 得出故障相的电压不一定最小的结论。在实际一起事故案例中, 运用所得结论并结合 CAD 软件作图准确快速地判断出故障相, 为实际现场事故分析提供一种新的分析思路。

参考文献

[1] 黄涛, 陈禾. 中性点不接地系统高阻接地故障的特点及判别 [J]. 广东电力, 2008, 21(10): 32-34.

作者简介:

李 飞 (1992), 男, 助理工程师, 从事发电厂继电保护相关工作。 (收稿日期: 2020-05-26)

(上接第 52 页)

[3] 陈刚, 于纪利. 一种城市轨道交通牵引供电系统短路试验的解决方案 [J]. 铁道标准设计, 2014, 58(6): 133-136.
[4] 王军, 翁创业. 直流牵引供电系统短路试验浅析 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2011, 34(4): 64-66.
[5] 城市轨道交通直流牵引供电系统: GB/T 10411—2005 [S], 2005.

[6] 黄海浪. 大连地铁直流牵引供电系统保护配置及整定研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2013(3): 93-95.
[7] 高云霞. 直流牵引供电系统继电保护整定计算方法 [J]. 电气化铁道, 2011(4): 40-42.

作者简介:

柳 鑫 (1984), 男, 工程师, 目前主要从事轨道交通直流供电系统设计。 (收稿日期: 2020-05-22)