

## 一种基于高频暂态分量的振荡中不对称短路的选相方案

于辉

(沈阳工程学院, 辽宁 沈阳 110136)

**摘要:** 提出了一种利用暂态高频分量实现振荡中故障选相的方案。该方案利用电流互感器传变过来的暂态高频电流, 用B样条导数小波提取暂态信号, 先对其进行相关性分析, 然后利用模糊集理论将相关系数模糊化, 最后进行综合评判, 选出故障相。该方案不受过渡电阻和系统运行方式的影响。通过动模实验和Matlab仿真, 取得了理想的效果。

**关键词:** 振荡; 短路; 相关性; 模糊集

### A new approach to select the unsymmetrical fault phase during power swing using the transient signals

YU Hui

(Shenyang Institute of Engineering, Shenyang 110136, China)

**Abstract:** This paper presents a new approach for fault selection during power swing using transient signals. This approach uses the transient current transformed from current transformer, B spline derived wavelet is proposed to extract the high frequency signals and correction analysis is applied to the results, then the correction is disposed by fuzzy set, finally the fault phase is given. This approach is insensitive to fault resistance and operational modes. The effectiveness and reliability of presented methods are verified by the result of dynamic simulation and MATLAB calculation.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Liaoning Province(No.20062125).

**Key words:** power system swing; shortcircuit; correction; fuzzy set

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)12-0025-06

## 0 引言

距离保护是高压输电线路中应用最广泛的一种保护方案, 但是系统振荡对距离保护的影响很大, 在电力系统发生振荡时, 为了防止保护装置的误动作, 通常采用专用的振荡闭锁措施。区分短路和振荡是防止保护误动作的基础, 传统的区分方法可以有效地防止保护误动, 但是如果振荡闭锁时发生故障, 则距离保护装置可能拒动。

为了正确区分振荡和短路, 现在已经提出了许多方法, 其中有利用序分量的<sup>[1]</sup>, 也有利用暂态高频分量<sup>[2]</sup>和神经网络<sup>[3]</sup>实现的。文献[4,5]提出了一种基于模分量和序分量相结合的振荡中不对称故障的识别方案, 文献[6]利用序分量来识别振荡中的不对称故障。文献[7]利用模糊集合来识别振荡中的不对称故障。现有普遍存在的问题是快速性不足, 而

文献[8]提出了一种基于复小波的检测方法, 但是复小波构造比较复杂。

本文对高频暂态分量进行相关性分析, 使用模糊集对相关系数建立多特征判据, 然后对振荡中发生的故障进行选相。动模实验和Matlab仿真表明: 该方法不受系统运行方式和短路过渡电阻的影响, 能够准确识别出振荡中发生的各种故障。

## 1 相关分析

对确定性功率信号, 其相关函数的定义可以根据随机信号的时间相关函数确定为

$$\overline{X(t)X(t+\tau)} = E(X(t)X(t+\tau)) = R_{xx}(\tau) = \lim_{2T} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)x(t+\tau)dt \quad (1)$$

该式表明, 平稳随机信号  $X(t)$  的时间相关函数以概率 1 等于其样本函数的自相关函数进行集合平均。从理论上说, 式(1)有其物理意义。设  $x(t)$  和  $y(t)$

**基金项目:** 辽宁省自然科学基金资助项目 (20062125)

是2个能量有限的实信号波形,为研究它们之间的差别,衡量它们在不同时刻的相似程度,引入

$$\delta = x(t) - \alpha y(t + \tau) \quad (2)$$

式中:  $\alpha$  为常数.

由式(2)知,有一个最佳的  $\alpha$  值使得两波形的差别最小,一般可采用均方差误差最小准则,即取  $\delta^2$  的时间平均值  $D$  衡量相似性,故有

$$D = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \delta^2 dt = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T [x(t) - \alpha y(t + \tau)]^2 dt \quad (3)$$

令  $\frac{dD}{d\alpha} = 0$ , 求得最佳的  $\alpha$ , 并将该  $\alpha$  代入式(3), 得到最小的  $D$  值为

$$D_{\min} = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x^2(t) dt [1 - \rho_{xy}^2(\tau)] \quad (4)$$

式中

$$\rho_{xy}(\tau) = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau) dt}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{R_{xy}(\tau)}{\sqrt{R_{xx}(0)R_{yy}(0)}}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}; \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t+\tau) dt}$$

