

# 单相接地故障综合选线的研究

卓自明<sup>1</sup>, 孙海萌<sup>2</sup>

(1.徐州工业职业技术学院, 江苏 徐州 221140; 2.徐州供电公司, 江苏 徐州 221005)

**摘要:**为了解决谐振接地系统, 发生单相接地故障时基于单一暂态或稳态的选线策略的故障选线装置的选线误判率过高的问题, 本文提出了一种基于综合选线的策略即零序电流增量法和暂态零序电流方向互异法。实现了对稳态和暂态两方面进行零序故障电流的综合选线, 从而进一步提高选线的准确性。基于这种综合选线策略的谐振接地选线装置被研制出来, 并在模拟电网进行实验。实验结果表明: 该装置具有实时记录并显示谐振接地系统发生单相接地故障时故障线路和非故障线路零序电流的稳态增量的变化和故障线路零序电流暂态方向的不同, 并通过 DSP 对故障线路做出准确、可靠的判断。

**关键词:**谐振接地系统; 选线; 零序电纳增量选线方法; 暂态电流互积求和法

中图分类号: TM152; TM726

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2013) 01-0093-04

## 引言

当谐振接地电网发生单相接地故障时, 消弧线圈的电感电流可以对电网的接地电容电流进行补偿, 使得单相接地电弧快速自动熄灭。谐振接地系统方式限制了接地故障电流的破坏作用, 因此在我国中低压配电网中得到了广泛的应用。但谐振系统经消弧线圈补偿后的单相接地的故障电流不仅小而且复杂, 实践证明基于单一选线策略的单相接地故障选线装置的准确率很难满足实践的要求。本文提出了针对谐振接地系统的综选线策略基于稳态零序电流的零序电流增量法和基于暂态零序电流的零序暂态电流方向互异的选线方法<sup>[1,2,3]</sup>。

## 一、谐振接地系统单相接地故障的综合选线策略

### (一) 零序电流增量法

当谐振接地系统发生单相接地故障, 消弧线圈的电感值要增大用以补偿接地电容电流, 发生接地

故障之前即电感值变化之前的电感量为  $L_1$ , 此时零序电压的值  $\dot{U}_0$  为<sup>[3,4]</sup>

$$\dot{U}_{01} = -\frac{\dot{U}_A}{1+3R_d[\frac{1}{R_N} + \frac{1}{R}] + j(\omega C - \frac{1}{3\omega L_1})} \quad (1)$$

其中  $R_N$  为中性点电阻,  $L$  为消弧线圈电感,  $R_d$  为故障点对地电阻,  $R$  为线路对地电阻。

非接地故障线路的零序电流值为:

$$\dot{I}_{01} = \frac{3\dot{U}_0}{R} + j3\dot{U}_0\omega C \quad (2)$$

式中的  $C$  为对地电容。

当谐振接地系统发生单相接地故障时, 消弧线圈的电感量的变化通过消弧线圈控制器从  $L_1$  调整为  $L_2$  来补偿单相故障电流, 此时非故障线路的零序电压和零序电流为

$$\dot{U}_{02} = -\frac{\dot{U}_A}{1+3R_d[\frac{1}{R_N} + \frac{1}{R}] + j(\omega C - \frac{1}{3\omega L_2})} \quad (3)$$

调整后的非接地故障线路的零序电流值为:

收稿日期: 2012-12-01

作者简介: 卓自明(1979-), 男, 江苏徐州人, 徐州工业职业技术学院助教, 研究方向: 数控机床。

$$\dot{I}_{02} = \frac{3\dot{U}_0}{R} + j3\dot{U}_0\omega C \quad (4)$$

消弧线圈的电感量从  $L_1$  调整为  $L_2$  使得非故障线路的零序电流的产生变化其变量值为

$$\Delta\dot{I}_{0i} = \dot{I}_{0i2} - \dot{I}_{0i1} = (\dot{U}_{02} - \dot{U}_{01}) \left( \frac{3}{R} + j3\omega c_1 \right) \quad (5)$$

因为消弧线圈的电感量从  $L_1$  调整为  $L_2$  的过程对零序电压值  $\dot{U}_0$  的影响很小, 因此非故障线路的零序电流互的变化量  $\Delta\dot{I}_{0i}$  的也很小。

