

基于电压-时间型重合器的配电网单相接地故障自动隔离技术研究

齐 郑¹, 高玉华¹, 孙海新², 邕小梅², 赵晓东³, 张 衡⁴

(1. 华北电力大学电气与工程学院, 北京 102206; 2. 沧州供电公司, 河北 沧州 061000;
3. 内蒙古超高压供电局, 内蒙古 呼和浩特 010080; 4. 宁夏电力调度中心, 宁夏 银川 750001)

摘要: 提出了利用选线装置与电压-时间型线路重合器相配合, 实现单相接地故障自动隔离与非故障区段自动恢复供电的新技术。讨论了选线装置与电压-时间型线路重合器的配合工作方式, 通过第一次重合闸确定故障区段, 通过第二次重合闸隔离故障区段。该技术能够快速选出故障线路并隔离该故障区段, 有利于故障快速消除, 提高系统运行的安全性、可靠性, 同时为快速准确的故障定位创造条件。现场的实际运行充分验证了该技术的正确性与可行性。

关键词: 小电流接地系统; 单相接地故障选线; 电压-时间型重合器; 重合闸

Technology research of fault automatic isolation in distributed single-phase-to-ground based on voltage-time type recloser

QI Zheng¹, GAO Yu-hua¹, SUN Hai-xin², QI Xiao-mei², ZHAO Xiao-dong³, ZHANG Heng⁴

(1. Department of Electric Power Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. Cangzhou Power Supply Corporation, Cangzhou 061000, China; 3. Mongolia EHV Power Supply Bureau, Hohhot 010080, China; 4. Ningxia Electric Power Dispatching Center, Yinchuan 750001, China)

Abstract: A new method is presented by combining fault line detection and automatic recloser to achieve single-phase grounding fault insulation and resume non-fault section automatically. This paper discusses conjunctive mode between fault line detection and automatic recloser, i.e. through recloser determining fault section firstly, and isolating fault section secondly. The method can select fault line and isolate fault section quickly. The method is beneficial to clear faults quickly, improve the security and reliability in the run, and also create condition of quick and exact fault location. Practical local operation verifies the correctness and feasibility of this method fully.

Key words: neutral indirect grounding system; single phase grounding fault detection; voltage-time type recloser; recloser

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)01-0032-05

0 引言

我国 6~35 kV 配电网多数采用中性点不接地或中性点经消弧线圈接地方式, 又称为小电流接地系统。目前规程要求小电流接地系统发生单相接地故障后允许在故障情况下继续运行 1~2 h, 但是在实际运行过程中, 由于非故障相电压升高, 极有可能造成故障扩大。如果中性点不接地或者消弧线圈的脱谐度过大, 电弧接地故障将引起更高的过电压, 严重威胁电网安全^[1]。文献[2]充分论证了快速切除故障的必要性, 并提出利用重合闸技术消除瞬时接地故障及限制过电压, 但是不足之处在于对于永久性接地故障, 一次重合闸失败将导致整条线路停电。

现在很多电网采用电压-时间型线路重合器^[3]解决线路短路故障隔离及非故障区段恢复供电, 其优点是不需要通信设备、结构简单, 而且故障隔离准确, 减小了故障定位难度。但是目前线路重合器只能解决短路故障, 而无法对更为常见的接地故障进行隔离。

本文提出了利用选线装置与电压-时间型线路重合器相配合, 实现单相接地故障自动隔离与非故障区段自动恢复供电的新技术, 通过第一次重合闸确定故障区段, 通过第二次重合闸隔离故障区段。该技术能够快速选出故障线路并隔离故障区段, 有利于故障快速消除, 提高系统运行的安全性, 同时为快速准确的故障定位创造条件。依据本文提出的

