

基于故障支路电流序分量相位关系的选相元件

刘凯^{1,2}, 索南加乐¹

(1. 西安交通大学 电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 东方电子股份有限公司, 山东 烟台 264001)

摘要: 故障支路电流序分量之间的相位关系包含了明确的故障相别信息, 但易受电流分布系数的影响。差电流中的负序分量的相位与故障支路中负序电流的相位相同; 在差电流中的正序分量中减去系统电源产生的正序电容电流, 修正后的正序差电流的相位与故障支路中的正序电流相同; 通过负序差电流和修正后的正序差电流之间的相位关系可以明确判断故障类型。该选相元件不受线路分布电容、线路补偿电抗器、电流分布系数的影响, 可在故障后长期使用, 灵敏度高。仿真实验数据验证了该选相元件可以正确地选出故障相别。

关键词: 继电保护; 选相; 故障电流; 正序分量; 负序分量; 分布电容

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.03.013

0 引言

分相电流差动保护原理简单、灵敏度高, 适用于系统振荡、非全相等各种复杂的运行状态和各种拓扑结构的电力网络, 具有天然的选相能力。由于具有上述优点, 线路光纤电流差动保护已广泛应用于电力系统中。

线路相电流差动保护本身有选相能力, 不需额外配备选相元件, 但相电流差动保护受线路分布电容电流的影响, 对于超高压长线路, 影响更大。为了消除线路分布电容电流对相电流差动保护的影响, 大量的文献研究了差动保护的电容电流补偿方法和不受分布电容影响的纵联保护新原理^[1-8]。提高灵敏度的另外一个方法是采用故障分量差动保护原理, 同属利用故障分量的零序电流差动保护和负序电流差动保护也在线路上得到了广泛应用^[9-10]。零序电

流差动保护和负序电流差动保护本身不具备选相能力, 需要配置选相元件, 以达到选相跳闸的目的。

选相是纵联方向保护、纵联距离保护和后备距离保护的必备功能, 因此选相元件一直是线路保护研究中的重点内容^[9-16]。文献[13]介绍了利用负序和零序分量之间的相位选相的方法, 这种选相方法一般需要和测量阻抗相结合, 计算较复杂, 且在系统振荡时会遇到困难。利用故障分量正序电流和负序电流之间的相位可以选出各种故障相别, 但由于使用故障分量, 仅能短时应用^[17]。目前常用的选相元件主要有突变量选相和序分量选相 2 种, 但其选相元件都受到系统中电流分布系数大小的影响^[15]。

线路差动保护可获得线路两端电气量, 因此有更多的信息可用于选择故障相别并具备更好的性能。需要指出的是, 在线路差动保护中使用零序和负序电流差动保护的目的是提高灵敏度, 零序和负序电流差动保护原理本身受线路分布电容电流的影响也较小, 用于二者的选相元件必须考虑分布电容电流的影响, 否则, 零序和负序差动保护的灵敏度会受其选相元件影响。

文献[9]提出了一种利用故障时三相差流幅值

收稿日期: 2011-09-18; 修回日期: 2012-12-12

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(51037005); 国家自然科学基金资助项目(50877061, 506677051)

Project supported by the Key Program of National Natural Science Foundation of China (51037005) and the National Natural Science Foundation of China(50877061, 506677051)

Two-stage power flow method for calculating voltage stability margin

MOU Xiaoming, LI Zhimin

(Department of Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: An analytical index is introduced to approximately describe the system voltage stability, based on which, a two-stage mixed power flow method is proposed to calculate the voltage stability margin. In stage one, the bisection method is applied to set the step size of power in the repeated power flow calculation for quickly determining the approximate voltage stability margin of system. In stage two, the continuous power flow technology is employed to accurately calculate the voltage stability margin. In both stages, the proposed index is used to identify if the system is close to the collapse point and to further determine when the stage should be alternated. Simulative results show that, the proposed method reduces the repeat times of power flow calculation and speeds up the calculation of voltage stability margin.

