

同杆并架带弱馈线路保护问题分析

刘宏君¹, 左金泉², 岳蔚¹, 潘军军¹

(1. 深圳南瑞科技有限公司, 广东 深圳 518057; 2. 广元电业局, 四川 广元 628000)

摘要: 以同名相跨线接地故障为例, 分析同杆并架带弱馈线路的特征及其对继电保护的影响; 同名相跨线故障之间的过渡电阻导致弱馈侧零序功率方向反向, 差动保护拒动。综合双回线考虑, 继电保护可实现纵续动作。建立了 RTDS 试验模型进行仿真, 仿真结果与理论一致。

关键词: 同杆并架; 弱馈; 线路保护

Analysis of protection problems for double-circuit transmission line with weak-infeed

LIU Hong-jun¹, ZUO Jin-quan², YUE Wei¹, PAN Jun-jun¹

(1. Shenzhen NARI Technologies Co., Ltd, Shenzhen 518057, China;

2. Guangyuan Power Supply Bureau, Guangyuan 628000, China)

Abstract: The paper analyzes the character of the fault between two same lines on double-circuit transmission line and the influence on line relay. The transition resistance between fault phase can make the zero-sequence power direction reverse and the line differential relay refuse to act. By considering double-circuit lines comprehensively, relay of the double-circuit transmission line can fastly act successively. It establishes experiment model by RTDS and simulation shows that the result accords with the theory.

Key words: double-circuit transmission line; weak infeed; transmission line protection

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)10-0125-03

0 引言

随着电力技术的发展, 电网容量的不断增大, 输电线路走廊越来越紧张, 特别在大中城市及其郊区, 问题尤为突出。而同杆并架双回线由于两回线共用一个杆塔, 具有所需出线走廊窄、占用良田少、节省投资和建设速度快等特点。出于综合性考虑, 目前在 220~500 kV 的电网中有积极采用同杆并架双回线的趋势。广东电网的统计数据表明, 目前广东电网 220 kV 和 500 kV 同杆并架线路约占全网的 60%。既有同杆并架双回线, 又有更为复杂的同杆四回线路。

目前国内 220 kV 电网基本是环网双电源的运行方式, 传统的同杆并架线路均认为两侧都是大系统。而随着电网发展, 电网开环运行, 单电源线路增多, 同杆并架线路一侧为弱馈的运行方式出现了。相对于两侧的均为强系统的同杆并架线路, 同杆并架带弱馈线路存在一些新的问题, 这主要包括: (1) 弱馈侧出口接地故障, 零序功率反方向问题; (2) 区内跨线故障, 弱馈侧选相问题。

本文采用六序分量法分析同杆并架带弱馈线路在弱馈端发生同名相跨线故障给出了计算其故障特征的通用边界条件, 分析同一种故障形式不同的短路方式对继电保护的影响, 得出以下结论: 在靠近弱馈侧发生同名相跨线故障, 跨线两相之间的过渡电阻会导致一回线差动保护拒动, 零序功率方向反向。综合双回线分析, 保护能纵续动作。RTDS 仿真试验结果表明分析的正确性。

1 I A I I A G 跨线故障分析

文献[1]用六序分量计算同杆双回线的跨线故障。参考图 1。

线路 I 和线路 II 为同杆并架线路, M 侧为强电源侧, N 侧为弱电源侧, 只带有负荷。故障点 F 离 M 侧的距离为全长的 α , $0 < \alpha < 1$ 。

参照图 2。F 点发生 A 相同名相跨线接地故障。对 I 线 AG, II 线 AG 故障, 其通用边界条件为:

$$\dot{I}_{FIB} = \dot{I}_{FIC} = \dot{I}_{FIIB} = \dot{I}_{FIC} = 0 \quad (1)$$

$$\dot{U}_{FIA} = (R_g + R_1)\dot{I}_{FIA} + R_g\dot{I}_{FIIA} \quad (2)$$

$$\dot{U}_{FIIA} = R_g \dot{I}_{FIIA} + (R_g + R_{II}) \dot{I}_{FIIA} \quad (3)$$

根据六序分量的关系, 有:

$$\dot{U}_{FIA} = \dot{E}_A - \frac{1}{6}(S\dot{I}_{FIA} + P\dot{I}_{FIIA}) \quad (4)$$

$$\dot{U}_{FIIA} = \dot{E}_A - \frac{1}{6}(P\dot{I}_{FIA} + S\dot{I}_{FIIA}) \quad (5)$$

