

平行双回线路纵联零序方向误动原因分析 及负序功率方向研究

蒋苏静¹, 毕天姝¹, 徐振宇², 房金彦¹

(1. 华北电力大学, 北京 102206; 2. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085)

摘要: 平行线路若在强磁弱电联系方式下运行, 一回线路的接地故障可能会引起另一回线路零序功率方向保护误动。分析了强磁弱电情况下零序功率方向保护误动的原因以及双回线路各种连接方式对方向元件产生的影响。针对零序方向保护容易误动的情况, 提出使用负序功率方向元件作为纵联方向保护的方向元件并对采用负序补偿电压代替负序电压做了分析。PSCAD的大量仿真表明, 负序功率方向元件可以正确反应正常运行、故障线路的区内、区外故障, 同时在非故障线路中不会误动。

关键词: 平行双回线路; 零序功率方向元件; 负序功率方向元件; 纵联方向保护; 强磁弱电

Analysis of the reason of pilot zero sequence directional protection mal-function and study of negative sequence directional element on parallel double-circuit lines

JINAG Su-jing¹, BI Tian-shu¹, XU Zhen-yu², FANG Jin-yan¹

(1. North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. Beijing Sifang Automation Co. Ltd, Beijing 10026, China)

Abstract: Earthed fault which occurs on one of two parallel double-circuit lines under the strong-magnetic and weak-current operation condition may result in mal-function of the pilot zero sequence directional protection of the non-fault line. Both the reason of mal-function and the types of connection which is easy to lead to mal-function are analyzed in the paper. Using the negative sequence directional element as directional element of the pilot protection can avoid the problem of easy mal-function of the zero sequence one. Compensatory negative sequence voltage which replaces the negative sequence voltage is also analyzed in the paper. PSCAD software simulations show that the negative sequence directional element can indicate the normal operation, in-zone fault and out-zone fault of fault line, in the meanwhile the one of non-fault line will not mal-operate.

Key words: parallel double-circuit lines; zero sequence directional element; negative sequence directional element; directional pilot protection; strong-magnetic and weak-current

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0021-06

0 引言

随着电网建设的快速发展, 输电线路走廊日益紧张, 出现了大量同杆并架和其他具有零序耦合的平行线路。在某条平行线路发生故障时, 会在邻线上出现感应零序电势, 并产生零序电流^[1,2], 若出现在强磁弱电的回路中, 将会造成纵联零序保护的误动。迄今已经发生了许多误动的事例^[3-7,9,10]。纵联零序方向保护容易发生误动的电网结构中, 负序功率方向却不受影响, 使用负序功率方向作为纵联方向保护的方向元件不会发生误动。本文研究了采用负序补偿电压的负序功率方向元件, 并用 EMTDC/PSCAD 做了大量的仿真, 仿真结果表明强磁弱电的线路中负序功率方向都不会误动。

1 双回线路零序方向误动原因分析

对于装有通信通道的功率方向保护, 按照规定的电压电流正方向, 在保护正方向短路时, 保护处零(负)序功率方向为正, 而保护反方向短路时, 保护处零(负)序功率方向为负, 将向对侧发闭锁信号, 闭锁对侧的方向保护, 整套保护不会动作。

文献[8]针对不同接线方式和运行方式的平行线路故障, 系统地分析了无电气连接平行线、一端有电气连接平行线、双端均有电气连接平行线以及部分平行线路之非故障线路的纵联零序功率方向的动作行为。为简单起见, 图1中 Z_{am} 、 Z_{bn} 为线路两端的等值互阻抗, 可在0到 ∞ 之间变化, 等值互阻抗与线路连接处电压和电流反应两平行线路的

