

The Study on Harm and Protection Measures for Grounding Fault of Distribution Line

Dechao Li, Chunlong Zhang, Yan Li, Yuhuan Zhang

State Grid Bozhou Electric Power Supply Company, Bozhou
Email: lidechao7102@126.com, bzywjxb@126.com

Received: Jul. 10th, 2014; revised: Jul. 29th, 2014; accepted: Aug. 6th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Because of network complexity, poor regional conditions and other factors, grounding fault easily occurs at distribution line, and then may bring about large harm to the safety and economic operation of the power grid equipment. This paper described the harmfulness of grounding fault, and presented a deep analysis of fault reason. Starting with Standardized Management, using ground fault line detection device in Peterson-coil-grounding system, daily maintenance, test and acceptance, etc., the article mainly discussed the prevention measures for grounding fault of distribution network.

Keywords

Distribution Line, Grounding Fault, Prevention Measures

配电线路接地故障危害及防护措施探讨

李德超, 张春龙, 李 燕, 张玉环

国网安徽省电力公司亳州供电公司, 亳州
Email: lidechao7102@126.com, bzywjxb@126.com

收稿日期: 2014年7月10日; 修回日期: 2014年7月29日; 录用日期: 2014年8月6日

摘 要

配电线路因网络复杂、所经地域条件差等因素容易发生接地等故障, 进而对电网、设备的安全经济运行

产生较大影响。文中从接地故障的危害性进行阐述,并通过对故障原因进行深入分析,从规范管理、采用小电流接地选线装置、日常维护、试验及验收等方面入手,对防治配网接地故障措施进行了探讨。

关键词

配电网, 接地故障, 防治措施

1. 引言

10 kV、35 kV 线路(以下称配电网)是电网中基础较为薄弱的组成部分[1],在实际运行中,配电网故障情况较多,其中多为接地故障,接地后非故障相电压升高,长时间运行后可能相继引起短路故障或使设备绝缘性能受损,给设备运行带来一定威胁[2]-[4]。同时,因配电网往往呈“辐射”状,同一母线上往往带有多条配电网,一条线路上往往又有较多分支,排查困难,排查时间长,往往造成用户尤其是单相用户长时间停电,影响供电可靠性。及时判断和选择故障线路将有效提高供电可靠性和保障电网安全稳定运行。

2. 不同接地方式下故障情况介绍

在配电网的发展过程中,形成了两类中性点接地方式,即小电流接地方式和大电流接地方式。前者包括中性点不接地、经消弧线圈或经高电阻接地;后者包括中性点直接接地、经低(中)电阻和低(中)电抗接地等。10 kV 电网多为小电流接地系统,变压器中性点多为消弧线圈接地或不接地,但低压出线为 35 kV 线路者则多为 110 kV 及以上电压等级变电站的中性点接地系统。不同接地方式在发生接地时故障产生的现象各不相同,如表 1 所示。

3. 接地故障危害

3.1. 对电气设备的危害

(1) 母线压变危害。单相接地时,母线上所有输电设备的接地相电压降低和非故障相电压升高,与母线相连的电压互感器二次三角开口有零序电压产生。该电压使得电压互感器铁芯饱和,励磁电流增加,如果长时间运行,将可能烧毁电压互感器。

(2) 造成其他变电设备绝缘损坏。单相接地时,非接地相电压最高可升至 $\sqrt{3}$ 倍相电压。使得其他如开关柜内设备等处非正常等级下运行,加速设备绝缘老化,造成绝缘损坏;若开关柜内电气设备绝缘水平已经非常薄弱,严重者便极可能造成绝缘击穿,进而造成主变跳闸或其他更大事故。

接地故障发生后,可能发生间歇性弧光接地,造成谐振过电压,产生数倍甚至数倍于正常电压的谐振过电压[5],过电压将大大危及变电设备的绝缘,使变电设备绝缘击穿造成更大事故。

