

# 四边形特性距离保护躲负荷性能分析

张太升<sup>1</sup>, 罗承廉<sup>1</sup>, 杜凌<sup>1</sup>, 刘海洋<sup>2</sup>

(1. 河南省电力公司, 河南 郑州 450052; 2. 洛阳首阳山电厂, 河南 洛阳 417900)

摘要: 四边形特性的距离保护, 其电阻分量可以单独整定, 反应接地电阻的能力较强。本文对四边形特性距离保护躲负荷性能进行了研究, 给出了可靠系数的计算公式。

关键词: 四边形特性; 距离保护; 负荷

中图分类号: TM588 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)01-0028-04

## 0 引言

对于四边形特性的距离保护, 其电阻分量可以单独整定, 反映接地电阻的能力较强。通常 220 kV 线路输送的有功功率不超过 400 MW, 无功功率不超过 200 Mvar, 四边形特性阻抗的电阻分量也是按躲此条件整定的<sup>[1]</sup>。近几年, 随着河南电网结构的发展以及负荷的迅速增长, 根据计算, 一些 220 kV 线路的最大有功功率可能达到 650 MW。本文对四边形特性距离保护躲负荷进行了分析。

## 1 距离继电器的四边形特性

距离保护大多采用图 1 所示的四边形特性。

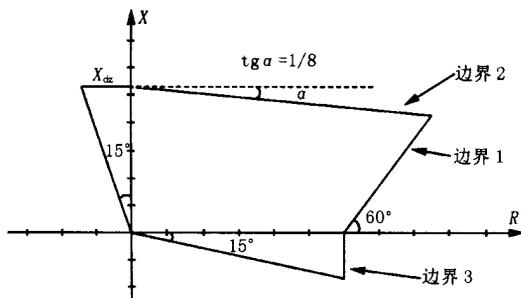


图 1 中:  $X_{dz}$  为距离保护的电抗整定值;  $R_{dz}$  为距离保护的电阻整定值; 边界 1 的方程为:  $X = \sqrt{3} R - \sqrt{3} R_{dz}$ ; 边界 2 的方程为:  $X = -1/8 R + X_{dz}$ ; 边界 3 的方程为:  $R = R_{dz}$

图 1 距离保护的边形特性

Fig. 1 Quadrilateral characteristics of distance relay

## 2 负荷阻抗

对于负荷, 最常给出的是最大有功功率和最小功率因数。如果给定有功功率  $P$ , 那么在阻抗平面上, 负荷阻抗特性是一个圆。推导如下:

$$\text{线路视在功率 } S = \sqrt{3} UI = P + jQ$$

式中:  $U$  为电压;  $I$  为电流  $I$  的共轭;  $P$  为有功

功率;  $Q$  为无功功率

负荷阻抗:

$$Z = \frac{U}{\sqrt{3} I} = \frac{UIU^*}{\sqrt{3} IU^*} = \frac{U^2}{P - jQ} = \frac{U^2}{p^2 + Q^2} (P + jQ)$$

式中:  $\dot{U}$  为电压  $U$  的共轭

所以: 负荷阻抗的电阻分量

$$R = \frac{U^2}{p^2 + Q^2} P = \frac{U^2}{p} \cdot \frac{1}{1 + \text{tg}^2} \quad (1)$$

负荷阻抗的电抗分量

$$X = \frac{U^2}{p^2 + Q^2} Q = \frac{U^2}{p} \cdot \frac{\text{tg}}{1 + \text{tg}^2} \quad (2)$$

式中:  $\alpha$  为功率因数角。三相对称时, 等于线路负荷阻抗角。

给定电压  $U$  和有功功率  $P$ , 从式(1)可解得:

$$Q = \pm \sqrt{\frac{U^2 P}{R} - P^2}$$

代入式(2)整理可得:

$$X^2 + (R - \frac{U^2}{2P})^2 = (\frac{U^2}{2P})^2$$

在  $R - X$  平面上这是一个以点  $(\frac{U^2}{2P}, 0)$  为圆心, 以  $\frac{U^2}{2P}$  为半径的圆。

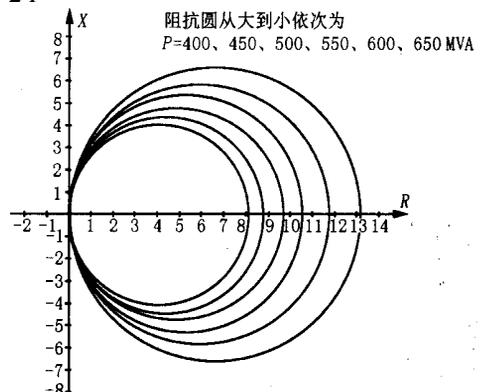


图 2 负荷阻抗特性 (PT:2200, CT:240)

