

中性点经消弧线圈并联中值电阻接地方式的研究

陈少华,叶杰宏,郑 帅

(广东工业大学自动化学院,广东 广州 510090)

摘要: 故障选线是小电流接地系统长期以来的一个难题。分析了中性点经消弧线圈接地方式在发生单相接地时的特点和带来的选线问题,提出了消弧线圈并联中值电阻接地的方案。经验证,该方案不会影响电力系统的安全运行,而且能快速、准确地选出故障线路,具有很好的实用价值。

关键词: 消弧线圈; 中值电阻; 单相接地; 故障选线

中图分类号: TM774 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)11-0017-04

0 引言

中性点非直接接地系统,又称小电流接地系统,包括中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点经电阻接地三种方式。这种系统发生单相接地故障的机率在 80% 以上,由于故障点的电流相对较小,而且三相之间的线电压保持不变,对负荷供电没有影响,因此可以允许再运行 1~2 个小时而不必跳闸。但随着系统容量的不断增加,线路长度的不断增长,电容电流也在增大,长时间运行还是会使故障扩大成两点或多点接地造成短路,弧光接地还可能引起全系统过电压,损坏设备,破坏安全运行,因此应及时选出故障线路给予排除。电力行业标准规定当单相接地电容电流大于 10 A 时,就要装设消弧线圈^[1]。

采用经消弧线圈接地方式后,当发生单相接地故障时,消弧线圈产生感性电流补偿了接地点的电容电流,使故障点的残流很小,从而使选线装置难以通过残流来准确判断故障位置。因此,本文提出了消弧线圈并联中值电阻接地的选线方案。

1 消弧线圈接地系统的分析

1.1 消弧线圈接地系统单相接地故障的特点

中性点经消弧线圈接地以后,单相接地时的电流分布将发生重大的变化。由图 1 的零序等效网络图可以看出,发生单相接地后,通过接地点的总电流为电感电流与全系统总电容电流的向量和,即

$$I_{f0} = I_L + I_{c\Sigma} \quad (1)$$

其中: $I_{c\Sigma} = I_{c1} + I_{c2} + I_{c3}$ 。

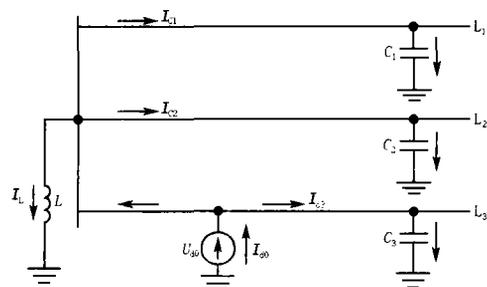


图 1 消弧线圈接地系统单相接地的零序等效网络图

Fig 1 Zero sequence equivalent network of arc suppression coil grounded system when single phase grounded

由此可知,中性点经消弧线圈接地后,由于 $I_{c\Sigma}$ 和 I_L 的相位大约相差 180°,因此,这两者的相互抵消将会使 I_{f0} 减少,从而有效地防止事故的扩大发展,有利于系统的安全运行。

1.2 消弧线圈接地系统存在的选线问题

传统的选线原理有零序电流、无功方向、首半波比相、谐波电流方向和群体比幅比相以及自适应、自适应技术等^[2]。对于中性点不接地系统,由于故障线路的零序电流的基波幅值最大,相位与正常线路的相位相反,因此基于零序电流的选线装置的选线准确率很高,这种装置得到广泛的应用。然而,小电流接地系统在中性点加装了消弧线圈后,由于消弧线圈的补偿作用,减少了故障线路的零序电流,且相位与补偿度有关,所以原有的选线方法就不再适用了。

零序电流比幅法是根据单相接地时故障线路的零序电流最大的原理,通过零序电流幅值大小的比较找出故障线路的。此法依靠的是本线路的电容电流,因此,当中性点有消弧线圈补偿时,此法失

基金项目: 广东省自然科学基金项目 (项目编号: 040094)

效^[3]。

在单相接地情况下,五次谐波容性电流分布与中性点不接地系统中基波容性电流几乎相同,且数值上远远大于消弧线圈提供的五次谐波感性电流,因此可以利用五次谐波原理进行选线。但在实际运行的系统中,因外界的谐波干扰以及用户的电弧炉、整流设备等谐波源的存在,使得故障线路中五次谐波电流不一定总是最大,相位关系也不一定成立。此外,由于有的系统中五次谐波本身含量很小,加之CT、PT对五次谐波造成的附加相移,往往造成选线正确率较低^[4]。