同时,过电压可能使线路绝缘子击穿,造成更为严重的短路事故,还有可能烧坏部分配电网变压器,甚至造成电气火灾。

3.2. 对区域电网的危害

受接地故障过电压的影响,可能破坏区域电网系统稳定,造成大面积停电等事故。

3.3. 对人畜危害

当单相接地尤其是落线接地故障发生后,在接地故障点会产生强大的入地电流,在故障未及时切除

Table 1. Comprehensive comparison of neutral grounding mode
表 1. 中性点接地方式综合比较

比较项目	中性点不接地	电阻接地	经消弧线圈接地
单相接地时非故障相电压	最高等于或大于 $\sqrt{3}U_x$	$(0.8 \sim \sqrt{3})U_x$	过补偿时为 $\sqrt{3}$ 倍, 欠补偿时有谐振问题
弧光接地过电压	最高达 $(\sqrt{3} \sim 3.5)U_x$	低, 能抑制在 $2.8U_x$ 以下	低, 能抑制在 $2.5U_x$ 以下
重复故障可能性	大	较小	小
继电保护情况	实现有选择的接地保护较困难	可以实现选性的接地保护	实现选择性的继电保护尤其困难

的情况下, 当行人、巡视人员或其他家畜等路过时, 便会产生较大跨步电压, 进而引起人畜电击事故。

3.4. 对供电可靠性的影响

配电线路主干线、支线往往较为复杂, 加上受地形、天气等影响, 特别是在庄稼生长期、大风、雨、雪等恶劣气候条件下或者夜间, 不利于查找和消除故障, 故障排查困难。即便查找到故障点, 单相接地的配电线路将停运, 在查找故障点和消除故障中, 不能保障用户正常用电, 造成供电长时间中断, 影响供电可靠性;

同时, 发生单相接地故障时, 由于接地相直接或间接对大地放电, 将造成较大的电能损耗, 如果按照《电力运行规程》的规定, 在单相接地状态下允许运行 2 h, 将造成更大的电能损耗。

4. 故障原因分析

配电线路故障多为接地故障。因配电线路网络复杂, 所经地域条件较差, 建设过程过程不易面面俱到的监督到位, 树木鸟类较多等各方面原因, 往往造成配电线路故障多发。故障常见原因总结如下:

4.1. 内过电压的影响

6~35 kV 中压电网属于中性点非有效接地系统, 在该系统中内过电压的水平较高, 而最频繁发生的要算是弧光接地过电压和铁磁谐振过电压。当电网电容电流大于 11.4 A 时, 一旦电网发生单相接地, 就不能可靠的熄弧, 一般会在电流过零时熄弧、在峰值附近重燃, 产生间歇性的电弧接地, 由于电网是由电感和电容组成的网络, 间隙性的熄弧与重燃就会引起电磁能的强烈振荡, 产生弧光接地过电压。弧光接地过电压的幅值可达 $3.5 u_{\varphi}$ (u_{φ} -相电压) 作用时间长且遍及全网, 会引起避雷器爆炸, 使电网的绝缘弱点发生击穿, 因而弧光接地电过电压对电网危害较大; 在配电网中普遍使用铁磁式电压互感器, 有相当一部分电压互感器的铁芯容易发生磁饱和, 在一定的激发因素作用和网络参数配合下容易产生铁磁谐振过电压。铁磁谐振过电压可达 $3.0 u_{\varphi}$ (u_{φ} -相电压) 会使电网的绝缘弱点击穿, 使电压互感器烧毁, 造成电网故障。

4.2. 配电网设备和管理上的问题

在配电网中有大量的配电设备, 这些设备又直接影响着配电网安全, 如有时高压零壳发生击穿引起电网短路, 避雷器在电网正常运行时发生爆炸造成电网短路。还有柱上开关, 刀闸时发生击穿引起电网接地短路时, 一些绝缘子本身质量或施工工艺原因, 瓷瓶、绝缘子、熔断器等设备在运行到一定年限后, 极有可能引起绝缘破坏、产生裂纹等, 一旦遇到恶劣天气便可能产生接地现象等, 这些都对配电网的安全稳定运行造成了极大的影响。

同时, 在配电网的安装, 运行维护和管理上存在问题比较多, 部分配电线路在架设时就很不规范, 如有的绝缘子甚致碗口向上, 横担也不规范, 对配电绕路的绝缘子在安装前不做试验, 运行中不定期进行维护, 有的绝缘子在安装时积上的泥土运行了多年还在上面, 以致造成配电网绝缘弱点很多, 在运行

