

# 一种电流突变量选相元件的探讨

赵洪峰, 吐尔逊·依布拉音, 晁勤

(新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830008)

**摘要:** 文中所探讨的相电流突变量选相元件, 是利用单相接地故障时, 两健全相相间电流突变量为零这一特征来得到的。实际系统故障时, 系统正、负序阻抗可能会不相等, 使得健全相相间电流突变量不为零, 这将对选相元件产生一定的负面影响。文中给出了相应的解决办法, 并用现场的某次故障录波数据为例来进行验证说明。该选相元件物理意义明确, 有较高的灵敏性和可靠性, RIDS 试验数据验证了该选相元件的准确性。

**关键词:** 线路微机保护; 选相元件; 相电流突变量

**中图分类号:** TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)13-0006-04

## 0 引言

随着现代电力系统的发展, 输电容量和电压等级在不断提高, 输电线路故障对社会的经济和人民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, 而输电线路的故障选相则是保护装置中的关键环节之一, 选相元件的准确性也是衡量继电保护装置好坏的重要标志。

目前国内数字式高压线路保护主要采用电流突变量选相和序分量选相相结合的方法来实现故障选相。在保护启动后第一次选相是采用相电流差突变量选相元件, 振荡闭锁期间的选相元件由于突变量提取困难而采用稳态量选相, 一般采用序电流的分区结合阻抗比较方法构成。

本文从相电流突变量的角度, 提出了一种选相判据, 作为故障后第一次选相的判据。该判据能够不反映电流中的负荷分量, 对区内的单相接地、经过渡电阻接地都能正确、快速地选出故障相, 能够满足现代高压系统中单相自动重合闸的需要。

## 1 选相原理

### 1.1 基本原理

系统发生故障时, 根据三序故障分量网络图, 利用对称分量法可得<sup>[1]</sup>

$$\begin{cases} I_{ABg} = (1 - a^2) C_1 I_{1g} + (1 - a) C_2 I_{2g} \\ I_{BCg} = (a^2 - a) C_1 I_{1g} + (1 - a^2) C_2 I_{2g} \\ I_{CAg} = (a - 1) C_1 I_{1g} + (a^2 - 1) C_2 I_{2g} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $C_1$ 、 $C_2$  为保护端的正、负序电流分支系数;  $I_{1g}$ 、 $I_{2g}$  为故障点的正、负序故障分量电流。

假定  $C_1 = C_2$ , 对单相接地故障 (以 A 相故障为

例), 有  $I_{2g} = I_{1g}$ , 从而可得到

$$\begin{cases} |I_{ABg}| = 3 |C_1 I_{1g}| \\ |I_{BCg}| = 0 \\ |I_{CAg}| = 3 |C_1 I_{1g}| \end{cases} \quad (2)$$

同样假定  $C_1 = C_2$ , 对两相短路故障 (以 BC 间相短路为例), 有

$$\begin{cases} |I_{ABg}| = \sqrt{3} |C_1 I_{1g}| \\ |I_{BCg}| = 2\sqrt{3} |C_1 I_{1g}| \\ |I_{CAg}| = \sqrt{3} |C_1 I_{1g}| \end{cases} \quad (3)$$

一般情况, 两相短路接地的幅值特征与两相短路基本相同。

假设  $I_d$  为故障相电流突变量的幅值, 在  $C_1 = C_2$  的前提下, 近似可以得到表 1。

表 1 短路故障时相和相间电流突变量大小

Tab 1 Amplitude of phase and interphase for short circuit

故障	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_{BC}$	$I_{CA}$	$I_{AB}$
AG	$I_d$	0	0	0	$I_d$	$I_d$
BG	0	$I_d$	0	$I_d$	0	$I_d$
CG	0	0	$I_d$	$I_d$	$I_d$	0
BC相间	0	$I_d$	$I_d$	$2I_d$	$I_d$	$I_d$
CA相间	$I_d$	0	$I_d$	$I_d$	$2I_d$	$I_d$
AB相间	$I_d$	$I_d$	0	$I_d$	$I_d$	$2I_d$
ABC	$I_d$	$I_d$	$I_d$	$I_d$	$I_d$	$I_d$

从表 1 可以看出, 只有在发生单相接地时, 反映故障相电流突变量和其余两相电流差突变量幅值之比才趋于无穷大, 从而给出如下三个继电器:

