

振荡闭锁期间再故障的距离保护判别方法

侯慧, 尹项根, 游大海

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 介绍了近年来用于微机距离保护中区分电力系统振荡与振荡中再故障的方法。论文把它们分成了识别振荡与对称故障、振荡与不对称故障和发展中的新型方法三大类, 分别对其各自的优点及局限性和局限性进行了分析和总结, 得出了一些有意义的结论。

关键词: 电力系统; 距离保护; 振荡闭锁; 故障; 小波变换; 神经网络; 模糊逻辑

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)08-0007-06

0 引言

电力系统受扰动后, 并列运行的两部分系统(包括电机和系统)间, 将可能发生振荡。根据我国电网特征, 振荡过程中不允许继保发生误动作; 而在发生故障时, 要求继保正确动作。这里就提出了振荡与短路故障如何区别以及振荡过程中如何迅速开放保护的问题。

在国外的保护产品中, 振荡闭锁模块往往都采用了较简单的原理构成。例如, 国内广泛采用的美国 SEL 公司的系列保护产品, 对于振荡中的故障简单地采用负序解锁开放保护, 这显然是不可靠的, 对于振荡过程中的三相对称故障可能造成误闭锁。因此, 实际应用时大多需要重新编写 SEL logic 方程来适应我国电网的实际情况^[1,2]; 再比如同样普遍采用的德国西门子公司生产的 7SL 系列保护产品, 只是增加几种振荡后处理的方式, 如值班人员可根据情况选择振荡后闭锁第 I 段以外的所有各段, 或选择仅闭锁第 I 段, 或闭锁所有段, 显然, 这也不可能从根本上保护振荡中发生短路时能快速切故障。实际上, 国外引进的保护装置不能很好地满足我国电网要求的问题几乎都与振荡闭锁有关, 究其原因国外电网联系相对较强, 分析计算深透, 安全稳定措施较完善, 因此, 继保由于振荡产生的动作, 只要是保护装置本身无问题, 仍被评价为正确动作^[2,3]。

在我国, 电网联系相对薄弱, 振荡闭锁元件原则上偏重于如何在振荡中再故障的情况下快速开放保护以及防止振荡中保护误动作, 实践也证明了此原则对于我国电力系统的安全稳定运行是正确的。

1 各种识别振荡中再故障的方法综述

根据电力系统中振荡与故障的不同特点, 通常

把振荡过程中的故障分为对称故障和不对称故障两种情况。因此, 判据也通常分为两类: 一类用于检测振荡过程中的对称故障; 另一类用于检测振荡过程中的不对称故障。近年来, 还有人提出了利用小波分析、人工神经网络、模糊逻辑等人工智能方法来区分振荡与故障的综合方法。下面分别对其进行阐述。

1.1 振荡过程中非对称故障的识别方法

1.1.1 利用非对称故障时出现的负序分量

电力系统发生不对称短路故障时, 系统中有负序电流、负序电压出现, 而在电力系统全相振荡时, 一般不会出现负序电流、电压。因此, 应用负序分量可以把振荡和不对称短路故障区分开来。这种方法原理简单, 应用较早, 但由于振荡电流很大时, 负序分量滤波器有较大不平衡输出, 因而这种方法是很不稳定的。另外, 当短路故障发生在振荡中心附近时, 因故障前电压很低, 所以负序分量也较低, 难以检测出短路故障^[3~5]。在文献[6]中还提出通过检测负序电压与负序电流之间的相角差来检测故障方向, 也是一个可以考虑采用的途径。

有时, 为了克服负序分量滤波器的不平衡输出的问题, 引入零序电流增量 I_0 , 但在振荡周期较短、振荡激烈的某些场合, $I_2 + I_0$ (这里 I_2 为负序电流增量) 同样会有不平衡输出, 仍有可能误判^[4]。因此, 这类方法在实际应用中已不常见。