Fig. 2 Load characteristics in  $R - X$  plane

图2给出了  $U = 220 \text{ kV}$ ;  $P = 400, 450, 500, 550, 600, 650 \text{ MVA}$  时的负荷特性。

### 3 四边形特性距离保护躲负荷可靠系数的计算

大负荷时,线路负荷的功率因数不会低于 0.9, 此时有  $Q = \pm \frac{1}{2} P$ , 在  $R - X$  平面上  $X = \pm \frac{1}{2} R$ , 对应于图3中的功率因数特性1和功率因数特性2。因此,给定最大有功功率  $P$  和最小功率因数  $\cos \phi$ , 负荷阻抗的轨迹就是圆  $X^2 + (R - \frac{U^2}{2P})^2 = (\frac{U^2}{2P})^2$

夹在直线  $X = \pm \frac{1}{2} R$  中的一段圆弧(在、象限)。图3给出负荷阻抗特性和距离保护特性可能出现的各种情况。

#### 3.1 负荷阻抗和动作特性情况1中距离保护动作特性躲负荷可靠系数的计算(图3(a))

边界1与功率因数特性1的交点:

$$\text{解方程组} \begin{cases} X = \sqrt{3} R - \sqrt{3} R_{dz} \\ X = \frac{1}{2} R \end{cases}$$

$$\text{得 A 点坐标:} \begin{cases} R = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} - 0.5} R_{dz} \\ X = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} - 0.5} R_{dz} \end{cases}$$

边界2与功率因数特性1的交点:

$$\text{解方程组} \begin{cases} X = -\frac{1}{8} R + X_{dz} \\ X = \frac{1}{2} R \end{cases}$$

$$\text{得 B 点坐标:} \begin{cases} R = \frac{8}{5} X_{dz} \\ R = \frac{4}{5} X_{dz} \end{cases}$$

负荷特性阻抗与功率因数1的交点:

$$\text{解方程组} \begin{cases} X^2 + (R - \frac{U^2}{2P})^2 = (\frac{U^2}{2P})^2 \\ X = \frac{1}{2} R \end{cases}$$

$$\text{得 D 点坐标:} \begin{cases} R = \frac{4}{5} \cdot \frac{U^2}{P} \\ X = \frac{2}{5} \cdot \frac{U^2}{P} \end{cases}$$

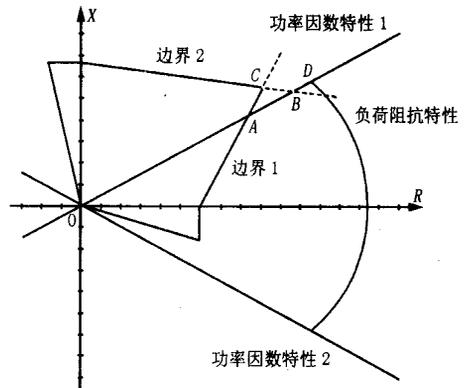
出现情况1的条件是:  $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} - 0.5} R_{dz} < \frac{8}{5} X_{dz}$

也就是:  $X_{dz} > \frac{5}{8} \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} - 0.5} R_{dz}$

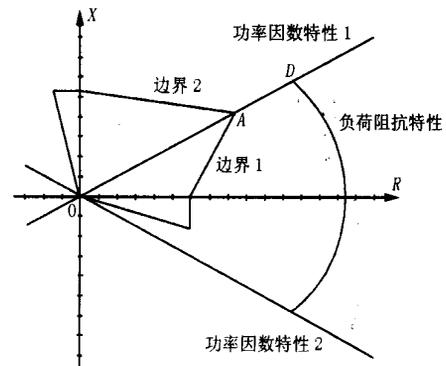
情况1中,动作边界上的点与负荷阻抗特性上的点最近就是AD,因此,距离保护动作特性躲负荷

