

配电网单相接地补偿与选线系统的研究和应用

王晓冬¹, 李大勇², 张自雨³, 裴孟翔³

(1. 许昌供电公司, 河南 许昌 461000; 2. 安阳供电公司, 河南 安阳 456000; 3. 许继电器设备公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 针对国内配电网中性点接地现状, 简要介绍了KD-XH配电网智能化快速消弧系统的技术优势与运行性能, 详细阐述了本公司独创的选线原理——“扰动原理”。通过应用KD-XH快速消弧系统和基于“扰动原理”的选线装置, 能大大提高补偿网络选线准确度, 并有望实现一种新型的中性点接地方式。

关键词: 配电网; 扰动原理; 消弧系统

Distribution network single-phase earth compensation and route selection system's research and application

WANG Xiao-dong¹, LI Da-yong², ZHANG Zi-yu³, PEI Meng-xiang³

(1. Xuchang Electric Power Company, Xuchang 461000, China; 2. Anyang Electric Power Company, Anyang 456000, China; 3. Xuji Electric Appliance Equipment Company, Xuchang 461000, China)

Abstract: Aiming at the present situation of national neutral spot grounding electricity distributing net, this paper introduces the advantages of intelligentizing quick arc eliminating system of KD-XH electricity distributing net and its function capability, sets forth the wire-choosing principle—the anti-jamming principle created by our company. By applying the quick arc-eliminating system and the wire-choosing equipment based on the anti-jamming theory, the customers can enhance their exactitude greatly in choosing wires, and have a possibility of realizing the newfashioned way of the neutral spot grounding.

Key words: electricity distributing net; anti-jamming principle; intelligentizing quick arc-eliminating system

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)19-0067-04

0 引言

配电网中性点接地方式关系到供电系统的安全、可靠运行及对周围环境的影响等诸多方面的技术问题。目前应用较多的大致可分为中性点不接地系统、经消弧线圈接地和经小电阻接地三种, 学者们在各种接地方式的优缺点上存在分歧与争论, 并有大量的有关各种接地方式优缺点的论述^[1]。其实在我国绝大多数配网还是采用不接地方式, 少数大中型城市采用小电阻接地方式。近几年来, 随着自动跟踪消弧线圈的逐步成熟和性能更佳的新产品的不断涌现, 越来越多的地方开始考虑或采用中性点经消弧线圈接地的方式。但另一方面随着自动跟踪补偿消弧线圈的逐步应用, 带来了选线困难等问题, 使得有些用户从运行方便的角度考虑而不得不采用其他如经小电阻接地的方式, 实际上根据大量用户的反映, 统计数据表明早期自动跟踪消弧线圈接地成套系统配套选线装置准确度不到50%。

传统的中性点经消弧线圈接地系统在系统发

生单相接地时, 允许带故障运行两小时, 以便于运行人员寻找故障线路和故障点。事实上, 如果能解决消弧线圈接地系统的选线难题, 则可以大大缩短带故障运行时间, 从而大大降低系统绝缘弱点击穿和设备损坏的可能性, 对于薄弱的配网更应该避免带故障长时间运行。由广州智光电气有限公司推出的KD-XH配电网智能化快速消弧系统, 由于其独特的技术性能, 在不到两年的时间里在全国20多个省的电力系统、钢铁、油田等系统得到广泛应用, 近年来, 作者们在深入分析消弧线圈补偿系统特性之后, 结合KD-XH的优良补偿与调节特性, 独创选线原理——“扰动原理”, 解决了经消弧线圈补偿电网选线准确度不高的难题, 使得寻找故障线路的时间大大缩短, 在此技术基础上, 提出一种新型的接地方式的构想。

1 目前自动跟踪消弧成套系统运行中存在的一些问题

目前绝大多数消弧线圈补偿电流均存在一个电

流下限,当配网电容电流小于其补偿下限时,消弧系统不能正常使用甚至不能正确跟踪。对于新建变电站,初期电容电流较小,随着馈线路数的增加,电容电流才逐步增加,在这种情况下,消弧线圈有可能在前期不能投入使用。同时,档位级数的限制,也造成了档位级差电流与补偿电流下限的矛盾,如要求有较小的级差,则必须提高消弧线圈补偿电流的下限,反之则必须增大档位电流级差,对于大容量的消弧线圈,其矛盾显得尤为突出。

响应速度问题 装设消弧线圈的目的,就是要使得那些可以自动恢复的单相接地故障能在消弧线圈的正确补偿之下自动清除,因此要求补偿系统响应足够快,以防止单相接地发展成多相短路造成火烧连营的事故,因此应尽量提高消弧线圈的响应速度。