1.1.2 利用负序电流与零序电流绝对值之和与正序电流绝对值之间的比值关系

这种方法是利用负序电流与零序电流绝对值之和与正序电流绝对值的比值关系
$$= \frac{|I_2| + |I_0|}{|I_1|} >$$

0.66 来判断振荡中的非对称性故障。式中, $|I_2|$ 、

$|I_1|$ 、 $|I_0|$ 为不对称短路故障时保护安装处负序、零序、正序的电流绝对值。

这一方案利用振荡与故障时正、负及零序电流之间的数值关系进行判断,改善了振荡中保护的性,因其原理简单、易行,已在国内获得广泛应用。但由于其引入了 I_1 作为制动量,在某些故障条件下延时可能较长。另外,整定值 0.66 只是工程经验值,目前尚无严格理论依据,有可能会出整定不当的情况^[4,7~9]。

1.1.3 利用电流幅值的方法

不对称故障的特征是三相电流不对称。在正常情况下线路流过对称的负荷电流。在不对称故障时电流的故障分量很大,破坏了三相的对称性,因此文献^[10]提出振荡中发生不对称故障的判据:

$$I_{\max} > K I_{\min} \quad (K = 1.8) \quad (1)$$

$$3I_0 > K_0 I_{\max} \quad (K_0 = 0.6) \quad (2)$$

式中: I_{\max} 、 I_{\min} 分别为流过保护的最大、最小电流, $3I_0$ 为流过保护的 3 倍零序电流。在正常情况下或系统振荡时,三相电流对称, $I_{\min} = I_{\max}$, $3I_0 = 0$, 以上两式都不满足。在振荡中再故障时,三相电流的不对称与故障点在系统中的位置有关,并随两侧电势的夹角而变化。因此,正确选择两个判据中的系数 K 和 K_0 可以保证保护装置正确动作,理论计算认为, $K = 1.8$, $K_0 = 0.6$ 可以满足条件^[7,10]。

这种方法计算过程简单,没有移相运算,不受振荡时系统频率变化的影响。但是,判据中系数 K 和 K_0 的取值是通过理想条件下的极限计算给出的一个留有裕度的值,它的整定缺乏在各种情况下的实验的考证,特别是在现场干扰很严重的情况下,难以保证 $3I_0$ 、 I_{\max} 、 I_{\min} 之间的如此完美的比值关系,微小的误差或扰动将可能造成保护误动。

1.2 振荡过程中对称故障的识别方法

1.2.1 利用振荡中心电压 U_z 变化

振荡中心处电压 U_z 可表示为

$$U_z = U_M \cos \delta_M \quad (3)$$

式中: U_M 、 δ_M 分别是保护安装侧母线的电压及其相角,其乘积正好是振荡中心电压。该值在振荡时作大幅度变化,而三相短路时,保护安装处测得的振荡中心电压总是小于额定电压的 6%。因此,实际工程中,往往根据最长振荡周期设定 $U_M \cos \delta_M$ 的范围如下:

$$-0.03U_N < U_M \cos \delta_M < 0.08U_N \quad (4)$$

当 $U_M \cos \delta_M$ 满足式(4)且时间达 150 ms,即判

为振荡过程中发生了三相短路故障^[7,8,12~14]。

另一种同样原理的判据是根据 $\frac{d(U_M \cos \delta_M)}{dt}$ 的值来判断。当其超过某一定值时,说明系统发生了振荡。当发生三相短路时, $U_M \cos \delta_M$ 不变, $\frac{d(U_M \cos \delta_M)}{dt} = 0$, 因此,也可采用 $\frac{d(U_M \cos \delta_M)}{dt}$ 的大小来区分三相短路故障和振荡^[4,7,12,13]。

1.2.2 利用测量阻抗变化率 dZ_m/dt

系统正常运行时,测量阻抗等于负荷阻抗,为一定值,其变化率为 0。系统振荡时,测量阻抗不断变化,系统两侧电势角摆开 180 时,振荡中心电压变化最快,此时测量阻抗变化率最小。统计资料表明,最小值可取 $\frac{1}{6} Z_\Sigma$ 。实际系统中,只要满足

