

# 横差保护在 500 kV 同杆并架双回线中的应用研究与仿真实验

李夏阳<sup>1</sup>, 罗建<sup>1</sup>, 张太升<sup>2</sup>, 鄢安河<sup>2</sup>

(1. 重庆大学电气工程学院, 重庆 400044; 2. 河南电力调度通信中心, 河南 郑州 450052)

**摘要:** 介绍了以正序电压作为极化电压的横联差动电流方向保护的原理及其在 500 kV 同杆双回线系统中的仿真实验情况。实验采用 ATP-EMTP 软件建模, 并用 Matlab 来对数据进行处理。实验模型为 58.1 km 的单、双侧电源的双回线系统, 故障类型包括单回线的各种简单故障及双回线各种类型的跨线故障。通过对实验结果的分析, 提出了横联差动保护应用于 500 kV 同杆双回线系统应当注意的问题。

**关键词:** 横差保护; 双侧电源; 同杆双回线; 电流方向保护; 仿真实验

## Study and simulation experiment of transverse differential protection for 500 kV double circuit lines on the same tower

LI Xia-yang<sup>1</sup>, LUO Jian<sup>1</sup>, ZHANG Tai-sheng<sup>2</sup>, YAN An-he<sup>2</sup>

(1. Electric Engineering College, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Henan Power Dispatch & Communication Center, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** This paper introduces the principle of transverse differential current direction protection, which takes positive sequence voltage as its polarizing voltage, and during the simulation experiment of 500 kV double circuit lines on the same tower system, how does this protection behave. In this experiment, first, this paper uses the ATP-EMTP to build the system model, and then treats the data with MATLAB. The experiment model is a double circuit lines on the same tower system of 58.1 km length with single or two-side electric source supply. The fault type includes simple fault on single line and overline fault on two circuits line. By analyzing the experiment result, this paper points out some noticeable questions about transverse differential protection used in 500 kV double circuit lines on the same tower system.

**Key words:** transverse differential protection; bilateral source; double circuit lines on the same tower; current direction protection; simulation experiment

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)09-0001-04

## 0 引言

分相电流纵联差动保护是同杆并架双回线保护的首选。它的保护原理简单, 不反映负荷、不受系统振荡及串补电容的影响, 有天然的选相能力, 能反映同杆并架双回线的各种故障, 虽然由于双回线间相互耦合的影响, 其灵敏度与单回线相比有所降低<sup>[1]</sup>, 但仍然是同杆并架双回线最理想的保护。分相电流纵差保护依赖于可靠的通道, 一旦因为某些原因失去通道时将失去保护。

针对这一情况, 当纵差保护失去通道时, 可以采用将同杆并架双回线的保护由分相电流纵差保护转为横联差动保护的方法。在这里结合仿真实验结果分析了横联差动保护的选相元件在同杆并架双回

线故障下的动作行为。通过对双侧电源和弱馈双回线系统, 在不同负载下发生各种简单和跨线故障时, 横联差动保护的動作结果的分析, 论证横联差动保护应用于同杆并架双回线的可行性, 找出存在的和需注意的问题。

## 1 横联差动电流方向保护

双回线的横差保护有两种: 一种是横联差动电流方向保护, 另一种是电流平衡保护。后者虽简单但不能应用于无电源侧, 应用上有局限性<sup>[1]</sup>; 前者能应用于电源侧及无电源侧, 适应性强。本论文的内容只讨论前者。