Key words: electric power systems; stability; continuous power flow; step-size control; two-stage algorithm

之间的大小关系来选择故障相别的选相元件,该元件未考虑线路分布电容电流的影响;对于分布电容电流大的线路,由于三相差电流中包含电容电流,三相差电流之间幅值比较的结果会受到电容电流的影响,用于高压长线路时难以正确选相。文献[10]提出了基于零序、负序差电流大小和各相差电流大小之间关系的选相元件,该选相元件同样未考虑分布电容电流的影响。

本文对不受线路分布电容电流影响的用于零序、负序差动保护的选相方法进行了研究,提出了基于故障支路电流序分量相位的选相元件。差电流中的负序分量与故障支路的负序电流的相位相同;差电流中的正序分量由故障支路的正序电势和系统电源共同产生;在正序差电流中减去由系统电源产生的正序差电流,修正后的正序差电流与故障支路的正序电流相位相同。负序差电流和修正后的正序差电流分别与故障支路的负序电流和正序电流具有相同的相位,不同的故障类型相位不同,据此可判断故障相别。基于故障支路电流序分量相位的选相元件不受线路分布电容、线路补偿电抗器的投切状态及参数变化的影响,适用于弱馈及单端电源线路。该元件实质上利用了差电流中的正序故障分量和负序分量,但可长期使用。本文用 EMTP 建立了 1000 kV、600 km 线路模型,对基于故障支路电流序分量相位关系的选相元件进行了仿真,仿真结果证明了所提方法的有效性。

1 基于故障分量正序电流和负序电流的选相元件^[17]

a. 单相故障(AG、BG、CG)。

单相故障时,特殊相的正序、负序和零序电流相等,如发生 A 相接地故障时, $\Delta I_{1a} = I_{2a} = I_{0a}$,故障分量正序、负序电流间的相位差 $\delta = \arg(\Delta I_{1a} / I_{2a}) = 0^\circ$;发生 B 相接地故障时 $\delta = -120^\circ$;发生 C 相接地故障时 $\delta = 120^\circ$ 。

b. 相间故障(BC、AC、AB)。

发生 BC 相间短路故障时, $\Delta I_{1a} = -I_{2a}$,故障分量正序、负序电流间的相位差 $\delta = \arg(\Delta I_{1a} / I_{2a}) = 180^\circ$;发生 AC 相间短路故障时 $\delta = 60^\circ$;发生 AB 相间短路故障时 $\delta = -60^\circ$ 。

c. 发生相间接地故障(ACG、ABG、BCG)。

故障分量正序和负序电流之间的相位关系同 b。

图 1 表示各种不对称故障情况下故障分量正序电流和负序电流之间的相位关系,基于故障分量正序电流和负序电流之间相位关系的选相元件根据此特征来判断故障相别。

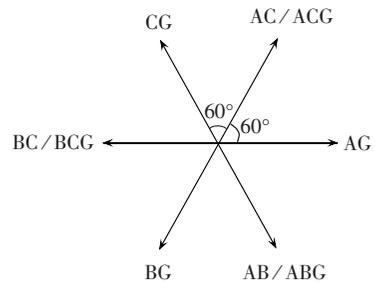


图 1 不同故障类型对应的 δ
Fig.1 δ of different fault types

2 差电流中正序和负序分量的提取

图 2 为双电源供电的系统模型,图中, E_m 、 E_n 分别为线路两侧(m 、 n 侧)电源电势, U_m 、 U_n 和 I_m 、 I_n 分别为线路两侧的电压和电流, Z_{ms} 、 Z_{ns} 分别为线路两侧系统阻抗, Z_{fm} 、 Z_{fn} 分别为故障点两侧的线路阻抗, I_F 为故障支路电流, R_F 为过渡电阻。

