

# 相邻线路零序互感对平行双回线电流平衡保护的影响及改进措施

康小宁<sup>1</sup>, 梁振锋<sup>1,2</sup>, 索南加乐<sup>1</sup>

(1. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 架设在同一出线走廊的平行双回线及相邻线路之间存在零序互感, 产生零序感应电压, 平行双回线会产生零序循环电流, 在相邻线路发生接地故障时该电流会造成电流平衡保护误动。该文利用六序故障分量法对平行双回线的零序循环电流进行了分析, 用零序电流对电流平衡保护的起动判据作了改进。ATP 仿真表明, 改进后的起动判据在内外故障时均可以正确动作。

关键词: 多回线; 电流平衡保护; 零序互感

中图分类号: TM733 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)20-0001-04

## 0 引言

随着国民经济的发展, 电力需求量越来越大, 为了有效利用土地和降低电力建设投资, 在同一出线走廊内往往平行架设有多回线路, 有的甚至是多回线同杆并架。多回线平行架设在同一出线走廊, 各平行线路之间将存在零序互感。平行线路间的零序互感对继电保护有很大影响, 在许多情况下可能导致保护误动或拒动<sup>[1,2]</sup>。

针对多回线间的零序互感对继电保护的影响, 许多学者都作了分析研究, 主要集中在两个方面: 多回互感线路短路电流计算及零序参数测量方法的研究; 分析零序互感对零序电流保护和接地距离保护的影响, 提出零序补偿系数的整定方法。文献 [2,3] 对被感应线为平行双回线的情况作了分析研究, 认为相邻线路的零序互感会使平行双回线产生循环电流, 该循环电流主要是零序分量。文献 [2] 提出的改进措施为提高保护定值, 这样以来势必会降低保护的灵敏度。文献 [3] 提出对平行双回线中的循环电流进行补偿, 从原理上来说文中提出的方法可以很好解决了循环电流对保护的影响, 但该方法不易实现、缺乏可操作性。

本文利用六序故障分量法对平行双回线中的循环电流进行了分析, 并且分析了其对电流平衡保护的影响, 进而对电流平衡保护的判据作了改进, 仿真表明改进消除了零序互感对电流平衡保护的影响, 改进后的判据在区内和区外故障时均能正确动作。

## 1 平行双回线的循环电流

对于同一出线走廊内的平行线路, 在完全换位

的情况下, 当各线路通过正序 (或负序) 电流时, 由于每回线三相电流之和等于零, 因而各回线之间的正序 (或负序) 的平均互阻抗系数将为零<sup>[4]</sup>。但由于导线与导线之间的几何电气距离不可能完全对称, 而且线路间距离较小, 因此线路之间零序互感的影响很大。如果双回线并列运行时, 由于相邻线路在双回线上的零序感应电压不同, 平行双回线各相闭合回路将产生零序循环电流 (如图 1)。

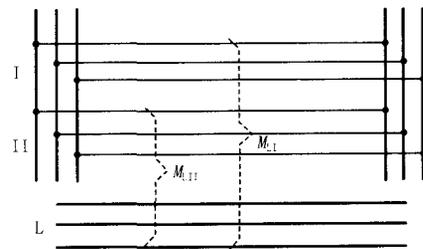


图 1 同一出线走廊平行线路示意图

Fig 1 Multi-loop transmission line with mutual inductance

根据六序故障分量法<sup>[5]</sup>, 两回线的各相电流可以用下式表示:

$$[I_{II}] = [M] / [I_{TF}] \quad (1)$$

其中:

$$[I_{II}] = [I_{IA} \ I_B \ I_C \ I_{IA} \ I_{IB} \ I_{IC}]^T$$

$$[I_{TF}] = [I_{T0} \ I_{T0} \ I_{T1} \ I_{F1} \ I_{T2} \ I_{F2}]^T$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & & \\ 1 & 1 & & 2 & 2 & \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 2 & -2 & & \\ 1 & -1 & & -2 & -2 & \end{bmatrix}$$

以 A 相电流为例:

$$I_A = I_{T0} + I_{F0} + I_{T1} + I_{F1} + I_{T2} + I_{F2} \quad (2)$$

$$I_{IA} = I_{T0} - I_{F0} + I_{T1} - I_{F1} + I_{T2} - I_{F2} \quad (3)$$

其中:  $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ 、 $I_{IA}$ 、 $I_{IB}$ 、 $I_{IC}$  分别为双回线各相电流;  $I_{T1}$ 、 $I_{T2}$ 、 $I_{T0}$  分别为同向量的正序、负序、零序电流;  $I_{F1}$ 、 $I_{F2}$ 、 $I_{F0}$  分别为反向量的正序、负序、零序电流。