可靠系数  $K = \frac{\text{负荷阻抗}}{\text{定值阻抗}} = \frac{Z_{OD}}{Z_{OA}} = \frac{R_D}{R_A} = \frac{4(\sqrt{3} - 0.5)}{5\sqrt{3}}$

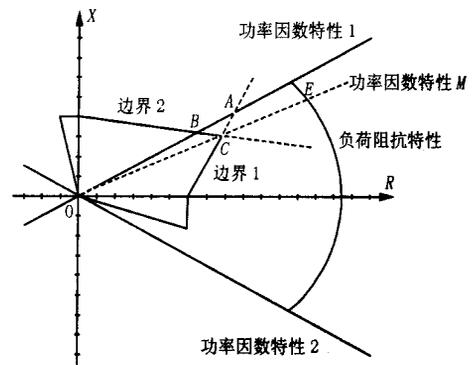
$\frac{U^2}{PR_{dz}}$ 。式中  $Z_{OD}$  代表线段OD的阻抗值,  $Z_{OA}$  代表线段OA的阻抗值,  $R_D$  是D点的R坐标值,  $R_A$  是A点的R坐标值。



(a) 情况1



(b) 情况2



(c) 情况3

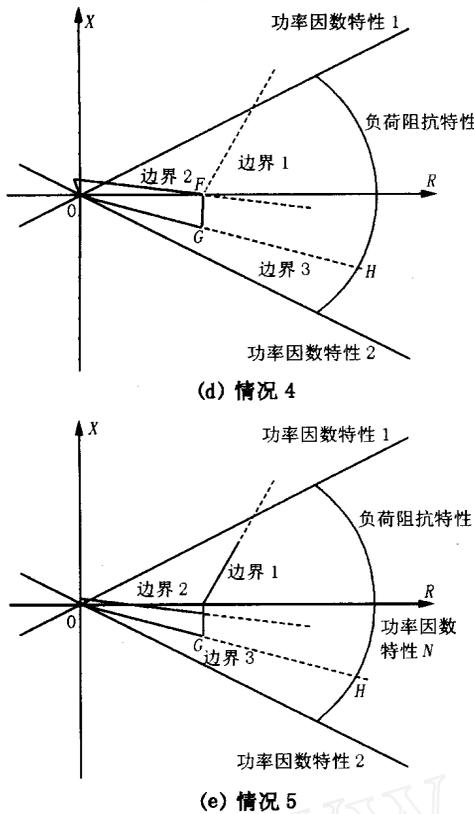


图3 R-X平面上负荷阻抗特性和距离保护动作特性

Fig. 3 Relation between load impedance and operation characteristics of distance relay in R - X plane

3.2 负荷阻抗和动作特性情况 2 中距离保护动作特性躲负荷可靠系数的计算(图 3(b))

出现情况 2 的条件是:  $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}-0.5} R_{dz} < \frac{8}{5} X_{dz}$

也就是:  $X_{dz} > \frac{5}{8} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}-0.5} R_{dz}$

情况 2 中,动作边界上的点与负荷阻抗特性上的点最近的就是 AD,因此,距离保护动作特性躲负荷可靠系数

$$K = \frac{R_D}{R_A} = \frac{4(\sqrt{3}-0.5)}{5\sqrt{3}} \cdot \frac{U^2}{PR_{dz}} = \frac{U^2}{2PX_{dz}}$$

3.3 负荷阻抗和动作特性情况 3 中距离保护动作特性躲负荷可靠系数的计算(图 3(c))

边界 1 与边界 2 的交点:

$$\begin{cases} X = \sqrt{3} R - \sqrt{3} R_{dz} \\ X = -\frac{1}{8} R + X_{dz} \end{cases}$$

$$\text{得 C 点坐标: } \begin{cases} R = \frac{8\sqrt{3} R_{dz} + 8 X_{dz}}{8\sqrt{3} + 1} \\ X = \frac{8\sqrt{3} X_{dz} - \sqrt{3} R_{dz}}{8\sqrt{3} + 1} \end{cases}$$

出现情况 3 的条件是:  $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}-0.5} R_{dz} > \frac{8}{5} X_{dz}$

也就是:  $X_{dz} < \frac{5}{8} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}-0.5} R_{dz}$

