

基于快速消弧线圈的扰动法选线分析及应用

陈锐

(广东省电力试验研究所, 广东 广州 510600)

摘要: 介绍了采用晶闸管控制的高短路阻抗变压器式消弧线圈的可迅速改变补偿度的特点, 实现与之配合的选线原理: 零序电流扰动法。分析了其选线的原理、判据、独有特点及其极高的准确度。最后介绍了应用情况, 提出准确的选线跳闸可实现一种新型的配网中性点运行方式。

关键词: 配电网; 接地选线; 扰动法; 中性点接地; 消弧线圈

Analysis with applications on selecting single-phase line faulting by disturbance method based on fast-responding arc suppression coil

CHEN Rui

(Guangdong Power Test & Research Institute, Guangzhou 510600, China)

Abstract: This paper introduces the character of a controllable arc suppression coil (CASC) controlled by thyristor (SCR), which is fast-responding. Based on this CASC, a disturbance method can be realized in selecting single-phase line faulting (SSLF). And the principle, criterion, unique character and the high accuracy of this method are analyzed. At last, the applications are introduced, and it is proved that the high accuracy of SSLF and tripping could develop a new operation mode of neutral grounding in distribution networks.

Key words: distribution network; selecting single-phase line faulting; disturbance method; neutral grounding; arc suppression coil

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)20-0041-04

0 引言

目前国内小电流选线装置采用的基本原理有零序电流幅值及功率方向法、高次谐波法、有功分量法、异频信号注入法等, 但普遍由于判据简单、工程要求高或无法和消弧线圈配合, 都无法取得较好的选线效果。经研究发现通过结合快速消弧线圈, 应用零序电流扰动法的选线装置, 可实现极高的选线准确率。该方式实现了消弧补偿与选线并列进行, 在保证消弧线圈迅速启动补偿灭弧的同时进行选线, 在现场许多例的应用中取得了很好的效果, 并投入了选线跳闸装置, 跳闸准确率达98%以上^[1]。

实现零序电流扰动法的关键包括一种快速消弧线圈——晶闸管控制的高短路阻抗变压器式消弧线圈, 以及采用扰动原理的选线装置。通过两者间的配合, 实现对零序电流的迅速扰动, 从而选择出接地线路。

1 高短路阻抗变压器式消弧线圈

作为零序电流扰动法的基础, 它是一种采用晶

闸管控制的快速响应动作以及能在接地补偿过程中改变补偿度的消弧线圈。其原理是采用短路阻抗为100%或更大的单相变压器, 其中有1组一次绕组(NW)为工作绕组, 接入系统的主回路(接地变中性点和大地之间), 以及2组二次绕组, 其中1组(CW)接入两个正反对称的晶闸管(SCR), 通过改变导通角实现感抗的变化; 另1组(LW)接入滤波器(LC), 滤除接地补偿时晶闸管产生的谐波分量。其结构及等效回路见图1。

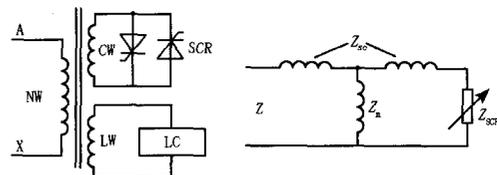


图1 晶闸管控制的消弧线圈原理图及等效回路

Fig.1 Principle diagram and equivalent circuit of the arc suppression coil controlled by thyristor (SCR)

从等效回路可知, 当控制晶闸管从关断到导通之间变化时, 晶闸管的等效阻抗(Z_{SCR})从无穷大到0之间变化, 从而实现消弧线圈的等效阻抗(Z)

从无穷大到额定阻抗 (Z_{SC}) 之间变化。加上额定电压后, 可实现输出感性电流 (\dot{I}_L) 从 0 到额定电流 (\dot{I}_n) 的变化, 见以下公式。

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{U}_n}{Z} = \frac{\dot{U}_n}{Z_{SC} + Z_{SCR}}$$

当 Z_{SCR} 从 ∞ 到 0 之间变化时, 则

$$\dot{I}_{Lmin} = \frac{\dot{U}_n}{Z_{SC} + \infty} = 0, \dot{I}_{Lmax} = \frac{\dot{U}_n}{Z_{SC} + 0} = \dot{I}_n$$