技术研制成的成套系统已投入现场运行, 现场的实际运行充分验证了技术的正确性与可行性。

1 系统运行原理

1.1 单相接地故障的隔离与恢复供电原理

电压-时间型线路重合器的工作原理是基于电压延时方式^[4], 无需通信设备, 下面举例说明一条线路不同位置发生单相接地故障后选线装置和重合器配合工作原理。

对于分段点位置的开关, 在正常工作时开关为常闭状态。当线路发生单相接地故障后, 选线装置动作引起断路器跳闸, 线路因故障失压时, 所有的开关都打开。在第一次重合后, 根据控制器设计的延时设置, 线路分段一级一级的投入, 直至投到故障段后线路再次跳闸, 故障区段两侧的开关因感受到故障电压而闭锁。当站内断路器再次合闸后, 正常区间恢复供电、故障区间通过闭锁而隔离。装置要求重合到故障线路后必须在电压型终端的 Y 时限 (5 s 或 10 s, 可设) 以内跳闸, 根据电压型设备的工作原理, 如超过该时限将不认为是故障, 不能正确隔离。

对于联络点位置的开关, 在正常时感受到两侧有电压时为常开状态, 当一侧电源失压时, 该联络开关开始延时进行故障确认, 延时时间整定值为故障侧线路完成对故障确定并闭锁的时间。在延时时间完成后, 联络开关投入, 后备电源向故障线路的故障后端正常区间恢复供电^[5]。

本套电压型馈线自动化设备与站内出线断路器实现二次重合闸配合使用, 第一次重合闸, 判定故障区间并闭锁故障线路前后开关, 第二次重合闸恢复故障前端正常线路的供电。

下面是一条环网线路的基本结构, CB1、CB2 分别为线路站 1 和站 2 的出线断路器, 线路上分别安装了分段开关 PVS“B”“C”“D”“E”“F”“G”, 其中除环网点开关“E”为常开开关外, 其余在正常工作时为常闭。这些开关的控制器具有延时设置键, 根据线路的状况, 分别将“B”“C”“D”“F”“G”的控制器延时设为 7 s、7 s、7 s、7 s、7 s, 表示当各级开关在感受到一端来电时, 通过上述的延时时间完成关合, 而环网点开关“E”的控制器延时时间设置为 45 s, (这个时间是在考虑远端 d 区段故障所需延时时间和一定的裕度时间)。

下面给出了当线路 c 区段发生单相接地故障时, 整条线路的工作过程。

① 在正常状态下, CB1、CB2 和除 PVS“E”以外的所有开关均关合。

② 故障发生在 c 段, 因单相接地引起断路器 CB1 跳闸, PVS“B”、PVS“C”、PVS“D”因失压而同时断开。这时, PVS“E”的控制器因感受到一侧掉电而开始计数。

③ 断路器 CB1 经过延时后重合闸, 开关顺序延时关合至 PVS“B”和“C”。

④ 当关至 PVS“C”时, 因再次关合至接地点引起线路再次跳闸。这时, PVS“C”和 PVS“D”因感受到其区间故障而闭锁。

⑤ CB1 通过再次重合闸, 顺序延时将正常区间恢复供电。

⑥ 环网点开关 PVS“E”在计时过程中始终未感到一方的供电, 因此, 在经过一定的延时后, 关合 PVS“E”, 由 CB2 给位于故障区间后端的正常区段 d 供电。