电气联系强弱。互感 Z_{0m} 和相邻线路电流共同作用反应两平行线路的磁联系的强弱，当磁联系强于电气联系就会出现强磁弱电现象，系统其它部分采用电源等值支路表示。AB 与 MN 可以表示相同或不同电压等级同杆架设的各种方式的平行线路。磁的联系，也就是电流经过互感产生的耦合附加电势(图 1 中 \dot{E}_{II}) 使得保护方向元件动作，而电的联系(故障线路零序电压 \dot{U}_0 以及 \dot{E}_{IA} 、 \dot{E}_{IB} 产生的电流经 Z_{am} 和 Z_{bn} 流向 II 线路)使得方向元件不动作。这可以假设各阻抗具有相同的阻抗角，分析各电压单独作用再叠加得到。图 1 中 $\dot{U}_M = \dot{I}_3 x_3$ ， $\dot{U}_N = \dot{I}_4 x_4$ 。两侧功率方向是否动作取决于 \dot{U}_M 和 \dot{I}_{MII} ， \dot{U}_N 和 \dot{I}_{NII} 的关系，若 $\dot{U}_M = -\dot{I}_{MII} Z_M$ ， $\dot{U}_N = -\dot{I}_{NII} Z_N$ ，功率方向为正，方向元件动作；若 $\dot{U}_M = \dot{I}_{MII} Z_M$ ， $\dot{U}_N = \dot{I}_{NII} Z_N$ ，功率方向为负，方向元件不会动作，其中 Z_M 和 Z_N 为等值的阻抗。在假设具有相同阻抗角的情况下，由分流作用， \dot{E}_{II} (不管具有何种方向)产生的电流 \dot{i}_3 和 \dot{i}_4 分别与 \dot{I}_{MII} 和 \dot{I}_{NII} 方向相反，而 \dot{U}_0 、 \dot{E}_{IA} 、 \dot{E}_{IB} 产生的电流 \dot{i}_3 和 \dot{i}_4 分别与 \dot{I}_{MII} 和 \dot{I}_{NII} 方向相同。所以 \dot{E}_{II} 使得两端的电流超前于电压，功率方向为正； \dot{U}_0 、 \dot{E}_{IA} 、 \dot{E}_{IB} 使得两端的电流落后于电压，功率方向为负，因而保护是否会误动取决于由 \dot{E}_{II} 产生的电流 \dot{i}_3 、 \dot{i}_4 和由 \dot{U}_0 、 \dot{E}_{IA} 、 \dot{E}_{IB} 产生的电流 \dot{i}_3 、 \dot{i}_4 分别叠加后与规定的正方向电流 \dot{I}_{MII} 、 \dot{I}_{NII} 的关系，若叠加后的电流 \dot{i}_3 、 \dot{i}_4 分别与 \dot{I}_{MII} 、 \dot{I}_{NII} 方向相同，即 $\dot{U}_M = \dot{i}_3 x_3 = \dot{I}_{MII} Z_M$ ， $\dot{U}_N = \dot{i}_4 x_4 = \dot{I}_{NII} Z_N$ ，则功率方向为负。反之则功率方向为正，即最终取决于磁强于电还是电强于磁^[9]。磁强于电意指由磁联系产生耦合附加电势和电气联系共同作用使得保护处功率方向为正，电强于磁则正好相反。M 侧零序功率方向元件为正的动

作条件为 $90^\circ < \arg \frac{U_M}{Z_{0r} I_{MII}} < 270^\circ$ ， U_M 、 I_{MII} 为 M 侧零序测量电压和电流， Z_{0r} 为模拟阻抗。N 侧类似。

两侧均无电气联系或弱电气联系的平行线路， $Z_{am} \rightarrow \infty$ 、 $Z_{bn} \rightarrow \infty$ ，磁强于电，纵联零序方向保护一定误动；双端均有强电气连接平行线， $Z_{am} = 0$ 、 $Z_{bn} = 0$ 或者值较小，电强于磁，纵联零

序方向保护不会误动；对于其它的方式，例如一侧强电气联系另一侧弱(无)电气联系或者两端均有电气联系但故障线路一侧保护先跳闸的方式，则需看系统到底是磁强于电还是电强于磁来判定保护是否误动。

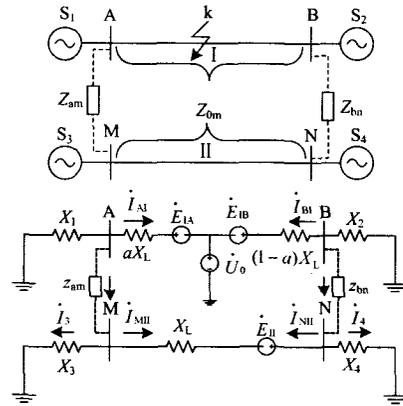


图 1 双回线路故障图及零序网络图
Fig. 1 Fault and zero sequence network of parallel double-circuit lines