显然,  $\rho$  越大,  $D$  越大, 两个波形越相似。当  $\rho = \pm 1$  时, 则  $D=0$ , 说明  $x(t)$  和  $y(t + \tau)$  完全相似。将  $\rho_{xy}(\tau)$  定义为  $x(t)$  和  $y(t)$  相差  $\tau$  时的相关系数, 令  $\tau=0$ , 则  $\rho_{xy}(0)$  表示  $x(t), y(t)$  在同一采样数据窗内的相关系数, 可以衡量同一数据窗内两路信号的相位关系。当  $x(t), y(t)$  均为稳态正弦信号时, 如果  $x(t), y(t)$  相位一致,  $\rho_{xy}(0) = 1$ ; 如果  $x(t), y(t)$  相位相差  $180^\circ$ , 则  $\rho_{xy}(0) = -1$ ; 如果  $x(t), y(t)$  相位相差  $90^\circ$ , 则  $\rho_{xy}(0) = 0$ , 在其他情况下,  $\rho_{xy}(0)$  位于  $-1$  和  $+1$  之间; 因此, 利用相关系数可以很好的确定两个信号的相位关系。

## 2 模糊模式识别理论

模糊模式识别是指识别给定对象与哪一类模糊样本相同或相近, 即把模糊样本分为若干类, 判别给定的对象属于哪一类。如果在识别中考虑的因素有  $n$  个, 对每一个具体对象来说, 这  $n$  个特征具有  $n$  个隶属度为  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ , 根据各个特征在模式识别中起的作用大小, 用一定的权重表示, 即

$$a_1 \mu_1 + a_2 \mu_2 + \dots + a_n \mu_n = \sum_{i=1}^n a_i \mu_i \quad (5)$$

式(5)中  $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$  在  $[0, 1]$  闭区间内取值。

设定阈值  $\theta$  满足  $\sum_{i=1}^n a_i \mu_i > \theta$ , 则可按阈值归类。

由于上一节得到的相关系数没有明确的界限, 利用隶属度函数表示具有科学性。

## 3 基本原理

系统发生故障后, 各点的电流、电压均可分解为非故障分量和故障分量。根据叠加原理, 系统中的故障分量可由在故障点的等效电源来求解, 由故障产生的高频分量不受工频变化量的影响。现有的利用暂态分量选相原理中, 普遍采用模变换技术, 其转换矩阵为<sup>[9,10]</sup>

$$\begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_A \\ S_B \\ S_C \end{bmatrix} \quad (6)$$

经过模量变换前后, 各种不同类型故障的特征见表 1。

表 1 不同类型故障的特征 (以 A 相为特殊相)

Tab.1 Characteristic of model component in various fault types(A phase is special phase)

故障类型	模量特征	暂态电流特征
单相接地	$S_0 \neq 0,$ $S_b = 0$	$\rho_{B,C} = 1,$ $-1 < \rho_{A,B}, \rho_{A,C} < 1$
两相短路	$S_0 = 0,$ $S_a = 0$	$\rho_{B,C} = -1,$ $-1 < \rho_{A,B}, \rho_{A,C} < 1$
两相接地短路	$S_0 \neq 0,$ $S_b \neq 0$	$-1 < \rho_{B,C}, \rho_{A,B}, \rho_{A,C} < 1$
三相短路	$S_0 = 0,$ $S_a \neq 0,$ $S_b \neq 0$	$-1 < \rho_{B,C}, \rho_{A,B}, \rho_{A,C} < 1$

根据表 1 可以得出各种故障时的组合判据:(以 A 相为特殊相)

单相接地: 0 模分量不为 0,  $\beta$  模分量为零, 由式(6)可得  $S_b = S_c$ , 其物理意义是, 对于平衡线路, 由故障相 A 相产生的暂态高频分量在 B、C 两相上的耦合电流是一致的, 对应的相关系数

$\rho_{B,C} = 1, -1 < \rho_{A,B}, \rho_{A,C} < 1$ , 两相关系数为 1 的是非故障相。具体的暂态电流如图 1(a)。