对于故障线路, 假设发生接地故障之前即电感值变化之前的电感量为  $L_1$  时故障线路的零序电流为

$$\dot{I}_{0i2} = -\dot{U}_0 \left( \sum_{i,j \neq i} \frac{3}{R_i} + \sum_{i,j \neq i} j3\omega c_i + \frac{1}{R_n} - j\frac{1}{\omega L_1} \right) \quad (6)$$

当发生单相接地故障时, 消弧线圈的电感量从  $L_1$  调整为  $L_2$  故障线路的零序电流变化为

$$\dot{I}_{0i2} = -\dot{U}_{02} \left( \sum_{i,j \neq i} \frac{3}{R_i} + \sum_{i,j \neq i} j3\omega c_i + \frac{1}{R_n} - j\frac{1}{\omega L_2} \right) \quad (7)$$

假设条件谐振接地系统处于全补偿的状态, 上式(7)可以简化为

$$\dot{I}_{0i2} = -\dot{U}_{02} \left( \sum_{i,j \neq i} \frac{3}{R_i} + j3\omega c_i + \frac{1}{R_n} \right) \quad (8)$$

则此时在消弧线圈补偿时, 故障线路的零序电流的差值为

$$\Delta\dot{I}_{0i} = \dot{I}_{0i2} - \dot{I}_{0i1} = (\dot{U}_{02} - \dot{U}_{01}) \left( \sum_{i,j \neq i} \frac{3}{R_i} + j3\omega c_i + \frac{1}{R_n} \right) + j \frac{\dot{U}_{02} L_1 - \dot{U}_{01} L_2}{\omega L_2 L_1} \quad (9)$$

对上式(9)进一步化简上式可得:

$$\Delta\dot{I}_{0i} = \dot{I}_{0i2} - \dot{I}_{0i1} = (\dot{U}_{02} - \dot{U}_{01}) \left( \sum_{i,j \neq i} \frac{3}{R_i} + j3\omega c_i - j\frac{1}{\omega L_2} + \frac{1}{R_n} \right) + j \frac{\dot{U}_{01} \Delta L}{\omega L_2 L_1} \quad (10)$$

由式(10)分析可知: 对于谐振接地方式发生单相接地故障时  $\dot{U}_{02} - \dot{U}_{01}$  的值很小, 因此  $\Delta\dot{I}_{0i}$  主要由  $j \frac{\dot{U}_{01} \Delta L}{\omega L_2 L_1}$  分量的大小所决定。

通过分析式(5)和(10)可以发现对于消弧线圈接地系统, 当发生单相接地故障时消弧线圈的电感量的变化对故障线路的稳态零序电流的变化量  $\Delta I_{0i}$  比非故障线路的稳态零序电流的变化量  $\Delta I_{0j}$  要大很多, 可以作于谐振接地系统单相接地故障线路选线的依据。

## (二) 零序暂态电流方向互异法

选择一条线路的零序暂态电流  $i_j(t)$  作为电流方向互异法的基准量, 各线路  $i$  的判断量由下式计算<sup>[5,7]</sup>:

$$P_i = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M i_i(k) \cdot i_j(k) \quad (11)$$

式中:  $P_i$  为线路  $i$  的判断量 ( $A^2$ );  $i(t)$  为线路零序暂态测量电流 ( $A$ );  $M$  为采样点数。

如果第  $i$  条线路和第  $j$  条线路都是非故障线路, 则两条线路的零序暂态电流的乘积  $P_i > 0$ :

$$i_i(t) \cdot i_j(t) = i_{0i}(t) \cdot i_{0j}(t) = I_{cm \cdot i} \cdot I_{cm \cdot j} \cdot \sin(w_0 t + \Phi)^2 \cdot e^{-2\delta t} \geq 0 \quad (12)$$

相反如果其中有一条为非故障线路, 另一条为故障线路, 则两条线路的零序暂态电流之积  $P_i < 0$ :

$$i_i(t) \cdot i_j(t) = i_{0i}(t) \cdot i_{0k}(t) = -I_{cm \cdot i} \cdot I_{cm \cdot k} \cdot \sin(w_0 t + \Phi)^2 \cdot e^{-2\delta t} \leq 0 \quad (13)$$