从上文的分析可知,在平行双回线正常运行时或外部故障时式(2)和式(3)中的  $I_{F1}$ 、 $I_{F2}$  均为零。但由于零序反向量  $I_{F0}$  的存在,  $|I_A - I_{IA}| \neq 0$ , 也即在平行双回线中存在零序循环电流。

## 2 对电流平衡保护的影响

### 2.1 电流平衡保护

电流平衡保护反映两回线各对应相电流而动作,原理简单,动作可靠,不需要输入电压量,因此在平行双回线上得到了广泛的应用。电流平衡保护故障的判别过程分为两步,首先由起动元件区分区内故障和区外故障,然后由选线判据来选择故障线路。电流平衡保护起动元件的判据为:

$$|I_I - I_{II}| \leq K_1 |I_I + I_{II}| / 2 \quad (4)$$

第一回线选线判据为:

$$|I_I| > K_2 |I_{II}| \quad (5)$$

第二回线选线判据为:

$$|I_{II}| > K_2 |I_I| \quad (6)$$

通常,  $K_1$  取值范围为 1.05 ~ 1.1;  $K_2$  取值范围也为 1.05 ~ 1.1。

为了防止在正常运行过程中双回线某一回线断路器误跳闸时造成电流平衡保护误动,通常会设置一躲过最大负荷电流的电流元件,该元件在断路器误跳闸时能够起到闭锁作用。

由于电流平衡保护存在相继动作区且在弱馈侧灵敏度不足,因此电流平衡保护多应用于中低压线路上。

### 2.2 相邻线路零序互感对电流平衡保护的影响

如图 1,在系统正常运行时,相邻线 L 中流过的是负荷电流。由于线路排列的不对称,虽然在平行双回线上有感应的电压,但数值很小。平行双回线中的零序循环电流很小,电流平衡保护的起动元件判据中的  $|I_I - I_{II}| = 2I_{F0}$  也很小,所以电流平衡保护不会误动。但当相邻线 L 发生接地短路故障时,在相邻线 L 中流过短路电流(含有很大的零序分量),在平行双回线中的零序循环电流  $I_{F0}$  将会变得很大,电流平衡保护在这种情况下有可能误动。在本

文“仿真计算及结果”一节对误动情况作了仿真。

## 3 改进措施

### 3.1 改进措施

为了避免电流平衡保护在相邻线路上发生故障时的误动,需要对电流平衡保护进行改进。从上文分析可知,电流平衡保护的误动主要是因为零序循环电流的存在。因此改进措施主要是考虑如何消除零序循环电流的影响,也即消除零序反向量的影响。具体将电流平衡保护的起动元件改进为

$$K_1 \frac{|(I_I - I_D) - (I_{II} - I_{ID})|}{2} \quad (7)$$

### 3.2 改进措施的说明

当平行双回线正常运行或外部故障时,以 A 相为例:

$$I_A = I_{T0} + I_{F0} + I_{T1} + I_{T2} \quad (8)$$

$$I_{IA} = I_{T0} - I_{F0} + I_{T1} + I_{T2} \quad (9)$$

此时,  $|I_I - I_{II}| = 2I_{F0}$ , 电流平衡保护起动元件可能误动。而

$$I_A - I_D = I_{T1} + I_{T2} \quad (10)$$

$$I_{IA} - I_{ID} = I_{T1} + I_{T2} \quad (11)$$

我们注意到  $|(I_I - I_D) - (I_{II} - I_{ID})|$  在理论上应该为零。即电流平衡保护用改进后的判据在平行双回线正常运行或外部故障时起动元件不会起动,避免了误动的发生。

## 4 仿真计算及结果

为了说明电流平衡保护在感应线接地故障时误动的发生以及改进措施的有效性,利用 ATP 对图 2 所示的模拟系统进行大量仿真计算。线路排列如图 3 所示。仿真模拟系统的具体参数如下。

电源 (kV):

$$\begin{cases} U_{m1} = 220 \quad 15^\circ \\ U_{m2} = 220 \quad 0^\circ \\ U_n = 220 \quad 30^\circ \end{cases}$$

线路零序互感参数 (单位:阻抗 /km):

