

消弧线圈接地系统的单相接地选线研究

罗建¹, 何建军², 王官洁¹

(1. 重庆大学电气工程学院, 重庆 400044; 2. 重庆市电力公司, 重庆 400014)

摘要: 就消弧线圈接地系统的接地选线问题, 论文进行了详尽的分析和研究, 特别是推出了专利(200510020427.9)提出的单相接地选线方法, 该方法采用瞬变信号正弦逼近方法求取线路零序电流的瞬时幅值和瞬时初相位, 实现了基于单相接地瞬间暂态特征的接地选线原理和基于消弧线圈补偿特征的接地选线原理, 其选线适应性强和选线准确率高, 是一种在原理上和实现方法上都理想的消弧线圈接地系统接地选线方法。论文还给出了该方法在现场应用中的接地选线结果。

关键词: 消弧线圈接地系统; 单相接地; 接地选线

Research on fault line selection in network grounded with arc extinguishing coil

LUO Jian¹, HE Jian-jun², WANG Guan-jie¹

(1. Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Chongqing Electric Power Co., Chongqing 400014, China)

Abstract: In order to cope with the problem of fault line selection in network grounded with arc extinguishing coil, a technique of fault line selection presented in literature [4] is exhibited. Calculating the instantaneous amplitude and instantaneous initial phase by sinusoid approximation of instantaneous signal, the technique of fault line selection based on instantaneous transient character and compensating character is realized. Applied results show that the technique is fine in adaptability and accuracy of fault line selection, so it is perfect in theory and implementation. Some results of practical fault line selection are given in this paper.

Key words: network grounded with arc extinguishing coil; a single-phase grounding fault; fault line selection

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)04-0001-04

0 引言

配网系统中性点经消弧线圈接地已在我国广泛应用, 其优点是众所周知的。但是, 由于消弧线圈接地系统的单相接地选线的困难性, 使消弧线圈接地方式在配网系统的应用遭遇了障碍。目前, 消弧线圈接地系统的单相接地选线方法主要有两类, 一类是通过改变消弧线圈回路参数来获取接地故障特征的方法; 另一类方法不通过改变消弧线圈回路参数, 只依据单相接地时的自身接地故障特征。第一类方法应用得最多的是单相接地时在消弧线圈旁并接电阻, 以改变接地故障线路的零序电流, 通过检测各线路零序电流的改变实现接地故障线路的选择。虽然这种单相接地选线方法具有较高的选线正确率, 但也存在如下的不足:

1) 需要增加电阻及相应的开关控制设备, 加大了设备成本, 且电阻的开关控制设备是系统运行的薄弱环节;

2) 消弧线圈并接电阻后, 其故障线路接地点电流将大幅增加, 影响系统的运行安全;

3) 消弧线圈并接电阻是在判断系统稳定单相接地后进行的, 其接地选线时间一般大于 5 s, 对小于 5 s 的瞬时单相接地, 通常不能反应。

第二类方法不存在以上第一类方法的不足, 但由于选线原理和实现手段的缺陷, 其大多数单相接地选线方法的选线正确率是较低的。目前这类方法中最有潜力的是依据单相接地瞬间暂态特征的选线方法。下面就依据单相接地瞬间暂态特征的接地选线方法进行介绍。

1 瞬间暂态特征的接地选线原理

在消弧线圈接地系统未接地时, 由于系统三相电压基本上是对称的, 其不对称产生的中性点零序电压较小, 消弧线圈上的零序接地电流较小。在消弧线圈接地系统单相接地瞬间, 由于消弧线圈上电流不能跳变, 其接地瞬间的故障线路零序接地电流流向母线, 即接地瞬间的故障线路零序电流与非故障线路零序电流反向, 且接地瞬间的故障线路零

序电流幅值最大,近似为非故障线路零序电流之和。随着消弧线圈上电流的增加,故障线路零序接地电流逐渐减小,若消弧线圈处于欠补偿状态,则故障线路零序接地电流最后减小到补偿后的稳态值,故障线路零序接地电流从线路流向母线;若消弧线圈处于临界补偿状态,则故障线路零序接地电流最后减小到零;若消弧线圈处于过补偿状态,则故障线路零序接地电流最后变到补偿后的稳态值,故障线路零序接地电流从流向母线转为流向线路。

从上面分析可知,在消弧线圈接地系统单相接地瞬间,最显著的故障特征是故障线路零序电流与非故障线路零序电流反向,故障线路零序电流近似为非故障线路零序电流之和。只要能通过不同的手段可靠获取单相接地瞬间的以上故障特征,就可判断出接地故障线路。显然,为了可靠选择接地故障线路,关键的问题是如何获取单相接地瞬间的故障特征,即如何获取接地瞬间的线路零序电流方向和线路零序电流幅值。

