

# 小电流接地系统的故障暂态分析及应用

王伟

(中国石化齐鲁分公司氯碱厂, 山东淄博, 255411)

**摘要** 当小电流接地系统发生单相接地故障时, 由于故障电流微弱或者弧光接地等因素, 使得基于稳态信号的检测效果可靠性不高。通过卡伦包尔变换分析了故障暂态过程的基本特性, 并在此基础上介绍了基于暂态零序电流特征的幅值、极性和无功功率流向关系的故障线路选择算法装置。

**关键词** 小电流接地 故障选线 故障监测 暂态信号

**中图分类号:** TM72 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-9859(2010)04-0325-04

## 1 引言

目前, 国内的 6 ~ 10 kV 配电网一般采用中性点不接地或经消弧线圈接地系统。对于小电流接地故障, 由于故障电流微弱、电弧不稳定等原因, 传统的基于稳态信息的故障检测选线方法从准确性、灵敏度、可靠性来说效果都不够理想。因此, 故障线路的选择相当困难, 如果不能及时处理, 故障线路长时间单相接地, 将会引起故障电缆的绝缘并进一步击穿, 从而导致火灾甚至整个供电系统的瘫痪, 造成重大经济损失。由于故障产生的暂态电流幅值远远大于稳态电流幅值, 基于暂态信号的选线方法灵敏度较高且不受消弧线圈的影响。本文通过线路分布参数的卡伦包尔变换故障模型, 分析了发生单相接地故障时故障线路暂态零序电流的特征。并基于分析故障暂态电流中的电感电流分量的分布情况, 来实现故障发生在相电压过零点附近的故障选线方法, 从而快速、准确的查找出故障线路, 以避免更大的供电线路事故发生。

## 2 小电流接地故障暂态过程特性

### 2.1 暂态零序电流分布特性

小电流接地系统单相接地故障的暂态过程中包含较多的故障特征, 其中接地故障中的瞬时暂态电流参数要比稳态电流参数大几倍到几十倍<sup>[1]</sup>。在暂态过程中, 故障相电压突然降低引起对地分布电容对地放电, 健全相电压突然升高使分布电容充电。由于放电电流只需经过母线构成

回路, 而充电回路必须经过电源, 因此放电过程比充电过程频率高、衰减快。

### 2.2 暂态零序电流计算

使用卡伦包尔变换求解暂态零序电流, 得出计算 A 相接地暂态分量的等效模量网络如图 1<sup>[2]</sup>, 其中模量 1、2 分别为在两相导体之间流动的线模分量, 参数值与对称分量法中正序网络一致; 模量 0 为在三相导体与大地之间流动的零模分量, 当中性点接地时串联了消弧线圈  $L_k$ , 而对于中性点不接地系统, 零模网络电源端是开路的。由于电源端开路或者是串联了数值很大的电感, 零模网络中可忽略线路与电源串联电感和电阻, 只考虑分布电容的影响, 为了简化分析, 简化模型如图 2。

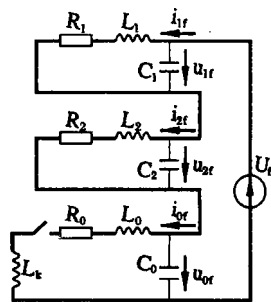


图 1 单相接地故障分量等效网络

收稿日期: 2010-06-03; 修回日期: 2010-10-25。

作者简介: 王伟(1981-), 男, 助理工程师, 2005年毕业于抚顺石油学院电气工程及其自动化专业。现于中国石化齐鲁分公司氯碱厂电气车间工作。电话: 0533-7523437。

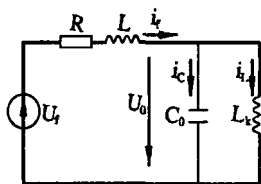


图2 等效网络简化模型

其中： $U_f$ 是零序电压， $i_f$ 是零序电流， $i_k$ 是零序电感电流， $i_c$ 是零序电容电流。 $C_0$ 是零序电容， $R$ 则等于两个线模回路电阻与3倍的接地电阻值之和， $L$ 是两个线模回路电感之和， $L_k$ 为消弧线圈电感。

当接地电阻较小时，零模电容充电速度比较快，消弧线圈电感可以近似为零，接地故障绝大多数发生在电压接近峰值时刻，由于暂态过程非常明显，可得出暂态零序电流的时间  $t$  的近似函数为：

$$i_0(t) = I_c \left( \frac{\omega_0}{\omega} e^{-\delta t} \sin \omega_0 t - \sin \omega t \right) \quad (1)$$

其中： $\delta$ 是自由分流衰减系数， $\omega_0$ 是回路的共振频率， $I_c$ 是稳态情况下的电容电流。

时间在共振周期的  $1/4$  时， $\sin \omega_0 t = 1$ ，出现暂态电流最大值，最大暂态电流和稳态电容电流之比近似等于暂态频率与工频频率之比，因此暂态电流幅值可比稳态值大几倍到几十倍，达到几十到几百安培。同理可以证明，当接地电阻较大，考虑消弧线圈影响，电路中暂态分量出现震荡衰减，极端情况时，震荡周期接近工频值。