AB 与 MN 不同电压等级线路同杆架设时，当高电压等级线路 AB 流过零序电流时，低电压等级线路 MN 危险性较大。因为，高电压等级线路故障时产生的零序电流往往相对较大，由互感定义可知，在 Z_{0m} 一定的条件下，MN 感应的零序电压 U_{mno} 会随 I_{mno} 成比例增加，从而对相邻线路影响也大了很多，而且，高低电压等级线路若存在电气联系，必须通过变压器的连接， Z_{am} 和 Z_{bn} 也自然会增加，电气联系也相应减弱使得保护容易误动^[10]。

2 负序功率方向分析研究

第 1 节零序功率方向保护容易误动的平行线路中，当线路完全换位的情况下，负序互感为零，线路之间不存在磁耦合，没有耦合附加电势，负序功率方向保护不会动作；当线路不完全换位时，换位不完全引起的不平衡磁通产生的负序互感电动势，比零序互感电动势小得多，通过设定负序门槛值，负序功率方向不会误动，在纵联方向保护中采用负序功率方向作为方向元件不会由于强磁弱电现象引起方向保护的误动。

传统纵联方向保护中都采用零序功率方向作为方向元件，零序功率方向元件已经有了很成熟的应用了，所以本文不再分析。而负序功率方向元件由于历史的原因，例如滤序困难，易受频率影响等一直很少利用。而现今随着微机保护的发展，滤出负序电流已经不是什么难事，计算机速度越来越快，已经可以做到频率跟踪，所以负序方向元件将有很大

大的应用前景。

负序功率方向元件为正的动作为条件为:

$$90^\circ < \arg \frac{U_2}{Z_{2r} I_2} < 270^\circ \quad (1)$$

U_2 、 I_2 为母线侧负序测量电压电流, Z_{2r} 为模拟阻抗。考虑到线路运行换位不完全引起的负序磁联系的影响, 可增加负序电压 U_{mk} 和负序电流 I_{mk} 闭锁条件。也就是说, 对于故障线路, 负序电压和负序电流大于定值时, 开放负序方向保护; 对于非故障线路, 负序电压和负序电流小于定值时, 闭锁负序方向保护。为保证非故障线路保护不误动, 门槛应选高以保证安全性; 为保证故障线路保护在高阻接地故障时动作, 门槛应选低以保证灵敏度^[8]。当 $U_{m2} < U_{mk}$ 时, 用负序补偿电压 $U'_2 = U_2 - kZ_L \dot{I}_2$ 来代替负序电压工作不会影响负序方向, 可以解决这一矛盾。后文将予以分析。 U_{mk} 的选取一般按照经验值来选定, 实际运行中通常取 1.5 V。补偿度 k 可以在线路全长内任意选取, 即满足: $k \leq 1$, 不会影响方向性。一般选取 $k=25\%$ 。则负序功率方向元件的动作为条件为: $90^\circ < \arg \frac{U_2 - kZ_L \dot{I}_2}{Z_{2r} I_2} < 270^\circ$ 。

对于图 2 所示 k 点区内故障, 补偿电压:

$$U'_{m2} = U_{m2} - kZ_L \dot{I}_{m2} = -Z_{sm} \dot{I}_{m2} - kZ_L \dot{I}_{m2} = -\dot{I}_{m2} (Z_{sm} + kZ_L) \quad (2)$$

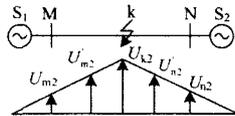


图 2 区内故障时 M、N 端补偿电压

Fig.2 Compensatory voltage of terminal M and N at in-zone fault

N 端补偿电压与 M 端类似, 补偿后的 $U'_{m2} > U_{m2}$, $U'_{n2} > U_{n2}$ 有利于保护正确判定功率方向。

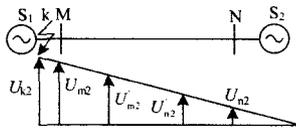


图 3 反方向区外故障时 M、N 端补偿电压

Fig.3 Compensatory voltage of terminal M and N at reverse out-zone fault

对于图 3 所示 k 点区外故障, M、N 端补偿电压:

$$U'_{m2} = U_{m2} - kZ_L \dot{I}_{m2} = (Z_{sn} + Z_L) \dot{I}_{m2} - kZ_L \dot{I}_{m2} = \dot{I}_{m2} [Z_{sn} + (1-k)Z_L] \quad (3)$$

$$U'_{n2} = U_{n2} - kZ_L \dot{I}_{n2} = -Z_{sn} \dot{I}_{n2} - kZ_L \dot{I}_{n2} = -\dot{I}_{n2} (Z_{sn} + kZ_L) \quad (4)$$