中经常发生击穿，爆炸现象，严重影响了配电网的安全稳定运行。另外，配电线路下的违章建筑也较多，这也给配电网的安全运行和人身安全构成了极大的威胁。

4.3. 树木或建筑引发的接地

因亳州所处地域自然条件优越，沿线树木丛生，其中不乏参天大树，配电线路复杂且较长，很多树木不能满足安全距离如 10 kV 线路 5 m 要求。但在风季季节，即便满足正常安全距离，也可能因大风使得树木摆动幅度过大而触及导线，造成瞬间接地，或将树枝吹断挂落导线造成接地等。

4.4. 断线引起的接地

(1) 因线路老化、外力事故、风力影响造成严重舞动等可能造成断线，引发接地。

(2) 线路长期在高负荷或过载下运行，加速导线老化，导致导线塑性拉断，导致接地。

(3) 因导线自身原因，由于电网快速发展，导地线需求量大，同时由于招标模式变化，厂家众多，鱼龙混杂，缺乏监管，使得材质质量很难得到保证。厂家焊接质量不良，同时运行过程中受振动和舞动等原因产生疲劳，再加上施工过程中部分操作不当，损坏部分构件或造成钢芯变形等，都有可能引发断股现象。

4.5. 其他原因接地

导线风偏过大与树木或其他建筑物等过近，空中飘浮物如塑料布、孔明灯等降落导线上，导线在绝缘子上绑扎或固定不牢靠脱落到横担或地上，鸟类等站在横担上接触导线等都有可能造成接地故障。

在上述原因中，导线断线、绝缘子击穿和树木短接是发生配电线路接地故障尤其是单相接地故障的最主要原因，据资料统计，可占至 80% 以上。

5. 防治措施

5.1. 要加强对配电网的全过程质量管理

要从设计、安装着手，实行规范化的管理定期对配电网进行检修，淘汰劣质绝缘子，对环境污染严重的地段，线树矛盾突出的地段多回同杆架设的地段最好采用绝缘架空导线，或采用电缆入地。

加强配电网的运行维护、清理线路下的违章建筑，要有防止车辆撞线路杆塔的措施，防止外力破坏，特别是要对多用同杆架设的杆塔要重点保护。

加强对配电设备的运行管理，严把配电设备质量关，防止劣质设备进入电网。加强配电设备的试验和检修，提高设备的健康水平，加强分路开关的保护整定，防止因配电设备故障扩大停电面积，提高配电网的供电可靠性。

5.2. 积极采用小电流接地选线装置

当单相接地故障发生后，按照规程规定非接地相可带电运行 2 小时，但据上分析，危害极大，因此要快速查找出、切除故障点。但因配电线路接线较多，故障选线困难，根据实际情况，应尽量加装成熟的小电流选线接地装置[6]，通过分析小电流接地系统单相接地故障的特征，找到正确的选线方法，主要有谐波电流法、注波选线法、残流增量法。本文推荐采用智能复合选线方式，具体如下：

(1) 首先我们采用零序电流选线法和暂态电流选线法，利用计算机的快速取样和储存功能，对各分路的零序电流和暂态电流进行快速巡检，比较零序电流和暂态电流的大小。只要消弧线圈不是工作在全补偿状态，故障电流只要能满足零序电流互感器的灵敏度就可用零序电流法检出故障线路。即使在全补偿状态，那么暂态电流由于幅值较大，也可以检出。通过比较暂态电流大小的方法，配合零序电流法检出

的稳态电流值，基本可以判断出故障线路。

(2) 使用谐波电流检测法，在接地故障发生时，检测各馈线的谐波电流，特别是 5 次谐波电流的大小及相位，进行分析判断。在电网的谐波分量满足检测灵敏度要求时，该方法基本上能检出故障线路。

(3) 采用谐波信号增值法，当电网谐波分量不能满足灵敏度要求，使用零序电流法和暂态分量法选线失败时，可启动谐波发生器向母线注入 5 次谐波信号，在故障线路将有 5 次谐波电流流过，通过对各分路 5 次谐波信号的检测最后判别出接地故障线路。

