

基于故障电流幅值与相位差的电流差动保护判据

丛伟¹,张琳琳²,程学启³,邱升孝³,荀堂生⁴,宋志明⁴

(1. 山东大学 电网智能化调度与控制教育部重点实验室, 山东 济南 250061;

2. 山东泰安供电公司, 山东 泰安 271000; 3. 山东潍坊供电公司, 山东 潍坊 261021;

4. 国网技术学院, 山东 济南 250002)

摘要: 提出了一种基于故障分量电流幅值与相位差的电流差动保护判据, 其中差动电流为本侧电流故障分量幅值加上对侧电流故障分量幅值与二者相位差余弦值之积, 制动电流为本侧电流故障分量幅值减去对侧电流故障分量幅值与二者相位差余弦值之积。分析了不同系统阻抗、过渡电阻、分布电容对该差动保护判据性能的影响, 并与目前广泛应用的故障分量电流相量差动保护判据和标积制动原理的差动保护判据进行了性能上的对比分析, 同时采用 EMTDC 软件进行了算例仿真。分析计算结果表明, 所提的差动保护判据在区内故障时的灵敏度更高, 区外故障时的安全性更好, 在不同系统阻抗、过渡电阻、分布电容条件下均具有良好的性能。

关键词: 故障电流; 灵敏度分析; 继电保护; 幅值; 相位差; 仿真

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.05.005

0 引言

电流差动保护原理具有较强的提取内部故障信息的能力, 在电力系统中应用广泛, 大多数设备和线路都优先采用电流差动保护作为主保护^[1-3]。电流差动保护易受不平衡电流的影响, 在实际应用中需引入制动电流和制动系数, 与差动电流共同构成差动保护判据, 以便可靠区分区内和区外故障^[4]。

根据差动电流和制动电流构成的不同, 差动保护判据大致可分为全电流相量差动、各种形式的电流故障分量差动、零序电流差动、采样值差动、电流相位差动、标积制动等, 不同的判据采用不同的差动电流和制动电流构成方式, 表现出的特性也就不一致^[5-7]。因此, 采用何种电流量、以何种方式构成差动电流和制动电流, 是研究电流差动保护判据的关键问题之一, 也直接决定了电流差动保护性能的优劣。

本文提出一种基于故障分量电流幅值与相位差的电流差动保护判据。故障电流分量具有不受负荷电流影响、灵敏度较高等优点, 而其相位差在发生区内、外故障时具有明显的差别, 不受负荷电流和过渡电阻的影响, 受分布电容影响也较小^[8-9]。采用故障电流分量的幅值和相位差构成电流差动保护判据, 可获得更好的性能。

1 基于故障电流分量幅值与相位差的电流差动保护判据

1.1 差动保护判据构成

图 1(a) 为典型的双端电源线路示意图, 图 1(b)、(c)

分别为发生区内、区外故障时的故障附加状态图^[9-10]。记左侧故障分量电流为 ΔI_m , 右侧故障分量电流为 ΔI_n , 二者之间的相位差为 θ 。由上述电气量构成的差动电流表达式为:

$$I_d = |\Delta I_m| + |\Delta I_n| \cos \theta \quad (1)$$

制动电流表达式为:

$$I_r = |\Delta I_m| - |\Delta I_n| \cos \theta \quad (2)$$

电流差动保护判据的表达式为:

$$I_d - K I_r \geq I_{set} \quad (3)$$

其中, I_{set} 为动作电流的门限值; K 为小于 1 的制动系数, 典型值取 0.75。

差动、制动电流也可由式(4)、式(5)构成:

