

# 配网馈线接地定位及环供支线接地选线判据探讨

廖学静<sup>1</sup> 杨斌<sup>1</sup> 张振旗<sup>2</sup> 杨蒙<sup>2</sup> 崔彦波<sup>2</sup> 路欣<sup>2</sup>

(1. 国网四川省电力公司德阳供电公司 四川 德阳 618000;

2. 珠海威瀚科技发展有限公司 广东 珠海 519000)

**摘要:** 分析了不同接地方式下的接地电流特征及接地故障线路的过渡过程,并根据该过渡过程提出利用换路瞬间首个脉冲方向的定位/选线判据。该判据适用于不接地系统、消弧线圈接地系统的接地定位/选线,不受电压相位角的影响,不依赖零序电压,判据单一,接线简单。对该判据在各种故障情况下的应用进行了详细的分析。依照此判据实现的小电流接地选线装置的实际运行效果表明了该判据的准确性和实用性。

**关键词:** 接地电流暂态特征; 接地瞬间电流方向; 馈线接地定位; 环供支线接地选线

**Abstract:** The characteristics of grounding current under various grounding methods and the transient process of ground-line are analyzed. A criterion for grounding location/line selection using the first pulse direction of the moment when the circuit is switched is proposed according to the transient process. This criterion is suitable for grounding location/line selection of isolated neutral system and arc suppression coil grounding system. It is not affected by voltage phase angle and doesn't depend on zero-sequence voltage with single criterion and simple wiring. A detailed analysis on the criterion application in various faults is carried out. The accuracy and practicability of the proposed criterion is proved by the actual perfect application results of small current grounding line selection device taking the advantages of this criterion.

**Key words:** transient characteristics of grounding current; grounding transient current direction; feeder grounding location; ring feeder grounding line selection

中图分类号: TM773 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)05-0043-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.05.010

## 0 引言

中国中压配网采用非有效接地系统,主要指中性点不接地或经消弧线圈接地系统,习惯称为小电流接地系统,其中不接地系统逐渐被消弧线圈接地系统取代,准确接地选线的重要性进一步突显出来。单相接地不影响用户电压的对称,允许连续供电1~2 h。尽快查找并及时处理接地故障线路就成为主要任务,小电流接地选线装置正确动作信号显得十分重要。据统计,单相接地故障占配网故障的80%以上<sup>[1]</sup>,这些接地故障点绝大部分在主干线的某区段或者在支线上,即使变电站接地选线动作正确,沿干线、支线查找仍旧十分困难。随着自动跟踪补偿技术的发展,全补偿已经不再成为禁区<sup>[2]</sup>,接地电流越来越小,接地故障定位与变电站接地选线技术一样,是当前配网自动化技术中突出的难题。

## 1 接地电流特征的回顾

馈线自动化的接地定位及环网支线接地选线所依据的电气特征与变电站接地选线大致相同。首先对非有效接地系统单相接地特征作简要回顾,图1是10 kV单相接地时的等值电路。

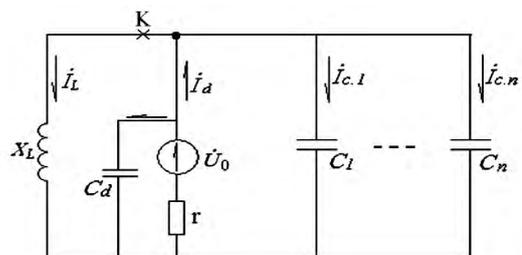


图1 单相接地等值电路

K点断开是中性点不接地系统,K点接通就是消弧线圈接地系统。

### 1.1 中性点不接地系统

图1中K点断开,就是中性点不接地系统单相

接地等值电路。遵照惯例,规定电流由母线指向线路为正方向,由线路指向母线为负方向。线路发生单相接地时,非故障线路有零序电流  $\dot{I}_{C,1} \cdots \dot{I}_{C,n}$ ,其数值等于线路自身的对地电容电流,电流的方向为正;接地故障线路出现的零序电流  $\dot{I}_d$ ,等于全系统非故障线路对地电容电流,电流方向为负。只要接地故障存在,上述电流方向自始至终不会改变。

