

# Analysis on Diagnosis of Single-Phase Break Fault in Ungrounded System

Yanfen Liu<sup>1</sup>, Yongchun Zhao<sup>1</sup>, Yi Zhao<sup>2</sup>, Xin Chen<sup>2</sup>, Dawei Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Join Bright Co., Ltd., Beijing

<sup>2</sup>State Grid GANSU Electric Power Company, Lanzhou Gansu

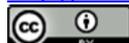
Email: sunnyfky@163.com

Received: Mar. 9<sup>th</sup>, 2016; accepted: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2016; published: Mar. 31<sup>st</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Since the probability of failure of longitudinal break in the power system is small, and does not cause the attention of relevant departments, when the faults occur the operation and maintenance staffs do not have enough experience to judge and deal with such failures promptly, which will severely affect the stable operation of the power system. The occurrence probability of single-phase break fault is slightly higher than two-phase and three-phase one. After theoretical analysis of the single-phase break fault, it is found that the negative sequence current value varies in a large range before and after the failure, which thus can be used to judge the break fault. Matlab/Simulink simulation verifies that negative sequence current value varies in a large range in the single-phase break fault.

## Keywords

Power Systems, Break Fault, Negative Sequence Current

---

# 不接地系统单相断线故障的诊断研究

刘艳芬<sup>1</sup>, 赵永春<sup>1</sup>, 赵毅<sup>2</sup>, 陈新<sup>2</sup>, 张大伟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北京中恒博瑞数字电力科技有限公司, 北京

<sup>2</sup>甘肃省电力公司, 甘肃 兰州

Email: sunnyfky@163.com

收稿日期：2016年3月9日；录用日期：2016年3月23日；发布日期：2016年3月31日

## 摘要

由于纵向断线故障在电力系统中发生的概率较小，并没有引起相关部门的重视，因此当故障发生时运维工作人员没有足够的经验及时判断并处理该类故障，会对电力系统稳定运行造成严重影响。单相断线故障相对两相、三相断线故障发生的概率稍高些，对单相断线故障进行理论分析，得知故障前后负序电流数值的变化较大，因此可以把负序电流的变化量作为判断断线故障的依据。通过Matlab/Simulink仿真验证了单相断线故障中负序电流数值的变化较大。

## 关键词

电力系统，断线故障，负序电流

## 1. 引言

电力系统中两个相邻节点之间出现不正常断线或三相阻抗不相等的情况时，会直接引起三相线路电流和端口两端间电压的不对称 [1]，故障外系统其它处的参数仍是对称的，这种非全相运行的故障称为纵向故障，短路故障称为横向故障 [2]。电力系统发生纵向断线故障后会产生具有不利作用的负序分量和零序分量。负序电流流经发电机时，会使发电机转子过热或绝缘损坏，对发电机的出力造成影响；零序电流能够干扰通信系统。此外，负序分量与零序分量的出现还会对继电保护装置造成影响，可能引起保护装置的误动作 [3]。

由于在电力系统实际运行中，线路的断线故障发生的概率很小且断线故障因不产生故障大电流，对输变电设备危害小，在电网运行与维护中受重视的程度远不如短路故障。故障发生时，只能通过人工判断进而进行相应的处理，实际运行中，由于电力系统断线故障少，运行维护人员处理经验也少，不能准确的判断故障并采取有效的措施，很不利于电网的安全运行 [4] [5]。在电力系统发生的断线故障中，单相断线故障发生的概率相对较大些，本文主要研究发生单相断线故障时，故障相与非故障相上的电流和电压的变化，并通过 Matlab/Simulink 仿真验证故障相和非故障相的电流电压变化，为电力系统调度人员判断和处理断线故障提供了理论参考。