式(5),就可认为系统发生振荡。当三相的 $\frac{dZ_m}{dt}$ 不满足式(5)时,可判定发生了三相短路故障,解除闭锁开放保护,从而识别了振荡过程中发生的三相短路故障^[6,16~19]。

$$\left| \frac{dZ_m}{dt} \right| < \frac{1}{6} Z_\Sigma \quad (5)$$

测量阻抗变化率元件对实际系统可能发生的振荡都能有效地进行振荡闭锁;对于振荡时发生的对称性故障,能自动解除振荡闭锁。但实际系统中,测量阻抗最小变化率容易受多种因素的影响而产生很大误差,如求测量阻抗时用傅氏算法提取的各信号基频分量对实际各信号基频的偏差、以差分代替微分引起的误差等等,这使得应用式(5)时需乘上一可靠系数才行,但这个可靠系数也是难以确定的。同时,这种方法需经较长时间(至少 200 ms)才能检测出振荡中的故障而出口。这是因为 dZ_m/dt 在故障暂态中较大,而在振荡且功角位于 180 附近时较小,与故障稳态时的表现相似,而恰恰在此时保护最易误动,因此,即使开放条件满足,也须带一定延时才能出口。

1.3 发展中的新型方法

1.3.1 利用小波变换识别振荡中的轻微故障

随着近年来小波技术的发展成熟和广泛应用,文献^[20]、^[21]创造性地选取 Daubechies5 阶正交小波基为母小波,采用多分辨分析,使用两组滤波器把电流波形分解为平滑版本(低频分量)和细节版本(高频分量)两个版本。由于小波变换后细节版本在振荡时相对较小,而在系统正常运行或者振荡

时发生故障,将引发一个强烈的暂态过程,故障电流通过小波滤波器得到的高频分量比起振荡电流而言要大得多。因此,该幅值(小波分析中称为局部模极大值)可作为区分振荡电流与故障电流的依据。

这种方法成功地应用了新型的小波分析,能准确区分纯振荡与纯故障,对于振荡中发生的各种故障也能做到准确识别。但是,仅根据小波变化后的一点来作出是否故障的判断,对于干扰较重的现场,其可靠性较低。虽然本方法有一定的应用前景,但目前还未投入到工程应用中。

文献[22]也阐述了一种利用小波变换进行信号特征的提取的方法,通过分析信号的奇异性来确定故障的发生和故障发生的时间,但文中并未阐明作者采用何种基小波,这使得其后的分析和仿真显得很模糊,缺乏论据。文献[23]、[24]也分别提出了采用递归小波变换的方法进行振荡中的故障检测,其基小波均采用满足容许性条件的快速衰减复函数为母小波,当系统发生故障时将引发强烈的暂态过程,小波变换可迅速提取其高频分量,无延时地区分出振荡与故障。

1.3.2 利用神经网络的方法

文献[25]的振荡闭锁元件首次采用BP神经网络来实现,利用振荡时三相对称且系统中各点的电压、电流幅值做周期性变化,而故障时有突变的特点作为神经网络特征量提取的依据。这种方法在一定程度上具备了自适应性,并且凭借神经网络的固有特点,具有模糊判断、综合分析的优点,与传统的振荡中故障检测元件相比,性能有所提高。但其输入量采用基频分量,从而丢掉了包含丰富信息的暂态高频分量,最终导致闭锁网络的训练难度增大,甚至对于各种异常、故障情况下形成的学习样本集不收敛。由于算法训练的复杂性及硬件条件的限制等原因,现阶段只能作为一种理论探讨,与实际应用还有一段距离。

1.3.3 利用小波神经网络的方法

文献[26]在分析了文献[20]的缺陷后,采用小波神经网络的方法,选择二次样条小波作为小波神经网络自适应变换层的母小波,在任何情况下能够准确识别出是否发生故障,分析网络层采用BP网络结构来调节整个权空间。只要提供完备的神经网络学习集,即所有影响目标实现的变化参数,按照适当的步长经组合形成样本集,通过训练,使小波神经网络收敛,从而使训练后的小波神经网络具备故障识别能力,以此来实现样本集所覆盖空间下的现场

实际振荡中故障状态的识别。

这种方法集中了神经网络和小波分析两方面在信号处理及逻辑分析中的优势,与传统的解析方法相比,响应速度及准确率都有所提高。另外,为了识别网络更加准确,可增加现场自学习功能。但由于其算法极其复杂,实现起来较困难,受现有硬件条件的限制,在实际应用中很多方面还有待进一步改进。