一般差动电流方向保护由两个主判据元件组成, 其一为电流比率制动差动元件(简称为差动元

件),其作用是判别双回线的内部及外部短路;其二为差电流方向元件(又称为选择元件)其作用是双回线内部短路时选择出故障线路。

### 1.1 电流比率制动差动元件(简称差动元件)

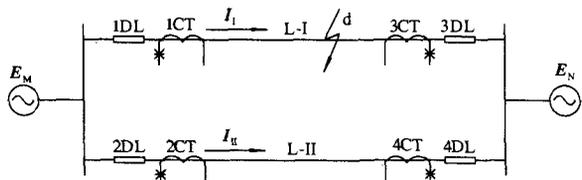


图1 双回线内部短路时电流分布

Fig.1 Current distributing of internal fault in double circuit lines

双回线系统内部故障时,故障电流的分布如图1所示。由于差动元件的作用是区分内部和外部故障,启动电流应避免单回线运行时的最大负荷电流和外部短路时的最大不平衡电流。若采取其他措施在单回线运行时将横差保护闭锁,则可用和电流制动的比率差动继电器来提高对不平衡电流的选择性,它的动作方程为:

$$|I_I - I_{II}| \geq k |I_I + I_{II}| \quad (1)$$

$$|I_I - I_{II}| \geq I_{op \cdot set \cdot min} \quad (2)$$

即:  $I_{op} \geq k I_{res} \quad (3)$

$$I_{op} \geq I_{op \cdot set \cdot min} \quad (4)$$

式中:  $I_{op} = |I_I - I_{II}|$ ,  $I_{res} = |I_I + I_{II}|$ ;  $I_{op}$  为差动电流;  $I_{res}$  为制动电流;  $k$  为制动系数;  $I_I$  为保护测量的 L-I 线路的电流(即流经 1CT 的电流);  $I_{II}$  为保护测量的 L-II 线路的电流(即流经 2CT 的电流);  $I_{op \cdot set \cdot min}$  为差流的最小电流整定值。

当线路空载时(或作试验未通过电流时),  $I_I = I_{II} \approx 0$ , 则  $I_{op} = 0$ ,  $I_{res} = 0$ , 差动元件抖动。为防止这种抖动,增加一个小门坎  $I_{op \cdot set \cdot min}$ , 可称为差流的最小电流整定值。差动元件的动作特性如图2所示。

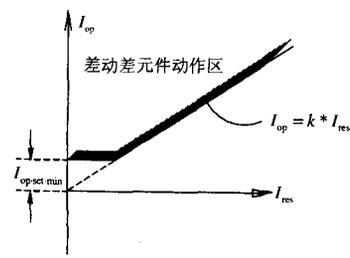


图2 差动元件的动作特性

Fig.2 Performance characteristic of differential unit

### 1.2 差电流方向元件(简称选择元件)

选择元件的作用是在内部故障时选择故障线,它包含三个功率方向继电器,采用正序电压作为极化电压,最灵敏角为  $60^\circ$ 。它的动作方程为:

$$150^\circ > \arg \frac{U_{1\phi}}{I_{1\phi} - I_{II\phi}} > -30^\circ \quad (5)$$

式中:  $U_{1\phi}$  为对应相正序电压;  $I_{1\phi}$  为本线路的 A、B、C 中的一相相电流;  $I_{II\phi}$  为邻线路的 A、B、C 中的一相相电流; 选本线的动作区:  $[-30^\circ, 150^\circ]$  选邻线的动作区:  $[-210^\circ, -30^\circ]$ 。实际上选邻线不需要另设判据,不满足式(5)的选为邻线即可。

横联差动电流方向保护的差动元件有 A、B、C 三个相的差动元件,其选择元件也有 A、B、C 三个相的选择元件。这六个元件的逻辑关系为按相启动,见图3所示,这像过电流方向保护的按相启动一样,在 A、B、C 三相中至少同时有一个同名相的差动元件、选择元件都动作时,横差保护才出口。按相起动能有效的防止许多误动。

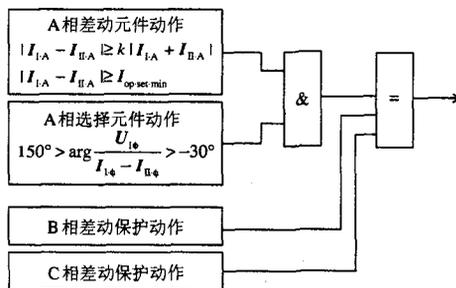


图3 横联差动保护动作逻辑

Fig.3 Action logic of transverse differential protection

## 2 实验模型与参数

实验采用的双回线系统模型与参数如图4所示。故障点设置:  $K_2$  和  $K_2'$  距 M 侧 4 km、 $K_3$  和  $K_3'$  距 M 侧 29.05 km、 $K_4$  和  $K_4'$  距 M 侧 44 km。文中 I 表示 I 回线, II 表示 II 回线, G 表示接地故障。