通过分析，暂态零序电流一般由多个按指数衰减的正弦信号组成，主频信号是在故障线和所有健全线中都占主要成分，故障线的幅值远远大于健全线路，并且与所有健全线路的极性相反，可以作为故障选线依据。

### 3 基于暂态零序电流信号的选线方法

#### 3.1 零序电流幅值比较法

根据零序电流分布规律<sup>[2]</sup>，可计算各条出线暂态电流的峰值来进行幅值比较。暂态信号的真有效值定义如下：

$$I_{0k} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N i_{0kj}^2} \quad (2)$$

其中： $i_{0kj}$ 为第  $k$  条出线第  $j$  个采样数据， $I_{0k}$ 为

第  $k$  条出线暂态信号真有效值， $N$  为暂态信号的总采样个数。该方法简单，但不能确定母线接地故障。

#### 3.2 基于暂态零序电流特征分量的极性比较法

选择所有出线中与其他线路极性均相反的线路为故障线路，如果所有出线极性相同则为母线接地。在母线或未监测线路发生接地故障时能正确选择故障线路。如果参考线路只和某一条出线反极性则该出线为故障线路；如果和其它所有出线都反极性则参考线路为故障线路；如果和其他所有出线都同极性则为母线接地故障。该方法简单，但至少需要三条线路具有较大的暂态零序电流。

#### 3.3 基于暂态零序信号特征分量的无功功率方向法

特征频段内，在母线处检测到的功率主要是由健全线路等效电容吸收的无功功率。因此，可以选择输出暂态无功功率和瞬时无功功率的线路为故障线路。利用出线暂态无功和瞬时无功功率可以实现故障线路保护。

其中，暂态信号无功功率等于电压信号  $u_0(t)$  经 Hilbert 变换后成为  $\hat{u}_0(t)$  与电流信号  $i_0(t)$  的平均功率。改保护判据定为无功功率大于零。该方法，可靠性灵敏度高。算法演示如图3所示。

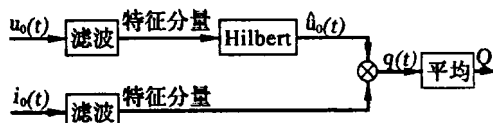


图3 暂态无功功率方向保护算法示意

### 4 基于暂态信号选线方法的优点

(1) 由于暂态信号的特征分量内包含了暂态过程的主谐振分量即暂态信号的主要能量，因此，即使在相电压过零附近故障时，仍然有明显的暂态过程，受消弧线圈和故障初相角的影响有限。

(2) 解决了间歇性接地故障选线难题，当系统间歇性接地时，每次击穿时都会产生高频暂态过程，因此暂态信号丰富，提高了检测可靠性。

(3) 电流方向法和无功功率方向法只需检测点电压电流信号即可确定故障方向，且不受系统结构和容量变化影响，适合于变电站保护及配网自动化要求。

### 5 现场运行测试及仿真波形

中国石化齐鲁分公司氯碱厂分别在7个6kV配电室安装了基于暂态信号的单相接地故障检测装置,截至2010年5月,7个变电所共捕获完整故障数据80余次,充分证实了基于该系统的监测设备安全可靠和及时准确。其中瞬时扰动接地近

