

基于跨线故障判别的平行双回线路选相方案

杨忠礼¹, 宋国兵², 姚永峰¹, 梁振锋², 索南加乐²

(1. 新乡供电公司, 453002, 河南新乡; 2. 西安交通大学电气工程学院, 710049, 西安)

摘要: 针对相电流差选相元件在平行双回线首端发生跨线故障时会误选相的问题, 提出了基于故障分量方向元件的选相方案. 将平行双回线路跨线故障作为复故障, 分析了相电流差选相元件在线路首端跨线故障时误选相的原因. 在故障被判为跨线故障的情况下, 利用电压元件选出故障相, 对每一回线, 利用故障分量方向元件判断对应相故障是否在本回线路内部, 当故障分量电压与故障分量电流间的相角在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 时, 判故障在本回线内, 从而选出每回线的故障相. EMTP 仿真结果表明, 该方案在各种跨线故障下均能正确选相, 可直接应用于现有基于单回线信息的微机保护装置.

关键词: 平行双回线路; 跨线故障; 选相元件; 方向元件; 复故障

中图分类号: TM771 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2011)02-0097-05

Fault Phase Selector of Protective Relay for Cross Country Fault on Double Circuit Lines

YANG Zhongli¹, SONG Guobing², YAO Yongfeng¹, LIANG Zhenfeng², SUONAN Jiale²

(1. Xinxiang Electric Power Corporation, Xinxiang, Henan 453002, China; 2. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Aiming at the misoperation of the conventional phase selector by phase current-differential during some cross country faults, a fault phase selector for double circuit lines on the same tower using fault superimposed components direction element is developed, where the cross country fault of double circuit lines is considered as multiple faults of single circuit lines to analyze the misoperation of conventional phase selector. The new scheme selects fault phase by fault superimposed component voltage, and the fault lines of the corresponding fault phase are selected with fault superimposed component direction element. If the phase angle between faults superimposed component voltage and current of either double circuit line is in the range of $0^\circ \sim 180^\circ$, the fault is in the line. The EMTP simulation results show that the proposed scheme is applicable to micro-computer-based protection.

Keywords: double circuit lines; cross country fault; fault phase selector; direction element; multiple fault

同杆并架平行双回线路由于其占用出线走廊窄、工程造价低、建设周期短、运行维护简单、经济效益显著, 因此得到了广泛的应用与研究^[1]. 由于对跨线故障能正确反应, 分相电流差动保护被广泛应用于高压平行双回线路中, 但是它必须依靠通道, 这不

仅增加了建造成本及维护费用, 而且在一定程度上降低了保护的可靠性. 实际上, 即使采用分相电流差动保护, 通常也需要配置合适的后备保护, 以保证在通道失效的情况下, 快速、可靠地切除故障, 因此研究单端量保护具有重要的意义^[2], 而故障选相是单

端量保护的重要组成部分。

目前,国内数字式高压线路保护中主要采用相电流差突变量选相和稳态量选相相结合的方式^[3-4]。其中,相电流差突变量选相元件是通过比较3个相电流差故障前后的突变量来判断故障类型,不受负荷电流的影响,动作迅速灵敏,作为故障初期的选相元件得到广泛应用。同杆双回线故障类型多达120种,其中跨线故障约占82%,如何正确区分跨线故障类型是双回线故障选相的关键所在。一般认为,跨线故障多发生在出口或近端,且一般不经过渡电阻,尤其是在发电厂出线的同杆并架结构中,如中国电力科学研究院提供的500 kV输电线路的实验项目中,仅考虑出口处的金属接地跨线故障。但是,由于双回线线间存在零序互感,相电流差选相元件在双回线首端跨线故障时可能会误选相^[5-9]。六序分量的选相原理能很好地识别同杆并架双回线所发生的各类单回线故障和跨线故障,具有很好的选相效果^[7-9],但其必须利用两回线的电气量,两回线同侧的保护之间必须交换信息。目前,国内现场的工程技术人员尚不能接受两回线间信息的互换。