$U_{m2} > U_{n2}$, 补偿后的 $U'_{m2} < U_{m2}$, $U'_{n2} > U_{n2}$ 。对于以下两种情况:

① $U_{m2} < U_{mk}$, 两端电压经过补偿后, U'_{m2} 小于 U_{m2} , U'_{n2} 最大不会超过 U_{m2} , 仍然都小于门槛值, 保护不会误动。

② $U_{m2} > U_{mk}$, m 端电压不需要补偿, m 端功率方向为负, 发闭锁信号, 保护不会误动。若 $U_{n2} < U_{mk}$, 补偿后 U'_{n2} 最大不会超过 U_{m2} , 功率方向为正; 若 $U_{n2} > U_{mk}$, n 端电压不需要补偿, 功率方向为正。



图 4 正方向区外故障

Fig.4 Positive out-zone fault

图 4 所示情况与图 2 类似, 只不过这时相当于 M、N 端互换。

3 仿真实验

本文针对上述非故障线路纵联零序方向保护容易误动的各种方式进行了大量仿真验证, 结果表明这些方式中纵联负序方向保护都不会误动, 这与前面理论推导一致。由于篇幅所限, 本文只列出了部分的系统方式和仿真结果。图 5 所示为其中一个仿真系统结构图, 500 kV 和 220 kV 平行线路长均为 400 km, 无电气联系, 线路之间有互感, 具体参数见附录。

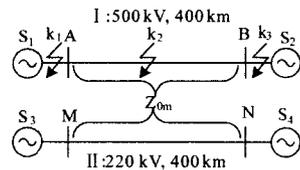


图 5 系统仿真模型图

Fig.5 Simulation model system

图 5 和图 6 分别为第 I 线路 0.4 s 时距离 A 端 240 km 的 k_2 点处发生 A 相经 100 Ω 过渡电阻接地故障, 第 I 线路 A、B 侧的 u_2 , i_2 波形及功率方向信号 (1,-1 分别表示正、反方向故障信号, 0 表示正常

运行)。从图中可以看出, i_2 超前 u_2 约 90° , 两侧功率方向都为正, 故障线路的纵联负序方向保护能正确动作。为了比较, 图 7 和图 8 别给出了非故障线路即第 II 线路的 u_0, i_0, u_2, i_2 波形及 M、N 侧功率方向信号。从图中可以看出, 第 II 线路 M、N 侧一次系统 $u_0 > 1$ kV, $i_0 > 0.015$ kA, i_0 超前 u_0 约 90° , 两侧功率方向都为正, 纵联零序方向保护误动。M、N 侧负序电压和电流理论应为零, 实际测量的值近似为零, 远远低于门槛值, 保护不会误动, 如图 8 所示, 负序功率方向信号为 0。

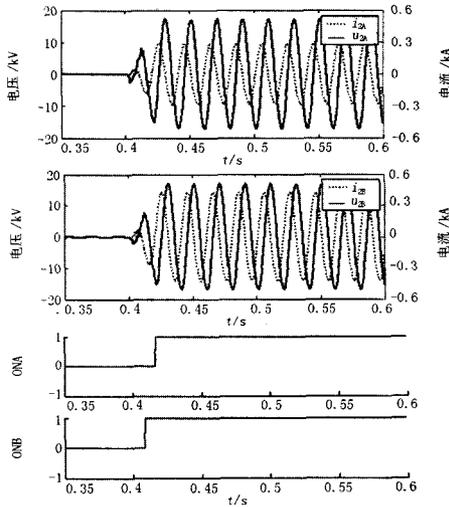


图 6 第 I 线路 AB 侧 u_2, i_2 波形及负序功率方向信号

Fig.6 u_2, i_2 waveform and negative sequence directional signal at terminal A and B of the line I

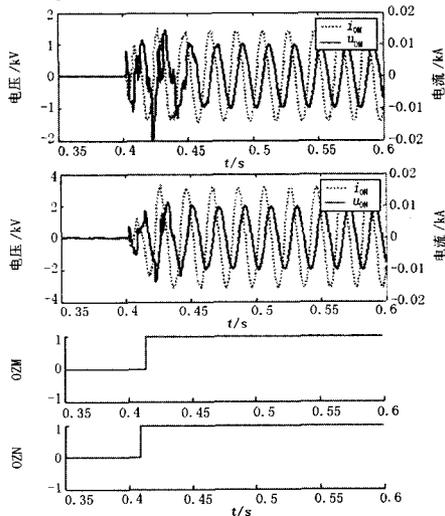


图 7 第 II 线路 MN 侧 u_0, i_0 波形及零序功率方向信号

Fig.7 u_0, i_0 waveform and zero sequence directional signal at terminal M and N of the line II