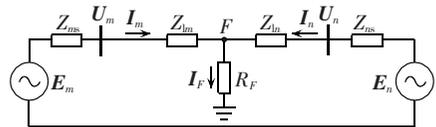


图 2 系统模型
Fig.2 System model

差电流中的正序和负序分量为:

$$\begin{cases} I_{cd1} = (I_{cd1} + \alpha I_{cd2} + \alpha^2 I_{cd3}) / 3 \\ I_{cd2} = (I_{cd1} + \alpha^2 I_{cd2} + \alpha I_{cd3}) / 3 \end{cases}$$

其中, I_{cd1} 和 I_{cd2} 分别为正序、负序差电流; I_{cd1} 、 I_{cd2} 和 I_{cd3} 分别为三相差电流; $\alpha = e^{j120^\circ}$ 。

由图 2 可知,线路差电流为:

$$I_{cd} = I_m + I_n = I_F$$

即差电流为故障支路的电流,三相差电流分别为三相流入故障点的电流,正序差电流、负序差电流分别和故障支路的正序电流、负序电流相等。可见,从三相差电流中可提取出故障支路的正序、负序电流,且可长期提取。

3 电容电流对差电流序分量相位的影响

第 2 节的分析未讨论线路分布电容对差电流序分量的影响。本节首先讨论线路分布电容对负序差电流的影响,然后讨论线路分布电容对正序差电流的影响。

3.1 电容电流对负序差电流相位的影响

图 3 为线路上发生故障时的负序分量网络图。图中, U_{m2} 、 U_{n2} 和 I_{m2} 、 I_{n2} 分别为线路两侧的负序电压和电流, Z_{m2} 、 Z_{n2} 分别为线路两侧系统负序阻抗, Z_{f2} 、 Z_{l2} 分别为故障点两侧的线路负序阻抗, U_{F2} 和 I_{F2} 分别为故障支路的负序电势和电流。线路采用 Π 模型, Z_{C2} 为线路等效容抗, I_{Cm2} 和 I_{Cn2} 分别为流过线路

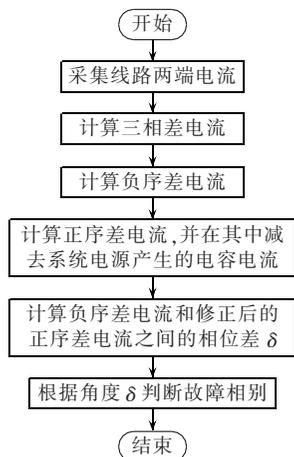


图 5 选相流程

Fig.5 Flowchart of phase selection

4 性能分析

4.1 不受分布电容电流的影响

文献[9]提出的利用三相差流之间幅值的大小关系来选择故障相的方法,不适用于超高压长线路。例如,在高压长线上发生单相高阻接地故障时,故障相差电流和健全相差电流在数值上的差别不大,该方法不能正确选相,这在第 5 节的仿真中得到了验证。

基于故障支路正序电流和负序电流之间相位的选相元件,不受线路分布电容的影响。如 3.1 节和 3.2 节所分析,用于选相的负序差电流和修正后的正序差电流分别与故障支路的负序电流和正序电流的相位相同,该特征不受线路分布电容大小的影响。

4.2 受线路补偿电抗器的影响小

基于故障支路正序电流和负序电流之间相位的选相元件,不受线路补偿电抗器的影响。图 6 为在带电抗器的线路上发生内部故障时的负序网络图,其中, Z_{l2} 为线路补偿电抗器的阻抗。

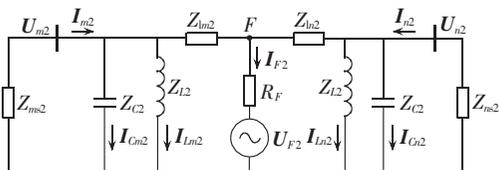


图 6 带电抗器的线路内部故障时的负序网络

Fig.6 Negative sequence network during internal fault of line with reactors

由图 6 可知,负序差电流 $I_{\alpha l2}$ 为:

$$I_{\alpha l2} = I_{m2} + I_{n2} = I_{Cm2} + I_{Cn2} + I_{Lm2} + I_{Ln2} + I_{F2} \quad (6)$$

$$I_{F2} = \frac{-U_{F2}}{R_F + (Z_{lm2} + Z_{ms2} // Z_{C2} // Z_{l2}) // (Z_{ln2} + Z_{ns2} // Z_{C2} // Z_{l2})}$$