60余次,占总故障次数的70%以上。这也充分说明在现场运行中瞬时性接地、间歇性接地在单相接地故障中是普遍存在的。瞬时故障发生的概率要远远大于永久性接地。

其典型故障三相相电压和零序电压仿真波形记录如图4~6所示。

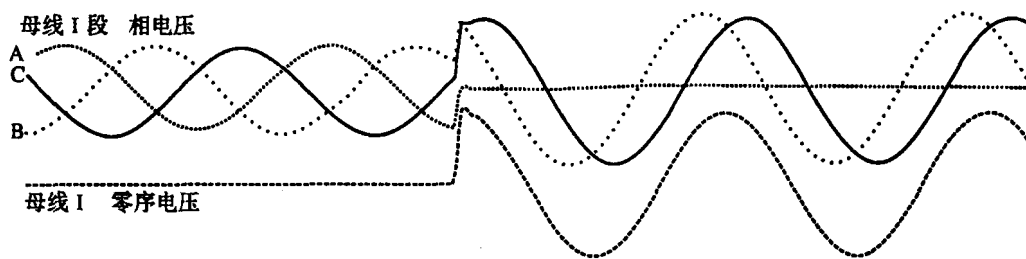


图4 典型母线接地故障三相相电压和零序电压波形

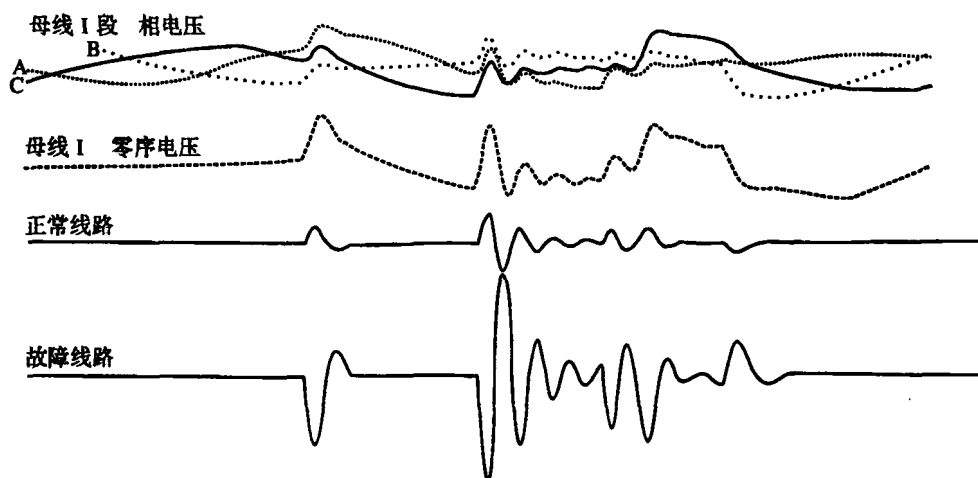


图5 典型弧光接地故障三相相电压和零序电压波形

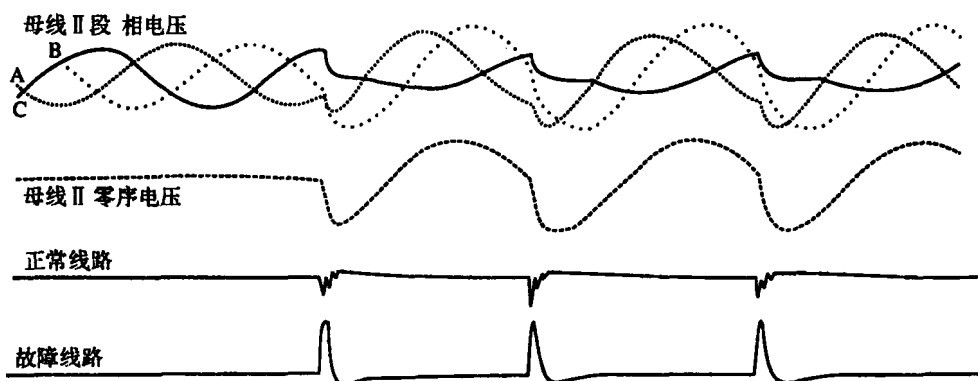


图6 典型间歇性接地故障三相相电压和零序电压波形

## 6 结论

通过分析小电流接地系统不平衡故障的零序电流暂态特性,并在此基础上提出了基于暂态信号的选线方法,小电流接地故障检测的主要困难在于故障电流微弱、电弧不稳定。故障电流中暂态分量远大于稳态分量,即使在相电压过零时故障也有明显的暂态过程,因此基于暂态信号的检测方法可靠性、灵敏度均较高。

经大量实践证明该选线方法对间歇性接地和弧光接地过程检测效果更好,在主体供电线路的保护,减小供电线路事故的破坏范围和确保生产装置平稳运行方面起到极其重要的作用。

### 参考文献

- 1 耿毅. 工业企业供电. 北京:冶金工业出版社, 1985
- 2 邱关源. 电路. 北京:高等教育出版社, 1999

## TRANSIENT ANALYSIS OF THE FAULT IN THE LOW CURRENT EARTHED SYSTEM AND ITS APPLICATION

Wang Wei

(Chloro-Alkali Complex of Qilu Branch Co., SINOPEC, Zibo, Shandong, 255411)

**Abstract** On condition that single-phase ground fault occurs in the low current earthed system, due to the weak fault current, arc light grounding and other reasons, the reliability of signal detection based on steady-state signal is low. This paper analyzed the basic characteristics of the fault transient state procedure by Karen Bauer commutation. And based on the analysis, this paper introduced the selection algorithm device for the fault circuitry on the basis of amplitude, polarity and wattless power flow of the transient zero sequence current.

**Key words** low current earthed system, fault route selection, fault monitoring, transient signal

(上接第 318 页)

## PROBLEMS AND COUNTERMEASURES IN TREATMENT OF REFINERY WASTE WATER

Pan Xianfeng<sup>1</sup>, Wang Ruixu<sup>2</sup>, Huangbin<sup>1</sup>, Wang Jianlu<sup>2</sup>, Zou Zonghai<sup>1</sup> and Wang Junjiang<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Qilu Branch Company, SINOPEC, Zibo, Shandong, 255400;

2. Shengli Refinery of Qilu Branch Company, SINOPEC, Zibo, Shandong, 255434 )

**Abstract** Aimed at the problem that the draining water couldn't meet the effluent standard existing in a new start-up sewage treatment system in a refinery, which adopted A/O sewage treatment process, the operation conditions of pretreatment unit and biochemistry unit were deeply analyzed. After looking up the influence causes for up to effluent standard, a series of process adjustments and improvement measures were put forth. The effluent was up to the standard after the measures were implemented.

**Key words** refinery waste water, A/O process, effluent up to the standard