这三种选线方法，前 2 种可作为主方法，第 3 种为后备选线法，在前 2 种方法选出故障线路时，第 3 种方法可不用，只有在前 2 种选线失败、或出现不同的结果时，才启动第 3 种方法进行验证。采用这三种选线方式作为互相补充，一般都能准确的选出故障线路，且这三种方式，在取样方式相同，只是第 3 种方式增加了 5 次谐波发生器，智能复合法是利用了现代计算机强大的内存和计算功能，以及快速取样、比较、判别功能。对故障数据可通过通信接口远传输出，打印输出，为故障分析提供依据。

5.3. 规范监控管理

(1) 合理区分不同预警音，做好信号分类。监控信号大部分是预告信号，而预告音响几乎时刻都在发生，甚至连续不停，而单相接地信号也为预告音响，若声音相同或相似，容易混淆，不及时查看便会淹没在大量信号之中。因此，合理的区分接地信号与其他如过负荷预警声音，可很好的将接地故障区分出来，以及时筛选出相关故障信息。

(2) 采用统一的信号报文。由于各站使用的保护装置不同，可能造成上传至监控后台的信号报文不统一。如同为接地时，有“××母线接地”和“××相电压越上限(越下限)”等。不统一的信号报文易使监控人员对接地信号的少看漏看，进而不能及时找出接地线路。

5.4. 合理的查线方法

当发生单相接地后，除借助选线装置和监控等得到的信息外，还应立即组织人员巡视线路，查找故障点。在查找过程中采取分片、分段、分设备的“排除法”，并与绝缘摇测、钳形表测量等办法相结合，尽快找到故障点并消除故障。

同时，应在平时做好接地故障线路资料积累，筛选统计出线路接地次数和运行条件恶劣地区如深林中的线路台账。假如上述办法未查找到故障点，可请求上级调度对故障线路试送电排除法方法进行查找。但在试送电过程中，应优先选择接地故障频发线路和运行环境恶劣线路。

5.5. 定期巡视和依法清除树障

主要检查导线与树木、建筑物的距离，电杆顶端是否有鸟窝，导线在绝缘子中的绑扎或固定是否牢固，绝缘子固定螺栓是否松脱，横担、拉线螺栓是否松脱，拉线是否断裂或破股，导线弧垂是否过大或过小等。

巡视过程中，要考虑到不同种类树木的生长速度对线路的影响程度。对于不符合《电力线路防护规程》中安全距离规定的树障，应积极协调，依法尽快清除。

5.6. 加强设备试验和维护工作

(1) 对配电变压器、配电线路绝缘子、避雷器等进行定期绝缘测试，不合格的应及时进行更换。

(2) 加强老化线路特别是对电缆线路的运行维护，利用“春检”和“秋检”时期做好瓷瓶污秽、扎线断股、螺丝松动及部件裂纹等问题的发现处理。做好用户电缆接入的验收把关，降低输电线路故障率。

(3) 进行 35 kV、10 kV 线路出线间隔开关柜的耐压试验，对主变低压出线侧间隔开关柜优先试验，

对发现存在不合格现象的设备厂家开关柜要进行逐台耐压试验。同时，缩短主变低压侧出线和其他大负荷线路等主要间隔设备的试验周期，按照试验规程规定缩短 1 年。

6. 结语

配网线路接地故障频发且危害性大，对电网和设备的安全经济运行、人畜安全等都有重要影响。对故障原因进行系统深入分析，而从监控管理、巡视维护、判定方法、采购验收等方面有的放矢的采取防治措施，将有效降低配电线路接地故障对电网设备的威胁，对实际工作开展具有较好的指导意义。

参考文献 (References)

- [1] 任冠民, 钱怡, 等 (2013) 10kV、35kV 线路接地选择时间的探讨. *电气工程与自动化*, **366**, 31-33.
- [2] 陈化钢 (1991) 配电网过电压及其故障分析. 东北电力试验研究院, 沈阳.
- [3] 贺红星 (2001) 10kv 单相接地故障的分析. *农村电气化*, **8**, 28.
- [4] 胡毅 (2007) 输电线路运行故障分析与防治. 中国电力出版社, 北京.
- [5] 赵彦伟, 李志峰 (2006) 小电流接地选线装置运行现状分析. *电力学报*, **1**, 68-69.
- [6] 要焕年 (2000) 电力系统谐振接地. 中国电力出版, 北京.