## 2. 单相断线故障

10 kV 配电线路的接地方式以中性点不接地方式为主，与中性点直接接地系统发生单相断线故障后的特征不完全相同。本文以 10 kV 配电线路单相断线故障为研究对象，利用对称分量法和负荷序网计算故障后的序分量，相电流和电压的变化情况，总结系统发生单相断线故障时的变化规律。

### 单相断线故障理论分析

单相断线故障的分析可以利用图 1 的简化电网结构图进行分析。其中在线路 L 上发生单相断线故障，母线 M 和 N 通过变压器连接系统的电源  $E_M$  和  $E_N$ ，且变压器  $T_1$ ， $T_2$  电源  $E_M$  和  $E_N$  的中性点都不接地。

假设线路 L 发生 A 相断线故障，运用对称分量法分析单相断线故障。图 2 是 A 相断线的示意图。

从图 2 可以看出 A 相单相断线故障处的边界条件如公式(1)所示：

$$I_A = 0, \Delta U_B = \Delta U_C = 0 \quad (1)$$

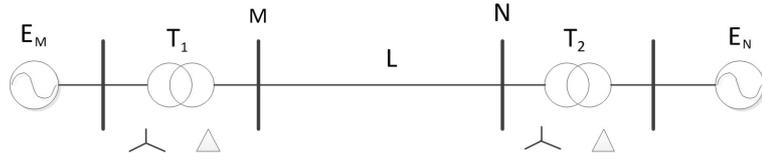


Figure 1. The simplified block diagram of the power grid  
图 1. 简化的电网结构图

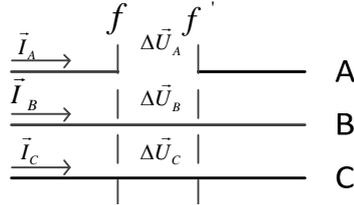


Figure 2. The schematic of A-phase line breaking  
图 2. A 相断线示意图

其中，图 2 和式(1)中  $I_A$ ， $I_B$ ， $I_C$  分别表示流过故障点  $f$  和  $f'$  的 A 相，B 相，C 相的电流； $\Delta U_A$ ， $\Delta U_B$ ， $\Delta U_C$  分别表示故障点  $f$  和  $f'$  之间的故障端口电压。对公式(1)运用对称分量法进行计算表示，如公式(2) (3) 所示。

$$I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} = 0 \quad (2)$$

$$\Delta U_{A1} = \Delta U_{A2} = \Delta U_{A0} \quad (3)$$

式(2)和(3)中的  $I_{A1}$ ， $I_{A2}$ ， $I_{A0}$  分别表示流过故障点  $f$  和  $f'$  的 A 相正序、负序、零序电流； $\Delta U_{A1}$ ， $\Delta U_{A2}$ ， $\Delta U_{A0}$  分别表示障点  $f$  和  $f'$  之间的故障端口电压 A 相的正序、负序、零序分量。画出满足公式(2)和公式(3)的复合序网图如 图 3 所示。

为了研究线路发生纵向故障前后，线路上电流和电压的变化情况，假设 A 相断线前的相电流为  $I_{A(0)}$ ，断线可以看作在故障点突然加入一个与断线前电流大小相等方向相反的电流源，最后对断线前后的序网图采用叠加原理进行叠加计算。图 4 是系统发生断线故障前的序网图。图 5 是系统发生断线故障后的序网图。

其中， $Z_{M1}$ ， $Z_{M2}$ ， $Z_{M0}$  是断线故障点到电源  $E_M$  之间的正序，负序，零序阻抗； $Z_{N1}$ ， $Z_{N2}$ ， $Z_{N0}$  是断线故障点到电源  $E_N$  之间的正序，负序，零序阻抗； $I_{A(0)}$  是 A 相发生断线故障前，流过 A 相线路的电流； $I'_{A1}$ ， $I'_{A2}$ ， $I'_{A0}$ ，是在故障点附件电流源后，流过故障端口的正序、负序、零序故障电流； $f_1 f'_1$ ， $f_2 f'_2$ ， $f_0 f'_0$  分别表示正序，负序，零序的故障端口； $Z_1 = Z_{M1} + Z_{N1}$ ， $Z_2 = Z_{M2} + Z_{N2}$ ， $Z_0 = Z_{M0} + Z_{N0}$  表示系统等效的正序，负序，零序阻抗。

