

文章编号:1671-6833(2012)01-0106-03

小电流接地系统故障选线的暂态零序电流变化率方法

魏臻珠¹, 蒋建东¹, 陈帆¹, 杨海波²

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 卫辉市电业局, 河南 卫辉 453100)

摘要: 分析了小电流接地系统发生单相接地故障时暂态零序电流的特点, 给出了利用故障线路与非故障线路暂态零序电流变化率差异的选线判据, 提出了小电流接地系统故障选线的暂态零序电流变化率方法. 该方法不受系统中性点接地方式、电压初相角、过渡电阻的影响, 故障判别准确, 选线灵敏度高, 算法简单, 实用性强. 最后用 Matlab 中建立的小电流接地系统仿真模型验证了该方法的有效性.

关键词: 小电流接地系统; 故障选线; 暂态零序电流; 变化率

中图分类号: TM862 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2012.01.026

0 引言

我国 6~35 kV 配电网中性点的接地方式以小电流接地系统, 在小电流接地系统中最常发生的是单相接地故障. 故障点电流较小且受电压初相角及故障点接地电阻等因素的影响, 使得故障线路与非故障线路的判断比较困难.

根据所用电气量的不同, 故障选线方法分为基于稳态信号的选线方法和基于暂态信号的选线方法. 基于稳态信号的选线方法有群体比幅比相法、最大 $\Delta I \sin \varphi$ 法、谐波法、负序分量法、零序导纳法和注入信号法^[1-6]等. 稳态选线方法由于受线路长短、系统运行方式和过渡电阻的影响, 灵敏度低, 不能有效判断瞬间接地故障和间歇性接地故障, 且不适用于中性点经消弧线圈接地系统和经电阻接地系统. 暂态选线方法主要有首半波法、行波法、暂态能量法和小波法^[7-10]等. 暂态分量中含有丰富的信息量, 基于暂态信号的检测方法灵敏度高而且不受消弧线圈的影响, 不仅能判断稳定接地, 而且能判断瞬时接地和间歇性接地.

笔者根据小电流接地系统单相接地时故障线路与非故障线路暂态电流变化率的不同, 构造了利用线路暂态零序电流变化率的接地选线判据. 用 Matlab 中建立的小电流接地系统仿真模型, 对不同条件下的单相接地故障进行了仿真分析, 验证了文中方法的有效性.

1 暂态零序电流的特点

1.1 小电流接地系统故障暂态电流的特点

补偿电网发生单相接地故障时, 流过故障点的暂态接地电流由暂态电容电流 i_c 和暂态电感电流 i_l 两部分组成, i_c 和 i_l 都包含暂态衰减分量和稳态交流分量. 在暂态初始阶段, 电容回路衰减时间常数 τ_c 数值较小, i_c 衰减较快, 其振荡频率主要由暂态分量决定, 频率较高; 电感回路的衰减时间常数 τ_l 较大, i_l 衰减较慢, 频率较低. 两者频率差别悬殊, 不能互相补偿, 因此暂态初始阶段的暂态接地电流主要由暂态电容电流的特性决定. 这使得不同接地方式的小电流接地系统暂态零序电流分布相同.

1.2 暂态零序电流仿真分析

根据文献[11]对中性点不接地系统和中性点经消弧线圈接地系统的单相接地故障仿真, 线路的零序电流分别如图 1 和图 2 所示.

从图 1、图 2 可以看出, 单相接地故障瞬间各线路将产生一个零序电流突变量, 故障线路零序电流突变的幅值等于非故障线路零序电流突变的幅值之和, 故障线路零序电流突变的方向与非故障线路零序电流突变的方向相反, 所有非故障线路的零序电流突变方向相同. 基于这些特征, 笔者通过比较各线路暂态电流变化率的差异来判别故障线路与非故障线路, 幅值最大且方向与其它线路方向相反的线路为故障线路.

收稿日期: 2011-09-20; 修订日期: 2011-11-30

基金项目: 郑州大学大学生创新性实验计划项目(2009CXSY097)

作者简介: 魏臻珠(1977-), 女, 青海西宁人, 讲师, 硕士, 主要从事电力系统故障检测与诊断方面的教学与研究.

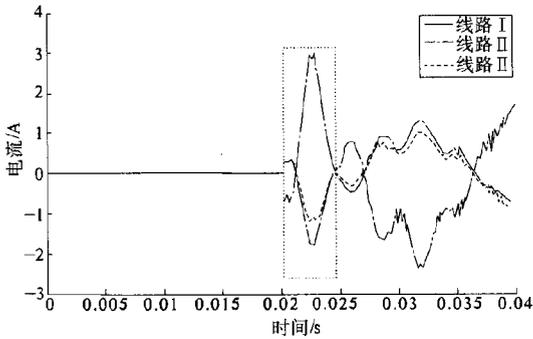


图1 中性点不接地系统的暂态零序电流

Fig.1 Transient zero sequence current in neutral ungrounding system

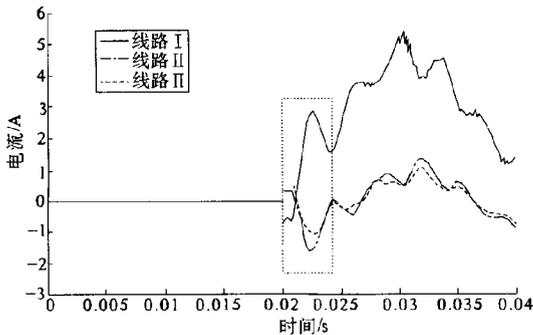


图2 中性点经消弧线圈接地系统的暂态零序电流

Fig.2 Transient zero sequence current in neutral grounding through arc-suppression coil system

