

# 基于潮流熵的继电保护定值在线校核评估方法

慕宗江<sup>1</sup>,徐岩<sup>1</sup>,仇向东<sup>2</sup>,张泰铭<sup>3</sup>

(1. 华北电力大学 电气与电子工程学院,河北 保定 071003;2. 北京中恒博瑞数字电力科技有限公司,北京 100096;  
3. 石家庄供电公司,河北 石家庄 050000)

**摘要:** 为了提高继电保护整定值在线校核的效率,提出按照各支路的重要度对继电保护整定值进行有序校验。部分支路受潮流冲击后易故障,且断开后易引起连锁故障,所以提出利用潮流熵评估支路重要度。利用基于潮流转移熵的指标  $Q_{li}$  评价了支路因故障断开后引发连锁故障的可能性,利用基于潮流分布熵的指标  $Q_{2i}$  评价了支路抵抗潮流冲击的能力。采用  $Q_{li}$ 、 $Q_{2i}$  的乘积对支路重要度进行综合评价。利用 IEEE 3 机 9 节点系统上的仿真算例验证了所提方法的正确性。最后为了简化计算过程,提出采用分布系数法计算各支路的潮流变化。

**关键词:** 电力系统; 继电保护; 整定值; 熵; 分布熵; 转移熵

**中图分类号:** TM 77

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.02.029

## 0 引言

继电保护装置作为电力系统安全稳定运行的第一道防线,其动作的准确性主要依赖于保护定值的准确性,保护定值是继电保护装置的神经中枢。相关研究表明,继电保护装置的不正常动作行为与大面积停电事故及连锁故障<sup>[1-5]</sup>的发生有密切联系。因此,在线校核保护定值的有效实现显得尤为重要。

文献[6]提出了继电保护定值在线校核的概念,即通过信息采集系统获得电力系统的实时数据,实时校验保护定值在当前运行方式下的保护性能,检测保护定值是否满足校核要求,包括选择性和保护范围。在线校核概念的提出,对提高继电保护装置的保护性能和维持电力系统的安全稳定运行有重大作用。文献[7]基于低压地区电网校核系统的开发,提出了校核“四性”的概念;文献[8]在建立源于整定规程的校核原则库的基础上,开发了在线继电保护智能预警系统;文献[9]在风险理论的基础上,提出了基于保护重要度的继电保护定值在线校核方法。

然而随着电网规模的不断扩大、电网复杂程度的不断增加和电网运行方式的变化,传统的随机或按一定顺序的校核方式,短时间内不可能校核完所有的保护装置,使得在线校核存在一定的盲目性。同时,国内外对保护定值校核顺序的研究很少。由此,本文提出一种基于潮流熵的保护定值在线校核评估方法,该方法根据潮流熵<sup>[10]</sup>来判别出关键支路保护装置,从而优化了在线校核的过程,使其更加合理高效。目前,研究保护校核顺序的方法主要从保护装置不正常动作的风险后果来判定,而本文分别建立了潮流分布熵和潮流转移熵模型,从冲击和后果2个方面判别支路保护装置的重要性。冲击方面反映

了支路的保护环境的情况,若冲击越大,则保护装置所处的环境越差,容易发生不正常动作;后果方面反映了支路的重要性,若后果越严重,则保护装置肩负的责任越大,需要进行优先校核。

## 1 基于潮流熵的评价理论模型<sup>[11]</sup>

电力系统是一个庞大复杂的网络结构系统,它内部的潮流平衡和稳定程度可以从熵的角度出发来研究,即电力系统内部的潮流分布。因此,定义  $E$  为电力系统的潮流熵:

$$E = - \sum_{i=1}^N (w_i \ln w_i) \quad (1)$$

$$w_i = P_i / P_{\Sigma} \quad (2)$$

其中,  $w_i$  为系统元件  $i$  的潮流分布率;  $N$  为电力系统中的元件数量;  $P_i$  为支路  $l_i$  的初始潮流;  $P_{\Sigma}$  为系统中  $N$  个元件的潮流和。