根据 图 5 得到故障后的正序，负序，零序电流的计算公式：

$$I'_{A1} = -\frac{1/Z_1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + 1/Z_0} I_{A(0)} \quad (4)$$

$$I'_{A2} = -\frac{1/Z_2}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + 1/Z_0} I_{A(0)} \quad (5)$$

$$I'_{A0} = -\frac{1/Z_0}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + 1/Z_0} I_{A(0)} \quad (6)$$

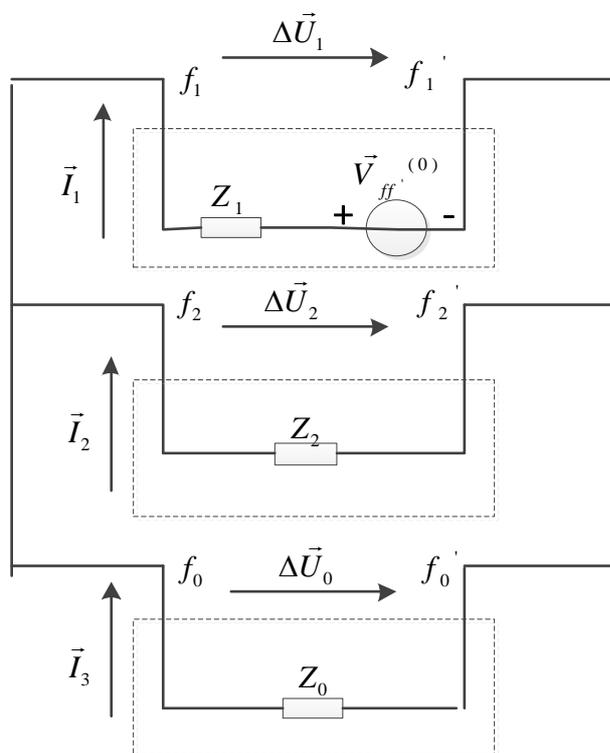


Figure 3. The composite sequence network of A-phase line breaking  
图 3. A 相断线的复合序网

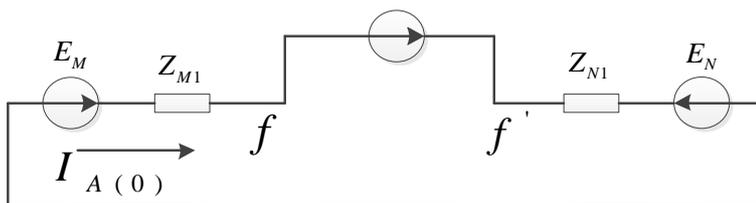


Figure 4. The sequence network of normal running  
图 4. 断线故障前的序网图

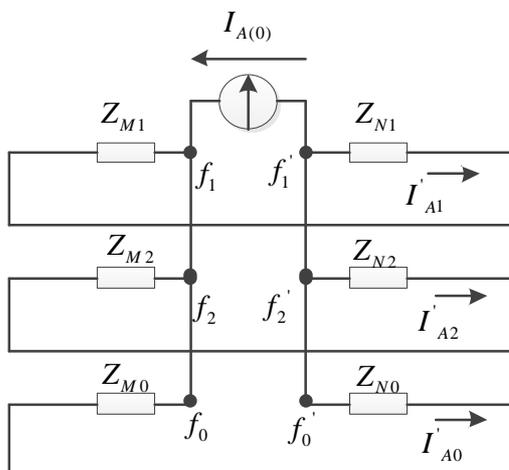


Figure 5. The sequence network after breakoff fault  
图 5. 断线故障后的序网图

系统发生断线故障后断线相的正序、负序、零序电流的计算公式：

$$I_{A1} = I'_{A1} + I_{A(0)} \quad (7)$$

$$I_{A2} = I'_{A2} \quad (8)$$

$$I_{A0} = I'_{A0} \quad (9)$$

从公式(7), (8), (9)可以看出, 系统发生断线故障后, 断线相的正负零序电流只与断线故障前流过故障相的电流  $I_{A(0)}$  大小有关系, 与断线故障发生的位置没有关系。