对比各类型的消弧线圈, 此原理的消弧线圈具有显著的特点: ①采用了短路阻抗而不是励磁阻抗作为消弧线圈的工作阻抗, 因而其电感电流与电压的伏安特性是一过零点的直线。②晶闸管控制补偿, 速度极快, 在 60 ms 以内可以稳定输出补偿电流。③可实现随调的控制方式, 取消了阻尼电阻, 并可在接地补偿中改变补偿值, 实现与选线装置的配合。④由于采用电力电子技术, 因此可实现无任何转动或调节机构、无机械及电磁动作环节的结构简单的消弧线圈, 所以维护工作简单。

2 扰动法选线原理

通过研究消弧线圈补偿情况下的电网各种电量, 发现可利用高短路阻抗变压器式消弧线圈的性能, 在补偿时迅速改变消弧线圈的补偿度在一定范围内变化, 实现对零序电流的扰动, 并由选线装置进行快速同步采集并计算, 同时比较各线路零序电流的变化, 零序电流扰动量为最大的线路为单相接地的线路。

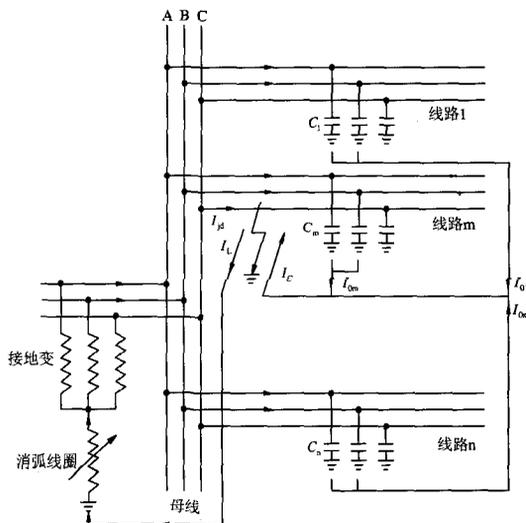


图 2 线路接地时零序电流分布图

Fig.2 Network of zero-sequence current in single-phase line faulting

中性点经消弧线圈接地的系统, 当线路发生单相接地时零序电流分布如图 2 所示。

当消弧线圈进行补偿时, 故障点的接地电流 \dot{I}_{jd} 为接地电容电流 \dot{I}_C 与消弧线圈补偿的感性电流 \dot{I}_L 的矢量和, 即

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

故障线路的零序电流 \dot{I}_{ogz} 为接地点的接地电流 \dot{I}_{jd} 与故障线路对地电容的电容电流 \dot{I}_{om} 的矢量和, 即

$$\dot{I}_{ogz} = \dot{I}_{jd} - \dot{I}_{om} = \dot{I}_C - \dot{I}_L - \dot{I}_{om}$$

接地发生后首先保证消弧线圈迅速补偿接地故障, 若接地无法自动消失, 再通过短时 (2~3 个工频周期内) 改变可控消弧线圈的晶闸管角度, 令消弧线圈的补偿深度即补偿的感性电流由 \dot{I}_L (扰动前) 调节到 \dot{I}'_L (扰动后), 这样人为在故障线路给出一个扰动量:

$$\Delta \dot{I}_L = \dot{I}'_L - \dot{I}_L$$

由于消弧线圈补偿度对非故障线路的零序电流影响很小, 此时对于非故障线路零序电流的扰动量为:

$$\Delta \dot{I}_{oi} = \dot{I}'_{oi} - \dot{I}_{oi} \approx 0$$

对于故障线路零序电流的扰动量为:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{I}_{ogz} &= (\dot{I}_C - \dot{I}'_L - \dot{I}_{om}) - (\dot{I}_C - \dot{I}_L - \dot{I}_{om}) = \\ &= -(\dot{I}'_L - \dot{I}_L) = -\Delta \dot{I}_L \end{aligned}$$

所以当接地时, 故障线路的零序电流扰动量 $\Delta \dot{I}_{ogz} = -\Delta \dot{I}_L$, 非故障线路的零序电流的扰动量为 $\Delta \dot{I}_{oi} = 0$, 故可以容易判断出 $\Delta \dot{I}$ 为最大的即为发生接地的线路。

该选线判据明显, 在各种复杂的情况下都能够准确选择线路, 如电容电流较小的变电站、高阻接地、或者某条线路的电容电流特别大的情况, 都能得出较大的零序电流变化值, 选线装置可轻易判决。同时, 在进行扰动时对各线路的零序电流幅值和零序功率方向进行采样, 作为辅助判据, 令结果更加准确。