两相短路: 0 模和  $\alpha$  模分量为 0, 由式(6)得  $S_b = -S_c, S_a = 0$ , 物理意义为 B、C 两相高频暂态电流方向相反, 在 A 相上的耦合电流也相反, 因此 A 相耦合电流为 0。对应的

$\rho_{B,C} = -1, -1 < \rho_{A,B}, \rho_{A,C} < 1$ , 相关系数为  $-1$  的是故障相。具体的暂态电流如图 1(b)。

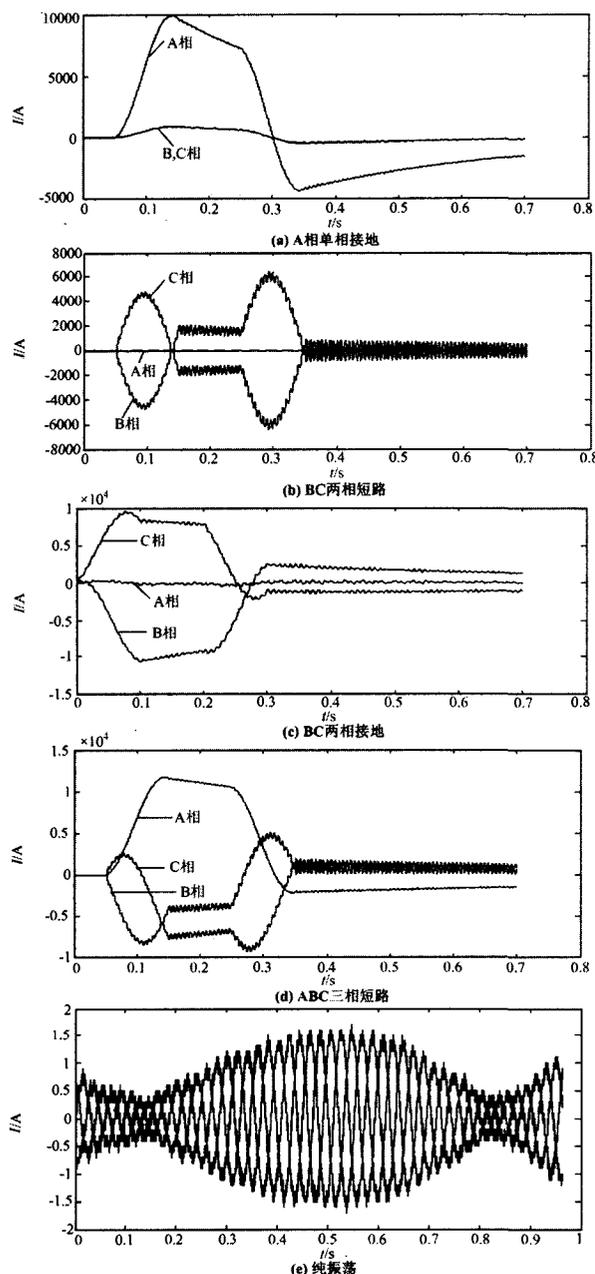


图1 A相为特殊相时各种故障暂态电流和纯振荡波形  
Fig.1 Transient currents of various fault types when phase A is special and waveform of swing

两相接地短路:  $0, \alpha, \beta$  模分量不为 0, 在三相传输线上均有相互耦合的暂态高频电流且无相似关系, 对应的相关系数为:

$-1 < \rho_{B,C}, \rho_{A,B}, \rho_{A,C} < 1$ , 求取以各相为基准的  $\alpha$  模分量进行比较,  $\alpha$  模分量最小的基准相为非故障相<sup>[11]</sup>。具体的暂态电流如图 1(c)。

三相短路:  $0$  模分量为 0,  $\alpha, \beta$  模分量不为 0, 与两

相接地类似, 相关系数为:  $-1 < \rho_{B,C}, \rho_{A,B}, \rho_{A,C} < 1$ 。三相波形如图 1(d)。

纯振荡: 理论上, 三相电流中不含有所用暂态信号的频率成分, 相关系数为 0, 但是实际的系统中存在误差和干扰, 使得纯振荡时的相关系数特征和三相短路类似。振荡波形见图 1(e)。

