

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2021.02.026

主动干预式消弧装置故障选线方法

郝越峰

(贵州电网有限责任公司贵阳供电局, 贵阳 550001)

摘要: 主动干预式消弧装置具有很强的消弧能力,是一种有效的消弧手段;中性点不接地系统运行稳定性好,但是主动干预式消弧装置在中性点不接地系统中的故障选线准确率还有待提升。针对主动干预式消弧装置在中性点不接地系统中的选线难题,分析主动干预式消弧技术原理,考虑零序电流幅值、相位特性,提出了基于零序电流矢量差的故障选线方法。在PSCAD/EMTDC平台上进行故障仿真分析,结果证明了所提出选线方法的准确性。

关键词: 主动干预消弧; 故障选线; 中性点不接地系统; 零序电流

Fault Line Selection Method of Active Interference Arc Suppression Device

HAO Yuefeng

(Guiyang Power Supply Bureau of Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang 550001, China)

Abstract: Active Interference Arc Suppression Device (AIASD) has strong arc suppression ability and is an effective arc suppression method. Isolated neutral system has good operation stability, however, the fault line selection accuracy of AIASD in isolated neutral system still needs to be improved. Aiming at the fault line selection problem of AIASD in isolated neutral system, the principle of AIASD is analyzed and the characteristics of zero-sequence current amplitude and phase are considered, and the fault line selection method based on vector difference of zero-sequence current is proposed. Fault simulation analysis is conducted on PSCAD/EMTDC, and the results prove the accuracy of the proposed method.

Key words: active interference arc suppression; fault line selection; isolated neutral system; zero-sequence current

0 引言

目前中国配电网主要采用消弧线圈接地、小电阻接地和中性点不接地3种不有效接地运行方式^[1],由于消弧线圈有利于消除故障电弧和故障过电压,目前消弧线圈接地是应用最广泛的方式^[2-3]。但是由于消弧线圈补偿影响等原因,目前故障选线正确率有待提升,尤其是谐振接地故障情况下的选线正确率还较低^[4-5],接地运行方式需要进一步优化。中性点不接地系统的带故障允许运行时间长,可以有效规避瞬时性故障对系统造成损害,在可靠性方面具有优势,是一种有很高应用价值的技术。中性点不接地系统的故障电流较小,这在降低故障危害的

同时也很大程度上提升了故障选线定位的难度,对于永久性故障难以及时定位、快速清除,不利于提升供电可靠性和供电质量^[6-7]。

面向中性点不接地系统的故障选线和故障消弧技术是打破制约中性点不接地系统稳定运行瓶颈的关键,目前在这方面已经有了许多研究成果。故障选相技术方面,已经提出了注入信号法^[8]等主动故障选线技术和零序电流幅值^[9]、群体比幅比相法^[10]、零序无功功率方向法^[11]等被动式选线方法。故障消弧方面,提出了故障电流补偿法等电流型消弧技术和电压型消弧技术。其中,采用接地开关在故障相构建金属性接地,将故障电流转移至消弧装置的主动干预式消弧技术是一种高效、可行的消弧

手段^[12]。主动干预式消弧技术目前应用还不够成熟,文[13]中提出了切实可行的主动干预式消弧装置的故障选相方法,但是基于主动干预式消弧技术的故障选线方法还存在不足之处,是需要解决的重点问题。

针对主动干预式消弧技术,文中分析了消弧装置的原理,研究并提出了一种新型故障选线方法,并通过仿真对所提出的选线方法进行了分析、验证。结果证明所提出的选线方法具有很好的准确性,能够有效提升配电网的运行稳定性。

1 主动干预式消弧技术说明

1.1 基本原理

如果配电网采用中性点不接地方式运行,在发生单相接地故障时,故障会产生较大的故障电流,故障电流方向为由接地处流向线路^[14];对于非故障相和故障相的非故障线路,故障电流幅值较小,方向为由线路经线路接地电容流向大地^[15]。发生单相接地故障但主动干预式消弧装置未动作时的故障电流情况见图1,此时线路a、b的各相开关都为闭合状态,消弧装置接地开关全部为断开状态。