1.3.4 基于模糊集合理论的方法

文献[27]、[28]分别提出了应用模糊集合理论来识别电力系统振荡中的故障的方法,认为根据单一判据、利用某一精确而绝对的定值来区分振荡与短路是有局限性的,故采用模糊集合理论。文献[27]对三相故障采用 $U \cos$ 和 $\frac{d(U \cos)}{dt}$ 两种判据,其权重分别设为 0.4 和 0.6,综合模糊输出为 $fuzzyout = fuzzyout1 \times 0.4 + fuzzyout2 \times 0.6$,当综合评判的模糊输出大于 0.9 时,认为振荡中发生了对称故障。文献[28]采用类似方法,只是综合判据使用了 $U \cos$ 、 $\frac{d(U \cos)}{dt}$ 和 $\frac{dR}{dt}$ 等三种,权重分别为 0.35、0.3、0.35,当综合模糊输出大于 0.65 时,即认为发生了对称故障。

这种判据实际上就是综合了几个判据作为一个整体输出再作判断,但是其各个判据的权重以及最后的阈值的选取仍然带有很大的主观性,只通过几个样本的分析就确定相关参数的值,同时因为其采用了多种判据,使得计算量增大,计算时间延长,必然影响到出口速度的减慢。

1.3.5 利用比较各处电压相角之间的关系的方法

文献[29]、[30]提出一种比较保护安装处电压 U_R 的相角 α_R 、故障发生处电压 U_F 的相角 α_F 以及距离 l 段极限处电压 U_Z 的相角 α_Z 之间的关系来检测区内故障和区外故障的方法。文章认为,在通过各种方法求得以上各角后,对于保护区内部故障,有

$$\alpha_Z < \alpha_F < \alpha_R \quad (7)$$

而区外故障时,有

$$\alpha_F < \alpha_Z < \alpha_R \quad (8)$$

这种方法实现起来较简单,可以应对快速振荡过程中的对称及不对称故障,对于高阻接地故障也很灵敏。但当保护安装处继电器的相角 α_R 在 0 或附近时不能正确动作,尽管这个时间段很短,一般不超过 1/10 个周波,但如果此时发生故障,保护就可能误动作^[11, 29, 30]。

1.3.6 新型自适应振荡闭锁方法

文献 [31]、[32] 分别从理论分析角度和判据实现角度对其提出的新型自适应振荡闭锁判据进行了阐述。它是在传统的大圆套小圆判据上改进的。传统的大圆套小圆判据通过观察测量阻抗在 (R, X) 平面上的变化规律来判断振荡, 如图 1 所示, 小圆为 I 段偏移阻抗圆, 大圆为 II 段偏移阻抗圆。短路故障时, 两继电器同时动作, 而振荡时先后动作时差为 t_1 , 从而可区分三相短路故障和振荡。这是国外距离保护中的传统方法, 这种方法在失步时间不长或突发振荡时灵敏度不够高。

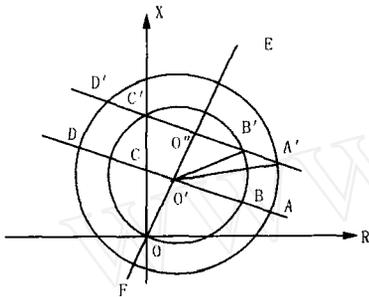


图 1 大圆套小圆判据

Fig 1 Criterion of small circle within great circle

新型自适应方法令测量阻抗先后进入大、小圆的时间间隔为 $t_1 = t_2 - t_1$, 在小圆内停留的时间为 $t_2 = t_3 - t_2$ 。在同一个振荡周期内, t_2 / t_1 总存在一个最大值。如果能够找到最大值, 即可根据当前的 t_1 的大小相应地附加一个保护延时 t_{max} , 使之避开能令保护误动的短时振荡状态。而在区内故障时, 阻抗跨越两圆的时差为 0, 保护可瞬时开放, 从而实现了一种新的自适应振荡闭锁方案。