由式 (1) ~ (5) 可算出故障点的电流 \dot{I}_{FIA} 和 \dot{I}_{FIIA} 。

$$\dot{I}_{FIA} = \frac{6\dot{E}_A(A_4 - A_2)}{A_1 A_4 - A_2^2} \quad (6)$$

$$\dot{I}_{FIIA} = \frac{6\dot{E}_A(A_1 - A_2)}{A_1 A_4 - A_2^2} \quad (7)$$

其中: $A_1 = 6R_g + 6R_1 + S$, $A_2 = 6R_g + P$, $A_4 = 6R_g + 6R_2 + S$ 。计算出故障相电流, 参考边界条件, 可算出保护安装处的电压和电流。

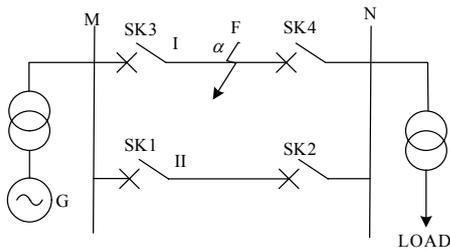


图1 同杆并架线路模型

Fig.1 Model of double-circuit transmission line

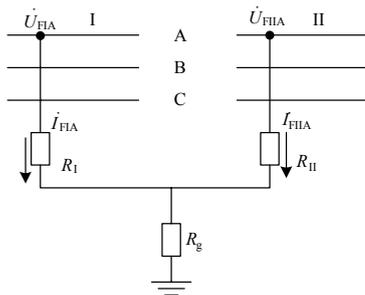


图2 |A| IAG跨线故障模型

Fig.2 Model of the fault between two lines

同杆并架线路保护采用差动保护最为理想, 考虑到保护的双重化, 主保护也采用传输分相命令的纵联保护。下面以实际模型计算为例, 分析同杆并架线路发生 A 相同名相跨线故障时, 继电保护的动作为。

1.1 对线路差动保护的影响

常规的稳态量线路差动保护判据如下:

$$|\dot{I}_{M\phi} + \dot{I}_{N\phi}| > I_{dset} \quad (8)$$

$$|\dot{I}_{M\phi} + \dot{I}_{N\phi}| > k |\dot{I}_{M\phi} - \dot{I}_{N\phi}|$$

式中: $I_{d\phi} = |\dot{I}_{M\phi} + \dot{I}_{N\phi}|$ 为分相差流; $I_{R\phi} = |\dot{I}_{M\phi} - \dot{I}_{N\phi}|$ 为制动电流; k 为制动系数。国内主要继电保护制造厂家的制动系数选择在 [0.6, 0.8] 之间。

从复杂的计算公式分析比较困难, 辅助实际理论计算分析。参照图 1, 系统额定电压为 220 kV, 忽略线路容抗, 单回线路阻抗 $Z_{L1} = 2 + j28 \Omega$, $Z_{L0} = 17.2 + j84 \Omega$, 双回线之间零序互感 $Z_M = 10.2 + j50.4 \Omega$; M 侧等值系统正序阻抗为 $Z_{SM} = 0 + j4.16 \Omega$, 等值零序阻抗为 $Z_{SM0} = 0 + j8 \Omega$; N 侧等值系统正序阻抗为 $Z_{SN} = 0 + j8000 \Omega$, 等值零序阻抗为 $Z_{SN0} = 0 + j36.3 \Omega$ 。

定义 $k = I_{d\phi} / I_{R\phi}$, 利用数学工具计算不同短路点, 不同的过渡电阻时的电气量。

取 $R_1 = 0$, $R_{II} = 0$, $R_g = 5 \Omega$, 此工况为跨线两相直接短路, 对地间有过渡电阻。不同的短路点发生同名相故障时, I 线和 II 线的差动保护 A 相差流、制动系数和零序功率方向计算结果见表 1。

从表 1 看出, 同名相跨线之间直接短路, 两回线是等价的。计算结果两回线相同, 差动保护和零功方向能正确动作。

当 $R_1 = 3 \Omega$, $R_{II} = 0$, $R_g = 5 \Omega$ 时, 此工况为跨线两相之间有电阻, 对地间有过渡电阻。不同的短路点发生同名相故障时, I 线和 II 线的差动保护 A 相差流、制动系数和零序功率方向计算结果见表 2。

