

一种电流突变量选相元件 三相短路判据的探讨

胡 婷,游大海,金明亮

(华中科技大学 电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 在详细分析相电流差突变量选相基本原理的基础上,对传统相电流差突变量选相元件三相短路故障判据进行了改进。改进后的判据克服了原判据在实际系统发生三相短路故障时过于严格而产生误判的缺点,较好地解决了三相短路故障的误判问题,具有实现简单、灵敏的优点。以一典型 500 kV 系统为例,运用 EMTP(Electro Magnetic Transients Program)进行数字仿真形成故障数据文件,并在 VC 环境中编制选相程序,对改进后的三相短路故障判据和传统判据进行了比较测试,测试结果证明了该判据的正确性和有效性。

关键词: 突变量; 选相元件; 三相短路; 距离保护; EMTP

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)10-0107-03

0 引言

故障选相是超高压输电线路继电保护中的一个关键环节。当系统发生故障时,快速准确的选相对于确保输电线路安全和电力系统稳定有着积极意义^[1]。在传统常规保护装置中,选相元件主要作用于自动重合闸,随着数字式微机保护装置在电力系统中的广泛应用,要求选相元件不仅要准确判别出单相故障的故障相,还要准确判别相间故障的相别。因为此时,选相元件不仅为自动重合闸服务,同时也是为保护装置的测量元件正确动作提供必需数据的依据,无疑故障选相的正确与否将是保护装置是否正确动作的依据,从而直接关系到电力系统运行的经济效益和社会效益^[2]。

目前,国内数字式高压线路保护在保护启动后第 1 次选相大多采用相电流差突变量选相元件^[3]。本文在介绍相电流差突变量选相基本原理的基础上,指出由于三相短路电流中存在很大的衰减直流分量导致该选相元件中三相短路判据在实际应用中过于严格,可能造成三相短路故障的误判,并分析了距离保护中由于三相短路的误判对相间方向阻抗继电器的正确动作带来的影响,进而对三相短路故障判据进行了改进,该判据实现简单,较好地解决了由于三相短路故障判据过于严格带来的误判问题,从而为保护装置的正确动作创造了条件。

1 选相原理分析

1.1 基本原理

相电流差,即 I_{AB} 、 I_{BC} 、 I_{CA} , 突变量就是故障分量。相电流差突变量用 ΔI_{AB} 、 ΔI_{BC} 、 ΔI_{CA} 表示,实际上 ΔI_{AB} 、

ΔI_{BC} 、 ΔI_{CA} 是故障后的 I_{AB} 、 I_{BC} 、 I_{CA} 与故障前的 I_{AB} 、 I_{BC} 、 I_{CA} 的向量差。根据文献[4]的分析可得:

$$\begin{aligned}\Delta I_{AB} &= \Delta(I_A - I_B) = (1 - a^2)\Delta I_{A1} + (1 - a)\Delta I_{A2} \\ \Delta I_{BC} &= \Delta(I_B - I_C) = (a^2 - a)\Delta I_{A1} + (a - a^2)\Delta I_{A2} \\ \Delta I_{CA} &= \Delta(I_C - I_A) = (a - 1)\Delta I_{A1} + (a^2 - 1)\Delta I_{A2}\end{aligned}\quad (1)$$

式中 下标 1、2 分别表示为故障的正、负序。

假设 I_m 为故障相电流突变量的幅值,在正序、负序电流分配系数相等的情况下,由上式分析各种短路情况下保护安装处相电流差突变量的幅值特点如表 1 所示。

表 1 各种短路故障情况下相电流差
突变量幅值大小

Tab.1 Sudden-changes of phase
current differential in different
kinds of short-circuit

短路类型	ΔI_{AB}	ΔI_{BC}	ΔI_{CA}
AG	I_m	0	I_m
BG	I_m	I_m	0
CG	0	I_m	I_m
AB	$2I_m$	I_m	I_m
BC	I_m	$2I_m$	I_m
CA	I_m	I_m	$2I_m$
ABC	I_m	I_m	I_m

于是相应的选相步骤如下^[5-6]:

a. 计算和比较 3 个相电流差突变量(绝对值),如果 3 个计算值基本相等,且大于某一定值,则判为三相短路;

b. 否则取出最小值,如当 $|\Delta I_{AB}|$ 为最小时,且有 $|\Delta I_{AB}| \ll |\Delta I_{BC}|$ 和 $|\Delta I_{AB}| \ll |\Delta I_{CA}|$,则可判定 C 相接地;

c. 如果 $|\Delta I_{AB}|$ 仍是最小,但是 $|\Delta I_{AB}|$ 与 $|\Delta I_{BC}|$ 或 $|\Delta I_{CA}|$ 比较,并非小很多,则可判定为多相故障,此时再检出 $|\Delta I_{AB}|$ 、 $|\Delta I_{BC}|$ 、 $|\Delta I_{CA}|$ 三者的最大值,如果 $|\Delta I_{AB}|$ 最大,则可判 A、B 两相为故障相,最后通过

