

# 一种新型故障检测和故障选相方法

李红岩 王安定 张保会 西安交通大学 (710049)

**【摘要】** 本文提出了一种新的故障检测方法, 并与目前使用的检测单相电流突变量和相电流差突变量的方法进行了比较。文中还提出利用同一故障检测量实现故障选相, 经过大量的动模实验表明所述方法具有一系列优点。

**【关键词】** 故障检测 故障选相 突变量

## 引言

随着现代电力系统的日益复杂化, 输电容量和电压等级的不断提高, 输电线路故障对社会的经济和人们生活造成的危害也更加严重。因此, 对输电线路的保护装置提出了更高的要求, 而输电线路的故障检测和故障选相则是保护装置的关键环节。在现有的微机保护中, 利用计算机的存贮功能, 可以使我们能保存相当长一段时间的采样数据, 即具有记忆功能。在现有的微机保护装置中, 故障检测有利用单相电流突变量和相电流差突变量等方法。对检测单相电流突变量, 可用  $\Delta i_K = |i_K - i_{K-N}|$  来求得电流突变量  $\Delta i_K$ , 式中  $i_K$  为第  $K$  次电流采样,  $N$  为一个工频周期内的采样次数,  $i_{K-N}$  为一周波前的电流采样。为防止系统频率偏离额定值时造成不平衡电流, 可采用  $\Delta i_K = \left| |i_K - i_{K-N}| - |i_{K-N} - i_{K-2N}| \right|$  求得电流突变量  $\Delta i_K$ 。相电流差突变量元件若以 AB 相为例时:  $\Delta i_{KAB} = \left| |i_{KA} - i_{KB}| - |i_{(K-N)A} - i_{(K-N)B}| \right|$ 。采用相电流差突变量元件有以下好处: (1) 抗共模干扰能力强。(2) 对各种相间故障可以提高灵敏度。如发生 AB 两相短路灵敏度可以提高一倍。

目前广泛采用的故障选相是相电流差突变量选相。其选相原理为先计算三个相电流差突变量的有效值,  $\Delta i_{AB}$ ,  $\Delta i_{BC}$  和  $\Delta i_{CA}$ , 并按大小分成大、中、小, 如果

$$(大 - 中) \ll (中 - 小)$$

必定是单相接地, 而且, “小”者即为两个非故障相之差, 否则必定是相间故障, 可取“大”者对应的两相计算相间阻抗。

另外, 还有利用模量变换进行故障选相, 在线性网络中发生故障时可按叠加原理进行分析, 求得 Clark 模故障分量的等效电源, 经过分析各种故障时模故障分量特征, 由此可得出基于模量的故障选相原理。

本文提出了一种故障检测的方法, 并在此基础上实现故障选相, 并同几种已应用的方法进行了比较, 最后给出了动模实验结果。实验结果表明, 故障选相原理简单, 结果正确。

## 1 故障检测元件

采用如下形式的  $\Delta i_{KA}$ 、 $\Delta i_{KB}$ 、 $\Delta i_{KC}$  来检测电流突变量

$$\Delta i_{KA} = \left| i_{K-N}^A + i_K^B + i_K^C \right| = \left| 3i_{OK} + i_{K-N}^A - i_K^A \right| \quad (1)$$

$$\Delta i_{KB} = \left| i_K^A + i_{K-N}^B + i_K^C \right| = \left| 3i_{OK} + i_{K-N}^B - i_K^B \right| \quad (2)$$

$$\Delta i_{KC} = \left| i_K^A + i_K^B + i_{K-N}^C \right| = \left| 3i_{OK} + i_{K-N}^C - i_K^C \right| \quad (3)$$