由于线路通常使用欠补偿,所以电抗器的阻抗比线路容抗大 ($Z_{l2} > Z_{C2}$),二者数量级为千欧姆^[16];而系统阻抗 Z_{ms2} 和 Z_{ns2} 一般为几十欧姆,即 $Z_{ms2} \ll Z_{C2} < Z_{l2}$ 、 $Z_{ns2} \ll Z_{C2} < Z_{l2}$, Z_{C2} 和 Z_{l2} 对 I_{F2} 的影响可忽略, I_{F2} 可

写为:

$$I_{F2} = \frac{-U_{F2}}{R_F + (Z_{lm2} + Z_{m2}) // (Z_{ln2} + Z_{n2})} \quad (7)$$

流过线路分布电容和补偿电抗器的负序电流为:

$$I_{Cm2} + I_{Cn2} + I_{Lm2} + I_{Ln2} = \frac{U_{m2} + U_{n2}}{Z_{C2}} + \frac{U_{m2} + U_{n2}}{Z_{l2}}$$

由于线路容抗远大于线路阻抗和系统阻抗,可知 $I_{F2} > I_{Cm2} + I_{Cn2} + I_{Lm2} + I_{Ln2}$,结合式(6)可知 $I_{\alpha l2}$ 和 I_{F2} 的相位相同,即负序差电流和故障支路负序电流的相位是相同的,二者的相位关系不受线路分布电容和电抗器的影响。通过类似的分析可知,修正后的正序差电流和故障支路的正序电流的相位是相同。所以,基于故障支路电流序分量相位的选相元件不受电抗器的影响。

4.3 可长期使用,不受电流分布系数的影响,适用于弱馈线路

第 1 节所介绍的基于故障分量正序电流和负序电流之间相位差的选相元件^[17]使用单端量实现,其选相结果和纵联方向保护、纵联距离保护、后备距离保护配合使用。该元件因使用故障分量,所以只能短时应用。另外该方法受系统电流分布系数的影响,如果保护所在处分配到的故障分量正序电流或负序电流较小,可能导致无法正确比相(一般当线路较长、或某端系统阻抗较大如弱馈系统或单端电源线路时,会发生这种情况)。

对于带并联电抗器的线路,在修正正序差电流时,除在正序差电流中减去系统电源产生的电容电流外,还需在正序差电流中减去系统电源产生的流过电抗器的电流。通过类似的分析可知,修正后的正序差流和故障支路的正序电流在相位上是相同的。综合以上分析可见,基于故障支路电流序分量相位的选相元件受电抗器的影响较小。

4.4 灵敏度高

基于故障支路电流序分量相位的选相元件,灵敏度高。第 5 节的仿真分析中,对于 1000 kV、600 km 线路,在发生经 900 Ω 过渡电阻的单相接地故障时,计算所得负序差电流为 240 A 左右,故障分量正序差电流为 220 A 左右,对于微机保护而言,这样大的电流足以保证选相精度。第 1 节所述的基于故障分量正序电流和负序电流相位差的选相元件,受电流分布系数影响,线路某侧分配到的故障分量正序电流和负序电流可能较小,在这种情况下难以准确选相。文献[9]所提的基于差电流幅值的选相元件在这种情况下也不能正确工作,此时故障相差电流约为 1800 A,健全相差电流为 1500 A 左右,故障相和健全相的差电流相差不大,该元件不能正确选相。