本文研究的断线故障是在中性点不接地系统中发生的。所以, 对于中性点不接地系统, 系统中没有零序回路, 零序电路的阻抗值无穷大即  $\frac{1}{Z_0} = 0$ 。对公式(7), (8), (9)进行简化处理后得到公式(10), (11), (12)

$$I_{A1} = I_{A(0)} - \frac{1/Z_1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}} I_{A(0)} \quad (10)$$

$$I_{A2} = -\frac{1/Z_1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}} I_{A(0)} \quad (11)$$

$$I_{A0} = 0 \quad (12)$$

如果不考虑系统中的旋转设备, 则  $\frac{1}{Z_1} = \frac{1}{Z_2}$ ,  $|I_{A1}| = 0.5|I_{A(0)}|$ ,  $|I_{A2}| = 0.5|I_{A(0)}|$ 。正序电流和负序电流数值都变为故障前流经故障相电流数值的一半。可以用正序电流或负序电流的变化量作为判别检测断线故障的依据。

对于 10 kV 的配电网来说, 系统稳定运行产生的零序电流很小几乎为零, 但是发生单相断线故障后, 系统中负序电流的变化量会比较大。因此, 通过检测负序电流的变化量进行判别断线故障的依据会更可靠些。

### 3. 仿真验证

#### 3.1. 断线故障仿真

应用 Matlab/Simulink 仿真软件对图 1 中的简化模型进行模型搭建和仿真, 并验证上述理论的正确性。其中: 断线故障两端的电源  $E_M$  和  $E_N$  的中性点不接地且电源  $E_M$  和  $E_N$  的电压等级不一样, 仿真的采样时间间隔是 0.01 s。假设系统单相 - A 相发生断线不接地故障。

从图 6 中, 可以看出当 A 相故障发生时该相的电流迅速减小到数值 0 左右; 当故障相恢复时, A 相的电流值经过短时间的震荡之后恢复到故障前的数值。从图 6 中还可以看出, 故障后非故障相的电流值略有降低。因此, 可以从相电流数值变化量的大小进行判断断线故障发生在具体的某一相或多相。

从图 7 中可以看出, 不接地系统发生断线故障后, 序电流的数值零仍然是 0; 不考虑系统中的旋转设备的影响时, 发生故障前后正序电流的数值变化量是故障前正序电流的一半, 负序电流数值的变化量是故障前正序电流的一半。同时还可以看出故障发生前和故障恢复后系统中负序电流分量几乎不存在, 因此通过负序电流数值变化量的大小判断系统中是否发生断线故障更加的可靠。