不能适应各种形式的配网 有部分采用预调方式的产品,由于阻尼电阻的取值问题,导致在配网不对称度较高情况下(如二相出线)出现投运后中性点位移电压超出国标要求的情况,由于极易谐振,在全国各地已出现多例类似事故。

选线准确度问题 根据不同的补偿方式,补偿网络中单相接地故障线路可能具有与非接地线路相同的电量特征,导致传统基于零序电量特征算法的选线装置不可能正确选线。

有些消弧系统接地记录中非瞬时接地故障的接地时间均较长(大都为几分钟及以上),这与用消弧线圈补偿配网单相接地的“初衷”有点“背道而驰”。因为经补偿而能自动恢复的单相接地故障其接地时长不应该每次均需这么长的时间。这里面有几个原因:1、可能是装置响应速度不快;2、可能为配网单相接地解除后装置未能正常退出,导致串连谐振(因单相接地时阻尼电阻已被短接)而产生虚幻的接地现象,这种情况下用户在试拉线路时往往发现所有线路切完后未能发现接地线路。

2 KD-XH 型配电网智能化快速消弧系统的技术性能

KD-XH 系列消弧系统原理说明主要如下:

变压器在运行中是用来传输功率的,其原边的电流由二次负载性质决定。特殊应用情况下,变压器二次可带纯容性设备或纯感性设备,因此原边(高压侧)电流可为纯容性电流或纯感性电流。KD-XH 应用于消弧系统,其基本原理可用二次带纯感性负载的变压器为例来进行说明。

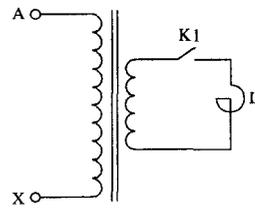


图 1 基本原理图

Fig.1 Basic principle

参见图 1 可知:当变压器二次负荷开关 K1 处于分位时,相当于变压器空载运行,变压器一次流过的电流为变压器励磁电流,通常都很小;当变压器二次开关 K1 处于合位时,相当于变压器满载运行,此时变压器一次流过额定的感性电流。KD-XH 的创新之处,其一就在于将二次电感与变压器的阻抗设计有机结合,亦即通过设计高短路阻抗变压器而略去二次纯电感负载;其二在于用大功率电力电子器件代替开关负荷 K1,从而使得变压器原边电流可以连续调整^[2]。因此成套设备主要具有如下优点:

1) 响应极快 KD-XH 型消弧系统由于采用了全静态大功率可控硅技术,因此响应速度极快,可在发生单相接地故障后立即(小于 5 ms)动作,对单相接地实现快速补偿。

2) 输出的补偿电流在 0~100%额定电流范围内可连续无级调节,实现了补偿电流的宽范围无级连续调节,可适应快速发展的电网。

3) 随调方式,不采取预调谐方式,无阻尼电阻,可适应各种形式的配网,对不平衡度大的电网同样适应。

4) 消弧线圈伏安特性佳,补偿效果好^[3]。

5) 无机械操作机构,维护量极小。

6) 系统发生单相接地故障后可以动态调节输出补偿电流,可实现补偿度的“扰动”,从而大大提高补偿配网选线准确度。

3 KD-XH 消弧成套系统选线方案的实现

根据统计分析,目前各种形式的选线装置,大都是基于零序电流、功率方向再外加谐波(如五次谐波)计算等方式,存在如下问题:

1) 采用单片机,采样速度不快,不能保证采样的同期性,从而在某些形式的接地状态下不能正确反映零序功率方向,造成误判。

2) 选线用零序 CT 精度不够(尤其是小电流下),且相互之间特性不一致,导致在各出线电容电流差别较大情况下无法正确辨识接地线路。

3) 配网电容电流较大时选线较为正确,电容电

流较小时选线准确度差。与此相关的是, 一般金属性接地时选线较为正确(接地电流较大), 而高阻接地时(接地电流较小)选线准确度低。

4) 中性点经消弧线圈接地的配网当发生单相接地故障时, 接地线路电量特征根据消弧线圈补偿方式的不同而表现出不同的特征, 并且会出现接地线路与非接地线路具有相同电量特征的情况(如消弧线圈过补情况下), 使得选线原理已不再适用。