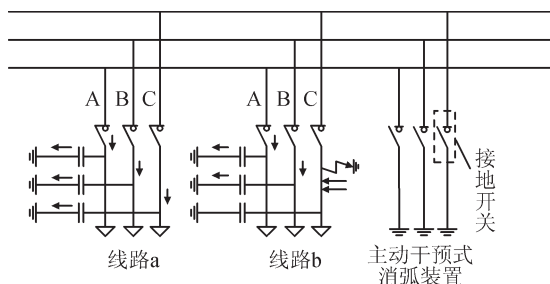


图1 消弧装置动作前故障电流

Fig. 1 Fault current before arc suppression device action

在主动干预式消弧装置准确判定故障相后,装置将闭合故障相的接地开关,人为造成一个稳定的金属性接地,故障相将与大地等电势,从而实现消弧。装置动作后的故障电流情况见图2,此时消弧装置C相接地开关闭合,由于接地开关电阻很小,因此故障电流通过接地开关构成回路;C相电压与大地等电势,故障点电弧熄灭。

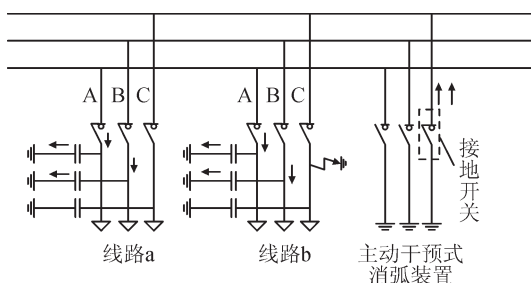


图2 消弧装置动作后故障电流

Fig. 2 Fault current after arc suppression device action

在熄灭电弧后,消弧装置需要判定故障线路,精确定位故障位置,从而能够精确切除故障,完成故障处理的全部流程。完成故障选线并切除故障后消弧装置的动作情况见图3,此时线路b被完全切除,消弧装置接地开关全部打开,线路a恢复正常运行。主动干预式消弧装置的完整工作流程见图4,文中针对故障选线环节进行研究,提出了高效可靠的故障选线方法。

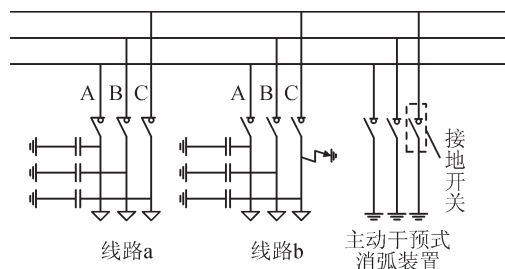


图3 故障切除后消弧装置动作情况

Fig. 3 Action of arc suppression device after fault removal

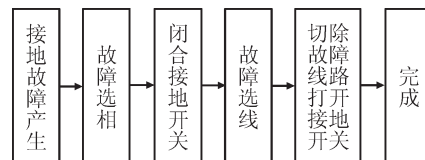


图4 主动干预式消弧装置工作流程

Fig. 4 Work flow of active intervention arc suppression device

1.2 技术评价

主动干预式消弧技术具有以下特性。首先,主动干预式消弧装置故障电流开断能力强,能够适应越来越大的故障电流开断需求。其次,能够主动引导故障电流改变方向,和被动式消弧技术相比,选线准确率更高。此外,采用基波作为主动消弧的选线判定指标能够减小线路参数和运行情况的影响,在提升选线准确度的同时降低设备成本。

2 基于零序电流矢量差的选线方法

2.1 选线方法原理

传统采用零序电流幅值进行故障线路判定的方法容易受到三相不平衡的影响导致选线错误^[16-20],文中所提出方法综合考虑零序电流的幅值和相位,采用矢量差作为选线依据,比单纯依靠零序电流幅值有更高的可靠性。