从图 8 中可以看出, 故障前后正负零序电压数值的变化很微小, 不足以作为判别依据。

#### 3.2. 断线故障与短路故障对比分析

由于单相断线故障与两相相间接地故障在故障处的边界条件是一样的, 因此对两种故障进行仿真对

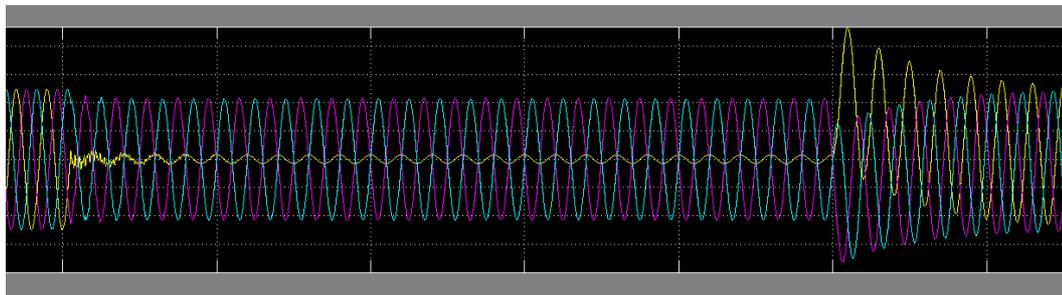


Figure 6. The waveform diagram of phase current change

图 6. 故障前后相电流波形

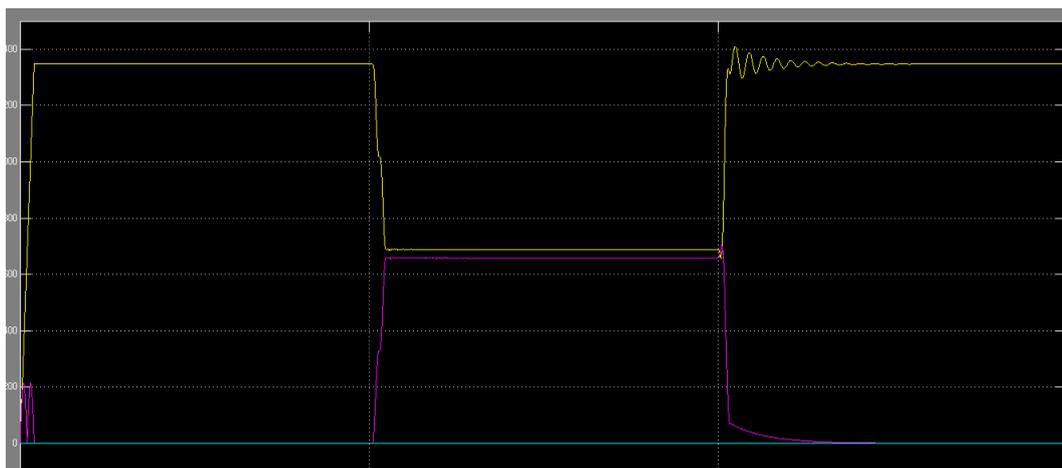


Figure 7. The waveform diagram of plus or minus zero sequence current change

图 7. 故障前后正负零序电流波形

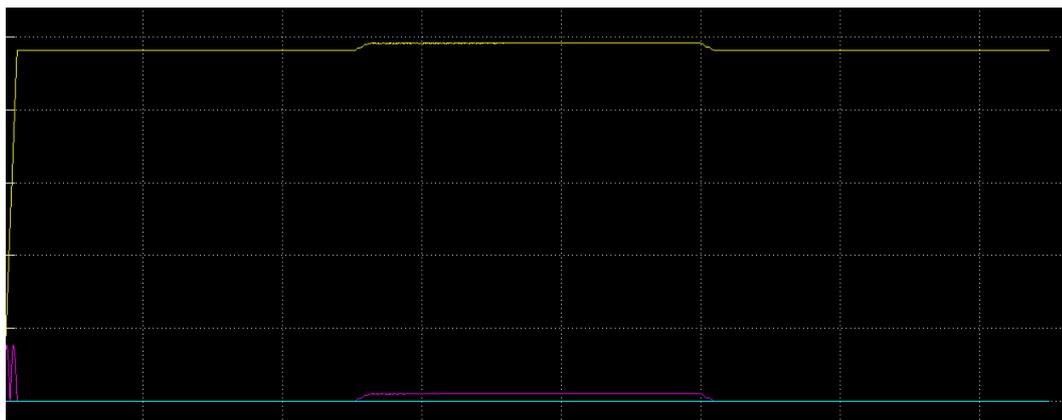


Figure 8. The waveform diagram of plus or minus zero sequence voltage change

图 8. 故障前后正负零序电压波形

比分析。设置断线故障的故障相是 A 相，短路故障的故障相是 B 相与 C 相。

从图 9 中可以看出，B、C 故障相的电压下降到 0，A 相的电压略有升高；从图 12 中可以看出，断线故障 A 相电压略有下降，B、C 两相的电压下降明显但不为零。