系统阻抗:  $Z_{SM} = 0.3655 + j10.4676 \Omega$ ,  $Z_{SN} = 0.53867 + j15.42566 \Omega$ , 正序电阻:  $0.041 \Omega/\text{km}$ , 正序感抗:  $0.3228 \Omega/\text{km}$ , 正序并联容抗:  $0.01266 \text{M}\Omega/\text{km}$ , 零序电阻:  $0.2536 \Omega/\text{km}$ , 零序感抗:  $0.9244 \Omega/\text{km}$ , 零序并联容抗:  $0.0073 \text{M}\Omega/\text{km}$ , 零序耦合互电阻:  $0.0282 \Omega/\text{km}$ , 零序耦合互电抗:  $0.1632 \Omega/\text{km}$ 。电压等级: 500 kV, 线路长度: 58.1 km。

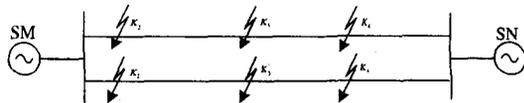


图4 系统模型图

Fig.4 System model

故障类型分为单回线简单故障和跨线故障,而所有跨线故障可以分为如下几类:(1)单相跨同名单相(I<sub>AIIA</sub>、I<sub>AIIAG</sub>等);(2)单相跨非同名单相(I<sub>AII B</sub>、I<sub>AII BG</sub>等);(3)单相跨含同名相两相(I<sub>AII AB</sub>、I<sub>AII ABG</sub>等);(4)单相跨非同名两相(I<sub>AII BC</sub>、I<sub>AII BCG</sub>等);(5)单相跨三相(I<sub>AII ABC</sub>、I<sub>AII ABCG</sub>等);(6)两相跨同名两相(I<sub>AII IAB</sub>、I<sub>AII IABG</sub>等);(7)两相跨含单同名相两相(I<sub>AII IBC</sub>、I<sub>AII IBCG</sub>等);(8)两相跨三相(I<sub>AII IABC</sub>、I<sub>AII IABCG</sub>等);(9)三相跨三相(I<sub>AII ABC</sub>、I<sub>AII ABCG</sub>等)。对于类型(1)、(6)、(9),除 I<sub>AIIA</sub> 类外,其余类型与单回线简单故障相似。而 I<sub>AIIA</sub> 类,由于不接地,保护看到得电压电流没有变化,不影响线路运行<sup>[3]</sup>。需指出,以上只论述横差保护的一侧(M 侧)的保护,而另一侧(N 侧)的横差保护同理,也能正确动作将双回线中的故障线路 N 侧的 DL 跳开。

### 3 选择元件仿真波形与保护动作结果

实验模拟了线路长 58.1 km 的系统,电源容量为 M 侧 26316 MVA、N 侧 17857 MVA,过渡电阻为零,分别在轻载(负荷电流在无流定值附近,10%  $P_e$ )、满载(80%  $P_e$ ) 工况下发生故障的情况。弱馈即 N 侧无源时。下面来分析几种典型故障时的仿真波形。

#### (一) L-I 回线 BC 两相短路

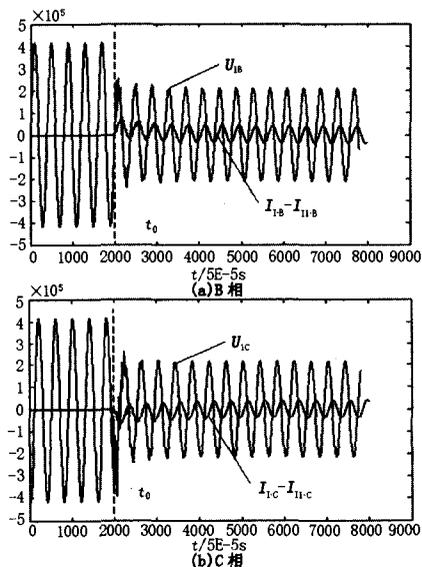


图 5 L-I 回线 BC 短路,极化电压与相电流差波形

Fig.5 Waveform of polarizing voltage and difference of phase current when L-I loop BC phases fault

