

# 小电流接地系统接地检测的工程应用分析

赵福旺, 姚彩霞

(唐山供电设计院, 河北 唐山 063000)

**摘要:** 针对目前小电流接地系统的接地选线装置现场选线的准确性差、投入率不高的问题, 根据系统的特点对问题进行了工程应用上的分析, 经过对小电流接地系统的理论分析、选线设备原理、采样误差等方面对问题进行剖析, 提出了减小综合测量误差, 提高选线准确性、可靠性的措施。

**关键词:** 小电流接地系统; 接地选线; 零序电流互感器; 误差

**中图分类号:** TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)07-0021-03

## 0 引言

在 6~66 kV 电力系统中普遍采用中性点不接地或经消弧线圈接地的小电流接地系统方式, 当系统发生单相接地故障时, 由于不能构成短路回路, 接地故障电流往往很小, 系统线电压的对称性并不遭到破坏, 系统还可继续运行一段时间, 规程规定一般为 1~2 h, 为防止系统事故扩大, 在接地运行的这段时间里必须设法排除接地点。小电流接地选线装置自 20 世纪 80 年代问世以来, 已经历了几次技术更新换代, 其选线的准确性也在不断提高, 尽管设备厂方宣称 100% 选线正确率, 但工程实际中均存在误判率较高的问题, 使许多用户有一种不用麻烦, 用了也麻烦的感觉, 故现场好多情况都是选检设备闲置退出而采用手动拉闸试验的原始方法查找接地。

## 1 小电流系统单相接地的特点

分析小电流系统单相接地时的运行状态, 其不同于正常运行状态的信息主要有 2 点: 故障线路流过的零序电流是全系统的电容电流减去自身的电容电流, 而非故障线路流过的零序电流仅仅是该线路的电容电流。故障线路的零序电流是从线路流向母线, 而非故障线路的零序电流是从母线流向线路, 两者方向相反, 或者说两者反相。从小电流系统单相接地时与正常运行时, 状态信息的不同看, 故障线路的判定似乎非常容易, 然而事实并非如此, 其原因主要有以下四点:

### 1.1 电流信号太小

小电流系统单相接地时产生的零序电流是系统电容电流, 其大小与系统规模大小和线路类型(电缆或架空线)有关, 数值甚小, 经中性点接入消弧线圈补偿后, 其数值更小, 且消弧线圈的补偿状态(过补

偿、欠补偿、完全补偿)不同, 接地基波电容电流的特点与无消弧线圈补偿时相反或相同, 对于有消弧线圈的小电流系统采用 5 次谐波电流或零序电流有功功率方向检测, 而 5 次谐波电流比零序电流又要小 2050 倍。

### 1.2 干扰大、信噪比小

小电流系统中的干扰主要包括 2 方面: 一是在变电站和发电厂的小电流系统单相接地保护装置的装设地点, 电磁干扰大; 二是由于负荷电流不平衡造成的零序电流和谐波电流较大, 特别是当系统较小, 对地电容电流较小时, 接地回路的零序电流和谐波电流甚至小于非接地回路的对应电流。

### 1.3 随机因素影响的不确定

我国配电网一般都是小电流系统, 其运行方式改变频繁, 造成变电站出线的长度和数量频繁改变, 其电容电流和谐波电流也频繁改变; 此外, 母线电压水平的高低, 负荷电流的大小总在不断地变化; 故障点的接地电阻不确定等等。这些都造成了零序故障电容电流和零序谐波电流的不稳定。

### 1.4 电容电流波形的不稳定

小电流系统的单相接地故障, 常常是间歇性的不稳定弧光接地, 因而电容电流波形不稳定, 对应的谐波电流大小随时在变化。

## 2 小电流接地系统接地信号装置的分类<sup>[2]</sup>

基于小电流接地系统发生单相接地时具有的特点, 目前, 小电流接地信号装置的设计判据主要有以下 8 种: 反映零序电压的大小; 反映工频电容电流的大小; 反映工频电容电流的方向; 反映零序电流有功分量; 反映接地时 5 次谐波分量;