对比图 10 与图 11 的故障电流，可以看出短路故障非故障相的电流数值比较大；断线故障非故障相的电流数值比较小。

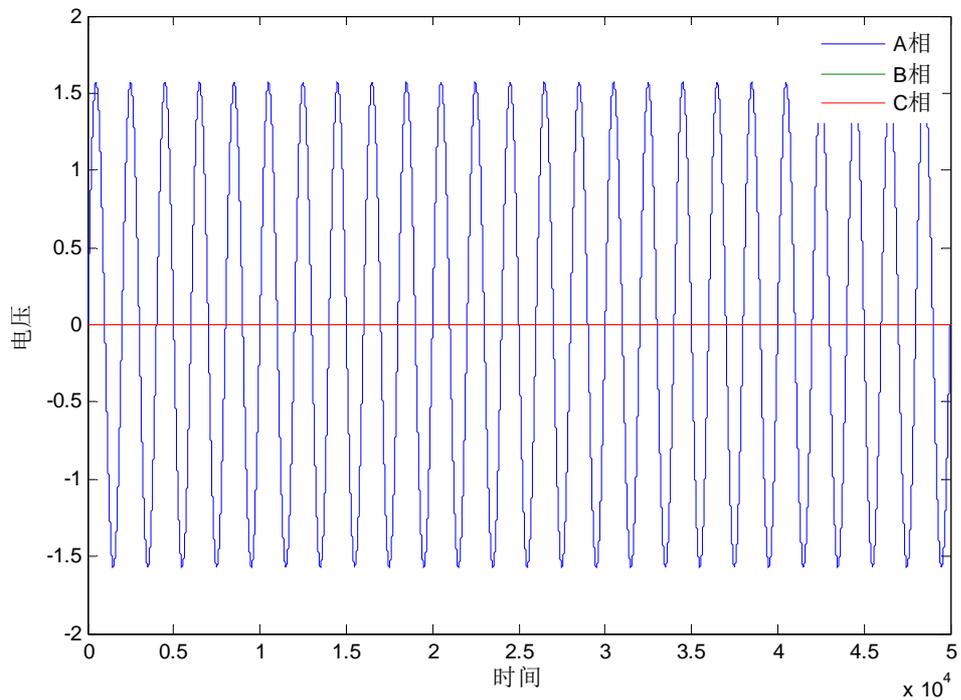


Figure 9. The voltage waveform diagram of phase-to-phase grounding short-circuit fault  
图 9. 相间接地故障电压