该判据在一般情况下快速动作优势较明显, 而且可以反映各种类型故障 (对称故障与不对称故障)。但对于缓慢发展起来的故障或振荡中测量阻抗轨迹穿越大圆但仅与小圆相切等特殊情况, 测量阻抗在两圆间停留的时间 t_1 较长, 相应的 t_{max} 延长, 此时动作速度太慢, 必须与其他判据 (如上文提到的 $|I_2| + |I_0| > |I_1|$ 以及 $U \cos$ 判据等) 配合使用, 这种需要和其他判据互为补充配合的方案实现起来比较麻烦, 应用前景不甚乐观。

2 结论与展望

本文对现有的各种识别振荡中故障的方法进行了原理分析和比较, 可得出以下结论:

传统而成功应用的判据有 $|I_2| + |I_0| > |I_1|$, 测量阻抗变化率 dZ_m/dt , 振荡中心电压变化 U_z 判据等等; 近年来, 又出现了一些新兴的方法, 大多结

合了小波分析、神经网络等新型数学工具。与传统方法相比, 这些方法想法独特, 具有创新意义, 性能有所提高, 对微机保护振荡闭锁元件做了有益的探讨, 但遗憾的是这些算法大多也比较复杂, 实现起来受到硬件条件的限制, 同时大多数仍需要与传统判据相结合, 因此, 在工程实际中还没有成熟应用的例子。

但是, 随着微机继电保护硬件的迅猛发展和软件算法的层出不穷, 新型的小波分析、模糊逻辑、人工神经网络等方法也定将在未来的电力系统继电保护中发挥巨大作用。

参考文献:

- [1] Schweitzer Engineering Laboratories, NC. SEL-311C Protection and Automation System Instruction Manual [M]. America: Schweitzer Engineering Laboratories, NC. 2002
- [2] 张晓春, 魏松, 张家安. SEL-311C 距离保护振荡闭锁运行分析 [J]. 湖北电力, 2003, 27(4): 19-21. ZHANG Xiao-chun, WEI Song, ZHANG Jia-an. The Running Analysis of SEL-311C Distance Protection Out-of-step Unit [J]. Hubei Electric Power, 2003, 27(4): 19-21.
- [3] 陈志梅. 系统振荡又发生故障时距离保护的动作为分析 [J]. 电力学报, 1999, 14(1): 68-71. CHEN Zhimei. Analysis of Operating Behavior of Distance Protective Relay When the Fault Happens While the Power System is Oscillating [J]. Journal of Electric Power, 1999, 14(1): 68-71.
- [4] 许正亚. 电力系统故障分析 [M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1993. XU Zheng-ya. Fault Analysis of Power System [M]. Beijing: China Water Power Press, 1993.
- [5] Ohura Y, Matsuda T, Suzuki M, et al. A Digital Distance Relay Using Negative Sequence Current [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1990, 5(1): 79-84.
- [6] Kase T, Sonobe Y, Amoh H, et al. A New Method for Detection of Faults During Power Swing Conditions for a Distance Relay [A]. 8th IEE International Conference on Developments in Power System Protection. Amsterdam (Netherlands): 2004. 437-440.
- [7] 许正亚. 输电线路新型距离保护 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002. XU Zheng-ya. New Type Distance Protection of Power Line [M]. Beijing: China Water Power Press, 2002.
- [8] JIAO Shao-hua, BO Zhi-qian, LIU Wan-shun, et al. New Principles to Detect Faults During Power Swing [A].