本文针对相电流差选相元件可能误选相的问题,提出了基于单回线信息的新选相方案。该方案在跨线故障已识别^[10]的情况下,首先利用电压元件选出故障相,然后利用故障分量方向元件判断故障是否在本回线内部。理论分析及仿真验证表明,本文的方法能够解决相电流差选相元件在跨线故障时可能出现的误选相问题。

1 跨线故障误选相原因分析

1.1 相电流差选相元件存在的问题

文献[5-9]给出了电流突变量选相在跨线故障时存在的问题,主要有:

(1)相电流差选相元件在线路首端发生非同名相跨线故障时会把相间故障误选为单相故障,如三相落后跨线故障 ICIIBC-G、三相超前跨线故障 ICI-IBCG 时,第Ⅱ回线相电流差选相元件会选为 IIBG 或 IICG;

(2)在线路末端发生两相非同名相跨线故障时,两回线的相电流差选相元件均会选为相间故障。

1.2 误选相原因分析

将平行双回线的跨线故障作为复故障来进行分析,如图1所示。图1中假定线路MN为第Ⅰ回线,其中 f_1 点和 f_2 点距M母线的距离是相等的。

故障发生后的一段时间内,电力系统可看作是

线性系统,采用叠加原理来分析^[11]。对于图1所示的复故障,其故障附加网络如图2所示。

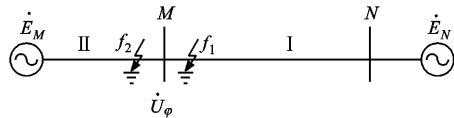


图1 复故障示意图

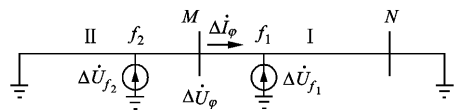
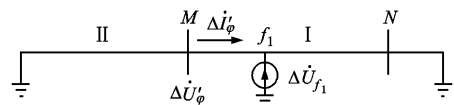
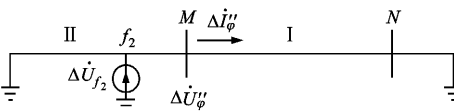


图2 复故障时的故障附加网络

在图2中, $\Delta \dot{U}_{f_1}$ 、 $\Delta \dot{U}_{f_2}$ 分别为区内故障点 f_1 和区外故障点 f_2 处的故障附加电压源, $\Delta \dot{U}_\varphi$ 和 $\Delta \dot{I}_\varphi$ 分别为第Ⅰ回线M端保护安装处的电压故障分量和电流故障分量,是两故障点附加电压源 $\Delta \dot{U}_{f_1}$ 和 $\Delta \dot{U}_{f_2}$ 共同作用的结果。同样,可对图2所示故障附加网络采用叠加原理,分解为图3所示的两个故障附加电压源分别作用的网络叠加。



(a) 区内故障电源附加网络



(b) 区外故障电源附加网络

图3 故障附加网络分解图示

由图3可以得到

$$\left. \begin{aligned} \Delta \dot{I}_\varphi &= \Delta \dot{I}'_\varphi + \Delta \dot{I}''_\varphi \\ \Delta \dot{U}_\varphi &= \Delta \dot{U}'_\varphi + \Delta \dot{U}''_\varphi \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: φ 分别指A相、B相、C相。

以IBIIBC-G跨线故障为例进行分析。该故障对于第Ⅰ回线为区内B相接地故障、区外BC相接地故障,而对于第Ⅱ回线为区内BC相接地故障、区外B相接地故障。第Ⅰ回线和第Ⅱ回线的B相都满足

$$\left. \begin{aligned} \Delta \dot{U}_B &= \Delta \dot{U}'_B + \Delta \dot{U}''_B \\ \Delta \dot{I}_B &= \Delta \dot{I}'_B + \Delta \dot{I}''_B \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