$$I_d = |\Delta I_n| + |\Delta I_m| \cos \theta \quad (4)$$

$$I_r = |\Delta I_n| - |\Delta I_m| \cos \theta \quad (5)$$

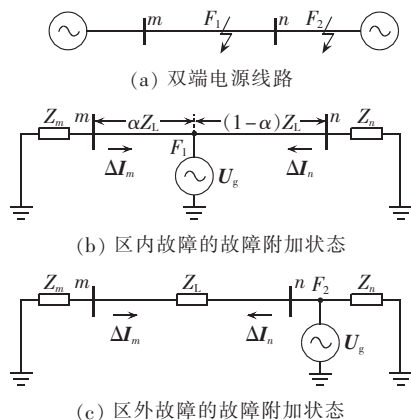


图 1 双端电源线路的故障附加状态

Fig.1 Additional fault status of dual-end power line

为使式(3)在区内故障时动作量较大, 而在区外故障时动作量尽可能小, 当 $|\Delta I_m| < |\Delta I_n|$ 时, 采用式(1)和式(2)构成差动电流和制动电流; 当 $|\Delta I_m| > |\Delta I_n|$ 时, 采用式(4)和式(5)构成差动电流和制动电流。

收稿日期: 2012-03-21; 修回日期: 2013-03-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50807032)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(50807032)

1.2 差动保护判据性能分析

在图 1 所示的系统中,如果在 F_1 处发生了区内故障,对应的故障附加状态如图 1(b)所示,则有:

$$|\Delta I_m| = |U_g/Z_m + \alpha Z_L| \quad (6)$$

$$|\Delta I_n| = |U_g/Z_n + (1-\alpha)Z_L| \quad (7)$$

$$\theta = \arg \frac{\Delta I_m}{\Delta I_n} = \arg \frac{U_g/Z_m + \alpha Z_L}{U_g/Z_n + (1-\alpha)Z_L} = \arg \frac{Z_n + (1-\alpha)Z_L}{Z_m + \alpha Z_L} \quad (8)$$

两侧的故障分量电流幅值主要取决于故障点电压变化量、各侧的系统阻抗、线路阻抗以及故障位置,对于双端电源系统, $|\Delta I_m|$ 、 $|\Delta I_n|$ 的值一般均较大^[6]。相位差 θ 仅由故障点两侧综合阻抗的阻抗角决定。在最不利的条件下,假定在 m 侧区内出口处短路且 $Z_n < Z_L$,此时最大相位差 $\theta_{\max} \approx \arg(Z_L/Z_m)$ 。在 220 kV 系统中, $\theta_{\max} < 25^\circ$ ^[12];在 500 kV 系统中, $\theta_{\max}$ 通常不大于 10° 。可见,在发生区内故障时,由于 θ 值较小,差动电流约等于两侧故障分量电流幅值之和,制动电流约等于二者之差,差动保护判据的动作电流较大,能够可靠判断发生了区内故障。当出现更严重的情况时,假设 n 侧系统阻抗很大导致 $|\Delta I_n|$ 相比 $|\Delta I_m|$ 很小,忽略 $|\Delta I_n|$ 后的差动保护元件的动作方程变为:

$$|\Delta I_m| \cos \theta + K |\Delta I_m| \cos \theta \geq I_{\text{set}} \quad (9)$$

由于 $|\Delta I_m|$ 较大,仍能保证正确判断出区内故障。

需要指出的是,由于在判据中引入了相位差,因此对 $|\Delta I_n|$ 与 $|\Delta I_m|$ 的幅值下限有要求。即当 $|\Delta I_n|$ 或 $|\Delta I_m|$ 降低到无法准确计算相位差 θ 时,本文所提判据将不再适用。

当在 F_2 处发生区外故障时,对应的故障附加状态如图 1(c)所示,忽略分布电容电流,则有:

$$|\Delta I_m| = |\Delta I_n| = |U_g/Z_m + Z_L + \alpha Z_n| \quad (10)$$

$$\theta = \arg(\Delta I_m/\Delta I_n) \approx \arg[\Delta I_m/(-\Delta I_m)] = 180^\circ \quad (11)$$

发生区外故障时,在忽略分布电容的前提下, $|\Delta I_m|$ 与 $|\Delta I_n|$ 的数值相等且较大, θ 基本为 180° 左右^[4]。此时差动电流约为 $|\Delta I_m| - |\Delta I_n|$,数值很小,而制动电流约为 $|\Delta I_m| + |\Delta I_n|$,数值较大,所以差动保护的动作电流为负值,能够可靠判断为区外故障。最不利的情况是在 F_2 处发生故障且 Z_m 很大,此时 $|\Delta I_m|$ 、 $|\Delta I_n|$ 均很小,可能会出现差动保护元件无法启动的情况。但是由于发生的是区外故障,差动保护元件不启动不会带来不利后果^[13]。