消弧装置接地开关合闸前,故障线路故障相电容电流幅值为系统中所有线路的电容电流之和;接地开关合闸后故障线路故障相电容电流仅为自身线路的电容电流,幅值有较大变化^[21-23]。并且,接地开关合闸前后故障线路电流方向反向,非故障线路电流方向保持不变^[24]。因此,综合考虑相位、幅值,采用矢量差作为依据在理论上是可行的^[25]。

表1 仿真电路参数表

Table 1 Table of simulation circuit parameters

线路	正序电阻 $r_1/$ ($\Omega \cdot \text{m}^{-1}$)	正序电抗 $x_1/$ ($\Omega \cdot \text{m}^{-1}$)	正序电容 $b_1/$ ($\text{M}\Omega \cdot \text{m}^{-1}$)	零序电阻 $r_0/$ ($\Omega \cdot \text{m}^{-1}$)	零序电抗 $x_0/$ ($\Omega \cdot \text{m}^{-1}$)	零序电容 $b_0/$ ($\text{M}\Omega \cdot \text{m}^{-1}$)	线路长度 l/m
线路a	3.5×10^{-5}	75.4×10^{-5}	4.304	72.4×10^{-5}	0.002 456	1.43	500
线路b	3.5×10^{-5}	75.4×10^{-5}	4.304	72.4×10^{-5}	0.002 456	1.43	500
线路c	3.5×10^{-5}	75.4×10^{-5}	4.304	72.4×10^{-5}	0.002 456	1.43	1 000
线路d	3.5×10^{-5}	75.4×10^{-5}	4.304	72.4×10^{-5}	0.002 456	1.43	500

表2 仿真分析结果

Table 2 Results of simulation analysis

故障位置	过渡电阻/ Ω	合闸前电流		合闸后电流		矢量差幅值/A		选线结果
		线路a	线路b	线路a	线路b	线路a	线路b	
线路b	金属性	$6.67 \angle 28.8^\circ$	$33.31 \angle -151.2^\circ$	$6.67 \angle 28.8^\circ$	$38.57 \angle -52.5^\circ$	0.00	54.64	正确
线路b	10	$6.65 \angle 25.3^\circ$	$33.25 \angle -154.8^\circ$	$6.67 \angle 29.0^\circ$	$6.70 \angle 22.3^\circ$	0.43	39.94	正确
线路b	100	$5.63 \angle -3.3^\circ$	$28.16 \angle 176.7^\circ$	$6.67 \angle 29.0^\circ$	$6.67 \angle 28.1^\circ$	3.56	34.03	正确
线路b	500	$2.01 \angle -43.4^\circ$	$10.07 \angle 136.5^\circ$	$6.67 \angle 28.9^\circ$	$6.67 \angle 28.6^\circ$	6.35	13.68	正确

4 结语

文中针对采用中性点不接地运行方式的配电网系统,研究了主动干预式消弧装置的故障选线方法。考虑到基于零序电流幅值和基于零序电流相位的选线方法的不足之处,提出了同时综合考虑零序电流幅值和相位的零序电流矢量差选线方法。并通过仿真分析验证了所提出选线方法的准确性和有效性,该方法能够提升主动干预式消弧装置的选线可靠性,有助于主动干预式消弧技术的应用推广和配电网运行稳定性的提升。

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] 徐栋杰. 中性点不接地配电系统中主动干预式消弧方法与技术[D]. 广州:华南理工大学,2019.
XU Dongjie. Active intervention arc suppression method and technology in neutral point ungrounded distribution system[D]. Guangzhou:South China University of Technology,2019.

[3] 王振浩,佟林,李赫,等. 66 kV 中压配电网中性点位移电压产生机理及有源抑制方法[J]. 电力系统保护与控制,2020,48(4): 11-21.
WANG Zhenhao, TONG Lin, LI He, et al.66 kV medium voltage distribution network neutral displacement voltage generating mechanism and active suppression method[J].