- 7th International Conference on Developments in Power System Protection Amsterdam (Holland): 2001. 515-518
- [9] 沈国荣,邓绍龙,朱声石. 区分短路与振荡的新原理[J]. 电力系统自动化, 1990, 14(1): 7-12
SHEN Guo-rong, DENG Shao-long, ZHU Sheng-shi The Principles to Differentiate Power Swings and Short Circuits [J]. Automation of Electric Power Systems, 1990, 14(1): 7-12
- [10] 李钢,隋凤海,王善祥,等. 振荡中不对称故障的判别[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(4): 17-20
LI Gang, SUI Feng-hai, WANG Shan-xiang, et al A Criterion for Unsymmetrical Fault During Power Swing [J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(4): 17-20
- [11] ZHU Sheng-shi, GU Qun, LI Zheng New Swing-blocking Methods for Digital Distance Protection [A]. IEEE PES Power System Conference and Exposition New York (USA): 2004
- [12] 赵志华,张红跃,易永辉. 一种在振荡闭锁期间发生故障快速开放距离保护的方法[J]. 继电器, 1997, 21(4): 17-20
ZHAO Zhi-hua, ZHANG Hong-yue, YI Yong-hui A Way of Quickly Enabling Distance Protection in Fault During Swing Blocking [J]. Relay, 1997, 21(4): 17-20
- [13] Machowski J, Nelles D. New Power Swing Blocking Method [A]. 6th International Conference on Developments in Power System Protection Nottingham (Britain): 1997. 218-221.
- [14] 隋凤海,李钢,王善祥,等. 余弦电压元件的特性及其应用[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(5): 26-28
SUI Feng-hai, LI Gang, WANG Shan-xiang, et al Cosine Relays Characteristic and Application [J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(5): 26-28
- [15] 沈国荣,郑玉平,戴学安,等. LFP-901A和LFP-902A保护在特殊故障时的性能分析[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(4): 24-28
SHEN Guo-rong, ZHENG Yu-ping, DAI Xue-an, et al Performance of LFP-901A and Digital Protection Relays in Some Special Faults [J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(4): 24-28
- [16] GAO Zhong-de, Wang GB. A New Power Swing Block in Distance Protection Based on a Microcomputer-principle and Performance Analysis [A]. International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management Hong Kong: 1991. 843-847.
- [17] 赵舫,何奔腾. 系统振荡的自适应保护原理[J]. 浙江大学学报, 1995, 29(5): 582-588
ZHAO Fang, HE Ben-teng Adaptive Relaying to System Oscillation [J]. Journal of Zhejiang University, 1995, 29(5): 582-588
- [18] 金华辉,何奔腾. 电力系统振荡闭锁判别方法的研究[J]. 继电器, 1999, 27(2): 24-31.
JIN Hua-hui, HE Ben-teng Some Research for Discriminating Power System Oscillation [J]. Relay, 1999, 27(2): 24-31.
- [19] 刘英亮,贾超,孙怡,等. 基于电气量变化率的振荡闭锁判据[J]. 山东大学学报(工学版), 2004, 34(5): 35-38
LIU Ying-liang, JIA Chao, SUN Yi, et al Study of Power Swing Block Criterion Based on the Changing Rate of Electric Parameters [J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2004, 34(5): 35-38
- [20] 林湘宁,刘沛,程时杰. 电力系统振荡中轻微故障识别的小波算法研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(3): 39-44
LIN Xiang-ning, LIU Pei, CHENG Shi-jie Researches on Fault Identification During Fast Power Swings with Wavelet Transform Based Algorithm [J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(3): 39-44.
- [21] LN Xiang-ning, LU Pei, CHENG Shi-jie Effective Transmission Line Fault Detection During Power Swing with Wavelet Transform [A]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting Singapore: 2000. 1950-1955.
- [22] 蔡超豪,李川. 利用小波变换区分振荡与短路[J]. 华北电力技术, 1999, 19(4): 16-19.
CAI Chao-hao, LI Chuan Discriminating Between Power Swing and Short Circuit by Using Wavelet Transform [J]. North China Electric Power, 1999, 19(4): 16-19.
- [23] 陈皓. 小波变换原理识别电力系统故障及振荡中短路的研究[J]. 电力自动化设备, 2000, 20(5): 18-20
CHEN Hao Study on Discrimination Between Fault and Power Swing Based on Wavelet Transform [J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20(5): 18-20
- [24] 董杰,张举,王增平,等. 利用改进递归小波变换区分电力系统振荡与故障[J]. 继电器, 2002, 30(4): 15-18
DONG Jie, ZHANG Ju, WANG Zeng-ping, et al Distinguish Fault from Power Swing Based on Improved Recursive Wavelet Transform [J]. Relay, 2002, 30(4): 15-18
- [25] 段玉倩,贺家李. 基于人工神经网络的距离保护[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(5): 67-70
DUAN Yu-qian, HE Jia-li Distance Relay Protection Based on Artificial Neural Network [J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(5): 67-70.
- [26] 毛鹏,张兆宁,林湘宁,等. 基于小波神经网络的电力系统振荡和故障识别[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(11): 9-13.