2 与基于故障分量电流相量和标积制动原理的差动保护判据性能比较

由故障电流分量构成的相量差动保护判据因为具有较高的灵敏度和可靠性得到了广泛的应用^[14],其动作方程为:

$$|\Delta I_m + \Delta I_n| - K |\Delta I_m - \Delta I_n| \geq I_{\text{set}} \quad (12)$$

标积制动方式下的差动保护判据动作方程为:

$$|\Delta I_m + \Delta I_n| - K \sqrt{|\Delta I_m| |\Delta I_n|} \cos \theta \geq I_{\text{set}} \quad (13)$$

本文主要分析比较式(12)、(13)所示差动保护判据与式(3)所示判据的性能。

为便于比较,将制动系数统一取为 0.75。发生区内故障时,理想情况下假设有 $\Delta I_m = \Delta I_n$,而在实际系统中,两侧的系统阻抗、线路阻抗以及故障位置等因素都会影响故障分量电流的大小和相位,因此 ΔI_m 和 ΔI_n 一般不完全相等^[15]。

a. 设两侧的系统阻抗远小于线路阻抗 Z_L ,故障点位于某侧区内的出口处,此时 ΔI_m 和 ΔI_n 具有一定的相位差(主要取决于线路阻抗 Z_L 的相位),二者的幅值主要取决于 Z_L 与系统阻抗的比值,可能相差十几倍甚至几十倍^[12]。

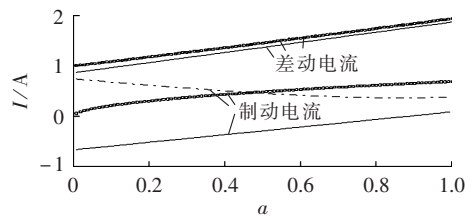
b. 对于弱馈或单侧电源系统,两侧的系统阻抗差异较大,发生区内故障时 ΔI_m 和 ΔI_n 具有较大相位差(主要取决于 Z_m 和 Z_n 之间的相位差,但不会超过 90°),二者的幅值主要取决于两侧系统阻抗的幅值,也可能相差十几倍甚至几十倍^[16]。

c. 如果发生非金属性故障,过渡电阻会改变 ΔI_m 和 ΔI_n 的幅值与相位,但并不会影响二者之间的相位差,因为此时有:

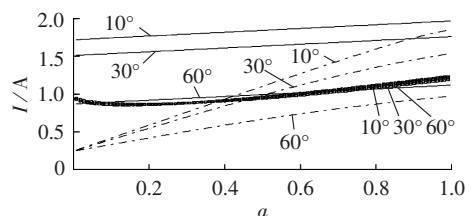
$$\theta = \arg \frac{\Delta I_m}{\Delta I_n} = \arg \frac{C_m \Delta I_g}{C_n \Delta I_g} = \arg \frac{C_m}{C_n} = \arg \frac{Z_n + (1-\alpha)Z_L}{Z_m + \alpha Z_L} \quad (14)$$

上式与式(8)一致。

综上所述,区内故障时令幅值比 $|\Delta I_m|/|\Delta I_n| = a$ (为方便分析,假设 $|\Delta I_n| = 1 \text{ A}$), $a = 0.01 \sim 100$,此时 3 种电流差动判据的动作特性对比如图 2、3 所示。其中,实线波形为本文提出的判据,点划线波形为传统的故障分量判据,矩形组成的波形为标积制动原理



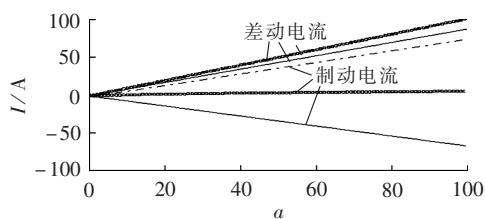
(a) 差动与制动电流对比



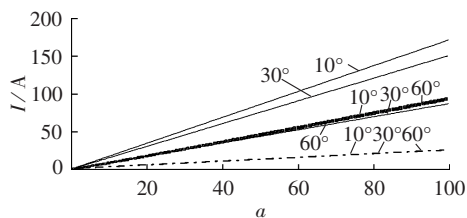
(b) 动作电流对比

图 2 区内故障时 3 种判据对比 ($a = 0.01 \sim 1$)