从式(1)、(2)可以看出,电力系统潮流熵  $E$  描述了复杂电力系统在特定运行方式下的潮流分布,系统中的潮流分布的平衡性描述了系统运行的稳定性。在极端情况下,系统的潮流均匀分布,各个支路的潮流相同,平均分配系统供给负荷的能量,各个支路的潮流分布率  $w_i = 1/N$ ,此时系统稳定性最强,电力系统的潮流熵  $E = \ln N$ 。

电力系统是庞大复杂的系统,当内部发生故障时,系统的潮流会发生变化,非故障支路会受到能量的冲击,系统对能量冲击的承受能力反映了电力系统的稳定性。而电力系统对能量冲击的承受力是通过各支路实际承受的能量冲击大小和各支路能够承受的冲击大小来体现的,用式(3)表示如下:

$$S_i \geq P_i + r_{ia} \Delta P_a \quad (3)$$

其中,  $S_i$  为支路  $l_i$  的潮流极限容量,反映了该支路能够承受的潮流冲击大小;  $P_i$  为支路  $l_i$  的初始潮流;  $r_{ia} \Delta P_a$  为支路  $l_i$  受到的潮流冲击大小,  $\Delta P_a$  为节点  $a$

的潮流变化量,  $r_{ia}$  为系统潮流变化  $\Delta P_a$  在支路  $l_i$  上的分布系数。

当不满足约束条件式(3)时,支路  $l_i$  会过载甚至发生故障。由于  $S_i$  为支路本身的特性,是已知的定值,因此,本文系统中不同支路的重要度主要通过能量冲击在各支路的分布系数  $r_{ia}$  来描述,即以潮流冲击的大小  $r_{ia}\Delta P_a$  作为支路重要度的评估指标。潮流冲击对电力系统的影响主要有4个方面:

a. 潮流冲击很大,并且冲击分布集中,则支路受到的冲击最大;

b. 潮流变化很大,但是潮流冲击在系统各支路中均匀分布,且系统中的支路很多,则支路受到的潮流冲击不大;

c. 潮流冲击不大,但是冲击分布集中,则支路受到的潮流冲击也很大;

d. 潮流冲击不大,并且潮流冲击在系统各支路中均匀分布,则支路受到的潮流冲击最小。

本文通过电力系统支路受到潮流冲击大小、承受潮流冲击能力以及支路在传播连锁故障环节的重要性来研究支路的重要度。支路受潮流冲击后易故障,且是连锁故障的重要支路,则这种支路是在线校核的关键支路。因此可以采用潮流熵来判断支路重要度,进而确定支路保护装置的在线校核顺序。

## 2 基于潮流熵的支路重要度综合评估模型

### 2.1 基于潮流转移熵的支路重要度评估模型

传统的支路重要度的指标是指当支路故障或停运后给系统带来的影响,通常采用复杂网络理论,仅认为系统中的潮流是按最短的路径流动,支路被最短路径经过的次数定义为支路介数,并验证了介数高的线路在系统中所处位置更重要<sup>[12-14]</sup>。但是,电力系统中,潮流不仅在最短路径中流动,还在其他路径中流动<sup>[15]</sup>。文献[16]提出的电气介数虽然进行了改进,但是已有方法对支路重要度的确定只从静态角度考虑了支路本身的合断对电力系统失负荷比例等指标的影响,没有考虑支路断开后的动态过程,即支路断开后系统为了维持平衡,潮流会发生转移,从而对其他支路产生连锁影响。

当系统中支路  $l_i$  故障停运后,系统潮流会发生转移,支路  $l_j$  承担的潮流转移量  $\Delta P_{ji}$  为:

$$\Delta P_{ji} = P_{ji} - P_{j0} \quad j \neq i \quad (4)$$

其中,  $P_{j0}$  和  $P_{ji}$  分别为支路  $l_i$  断开前、后支路  $l_j$  的潮流。

定义  $\delta_{ji}$  为支路  $l_i$  对支路  $l_j$  的潮流转移冲击率:

$$\delta_{ji} = \frac{\Delta P_{ji}}{\sum_{j=1}^N \Delta P_{ji}} \quad j \neq i \quad (5)$$