A 继电器:  $I_A > k_1 I_{BC}$

B 继电器:  $I_B > k_1 I_{CA}$

C 继电器:  $I_C > k_1 I_{AB}$

理论上在单相接地时故障相对应的继电器中  $k_1$  可以取无穷大, 因此  $k_1$  很容易选择, 其可取  $3.0 \sim$

5 0。以上三个继电器在单相故障时只有故障相对应的继电器动作,在多相故障时则均不动作。对仅仅实现单相重合闸而言,故障后选不出单相就三相跳闸。

### 1.2 消除正、负序分支系数不等的影响

单相接地时,健全相相间电流突变量为零,得到该结论的前提是  $C_1 = C_2$ ,即系统的  $Z_1 = Z_2$ 。因此,前面的结论只有在  $C_1 = C_2$  的前提下,才具有最大的灵敏度和很好的可靠性。

对某些系统,比如系统中带有凸极发电机或电动机,在短路初期系统的正负序阻抗接近相等,但随着时间的推移,正序阻抗将不再与负序阻抗相等。从而引起健全相相间电流突变量不再为零,但其幅值远较故障相小,可以采取三个相间电流突变量幅值中的最大值来实现制动,以消除或者削弱  $Z_1 = Z_2$  带来的影响。这样,前面的三个继电器变为:

$$\text{A相继电器: } I_A > k_1 (I_{BC} - k_2 \cdot I_{\phi\max})$$

$$\text{B相继电器: } I_B > k_1 (I_{CA} - k_2 \cdot I_{\phi\max})$$

$$\text{C相继电器: } I_C > k_1 (I_{AB} - k_2 \cdot I_{\phi\max})$$

其中:  $I_{\phi\max} = \max\{I_{BC}, I_{CA}, I_{AB}\}$ ;  $k_2$  为最大相制动系数。正、负序阻抗不相等时,在能有效防止选相元件误动作的前提下,  $k_2$  取得越小,对选相元件的灵敏度和可靠性越有利。

选相元件的选相结果同样是满足条件的那个继电器对应为故障相,否则判为多相故障而实现三相跳闸。如果是为了进行距离测量,选为单相故障则对故障相进行测距;选为多相故障时,可先对三个相间电流突变量的幅值进行排队,按最大值对应的相间距离继电器进行测量。

## 2 现场故障录波数据的验证

### 2.1 现场情况

2004年3月,湖南某线发生C相接地故障,某侧保护误判为多相故障而进行三相跳闸,最后没有进行重合而导致区域性失电。

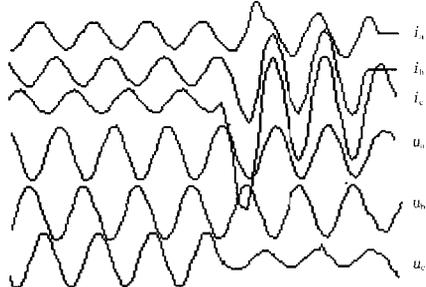


图1 故障录波图

Fig 1 Fault recording wave

图1给出当时的故障录波图,包括三相电流和三相电压。

### 2.2 原因分析

下面对录波数据的仿真分析中,突变量的求取方法是将当前量与一周波前的量作差,滤波算法采用带差分的半周傅氏滤波,与现场保护装置中的算法基本一致。

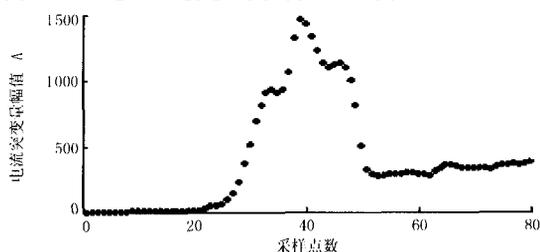


图2 故障前后  $I_{AB}$  的幅值

Fig 2 Amplitude of  $I_{AB}$  before and after fault

图2给出了AB相间电流突变量的幅值  $I_{AB}$  随着故障时刻的变化,其纵坐标已转化为一次侧的值。C相发生接地故障,如果正负序分支系数相等的话,AB相间电流突变量应该为零。从图中看出,故障后  $I_{AB}$  比较大,达到300 A左右,其原因是故障后系统正负序阻抗不等引起正负序电流分支系数不相等,使得健全相相间电流突变量较大而不能忽略其对选相元件的影响。

下面的仿真结果图中,同时输出A相、B相、C相三个继电器的动作结果。横坐标为采样点,第21点对应为一个故障点,纵坐标的意义如下:

“2”代表A相继电器动作;“1”代表A相继电器没有动作;“0.5”代表B相继电器动作;“-0.5”代表B相继电器没有动作;“-1”代表C相继电器动作;“-2”代表C相继电器没有动作。

仿真中,参数选择为  $k_1 = 3.5$ ,最大相制动系数  $k_2 = 0.15$ ,图3给出了不带最大相制动时的选相结果;图4给出了带最大相制动时的选相结果。