通过数百次的现场实际单相接地录波波形的分析,发现消弧线圈的补偿过程可在单相接地发生的5 ms内完成,也就是在单相接地发生的5 ms内,故障线路零序电流从流向母线转为流向线路(消弧线圈补偿电流大于非故障线路零序电流之和的情况),故障线路零序电流减小到零(消弧线圈补偿电流等于非故障线路零序电流之和的情况)。由此可看出,要获取单相接地瞬间的故障特征,必须要在单相接地发生的瞬间时刻获取线路零序电流方向和线路零序电流幅值。

为了达到在单相接地发生的瞬间时刻就获取线路零序电流方向和线路零序电流幅值的目的,应解决以下两个问题。一是解决单相接地发生瞬间时刻的捕捉问题,二是解决单相接地发生瞬间时刻的线路零序电流方向和线路零序电流幅值的获取问题。

解决单相接地发生瞬间时刻的捕捉问题,就是提高单相接地故障启动的灵敏度问题。显然,现有的通过零序电压幅值来进行单相接地故障启动的灵敏度是不高的,特别是在接地相电压过零点发生接地的情况下,其灵敏度更加不高。为了提高单相接地故障启动的灵敏度,文献[4]提出了一种应用自适应正弦滤波器来进行单相接地故障启动的方法,其单相接地故障启动的误差时间小于1 ms。

考虑到消弧线圈补偿的特征,采用现有的快速傅立叶变换(FFT)算法来求取单相接地发生瞬间时刻的线路零序电流方向和线路零序电流幅值是不恰当的。采用小波变换算法可求出单相接地发生瞬间时刻线路零序电流的极性和模值,求出的线路零

序电流的极性和模值可表征线路零序电流的方向和幅值。但是,在线路只有两条时,线路零序电流的极性已不能表征线路零序电流的方向。另外,小波变换算法还易受干扰的影响。文献[4]提出了一种应用瞬变信号正弦逼近方法求取线路零序电流的瞬时初相位和瞬时幅值的方法,该方法利用线路零序电流的瞬时初相位与母线零序电压的稳态初相位之间的相位差来表征单相接地发生瞬间时刻线路零序电流的方向,利用线路零序电流的瞬时幅值来表征单相接地发生瞬间时刻线路零序电流的幅值。显然,该方法可确定两条线路的零序电流方向,这已被实验室数千次的实验所验证。由于瞬变信号正弦逼近方法具有很强的抗干扰能力,该方法能在实际的现场运行环境中具有很高的稳定性,这也在多年的实际现场运行中所验证。

在获取了单相接地发生瞬间时刻的线路零序电流的方向和幅值后,通过对每条线路的零序电流方向和幅值进行综合比较,就可判断选择出接地故障线路。

对于单相接地瞬间的故障线路零序电流远大于非故障线路零序电流的情况(对大多数电缆线路多的变电站是适合的),应用单相接地发生瞬间时刻的线路零序电流幅值进行选线是相当理想的,其选线准确率从原理上讲应为100%。

对于单相接地瞬间的故障线路零序电流与非故障线路零序电流相差不显著的情况,应采用单相接地发生瞬间时刻的线路零序电流方向进行选线,只要单相接地发生瞬间时刻线路零序电流方向的获取是可靠的,其选线准确率应为100%。

实际上,单相接地发生瞬间时刻线路零序电流方向的可靠获取不仅是求取方法的问题,还涉及到现场零序电流互感器的安装极性问题,而现场零序电流互感器的安装极性是一个极不易解决的问题。由此看出,在现场零序电流互感器安装极性不一致的情况下,采用单相接地发生瞬间时刻的线路零序电流方向进行选线是不理想的。针对这一难解决的问题,文献[4]提出了一种基于消弧线圈补偿特征的接地选线方法。

2 消弧线圈补偿特征的接地选线原理

由上面分析可知,在消弧线圈补偿阶段,故障线路零序电流一定有个幅值减小的过程,在消弧线圈调节得当的情况下,补偿后的稳态故障线路零序电流幅值应远小于接地发生瞬间时刻的故障线路零序电流幅值;对于消弧线圈补偿电流大于非故障线路零序电流之和的情况,故障线路零序电流一定会

从流向母线转为流向线路。以上就是消弧线圈补偿阶段从故障线路观察到的补偿特征, 显然, 非故障线路上没有补偿特征出现。若能从线路上检测到消弧线圈的补偿特征, 则这条线路就是接地故障线路。