图 5 (a)、(b) 显示出故障发生时刻 ( $t_0$ ) 前后

$U_{IB}$  与  $I_{I \cdot B} - I_{II \cdot B}$ 、 $U_{IC}$  与  $I_{I \cdot C} - I_{II \cdot C}$  的波形。可以看出,在  $t_0$  时刻之前,各相正序电压即为正常相电压,且  $I_I - I_{II} \approx 0$ ;  $t_0$  时刻之后,正序电压幅值降低,检测到差流,并且 B、C 相电流相位相差  $180^\circ$ 。

显然,各相正序电压与差流之间的相位差必定满足  $-30^\circ \sim 150^\circ$  的范围从而正确动作切除故障。选择元件的仿真波形如图 6 所示,  $\varphi_1$  即正序电压与差流之间的相位差,由图 6 可见,  $t_0$  时刻前,差动元件不启动,  $\varphi_{IA}$ 、 $\varphi_{IB}$ 、 $\varphi_{IC}$  等于初始值零;故障发生后,  $\varphi_{IB} \approx 60^\circ$ 、 $\varphi_{IC} \approx 120^\circ$ , A 相电流不满足差动元件动作条件并不启动,  $\varphi_{IA}$  仍等于零。

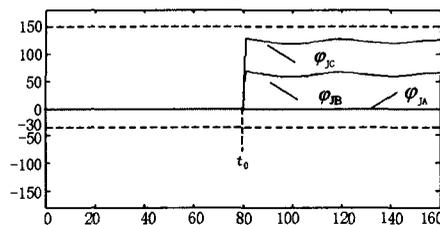


图 6 L-I 回线 BC 短路选择元件动作波形

Fig.6 Action waveform of selection element when L-I loop BC phases fault

#### (二) L-I 回线 ABC 三相短路

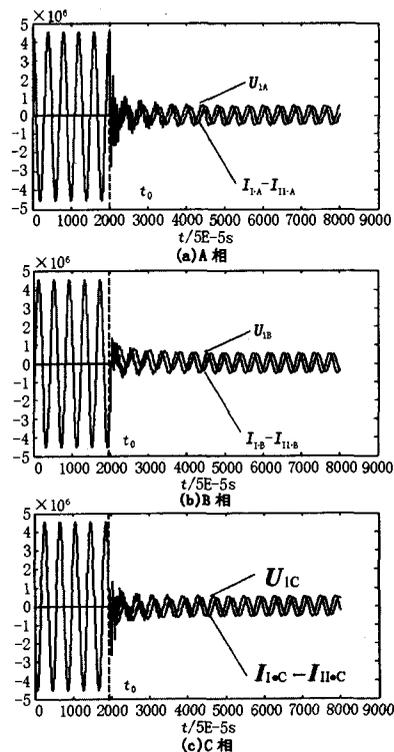


图 7 L-I 回线 ABC 短路,极化电压与相电流差波形

Fig.7 Waveform of polarizing voltage and difference of phase current when L-I loop ABC phases fault

三相短路时,三相电压、电流仍维持对称关系,三相选择元件的动作行为相同。图7中,  $t_0$ 时刻发生故障,经历了故障暂态过程之后,各相正序电压与差流之间存在同样的相位差角,显然可以满足动作方程式(5)。选择元件的仿真波形见图8。