根据式(1)得到支路  $l_i$  的潮流转移熵  $E_{Ti}$  为:

$$E_{Ti} = -\sum_{j=1}^N (\delta_{ji} \ln \delta_{ji}) \quad j \neq i \quad (6)$$

根据所得的潮流转移熵  $E_{Ti}$ , 定义基于潮流转移熵的支路重要度指标为:

$$Q_{li} = \frac{P_i}{E_{Ti}} \quad j \neq i \quad (7)$$

由式(7)可以看出:支路  $l_i$  的初始潮流  $P_i$  越大,对电力系统的影响越大,则支路重要度指标  $Q_{li}$  越大;支路  $l_i$  断开之后的  $E_{Ti}$  越小,则支路  $l_i$  上的潮流分布越集中,容易引起其他支路的过载,则支路重要度指标  $Q_{li}$  越大。这进而造成了电力系统中的其他支路超载故障,引发连锁故障<sup>[17-18]</sup>。

### 2.2 基于潮流分布熵的支路重要度评估模型

基于潮流转移熵的支路重要度指标  $Q_{li}$  是从支路  $l_i$  故障断开之后造成连锁故障的可能性来确定支路的重要度,若支路  $l_i$  能够抵抗较大的潮流冲击,则由支路过载引起的故障断路很难出现,更不用考虑它对其他支路造成的潮流冲击,其支路保护装置的重要度也就无从谈起。因此,在确定支路保护装置的重要度时,还要考虑系统中各支路的抵抗潮流冲击的能力大小。本文通过分别在发电机和负荷节点增加单位负荷,测量各支路增加的潮流大小来定义基于潮流分布熵的支路重要度指标  $Q_{2i}$ 。

在正常运行状态时,系统各支路潮流处于平衡状态,当发电机和负荷节点增加单位负荷后,支路  $l_i$  的潮流变为  $P_{ia}$ , 则支路  $l_i$  的潮流增量为:

$$\Delta P_{ia} = P_{ia} - P_{i0} \quad (8)$$

其中,  $\Delta P_{ia}$  为节点  $a$  产生的单位冲击引起的支路  $l_i$  的潮流变化。由此可得节点  $a$  的潮流冲击引起的所有支路的潮流变化总和为:

$$\Delta P_a = \sum_{i=1}^N (P_{ia} - P_{i0}) \quad (9)$$

定义  $\delta_{ia}$  为节点  $a$  的潮流冲击在支路  $l_i$  的潮流分布冲击率:

$$\delta_{ia} = \frac{\Delta P_{ia}}{\Delta P_a} \quad (10)$$

定义节点  $a$  的单位负荷扰动对支路  $l_i$  的潮流分布熵  $E_{Dia}$  为:

$$E_{Dia} = -\delta_{ia} \ln \delta_{ia} \quad (11)$$

式(12)定义了系统潮流冲击后支路  $l_i$  的潮流分布熵  $E_{Di}(a_c, a_l)$  为:

$$E_{Di}(a_c, a_l) = E_{Dia} - E_{Dia} = \delta_{ia} \ln \delta_{ia} - \delta_{ia} \ln \delta_{ia} \quad (12)$$

其中,  $(a_c, a_l)$  为发电机-负荷节点对。

在确定基于潮流分布熵的支路重要度指标时,由于负荷波动的随机性,支路受到的潮流冲击分为全局冲击和局部冲击。全局冲击为每组发电机-负荷节点对的影响在该支路的叠加,局部冲击为影响最大的发电机-负荷节点对引起的冲击。则基于潮流分布熵的支路重要度指标为:

$$Q_{2i} = \frac{1}{2} \frac{1}{N_G N_L} \sum_{a_c \in G} \sum_{a_l \in L} \{E_{Di}(a_c, a_l) + \max[E_{Di}(a_c, a_l)]\} \quad (13)$$