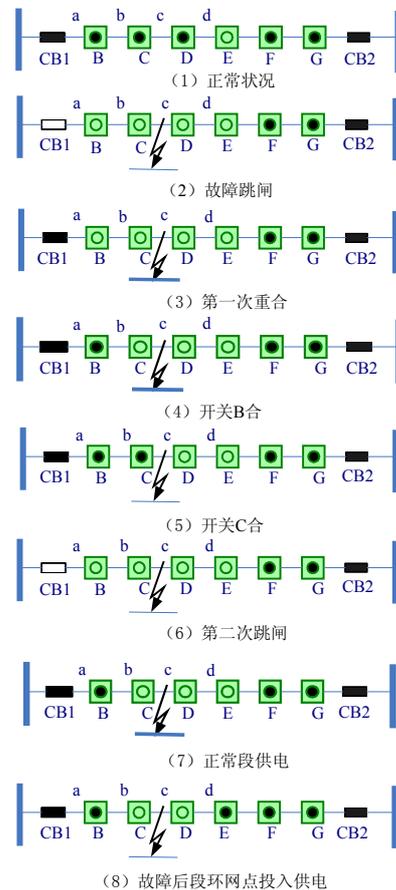


图 1 电压型馈线自动化设备的动作原理图

Fig.1 Operation principle of voltage-type feeder automation equipment

1.2 单相接地故障选线原理

本系统要求选线装置在 3 s 以内选出故障线路, 由于时间很短, 因此选线装置采用利用暂态信号的选线方法^[6]进行选线, 具体包括小波法、首半波法

和暂态能量函数法。

为了提高选线的正确性，选线装置采用粗糙集理论^[7-8]确定各个选线方法的有效域，对多种选线方法进行融合，极大地提高了选线的正确性。具体选线技术可以参见作者所在课题组发表的文献^[9-11]。

1.3 故障区段监测原理

根据上述的系统工作原理，我们在变电站增设一个监控终端，通过记录变电站内断路器的变位时间，配合线路分段的延时时间设定，判断出故障发生的区段。具体实现的方法如下：

如图 1，由于我们设定的是：在发生接地故障的毫秒级内选线装置选出故障线路；3 s 后选线装置发出跳闸信号，断开故障线路，这时监控装置开始计时；8 s 时断路器 CB1 重合，如果 11 s 时再次发生跳闸，说明是线路始端 a 段发生故障，CB1 将不再重合。监控器指示 a 段故障。

如果 11 s 时没发生跳闸，分段开关“B”“C”“D”的控制器将根据延时重合时间 7 s 依次重合。当重合到故障区段前的分段开关时，断路器 CB1 将跳闸。监控装置根据这个时间与开始计时之间的间隔即 $5+7 \times (n-1)$ 来进行判断区段，其中 n 为故障所在的区段数。

例如在图 1 中的线路 c 段发生单相接地故障，3 s 后选线装置发出跳闸信号，断开故障线路，监控装置开始计时；8 s 后断路器 CB1 重合的；“B”“C”分别在 15 s、22 s 闭合，22 s 时重合器重合到故障点，这时选线装置再次发出跳闸信号，监控装置根据这个时间间隔 19 s 来判断故障发生在线路 c 区段。

通过上述处理方式，可以自动完成故障区段的检测、判断、隔离，达到对非故障区段的迅速供电恢复，并迅速通知人员检修恢复，从而减小停电区间、缩短停电时间、提高供电可靠性。