5 仿真验证

采用图 7 所示模型对基于故障支路电流序分量相位的选相元件进行了仿真验证。图 7 为 EMTF 仿真模型,电压等级为 1 000 kV,线路采用分布参数模型,线路长度为 600 km,两侧电源的正序和零序系统阻抗分别为: $Z_{m1}=Z_{n1}=(0.4+j4.9)\Omega$, $Z_{m0}=Z_{n0}=(0.1+j1.7)\Omega$,其中 Z_{m1} 、 Z_{n1} 和 Z_{m0} 、 Z_{n0} 分别为 m 、 n 侧系统正序阻抗和零序阻抗。模型中的线路参数为:正序参数 $r_1=0.01958\Omega/\text{km}$, $l_1=0.8192\text{mH}/\text{km}$, $c_1=0.0135\mu\text{F}/\text{km}$;零序参数 $r_0=0.1828\Omega/\text{km}$, $l_0=2.74\text{mH}/\text{km}$, $c_0=0.0092\mu\text{F}/\text{km}$ 。仿真中,分别在 K_2 、 K_5 、 K_8 3 个点模拟各种金属性故障和各种高阻接地故障。 K_2 、 K_8 分别位于 m 、 n 端线路出口, K_5 位于线路中点,计算时采用傅里叶算法。

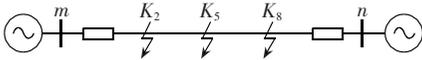


图 7 仿真模型图
Fig.7 Simulation model of system

图 8 为部分仿真结果。图 8 的各子图中上图为 B 相差动电流波形,FSB 表示选相结果为 B 相,FSAB 表示选相结果为 AB 相间故障或 AB 相间接地故障。从图中可以看出,在发生故障后,基于故障支路电流序分量的选相元件快速、正确地选出了故障相别。本文对各种故障类型和经不同数值的过渡电阻故障的情况进行了大量的仿真,基于故障支路电流序分量的选相元件均能正确选择故障相别,为节省篇幅,未列出具体结果。

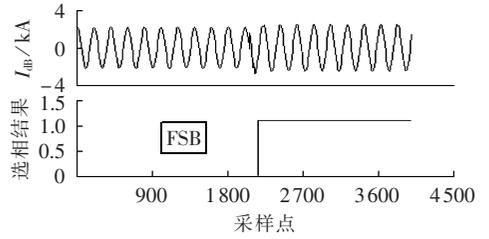
为和文献[9]所提的基于差电流幅值的选相元件进行对比,表 1 中列出了在 K_2 、 K_5 和 K_8 3 个点分别经 600Ω 和 900Ω 过渡电阻接地故障时的三相差电流 I_{cda} 、 I_{cdb} 和 I_{cdc} 、负序差电流 I_{cd2} 和修正后的正序差电流 I_{cd1} 。

文献[9]中提出的选相元件简述如下:

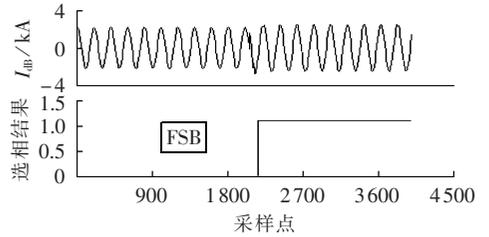
a. 将三相差电流进行排序,表示为 $I_{cd\max} \geq I_{cd\text{mid}} \geq I_{cd\min}$, $I_{cd\max}$ 为最大相差电流, $I_{cd\text{mid}}$ 为中间相差电流, $I_{cd\min}$ 为最小相差电流。

b. 如果 $I_{cd\max} \geq kI_{cd\min}$,则差电流最大相为故障相;如果同时满足 $I_{cd\text{mid}} \geq kI_{cd\min}$ 和 $I_{cd\max} \leq kI_{cd\text{mid}}$,则差电流中间相也为故障相; k 取值为 1.5~2。

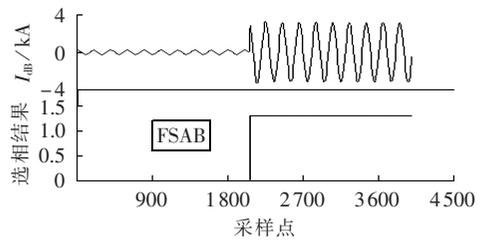
从表 1 可以看出,在发生故障时,故障相的差电流约为健全相的 1.3 倍,不满足 $I_{cd\max} \geq 1.5 I_{cd\min}$ 的关系,该选相元件不能正确工作。而此时,负序差电流和修正后的正序差电流为 200~300 A,微机保护精度较高,在这种情况下,仍能准确分辨二者相位,选出故障相别。