### 1.2 中性点经消弧线圈接地系统

图1中K点接通便形成消弧线圈接地系统。消弧线圈按规程规定的脱谐度补偿,致使接地故障线路电流方向发生变化,接地故障线路在过补状态下接地电流方向与非故障线路相同,残流小而且不稳定。在补偿电流的作用下,故障点的残流在较短时间过零点消失,接地故障会自动消除,也给准确实现接地选线造成困难。消弧线圈的补偿电流与线路接地故障电流不是同时出现的。接地故障发生之前,无论是预调试、随调式或预随调式消弧线圈,电感电流接近0或者等于0,消弧线圈等效在退出状态。接地故障出现经“残流稳定时间”<sup>[2]</sup>之后才能补偿到设定值,与接地时刻存在一个时间差。

## 2 接地故障线路过渡过程回顾

消弧线圈接地系统中,单相接地时只有接地点至母线的线路区段接地电流特征发生了变化,与中性点消弧线圈有关系,非故障线路的运行状态与消弧线圈没有关系,其特征与不接地系统一样,没有任何变化。

推导接地选线暂态判据表达式的等值电路如图2所示。

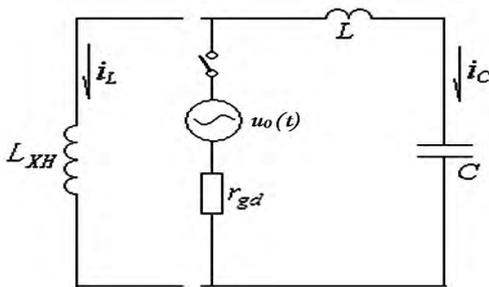


图2 单相接地过渡过程等值电路

图中  $L_{XH}$  为消弧线圈的电感;  $L$  为线路等值电感;  $C$  为系统的等值电容;  $r_{gd}$  等值过渡电阻,包括导线的电阻、故障点的电弧电阻及大地的电阻。

接地开始瞬间,考虑所述接地时刻设备的特征,

$i_L \approx 0$ ,电压初相位等于或接近  $\pm \pi/2$  附近,认为消弧线圈开路,将其从回路中断开。接地故障出现时,相当于零序电压  $u_0(t) = U_m \sin \omega t$  突然加在  $L$ 、 $C$ 、 $r$  串联回路上,可写出下面的二阶微分方程。

$$r_{gd}i + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = U_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

当式(2)成立时,电流的过渡过程具有衰减的周期特性。

$$r_{gd} < 2 \sqrt{L/C} \quad (2)$$

学术界认同式(2)总是成立<sup>[5-6]</sup>,并参考线路的波阻抗,  $\sqrt{L/C}$ 取 250 ~ 500  $\Omega$ <sup>[5,7]</sup>,当过渡电阻  $r_{gd} < 500 \sim 1\,000 \Omega$  将出现衰减振荡电流。求解及简化处理后得出

$$i_{0,max} = I_{C,m} \left( \frac{\omega_0}{\omega} e^{-\delta t} \sin \omega_0 t - \sin \omega t \right) \quad (3)$$

式中:  $I_{C,m}$  为系统的稳态电容电流;  $\omega_0$  为系统的共振频率  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ ;  $\omega$  为工频频率;  $\delta$  为自由分量衰减系数  $\delta = R/(2L)$ 。当  $t = T_0/4$  时,  $\sin \omega_0 t = 1$ ,过渡过程中首半波的最大电流值为

$$i_{0,max} = I_{C,m} \left( \frac{\omega_0}{\omega} e^{-\delta t} - \sin \omega t \right) \quad (4)$$

最大电流与稳态电流之比,近似等于共振频率与工频频率之比,按照文献[6-9,10]描述的自由振荡频率 300 ~ 3 000 Hz,式(4)可达系统电容电流的 6 ~ 60 倍,极易捕捉。式(2)是暂态判据成立的依据。

## 3 瞬间电流方向判定法

单相接地实际上是换路过程,瞬间电流一定符合换路定律,不管是否出现衰减振荡电流,换路过程照旧存在。接地开始瞬间,过渡过程与不接地系统一样,接地故障线路电流的方向在过渡过程结束后才完成。据以上分析,尝试利用接地故障发生后瞬间电流方向完成区段接地定位及环供分支点的接地选线,称瞬间电流方向(或极性)判定法。遵循惯例规定,电流由母线流向线路为正,由线路指向母线为负,以简化接地瞬间电流方向的描述。零序电流互感器的 P1 端面向电源侧,与二次 S1 为同名端。非本段线路(即区外)接地故障时,各区段接地瞬间电流脉冲为正;本区段线路单相接地时,各区段接地瞬间电流脉冲为负。