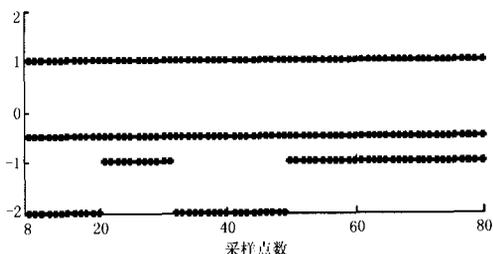


图3 不带最大相制动的判据结果

Fig 3 Criterion results with  $k_2 = 0$

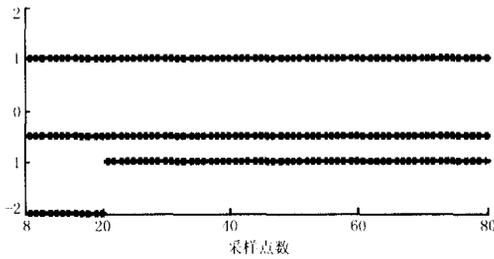


图 4 有最大相制动的判据结果

Fig 4 Criterion results with  $k_2 = 0.15$ 

由于第 21 个点开始发生故障,加上带差分的半周傅氏录波算法,因此横坐标从第 33 个点开始为保护的有效选相结果。而图 3 中横坐标从 32 到 50 之间,三个继电器都没有动作,保护将 C 相故障误判为多相故障;而图 4 中,选相元件在故障后会一直准确判为 C 相接地故障。

图 3 中选相元件误动的原因,就是由于故障后系统的正负序阻抗不相等,从而导致健全相相间电流突变量比较大,这一点从图 2 中可以明显看出。

### 3 仿真结果和分析

对上面给出的选相元件,用 RTDS 试验数据进行仿真验证。仿真系统图见图 5。采用 500 kV、300 km 的双回线,线路参数如下:

$$R_1 = 0.0195 \text{ } / \text{km}, R_0 = 0.1828 \text{ } / \text{km},$$

$$X_1 = 0.28 \text{ } / \text{km}, X_0 = 0.86 \text{ } / \text{km},$$

$$X_{c1} = 0.2359 \times 10^6 \text{ } / \text{km},$$

$$X_{c0} = 0.3462 \times 10^6 \text{ } / \text{km}$$

模拟故障点  $d_1$ 、 $d_2$  和  $d_3$  分别位于线路的出口、中点和末端。

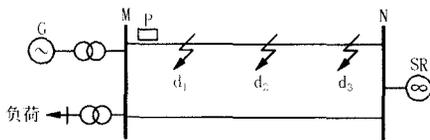


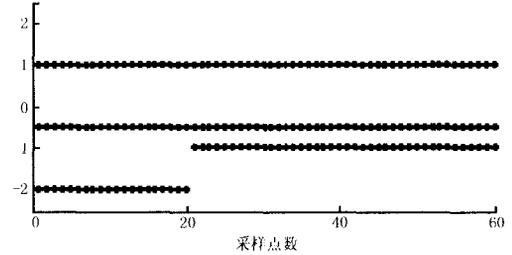
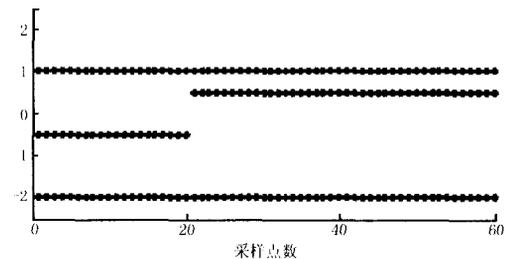
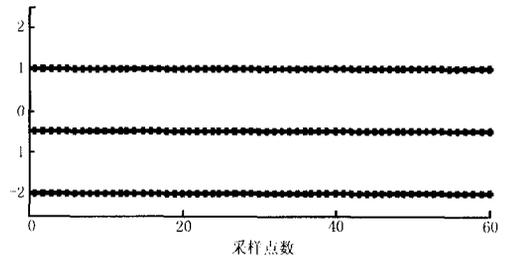
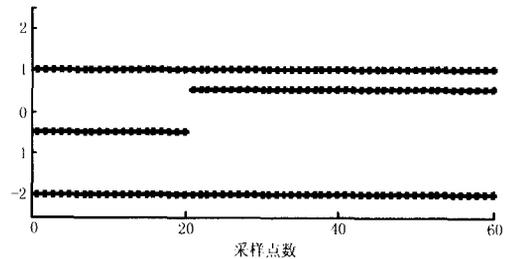
图 5 RTDS 仿真系统图

Fig 5 Simulation diagram in RTDS

对录波数据每工频周期 24 点采样,向量算法采用带差分的半周傅氏算法,工频变化量的求取方法是将当前量与一周波前的量作差。 $k_1$  取 3.5,最大相制动系数  $k_2$  取 0.15。