由于配网中的消弧线圈通常都调节到过补偿状态, 通常情况下, 故障线路零序电流方向会出现反向的特征, 因此, 基于消弧线圈补偿特征的接地选线方法具有很高的选线准确率, 且不受困于现场零序电流互感器的安装极性。

虽然基于消弧线圈补偿特征的接地选线方法是一种理想的消弧线圈接地系统接地选线方法, 但是要从线路上检测消弧线圈的补偿特征是困难的, 特别是检测零序电流方向反向的特征。这种困难性主要体现在消弧线圈的补偿过程有时相当短暂(小于 5 ms), 目前还没有很好的方法能在这短暂时间内检测出零序电流幅值和方向的变化。

文献[4]提出的应用瞬变信号正弦逼近方法求取线路零序电流的瞬时幅值和瞬时初相位的方法, 可以求取消弧线圈补偿过程中任意时间点的零序电流瞬时幅值和瞬时初相位。通过对消弧线圈补偿过程中每个采样点的零序电流瞬时幅值的检测, 就可观察零序电流幅值的变化过程, 若零序电流幅值有一个明显的减小过程, 则这条线路就是接地故障线路。通过对消弧线圈补偿过程中每个采样点的零序电流瞬时初相位与母线零序电压的稳态初相位之间相位差的检测, 就可观察零序电流方向的变化过程, 若零序电流方向有一个反向的过程, 则这条线路也是接地故障线路。

3 消弧线圈接地系统的现场接地选线结果

文献[4]提出的单相接地选线方法已在重庆市电力公司城区供电局消弧线圈接地配网系统应用多年, 其正确选线数已达上百次, 图 1~图 6 给出了其中的 6 次接地选线结果的录波图。