根据图3,在出口或近端跨线故障情况下,在故障附加电源 $\dot{\Delta U}_{f_1}$ 和 $\dot{\Delta U}_{f_2}$ 的共同作用下,第Ⅰ回线和第Ⅱ回线B相故障分量电流 $|\Delta I_B^I|$ 、 $|\Delta I_B^{II}|$ 将较小,对于第Ⅱ回线,由于C相故障分量电流 $|\Delta I_C^{II}|$ 较大,而 $|\Delta I_B^{II}|$ 和 $|\Delta I_A^{II}|$ 数值都很小,则利用相电流差选相元件会误选为C相单相接地。

2 新的跨线故障选相方案

2.1 理论分析

本文首先利用文献[10]的方法判断故障是否为跨线故障.若为单回线故障,采用相电流差选相元件实现选相功能;若为跨线故障,则先用相电压元件选出故障相别,然后利用故障分量方向元件判别本回线的故障相别。

如图1所示,将跨线故障作为区内外同时存在故障的复故障对待,采用电压量选相的结果是区内外故障相的“并集”。对于相电压选相元件,其判别逻辑与相电流差选相元件相同.对于需要分相跳闸的高压线路保护装置,还需进一步区分每回线的故障相别。

仍以IBIIBC-G跨线故障为例,相电压选相结果为BC相故障,进一步利用B相和C相的故障分量电压与电流构成方向元件,如

$$\theta_\varphi = \arg \frac{\Delta \dot{U}_\varphi}{-\Delta \dot{I}_\varphi - K3\dot{I}_0} \quad (3)$$

假定正序阻抗等于负序阻抗,对于C相,故障附加网络如图3b所示,则用式(3)第Ⅰ回线可判为反方向,而第Ⅱ回线可判为正方向。

两回线B相方向元件的动作情况分析如下.如图3所规定电流正方向,B相故障分量电压可以表示为

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_B &= \Delta \dot{U}'_B + \Delta \dot{U}''_B = (-\Delta \dot{I}'_1 Z_{1M} - \dot{I}'_2 Z_{2M} - \dot{I}'_0 Z_{0M}) + (\Delta \dot{I}''_1 Z_{1N} + \dot{I}''_2 Z_{2N} + \dot{I}''_0 Z_{0N}) = \\ &= (-Z_{1M})(\Delta \dot{I}'_B + 3K\dot{I}'_0) + (Z_{1N})(\Delta \dot{I}''_B + 3K\dot{I}''_0) \end{aligned} \quad (4)$$

对于第Ⅰ回线的方向元件

$$\begin{aligned} \theta_B^I &= \arg \frac{\Delta \dot{U}_B}{-\Delta \dot{I}_B^I - K3\dot{I}_0^I} = \\ &= \arg \frac{(-Z_{1M})(\Delta \dot{I}'_B + 3K\dot{I}'_0) + Z_{1N}(\Delta \dot{I}''_B + 3K\dot{I}''_0)}{-(\Delta \dot{I}'_B + 3K\dot{I}'_0) - (\Delta \dot{I}''_B + 3K\dot{I}''_0)} \end{aligned} \quad (5)$$

对于第Ⅱ回线的方向元件

$$\begin{aligned} \theta_B^{II} &= \arg \frac{\Delta \dot{U}_B}{-\Delta \dot{I}_B^{II} - K3\dot{I}_0^{II}} = \\ &= \arg \frac{(-Z_{1M})(\Delta \dot{I}'_B + 3K\dot{I}'_0) + (Z_{1N})(\Delta \dot{I}''_B + 3K\dot{I}''_0)}{(\Delta \dot{I}'_B + 3K\dot{I}'_0) + (\Delta \dot{I}''_B + 3K\dot{I}''_0)} \end{aligned} \quad (6)$$

由1.2节的分析可知,当跨线故障发生在出口或近端时,第Ⅰ回线和第Ⅱ回线B相故障分量电流 $|\Delta I_B^I|$ 、 $|\Delta I_B^{II}|$ 都很小,且 $\dot{\Delta U}_{f_1} \approx \dot{\Delta U}_{f_2}$, $\dot{\Delta U}_{f_1} \approx \dot{\Delta U}'_B$, $\dot{\Delta U}_{f_2} \approx \dot{\Delta U}''_B$,即

$$-Z_{1M}(\Delta \dot{I}'_B + 3K\dot{I}'_0) \approx Z_{1N}(\Delta \dot{I}''_B + 3K\dot{I}''_0)$$