Fig.2 Comparison among three criteria for in-zone fault ($a = 0.01 \sim 1$)



(a) 差动与制动电流对比



(b) 动作电流对比

图 3 区内故障时 3 种判据对比 ($a=1\sim100$)Fig.3 Comparison among three criteria for in-zone fault ($a=1\sim100$)

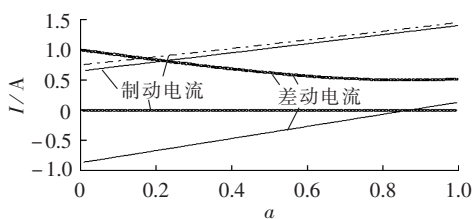
的保护判据,图 4、5—10 中同。

图 2 为区内故障且 $a=0.01\sim1$ 时 3 种判据各组曲线的对比图。图 2(a)为 $\theta=30^\circ$ 时差动电流与制动电流曲线的对比,可见本文所提判据的差动电流和制动电流均有所减小,但制动电流减小得更多,且 ΔI_m 和 ΔI_n 的幅值差异越大,制动电流越小,所以本文所提判据的动作电流更大。 θ 取不同值时得到的结果如图 2(b)所示,当 θ 变大时,若幅值比 a 过小或者接近 1,标积制动原理的保护判据表现出稍高的灵敏度,但总体而言差别不大。图 3 为 $a=1\sim100$ 时 3 种判据各组曲线的对比,分析结果与图 2 类似。可见在区内故障时,本文所提判据表现出较高的灵敏度。

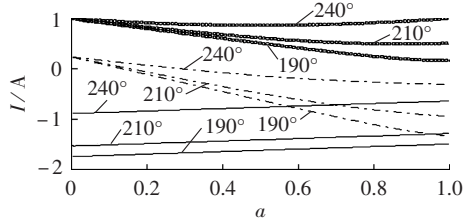
区外故障时,理想情况下有 $\Delta I_m = -\Delta I_n$,而实际中考虑各种因素的影响, θ 会在 $180^\circ \pm 90^\circ$ 的范围内变化,幅值比可能变为理想情况下的十几倍甚至几十倍^[17]。区外故障时还应考虑分布电容的影响。文献[17]通过分析表明:线路外部故障时,线路两端故障分量电流相位差受分布电容的影响很小,基本在 180° 附近变化,但二者的幅值比会受到影响。

取 $\theta=210^\circ$, $a=0.01\sim100$,此时 3 种判据的动作特性对比如图 4、5 所示。

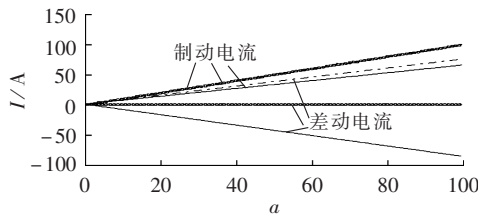
图 4(a)为区外故障且 $a=0.01\sim1$ 时 3 种判据各组曲线的对比。可见本文所提判据的差动电流与制动电流均比较小,但是差动电流减小得更多,且 ΔI_m 和 ΔI_n 的幅值差异越大,差动电流越小,所以其动作电流更小。当 θ 取不同值时的对比结果如图 4(b)所示,经分析可得与图 4(a)相同的结论。图 5 为 $a=1\sim100$ 时 3 种判据各组曲线的对比,分析结果同图 4。可见在区外故障时,本文所提判据的动作电流更小,安全性更高。需要指出的是,虽然在部分区内故障情况下,标积制动判据有稍高的灵敏度^[18],但在区