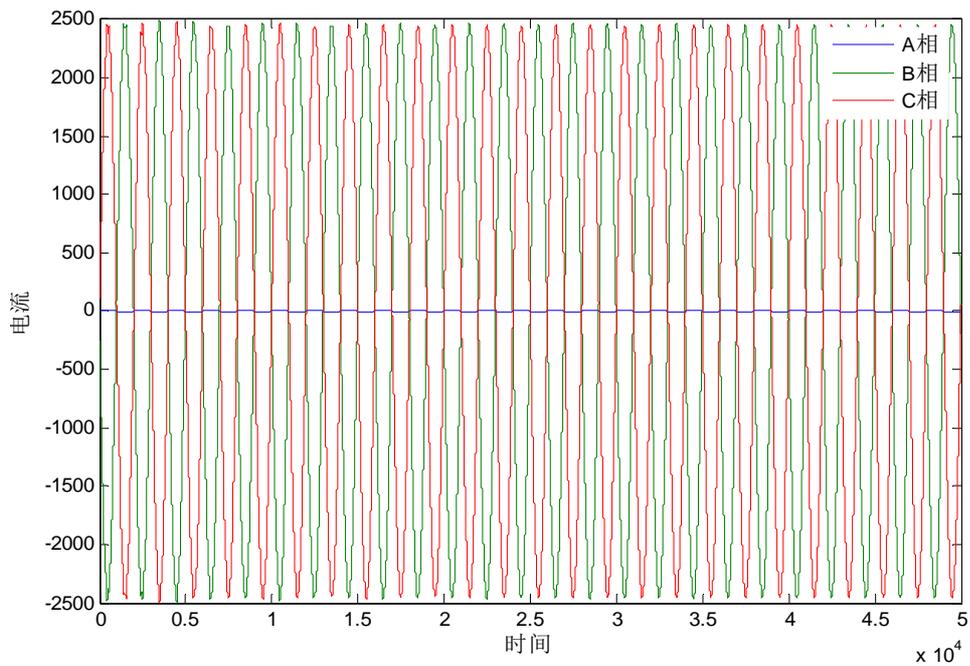


Figure 10. The current waveform diagram of phase-to-phase grounding short-circuit fault  
图 10. 相间接地故障电流