因此,寻求一种能够提高中性点经消弧线圈接地系统的选线准确率的有效解决方案,对提高电力系统的安全运行有着重大的意义。

2 消弧线圈并联中值电阻接地的方案

根据以上的分析,本文提出了消弧线圈并联中值电阻接地的方案^[5]。此方案是通过并联中值电阻的短时投入来提高单相接地故障的选线正确率。其等效原理图如图2所示。图中, L 为消弧线圈的电抗值, R_N 为并联电阻阻值, I_L 为通过消弧线圈的电流, I_{RN} 为通过并联电阻的电流, U_A 、 U_B 、 U_C 为每相的相电压, U_n 为中性点电压, C_A 、 C_B 、 C_C 为每相的对地电容, R_d 为接地电阻阻值, I_d 为接地电流, K 为真空开关。

正常运行时,真空开关 K 打开。对于瞬时性的单相接地故障,由于消弧线圈的补偿使单相接地故障受到限制,电弧自动熄灭,故障消失,系统稳定运行。而对于永久性的单相接地故障,在稳定接地后由计算机控制装置控制开关 K 合闸投入并联中值电阻(投入时间小于1s)进行选线。选线结束后,开关 K 迅速跳开切除中值电阻。在并联电阻投入的时间内,零序电流信号差异相当显著,选线正确率将会大大提高。

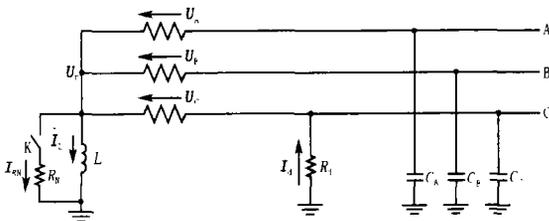


图2 消弧线圈并联中值电阻系统等效原理图

Fig 2 Equivalent circuit diagram of arc suppression coil system with medium resistance

根据图2的等效电路图,以大地为节点,可以作出以下的状态方程:

$$U_n (g_0 - jb) + U_B (j C_B) + U_A (j C_A) + U_C (g_d + j C_C) = 0 \quad (2)$$

计算可得到:

$$i_{in} = \frac{U_0 C_{in} g_d}{\sqrt{(g_0 + g_d)^2 + y^2}} \quad (3)$$

$$i_f = \frac{U_0 g_d \sqrt{g_0^2 + (x - C_f)^2}}{\sqrt{(g_0 + g_d)^2 + y^2}} \quad (4)$$

其中: i_{in} 、 i_f 为正常线路、故障线路的电流; g_d 为接地导纳; g_0 为并联电阻的导纳; ω 为角频率; C_{in} 、 C_f 为正常线路、故障线路的电容; y 为对地总电容导纳; U_0 为零序电压。

线路系数 k 由以下式子确定:

$$k^2 = \frac{[g_0 g_d (g_0 + g_d) + g_d y^2 - 2 g_d y C_f]^2}{2 C^2 [4 g_d^2 y^2 + \{ (3 g_d + g_0) (g_d + g_0) + y^2 \}^2]} + \frac{[g_d y - (3 g_d + g_0) (g_d + g_0) C - y^2 C_f]^2}{2 C^2 [4 g_d^2 y^2 + \{ (3 g_d + g_0) (g_d + g_0) + y^2 \}^2]} \quad (5)$$

其中: C 为线路电容。

k 的含义是线路的零序电流 i_0 和接地电流 i_d 之比。归纳起来是:

$$\text{正常线路: } k = (i_0, i_d) = f(y, g_d, g_0)$$

$$\text{故障线路: } k = (i_0, i_d) = f(y, g_d, g_0, C_f)$$

由此看出,对于正常线路, k 和线路的长短、连续电流相位均无关,只与系统参数和接地电阻有关。对于故障线路, k 和线路参数、系统参数均有关,并且显著区别于正常线路的线路系数 k 。因此,通过计算机分析线路系数 k 因子,便可找出接地故障线路。

消弧线圈并联中值电阻接地的方案,结合了中性点经消弧线圈接地和电阻接地两种接地方式的优点,既保持了电阻接地可以准确选线的优点,又可以减少接地点残流,并限制弧光接地过电压,能够正确地金属接地、高阻接地和母线接地进行选线。