情况 3 中,动作边界上的点与负荷阻抗特性上的点最近的就是 CE, CE 的斜率为  $\text{tg} \phi = \frac{8\sqrt{3} X_{dz} - \sqrt{3} R_{dz}}{8 X_{dz} + 8\sqrt{3} R_{dz}}$ , E 点的横坐标为:  $R = \frac{U^2}{P}$

$$\frac{1}{1 + \text{tg}^2 \phi} = \frac{U^2}{P} \cdot \frac{1}{1 + \left( \frac{8\sqrt{3} X_{dz} - \sqrt{3} R_{dz}}{8 X_{dz} + 8\sqrt{3} R_{dz}} \right)^2}$$

距离保护动作特性躲负荷可靠系数  $K = \frac{R_E}{R_C} =$

$$\frac{U^2}{P} \cdot \frac{1}{1 + \left( \frac{8\sqrt{3} X_{dz} - \sqrt{3} R_{dz}}{8 X_{dz} + 8\sqrt{3} R_{dz}} \right)^2} \times \frac{8\sqrt{3} + 1}{8\sqrt{3} R_{dz} + 8 X_{dz}}$$

3.4 负荷阻抗和动作特性情况 4 和 5 中距离保护动作特性躲负荷可靠系数的计算(图 3(d)、3(e))

情况 4 和情况 5 出现的条件是:  $\frac{8\sqrt{3} R_{dz} + 8 X_{dz}}{8\sqrt{3} + 1}$

$R_{dz}$ , 也就是:  $X_{dz} \frac{1}{8} R_{dz}$

动作边界上的点与负荷阻抗特性上的点最近的就是 GH。

G 点的横坐标为:  $R = R_{dz}$ ; H 点的横坐标为:

$$R = \frac{U^2}{P} \cdot \frac{1}{1 + \text{tg}^2 \phi} = \frac{U^2}{P} \cdot \frac{1}{1 + (\text{tg} 15^\circ)^2} = \frac{U^2}{P} \cos^2 15^\circ$$

距离保护动作特性躲负荷可靠系数  $K = \frac{R_H}{R_G} =$

$$\frac{U^2}{PR_{dz}} \cos^2 15^\circ$$

表 1 距离保护躲负荷的可靠系数的计算

Tab. 1 Reliability coefficient calculation of distance relay

条件	距离保护躲负荷的可靠系数 $K = \frac{\text{负荷阻抗}}{\text{定值阻抗}}$
$X_{dz} > \frac{5}{8} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}-0.5} R_{dz} \Rightarrow X_{dz} > 0.8786 R_{dz}$	$K = \frac{4(\sqrt{3}-0.5)}{5\sqrt{3}} \times \frac{U^2}{PR_{dz}}$
$X_{dz} = \frac{5}{8} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}-0.5} R_{dz} \Rightarrow X_{dz} = 0.8786 R_{dz}$	$K = \frac{4(\sqrt{3}-0.5)}{5\sqrt{3}} \times \frac{U^2}{PR_{dz}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{PX_{dz}}$
$\frac{1}{8} R_{dz} < X_{dz} < \frac{5}{8} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}-0.5} R_{dz} \Rightarrow 0.8786 R_{dz} > X_{dz} > 0.125 R_{dz}$	$K = \frac{U^2}{P} \cdot \frac{1}{1 + \left( \frac{8\sqrt{3} X_{dz} - \sqrt{3} R_{dz}}{8 X_{dz} + 8\sqrt{3} R_{dz}} \right)^2} \times \frac{8\sqrt{3} + 1}{8\sqrt{3} R_{dz} + 8 X_{dz}}$
$0 < X_{dz} < \frac{1}{8} R_{dz} \Rightarrow 0.125 R_{dz} < X_{dz} < 0$	$K = \frac{U^2}{PR_{dz}} \cos^2 15^\circ$

## 4 讨论

对距离保护段的灵敏度,文献[2]要求:50 km以下线路,灵敏度不小于1.5;50~200 km线路,灵敏度不小于1.4;200 km以上线路,灵敏度不

小于1.3。对于220 kV线路,每公里的电抗大约为0.33<sup>[3]</sup>。假设距离段按规程的最低灵敏度整定,表2针对几个典型长度的线路,计算了四边形特性在不同的 $R_{dz}$ 时躲过不同的有功功率的可靠系数。