为保证准确选线以及消弧线圈的灭弧效果, 有以下几点为关键之处: ①消弧线圈只能短时离开谐振点, 然后必须迅速恢复, 一般取 2~3 个工频周期内。②消弧线圈的补偿度的改变尽量不能过大, 避

免在选线过程中电弧的重燃。③选线装置必须采用快速同步采样,如先进的数字信号处理器(DSP)和14位模数转换(A/D),保证在瞬时扰动过程中对所有线路的同时采样。④选线用零序电流互感器具备在小电流下有足够的精度,而且同一个站的所有零序电流互感器必须保证在精度及误差的偏移具有一致性。

3 应用情况及分析

采用此种方式的消弧加选线系统已经有几百套的现场应用,取得了满意的运行结果和丰富的数据。目前在广东东莞、惠州、揭阳等地已有三十多个变电站投入了选线后自动跳闸的功能,运行情况稳定,跳闸准确。

表1和表2为广东惠州某变电站的一次接地故障选线跳闸后消弧控制装置及小电流选线装置记录的数据。

从表1可以看出,发生单相接地时该变电站的系统电容电流较小,只有约7A(折算到额定相电压),此次接地电容电流为6.4A,消弧线圈补偿8.8A电流,过补偿,选线装置仍能准确选择接地线路F03。表2的小电流选线装置数据则记录了通过与消弧装

置的配合,采集到了接地线路F03的零序电流扰动值为 $\Delta I = 0.127$ A(二次值),零序功率方向为 $I = +0.136$ A(二次值),在所有线路的变化量中是最大的,所以可判断出线路F03发生了接地故障,并在用户设定的10s后跳闸。可从表1的接地开始时间11:54:02到结束时间11:54:12共10s验证本次选线跳闸的准确性。

类似的接地数据还有许多,在电容电流大范围变化、小电容电流、高阻接地等严酷场合下, ΔI 的判断都非常明显,令故障线路轻易选出。如在广东东莞大龙变电站运用该套原理的系统故障录波屏验证的为期三年的运行考核中,录得了大量接地补偿选线记录,并取得了跳闸准确率达98%以上的优异成绩^[1],值得关注的是,剩下的2%为无法选出而并非选错。表3为该站选线正确性次数统计。

这种新型选线方式加跳闸作为国内配网中性点接地方式的一种有效的补充,既避免了小电阻接地的跳闸率过高的问题,又解决了单独消弧线圈无法自动切除单相接地故障的不足,吸取了两种方式的长处,避免了短处,是一种较理想的配网中性点接地方式。

表1 广东惠州某变电站一次接地消弧控制装置记录的数据

Tab.1 One single-phase line faulting record by the arc suppressing coil controller in Huizhou, Guangdong

日期	开始时间	结束时间	中性点电压/V	消弧补偿电流 I/A	接地电容电流 I _c /A	接地线路	备注
2004-07-04	11:54:02	11:54:12	5760.6	8.8	6.4	F03	F03线路10s跳闸

表2 广东惠州某变电站一次接地小电流选线装置记录的数据

Tab.2 One single-phase line faulting record by the SSLF equipment in Huizhou, Guangdong

线路	F03	F01	F14	F17
零序电流扰动值 ΔI /A	0.127	0.005	0.003	0.002
零序电流功率方向值 I/A	+0.136	-0.027	-0.003	-0.002

表3 广东东莞大龙变电站选线正确性次数统计

Tab.3 Statistic of the correctness of SSLF in Dalong power station, Dongguan, Guangdong

核实情况	全部运行期间(2002年10月~2005年3月)				投入跳闸功能(2004年1月7日)后			
	合计	正确	选不出	选错	合计	正确	选不出	选错
确凿核实	76	74(97.37%)	2(2.63%)	0	51	50(98.04%)	1(1.96%)	0
可能核实	91	89(97.80%)	2(2.20%)	0	66	65(98.48%)	1(1.52%)	0

4 结论

依据基于晶闸管控制的高短路阻抗变压器式消弧线圈快速补偿的特点,提出采用零序电流扰动法进行选线是小电流选线发展的一项重要进展。它根据故障线路的零序电流在消弧线圈补偿度发生改变时而变化最大,而非故障线路零序电流基本无变化的原理,通过判断比较所有变化量从而得出单相

接地线路。

此种方式的选线,不仅极大地提高了判断接地线路的准确性,而且在此基础上,可实现一种更加具有优势的配网接地方式,即消弧+选线+跳闸方式。该方式已在配网中得到了广泛的应用,取得了优异的运行成绩,是一种值得推广的配网中性点接地方式。

参考文献

[1] 广东省科学技术厅.配电网中性点快速消弧线圈快速选线跳闸接地运行方式的应用研究.科技成果鉴定证书[Z].粤科鉴字[2005]041号.2005,3(3).