零序电压超定值判断是否接地。

由以上选相步骤可知,当计算出的 3 个相电流差突变量(绝对值)很大且基本相等时,理论上即判为三相短路故障;否则往下继续进行判断。

1.2 三相短路故障的误判分析及其对距离保护影响

三相短路故障时,理想情况下 3 个相电流差突变量基本相等。然而,实际系统发生三相短路故障时,短路电流由强制分量和自由分量 2 部分组成^[7-8],短路电流的强制分量与外加电源电势有相同的变化规律,也是恒幅值的正弦交流,而短路电流的自由分量与外加电源无关,它是按指数规律衰减的直流,亦称为非周期电流。只有短路电流的周期分量才是对称的,而各相短路电流的非周期分量并不相等。非周期分量的初值既和短路前和短路后电路的情况有关,又和短路发生时刻(或合闸角)有关。因此,电力系统发生三相短路,三种相电流差突变量不会基本相等,有时甚至存在很大的偏差。由于不符合三相短路判据而继续进行判断,根据选相流程,最终往往因符合两相短路故障判据而误判为两相短路故障。

以距离保护为例说明将三相短路故障误判为两相短路故障对测量元件的正确动作带来的影响。距离保护中以正序电压为极化量的相间方向阻抗继电器,可分为反应三相短路故障和反应两相短路故障(包括两相短路接地故障)的继电器^[9],前者可称为低压方向阻抗继电器,后者可称相间方向阻抗继电器。当选相结果为三相短路故障时,保护即进入低压距离程序;选相结果为两相短路故障时,保护即进入相间距离程序。分析表明^[10],以正序电压为极化量的相间方向阻抗继电器,对两相短路故障(包括两相接地故障)有明确的方向性,对三相短路故障却不能保证明确的方向性,即出现正向出口三相短路故障时拒动,反向出口三相短路故障时误动的情况。如果选相时误将正向出口或是反相出口三相短路故障误判为两相短路故障,则保护进入相间距离程序,此时不能保证明确的方向性,继电器不能可靠动作。因此,若能正确判别出三相短路故障,上述不利情况将不会出现。

2 三相短路判据修正

2.1 数字仿真

在一典型 500 kV 系统上,运用 EMTP(Electro Magnetic Transients Program)进行三相短路故障仿真。仿真模型见图 1,仿真验算有 3 个步骤。

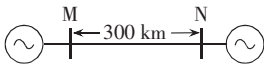


图 1 EMTP 仿真模型
Fig.1 EMTP simulation model

a. 根据选定的仿真模型参数,利用 EMTP 得到在线路的不同位置发生三相短路的故障前、后数据,并据此形成相应的数据文件(文件记录了 10 个周期的数据,每周期采样 12 个点,即每隔 0.001 6667 s 记录 1 点数据。假设在 $t=0.06$ s 时发生故障)。

b. 按照上述的选相流程,在 VC 环境中编制选相程序,程序对所获取的数据先进行了差分处理。3

个相电流差突变量运用半周积分算法得到。

c. 选择不同的三相短路故障数据文件,得到最终选相结果。

系统参数:

$$\begin{aligned} Z_{m1} &= 1.05 + j43.18 \, \Omega, & Z_{n1} &= 1.06 + j44.92 \, \Omega \\ Z_{m0} &= j29.09 \, \Omega, & Z_{n0} &= j37.47 \, \Omega \end{aligned}$$

线路参数:

$$\begin{aligned} r_1 &= 0.020 \, 8 \, \Omega/\text{km}, & r_0 &= 0.114 \, 8 \, \Omega/\text{km} \\ l_1 &= 0.894 \, 0 \text{ mH}/\text{km}, & l_0 &= 2.288 \, 6 \text{ mH}/\text{km} \\ c_1 &= 0.012 \, 9 \, \mu\text{F}/\text{km}, & c_0 &= 0.005 \, 2 \, \mu\text{F}/\text{km} \end{aligned}$$

以线路全长 1 % 处发生三相短路故障为例,故障前、后的三相电流波形如图 2 所示。

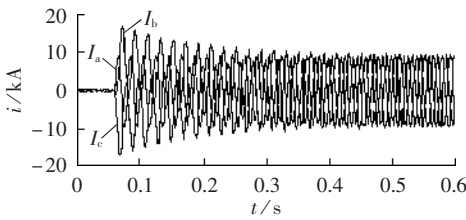


图 2 线路出口三相短路故障前、后三相电流波形
Fig.2 Three-phase current waveform at line outlet pre- and post-three-phase short-circuit