以上各式中下标  $K$  指与第  $K$  次采样有关,  $K - N$  指从  $K$  点向前推  $N$  点。

通过监视  $\Delta i_{KA}$ 、 $\Delta i_{KB}$ 、 $\Delta i_{KC}$ , 在正常情况下, 由于相邻两周波采样值基本保持不变, 三相负荷电流对称, 没有零序电流, 因此  $\Delta i_{KA}$ 、 $\Delta i_{KB}$ 、 $\Delta i_{KC}$  应当接近零值。而当发生故障时, 故障相电流有突变量, 接地故障时还有零序电流,  $\Delta i_{KA}$ 、 $\Delta i_{KB}$ 、 $\Delta i_{KC}$  有了较大的值, 因而可以检出故障。

## 2 故障选相元件

现分析发生各种故障后第一周波时  $\Delta i_{KA}$ 、 $\Delta i_{KB}$ 、 $\Delta i_{KC}$  的相对关系。

### (1) 单相接地

假设 A 相发生接地故障, 接地阻抗为  $Z_f$ 。

$$|\Delta \dot{I}_{KA}| = 0 \quad (1)$$

$$|\Delta \dot{I}_{KB}| = |\Delta \dot{I}_{KC}| = |3\dot{I}_{KO}| = \left| \frac{3\dot{U}_f |0|}{Z_{\Sigma(1)} + Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)} + 3Z_f} \right| \quad (2)$$

### (2) 两相短路

假设 BC 相经过阻抗  $Z_f$  发生短路故障。

$$|\Delta \dot{I}_{KA}| = 0 \quad (3)$$

$$|\Delta \dot{I}_{KB}| = |\Delta \dot{I}_{KC}| = \left| \frac{\sqrt{3}\dot{U}_f |0|}{Z_{\Sigma(1)} + Z_{\Sigma(2)} + Z_f} \right| \quad (4)$$

### (3) 两相短路接地

假设 BC 相发生短路, 经过阻抗  $Z_f$  接地。

$$|\Delta \dot{I}_{KA}| = |3\dot{I}_{KO}| = |\dot{I}_f^{(1)}| \cdot \left| \frac{3Z_{\Sigma(2)}}{Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)} + 3Z_f} \right| \quad (5)$$

$$\begin{aligned} |\Delta \dot{I}_{KB}| &= |\dot{I}_f^{(1)}| \cdot \left| \frac{3Z_{\Sigma(2)}}{Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)} + 3Z_f} + \alpha^2 \cdot \frac{Z_{\Sigma(2)} + \alpha(Z_{\Sigma(0)} + 3Z_f)}{Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)} + 3Z_f} \right| \\ &= |\dot{I}_f^{(1)}| \cdot \left| \frac{\frac{3}{2}Z_{\Sigma(2)} - j\left(\frac{\sqrt{3}}{2}Z_{\Sigma(2)} + \sqrt{3}Z_{\Sigma(0)} + 3\sqrt{3}Z_f\right)}{Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)} + 3Z_f} \right| \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} |\Delta \dot{I}_{KC}| &= |\dot{I}_f^{(1)}| \cdot \left| \frac{3Z_{\Sigma(2)}}{Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)} + 3Z_f} + \alpha \cdot \frac{Z_{\Sigma(2)} + \alpha^2(Z_{\Sigma(0)} + 3Z_f)}{Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)} + 3Z_f} \right| \\ &= |\dot{I}_f^{(1)}| \cdot \left| \frac{\frac{3}{2}Z_{\Sigma(2)} + j\left(\frac{\sqrt{3}}{2}Z_{\Sigma(2)} + \sqrt{3}Z_{\Sigma(0)} + 3\sqrt{3}Z_f\right)}{Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)} + 3Z_f} \right| \end{aligned} \quad (7)$$

$$|\dot{I}_f^{(1)}| = \left| \frac{\dot{U}_f |0|}{Z_{\Sigma(1)} + \frac{Z_{\Sigma(2)} Z_{\Sigma(0)}}{Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)}}} \right| \quad \alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