其中,  $G$ 、 $L$  分别为系统网络中发电机节点集合和负荷节点集合;  $N_G$ 、 $N_L$  分别为系统网络中发电机节点和负荷节点的数量。

### 2.3 基于潮流熵的支路综合重要度评估模型

由前文可知, 确定支路保护装置的在线校核顺序, 要综合考虑支路本身的稳定性和支路在传播连锁故障环节的重要性, 因此, 要充分结合潮流分布熵和潮流转移熵所确定的支路重要度指标, 综合支路所受冲击程度和故障后的后果影响来确定关键支路。综上所述, 本文确定的基于潮流熵的支路综合重要度指标为:

$$Q_i = Q_{1i} Q_{2i} \quad (14)$$

其中,  $Q_{1i}$  为支路  $l_i$  故障停运后给电力系统带来的危害指标;  $Q_{2i}$  为支路  $l_i$  因系统扰动而故障停运的难易指标。

## 3 算例分析

本文以 IEEE 3 机 9 节点标准系统作为算例系统, 对所提算法进行仿真验证, 算例系统见图 1。对算例系统中的 9 条线路进行支路保护装置重要度评估, 采用第 2 节中的方法对支路的重要度进行排序。

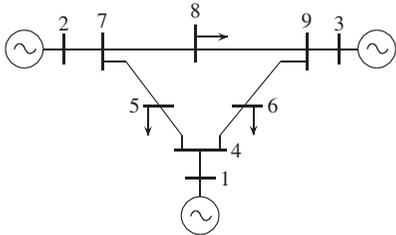


图 1 IEEE 3 机 9 节点系统

Fig.1 IEEE 3-generator 9-bus system

经第 2 节的评估模型计算得到各支路保护装置重要度指标, 对其进行排序后如表 1 所示。

由表 1 中可知, 排序在前 3 位的支路为 (3-9)、(1-4) 和 (2-7), 它们的支路重要度远大于其他支路, 所以这 3 条支路是网络中的关键支路。由图 1 可知, 这 3 条线路是发电机与系统间的唯一联络线路, 支路潮流较大, 当线路发生故障后, 其他线路承受的潮流很大, 容易引起连锁故障的发生; 另一方面, 发

表 1 各支路重要度

Tab.1 Importance of different branches

排序	支路编号	$Q_i$	$Q_{1i}$	$Q_{2i}$
1	(3-9)	124.9000	41.1221	3.0373
2	(1-4)	102.2700	34.4813	2.9661
3	(2-7)	71.8130	77.9581	0.9212
4	(5-7)	22.1490	42.1112	0.5260
5	(8-9)	12.9560	11.4908	1.1275
6	(4-5)	4.1917	19.0846	0.2196
7	(4-6)	2.6744	14.7834	0.1809
8	(7-8)	0.6687	37.7532	0.0177
9	(6-9)	0.0326	28.7095	0.0011

电机的所有输出都施加于关键支路, 支路在正常运行状态下已经处于重载状态, 若系统产生潮流冲击, 很容易引起支路过载, 甚至发生故障。在校核过程中, 应优先校核关键支路的保护装置, 防止关键支路的保护装置误动或拒动, 避免发生连锁故障给电力系统带来重大损失。综上所述, 算例的结果验证了本文方法的正确性。

## 4 支路保护装置重要度的在线评估

在计算  $\Delta P_{ji}$  和  $\Delta P_{ia}$  时, 最好是使用比较精确的潮流计算方法得到系统扰动冲击前后各个支路的潮流值, 但是越精确的潮流计算方法, 计算量越大, 计算速度较慢, 很难满足实际要求。为了简化计算过程, 加快潮流计算速度<sup>[9]</sup>, 本文采用直流潮流的分布系数法计算出  $\Delta P_{ji}$  和  $\Delta P_{ia}$  的值, 具体如下。

根据系统网络结构参数可得节点阻抗矩阵  $X$ , 定义节点  $a$  在支路  $l_j$  上的潮流分布因子  $\alpha_{ja}$  为:

$$\alpha_{ja} = \frac{x_{qa} - x_{pa}}{x_j} \quad (15)$$

其中,  $p$ 、 $q$  分别为支路  $l_j$  的首、末端点;  $x_j$  为支路  $l_j$  的电抗;  $x_{qa}$ 、 $x_{pa}$  分别为系统的节点阻抗矩阵  $X$  中的对应元素。