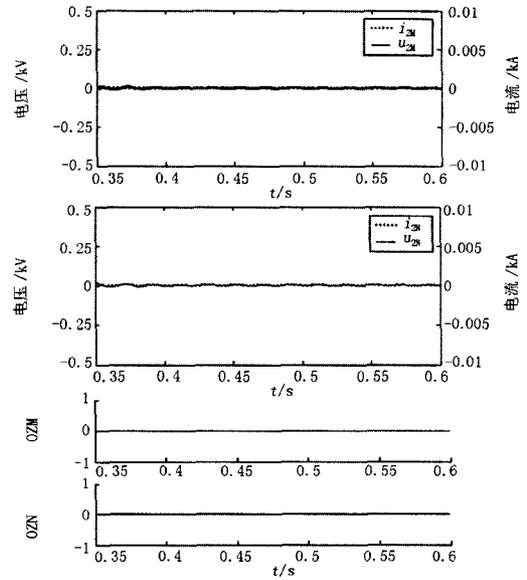


图 8 第 II 线路 MN 侧 u_2, i_2 波形及负序功率方向信号

Fig.8 u_2, i_2 waveform and negative sequence directional signal at terminal M and N of the line II

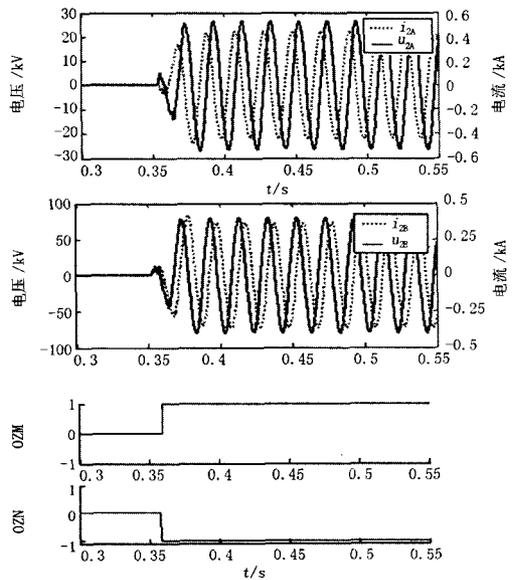


图 9 第 I 线路 AB 侧 u_2, i_2 波形及负序功率方向信号

Fig.9 u_2, i_2 waveform and negative sequence directional signal at terminal A and B of the line I

图 9 为第 I 线路 0.35 s 在 k_3 点 A 相接地故障时, 第 I 线路的 A、B 侧 u_2, i_2 波形及功率方向信号。对于故障线路, k_3 点故障相对 A 端保护为正方向区外故障, i_2 超前 u_2 约 90° , 负序功率方向为正。B 端为反方向区外故障, u_2 超前 i_2 约 90° , 负序功率方向为负。功率方向都为负的一侧将发闭锁信号, 纵

联负序方向不会动作。非故障线路中, 由于零序互感, M、N 侧 i_0 都超前于 u_0 , 两侧功率方向都为正, 纵联零序方向保护将误动, 如图 10 所示。由于负序互感为零, 负序测量电压和电流近似为零, 由于测量误差引起的值小于门槛, 负序功率方向不会误动, 如图 11 所示。 k_1 点故障时电压电流波形和功率方向信号由于篇幅所限不再一一列举。由仿真可以看出, 负序功率方向应用于强磁弱电的线路中动作正确。

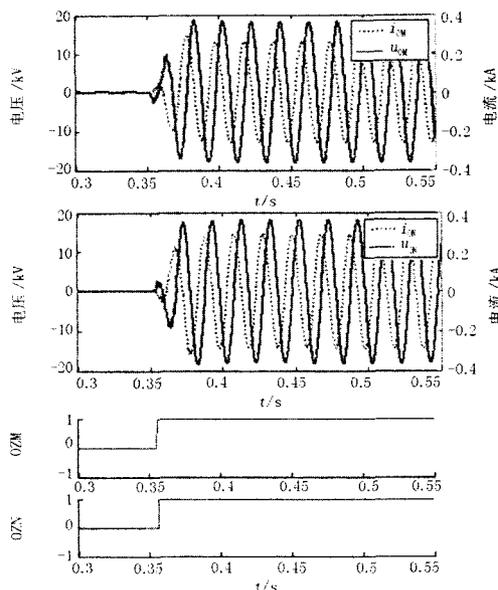


图 10 第 II 线路 MN 侧 u_0 , i_0 波形及零序功率方向信号

Fig.10 u_0 , i_0 waveform and zero sequence directional signal at terminal M and N of the line II