反映接地故障电流暂态分量首半波; 信号注入法; 群体比幅比相法。

### 3 选线误判原因分析

由于各种干扰的影响,特别是当系统较小或是加装自动调谐的消弧线圈后,电容电流数值较小,接地点电弧电阻不稳定时,零序电流(或谐波电流)数值很小,可能被干扰淹没,其相位不一定正确,从而造成误判。工程上所采用的零序电流互感器精度太低。当原方零序电流在 5 A 以下时,许多厂家生产的零序电流互感器,带上规定的二次负荷后,变比误差达 20% 以上,角误差达 20° 以上,当一次零序电流小于 1 A 时二次侧基本无电流输出,无法保证接地检测的准确度,且选线检测装置用的电流变换器线性性能差,目前变电站自动化系统的选线检测元件大多按保护级选择,保护级互感器在所测电流远小于额定电流值时,综合误差难以满足要求,两级电流变换元件的总误差是造成现场误判的主要原因。工程实际中使用的零序滤序器的线性测量范围超出了实际可能的接地电容电流。

#### 3.1 零序电流互感器误差分析

零序电流互感器的工作条件属于套管型(或称母线型)电流互感器,这种电流互感器原方无绕组,而是将被测回路的导体(引线套管或汇流排)或电缆穿过它的内孔,作为原方绕组,因而仅有 1 匝。套管型电流互感器在其原方电流小于 100 A 时已不能保证准确度,一般的电流互感器在制作时,额定电流 400 A 以下多采用多匝式结构,这是因为电流互感器的误差决定于它的铁心所消耗的励磁安匝  $I_0 N_1$  (磁势) 占原方绕组总励磁安匝  $I_1 N_1$  (磁势) 的百分数,对于同一台铁心,在相同的原方电流下,原方绕组匝数越少,误差越大。套管型(或称母线型)电流互感器原方绕组仅有 1 匝,原方电流里励磁电流占的比例较大,造成较大误差<sup>[1]</sup>。而零序电流互感器实际应用在小电流接地系统中,其原方电流值均很小,正常运行时其原方基本无电流,出现接地故障时其原方电流(故障电流)也很小,一般在 10 A 以下。如该系统接地故障电流大于 10 A 时,规程规定要装设消弧线圈进行补偿,带有消弧线圈补偿时接地故障电流更小,一般小于 25 A(可小到 0.2~0.5 A)。在这样小的原方电流下常规零序电流互感器的变比和相角误差均很大,所以一般各互感器生产厂家对零序电流互感器均不能给出变比,也无误差保证指标。图 1 即为国内某知名互感器厂所生产的零序电流互感器的实际一、二次电流变化曲线(变比曲线)。从图 1 中可知:零序电流互感器的电流变比值随一次

电流值变化很大,而一次电流在小于 1 A 时,已经不能再给出具体的二次电流输出值。图 1 中绘出了互感器带不同负载阻抗时的特性曲线。

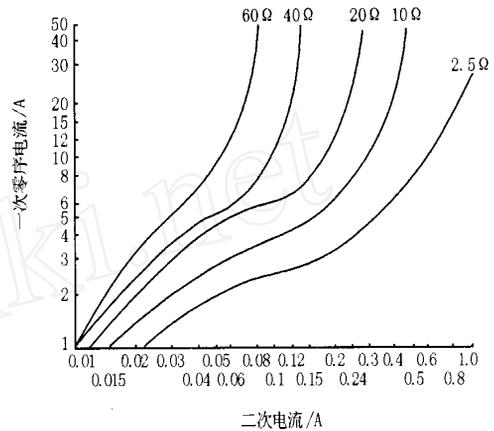


图 1 一、二次电流变化曲线

Fig. 1 Curves of the primary and secondary currents

经实际测量,在原方零序电流为 5 A 以下时,各厂家生产的零序电流互感器,带上规定的二次负荷后,变比误差达 20%~80%,角误差达 10°~50°,使得利用零序电流大小与方向、零序电流中 5 次谐波电流大小与方向和零序有功、无功功率原理的接地检测装置和微机保护无法保证接地检测的准确度。

#### 3.2 零序滤序器的误差分析

工程实际中使用的零序滤序器大多为三相保护用电流互感器的组合,即用三相保护电流合成零序电流,众所周知零序滤序器本身固有的不平衡输出使其准确性较低,而且一般保护用电流互感器在一次电流低于 50% 额定电流值时误差已不能保证<sup>[3]</sup>,随着系统容量的增大考虑到电流互感器饱和的原因,保护所使用的电流互感器的变比逐渐增大,额定一次电流值多大于等于 600 A,因此在接地电容电流小于 10 A 的小电流接地系统使用零序滤序器,单相电容电流仅为保护用互感器一次额定电流的 0.6%,互感器综合误差根本无法保证。