由图 2 可以看出,发生三相短路故障时,B、C 相短路电流中含有一个很大的衰减直流分量,在 0.4 s 之后才基本衰减完。实际上为了确保选相元件动作迅速、灵敏度高,一般启动元件动作后,等待算法数据窗内完全被故障启动后的数据填满后就应立即进行 3 个相电流差突变量的计算,所以由于衰减直流分量的存在使 3 个相电流差突变量不等是不可避免的。对所获取的数据经过差分处理后,仍然存在一定的偏差。表 2 列出了在线路的不同位置设置三相短路故障时,3 个相电流差突变量的计算结果。

表 2 不同位置三相短路故障仿真结果

Tab.2 Simulation results with different fault locations(three-phase short-circuit) A			
短路点位置	$ \Delta I_{AB} $	$ \Delta I_{BC} $	$ \Delta I_{CA} $
1 %	1040.02	1264.29	1118.31
50 %	520.40	621.87	546.91
99 %	497.01	400.01	370.79

表 2 的计算结果表明,此时如果用 3 个相电流差基本相等的三相短路判据进行判断,将造成错误的选相,短路点位置为 1 % 和 50 % 处误判为 BC 相短路,99 % 处误判为 AB 相短路。

2.2 三相短路故障判据的改进

为有效防止选相元件的误动作,将三相短路故障判据改进为

$$k \times \Delta I_{\varphi\varphi\min} > \Delta I_{\varphi\varphi\max} \quad (2)$$

式中 $\Delta I_{\varphi\varphi\max}$ 、 $\Delta I_{\varphi\varphi\min}$ 分别取 3 种相电流差突变量中的最大值和最小值。

三相短路故障时,3 个相电流差突变量很大但不会基本相等,存在一定的偏差。如果利用三者都大于某一定值的判据,该定值的确定比较困难,上述的新判据则不存在整定问题,实现简单。由于单相接

地故障时,3 个相电流差突变量的最小值远比另 2 个小,不满足该判据。为确保该式在三相短路故障时成立,两相短路故障时不成立, k 可取 1.5~1.9 之间的值。

采用经过改进后的三相短路故障判据之后(这里 k 选取 1.8),选相正确,解决了由于三相短路判据过于严格造成的误判问题。改变短路发生的地点、时间,可以形成不同的数据文件。选择不同的数据文件,均正确显示为三相短路故障。

3 结语

本文在介绍相电流差突变量选相元件基本原理的基础上,指出了其三相短路故障判据过于严格将造成三相短路故障的误判。改进后的判据解决了三相短路故障的误判问题,具有简单、灵敏的优点。EMTP 仿真数据验证了该判据的正确性和稳定性。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 朱声石. 当前高压线路保护中的几个焦点问题[J]. 继电器, 1994,22(1):7-10.
ZHU Sheng-shi. Several focal problems of current high voltage line protection[J]. Relay, 1994,22(1):7-10.

- [3] 王亚强,焦彦军,张延东. (超)高压输电线路故障选相现状及其发展[J]. 继电器,2004,32(24):72-77.
WANG Ya-qiang, JIAO Yan-jun, ZHANG Yan-dong. Current status and development of fault phase selection of (E)HV transmission lines[J]. Relay, 2004,32(24):72-77.
- [4] 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.
- [5] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京:中国电力出版社,1992.
- [6] 杨新民,杨隽琳. 电力系统微机保护培训教材[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
- [7] 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,2002.
- [8] 刘万顺. 电力系统故障分析[M]. 北京:水利电力出版社,1989.
- [9] 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.
- [10] 洪佩孙,许正亚. 输电线路距离保护[M]. 北京:水利电力出版社,1986.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

胡 婷(1983-),女,江西赣州人,硕士研究生,研究方向为电力系统微机继电保护(E-mail: huting0515@sohu.com);
游大海(1956-),男,湖北武汉人,教授,博士,主要从事电力系统继电保护、电力系统自动化、电力市场等方向的研究;
金明亮(1978-),男,湖北鄂州人,硕士,从事电力系统自动化方面的研究工作。

Discussion of three-phase short-circuit criterion of phase selection relay based on delta variable element of phase current differential

HU Ting, YOU Da-hai, JIN Ming-liang

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on the detailed analysis of basic principle, the traditional three-phase short-circuit criterion of phase selection element based on sudden-change of phase current differential is improved. The traditional three-phase short-circuit criteria are too strict to be met on site. The improved criteria are sensitive and simple in site implementation, avoiding the misjudgement of three-phase short-circuit fault. With a typical power system of 500 kV as an example, a comparative test is carried out using EMTP(Electro Magnetic Transients Program) digital simulation and test results show that the improved criteria is valid and effective.

Key words: sudden-change; phase selection element; three-phase short-circuit; distance protection; EMTP