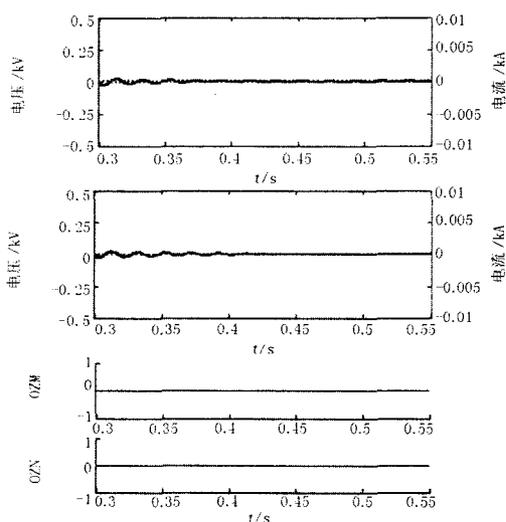


图 11 第 II 线路 MN 侧 u_2 , i_2 波形及负序功率方向信号

Fig.11 u_2 , i_2 waveform and negative sequence directional signal at terminal M and N of the line II

4 结论

本文提出在有零序耦合的平行线路中采用负序功率方向作为纵联方向保护的方向元件, 并且为了正确反应长线末端高阻故障, 方向元件中采用负序补偿电压。故障线路中, 负序功率方向元件和零序功率方向元件一样, 能正确反应线路的正常运行、区内、区外故障而非故障线路中不会误动。PSCAD 的大量仿真验证利用负序功率方向作为方向元件可以很好地保护线路。

附录:

400 km, 500 kV 线路参数:

正序/负序参数:

$R=0.5468e-4$ [Ω/m]

$X_L=0.3223e-3$ [Ω/m]

$X_C=290.8414$ [$M\Omega \cdot m$]

零序参数:

$R=0.2931e-3$ [Ω/m]

$X_L=0.12371e-2$ [Ω/m]

$X_C=581.895$ [$M\Omega \cdot m$]

400 km, 220 kV 线路参数:

正序/负序参数:

$R=0.5468e-4$ [Ω/m]

$X_L=0.3223e-3$ [Ω/m]

$X_C=290.8414$ [$M\Omega \cdot m$]

零序参数:

$R=0.2931e-3$ [Ω/m]

$X_L=0.12371e-2$ [Ω/m]

$X_C=581.895$ [$M\Omega \cdot m$]

零序互阻抗参数:

$X_m=0.0825e-2$ [Ω/m]

S_1 参数: 500 kV

$X_1=X_2$: 6.0 Ω (最小), 67.0 Ω (最大)

$X_0=7.8$ Ω (最小), 78.0 Ω (最大)

S_2 参数: 500 kV

$X_1=X_2$: 9.0 Ω (最小), 182.0 Ω (最大)

$X_0=18.2$ Ω (最小), 364.4 Ω (最大)

S_3 参数: 220 kV

$X_1=X_2$: 5.0 Ω (最小), 79.0 Ω (最大)

$X_0=9.0$ Ω (最小), 120.0 Ω (最大)

S_4 参数: 220 kV

$X_1=X_2$: 15.0 Ω (最小), 150.0 Ω (最大)

$X_0=22.2$ Ω (最小), 290.8 Ω (最大)

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. Protection Theory and Techniques for High Tension Networks[M]. Beijing: China Electric Power

Press, 2005.

[2] 吴永刚, 思晓兰, 张惠芳. 330 kV 同杆并架双回线继电保护优化配置及应用[J]. 电力系统自动化, 2001,25(7): 64-66.
WU Yong-gang, SI Xiao-lan, ZHANG Hui-fang. Optimizing Protection Configuration of 330 kV Double Transmission Line on Same Tower[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001,25(7):64-66.