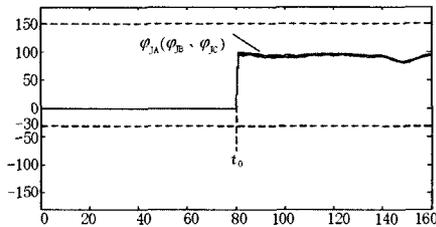


图8 L-I回线ABC短路选择元件动作波形

Fig.8 Action waveform of selection element when L-I loop ABC phases fault

需要指出,若在保护安装点母线附近三相短路,  $U_A = U_B = U_C \approx 0$ ,从而各相正序电压也接近于零,三相选择元件均有死区,不能正确判断故障点在哪个线路上。因此要消除  $d^{(3)}$  时选择元件死区,在编制保护软件时,正序电压可以采用记忆电压来求取。

其他类型的简单故障和跨线故障的动作情况不再一一列出来。下面对实验的结果进行总结。

A)发生简单故障或单相跨非同名单相(I A I I B、I A I I B G等)、单相跨非同名两相(I A I I B C、I A I I B C G等)类型的跨线故障时,横联差动保护的動作结果是完全正确的;

B)发生单相跨同名单相(I A I I A、I A I I A G等)、两相跨同名两相(I A B I I A B、I A B I I A B G等)、三相跨三相(I A B C I I A B C、I A B C I I A B C G等)类型的故障时,横差保护会拒动,原因是  $I_{I_1 \cdot \phi} \approx I_{I_{II} \cdot \phi}$ ,差动元件不启动。

C)发生单相跨含同名相两相(I A I I A B、I A I I A B G等)、单相跨三相(I A I I A B C、I A I I A B C G等)、两相跨含单同名相两相(I A B I I B C、I A B I I B C G等)、两相跨三相(I A B I I A B C、I A B I I A B C G等)类型的故障时,故障相的差动元件动作,选择元件不是选择I回线就是选择II回线,所以两侧横差保护可能只跳开一回线路的DL(只跳开I回线的DL或者只跳开II回线的DL),从理论上说,如果只跳开一回线,未跳开的另一回线如果还存在本线路的相间短路,横差保护仍能将此故障切除。但实际上,为了防误动,横差保护出口动作,发出跳开故障线路本侧DL命令的同时,还发出禁止本侧另一回线DL跳闸的命令<sup>[1]</sup>,即“横差保护跳两条线路的两个出口互锁”。因此未跳开的故障线只能通过其

他措施来跳开,如配置三段式相间短路的电流保护(一段为电流速断保护,二、三段为限时电流速断保护),第一、二、三段都是双回线中每一条线路配置自己的保护,检测自己线路的电流,实现双回线运行时相间短路主保护的双重化。

D)在距离保护越远的地方发生C)中的四类跨线故障时,有可能因两回线某相相电流不满足差动元件动作方程,无法快速出口,弱馈和重载情况下尤为明显,但未启动相仍可通过纵续出口来切除。

## 4 结论

在前面的实验中,对于文中所选的双回线系统模型来说,不管是单侧电源或是双侧电源供电,在轻载或满载的工况下运行,当发生区内的单回线简单故障和绝大部分的跨线故障时,两侧横差保护故障相的选择元件都能判断出故障线路,从而按相动作;发生区外故障时,保护可靠不动作。因此这种横差保护适合应用于该双回线路,来充当分相电流纵差保护的一种辅助保护。

## 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, 2005.  
ZHU Sheng-shi. Principle and Technology of High Tension Networks Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [2] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.  
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Relay Protection Principle of Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [3] 俞波, 杨奇逊, 李营, 等. 同杆并架双回线保护选相元件研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(4): 38-42.  
YU Bo, YANG Qi-xun, LI Ying, et al. Research on Fault Phase Selector of Protective Relay for Double Circuit Lines on the Same Tower[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(4): 38-42.

收稿日期: 2007-09-11; 修回日期: 2007-11-09

作者简介:

李夏阳(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: little-ghost@163.com

罗建(1960-), 男, 博士, 副教授, 从事继电保护的研究和教学工作;

张太升(1969-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护的研究。