各区段零序电流互感器采集到首个触发点之后, 后续的电流不再参与判定。本判据只获取换路瞬间首个脉冲方向, 不依赖零序电压, 是与现有的判据的区别点。接地故障消除之后, 零序电流也就不复存在, 可记录接地故障终止时间。

图3是电压过零时刻的金属性接地的录波, 此时消弧线圈瞬间出现最大的直流分量, 接地故障点的电源侧(简称上游)的所有区段均为故障线路, 线路零序电流互感器在直流分量通过时迅速饱和, 波形偏于时间轴一侧, 叠加在故障线路上, 瞬间极性与非故障区段线路电流相反。遵照前面所规定的正、负方向, 接地故障点的上游区段瞬间电流均为负, 在接地故障点的下游的区段瞬间均为正, 接地故障点在瞬间电流正、负之间。当非故障线路区段为架空线路或电缆较短时, 正极性特征不明显, 但是电流幅值界限清晰, 负极性突出仍判定为非故障区段。

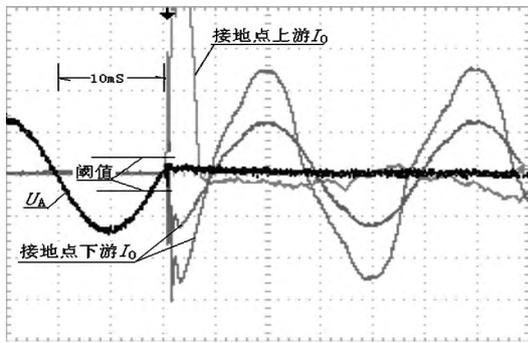


图3 金属性接地发生在电压过零时刻

### 3.1 区外单相接地故障时瞬间电流分布

图4是线路区外接地故障时瞬间电流方向示意图。

设接地故障点d在区外线路上, 实现馈线自动化接地定位的数个区段在线路L上, 非故障线路1TA~5TA仍属不接地系统, 检测到的瞬间零序电流均为正, 信息发送到监控中心后, 判定区外接地故障。只有接地点上游检测到瞬间零序电流为负, 如nTA标号。

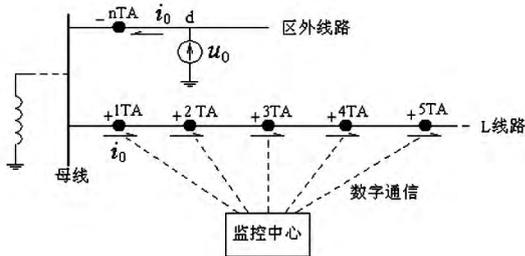


图4 区外单相接地故障瞬间电流方向

### 3.2 区内单相接地故障瞬间电流分布

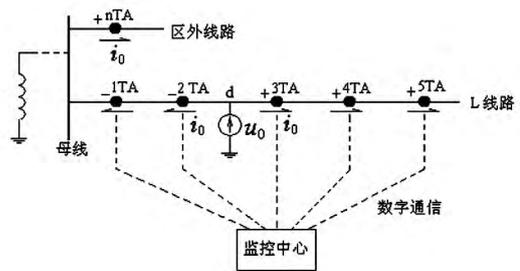


图5 区内单相接地故障瞬间电流方向

图5显示接地故障d在馈线自动化区段之内, 2TA与3TA之间时的瞬间电流方向, 上游1TA和2TA为负, 表明接地故障区段包括了1TA和2TA; 下游3TA、4TA、5TA及区外线路为正, 表明接地故障点不在该区段。接地故障点相邻上、下游的瞬间方向相反。接地故障点下游的正向瞬间脉冲是区段自身的电容电流, 比1TA和2TA幅值小许多, 特征微弱, 甚至接近零、采集不到, 这没有关系, 接地故障点一定在最后一级负向2TA的下游区段, 负向电流的背景是10kV母线上所有非故障线路的对地电容, 近似系统的电容电流, 幅值高、接地信息明显。总之接地点前后故障特征差异明显, 极易捕捉。