当支路  $l_i$  停运后, 支路  $l_j$  得到支路  $l_i$  的潮流转移因子  $\beta_{ji}$  为:

$$\beta_{ji} = \frac{x_i(x_{pm} - x_{pn} - x_{qm} + x_{qn})}{x_j(x_i - x_{mm} - x_{nn} + 2x_{mn})} \quad (16)$$

其中,  $m$ 、 $n$  分别为支路  $l_i$  的首、末端点;  $x_i$  为支路  $l_i$  的电抗;  $x_{pm}$ 、 $x_{pn}$ 、 $x_{qm}$ 、 $x_{qn}$ 、 $x_{mm}$ 、 $x_{nn}$ 、 $x_{mn}$  分别为电网的节点阻抗矩阵  $X$  中的相应元素。

由分布系数矩阵  $\alpha$ 、 $\beta$  可得  $\Delta P_{ia}$  和  $\Delta P_{ji}$  分别为:

$$\Delta P_{ia} = \Delta P_a \alpha_{ja} \quad (17)$$

$$\Delta P_{ji} = P_i^{\max} \beta_{ji} \quad (18)$$

其中,  $\Delta P_a$  为节点  $a$  的负荷扰动;  $P_i^{\max}$  为支路  $l_i$  的稳定潮流极限。

采用直流潮流法对图 1 所示系统进行计算, 得到各支路保护装置重要度指标, 与采用精确潮流法的计算结果进行比较, 结果如表 2 所示。

表 2 2 种方法的计算结果对比

Tab.2 Comparison of calculated results between two methods

排序	支路编号	$Q_i$	
		精确潮流法	直流潮流法
1	(3-9)	124.9014	167.2375
2	(1-4)	102.2738	111.5838
3	(2-7)	71.8131	97.7542
4	(5-7)	22.1490	42.8612
5	(8-9)	12.9563	17.7589
6	(4-5)	4.1917	8.8508
7	(4-6)	2.6744	5.4884
8	(7-8)	0.6687	0.7323
9	(6-9)	0.0326	0.0657

由表2可知,虽然采用直流潮流法计算各支路保护装置重要度指标与精确潮流法的结果有所不同,但是并不影响支路保护装置重要度的排列顺序。这是由于关键支路与其他支路的指标值相差较大,层次明显,直流潮流法的误差对支路保护装置重要度的排列顺序影响不大,因此,可以采用直流潮流法进行支路保护装置重要度的排序。

## 5 结语

本文提出了基于潮流熵评估支路保护装置重要度的继电保护在线校核的新方法,既考虑了支路本身的稳定性,又考虑了支路在传播连锁故障环节中的重要性;同时采用了直流潮流法进行简化计算,提高了该方法的实用性。通过支路保护装置重要度的指标,可以科学有效地判断出系统中的薄弱环节,并且对支路保护装置按照重要程度进行排序,进而依次进行在线校核,优化了传统校核的随机性,对提高电力系统的安全稳定性有着十分重要的实际意义。