表2 距离保护定值躲负荷的可靠系数计算举例  $U=220$  kV

Tab. 2 Some examples of stability coefficient calculation of distance relay

线路定值					可靠系数					
线路长度/km	线路电抗/	距离段定值 $X_{dz}$ /	$R_{dz}/$	$\frac{X_{dz}}{R_{dz}}$	400 MW	450 MW	500 MW	550 MW	600 MW	650 MW
10	3.3	4.95	55	0.09	2.05	1.82	1.64	1.49	<u>1.37</u>	<u>1.26</u>
			50	0.099	2.26	2.01	1.81	1.64	1.51	<u>1.39</u>
			45.8	0.1081	2.46	2.19	1.97	1.79	1.64	1.52
			36.7	0.1349	3.28	2.91	2.62	2.38	2.19	2.02
			27.5	0.18	4.26	3.79	3.41	3.10	2.84	2.62
50	16.5	24.75	55	0.45	1.76	1.56	<u>1.40</u>	<u>1.28</u>	<u>1.17</u>	<u>1.08</u>
			50	0.495	1.86	1.66	1.49	<u>1.36</u>	<u>1.24</u>	<u>1.15</u>
			45.8	0.5404	1.96	1.74	1.57	1.43	<u>1.31</u>	<u>1.21</u>
			36.7	0.6744	2.2	1.96	1.76	1.60	1.47	<u>1.35</u>
			27.5	0.9	2.5	2.23	2.00	1.82	1.67	1.54
100	33	46.2	55	0.84	<u>1.29</u>	<u>1.15</u>	<u>1.03</u>	0.94	<u>0.86</u>	<u>0.79</u>
			50	0.924	<u>1.38</u>	<u>1.22</u>	<u>1.10</u>	<u>1.00</u>	<u>0.92</u>	<u>0.85</u>
			45.8	1.0087	1.5	<u>1.34</u>	<u>1.20</u>	<u>1.09</u>	<u>1.00</u>	<u>0.93</u>
			36.7	1.2589	1.88	1.67	1.50	<u>1.36</u>	<u>1.25</u>	<u>1.15</u>
			27.5	1.68	2.50	2.23	2.00	1.82	1.67	1.54
150	49.5	69.3	55	1.26	<u>1.25</u>	<u>1.11</u>	<u>1.00</u>	<u>0.91</u>	<u>0.83</u>	<u>0.77</u>
			50	1.386	<u>1.38</u>	<u>1.22</u>	<u>1.10</u>	<u>1.00</u>	<u>0.92</u>	<u>0.85</u>
			45.8	1.5131	1.5	<u>1.34</u>	<u>1.20</u>	<u>1.09</u>	<u>1.00</u>	<u>0.93</u>
			36.7	1.8883	1.88	1.67	1.50	<u>1.36</u>	<u>1.25</u>	<u>1.15</u>
			27.5	2.52	2.50	2.23	2.00	1.82	1.67	1.54

注:带下划线的数字为按可靠性操作要求已不符合规程。

文献[2]对距离保护躲负荷阻抗的要求是: $Z_{dz}$   $0.7 Z_{FH}$  ( $Z_{dz}$ 是距离保护定值; $Z_{FH}$ 是最小负荷阻抗),此条件等价于  $K = \frac{\text{负荷阻抗}}{\text{定值阻抗}} = 1.43$ 。从表2可以看出,对于100 km以上线路,四边形距离阻抗保护定值电阻分量如果取50 $\Omega$ ,电抗定值按最小灵敏度要求整定,其躲400 MW负荷的可靠系数已不满足规程要求。

必须特别指出,实际定值计算中,距离保护段定值的灵敏度都大于等于规程的要求,而且距离段定值不会小于距离段定值,利用本文表1中的方法可以对任意定值的四边形特性距离保护的躲负荷可靠系数进行计算校核。

### 参考文献:

[1] 吴彦皎,孙刚(WU Yan-jiao, SUN Gang). 11型微机线路保护整定原则的探讨(Discussion on the Setting Principles for Line Protection Based on 11-type Microcomput-

er)[J]. 电力自动化设备(Electric Power Automation Equipment),1993:(5).

[2] 中华人民共和国电力工业部(Ministry of Electric Power Industry P. R. China). 220~500 kV电网继电保护装置运行整定规程(Setting Specifications on Operation of Relay Protection in 220~550 kV Power Systems)[S]. 1995.