从表 2 可看出, 当跨线的两相之间有过渡电阻时, 在靠近弱馈侧附近短路, 有一回线差动保护会拒动, 零序功率会误判为反方向。

在靠近弱馈侧, 跨线两相之间有过渡电阻时, 差动保护会拒动, 零序功率方向反向的原因是由于跨线两相之间的过渡电阻。

参照图 3, 当 $R_1 \neq 0$, $R_{II} = 0$ 即跨线的两相之间有过渡电阻, 对地之间有接地电阻, 由于跨线故障间电阻 R_1 的存在, 使 I 线的故障电流 \dot{I}_1 产生分流。一部分电流 \dot{I}_3 经 R_1 流入地, 另一部分电流 \dot{I}_2 经 N 侧母线再流入地。对线路差动保护, 差流为 I_3 , 制动电流为 $|\dot{I}_1 - \dot{I}_2|$ 。 R_1 相对 $Z_{N\alpha}$ 的大小决定了故障电流的分配。 R_1 越大, \dot{I}_3 越小, \dot{I}_2 越大, 线路

差动保护不容易动作。

表1 A相跨线接地故障计算结果

Tab.1 Results of the A ground fault between two lines

短路点 α	I线A相差流一次值	I线A相制动系数 k	I线N侧零序功率率	II线A相差流一次值	II线A相制动系数 k	II线N侧零序功率率
5%	5 481.3 A	1.110 3	正	5 481.3 A	1.110 3	正
50%	3 162.4 A	1.376 5	正	3 162.4 A	1.376 5	正
94%	2 718.9 A	1.796 9	正	2 718.9 A	1.796 9	正
99%	2 712.9 A	1.861 4	正	2 712.9 A	1.861 4	正

表2 A相跨线接地故障计算结果

Tab.2 Results of the A ground fault between two lines

短路点 α	I线A相差流一次值	I线A相制动系数 k	I线N侧零序功率率	II线A相差流一次值	II线A相制动系数 k	II线N侧零序功率率
5%	3 433.8	1.119 9	正	8 352.6	1.109 0	正
50%	2 976.8	1.319 5	正	3 336.4	1.478 9	正
94%	1 889.3	0.696 8	正	4 032.5	3.430 6	正
97%	1 282.6	0.377 2<0.6	反	4 725.3	4.280 1	正
99%	513.4	0.129 8<0.6	反	5 257.9	4.480 7	正

同理可分析, 当 $R_I = 0$, $R_{II} \neq 0$ 时, 差动保护的问题出现在第 II 回线上。

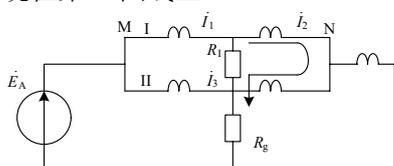


图3 同杆并架线路跨线故障模型

Fig.3 Model of the fault between two lines of double-circuit transmission line

1.2 对距离保护的影响

参照图 3, 结合上节差动保护的分析和文献 [2] 的选相判据, 第 I 回线的 N 侧的距离保护选相为 A, 但 A 相的方向为反向, 零序功率方向为反向。在这种情况下, 纵联保护装置会闭锁距离保护。

1.3 双回线保护综合分析

虽然出现上述情况, 出现一回线差动和距离保护拒动。但综合考虑两回线, 则问题的严重程度大大减小。

当 I 回线差动判据不满足时, II 回线的差动判据是满足的, 肯定动作跳 II 线。当 II 线跳开后, I 线的差动判据自然满足。距离判据的过程与上述一致。

当线路发生含同名相的多相跨线故障时, 如 IAIIBAG 或 IBIIABG, 线路保护均存在上述问题。

2 RTDS 数字仿真

为了验证分析的正确性, 本文进行了 RTDS 仿真。试验模型采用 100 km, 220 kV 同杆并架线路模型, 系统架构参照图 1。试验模型参数: 单回线正序阻抗 $Z_{L1} = 0.02 + j0.28(\Omega/\text{km})$, 单回线零序阻抗 $Z_{L0} = 0.172 + j0.84(\Omega/\text{km})$, 单回线正序容抗 $C_1 = 0.013(\mu\text{F}/\text{km})$, 单回线零序容抗 $C_0 = 0.0092(\mu\text{F}/\text{km})$, 双回线零序互感 $Z_M = 0.102 + j0.504(\Omega/\text{km})$ 。M 侧系统参数: 电源正序电阻为 2.2 Ω , 电感为 0.04 H; 零序电阻为 5 Ω , 电感为 0.08 H。N 侧系统参数: 变压器容量 1 800 MVA, 短路电压比 10%; 等效负载为 0.111 1 Ω , 电感为 0.001 H。CT 变比取 1 250/1 A。开关电阻取 0.1 Ω 。

选择故障点在 N 侧出口。模拟同名相 A 相跨线故障。短路方式选择以下三种方式模拟。(1) I 线 A 相经 $R_g = 5 \Omega$ 直接接地, II 线 A 相经 $R_g = 1 \Omega$ 接地; (2) I 线 A 相与 II 线 A 相短接经 $R_g = 5 \Omega$ 接地; (3) I 线 A 相与 II 线 A 相经 $R = 5 \Omega$ 短接经 $R_g = 5 \Omega$ 接地。