线路 I 同线路 L 的零序互感为 0.070 05 + j0.312 8; 线路 II 同线路 L 的零序互感为 0.139 8 + j0.559 7。

正常运行时的电流:

第一回线 A 相电流为 84.58 172.692 0 A; 零序电流为 5.672 6 6.484 7 A;

第二回线 A 相电流为 88.603 173.354 1 A;



## 参考文献:

- [1] 郭润生,何彩虹,鄧建杰. 相邻线路零序互感对线路零序纵联方向保护的影响[J]. 继电器, 2004, 32(9): 71-73  
GUO Run-sheng, HE Cai-hong, ZHI Jian-jie. Influence of Zero-sequence Mutual Inductance to Pilot Protection in Parallel Lines[J]. Relay, 2004, 32(9): 71-73.
- [2] 阎晓丁,佟卫东,张新华. 零序互感对零序横差保护的影响[J]. 电力情报, 1998, (1): 20-22  
YAN Xiao-ding, TONG Wei-dong, ZHANG Xin-hua. Influence of Zero-sequence Mutual Inductance to Zero-sequence Transverse Differential Current Protection[J]. Information on Electric Power, 1998, (1): 20-22.
- [3] 韦钢,张一尘. 多回线同杆并架产生的循环电流及其补偿[J]. 继电器, 1997, 25(5): 6-10  
WEI Gang, ZHANG Yi-chen. Parallel Multi-loop Transmission Lines Produce Circulating Current and Its Compensation[J]. Relay, 1997, 25(5): 6-10.
- [4] 刘万顺. 电力系统故障分析[M]. 北京:水利电力出版社, 1986  
LIU Wan-shun. Power System Fault Analysis[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1986.
- [5] 索南加乐. 同杆双回线的故障分析及继电保护(博士学位论文)[D]. 西安:西安交通大学, 1991.  
SUONAN Jia-le. Fault Analysis and Protective Relaying of Parallel Lines on the Same Tower, Doctoral Dissertation[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1991.

收稿日期: 2005-01-24; 修回日期: 2005-04-12

## 作者简介:

康小宁(1968-),男,副教授,研究方向为电力系统自动化和继电保护技术;

梁振锋(1974-),男,硕士,讲师,研究方向为电力系统继电保护; E-mail: lzf\_9999@163.com

索南加乐(1960-),男,博士,教授,博士生导师,从事电力系统自动化领域的教学与科研工作。

### Influence of zero-sequence mutual inductance to transverse differential current protection and approaches to the improved measures

KANG Xiao-ning<sup>1</sup>, LIANG Zhen-feng<sup>1,2</sup>, SUONAN Jia-le<sup>1</sup>

(1. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Zero-sequence mutual inductance of parallel multi-loop transmission lines may result in induced voltage and circulating current on double-circuit transmission lines. The maloperation of transverse differential current protection will be caused by the circulating current when earth fault occurs in parallel lines. The circulating current is analyzed and the countermeasure for the maloperation is proposed by zero-sequence current compensation. The digital simulation verifies the validity.

**Key words:** multi-loop transmission line; transverse differential current protection; zero-sequence mutual inductance

## 2006年《继电器》征订启事

电力系统继电保护类专业期刊,集三十年功力,精心打造“继电保护”专栏。专业范围:电力系统继电保护;电力系统分析与控制;电力系统自动化;电力市场;电能质量;人工智能技术在电力系统的应用等电力相关专业。

设置栏目:继电保护理论研究、继电保护运行技术、电力系统分析与控制、电力系统规划设计与可靠性、自动化及运动技术等。

郑重承诺:推行试订,若读者对杂志不满意,可随时退订,余款退回。

1. 全国邮局均可订阅:邮发代号 36-135。国内定价:12元/期,全年24期共288元。

2. 登陆中国刊物订阅网(www.bk114.com)、看看网(www.kankan.com.cn)可网上订阅。

3. 杂志社订阅:

邮局汇款 地址:河南省许昌市许继大道32号 461000 收款人:继电器杂志社

银行转帐 户名:许昌继电器研究所 帐号:1708023029021010058-051 开户行:许昌市工行五一一路支行

针对在本杂志社订阅者,全年订阅享受8.5折优惠,连续两年或订阅2套杂志以上者享受8折优惠,并有机会赠送04、05年合订本光盘。

订阅电话:0374-3212444 传真:0374-3360297 E-mail: faxing@xjgc.com

注:发邮件告知您的姓名、联系电话、地址和工作单位及部门,经核实可获得免费赠刊。