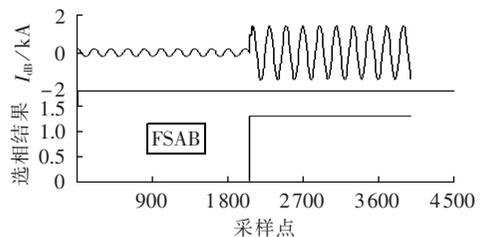
(a) K_2 点发生 B 相接地故障 ($R_f=600\Omega$)



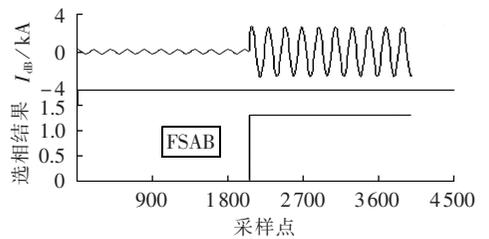
(b) K_5 点发生 B 相接地故障 ($R_f=900\Omega$)



(c) K_2 点发生 AB 两相接地故障 ($R_f=50\Omega$)



(d) K_5 点发生 AB 两相接地故障 ($R_f=50\Omega$)



(e) K_8 点发生 AB 相间故障 ($R_f=50\Omega$)

图 8 选相结果

Fig.8 Results of phase selection

表 1 故障时的差电流

Tab.1 Differential current during line fault

R_f/Ω	故障点	I_{cda}/A	I_{cdb}/A	I_{cdc}/A	I_{cd1}/A	I_{cd2}/A
600	K_2	1536	2000	1533	363.2	323.2
	K_5	1529	1741	1551	343.8	339.3
	K_8	1536	1599	1533	315.0	323.8
900	K_2	1536	1802	1534	252.4	215.5
	K_5	1530	1629	1545	245.0	228.5
	K_8	1535	1512	1533	216.7	215.9

6 结论

本文对不受线路分布电容电流影响的用于零序、负序差动保护的选相方法进行了研究,提出了基于故障支路电流序分量相位的选相元件。差电流中的负序分量,包含故障支路中的负序电流及流过线路分布电容的负序电流,完全由故障支路的负序电势产生。差电流中的正序分量,由故障支路的正序电势和系统电源共同产生;通过在正序差电流中减去由系统电源产生的正序差电流,剩余正序差电流完全由故障支路的正序电势产生,包括流过故障支路的正序电流和流过线路分布电容的正序电流。负序差电流和修正后的正序差电流分别与故障支路的负序电流和正序电流具有相同的相位,据此可以判断故障相别。所提选相方法不受线路分布电容的影响,不受线路补偿电抗器的投切状态及参数变化的影响,适用于弱馈及单端电源线路,灵敏度高。该元件实质上利用了差电流中的正序故障分量和负序分量,但是可以长期使用。用 ATP 建立了 1 000 kV、600 km 线路模型,对新的选相元件进行了仿真,仿真结果表明,单相接地故障时即使过渡电阻达到 900 Ω ,该选相元件也可以正确选相,证明了新方法的有效性。

参考文献:

- [1] 陈朝晖,黄少锋,陶惠良,等. 新型阻抗选相方法[J]. 电力系统自动化,2005,29(3):51-56.
CHEN Zhaohui,HUANG Shaofeng,TAO Huiliang,et al. Research on the new phase selector based on impedance measurement[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(3):51-56.
- [2] 邹力,赵青春,林湘宁,等. 基于数学形态学的电力系统振荡中故障识别和改进的选相方法[J]. 中国电机工程学报,2006,26(13):37-42.
ZOU Li,ZHAO Qingchun,LIN Xiangning,et al. Mathematical morphology based on fault detector and improve phase selection in power swing[J]. Proceedings of the CSEE,2006,26(13):37-42.
- [3] 徐振宇,杨奇逊,刘万顺,等. 一种序分量高压线路保护选相元件[J]. 中国电机工程学报,1997,17(3):214-216.
XU Zhenyu,YANG Qixun,LIU Wanshun,et al. A sequence fault phase selector for transmission line protective relay[J]. Proceedings of the CSEE,1997,17(3):214-216.
- [4] 索南加乐,许庆强,宋国兵,等. 电力系统振荡过程中序分量选相元件动作行为分析[J]. 电力系统自动化,2003,27(7):50-54.
SUONAN Jiale,XU Qingqiang,SONG Guobing,et al. Analysis on the operating characteristic of the sequence-component fault phase selector during power swings[J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(7):50-54.
- [5] 许庆强,索南加乐,柳焕章,等. 基于相间故障弧光电压特征的高压线路选相元件[J]. 电力系统自动化,2006,30(4):65-70.
XU Qingqiang,SUONAN Jiale,LIU Huanzhang,et al. Fault phase selector for HV transmission line protective relaying based on the characteristic of the arc voltage between two faulted phases [J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(4):65-70.
- [6] BENMOUYAL G,MAHSEREDJIAN J. A combined directional and faulted phase selector element based on incremental quantities [J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2001,16(4):478-484.
- [7] 常宝波,段玉倩,贺家李. 一种用于零、负序电流纵差保护的实用选相元件[J]. 电力系统自动化,2005,29(20):76-80.
CHANG Baobo,DUAN Yuqian,HE Jiali. Practical fault type selection method for line zero and negative sequence current differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(20):76-80.
- [8] 何谋超,何奔腾,张武军. 一种零序差动保护的辅助选相元件[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(15):41-45.
HE Mouchao,HE Benteng,ZHANG Wujun. New fault phase selection method for line zero-sequence current differential protection[J]. Power System Protection and Control,2008,36(15):41-45.
- [9] 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.
- [10] 索南加乐,刘凯,粟小华,等. 基于故障分量综合阻抗的输电线路纵联保护[J]. 中国电机工程学报,2008,28(31):54-61.
SUONAN Jiale,LIU Kai,SHU Xiaohua,et al. A novel transmission line pilot protection based on fault component integrated impedance[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(31):54-61.
- [11] 董新洲,苏斌,薄志谦,等. 特高压输电线路继电保护特殊问题的研究[J]. 电力系统自动化,2004,28(22):19-22.
DONG Xinzhou,SU Bin,BO Zhiqian,et al. Study of special problems on protective relaying of UHV transmission line[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(22):19-22.
- [12] 郭征,贺家李. 输电线路纵联差动保护的新原理[J]. 电力系统自动化,2004,28(11):1-5.
GUO Zheng,HE Jiali. Novel principle of pilot differential relay protection of transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(11):1-5.
- [13] 林湘宁,刘沛. 全电流与故障分量电流比例差动判据的比较研究[J]. 中国电机工程学报,2004,24(10):27-31.
LIN Xiangning,LIU Pei. Comparative studies on percentage differential criteria using phase current and superimposed phase current[J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(10):27-31.
- [14] 李岩,陈德树,张哲,等. 超高压长线电容电流对差动保护的影响及补偿对策仿真分析[J]. 继电器,2001,29(6):6-9.
LI Yan,CHEN Deshu,ZHANG Zhe,et al. The emulation analysis for the influence of capacitance current of UHV transmission line on differential current protection and compensation counter measure[J]. Relay,2001,29(6):6-9.
- [15] 刘凯,索南加乐,邓旭阳,等. 基于故障分量正序、负序和零序综合阻抗的线路纵联保护新原理[J]. 电力自动化设备,2010,30(4):21-25.
LIU Kai,SUONAN Jiale,DENG Xuyang,et al. Principle of pilot line protection based on integrated impedance of fault component [J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(4):21-25.
- [16] 索南加乐,刘凯,张烽宁,等. 基于电阻性差流的差动保护新原理[J]. 电力系统自动化,2007,31(16):45-49.
SUONAN Jiale,LIU Kai,ZHANG Yining,et al. New principle of differential protection based on the resistance component of differential current [J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(16):45-49.
- [17] 索南加乐,刘凯,粟小华,等. 输电线路综合阻抗纵联保护新原