## 参考文献:

- [1] 占勇,程浩忠,熊虎岗. 电力网络连锁故障研究综述[J]. 电力自动化设备,2005,25(9):93-98.  
ZHAN Yong, CHENG Haozhong, XIONG Hugang. Review of cascading failures in electric power network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(9): 93-98.
- [2] 曹一家,王光增. 电力系统复杂性及其相关问题研究[J]. 电力自动化设备,2010,30(2):5-10.  
CAO Yijia, WANG Guangzeng. Research on power system complexity and related topics[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(2): 5-10.
- [3] 曹一家,张宇栋,包哲静,等. 电力系统和通信网络交互影响下的连锁故障分析[J]. 电力自动化设备,2013,33(1):7-11.  
CAO Yijia, ZHANG Yudong, BAO Zhejing, et al. Analysis of cascading failures under interactions between power grid and communication network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(1): 7-11.
- [4] 王涛,王兴武,顾雪平,等. 基于概率及结构重要度的电力系统事故链模型与仿真[J]. 电力自动化设备,2013,33(7):51-56.  
WANG Tao, WANG Xingwu, GU Xueping, et al. Power system fault chain model and simulation based on probability and structural importance[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(7): 51-56.
- [5] 李勇,刘俊勇,刘晓宇,等. 基于潮流熵测度的连锁故障脆弱线路评估及其在四川主干电网中的应用[J]. 电力自动化设备,2013,33(10):40-46.  
LI Yong, LIU Junyong, LIU Xiaoyu, et al. Vulnerability assessment based on power flow entropy for lines in cascading failures and its application in Sichuan backbone power grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(10): 40-46.
- [6] 曾耿辉,李银红,段献忠. 电力系统继电保护定值的在线校核[J]. 继电器,2002,30(1):22-24.  
ZENG Genghui, LI Yinong, DUAN Xiangzhong. A discussion about on-line verifying of relay setting in power system[J]. Relay, 2002, 30(1): 22-24.
- [7] 朱永利,宋少群,宋国强,等. 地区电网保护定值在线校验智能系统[J]. 电力系统自动化,2005,29(6):87-92.  
ZHU Yongli, SONG Shaoqun, ZHU Guoqiang, et al. An intelligent system for on-line verification of relay settings in subtransmission networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(6): 87-92.
- [8] 吕颖,孙宏斌,张伯明,等. 在线继电保护智能预警系统的开发[J]. 电力系统自动化,2006,30(4):1-5.  
LÜ Ying, SUN Hongbin, ZHANG Boming, et al. Research and development of an online intelligent early warning system of protective relaying[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 1-5.
- [9] 张海翔,吕飞鹏,廖小军. 一种继电保护定值在线校核评估方法[J]. 电力系统自动化,2012,36(19):1-6.  
ZHANG Haixiang, LÜ Feipeng, LIAO Xiaojun. An assessment method for on-line verification of relay protection setting[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(19): 1-6.
- [10] 曹一家,张宇栋,林辉,等. 基于同配性的电力系统自组织临界性识别[J]. 电力自动化设备,2013,33(7):6-11,18.  
CAO Yijia, ZHANG Yudong, LIN Hui, et al. Power system self-organized criticality recognition based on assortativity[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 33(7): 6-11, 18.
- [11] 李勇,刘俊勇,刘晓宇,等. 基于潮流熵的电网连锁故障传播元件的脆弱性评估[J]. 电力系统自动化,2012,36(19):11-16.  
LI Yong, LIU Junyong, LIU Xiaoyu, et al. Vulnerability assessment in power grid cascading failures based on entropy of power flow[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(19): 11-16.
- [12] 曹一家,陈晓刚,孙可. 基于复杂网络理论的大型电力系统脆弱线路辨识[J]. 电力自动化设备,2006,26(12):1-5.  
CAO Yijia, CHEN Xiaogang, SUN Ke. Identification of vulnerable lines in power grid based on complex network theory[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(12): 1-5.
- [13] 倪向萍,梅生伟,张雪敏. 基于复杂网络理论的输电线路脆弱度评估方法[J]. 电力系统自动化,2008,32(4):1-5.  
NI Xiangping, MEI Shengwei, ZHANG Xuemin. Transmission lines' vulnerability assessment based on complex network theory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(4): 1-5.
- [14] 苏慧玲,李扬. 基于准稳态功率转移分布因子的电力系统复杂网络特性分析[J]. 电力自动化设备,2013,33(9):47-53.  
SU Huiling, LI Yang. Analysis of complex network characteristics based on quasi-steady PTDF for power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(9): 47-53.
- [15] BOMPARD E, NAPOLI R, XUE F. Extended approach for the assessment of structural vulnerability in transmission networks[J]. IET Generation Transmission & Distribution, 2010, 4(6): 716-724.
- [16] 徐林,王秀丽,王锡凡. 电气介数及其在电力系统关键线路识别中的应用[J]. 中国电机工程学报,2010,30(1):33-39.  
XU Lin, WANG Xiuli, WANG Xifan. Electric betweenness and its application in vulnerable line identification in power grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(1): 33-39.
- [17] 程林燕,张保会,郝志国,等. 基于线路功率组成的关键输电断

面快速搜索[J]. 中国电机工程学报,2010,30(10):50-56.