### (4) 三相短路

$$|\Delta \dot{I}_{KA}| = |\Delta \dot{I}_{KB}| = |\Delta \dot{I}_{KC}| = \left| \frac{\dot{U}_f |0|}{Z_{\Sigma(1)} + Z_f} \right| \quad (8)$$

根据上述各种故障时的特征, 可提出新型故障选相的流程如图 1 所示。

故障选相时需要计算五个量:  $\Delta i_{KA}$ 、 $\Delta i_{KB}$ 、 $\Delta i_{KC}$ 、 $I_{\min}$  ( $\Delta i_{KA}$ 、 $\Delta i_{KB}$ 、 $\Delta i_{KC}$  中最小者) 及  $|3i_o|$ 。从故障选相的框图中可以看出, 首先统计满足接地条件时  $I_o$ Count 的次数。接着统计十次采样值中  $\Delta i_{KA}$ 、 $\Delta i_{KB}$ 、 $\Delta i_{KC}$  为  $I_{\min}$  时的次数, 三者之和为十次。再统计十次采样值中  $\Delta i_{KA}$ 、 $\Delta i_{KB}$ 、 $\Delta i_{KC}$  为

最接近  $|3i_0|$  时的次数,三者之和为十次。十次统计完成后,进行故障选相判断。由式 1~8 可知,当发生单相接地时,满足接地条件,故障相所反映的突变量基本为零值,非故障相所反映的突变量基本为  $|3i_0|$ 。当发生两相短路时,不满足接地条件,非故障相所反映的突变量基本为零值,两故障相所反映的突变量基本相等,为大于零值的量。因此,当发生单相接地和两相短路时, ACount、BCount 或 CCount 必为大于八以上,再结合是否满足接地条件,即可区分单相接地和两相短路。当发生两相接地短路时,满足接地条件,非故障相所反映的突变量基本为  $|3i_0|$ ,故障相反映的突变量变化较大。考虑到  $\Delta i_{kA}$ 、 $\Delta i_{kB}$ 、 $\Delta i_{kC}$  有可能是幅度相差不是很大的量,与  $|3i_0|$  相比有可能出现错判现象,可采用统计次数的方法,即在 10 次中有 7 次以上满足条件就可认为满足条件。如果还不满足两相接地短路条件,则一定是三相短路。

### 3 动模实验结果

实验中选定的系统动态模型接线如图 2 所示。

线路左端 M 经一变压器  $T_1$  与无穷大系统相连,变压器  $T_1$  接线为  $\Delta/Y$ ,星形接线中性点接地。线路右端 N 经一变压器  $T_2$  与负荷电阻相连,变压器  $T_2$  接线为  $Y/\Delta$ ,星形接线中性点不接地。线路参数为:  $Z_1 = 12.75 + j75.45\Omega$ ,  $Z_0 = 70.35 + j279.54\Omega$ ,线路长度为 230km。实验中选定故障点为  $K_1, K_2, K_3$  分别对应于从 M 侧开始线路全长的 15%, 65%, 100%。

#### (1) 故障检测的结果与比较

微机保护装置选用采样频率为 1000Hz,图 3, 4, 5, 6 分别为在发生单相接地, 两相短路, 两相接地短路, 三相短路时故障检测测量波形。

图中刻度代表计数的第  $n$  个采样点,长竖线代表故障检出时刻。从以上发生各种故障时的检测测量波形图中可以看出,  $\Delta i_{kA}$ 、 $\Delta i_{kB}$ 、 $\Delta i_{kC}$  至少有两个量能超过起动作定值,这一点超过了相电流突变量,同相电流差突变量相同,但是反映的量和幅度不同。 $\Delta i_{kA}$ 、 $\Delta i_{kB}$ 、 $\Delta i_{kC}$  所反映的幅度同相电流突变量差不多,但是比相电流差突变量所反映的最大幅度小。