2 电压型馈线自动化系统设备组成

系统设备包括一次设备和二次设备，一次设备由真空开关、电源变压器组成，安装于户外架空线路上；二次设备由接地选线装置和线路故障区段检测终端组成，安装于变电站内。

真空自动配电开关在电网来电或控制器发出合闸命令时，自动合闸；在电网掉电时无压释放，或控制器发出分闸命令时分开；在遇到故障时，控制器自动闭锁，使开关处于分闸状态。

电源变压器的主要作用是给开关和控制器提供操作电源和检测信号。

接地选线装置用于在小电流接地系统接地故障

发生后快速选线，并断开故障线路。

线路故障区段检测终端其负责故障线路的故障类型和故障区段的判断，清晰显示哪个区段的故障，同时把信息上传给后台系统。

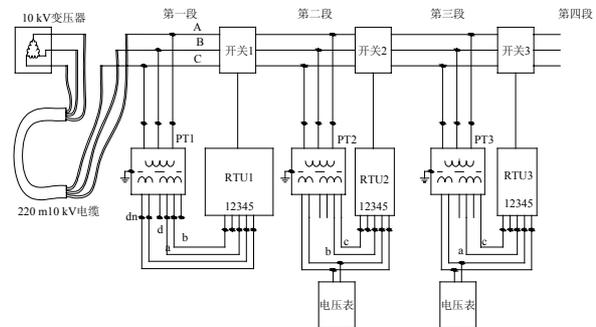


图 2 电压型馈线自动化系统结构图

Fig.2 Schematic diagram of feeder automation (FA) system controlled by voltage

3 现场应用情况

依据本文提出的技术研制成的成套系统已投入现场运行，通过对现场实际接地故障分析证明本文技术的正确性与可行性。

系统基本情况如图 3 所示，本系统是单电源系统。三套线路重合器将线路分为 A、B、C、D 四段，每段间距 3 km。

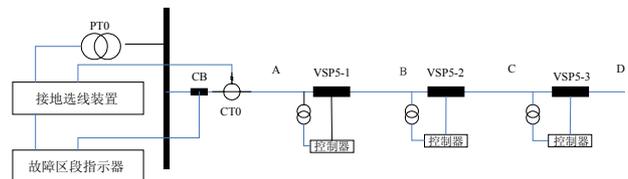


图 3 接地选线装置与重合器配合使用示意图

Fig.3 Schematic diagram of the cooperation of fault line-detection and automatic recloser

故障一：A 段发生金属性接地

10:04:55 发生接地，通过波形分析故障类型为单相金属性接地，接地故障前后各 20 ms 波形如图 4 所示。折算至一次侧的零序电压有效值为 5351 V，故障线零序电流 6.6 A，变电站的综自装置报警。

图中幅值最大的为母线零序电压，其余为线路零序电流，由图可见当前中性点运行方式为消弧线圈过补偿运行。

本次动作正确，动作过程为：(1) 10:04:55 接地发生，选线装置正确选线；(2) 10:04:58，选线装置发出跳闸信号，断开故障线路；(3) 10:05:03 断路器重合，原地点又发生接地故障（永久性故障），选线装置正确选线；(4) 10:05:06 选线装置发出跳闸信

号, 断开故障线路, 没有进行二次重合, 故障点被成功隔离。由此判断故障区段在 A 段, 选线装置及重合器动作正确, 与实际情况一致。

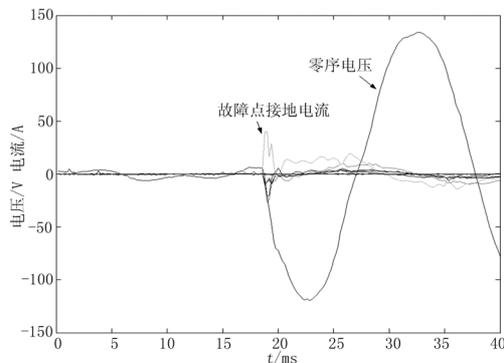


图 4 A 段金属性接地故障发生时电压电流波形

Fig.4 Waveform of voltage and current when single-phase ground arcing faults is happening in A-step

故障二: C 段发生高阻接地

13:17:10 发生接地, 通过波形分析故障类型为高阻接地, 接地故障前后各 20 ms 波形如图 5 所示。折算至一次侧的零序电压有效值为 2 800 V, 故障线零序电流 3.12 A, 变电站的综自装置报警。

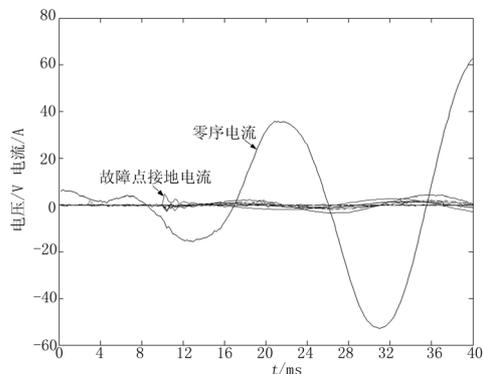


图 5 C 段经 1 k Ω 电阻接地故障时电压电流波形

Fig.5 Waveform of voltage and current when single-phase ground faults through resistance is happening in C-step