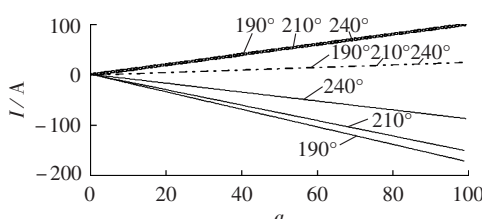
(a) 差动与制动电流对比



(b) 动作电流对比

图 4 区外故障时 3 种判据的对比 ($a=0.01\sim1$)Fig.4 Comparison among three criteria for out-zone fault ($a=0.01\sim1$)

(a) 差动与制动电流对比



(b) 动作电流对比

图 5 区外故障时 3 种判据的对比 ($a=1\sim100$)Fig.5 Comparison among three criteria for out-zone fault ($a=1\sim100$)

外故障时,标积制动判据的安全性最差,可见本文所提判据具有更优良的性能。

3 算例仿真

为了进一步分析本文所提电流差动保护元件的性能,利用 EMTDC 进行了大量的算例仿真分析。仿真采用的 220 kV 双端电源系统模型如图 6 所示。

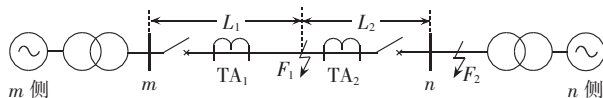


图 6 仿真系统结构图

Fig.6 Structure of simulation system

线路全长 200 km,其中 $L_1=150$ km, L_2 为 50 km, F_1 为区内故障点, F_2 为区外故障点。线路参数如下: $Z_1=Z_2=0.05+j3.08 \Omega/\text{km}$, $Z_0=0.163+j0.9671 \Omega/\text{km}$, $X_{C1}=X_{C2}=-j274574.4 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$, $X_{C0}=-j403714.17$

$M\Omega \cdot km$ 。故障类型为 A 相接地短路,设定 TA 变比为 $1\text{ kA}/5\text{ A}$,制动系数 $K=0.75$ 。

在不同的故障条件下,对 3 种判据中的差动电流与制动电流以及动作电流的大小进行对比分析。选取如下 3 种较为典型的故障条件:

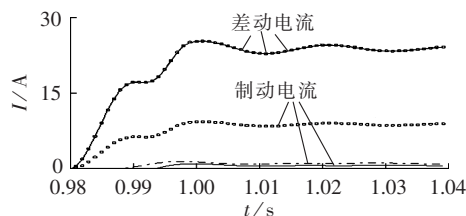
a. F_1 、 F_2 处分别发生金属性短路;

b. n 侧为弱馈电源, F_1 处发生非金属性短路,取过渡电阻 $R_g=500\ \Omega$;

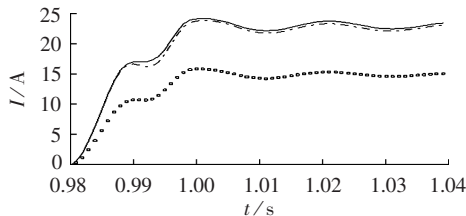
c. F_2 处发生故障,且线路的分布电容较大,取值为 $15.776 \times 10^{-3}\ \mu\text{F}/\text{km}$ 。

故障 a 时 3 种判据对比如图 7、8 所示。由图 7 可见,区内金属性故障时,本文所提判据的动作电流较大,表现出较高的灵敏度;由图 8 可见,在区外故障时,本文所提判据的动作电流较小,具有较高的安全性。算例仿真的结论与数值分析的结论一致。