2 选线判据

根据分析,定义零序电流变化率如下式

$$p = \frac{di}{dt} \approx \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{i_r - i_{t_0}}{T - t_0}, \quad (1)$$

式中: t_0 为线路零序电压大于启动电压的故障发生时刻; T 为故障后的特征时刻,从提高检测灵敏度和易于实现的角度出发,笔者定义故障后半周期内线路暂态零序电流最大的时刻为选线特征时刻 T ,此时故障线路与非故障线路零序电流特征最明显。

由式(1)计算得到 n 条线路的零序电流变化率 $p_i (i=1, 2, \dots, n)$ 后,根据第1节中暂态故障电流的特点与选线原理,选线判据如下:

$$J_1: p_k = \max(\text{abs}(p_i)) \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$J_2: \text{sgn}(p_k) = -\text{sgn}(p_i) \quad i=1, 2, \dots, n (i \neq k). \quad (3)$$

同时满足式(2)、(3)的第 k 条线路暂态零序电流变化率最大,同时其方向与其它线路的方向相反,为故障线路。

3 仿真实验

利用文献[11]建立的模型对中性点不接地系统、中性点经消弧线圈接地系统、中性点经电阻接地系统在不同的故障位置、接地电阻、电压初相角、补偿度下进行了仿真。

3.1 中性点不接地系统仿真分析

3.1.1 不同电压初相角的仿真结果

设线路 I 在 6 km 处发生 A 相接地,故障接地电阻为 15 Ω 。表 1 为不同电压初相角的仿真结果及选线结果。

表1 不同电压初相角的仿真结果与选线结果

Tab.1 Simulation results and fault line detection in different initial voltage angle

| 电压初相角/(°) | 线路 | P | 选线结果 |
|-----------|-----|-----------|------|
| 90 | I | 4 286.21 | |
| | II | -2 143.69 | I |
| | III | -2 143.69 | |
| 180 | I | -1 636.19 | |
| | II | 964.56 | I |
| | III | 671.67 | |
| 270 | I | -4 235.71 | |
| | II | 2 119.05 | I |
| | III | 2 119.05 | |

由表 1 可以看出该方法可有效判别不同电压初相角的单相接地故障。

3.1.2 不同接地电阻的仿真结果

设线路 I 在 4 km 处发生 A 相接地,电压初相角为 90°。表 2 为不同接地电阻的仿真结果及选线结果。

表2 不同接地电阻的仿真结果与选线结果

Tab.2 Simulation results and fault line detection in different transition resistance

| 接地电阻/(Ω) | 线路 | P | 选线结果 |
|-------------------|-----|--------|------|
| 5 | I | 6 136 | |
| | II | -2 402 | I |
| | III | -3 733 | |
| 20 | I | 5 008 | |
| | II | -4342 | I |
| | III | -605 | |
| 100 | I | 3 343 | |
| | II | -496 | I |
| | III | -2 847 | |

由表 2 可以看出该方法可有效判别不同接地电阻的单相接地故障。

3.1.3 不同故障位置的仿真结果

设线路 I 发生单相接地故障,电压初相角为

90°,接地电阻为10 Ω.表3为不同故障位置的仿真结果及选线结果.

表3 不同故障位置的仿真结果与选线结果

Tab.3 Simulation results and fault line detection in different fault location

| 故障位置/km | 线路 | P | 选线结果 |
|---------|-----|--------|------|
| 3 | I | 7 728 | I |
| | II | -3 799 | |
| | III | -3 927 | |
| 8 | I | 3 156 | I |
| | II | -1 579 | |
| | III | -1 579 | |
| 12 | I | 1 559 | I |
| | II | -152 | |
| | III | -1 407 | |

由表3可以看出该方法可有效判别不同故障位置的单相接地故障.

3.2 中性点经消弧线圈接地系统和经电阻接地系统仿真分析

限于篇幅,表4为两种接地方式下不同故障条件的部分仿真结果及选线结果.未给出的其它故障条件下的选线结果也都为线路I.