则式(5)和式(6)可表示为

$$\theta_B^I = \arg \frac{-Z_{1M}(\Delta \dot{I}'_B + 3K\dot{I}'_0)}{-3K(\dot{I}'_0 + \dot{I}''_0)} \quad (7)$$

$$\theta_B^{II} = \arg \frac{Z_{1N}(\Delta \dot{I}''_B + 3K\dot{I}''_0)}{3K(\dot{I}'_0 + \dot{I}''_0)} \quad (8)$$

$\dot{I}'_0$ 和 $\dot{I}''_0$ 分别是由故障点附加电压源 $\dot{\Delta U}_{f_1}$ 、 $\dot{\Delta U}_{f_2}$ 单独作用时产生的零序电流.式(7)和式(8)中的零序电流 $\dot{I}'_0$ 和 $\dot{I}''_0$ 在保护安装处无法分别得到.一般情况下,区外故障源产生的零序电流至少要流过保护区内的整条线路以及对侧的系统,而区内故障源产生的零序电流则只需流过本侧的系统阻抗,故区外故障源产生的零序电流流过的零序通路的阻抗大一些,所以区内故障源产生的零序电流一般会远大于区外故障源产生的零序电流。

对于第Ⅰ回线,当 $\dot{I}'_0$ 远大于 $\dot{I}''_0$ 时,即保护安装处的零序电流主要由区内故障源提供,则 $\theta_B^I = \arg(Z_{1M})$ 在一定程度上是成立的,同理 $\theta_B^{II} = \arg(Z_{1N})$ 也是成立的。

当跨线故障发生在出口或近端(一般不经过渡电阻)时,可认为 $0^\circ < \theta_B^I < 180^\circ$ 、 $0^\circ < \theta_B^{II} < 180^\circ$.由此可见,第Ⅰ回线B相和第Ⅱ回线B相均可以正确选相。

2.2 选相流程

图4为本文方法的程序流程图,图中给出了第Ⅰ回线的选相流程。

3 仿真实验

为了验证本文方法的正确性和有效性,利用

ATP-EMTP对河南省嵩获500 kV同杆双回线路进行仿真分析,如图5所示。

图5中,系统参数为 $Z_{M1}=j4.777\ 5\ \Omega$, $Z_{M0}=j11.668\ 2\ \Omega$; $Z_{N1}=j9.922\ 5\ \Omega$, $Z_{N0}=j13.23\ \Omega$ 。线路参数为 $r_1=0.018\ 8\ \Omega/\text{km}$, $r_0=0.131\ 4\ \Omega/\text{km}$,

$l_1=8.702\ 2\times10^{-4}\ \text{H}/\text{km}$, $l_0=0.692\ 0\ \text{H}/\text{km}$, $c_1=0.005\ 8\ \mu\text{F}/\text{km}$, $c_0=0.009\ 8\ \mu\text{F}/\text{km}$ 。线路长度为58.1 km。

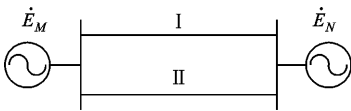


图5 仿真模型

表1和表2给出在线路首端发生跨线故障时相电流差选相元件和本文方法的仿真结果。由表1可见,相电流差选相元件在平行双回线首端发生跨线故障时,会将相间故障选为单相接地故障,影响保护的性能和选相跳闸的实现。

由表2可见,本文方法在平行双回线首端发生跨线故障时,若故障在本回线,则故障相的故障分量电压和电流之间的夹角大于 0° ;若故障在另一回线,则该夹角小于 0° 。若第I回线和第II回线的相同相发生跨线故障,则两回线的故障分量电压和电流的夹角均大于 0° 。由此可见,本文方法可以解决相电流差选相元件可能出现误选相的问题。