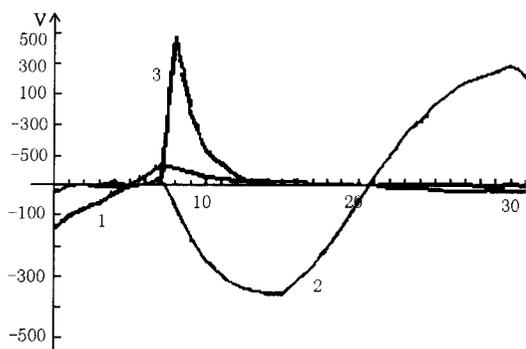


图 1 录波记录 1
Fig.1 Wave record 1

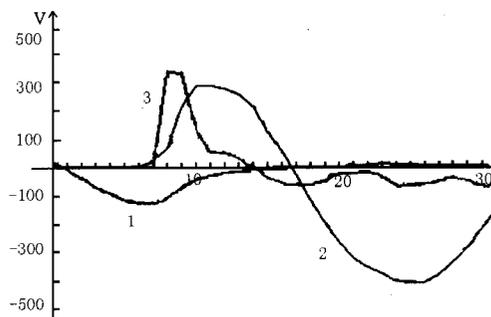


图 2 录波记录 2
Fig.2 Wave record 2

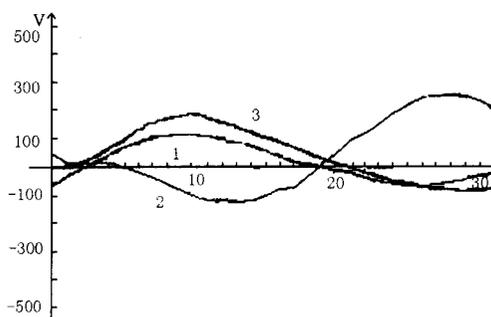


图 3 录波记录 3
Fig.3 Wave record 3

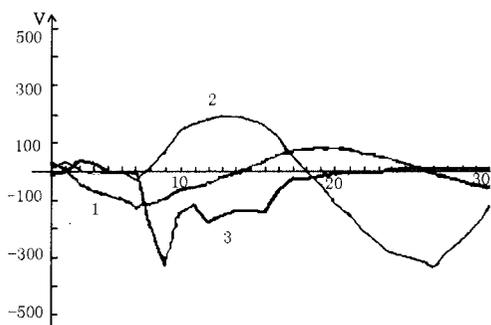


图 4 录波记录 4
Fig.4 Wave record 4

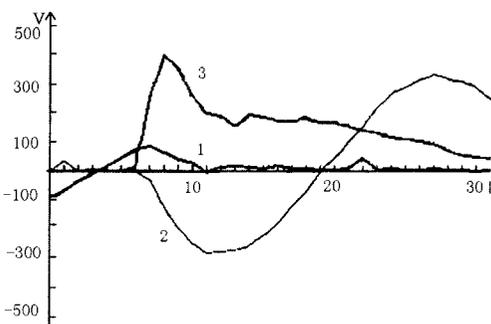


图 5 录波记录 5
Fig.5 Wave record 5

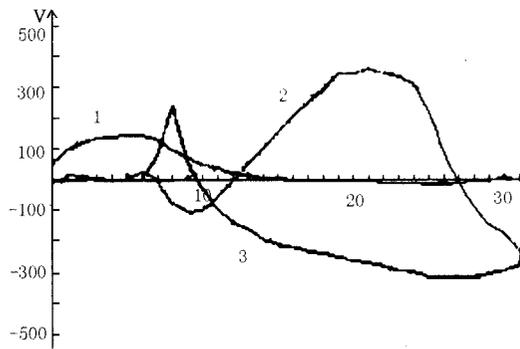


图6 录波记录6

Fig.6 Wave record 6

在图1~图6中,曲线1表示接地相电压,曲线2表示零序电压,曲线3表示零序电流,纵坐标为电压和电流的采样值,横坐标为采样点数表示的时间。采样频率为1600 Hz,即1个工频周期(20 ms)采样点数为32。

图1是储奇门变电站10 kV I段上619线在2006年9月5日4点10分5秒至9月5日4点10分49秒发生的C相瞬时接地的故障选线录波图。在图1中,接地故障线路零序电流只持续5个采样点(约3 ms),随后接地故障线路零序电流几乎被补偿到零。

图2是储奇门变电站10 kV II段上649线在2007年11月15日4点6分11秒至11月15日17点36分16秒发生的A相长时接地的故障选线录波图。在图2中,线路零序互感器的极性接反,消弧线圈的补偿特征明显。

图3是牛角沱变电站10 kV I段上614线在2006年9月14日7点27分7秒至9月14日7点27分15秒发生的A相瞬时接地的故障选线录波图。在图3中,零序电压上升缓慢,A相电压残压较大,且零序电流先于零序电压出现,消弧线圈处于欠补偿状态,这应是一次A相电阻接地。

图4是储奇门变电站10 kV I段上635线在2007年2月20日10点17分0秒至2月20日10点17分1秒发生的C相瞬时接地的故障选线录波图。在图4中,C相电压残压较大,消弧线圈的补偿过程接近半个工频周期(10 ms)。

图5是储奇门变电站10 kV I段上613线在2007年1月25日22点19分52秒至1月25日22点38分44秒发生的A相接地的故障选线录波图。在图5中,消弧线圈的补偿过程已超过半个工频周期(10 ms)。

图6是储奇门变电站10 kV II段上632线在

2006年9月6日15点9分19秒至9月6日15点9分56秒发生的C相瞬时接地的故障选线录波图。在图6中,消弧线圈处于严重的过补偿状态,其补偿电流已远远超过接地电容电流。

4 结论

就消弧线圈接地系统的接地选线问题,论文进行了详尽的分析和研究,特别是推出了文献[4]提出的单相接地选线方法,该方法采用瞬变信号正弦逼近方法求取线路零序电流的瞬时幅值和瞬时初相位,实现了基于单相接地瞬间暂态特征的接地选线原理和基于消弧线圈补偿特征的接地选线原理,其选线适应性强和选线准确率高,是一种在原理上和实现方法上都理想的消弧线圈接地系统接地选线方法。论文还给出了该方法在现场应用中的接地选线结果。

参考文献

- [1] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.
HE Jia-li, SONG Cong-ju. The Protection Principle in Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [2] 齐郑,杨以涵. 中性点非有效接地系统单相接地选线技术分析[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(14):5-9.
QI Zheng, YANG Yi-han. Analysis of Technology of Fault Line Selection for Single-phase-to-earth Faults in Neutral Point Non-effectively Grounded System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(14):5-9.
- [3] 薛永端,徐丙垠,杜景远. 谐振接地系统接地故障选线技术分析[J]. 电力设备, 2007, 8(11):10-15.
XUE Yong-duan, XU Bing-yin, DU Jing-yuan. The Technology Analysis of Earth Fault Protection in Resonant Grounded System[J]. Electrical Equipment, 2007, 8(11):10-15.
- [4] 罗建,何建军,赵宏伟,等. 消弧线圈接地系统接地故障线路选择方法[P]. 200510020427.9
LUO Jian, HE Jian-jun, ZHAO Hong-wei, et al. The Method of Fault Line Selection for Single Phase-to-earth in Network Grounded with Arc Extinguishing Coil[P]. 200510020427.9

收稿日期: 2008-12-10

作者简介:

罗建(1960-),男,博士,研究方向为电力系统继电保护及自动化; E-mail:luojian10000@x263.net

何建军(1972-),男,博士,从事电力系统自动化方面的研究;

王官洁(1942-),男,教授,研究方向为电力系统运行与控制。