- 理[J]. 电力系统自动化,2008,32(3):36-40.
- SUONAN Jiale,LIU Kai,SHU Xiaohua,et al. Novel transmission line pilot protection based on integrated impedance [J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(3):36-40.
- [18] 陈桥平,蔡泽祥,刘为雄,等. 同杆线路跨线故障对选相元件的影响机理[J]. 电力自动化设备,2010,30(2):95-98.
- CHEN Qiaoping,CAI Zexiang,LIU Weixiong,et al. Influence of inter-line fault on phase selection element for parallel lines on same pole[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(2):95-98.
- [19] 杨伟,胡军,吴伊昂,等. 基于小波变换接地故障选相判据的改进[J]. 电力自动化设备,2005,25(10):33-35.
- YANG Wei,HU Jun,WU Yiang,et al. Improved criteria of grounding fault phase selection based on wavelet transform[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(10):33-35.
- [20] 胡婷,游大海,金明亮. 一种电流突变量选相元件三相短路判据的探讨[J]. 电力自动化设备,2006,26(10):107-109.
- HU Ting,YOU Dahai,JIN Mingliang. Discussion of three-phase short-circuit criterion of phase selection relay based on delta variable element of phase current differential [J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(10):107-109.
- [21] 钱国明,何奔腾. 一种改进的高压线路保护选相元件[J]. 电力自动化设备,1999,19(4):28-30.
- QIAN Guoming,HE Benteng. An improved fault phase selector for transmission line protective relay[J]. Electric Power Automation Equipment,1999,19(4):28-30.
- [22] 袁兆强,张承学. 超(特)高压输电线路高速行波差动保护[J]. 电力自动化设备,2012,32(3):13-17.
- YUAN Zhaoqiang,ZHANG Chengxue. High speed traveling wave differential protection for EHV/UHV transmission line[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(3):13-17.
- [23] 罗晓宇,王秀梅. 数字式纵联电流差动保护算法同步策略探讨[J]. 电力自动化设备,2006,26(7):90-94.
- LUO Xiaoyu,WANG Xiumei. Discussion on synchronization strategy for digital longitudinal current differential protection [J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(7):90-94.

作者简介:

刘凯(1972-),男,山东宁阳人,高级工程师,博士,主要研究方向为电力系统继电保护(E-mail:aken-kai.liu@cn.abb.com);

索南加乐(1960-),男,藏族,陕西西安人,教授,博士生导师,从事电力系统继电保护的教学与科研工作。

Phase selection element based on phase relationship between sequence components of faulty branch current

LIU Kai^{1,2},SUONAN Jiale¹

(1. School of Electric Engineering,Xi'an Jiaotong University,Xi'an 710049,China;

2. Yantai Dongfang Electric Information Industry Co.,Ltd.,Yantai 264001,China)

Abstract: The phase relationship between the positive sequence and negative sequence components of faulty branch current contains clear information of fault,but it is easily influenced by the current distribution coefficient. The negative sequence component of differential current is inphase with that of faulty branch current. After the positive sequence component of differential current is subtracted by the positive sequence capacitive current caused by system power sources,it becomes inphase with the positive sequence component of the faulty branch current. The faulty phase can thus be selected according to the phase relationship between the positive sequence components of modified differential current and the negative components. Being highly sensitive and available during whole fault period,the proposed phase selection element is immune to the distributed line capacitance,line compensation reactor and current distribution coefficient. Simulative results show its validity.

Key words: relay protection; phase selection; fault currents; positive sequence component; negative sequence component; distributed line capacitance