#### (2) 故障选相的结果与比较

利用故障检出后连续十点检测量判断故障相,选相结果分别由表 1 给出。

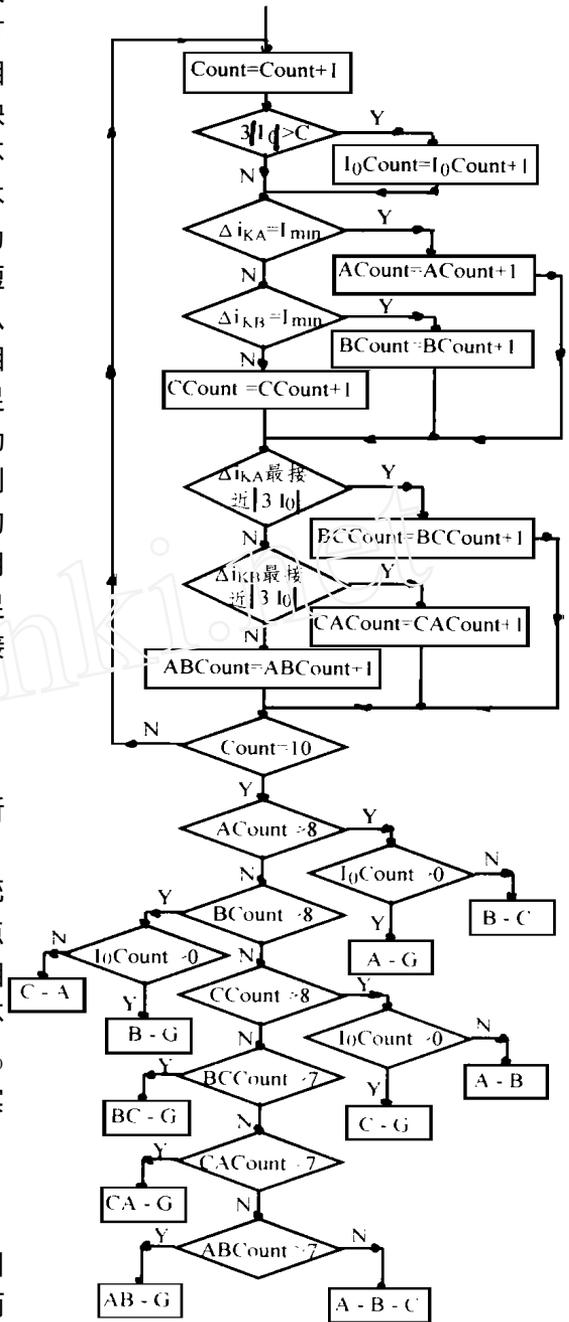


图 1 故障选相框图

由表 1 中可以看出, 对于判断接地故障和非接地故障的正确率为 100%。但是在两相接地选相时, 由以前理论分析可知,  $\Delta i_{KA}$ 、 $\Delta i_{KB}$ 、 $\Delta i_{KC}$  有可能是幅度相差不是很大的量, 与  $|3i_0|$  无穷大系统相比有可能出现错判现象, 可采用统计次数的方法, 即在 10 次中有 7 次以上满足条件就可认