故障 b 时 3 种判据对比如图 9 所示。由图可见,



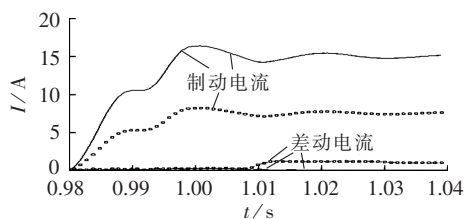
(a) 差动与制动电流对比



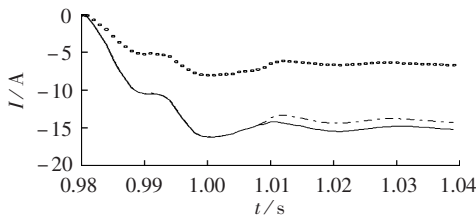
(b) 动作电流对比

图 7 F_1 处金属性故障时 3 种判据的对比

Fig.7 Comparison among three criteria for metallic grounding at F_1



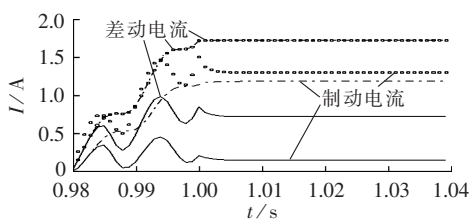
(a) 差动与制动电流对比



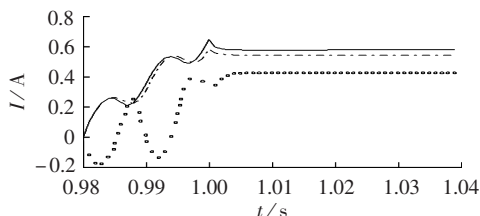
(b) 动作电流对比

图 8 F_2 处金属性故障时 3 种判据的对比

Fig.8 Comparison among three criteria for metallic grounding at F_2



(a) 差动与制动电流对比



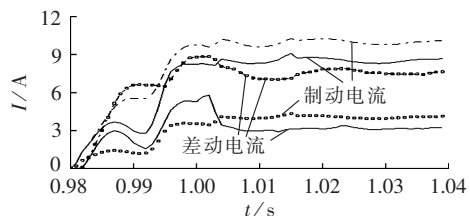
(b) 动作电流对比

图 9 弱馈系统经过渡电阻区内故障时 3 种判据的对比

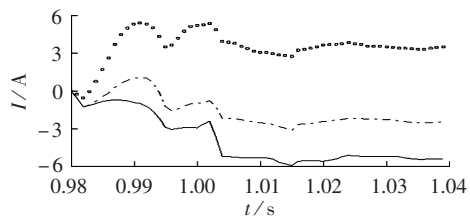
Fig.9 Comparison among three criteria for in-zone fault with transition resistance of weakly fed system

在弱馈且经过渡电阻发生内部故障时,本文所提判据的动作电流仍然相对较大,灵敏度更高。

故障 c 时 3 种判据对比如图 10 所示。由图可见,大分布电容线路发生区外故障时,可能造成传统差动保护误动作。此时若采用本文所提判据,计算得到的动作电流比另外 2 种传统判据的动作电流小,故安全性更高,可在一定程度上减少差动保护误动作的可能性。



(a) 差动与制动电流对比



(b) 动作电流对比

图 10 大分布电容区外故障时 3 种判据的对比

Fig.10 Comparison among three criteria for out-zone fault with large distributed capacitance

综上所述,与传统的故障分量电流相量差动保护判据和标积制动原理的差动保护判据相比,在不同的区内故障条件下,本文所提判据均具有较高的灵敏度,在不同的区外故障条件下,均具有较高的安全性。与其他类型的差动保护判据相比,得到的结论也与上述结论一致,限于篇幅,不再赘述。总而言

之,本文所提差动保护判据可用在不同设备的差动保护中,在故障发生初期对区内和区外故障进行快速、可靠的区分。

4 结语

本文提出了一种基于故障分量电流幅值与相位差的差动保护判据,给出了动作表达式并对其性能进行了分析。以常用的故障电流分量相量差动保护判据和标积制动原理的差动保护判据为例,采用数值分析和 EMTDC 软件仿真计算等方式比较了三者在不同故障条件下的性能。结果表明:本文所提判据在区内故障条件下具有较高的灵敏度,在区外故障条件下具有较高的安全性,可用在电流差动保护中,对区内和区外故障进行快速、灵敏、可靠的区分。

参考文献:

- [1] 张保会,尹项根. 电力系统继电保护技术[M]. 北京:中国电力出版社,2005:146-150.
- [2] 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 differential protection for EHV/UHV transmission line[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(3):13-17.
- [3] 李鹏,李莉,李玉海. 电力主设备继电保护存在的问题及对策[J]. 电力自动化设备,2010,30(11):141-145.
LI Peng,LI Li,LI Yuhai. Problems of protections for main equipment and countermeasures[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(11):141-145.
- [4] 陈德树,尹项根,张哲,等. 故障分量差动保护与故障变化量差动保护[J]. 电力系统自动化,2008,32(9):39-41.
CHEN Deshu,YIN Xianggen,ZHANG Zhe,et al. Fault component differential protection and fault variation component differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(9):39-41.
- [5] 刘静,邵能灵,李坤. T型线路电流差动保护研究[J]. 电力自动化设备,2008,28(10):58-63.
LIU Jing,TAI Nengling,LI Shen. Differential current protection of T-type transmission lines[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(10):58-63.
- [6] 柳焕章,李晓华. 新型数字线路电流差动保护原理及其应用[J]. 电网技术,2007,31(11):74-81.
LIU Huanzhang,LI Xiaohua. A novel principle of digital current differential protection for transmission line and its application[J]. Power System Technology,2007,31(11):74-81.
- [7] 李斌,曾红艳,范瑞卿,等. 基于故障分量的相位相关电流差动保护[J]. 电力系统自动化,2011,35(3):54-58.
LI Bin,ZENG Hongyan,FAN Ruiqing,et al. Phase correlation current differential protection based on fault component[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(3):54-58.
- [8] 索南加乐,杨斌,邵文权. 基于模量的线路模型识别纵联保护新原理[J]. 电力自动化设备,2009,29(10):21-24.
SUONAN Jiale,YANG Cheng,SHAO Wenquan. Model recognition longitudinal protection based on modules for transmission lines[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(10):21-24.
- [9] 高淑萍,索南加乐,宋国兵,等. 高压直流输电线路电流差动保护新原理[J]. 电力系统自动化,2010,34(17):45-49.
GAO Shuping,SUONAN Jiale,SONG Guobing,et al. A new current differential protection principle for HVDC transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(17):45-49.
- [10] 索南加乐,邓旭阳,李瑞生,等. 基于故障分量综合阻抗的T接线纵联保护新原理[J]. 电力自动化设备,2009,29(12):4-9.
SUONAN Jiale,DENG Xuyang,LI Ruisheng,et al. Principle of T-type transmission line pilot protection based on fault component comprehensive impedance[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(12):4-9.
- [11] 索南加乐,孙成,杨斌,等. 双端带并联电抗器的输电线路纵联保护[J]. 西安交通大学学报,2009,43(10):99-103.
SUONAN Jiale,SUN Cheng,YANG Cheng,et al. Novel pilot protection for transmission line with shunt reactor at double terminal[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University,2009,43(10):99-103.
- [12] 王晓宇,伍叶凯,黄少锋. 检测故障分量的光纤纵联差动保护[J]. 电力自动化设备,2004,24(2):60-62.
WANG Xiaoyu,WU Yekai,HUANG Shaofeng. Optical pilot differential current protection based on fault component[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(2):60-62.
- [13] 张振宇,贺家李,汪国新,等. 基于故障分量的方向电流差动保护[J]. 中国电力,2005,38(8):1-6.
ZHANG Zhenyu,HE Jiali,WANG Guoxin,et al. Directional current differential protection based on fault components[J]. Electric Power,2005,38(8):1-6.
- [14] 索南加乐,张泽宁,栗小华,等. 基于故障分量的分相阻抗差动保护新原理[J]. 电力系统自动化,2008,32(4):41-45.
SUONAN Jiale,ZHANG Yining,SU Xiaohua,et al. Novel principle investigation of segregated phase impedance differential protection based on fault components[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(4):41-45.
- [15] 汤俊,王晓茹,桑丙玉. 稳态量分相电流差动保护判据制动特性的改进[J]. 电力系统自动化,2008,32(11):44-48.
TANG Jun,WANG Xiaoru,SANG Bingyu. Improvement on restraining characteristic of a dispersed phase current differential protection criterion using steady currents[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(11):44-48.
- [16] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,2007:107-112.
- [17] 赵永彬,陆于平. 基于故障分量的变压器浮动比率差动保护[J]. 电力系统自动化,2007,31(13):83-87.
ZHAO Yongbin,LU Yuping. A new algorithm based on fault increment for transformer floating ratio differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(13):83-87.
- [18] 张艳霞,张家杭. 标积制动判据归一化的研究[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(23):42-46.
ZHANG Yanxia,ZHANG Jiahang. Study on the normalization of scalar product restrain criterion[J]. Power System Protection and Control,2012,40(23):42-46.