5) 有些情况下选线不准为线路零序 CT 接线有误或是地线接地点不正确所致。

针对上述各种情况, 有必要综合分析消弧线圈补偿配网线路单相接地时的电量变化情况, 结合消弧线圈的调节特性, 采用特殊的处理办法, 解决补偿网络选线的难题。我公司全新系列 DDS 型小电流接地选线装置综合了 KD-XH 消弧系统的调节特性, 采用特殊的“扰动原理”解决了这一难题。

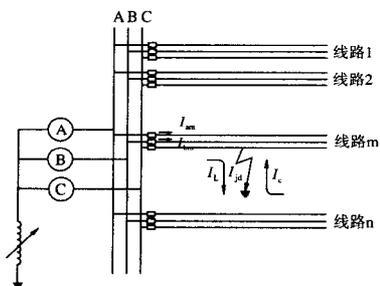


图 2 扰动原理图

Fig.2 Perturbation principle

参见图 2, 接地点电流为中性点消弧线圈补偿电流 I_L 与所有线路非故障相电容电流 I_c 之矢量和。

即有:

$$\dot{I}_{jd} = \dot{I}_c - \dot{I}_L$$

此接地电流流经接地故障线路, 其与该故障线路本身非故障相对地电容电流之差为该故障线路零序电流 I_{om}

$$\dot{I}_{om} = \dot{I}_{jd} - \dot{I}_{bm} - \dot{I}_{cm} = \dot{I}_c - \dot{I}_L - \dot{I}_{bm} - \dot{I}_{cm} \quad (1)$$

式中: I_{bm} 、 I_{cm} 为单相接地时故障线路非故障相对地电容电流。

因此在消弧线圈补偿时, 可测得单相接地线路零序电流为 I_{om} 。如果此时在极短的时间间隔内(如 2~3 个周波内)通过动态调节消弧线圈的补偿度亦即动态调节消弧线圈的补偿电流, 则仍然有(可假定 I_{bm} 、 I_{cm} 不变):

$$I_{om}' = I_c - I_L' - I_{bm} - I_{cm} \quad (2)$$

比较式 (1)、(2) 可知: 消弧线圈补偿度调节前、后故障线路零序电流变化值为:

$$\Delta I_{om} = I_{om}' - I_{om} = I_L - I_L'$$

从此式可见: 单相接地故障线路零序电流变化量等于补偿度消弧线圈补偿度调节前、后所提供的补偿电流之差值, 但二者方向相反。因此可以通过采集所有线路零序电流变化量, 其中最接近消弧线圈补偿电流变化量者为接地线路, 此为“扰动原理”, 即通过消弧线圈补偿度的“扰动”来进行选线。实际运行中的 KD-XH 消弧系统与 DDS 选线装置配合时, 补偿度的调节都控制在一定范围内, 以避免接地电流在这三个周波内超出国标要求。

DDS 系列产品在采用“扰动原理”进行选线时, 与 KD-XH 消弧控制器之间有很好的配合, 除此之外, DDS 还采用零序电流幅值、零序功率方向等方法作为辅助判据, 因此能达到很高的准确性。实际运行中, 绝大多数单相接地故障都可以通过“扰动”的方法正确选出接地线路。采用“扰动原理”后, DDS 系列小电流接地选线装置在如下极为不利情况下都可以达到很高的选线准确度:

高阻接地情况 在高阻接地情况下, 一般采用零序电流大小、功率方向或零序有功等方法的选线装置选线较为困难, 准确度低, 原因在于此时故障线路零序电流依接地阻抗的不同而呈现不同的值, 有时故障线路的零序电流与对地电容电流较大的线路(如站用联络线)的零序电流较为相当, 二者难以严格区分开。但由于 DDS 采用的是变化量比较法, 在 KD-XH 控制器的特殊配合下, 即使是高阻接地也可以保证故障线路零序电流变化量与非故障线路零序电流变化量有明显区别, 因此很容易找出接地线路。

配网电容电流较小的情况 由于配网电容电流较小, 使得基于零序电流幅值和功率方向、零序有功的选线原理受到了配网电容电流较小的制约, CPU 程序中有关接地线路零序电流大小的一些判据在这种情况下不容易满足, 因此往往选不到线路或选到电容电流较大的非接地线路。而在 KD-XH 与 DDS 的配合下, 由于 KD-XH 可以连续调节补偿电流以及接地后还可以通过改变可控硅的导通角来改变补偿电流, 因此当配网电容电流较小时, 在 DDS 选线的三个周波内可将 KD-XH 的补偿电流稍微增大, 以满足接地故障线路零序电流有 2~3 A 的变化, 从而 DDS 可以很准确地选出故障线路。因此使用 KD-XH 再配套 DDS 系列小电流接地选线装置, 可以保证各种接地条件下、各种类型的配网都可以正确选出接地线路, 在与 KD-XH 快速消弧系