本次动作正确, 具体动作过程为: (1) 13:17:10 接地发生, 选线装置正确选线; (2) 13:17:13, 选线装置发出跳闸信号, 断开故障线路; (3) 13:17:18 断路器重合; (4) 13:17:32 因断路器重合于故障点所在 C 段, 选线装置正确选线; (5) 13:17:35 选线装置发出跳闸信号, 断开故障线路, 之后进行二次重合, 故障点被成功隔离。由此判断故障区段在 C 段, 选线装置及重合器动作正确, 与实际情况一致。

4 结语

本文提出了利用选线装置与电压-时间型线路

重合器相配合, 实现单相接地故障自动隔离与非故障区段自动恢复供电的新技术。讨论了选线装置与电压-时间型线路重合器的配合工作方式, 通过第一次重合闸确定故障区段, 通过第二次重合闸隔离故障区段。该技术能够快速选出故障线路并隔离故障区段, 有利于故障快速消除, 提高系统运行的安全性。同时减小停电区间、缩短停电时间、为快速准确的故障定位创造条件。现场的实际运行充分验证了该技术的正确性与可行性。但是本系统还有如下几个有待进一步研究的问题:

(1) 在本系统中没有装设分段开关的反馈线, 不能及时准确地掌握开关的状况, 在开关误动作时无法快速发现。

(2) 由于采用控制器延时的方法, 当故障发生在线路远端时, 正常线路恢复供电的时间比较长。给用户造成一定的不便。

参考文献

- [1] Hanninen S, Lehtonen M. Characteristics of Earth Faults in Electrical Distribution Networks with High Impedance Earthing[J]. Electric Power Systems Research, 1998,44(3):155-161.
- [2] 连肖白, 束洪春, 高峰. 小电流接地系统单相接地故障选线方法综述[J]. 电力系统保护与控制, 2001, 29(4):16-20.
XIAO Bai, SHU Hong-chun, GAO Feng. Survey of Methods of Fault Line Selection for Single-phase-to-earth Fault in Networks with Ungrounded Neutral[J]. Power System Protection and Control, 2001, 29(4):16-20.
- [3] 陈刚, 李志勇, 王攀. 自动重合器在配电网中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 1999, 27(5):35-38.
CHEN Gang, LI Zhi-yong, WANG Pan. Application of Automatic Recloser in Power Distribution Network[J]. Power System Protection and Control, 1999, 27(5):35-38.
- [4] 杨涛, 何奔腾, 黄瀛. 单相重合闸自适应零序电流加速保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2004, 32(13):59-62.
YANG Tao, HE Ben-teng, HUANG Ying. Adaptive Accelerating Scheme for Zero Sequence Current Protection on Single-phase Reclosing[J]. Power System Protection and Control, 2004, 32(13):59-62.
- [5] 贾清泉, 肖鹏, 杨以涵, 等. 小电流接地电网单相接地故障的小波选线方法[J]. 电力系统保护与控制, 2001, 29(3):5-8.
JIA Qing-quan, XIAO Peng, YANG Yi-han, et al. Wavelets Method to Select Single Phase Faulted Circuit for Small Current Grounding Powersystems[J]. Power System Protection and Control, 2001, 29(3):5-8.
- [6] 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]. 电力系统保护与控制, 2007, 35(S1):59-62.
ZHAO Feng-xian, YAN Tian, SUN Li-ying. Zero