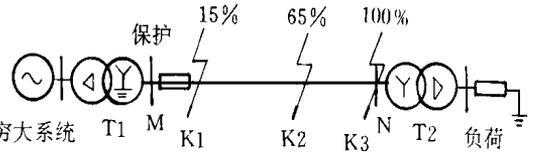


图 2 动态模拟实验接线图

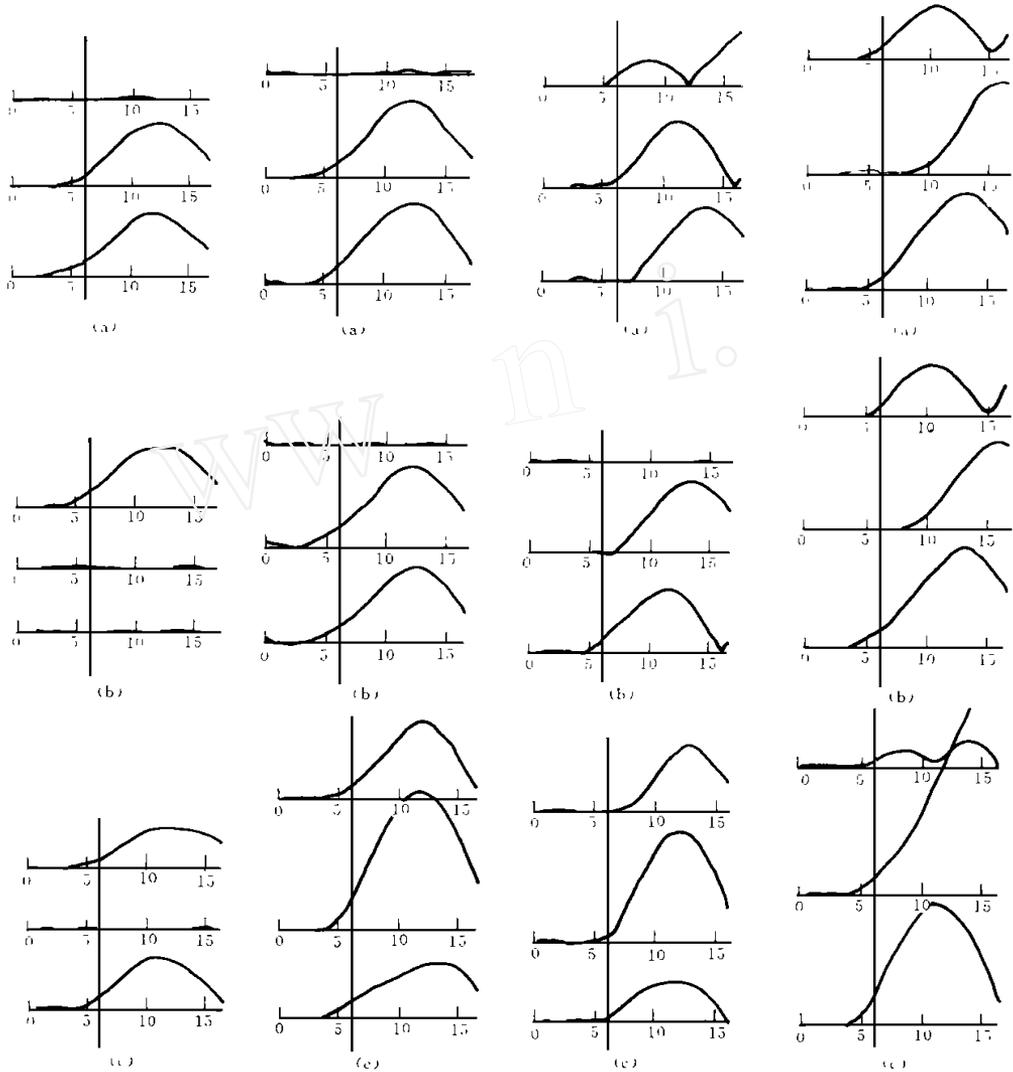


图 3 单相接地      图 4 两相短路      图 5 两相接地短路      图 6 三相短路  
各图中: (a) 新型故障检测量      (b) 相电流突变量检测量      (c) 相电流差突变量检测量