### 3.3. 不接地系统断线故障的对策

单相断线故障对用户用电和电网稳定会产生一定的不良影响，但在目前配电网装备的保护难以对其产生反应，因此为反应单相断线故障，提出以下的解决方案。

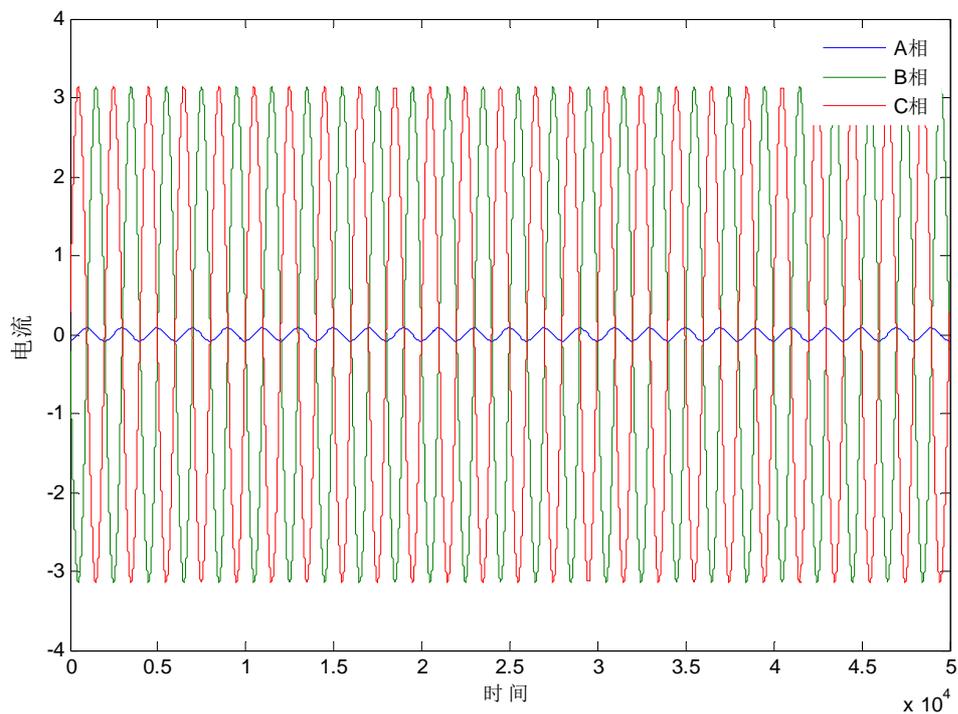


Figure 11. The current schematic of single-phase line breaking

图 11. 单相断线故障电流

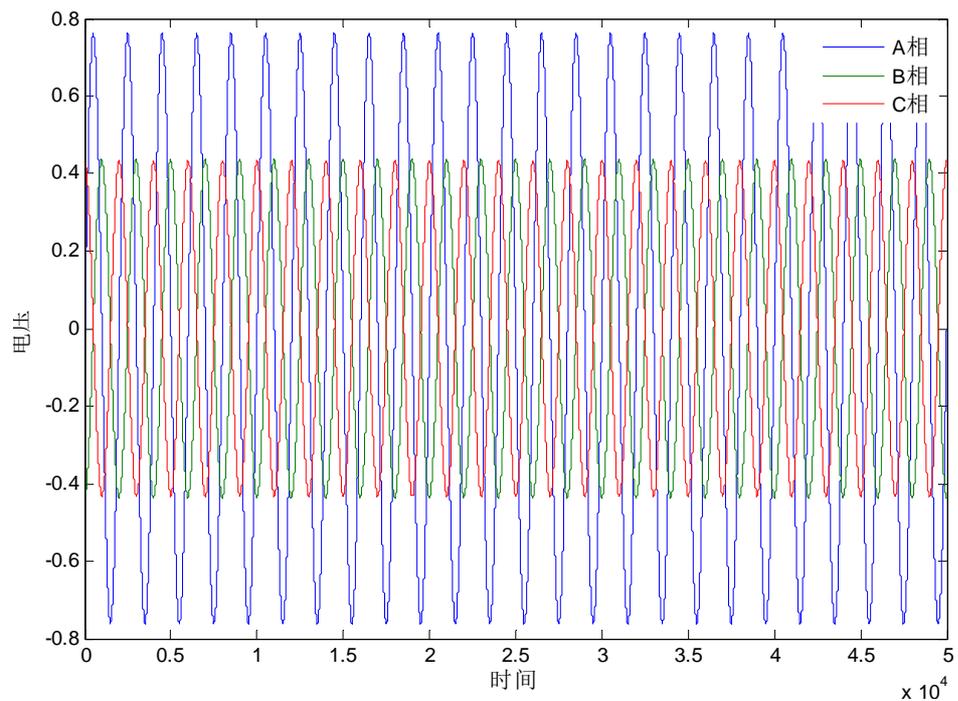


Figure 12. The voltage schematic of single-phase line breaking

图 12. 单相断线故障电压

通过负序电流大小判断。由于非故障线路两端负序电压很小，所以通过非故障线路的负序电流很小，但是通过故障线路的负序电流却很大，可以考虑在各出线上装设负序电流过滤器，并在上一级变电站内

安装接地故障选线装置。如果某条线路的负序电流大于整定值时则发出断线信号，调度可以根据收到的断线信号安排巡视，加快单相断线故障的处理。

#### 4. 结论

通过对不接地系统单相断线故障的理论分析和仿真验证得到以下结论：

1) 断线故障发生后，故障相的正负序电流的数值不与故障发生的位置有关系，只与故障前流过该相的电流数值大小有关系。

2) 单相断线故障与两相相间接地短路故障的非故障相电流数值的变化不同差别比较明显；电压数值的变化不同但差别相对不明显。

#### 参考文献 (References)

- [1] 何仰赞, 温增银. 电力系统分析(上册) [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2010.
- [2] 朱玲玲, 李长凯, 张华中, 张忠. 配电网单相断线故障负序电流分析及选线[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(9): 35-43.
- [3] 阳家书, 李国友, 孙建华. 一次 110 kV 线路单相断线故障的继电保护动作分析[J]. 继电器, 2007, 35(22): 58-60.
- [4] 王斐, 华煌圣, 商国东, 卢翔智. 单线断线故障对城市输电网的影响分析[J]. 广东电力, 2011, 24(7): 25-30.
- [5] 马腾. 10 kV 配电网断线故障检测与定位研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2013.