- MAO Peng, ZHANG Zhao-ning, LN Xiang-ning, et al Wavelet Neural Networks Based Recognition of Swing and Fault in Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(11): 9-13.
- [27] 郁惟慵, 范广军, 迟忠君. 基于模糊集合理论的电力系统振荡与短路的识别 [J]. 继电器, 2002, 30(3): 4-7.
- YU Wei-yong, FAN Guang-jun, CHI Zhong-jun Study on the Discrimination Between Faults and Power Swings Based on Fuzzy Set Theory [J]. Relay, 2002, 30(3): 4-7.
- [28] 焦绍华, 刘万顺, 杨奇逊, 等. 用模糊集合理论识别电力系统振荡中的短路的研究 [J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(6): 443-448.
- JIAO Shao-hua, LU Wan-shun, YANG Qi-xun, et al Study on the Discrimination Between Faults and Power Swings Based on Fuzzy Set [J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18(6): 443-448.
- [29] Mechraoui A, Thomas D W P. A New Blocking Principle with Phase and Earth Fault Detection During Fast Power Swings for Distance Protection [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10(3): 1242-1248.
- [30] Mechraoui A, Thomas D W P. A New Distance Protection Scheme Which can Operate During Fast Power Swings [A]. 6th International Conference on Developments in Power System Protection Nottingham (Britain): 1997. 206-209.
- [31] 林湘宁, 刘沛, 冯兴学. 自适应振荡闭锁判据的理论基础 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(6): 45-50.
- LN Xiang-ning, LU Pei, FENG Xing-xue Theoretical Analysis of the Self-adaptive Blocking Criterion of Power Swings [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(6): 45-50.
- [32] 林湘宁, 刘沛. 自适应振荡判据的实现 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 49-53.
- LN Xiang-ning, LU Pei Implementation of the Self-adaptive Blocking Criterion of Power Swings [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7): 49-53.

收稿日期: 2005-09-09; 修回日期: 2005-10-11

作者简介:

侯慧 (1981 -), 女, 博士研究生, 研究方向为电力系统微机继电保护及安全自动装置; E-mail: hushou@sina.com

尹项根 (1954 -), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统继电保护及安全自动控制、故障仿真与状态监测等;

游大海 (1958 -), 男, 教授, 副博士生导师, 主要研究方向为电力系统自动化、电力系统继电保护。

Measures of detecting fault during power swing in microcomputer distance protection

HOU Hui, YN Xiang-gen, YOU Da-hai

(College of Electrical & Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper introduces measures of detecting fault during power swing in microcomputer distance protection in late years. These measures are divided into three categories of detecting symmetrical fault during power swing, unsymmetrical fault during power swing and new types of measures. Advantages and disadvantages of each criterion are analyzed and summarized respectively and some significant conclusions are reached.

Key words: power system; distance protection; power swing block; fault; wavelet transform; neural network; fuzzy logic

(上接第 6 页 continued from page 6)

Abstract: It needs to analyze the polarities of the initial traveling wave, reflected ones from the fault point and the opposite bus when studying the approach based on travelling wave to fault location that can avoid the effect of wave speed. The waveform processing has some influences on the fault location. By analyzing the polarities of the initial traveling wave, reflected ones from the fault point and the opposite bus, different components in the travelling waves can be distinguished. Further studies on the single ended approach avoiding the effect of wave speed is described in this paper. The transient current travelling wave will be analyzed to determine the fault position, and mathematical morphology is utilized to detect fault waveform.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50347026, 50467002), Yunnan Technologies R & D Program (No. 2003GG10), and National Natural Science Foundation of Yunnan Province (No. 2005F0005Z, 2002E0025M, 2004E0020M).

Key words: single ended approach based on travelling wave; wave speed; polarity; fault location; mathematical morphology