Power System Protection and Control,2020,48(4): 11-21.

[4] 周志成,付慧,凌建,等. 消弧线圈并联中阻选线的单相接地试验及分析[J]. 高电压技术,2009,35(5): 1054-1058.
ZHOU Zhicheng, FU Hui, LING Jian, et al. Single phase-to-earth test and analysis for the fault line selection under arc-suppression coil parallel connecting the mid-resistance [J]. High Voltage Engineering,2009,35(5): 1054-1058.

[5] 徐铭铭,高淑萍,常仲学,等. 基于模型识别的消弧线圈接地系统单相接地选线方法[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(2):73-78.
XU Mingming, GAO Shuping, CHANG Zhongxue, et al. Model recognition based single-phase earthed faulty line selection method of Petersen coil grounded system[J]. Power System Protection and Control,2018,46(2): 73-78.

[6] 张利,杨秀媛,王丽婕,等. 中性点不接地系统单相接地故障定位方法[J]. 电网技术,2017,41(12):4069-4076.
ZHANG Li, YANG Xiuyuan, WANG Lijie, et al. Fault location of single-phase-to-ground in neutral point ungrounded system[J]. Power System Technology, 2017, 41(12): 4069-4076.

[7] 胡长金,任正某,黄棋悦,等. 基于全电磁仿真的榆林110 kV 系统中性点接地方式研究[J]. 智慧电力,2018,46(1):83-87.
HU Changjin, REN Zhengmou, HUANG Qiyue, et al. Research on neutral point grounding method for Yulin 110 kV grid based on full-wave electromagnetic simulation[J]. Smart Power,2018,46(1): 83-87.

[8] 张利,杨以涵,杨秀媛. 配电网离线故障定位方法研究与实现[J]. 电力系统自动化,2009,33(1):70-74.
ZHANG Li, YANG Yihan, YANG Xiuyuan. Research and implementation of off-line fault location for distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(1): 70-74.