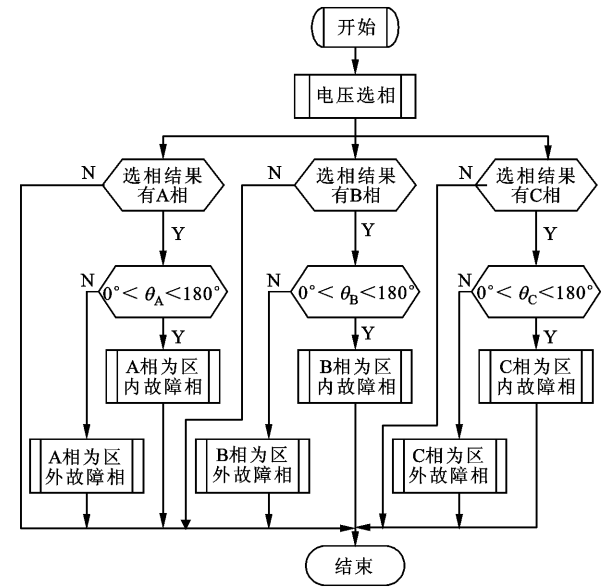


图4 跨线故障选相流程

表1 相电流差选相元件的仿真结果

故障类型	第Ⅰ回线				第Ⅱ回线			
	$\Delta I_{AB}/A$	$\Delta I_{BC}/A$	$\Delta I_{CA}/A$	选相结果	$\Delta I_{AB}/A$	$\Delta I_{BC}/A$	$\Delta I_{CA}/A$	选相结果
IBIIBCG	25 600.78	27 552.47	11 373.37	BG	25 600.78	68 362.73	61 133.58	CG
ICIIBCG	10 920.76	25 899.60	25 503.89	CG	60 602.42	68 543.17	25 503.89	BG
IABIIBCG	65 775.58	19 861.36	47 118.61	AG	18 964.79	65 986.72	48 472.65	CG
IAIIABCG	19 976.89	16 672.16	18 603.93	AC	65 155.93	90 799.71	66 505.60	AC
IABIIABC	37 793.46	19 576.45	18 307.77	AB	37 793.46	66 006.05	66 491.07	CG

表2 本文方法的仿真结果

故障类型	第Ⅰ回线				第Ⅱ回线			
	$\theta_A/(^\circ)$	$\theta_B/(^\circ)$	$\theta_C/(^\circ)$	选相结果	$\theta_A/(^\circ)$	$\theta_B/(^\circ)$	$\theta_C/(^\circ)$	选相结果
IBIIBCG	-51.80	70.79	-125.97	BG	-106.83	39.58	118.38	BC
ICIIBCG	-125.18	-47.68	111.24	CG	-70.05	64.54	142.61	BC
IABIIBCG	81.33	126.84	-67.09	AB	-108.49	49.72	101.89	BC
IAIIABCG	88.91	-122.18	-54.42	AG	88.51	81.10	101.53	ABC
IABIIABC	69.85	107.73	-85.32	AB	115.00	61.98	93.58	ABC

4 结 论

由于存在线间零序互感,平行双回线路发生跨

线故障时相电流差选相元件存在误选相的问题,影响单端量保护的正确、快速动作,本文将跨线故障作为复故障,分析了相电流差误选相的原因,提出了基

于单回线信息的选相方法. 该方法在双回线跨线故障时首先利用电压元件选出故障相, 然后利用故障分量方向元件判断故障是否在本回线内部. 理论分析和仿真验证证明了该方法的正确性和有效性.