采用全周傅氏算法计算故障后 20 ms 时刻的试验获得的数据, 计算结果参见表 3。

从表 3 看出, 短路方式 1 和短路方式 3 均能造成弱馈侧零序功率反向, 差动保护的制动系数低于 0.6, 保护就会造成拒动。RTDS 仿真结果跟理论是一致的。

(下转第 134 页 continued on page 134)

装置技术规程》的要求，而在 B 处装设熔断器作为每台变压器的相间短路保护，且利用负荷开关又可进行每台变压器的投切操作，而且当变压器安装地点距离 10 kV 变配电室较远时，更加符合操作规范的需要，具有明显的断开点。这样，在 B 处装设的就不是常用的开关柜而是环网负荷开关柜，其造价较低，体积较小，能够有效节省配电投资。但是，当变压器容量为 1 000 kVA 及以上时，B 点的短路电流很大，采用熔断器有一定的限制性，这也是规范要求当变压器容量在 800 kVA 以上且有继电保护要求时，两侧均应采用断路器。

3 结束语

10 kV 配电变压器的保护配置主要有断路器、负荷开关或负荷开关加熔断器，综合技术-经济性能和运行管理因素，笔者认为：

a) 在 10 kV 环网供电单元，采用负荷开关加高遮断容量后备式限流熔断器组合的保护配置，既可提供额定负荷电流，又可断开短路电流，并具备开合空载变压器的性能，能有效保护配电变压器；

b) 在终端用户高压配电单元中，当变压器容量在 800 kVA 及以下时，推荐采用负荷开关加高遮断

容量后备式限流熔断器组合的配置作为配电变压器保护的的保护方式。

c) 在终端用户高压配电单元中，当变压器容量在 1 000 kVA 及以上时，且供电距离较远时，建议采用两侧安装断路器的配置作为配电变压器的保护方式。

参考文献

[1] 贺家礼, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
HE Jia-li, SONG Cong-ju. The relaying protection theory of electric power system[M]. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1991.

[2] 夏道止, 于永源, 杨绮雯. 电力系统分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
XIA Dao-zhi, YU Yong-yuan, YANG Qi-wen. Analysis of electric power systems[M]. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1995.

[3] GB/T 50062-2008 电力装置的继电保护和自动装置设计规范[S].
GB/T 50062-2008 code for design of relaying protection and automatic device of electric power installations[S].

收稿日期: 2009-07-30

作者简介:

刘 威(1976-), 女, 工程师, 从事石油加工企业电气专业设计工作。

(上接第 127 页 continued from page 127)

表3 A相跨线接地故障计算结果

Tab.3 Results of the A ground fault between two lines

短路方式	I 线 A 相差流二次值	I 线 A 相制动系数 k	I 线 N 侧零序功率	II 线 A 相差流二次值	II 线 A 相制动系数 k	II 线 N 侧零序功率
方式 1	1.364	0.60	反	8 352.6	5.53	正
方式 2	1.923	0.66	正	1.934	0.65	正
方式 3	0.833	0.35	反	3.023	17.67	正

3 结论

综合以上分析：

(1) 同杆并架带弱馈线路，在靠近弱馈侧区内发生跨线接地故障时，存在弱馈侧一回线的零功方向反向。同时也存在一回线差动保护拒动的可能。

(2) 综合两回线考虑，当线路采用差动保护时，发生跨线接地故障时，最坏的结果是差动纵序动作。一回线的差动保护动作切除一回线故障切除后，另一回线的差动纵序动作。

(3) 在靠近强电源发生跨线接地故障时，差动保护不会发生拒动。距离保护也有较好的性能。

参考文献

[1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 3 版. 北京: 中国电力出版社, 2005.

ZHU Sheng-shi. Principles and technology of relay protection in HV power system[M]. 3rd ed. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

[2] 余荣云, 陈福锋, 钱国明. 新型同杆并架双回线故障选相方案研究[J]. 继电器, 2007, 35(S1): 5-9.
YU Rong-yun, CHEN Fu-feng, QIAN Guo-ming. Research on new fault phase selector of protective relay for double circuit lines on same tower[J]. Relay, 2007, 35(S1): 5-9.

收稿日期: 2009-06-29;

修回日期: 2009-08-21

作者简介:

刘宏君(1974-), 男, 硕士, 从事电力系统继电保护和数字化变电站的研究; E-mail: rockor_liu@tom.com
左金泉(1968-), 男, 本科, 从事变电站运行管理工作;
岳 蔚(1978-), 女, 硕士, 从事电力系统继电保护的研究工作。