- [9] 张乃刚,张加胜,郑长明,等. 基于零序电流幅值分布相似性的小电流接地故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(13):120-125.
ZHANG Naigang, ZHANG Jiasheng, ZHENG Changming, et al. Fault section location based on similarity of zero sequence current amplitude distribution in non-solidly-earthed network[J]. Power System Protection and Control, 2018,46(13):120-125.
- [10] 王彦文,刘文军,高彦,等. 基于零序电流群体比幅比相的选择性漏电保护新方案[J]. 煤炭学报,2010,35(3):515-519.
WANG Yanwen, LIU Wenjun, GAO Yan, et al. New selective earth leakage protection scheme based on zero-sequence current amplitude and phase comparison[J]. Journal of China Coal Society, 2010,35(3):515-519.
- [11] 赵凤贤,闫钊,孙丽颖. 基于暂态零序无功功率的小电流系统单相接地选线[J]. 继电器,2007(s1):59-62.
ZHAO Fengxian, YAN Tian, SUN Liying. Zero sequence transient reactive power for a single-phase-earth feeder on non-solid distribution[J]. Relay, 2007(s1):59-62.
- [12] 艾绍贵,李秀广,黎炜,等. 配电网快速开关型消除弧光接地故障技术研究[J]. 高压电器,2017,53(3):178-184.
AI Shaogui, LI Xiuguang, LI Wei, et al. Arc suppression technology based on fast switch for distribution network[J]. High Voltage Apparatus, 2017,53(3):178-184.
- [13] 徐栋杰,刘文泽,李晓华. 开关型消弧装置的故障选相及选线方法[J]. 广东电力,2019,32(1):125-131.
XU Dongjie, LIU Wenzhe, LI Xiaohua. Fault phase selection and line selection methods for switch-type arc suppression devices[J]. Guangdong Electric Power, 2019,32(1):125-131.
- [14] 张耀锋. 单相接地故障选线 Simulink 仿真分析[J]. 电子测试,2020(17):45-47.
ZHANG Yaofeng. Simulation analysis of single phase to ground fault line selection based on simulink[J]. Electronic Testing, 2020(17):45-47.
- [15] 张磊. 配电网单相接地故障选线策略研究[J]. 电力设备管理,2020(6):59-60.
ZHANG Lei. Research on single-phase grounding fault line selection strategy of distribution network[J]. Power Equipment Management, 2020(6):59-60.
- [16] 吴秀全,张水平. 小电流接地系统单相故障的改进小扰动选线法[J]. 广东电力,2015,28(4):86-90.
WU Xiuquan, ZHANG Shuiping. Improved microvariations line selection method for single phase fault of low current grounding system[J]. Guangdong Electric Power, 2015, 28(4):86-90.
- [17] 薛颢,李延军,程虎. 一种利用零序功率方向的小电流接地系统单相接地故障选线判据[J]. 广东电力,2018,31(4):132-138.
XUE Hao, LI Yanjun, CHENG Hu. Criterion for single-phase grounding fault line selection for small current grounding system by using zero sequence power direction[J]. Guangdong Electric Power, 2018,31(4):132-138.
- [18] 罗俊元,周善有,唐兴强,等. 配电网接地故障选线装置研究及设计[J]. 电力设备管理,2020(4):149-150.
LUO Junyuan, ZHOU Shanyou, TANG Xingqiang, et al. Research and design of ground fault line selection device for distribution network[J]. Power Equipment Management, 2020(4):149-150.
- [19] 林文钦,孙东,高金龙,等. 小电流接地系统单相接地故障选线装置测试方法综述[J]. 东北电力大学学报,2019,39(3):52-58.
LIN Wenqin, SUN Dong, GAO Jinlong, et al. A survey on faulty line selection device test methods for single-phase grounded transmission line in small current neutral grounded system[J]. Journal of Northeast Electric Power University, 2019,39(3):52-58.
- [20] 田维青. 新应用场景下小电流接地选线技术研究[J]. 应用能源技术,2019(5):44-49.
TIAN Weiqing. Research on the technology of small current grounding under new application condition[J]. Application of Energy Technology, 2019(5):44-49.
- [21] 刘健,张志华,李云阁,等. 基于故障相接地的配电网单相接地故障自动处理[J]. 电力系统自动化,2020,44(12):169-180.
LIU Jian, ZHANG Zhihua, LI Yunge, et al. Automatic processing of single-phase grounding fault in distribution network based on fault phase grounding[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020,44(12):169-180.
- [22] 陈丽丹. 小电流接地系统接地选线的研究[J]. 电工技术,2020(14):97-98.
CHEN Lidan. Research on grounding line selection of small current grounding system[J]. Electrical Technology, 2020(14):97-98.
- [23] 李焱,李颖峰. 小电流接地选线准确性影响因素分析[J]. 电工技术,2020(14):89-90.
LI Yan, LI Yingfeng. Analysis of factors influencing the accuracy of small current grounding line selection[J]. Electrical Technology, 2020(14):89-90.
- [24] 庞杰,郭培源,王明文,等. 小电流接地系统选线装置部分影响因素的测定方法[J]. 农村电气化,2020(4):22-25.
PANG Jie, GUO Peiyuan, WANG Mingwen, et al. Measuring method of influential factor related to wire selection device part in small current earthing system[J]. Rural Electrification, 2020(4):22-25.
- [25] 贺中华. 小电流接地选线装置误动作原因分析及整改措施[J]. 电工技术,2020(3):114-115.
HE Zhonghua. Cause analysis and corrective measures of a small current grounding line selection device[J]. Electrical Technology, 2020(3):114-115.
- 郝越峰(1986—),男,硕士研究生,工程师,研究方向为配电中性点接地系统保护与控制、变电一次设备检修与试验(E-mail:309874696@qq.com)。