CHENG Linyan,ZHANG Baohui,HAO Zhiguo,et al. Fast search for key transmission section based on power component of line [J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(10):50-56.

[18] 闫常友,周孝信,康建东,等. 潮流转移灵敏度以及安全评估指标研究[J]. 中国电机工程学报,2010,30(19):7-13.

YAN Changyou,ZHOU Xiaoxin,KANG Jiandong,et al. Flow transferring sensitivity and security index analysis[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(19):7-13.

作者简介:



慕宗江

慕宗江(1988-),男,山东威海人,硕士研究生,研究方向为电力系统保护及电力系统自动化控制(E-mail:799560851@qq.com);

徐岩(1976-),男,吉林吉林人,副教授,博士,研究方向为电力系统继电保护、变电站综合自动化。

## Online protection setting assessment based on power flow entropy

MU Zongjiang<sup>1</sup>,XU Yan<sup>1</sup>,QIU Xiangdong<sup>2</sup>,ZHANG Taiming<sup>3</sup>

(1. North China Electric Power University,Baoding 071003,China;

2. Join Bright Digital Power Technology Co.,Ltd.,Beijing 100096,China;

3. Shijiazhuang Electric Power Company,Shijiazhuang 050000,China)

**Abstract:** It is proposed to sequentially assess the protection settings according to the importance of branches for improving the efficiency of its online setting assessment. As the branches vulnerable to power flow impact may easily cause fault and induces cascading faults after trip-off,the power flow entropy is thus applied to assess the importance of branch. The possibility of cascading faults induced by the trip-off of faulty branch is assessed by the index  $Q_{li}$  based on the power flow transfer entropy and the vulnerability of branch to power flow impact is assessed by the index  $Q_{2i}$  based on the power flow distribution entropy. The product of  $Q_{li}$  and  $Q_{2i}$  is thus applied to assess the importance of branch. The simulation for IEEE 3-generator 9-bus system verifies the correctness of the proposed method. The distribution factor method is recommended to simplify the calculation of branch power flow variation.

**Key words:** electric power systems; relay protection; setting; entropy; distribution entropy; transfer entropy

(上接第 164 页 continued from page 164)

## Analytical model for power system fault diagnosis integrated with information theory

ZHANG Yan<sup>1</sup>,ZHANG Yong<sup>1</sup>,WEN Fushuan<sup>1</sup>,SUN Weizhen<sup>2</sup>,WANG Chao<sup>2</sup>

(1. College of Electrical Engineering,Zhejiang University, Hangzhou 310027,China;

2. Zhejiang Electric Power Corporation, Hangzhou 310007,China)

**Abstract:** How to properly handle the uncertainties associated with the malfunctions of PRs (Protective Relays) and CBs (Circuit Breakers) as well as the false/missing alarms is one of major problems to be addressed in fault diagnosis of actual power systems. The Shannon's information theory is employed to deal with these uncertainties. First,a communication channel model is presented for the fault diagnosis problem, and the action logics of PRs and CBs as well as the relationship among PRs,CBs and alarms are expressed analytically. A new optimization model for power system fault diagnosis is next developed with the minimization of information loss as the objective,and can well accommodate uncertainties from various sources. Then,an improved genetic algorithm is employed to solve the optimization problem. Finally,actual scenarios of Zhejiang power system are served for demonstrating the tolerance capability and diagnosis speed of the developed method,and the diagnosis time is less than one second for complicated fault scenarios. The presented method could be used for on-line fault diagnosis of actual power systems.

**Key words:** electric power systems; fault diagnosis; alarm processing; uncertainty; information theory; incomplete information; relay protection; models