统配合使用时, DDS 系列选线装置选线灵敏度不受配网电容电流小及高阻接地等因素的制约, 选线准确度与金属性接地时相同。

4 运行经验与效果

KD-XH 型配电网智能化快速消弧系统成套补偿装置自 2000 年投运以来, 目前已遍布全国近 20 个省电力、石油、钢铁等部门, 取得了很好的运行效果^[4]。并先后在广东茂名、牡丹江、江苏启东、江苏锡山和广东中山等电力部门所属变电站进行了 10 kV 人工单相接地试验, 经受了用户严格的考验。在广东中山供电公司多个变电站进行了 10 kV 人工单相接地与选线试验, 结果表明选线准确度达到 100%, 补偿效果佳。全国范围内的运行实践表明: KD-XH 快速消弧系统补偿效果好, 其优越性能如电流连续可调, 无调流下限的限制及接地变可用熔丝保护等已受到用户的欢迎和认可。2002 年推出的 KD-XH 快速消弧选线系统进行了较大改进, 产品性能更进一步提高。

5 新型接地方式的实现

具备了性能优良的快速动作消弧系统和可靠的选线装置, 可以实现一种采用消弧线圈接地但实行选线跳闸的新型接地方式。这样, 优质消弧线圈可保证系统中占绝大多数的可通过补偿之后实现自行恢复的接地故障在极短的时间内得以恢复。而对于系统中永久性的接地故障, 一方面通过消弧系统的补偿来降低接地点电流, 防止发生多相短路; 另一方面, 通过消弧系统配套选线装置正确选出接地线路并在设定的时间内跳闸, 避免了系统设备长时间承受工频过压, 特别是, 若设定跳闸时间小于 10 s, 就可以采用与小电阻接地方式相同的较低额定电压的避雷器作为过电压保护, 使系统绝缘水平降至与小电阻接地方式相同。因此, 该接地方式综合了传统消弧线圈接地方式跳闸率低、接地故障电流小的优点和小电阻接地方式对系统绝缘水平要求低、容易选出接地故障线路的优点, 具有巨大的经济效益^[5]。虽然目前中性点不接地配网或经消弧线圈接地的配网都加强了系统绝缘等级, 但该新型接地方式可以降低单相接地故障时设备损坏的机率, 对老站或绝缘弱点较多的站可以起到较好的

设备保护作用, 可见即使在现时, 该新型接地方式同样具有明显的经济效益。

6 结论

结合 KD-XH 配电网智能化快速消弧系统的动态可调特性, 本文提出在补偿网络中用“扰动原理”来实现高准确度选线, 解决了一直困扰用户的小电流接地系统中选线准确性不高的难题。通过多次现场人工单相接地试验, 验证了这种方法用于 KD-XH 补偿系统中的可行性。取得了很好的效果。结合 KD-XH 现场运行经验及 DDS 高准确度的选线, 为实现新型接地方式奠定了基础。

参考文献

- [1] 连鸿波, 杨以涵, 潘永刚, 等. 小电流接地系统中面向单相接地故障的自动重合闸技术[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(6):78-82.
LIAN Hong-bo, YANG Yi-han, PAN Yong-gang, et al. In the Undercurrent Earth System Automatic Switches on the Technology Again Face the Single-phase Earth Fault[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(6):78-82.
- [2] 刘雪莉, 郭铁峰, 裴善鹏, 等. 为小电流选线建立故障诊断系统的探讨[J]. 继电器, 2006, 34(17):9-12.
LIU Xue-li, GUO Tie-feng, PEI Shan-peng, et al. For Undercurrent Route Selection Establishment Failure Diagnosis System's Discussion[J]. Relay, 2006, 34(17):9-12.
- [3] 张利, 朱兰, 李砚, 等. 为小电流选线建立管理支持系统的新思想[J]. 现代电力, 2003, (1):27-31.
ZHANG Li, ZHU Lan, LI Yan, et al. For Undercurrent Route Selection Establishment Management Support Program's New Thought[J]. Modern Electric Power, 2003, (1):27-31.

收稿日期: 2008-07-02

修回日期: 2008-07-16

作者简介:

王晓冬 (1977-), 男, 工程师, 从事用电管理及配电工程管理;

李大勇 (1963-), 男, 工程师, 从事调度自动化及科研信息管理;

张自雨 (1974-), 男, 工程师, 从事自动化及配电技术研究。E-mail: ziyuzh@xjgc.com