- Sequence Transient Reactive Power for a Single-phase-earth Feeder on non-solid Distribution[J]. Power System Protection and Control, 2007, 35(S1):59-62.
- [7] 陈炯聪, 齐郑, 杨奇逊, 基于模糊理论的小电流单相接地选线装置[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(8):88-91. CHEN Jiong-cong, QI Zheng, YANG QI-xun. A Fault Line Detection Device for the Non-solidly Grounded System Based on Fuzzy Sets Theory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004,28(8):88-91.
- [8] Barnett J A. Computational Method for a Mathematical Theory of Evidence[A]. in: Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence[C]. 1981. 868-875.
- [9] 齐郑. 小电流接地系统单相接地故障选线与定位技术的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2005. QI Zheng. Research on Technology of Line Detection and Fault Location for Single-phase-to-earth Fault in Neutral Point Non-effectively Grounded Systems[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2005
- [10] 齐郑, 陈炯聪, 杨奇逊. 基于小波变换和LMS自适应滤波器的单相接地选线方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(9):58-61. QI Zheng, CHEN Jiong-cong, YANG Qi-xun. Selection of Single-phase to Ground Fault Line Based on Wavelet Transform And LMS Adaptive Filter [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004,28(9):58-61
- [11] 连鸿波. 谐振接地电网单相接地故障消弧及选线技术一体化研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2003. LIAN Hong-bo. Research on Integration Control System in Arc-suppressing and Fault-Line Selection of Single Phase-to-ground Fault in Resonant Grounded Systems[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2003.

收稿日期: 2009-03-12; 修回日期: 2009-04-02

作者简介:

齐郑(1977-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为电力系统分析与控制;

高玉华(1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统分析与控制; E-mail: gyh_z@163.com

孙海新(1971-), 男, 研究方向为电力调度自动化。

(上接第 18 页 continued from page 18)

- [2] 迟永宁, 王伟胜, 刘燕华. 大型风电场对电力系统暂态稳定性的影响[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(15):10-14. CHI Yong-ning, WANG Wei-sheng, LIU Yan-hua. Impact of Large Scale Wind Farm Integration on Power System Transient Stability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(15): 10-14.
- [3] 卞松江, 吕晓美, 相会杰, 等. 交流励磁变速恒频风力发电系统控制策略的仿真研究[J]. 中国电机工程学报. 2005, 25(16):57-62. BIAN Song-jiang, LU Xiao-mei, XIANG Hui-jie, et al. Modeling and Simulation of AC-Excited VSCF in Wind Power Systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(16):57-62.
- [4] 关宏亮, 迟永宁, 王伟胜. 双馈变速风电机频率控制的仿真研究[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(7):61-65. GUANG Hong-liang, CHI Yong-ning, WANG Wei-sheng. Simulation on Frequency Control of Doubly Fed Induction Generator Based Wind Turbine[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(7): 61-65.
- [5] 姚骏, 廖勇, 唐建平. 电网短路故障时交流励磁风力发电机不脱网运行的励磁控制策略. 中国电机工程学报, 2007, 27(30):64-71. YAO Jun, LIAO Yong, TANG Jian-ping. Ride-through Control Strategy of AC Excited Wind-power Generator for Grid Short-circuit Fault[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(30):64-71.
- [6] Pablo Ledesma, Julio Usaola. Doubly Fed Induction Generator Model for Transient Stability Analysis[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2005, 2(20):388-397.
- [7] LEI Ya-zhou, Mullane Alan, Lightbody Gordon, et al. Modeling of the Wind Turbine With a Doubly Fed Induction Generator for Grid Integration Studies[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2006, 21(1).
- [8] WU Feng, ZHANG Xiao-Ping, Keith Godfrey, et al. Modeling and Control of Wind Turbine with Doubly Fed Induction Generator[J]. 2006.
- [9] XU Lie, Cartwright Phillip. Direct Active and Reactive Power Control of DFIG for Wind Energy Generation[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2006, 21(3):750-758.
- [10] Yakej E K, Jenkin S N. Comparison of the Response of Doubly Fed and Fixed-speed Induction Generator Wind Turbines to Changes in Network Frequency[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2004, 19(4): 800-802.

收稿日期: 2009-01-04; 修回日期: 2009-03-16

作者简介:

杨之俊(1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为新能源与分布式发电技术; E-mail: hfyzj1981@163.com

吴红斌(1972-), 男, 博士, 副教授, 目前主要从事分布式发电、电力系统安全性分析的研究和教学工作。