为满足条件。对于两相短路和三相短路,也可以正确区分。综上所述,本选相方案对各类故障均可正确地进行判断。

表 1 选相结果

实际故障类型	接地判断对否	$I_{min} = \Delta i_{KA}$	$I_{min} = \Delta i_{KB}$	$I_{min} = \Delta i_{KC}$	故障类型判断	
A - G	对	10 次	0 次	0 次	A - G	
B - G	对	0 次	10 次	0 次	B - G	
C - G	对	0 次	0 次	10 次	C - G	
A - B	对	0 次	0 次	10 次	A - B	
B - C	对	10 次	0 次	0 次	B - C	
C - A	对	0 次	10 次	0 次	C - A	
A - B - C	对	3 次	2 次	5 次	A - B - C	
实际故障类型	接地判断对否	$\Delta i_{KA}$ 最接近	$ 3i_o  \Delta i_{KB}$ 最接近	$ 3i_o  \Delta i_{KC}$ 最接近	$ 3i_o $ 最接近	故障类型判断
AB - G	对	0 次	1 次	9 次		AB - G
BC - G	对	10 次	0 次	0 次		BC - G
CA - G	对	0 次	10 次	0 次		CA - G

#### 4 结论

本文提出了一种故障检测的新方法,并利用检出量进行故障选相,其特点是:

- (1) 原理简单,动作可靠;
- (2) 故障选相时运算量小且不需要整定计算;
- (3) 故障选相直接利用瞬时值实现;
- (4) 易于在微机上实现。

#### 参考文献

- 1 李光琦 电力系统暂态分析 北京: 水利电力出版社, 1991; P124
- 2 陈德树 计算机继电保护原理与技术 北京: 水利电力出版社, 1992; P140
- 3 王安定, 葛耀中 一种新型数字式故障选相方案 北京: 中国电机工程学报, 1990; 第 10 卷第 3 期: P67~P72
- 4 杨奇逊, 张振华等 11 型微机高压线路保护装置软件设计说明 北京: 华北电力学院北京研究生部, 电力科学研究院, 1993; P20~ P22

# RELAY

Vol. 25 No. 2

April 1997

## CONTENTS AND ABSTRACTS (Partial)

### THEORETICAL STUDY AND CALCULATION

#### **The Feature, Technical Progress and New Concept of Microprocessor- Based Line Protection**

..... **Zhu Shengshi(4)**

Microprocessor- based protection and conventional analog type protection are completely and deeply compared in this paper basing on the broad application of microprocessor- based line protection in recent years. The feature of microprocessor- based protection and the technical progress and new concept brought by the application of microprocessors in line protection are also described.

**Key words:** Microprocessor- based protection Line protection

#### **A New Method of Fault- Detection and Phase- Select for Fault** ..... **Li Hongyan et al(11)**

A new fault- detection method is proposed in this paper. The newly developed method is compared with the existing ones, whose successful operation depend on checking the surge in single- phase current and phase to phase current difference. Also in this paper presented a new way of phase- select for faults through fault checking measurements. Dynamic model test's results show that the proposed method has a series of advantages.

#### **General Numerical Protection System for Main Equipment in Power Plant and Substation**

..... **Lin Tao et al(16)**

A STD bus embedded computer based general numerical protection system is presented here. This system bases on computer cluster and open architecture to provide complete protection functions for main equipments in power plant and substation.

**Keywords:** Numerical protection Computer cluster STD bus

#### **Analysis on Transient Overreach and Underreach of Directional Impedance Relay**

..... **Yan Guohua, Song Zhenyu(18)**

#### **Research on the Phase- Comparison Circuit of New Distance Relay** ..... **Li Xiaoming et al(27)**

A distance relay with new criterion, cooperating with a phase- comparison element, can get desired characteristic. The new phase- comparison principle is the main feature of the new distance relay. In this article, the improving measures of phase- comparison method under the condition of unequal impedance angles of power system are discussed, and a phase- comparison circuit with anti- interference ability, which is made of integrated circuit, is also described.

**Key words:** Distance relay Phase- comparison circuit Anti- interference

### NEW TECHNICAL RESEARCH AND APPLICATION

#### **Development of A Microcomputer- Based Motor Complete Protective Device** ..... **Zu Wei et al(31)**

A microcomputer- based motor complete protection device with perfect functions and excellent and reliable performance has been developed successfully. It can be used for large and middle- sized asyncho or synchro motors.

**Key words:** Motor Microcomputer Relay protection