参考文献:

- [1] 康小宁, 梁振锋. 同杆平行双回线路保护及自动重合闸综述[J]. 继电器, 2004, 32(23): 72-76.
KANG Xiaoning, LIANG Zhenfeng. Survey on the protective relaying and autoreclosure for double-circuit lines on the same tower[J]. Relay, 2004, 32(23): 72-76.
- [2] 梁振锋, 康小宁, 索南加乐, 等. 平行双回线路故障分量电流平衡保护研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(19): 106-110.
LIANG Zhenfeng, KANG Xiaoning, SUONAN Jiale, et al. Transverse differential protection based on fault superimposed components for double-circuit transmission lines[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(19): 106-110.
- [3] 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.
- [4] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 2版. 西安: 西安交通大学出版社, 2007.
- [5] 俞波, 杨奇逊, 李莹, 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, 76.
YU Bo, YANG Qixun, LI Ying, et al. Research on fault phase selector of protective relay for double circuit lines on the tower[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(4): 38-42, 76.
- [6] 陈福锋, 钱国明. 基于同杆双回线跨线故障识别的选相方案[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(6): 66-70.
CHEN Fufeng, QIAN Guoming. Research on fault phase selector of protective relay for double circuit lines based on crossing-line fault identifying[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(6): 66-70.
- [7] 索南加乐, 葛耀中, 陶惠良, 等. 同杆双回线的六序选相原理[J]. 中国电机工程学报, 1991, 11(6): 1-9.
SUONAN Jiale, GE Yaozhong, TAO Huiliang, et al. The microprocessor based fault phase indicator for the double circuit line on the same tower using six sequence components[J]. Proceedings of the CSEE, 1991, 11(6): 1-9.
- [8] 索南加乐. 同杆双回线的故障分析及继电保护[D]. 西安: 西安交通大学电气工程学院, 1991.
- [9] 索南加乐, 王树刚, 张超, 等. 一种反应环流电流的平

行双回线保护选相元件[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(15): 47-52.

SUONAN Jiale, WANG Shugang, ZHANG Chao, et al. New fault phase selector for double-circuit lines protective relaying based on differential fault current components[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(15): 47-52.

- [10] 索南加乐, 刘东, 谢静, 等. 同杆并架输电线路跨线故障识别元件[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(1): 47-52.

SUONAN Jiale, LIU Dong, XIE Jing, et al. Cross country fault identifier for power system transmission line on a same pole[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(1): 47-52.

- [11] 梁振锋, 康小宁, 姚李孝, 等. 关于故障分量概念的讨论[J]. 继电器, 2007, 35(1): 37-41, 46.

LIANG Zhenfeng, KANG Xiaoning, YAO Lixiao, et al. Discussion on fault components [J]. Relay, 2007, 35(1): 37-41, 46.

[本刊相关文献链接]

交直流混联系统对距离保护暂态超越的影响及解决措施. 西安交通大学学报, 2010, 44(4): 57-61.

故障全量的分相复合阻抗抗输电线路纵联保护原理. 西安交通大学学报, 2010, 44(2): 92-97.

基于模型识别的平行线路零序方向元件. 西安交通大学学报, 2010, 44(2): 102-107.

双端带并联电抗器的输电线路纵联保护. 西安交通大学学报, 2010, 44(2): 99-103.

继电保护装置信号端口电磁干扰传播通道的建模与仿真. 西安交通大学学报, 2009, 43(10): 104-108.

基于模型识别的并联电容器保护. 西安交通大学学报, 2008, 42(12): 1506-1509.

带可控串补和可调电抗器输电线路纵联保护新原理. 西安交通大学学报, 2008, 42(10): 1259-1263.

输电线路超高速保护中小波算法的研究. 西安交通大学学报, 2008, 42(2): 194-198.

变压器漏电感参数在线辨识方法研究. 西安交通大学学报, 2008, 42(2): 199-203.

基于励磁电感参数识别的变压器励磁涌流判别方法. 西安交通大学学报, 2007, 41(12): 1214-1218.

一种新的高压线路振荡选相元件. 西安交通大学学报, 2007, 41(8): 945-953.

一种新型的分布式隐私保护计算模型及其应用. 西安交通大学学报, 2007, 41(8): 954-958.

基于形态梯度的输电线路电流行波比较式超高速保护. 西安交通大学学报, 2007, 41(4): 484-488.

(编辑 杜秀杰)