### 3.3 环供支线接地选线

环网柜、开闭所及电缆分支箱引出的支线一般2~4回, 双电源可切换供电, 平时只能由一个电源供电。线路中段引出的支线, 通常较短, 自身电容电流小。不少公司介绍按零序过电流整定, 超过某一设定值判定本线路接地, 这种简易的判据在线路很短时可以使用, 但是线路稍长就有问题了。过电流的整定原则是躲过区外接地故障时的最大电流, 保证区内最小接地电流时具有足够的灵敏系数。当线路稍长或有电缆线路时, 要满足这样的条件就困难了, 所以零序过电流判据只能适用于短线。环网支线接线如图6所示。

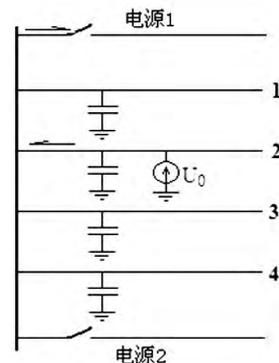


图6 环网柜、开闭所及电缆分支箱(环网支线)接线图

设环网支线由电源1供电,电源2断开,支线2发生接地故障,接地瞬间电流方向如图中箭头所示,故障线路与电源线路和消弧线圈串联在一起,电源1线瞬间电流为正向,支线2接地瞬间电流为负向。非故障线路1、3、4可以是长线,也可以是短线,也可能瞬间出现脉冲,也可能因自身电容电流太小测量不到,但是绝对不会出现高幅值的负向脉冲。由于电源1的背景是某变电站10 kV母线,接地瞬间换路电流的主体流向系统对地电容,所以幅值极高,信号特征明显,接地故障线路与电源线路瞬间电流方向相反,而且是唯一的。当接地故障在母线上时,线路1、2、3、4有可能因线路太短检测不到,但绝对不会出现与电源1反向脉冲信号,而电源侧的瞬间脉冲非常大,一定能够检测到,就可以判定母线接地故障。环供支线以电源线路作为比较基准,简单、可靠。环网点接地选线装置2014年11月在四川德阳供电公司某环网点试运行,记录到4次单相接地故障,录波完整,统计见表1。

表1 德阳某环供分支线动作记录

日期	时间	接地线路	最大峰值 /A
2014-11-07	15:33:05	政府支线	0.354
2014-11-15	21:58:06	电源进线	2.40
2014-12-12	19:02:14	电源进线	2.304
2015-04-27	11:54:30	电源进线	5.816

#### 4 结 语

接地电流瞬时方向判定法适用于不接地系统、消弧线圈接地系统的接地定位/选线,不受电压相位角的影响,不依赖零序电压,不需要增加三相电压互

感器,判据单一,接线简单。依照此判据的小电流接地选线装置于2014年11月在开普实验室通过了文献[3-4]规定的全部技术条件,样机投入了试运行,动作正确、录波完整。

#### 参考文献

[1] 郑顾平,杨以涵.配网自动化系统中小电流接地故障区段定位方法[J].中国电力工程学报,2012,32(13):103-108.

[2] DL/T 1057-2007,自动跟踪补偿消弧线圈成套装置技术条件[S].北京:中国电力出版社,2007.

[3] DL/T 872-2004,小接地电流系统单相接地保护装置[S].北京:中国电力出版社,2004.

[4] Q/GDW 369-2006,小电流接地系统单相接地故障选线装置技术规范[S].北京:中国电力出版社,2006.

[5] 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.

[6] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护原理[M].北京:水利电力出版社,1985.

[7] 贾清泉.非有效接地电网选线保护技术[M].北京:国防工业出版社,2007.

[8] Ф. А. 李哈乞夫,吴维诚等译.消弧设备的选择、装设和运行[M].北京:电力工业出版社,1956.

[9] 薛永端,徐丙垠,冯祖仁,等.小电流接地故障暂态方向保护原理研究[J].中国电机工程学报,2003,23(7):51-56.

[10] 许颖,徐士珩.交流电力系统过电压防护及绝缘配合[M].北京:中国电力出版社,2006.

作者简介:

廖学静(1971),高级工程师,长期从事电力生产技术管理。

(收稿日期:2015-07-27)

# 提高供电可靠性 加快建设现代配电网