作者简介:

丛伟(1978-),男,山东文登人,副教授,博士,主要研究方向为电力系统继电保护(E-mail: weicong@sdu.edu.cn);

张琳琳(1987-),女,山东新泰人,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护;

程学启(1963-),男,山东临沂人,高级工程师,主要研究方向为电力系统运行。

(下转第36页 continued on page 36)

- [C]//Proceedings of the American conference. San Diego, California, USA: [s.n.], 1999: 2886-2890.
- [16] 陆超, 陆秋瑜. 电力系统低频振荡模式的自动分类研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(4): 35-38, 48.
- LU Chao, LU Qiuyu. Research on power system low frequency oscillation modes classification[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(4): 35-38, 48.
- [17] ERLICHER S, ARGOUL P. Modal identification of linear non-proportionally damped systems by wavelet transform[J]. Mechanical

System and Signal Processing, 2007, 21(3): 1386-1421.

作者简介:

潘学萍(1972-), 女, 安徽天长人, 副教授, 博士, 主要研究方向为电力系统分析与控制(**E-mail**: xueping_pan@163.com);

扈卫卫(1986-), 男, 山西孝义人, 硕士研究生, 研究方向为电力系统低频振荡等(**E-mail**: xxzjnlqf@163.com);

尚 霏(1987-), 女, 天津人, 硕士研究生, 研究方向为电力系统低频振荡等(**E-mail**: shangfei216@163.com)。

Wavelet analysis based modal parameter identification from multiple signals

PAN Xueping, HU Weiwei, SHANG Fei

(Research Center for Renewable Energy Generation Engineering, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: An optimization method based on wavelet analysis is applied to identify the mode and modal shape of power system oscillation from multiple signals, which judges the mode observability of each signal according to the wavelet coefficients at wavelet ridge and adopts an optimization method to coordinate the mode parameters of signals with higher observability while neglects those with poor observability. The modal shape is also identified according to the wavelet coefficients at wavelet ridge. Because the energy of mode to be identified decays to zero at different times in different signals, a unified identification interval is proposed to identify the system modal parameters for easy modal shape analysis. Case study for a 2-area 4-machine system and the 10-machine New England system demonstrates that the identification accuracy of oscillation frequency and damping parameters is improved and the modal shape information among multiple signals is obtained.

Key words: electric power systems; wavelet transforms; wavelet ridge; optimization; mode; modal shape; signal analysis

(上接第 30 页 continued from page 30)

Criterion of current differential protection based on amplitude and phase difference of fault current

CONG Wei¹, ZHANG Linlin², CHENG Xueqi³, QIU Shengxiao³, XUN Tangsheng⁴, SONG Zhiming⁴

(1. Key Laboratory of Power System Intelligent Dispatch and Control, Ministry of Education, Shandong University, Ji'nan 250061, China; 2. Shandong Taian Power Supply Company, Taian 271000, China;

3. Shandong Weifang Power Supply Company, Weifang 261021, China;

4. State Grid of China Technology College, Ji'nan 250002, China)

Abstract: A criterion of current differential protection is proposed, which is based on the amplitude and phase difference of fault current component. The differential current is the sum of the fault current amplitude on own side and the product of that on opposite side and the cosine of phase difference between them, while the braking current is the difference. The influences of system impedance, transition resistance and distributed capacitance on the performance of the proposed criterion are analyzed. It is compared in performance with the fault current phasor differential criterion and the scalar product braking differential criterion. Results of simulation with EMTDC show that, the proposed criterion has higher sensitivity to in-zone faults, higher security for out-zone faults and better performance under different system impedances, transition resistances and distributed capacitances.

Key words: electric fault currents; sensitivity analysis; relay protection; amplitude; phase difference; computer simulation