[3] 李钢, 路洁, 白晶, 等. 一起平行运行线路纵联零序方向保护误动分析[J]. 电力系统自动化, 2008,32(14):104-107.
LI Gang, LU Jie, BAI Jing, et al. Mal-fuction Analysis on Pilot Zero Sequence Direction Relay Applied in Parallel Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008,32(14):104-107.

[4] 李钢, 冯辰虎, 孙集伟, 等. 平行运行线路互感对纵联零序方向保护的影响[J]. 华北电力技术, 2007,12:1-4.
LI Gang, FENG Chen-hu, SUN Ji-wei, et al. Effects of Mutual Inductance of Parallel Transmission Lines on Longitudinal Zero-sequence Protection[J]. North China Electric Power, 2007,12:1-4.

[5] 郭润生, 何彩红, 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.

[6] 丁晓兵, 赵曼勇, 徐振宇. 接地故障零序方向元件拒动保护改进方案[J]. 电力系统自动化, 2006,30(9):88-90.
DING Xiao-bing, ZHAO Man-yong, XU Zhen-yu. Improvement on Zero Sequence Current Protection when Directional Element Fails to Operate During Earth Faults[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(9): 88-90.

[7] 徐振宇, 杜兆强, 孟岩, 等. 零、负序方向元件的特殊问题研究[J]. 电力自动化设备, 2008,28(5):21-25.
XU Zhen-yu, DU Zhao-qiang, MENG Yan, et al. Special Problems in Zero/negative Sequence Directional

Element[J]. Electric Power Automation Equipment, 28(5):21-25.

[8] 李一泉, 焦邵麟, 张弛, 等. 平行线路纵联零序方向保护安全性分析[J]. 电力系统自动化, 2008,32(6):104-107.
LI Yi-quan, JIAO Shao-lin, ZHANG Chi, et al. Safety Analysis on Pilot Zero Sequence Direction Relay Applied in Parallel Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008,32(6):104-107.

[9] 景敏慧, 柳焕章, 邓洪涛, 等. 平行双回线路高阻接地故障保护的新思路[J]. 电力系统自动化, 2008,32(8):55-59.
JING Min-hui, LIU Huan-zhang, DENG Hong-tao, et al. New Protection Scheme for High Resistance Ground Fault on the Parallel Double-circuit Transmission Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008,32(8): 55-59.

[10] 曾耿晖, 黄明辉, 刘之尧, 等. 同杆线路纵联零序保护误动分析及措施[J]. 电力系统自动化, 2006,30(20):103-107.
ZENG Geng-hui, HUANG Ming-hui, LIU Zhi-yao, et al. Mal-fuction Analysis on Pilot Zero Sequence Direction Relay Applied in Parallel Lines and Solutions[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,30(20): 103-107.

收稿日期: 2008-12-27; 修回日期: 2009-02-15

作者简介:

蒋苏静(1984-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护与控制; E-mail:jsj2099@163.com

毕天姝(1973-), 女, 博士, 教授, 研究方向为电力系统保护与控制, 广域同步测量技术应用以及人工智能在电力系统中的应用;

徐振宇(1963-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 从事电力系统和继电保护方面的研究。

(上接第 20 页 continued from page 20)

HE Da-yu. China's Electric Power System and Its Requirements for the Development of FACTS Technology[J]. Converter Technology and Electric Traction, 2006 (2):9-12, 30.

[11] 倪以信, 陈寿孙, 张宝霖. 动态电力系统分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
NI Yi-xin, CHEN Shou-sun, ZHANG Bao-lin. Dynamic Electrical Power System Analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.

[12] 汤蕴璆, 史乃. 电机学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
TANG Yun-qiu, SHI Nai. Electrical Machinery[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.

[13] CHEN Ge-song, ZHOU Xiao-xin. Digital Simulation of Variable Frequency Transformers for Asynchronous

Interconnection in Power System[A]. in:IEEE/PES Transmission and Distribution Conference&Exhibition: Asia and Pacific Proceedings[C]. Dalian (China): 2005.

[14] Piwko R, Larsen E. Variable Frequency Transformer-FACTS Technology for Asynchronous Power Transfer[A]. in:IEEE PES T&D Conference and Exposition[C]. Dallas(USA):2005.

收稿日期: 2008-12-19

作者简介:

姚帅(1986-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统运行与控制的研究; E-mail: shiyan7226060@163.com

于继来(1965-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为电力系统运行与运营、电力系统稳定性与数值仿真、电力网络理论与应用等。