下面以装设在 M 侧母线出口 P 处的选相元件为例来进行仿真分析。坐标的意义和图 3、4 中的相同,也同样是从小 21 个点开始发生故障,从第 33 个点开始为有效的选相结果。

图 6 是保护出口  $d_1$  点发生 C 相金属性接地故障时选相元件的仿真结果;图 7 是  $d_3$  点发生 B 相金属性接地故障的仿真结果;图 8 是  $d_2$  点发生 BC 相间金属性短路接地故障的仿真结果。

图 6  $d_1$  点 C 相接地的判据结果Fig 6 Results of phase C ground at  $d_1$  with fault resistance be zero图 7  $d_3$  点 B 相接地的判据结果Fig 7 Results of phase B ground fault at  $d_3$  with fault resistance be zero图 8  $d_2$  点 BC 相短路接地的判据结果Fig 8 Results of phase B to phase C ground fault at  $d_2$  with fault resistance be zero图 9  $d_1$  点 B 相经 300 接地的判据结果Fig 9 Results of phase B ground at  $d_1$  with fault resistance be 300

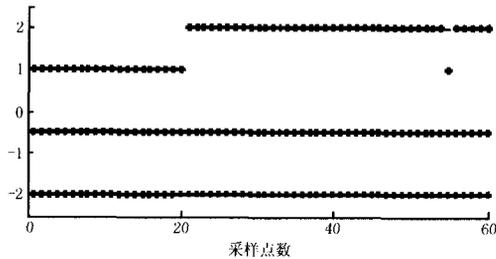
图 10  $d_3$  点 A 相经 300 接地的判据结果

Fig 10 Results of phase A ground at  $d_3$  with fault resistance be 300

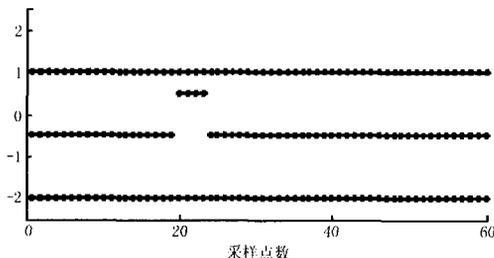
图 11  $d_2$  点 AB 相短路经 200 接地的判据结果

Fig 11 Results of phase A to phase B ground at  $d_2$  with fault resistance be 200

图 9 是  $d_1$  点发生 B 相经 300 过渡电阻接地的仿真结果;图 10 是  $d_3$  点发生 A 相经 300 过渡电阻接地的仿真结果;图 11 是  $d_2$  点发生 AB 相短路经 200 过渡电阻接地的仿真结果。

金属性短路时,该选相元件能准确判断出系统是否发生单相接地还是多相故障;在经过高阻接地时,该选相元件也有一定的适应性和可靠性。

#### 4 结论

文中给出了一种电流突变量选相元件,采用最

大相制动的措施,能消除或削弱系统正、负序分支系数对选相元件的影响,并用现场的录波数据进行说明。该选相元件不受负荷电流和过渡电阻的影响,物理意义明确,具有简单、灵敏和快速的优点。

#### 参考文献:

- [1] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术 [M]. 西安:西安交通大学出版社,1996  
GE Yao-zhong New Typed of Protective Relaying and Fault Location Their Theory and Techniques[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1996
- [2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术 [M]. 北京:中国电力出版社,1995.  
ZHU Sheng-shi The Principle and Technique of High Voltage Network Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.
- [3] 许正亚. 输电线路新型距离保护 [M]. 北京:中国水利水电出版社,2002  
XU Zheng-ya New Type Distance Protection of Power Line[M]. Beijing: China Water Power Press, 2002

收稿日期: 2004-10-14; 修回日期: 2004-11-30

#### 作者简介:

赵洪峰 (1978 - ),男,硕士研究生,研究方向为电力系统综合自动化; E-mail: zhf\_zhf@126.com

吐尔逊·依布拉音 (1955 - ),男,副教授,硕士生导师,主要从事电力系统综合自动化的教学和研究工作;

晁勤 (1959 - ),女,教授,硕士生导师,主要从事电力系统综合自动化的教学和研究工作。

### Discussion of phase selection relay based on difference of phase currents

ZHAO Hong-feng, TUERXUN-Yibulayin, CHAO Qin  
(Xinjiang University, Wulumuqi 830008, China)

**Abstract:** The fault phase selector discussed is based on the result that the fault component of sound phases is zero when a single-phase-to-ground fault occurs. On the spot, the positive and negative impedances of power system are not always equal, which may make the fault component of sound phases not be zero any more, consequently the result mentioned above will be invalid. Countermeasure is provided and tested by some fault recording data. The proposed phase selector is easy to realize and has good sensitivity and high reliability. It is evaluated by RTDS data.

**Key words:** microprocessor-based transmission line protection; fault phase selector; difference of phase currents