[3] 何仰赞,等(HE Yang-zan, et al). 电力系统分析(Analysis of Electric Power Systems)[M]. 武汉:华中理工大学出版社(Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press),1984.

收稿日期: 2003-03-17; 修回日期: 2003-05-16

作者简介:

张太升(1969-),男,硕士,高级工程师,从事电力系统继电保护的研究;

罗承廉(1945-),男,教授级高工,从事电力系统方面的研究;

杜凌(1963-),男,学士,高级工程师,从事电力系统继电保护的研究。

(下转第36页 continued on page 36)

器的故障电流和励磁涌流的表现形式与 EMTP 仿真试验结果之间可能存在一定出入,因此本节所提出的励磁涌流判别方法在应用于实际保护装置时尚需进一步完善。

### 3 结语

本文的第一部分从小波分析的基本理论出发,探讨了以二次 B 样条小波为母波在任意尺度上对信号实行小波变换的快速算法;第二部分在二次 B 样条小波的基础上构造了一个适合于电力系统故障分析的新小波,并将这一小波应用于变压器差动保护进行励磁涌流识别。

小波变换作为一种全新的数学分析工具,它优良的时频局部化性能必将进一步促进电力系统信号处理技术的发展。目前小波变换在电力系统中的应用还处于探索和试验阶段,大量的理论和实用问题有待深入的研究。

### 参考文献:

- [1] Mallat S, WEN Liang-wang. Singularity Detection and Processing with Wavelets [J]. IEEE Trans on Information Theory, 1992, 38: 617 - 643.
- [2] Mallat S, Zhong S. Characterization of Signals from

Multiscale Edges [J]. IEEE Trans On PAMI, 1992, 14: 710 - 732.

- [3] Chaari Ouis, Meunier Michel, Brouaye F. Wavelets: A New Tool for the Resonant Grounded Power Distribution Systems Relaying [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1996, 11: 1301 - 1308.
- [4] 张传利, 黄益庄, 等 (ZHANG Chuan - li, HUANG Yi - zhuang, et al). 改进递归小波变换在变压器保护中的应用研究 (Study of Relaying Protection for Transformer Applying IRWT) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(17): 20 - 22.
- [5] 杨钟皓, 董新洲 (YANG Zhong - hao, DONG Xin - zhou). 基于小波变换的变压器励磁涌流识别方法 (Method for Exciting Inrush Detection in Transformers Using Wavelet Transform) [J]. 清华大学学报 (自然科学版) (Tsinghua Univ (Sci & Tech)), 2002, 42 (9): 1184 - 1187.

收稿日期: 2003-01-08

作者简介:

张秀川(1977 - ),男,硕士研究生,研究生方向是变压器微机保护;

黄益庄(1938 - ),女,教授,长期从事电力系统自动化以及微机保护方面的科研和教学工作。

### A fast algorithm of 2B - spline wavelet transform and its application to transformer protection

ZHANG Xiur-chuan, HUANG Yf-zhuang

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** A fast algorithm of 2B - spline wavelet transform is introduced to meet the real - time demands of signal processing. On the basis of 2B - spline wavelet, a mother wavelet founction suitable for the fault analysis of power system is constructed. The algorithm and mother wavelet are used to discriminate the inrush current in transformer's differential protection. Results of EMTP simulations show that this method is feasible.

**Key words:** wavelet transform; tranformer protection; inrush current

(上接第 31 页 continued from page 31)

### Relation between load impedance and distance relay with quadrilateral characteristics

ZHANG Tai-sheng<sup>1</sup>, LUO Cheng-lian<sup>1</sup>, DU Ling<sup>1</sup>, LIU Hai-yang<sup>2</sup>

(1. Henan Electric Power Corporation, Zhengzhou 450052, China; 2. Luoyang Shouyangshang Power Plant, Luoyang 417900, China)

**Abstract:** Because the value of the resistance components can be set independently, a quadrilateral - characteristic distance relay is very sensitive to a large earthed resistance when faults. In view of that, the relation between the load impedance and the quadrilateral characteristics of a distance relay in  $R - X$  plane is analyzed in detail. And also, the method to reliability coefficient calculation is put forward.

**Key words:** quadrilateral - characteristic; distance relay; load