#### 3.3 微机检测装置的测量误差

目前典型的微机选检装置的电流变换器均按普通保护级选择,额定电流为 5 A 或 1 A,其线性范围为 0.120  $I_N$ ,而实际使用中的输入电流在几十毫安左右,远超出它的线性范围。以  $I_N = 5$  A 为例,当系统取最大接地电容电流 10 A,零序电流互感器或零序滤序器取较小值 60 (300/5) 时,二次侧的电流值为 0.16 A;当接地电容电流值为 2 A 时,二次侧的

电流值为 0.03 A;二次侧电流值均小于  $0.1 I_N$  (0.5 A),超出电流变换器的测量线性范围。

#### 4 工程中采取的措施

通过以上分析可知,测量环节的综合误差是目前各种微机选线装置误判的主要原因,工程应用中尽量使参数配合适当,减小测量环节的综合误差,有效提高小电流接地选线系统的选线准确率。工程中一般采取的有效措施包括:

1) 尽量选择准确度高的专用零序电流互感器,额定原方电流的选择应保证系统出现最大接地电容电流时能处在零序电流互感器的线性范围内(准确限值),原方电流的线性测量范围应向下延伸到 0.2 A 左右,用以适应经消弧线圈接地的小电流接地系统。

2) 零序滤序器应尽量使用变比较小的计量级(最好为 S 级)电流互感器组合而成,较小的变比可使电容电流的二次值较大,有利于检测装置的电流变换器采集电流值,S 级使电流互感器的测量精确线性范围更宽,有利于测量较小的电容电流。工程实践中不宜与计量系统合用同一电流互感器线圈。

3) 微机检测装置的电流变换器的线性测量范围应与互感器的二次输出值配套,工程实践计算经验表明:零序电流互感器的二次侧电流一般为 mA 级,电流变换器的线性测量范围应以 mA 级起步,例如:CSL-200E 系列保护的零序最小检测电流为 6 mA;德国西门子 7SJ 系列保护的高灵敏接地保护的零序最小检测电流为 3 mA。

4) 使用接线中尽量减小误差和电磁干扰影响,二次电缆采用屏蔽电缆,屏蔽层两端接地。在安装零序电流互感器时标有“P1”(或“L1”)端应朝向高压母线,零序电流互感器与母线之间不应有接地点,

即高压电缆外皮的接地线应穿过互感器在线路侧接地,当电缆穿过零序电流互感器时,电缆头的接地线应通过零序电流互感器后接地,由电缆头至穿过零序电流互感器的一段电缆金属护层和接地线应对地绝缘。

#### 5 结论

随着技术的进步,小电流接地选线系统的功能渐趋完善,只要选择原理与系统相适应的设备,在工程中尽量减少测量环节的综合误差,采取一定的抗干扰措施必将大大提高目前的接地选线准确性和可靠性。

#### 参考文献:

- [1] 范锡普(FAN Xi-pu). 发电厂电气部分(Electric Part of Power Plant)[M]. 北京:水利电力出版社(Beijing:Hydraulic and Electric Power Press),1987.
- [2] 牟龙华(MOU Long-hua). 零序电流有功分量方向接地选线保护原理(Principle of Selective Grounding Fault Protection Based on Active Component Direction of Zero-sequence Current)[J]. 电网技术(Power System Technology),1999,23(9):60-62.
- [3] 能源部西北电力设计院(Northwest Power Design Institute). 电力工程电气设计手册(电气二次部分)(Manual for Design of Electric Power Project, Electric Secondary Part)[M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1991.

收稿日期: 2003-07-15; 修回日期: 2003-12-03

#### 作者简介:

赵福旺(1973-),男,工程师,从事变电站继电保护及自动远动专业的工程设计;

姚彩霞(1963-),女,工程师,长期从事变电站继电保护及自动远动专业的工程设计。

### Analysis of fault line selection for power system with indirectly grounded neutral

ZHAO Fu-wang, YAO Cai-xia

(Tangshan Power Supply Design Institute, Tangshan 063000, China)

**Abstract:** As to on-site fault line selection of power system with indirectly grounded neutral, its accuracy and application results are not satisfactory. Aiming at that problem and based on the characteristics of the system, the paper analyses the problems from the perspective of engineering application, and puts forward measures with which the errors can be reduced, and correctness and reliability of fault line selection can be improved.

**Key words:** power system with indirectly grounded neutral; fault line selection; zero-sequence current transformer; error