[2] 陆国庆,姜新宇,欧阳旭东,等.高短路阻抗变压器式自动快速消弧系统—配电网中性点新型接地方式的实现[J].电网技术,2000,24(7):25-28.
LU Guo-qing, JIANG Xin-yu, OUYANG Xu-dong, et al. An Automatic Rapid Arc Suppression System Based on Transformer with High Short Circuit Impedance—Implementation of a New Approach of Neutral Grounding for Distribution Network[J]. Power System Technology, 2000,24(7):25-28.

[3] 陆国庆,姜新宇,梅中健,等.配电网中性点接地的新途径[J].电网技术,2004,28(2):32-35.
LU Guo-qing, JIANG Xin-yu, MEI Zhong-jian, et al. A New Approach to Neutral Grounding in Distribution Networks[J]. Power System Technology, 2004,28(2):32-35.

[4] 要焕年,曹梅月.电力系统谐振接地[M].北京:中国电力出版社,2000.

YAO Huan-nian, CAO Mei-yue. Resonance Ground of Electric Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.

[5] DL/T 872-2004,小接地电流系统单相接地保护装置[S]. DL/T 872-2004, Specification of Single Phase Relay in Non-effective Earthed Power System[S].

[6] DL/T 1057-2007,自动跟踪补偿消弧线圈成套装置技术条件[S]. DL/T 1057-2007, Specification of Arc Suppressing Coil Apparatus with Automatic Tracking and Compensation[S].

[7] 张山,杨玉昆,潘华东,等.KD-XH型智能化快速消弧系统应用效果分析[J].高电压技术,2001,27(4):77-78.
ZHANG Shan, YANG Yu-kun, PAN Hua-dong, et al. Analysis of Application of KD-XH Intelligent Arc Suppressing Coil[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27(4):77-78.

收稿日期:2008-01-07; 修回日期:2008-01-22
作者简介:

陈锐(1976-),男,工程硕士,从事电力系统试验和研究工作。E-mail:cray@163.com

(上接第37页 continued from page 37)

[8] 郭敏.风电场机端无功补偿的探讨[J].内蒙古电力技术,2006,24(3).
GUO Min. Research on Reactive Compensation for Generator End of Wind Power Site[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2006,24(3).

[9] 陈金贵,陈海焱,段献忠.含分布式电源的配电网潮流计算[J].电力系统自动化,2006,30(1):39-44.
CHEN Jin-gui, CHEN Hai-yan, DUAN Xian-zhong. Study on Power Flow Calculation of Distribution System with DGs[J]. Automation of Electric Power Systems,

2006,30(1):39-44.

收稿日期:2008-03-08; 修回日期:2008-05-08
作者简介:

张平(1982-),男,硕士,从事电力系统继电保护的研究和开发工作; E-mail: zp06108@126.com
刘国频(1965-),男,高级工程师;
曾祥君(1972-),男,博士,教授,从事电力系统微机保护与控制的教研和研究开发工作。

(上接第40页 continued from page 40)

[8] Farmer R G, Svchwalb A L, Kvate E. Navajo Project Report on Sub Synchronous Resonance Analysis and Solutions[J]. IEEE Trans on PAS, 1977:1266-1232.

[9] Wolff R F. Stop Sub Synchronous T/G-Shaft Damage[J]. Electrical World, 1981:129-133.

[10] 李岩松.基于统一潮流控制器的阻尼次同步谐振的研究[M].北京:华北电力大学,2000.
LI Yan-song. Research on Damping Subsynchronous Resonance Based on United Power Flow Controller[M]. Beijing: North China Electric Power University, 2000.

[11] Xing K, Kusic G L. Damping Subsynchronous Resonance by Phase Shifters[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 1989, 4(3):344-350.

[12] 倪以信,等.动态电力系统的理论和分析[M].北京:清华大学出版社,2002.
NI Yi-xin, et al. Theoretical Analysis of Dynamic of Power System[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.

[13] LI Wang. Damping of Torsional Oscillation Using Excitation Control of Synchronous Generator, the IEEE Second Benchmark Model Investigation[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 1991,6(1).

收稿日期:2007-12-26; 修回日期:2008-01-09
作者简介:

刘燕(1984-),女,硕士研究生,研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用。E-mail:aacd.4321@163.com