表4 中性点经消弧线圈接地系统和经电阻接地系统的仿真结果与选线结果

Tab.4 Simulation results and fault line detection of small current neutral grounding through arc-suppression coil or resistance system

| 接地方式 | 接地电阻/Ω | 故障位置/km | 初相角/(°) | 线路 | P | 选线结果 |
|------------|--------|---------|---------|-----|--------|------|
| 中性点经消弧线圈接地 | 20 | 4 | 90 | I | 5 540 | I |
| | | | | II | -4 276 | |
| | | | | III | -1 263 | |
| | 10 | 8 | 90 | I | 2 770 | I |
| | | | | II | -2 452 | |
| | | | | III | -66 | |
| | 15 | 6 | 270 | I | -1 492 | I |
| | | | | II | 843 | |
| | | | | III | 617 | |
| 中性点经电阻接地 | 5 | 4 | 90 | I | 6 863 | I |
| | | | | II | -4 300 | |
| | | | | III | -403 | |
| | 10 | 8 | 90 | I | 4 340 | I |
| | | | | II | -1 657 | |
| | | | | III | -1 657 | |
| | 15 | 6 | 270 | I | -1 504 | I |
| | | | | II | 881 | |
| | | | | III | 590 | |

从表4可以看出,在中性点经消弧线圈以及中性点经电阻接地系统中,该方法可有效判别不同条件下的单相接地故障.

4 结论

笔者根据小电流接地系统单相接地故障发生后各线路暂态零序电流突变量的特点,提出了利用暂态电流变化率进行选线的方法.仿真结果表明,该方法不受系统中性点接地方式、电压初相角、过渡电阻的影响,选线灵敏度高,实用性强.

参考文献:

- [1] 郝玉山,杨以涵,任元恒,等. MLN系列小电流接地微机选线装置动作原理[J]. 电力情报, 1994, 2(2): 7-11.
- [2] 张立华,徐文立. 小接地电流系统单相接地故障选线的一种算法[J]. 清华大学学报:自然科学版, 1998, 38(9): 74-76.
- [3] 陈志亮,范春菊. 基于5次谐波突变量的小电流接地系统选线[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(5): 37-41.
- [4] 林湘宁,翁汉珺,吴科成,等. 小电流接地系统自适应单相接地保护新原理[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(2): 53-57.
- [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] 战祥新,郝世勇. 注入法选线在小电流接地系统中的应用研究[J]. 继电器, 2008, 36(6): 11-13, 36.
- [7] 胡佐,李欣然,石吉根. 基于残流与首半波综合的接地选线方法研究[J]. 继电器, 2006, 34(7): 6-9, 37.
- [8] 施慎行,董新洲. 基于单相电流行波的故障选线原理研究[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(14): 14-16.
- [9] 朱丹,贾雅君,蔡旭. 暂态能量法原理选线[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(3): 75-78.
- [10] 贾清泉,刘连光,杨以涵,等. 应用小波检测故障突变特性实现配电网小电流故障选线保护[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(10): 78-82.
- [11] 蒋建东,陈帆,任建. 小电流接地系统暂态零序电压电流特征仿真研究[J]. 郑州大学学报:工学版, 2011, 32(4): 68-71.

(下转第128页)

- paired by carrier frequency offset in multipath fading channels[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2005,4(5):2279-2288.
- [4] YIH C C. BER analysis of OFDM systems impaired by DC offset and carrier frequency offset in multipath fading channels [J]. IEEE Communications Letters, 2007,11(11):842-844.
- [5] SCHMIDL T M, COX D C. Robust frequency and timing synchronization for OFDM[J]. IEEE Trans. Communications, 1997,45(12):1613-1621.
- [6] MOOSE P H. A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction. IEEE Trans[J]. Communications, 1994,42(10):2908-2914.

OFDM Time and Frequency Synchronization Based on Training Sequence with Polarity

PANG Zong-shan, LI Xiao-min

(Optical and Electronic Engineering Department, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Follow the H. Minn algorithm, put forward an OFDM time and frequency synchronization method based on training sequence with polarity, summarize the time and frequency estimation unified formula. The modified algorithm's timing curve have only one peak, overcome SC algorithm's timing plateau and H. Minn algorithm's multi-peak, thus improve the accuracy of timing synchronization, the characteristics of its structure also provides flexibility for the frequency estimation, further improve the frequency estimation performance.

Key words: OFDM; synchronization; training sequence

(上接第108页)

Transient Zero-sequence Current Changing Rate Method for the Fault Line Detection of Small Current Neutral Grounding System

WEI Zhen-zhu, JIANG Jian-dong¹, CHEN Fan¹, YANG Hai-bo²

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Weihui Power Supply Company, Weihui 453100, China)

Abstract: The transient zero-sequence characteristics in the case of single phase-to-ground fault in small current neutral grounding system are analyzed in this paper. And the fault line selection criterion based on the difference of transient current changing rate between the fault line and the non-fault line is given. Then the transient zero-sequence current changing rate method for the fault line detection of small current neutral grounding system is presented. The method, which can be immune to the variation of neutral grounding, voltage initial angle and transition resistance, has the characteristics of high sensitivity, reliability and practicality. Finally, the simulation model of small current neutral grounding system is built with Matlab and the simulation results showed the effectiveness of the method.

Key words: small current neutral grounding system; fault line selection; transient zero-sequence current; changing rate