3 应用实例

将中性点经消弧线圈并联中值电阻接地的方案应用于某地区的110kV变电站的10kV系统,并验证该方案的选线正确性。对于瞬时性单相接地,消弧线圈无任何延时立刻进行补偿,这时中值电阻不投入;而对于永久性单相接地,先由消弧线圈自动灭弧,延时 T 后再投入中值电阻(投入时间 <1 s),选线装置迅速采样各条线路零序电流的变化并作比

较,然后切除中值电阻后,选线装置就可以准确地选线了。延时 T 的选择应大于瞬时性单相接地故障恢复时间, T 值可根据现场运行要求调整,调节范围为 5 s 至 2 h^[6]。根据运行条件这里设置延时 T 为 10 s。

表 1 试验结果

Tab 1 Test result

类型	试验次数	正确次数	正确率 / (%)
瞬时性接地	5	5	100
金属性接地	5	5	100
高阻接地	6	6	100
合计	16	16	100

为了试验该方案的选线正确率,分别对瞬时接地、金属接地和高阻接地三种故障类型进行了多次试验,试验结果如表 1 所示。由试验的结果可以看出,采用消弧线圈并联中值电阻接地的方案后,无论是瞬时性单相接地还是永久性单相接地,选线装置的选线正确率均可高达 100%,选线的正确性非常高。

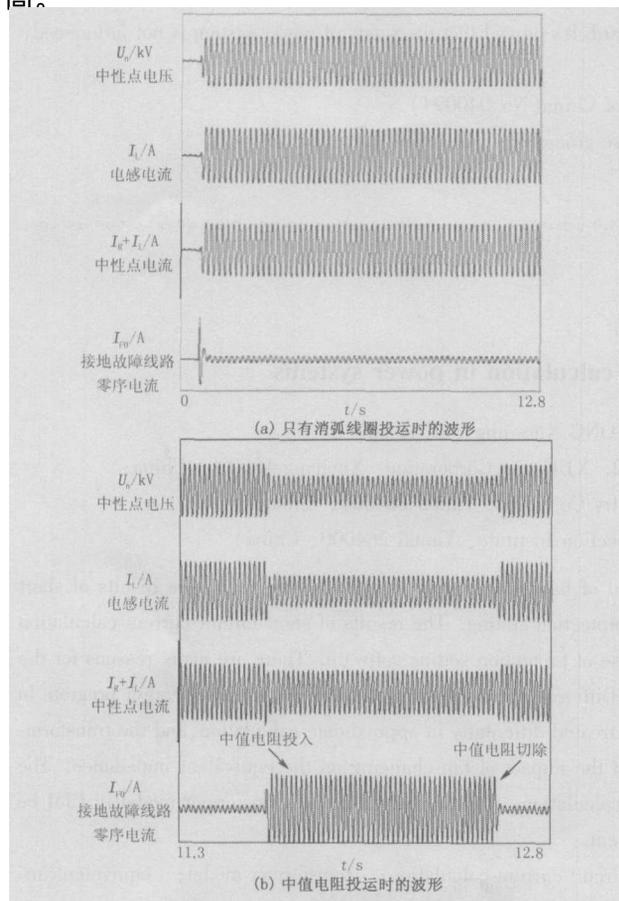


图 3 试验录波波形

Fig 3 Recorded graphs of the test

图 3 给出了两种录波波形。图 3(a)是只有消弧线圈投运时的录波波形,图 3(b)是中值电阻投运时的录波波形。由图 3 可看出,中值电阻投运的时间里,故障线路的零序电流明显地增大,因此,即使用传统的零序电流幅比相法都可以准确地选出故障线路。此外,中值电阻的投运,还会降低中性点电压,这样则不影响电力系统以及电力设备的安全运行,大大增加了供电可靠性。

4 结论

本文在分析了消弧线圈接地系统的特点和选线问题的基础上,提出了消弧线圈并联中值电阻接地选线的方案。事实证明,消弧线圈并联中值电阻接地选线的方案,可以准确、快速地选出发生单相接地故障的线路,避免了手工拉路法对正常线路造成的停电,也克服了其它选线方式的缺点。因此,该方案很好地解决了由于消弧线圈补偿后残流较小而造成故障选线困难的问题,具有很好的实用价值。

参考文献:

- [1] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理(第三版)[M]. 北京:中国电力出版社,1996
HE Jia-li, SONG Cong-ju The Protective Principle of Relay in Electric Power System, Third Edition[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996
- [2] 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]. 继电器, 2001, 29(4): 16-20
XIAO Bai, SHU Hong-chun, GAO Feng Survey of the Methods of Fault Line Selection for Single-phase-to-earth Fault in Networks with Ungrounded Neutral[J]. Relay, 2001, 29(4): 16-20
- [3] 龚静,周有庆,王娜,等. 小电流接地系统单相接地故障选线诸方法原理及利弊探讨[J]. 电站系统工程, 2004, 20(1): 31-33.
GONG Jing, ZHOU You-qing, WANG Na, et al Discussion of Principles and Traits of Methods for a Single-phase Short Circuit to Ground Feeder Protection in Ineffectively Grounded Power System[J]. Power System Engineering, 2004, 20(1): 31-33.
- [4] 计建仁,濮卫萍. 消弧线圈接地系统单相接地的选线原理和应用[J]. 浙江电力, 2003(3): 51-54
XU Jian-ren, PU Wei-ping Principle of Selecting Earthing Wire for Single-phase Ground of Arc-suppressing Coil Grounding System[J]. Zhejiang Electric Power, 2003(3): 51-54.
- [5] 朱以屏. 消弧线圈接地系统采用中电阻选线的原理及

应用 [J]. 华东电力, 2004, 32 (11): 20-22

ZHU Yi-ping Principle of Line Selection for Arc Suppression Coil Grounding System Using Medium Resistance and Its Application [J]. East China Electric Power, 2004, 32 (11): 20-22

[6] 陆晓芸, 郑曲直. 自动跟踪消弧线圈瞬时并联小电阻的中性点接地方式在接地选线中的应用 [J]. 供用电, 2002, 19 (3): 34-37.

LU Xiao-yun, ZHENG Qu-zhi The Application of Automatic-follow Arc Suppression Coil Parallel with Medium Resistance Grounding Neutral to the Grounded Line Detection [J]. Distribution and Utilization, 2002, 19 (3): 34-

37.

收稿日期: 2005-11-08; 修回日期: 2005-12-19

作者简介:

陈少华 (1952 -), 女, 教授, 硕士生导师, 主要从事电力系统的智能保护和自动装置的教学与研究;

叶杰宏 (1979 -), 男, 硕士研究生, 研究方向是电力系统安全运行与控制; E-mail: jiehong_ye@163.com

郑帅 (1979 -), 男, 硕士研究生, 研究方向是电力系统智能保护。

Study of arc suppression coil grounded system with medium resistance

CHEN Shao-hua, YE Jie-hong, ZHENG Shuai

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: Single-phase grounded line detection is a difficult problem existing for a long time. This paper analyzes the characteristic and problems of single-phase grounded line detection in arc suppression coil grounded system when single-phase grounded A scheme of arc suppression coil grounded system with medium resistance is put forward. It's proved that the safety of power system is not influenced, and the grounded line can be detected quickly and accurately.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 040094).

Key words: arc suppression coil; medium resistance; single-phase grounded; fault line detection

(上接第 16 页 continued from page 16)

Influencing factors on short circuit calculation in power systems

YAO Yu-bin¹, JIN Wen-zhuan², SONG Xue-qing³, LI Hong⁴

(1. Dalian Maritime University, Dalian 116026, China; 2. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China;

3. Yantai Dongfang Electronic Information Industry Co., Ltd, Yantai 264001, China;

4. Yantai Products Quality Supervision and Inspection Institute, Yantai 264000, China)

Abstract: Short circuit current calculation in power systems is a kind of basic calculation that frequently used, the results of short circuit calculation is the foundation for electrical device selecting and protection setting. The results of short circuit current calculation program in energy management system are sometimes different from those of protection setting software. There are many reasons for the causing of these differences. The main reasons as follows are studied. Different normal positive voltage is used by different program in approximate calculation, the equivalent impedances of transformers are treated differently in approximate calculation, and the transformer model is improperly selected in detailed calculation due to neglect of the impact of tap-changing on the equivalent impedance. The transformer model can greatly affect the results of short circuit current calculation, it is proposed that the transformer model in CM be used in power system application, as this model is correct and convenient.

Key words: short circuit current calculation; approximately short circuit current calculation; transformer model; equivalent impedance