综上所述:

1. 当仅有一个特征量  $P_i$  为负, 其余全部为正值时,  $j$  为单相接地的故障线路。
2. 当  $P_i$  都为负时, 基准线路为故障馈出线。
3. 当  $P_i$  都为正时, 是母线故障。

## 二、谐振接地系统选线装置的软硬件设计

### (一) 装置的软硬件设计

该谐振系统故障选线装置的硬件部分主要由主处理器、电流互感器自检电路、多路转化开关、模数转化器、人机接口构成。本装置采用 TMS320F2812 芯片作为微控制器完成对于母线的零序电流和电压的采样并转换后的数字信号进行处理, 并根据基于稳态零序电流的零序电流增量法和基于暂态零序电流的零序暂态电流方向互异的选线方法对线路是否发生单相接地短路做出判断、选出故障线路。自检电路主要针对零序电流互感器可以检测出断线、极性接反等现象。

由于该故障选线装置需要采样故障线路和非故障线路的零序电流和电压等多种交流信号量, 很难实现每个交流信号的输入通道都配置一个模数转化器。因此, 在模拟量的输入和 A/D 转换器之间使用多路转换开关实现模拟量的轮流切换输入公共的 A/D 转换器, 把模拟信号转化成数字信号输入给 DSP。装置采用了 4 片多路转换开关实现了对 32 路模拟信号的采样同时搭载了两个 A/D 转换器可实现 8 路信号的模数转换<sup>[8,9]</sup>。

### (二) 装置的软件设计

选线装置的主程序流程如下图 1 所示。主程序的作用是将各功能模块按一定的逻辑关系紧密联系在一起, 来完成整体任务的实施。该选线装置的主要任务有: 中断等子程序的调用、单相接地故障判断与实时记录、显示以及通信等功能。当系统开机或复位后, 便进入主程序, 程序开始初始化, 然后进入主循环, 开始采样零序电流和电压信号, 当发生单相接地故障时, 调用基于稳态和暂态的故障判断子程序, 并



述选线策略的选线装置在模拟电网上进行了实验结果表明使用零序电流法和暂态零序电流方向互异法的故障选线装置可以可靠并准确的选出故障线路。

#### 参考文献:

- [1] 陈奎, 唐轶. 小电流接地系统单相接地故障选线的研究[J]. 高电压技术, 2005, 33(11): 180-184.
- [2] 唐轶, 陈奎, 陈庆, 等. 馈出线测量导纳互差求和小电流接地选线研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(11): 69-73.
- [3] 王新超, 张玉海. 零序电流比例增量法在小电流接地故障选线中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 20(4): 20-24.
- [4] 蔡旭. 基于偏磁消弧线圈的综合增量法单相接地保护[J]. 电力系统自动化, 2003, (20).
- [5] 曾祥君, 尹项根, 张哲, 等. 零序导纳法馈线接地保护的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(4): 5-10.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 苏奎峰, 吕强. DSPTMS320F2812 原理与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [9] Seed-dspf2812 用户指南[R]. 合众达电子公司, 2006.

[责任编辑: 刘 骋]

## Study of Line Selection Strategy Used in Case of Single-phase-to-Ground (SPG) Fault

ZHUO Zi-ming<sup>1</sup>, SUN Hai-meng<sup>2</sup>

(1.School of Mechanical & Electrical Engineering, Xuzhou College of Industrial Technology, Xuzhou221140, China;

2.Xuzhou Power Supply Company, Xuzhou221005, China)

**Abstract:** In this paper, an integrative line selection strategy-increment of zero sequence current and differentiation of the direction of transient zero-sequence current flow - is put forward, based on which, the design of faulty line detection device for single-phase-to-ground fault on resonance grounding system is presented. For the purpose of testing and validating the operating principle of the integrative line selection strategy and experimental performance of the device, a simulation experiment is conducted. The results show that the device can record and display the changes in increment of zero-sequence stable current of faulty line and non-faulty line as well as the difference of transient current flow in resonance grounding system. The faulty line can be detected quickly and accurately by DSP.

**Key words:** resonance grounding system; earthed fault feeder detection; zero-sequence susceptance increment method; mutual integral of zero-sequence transient currents