针对以上情况, 需要先进行故障类型的判别。在正常情况和振荡状态下  $\alpha, \beta$  模量大小相等, 相位相差  $90^\circ$ , 在发生了不对称故障后大小不再相等<sup>[4]</sup>。因此, 利用三相电流的  $\alpha, \beta$  模量大小相异程度可以判断振荡中发生的不对称故障。克拉克变换分别以 A, B, C 相为基准。

$$\begin{cases} \eta_A = I_{\alpha A} / I_{\beta A} \\ \eta_B = I_{\alpha B} / I_{\beta B} \\ \eta_C = I_{\alpha C} / I_{\beta C} \\ \eta_{\max} = \max(|\eta_A - 1|, |\eta_B - 1|, |\eta_C - 1|) \end{cases} \quad (7)$$

对于正常状态和振荡状态  $\eta_A, \eta_B, \eta_C$  都为 1,  $\eta_{\max}$  为 0, 当发生了不对称故障时,  $\eta_A, \eta_B, \eta_C$  不再为 1, 因而  $\eta_{\max}$  较大。

#### 4 实现过程

以上选相原理是建立在三相平衡系统上的, 但实际中, 高压线路存在各种误差, 高频分量难以用精确的模型进行解析和表达。本文利用模糊集合解决这个问题。

##### (1) 暂态电流高频分量的提取

利用电流互感器传变过来的电流, 实际中会因为各种干扰, 这将对暂态保护带来不利的影响, 利用小波变换对信号进行消噪处理。一般在暂态保护中使用较广的 3 次中心 B 样条的导数小波可以满足消噪的要求<sup>[9]</sup>。该小波具有一阶消失矩、线形相位且时域紧支撑, 并且其滤波器长度较短, 硬件实现较简单。本文也采用此小波进行分析, 在小波变换中, 小尺度对应信号的高频分量, 大尺度对应信号的低频分量。考虑频率高时各种误差及噪声的影响, 一般取 3 尺度为宜。

##### (2) 相关系数的求取

在时刻  $n$  的固定时间窗内, 刻画两信号尺度  $2^j$  下频带的相关性, 可以由两信号在该尺度下  $N$  点的小波变换系数的相关性得到:

$$\rho(x, y) = \frac{R_{xy}}{\sqrt{R_{xx} R_{yy}}}$$

$$\frac{\frac{1}{N} \sum_{k=n-N}^n W_x(j,k)W_y(j,k)}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=n-N}^n |W_x(j,k)|^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=n-N}^n |W_y(j,k)|^2}} \quad (8)$$

式中： $x, y$  为 A, B, C 相中任意两相电流； $R_{xx}, R_{yy}$  代表各自时间窗内小波能量； $R_{xy}$  为时间窗内互能量； $W_x(j,k), W_y(j,k)$  是尺度  $2^j$  下分解获得的小波系数部分。

(3) 模糊化处理

在理想的情况下，当两个信号完全相似时，相关系数为  $\pm 1$ ，但经过滤波处理后的高频暂态电流还是会包含较少的干扰分量，实际的暂态电流也会受到三相不完全平衡的影响。因此，计算求得相关系数后，需进行模糊化处理。本文预置 4% 的干扰误差，认为误差范围内是相似的。另外考虑到三相短路等情况下没有相似关系的两信号可能出现  $\rho$  值较大的情况，预置  $\pm 4\%$  的相关性为模糊区，确定  $\rho$  的模糊关系及隶属函数，如图 2 所示，三者之间相关系数的模糊输出分别为  $\lambda_1(AB), \lambda_2(BC), \lambda_3(AC)$ 。

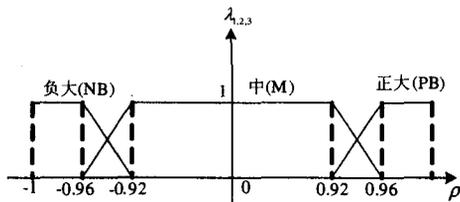


图 2  $\rho$  模糊关系及隶属函数  
Fig. 2 Fuzzy relation and membership of  $\rho$

由于判断接地故障时要用到 0 模分量，所以也进行模糊化处理。其模糊输入为  $K_0 = I_0 / R_{max}$ ，其中  $I_0 = R_{LI}, R_{max} = \max(R_{A,A}, R_{B,B}, R_{C,C})$ ，即为 0 模电流小波能量与相电流小波能量最大值的比值。当发生不接地故障时，0 模分量很小，所以比值很小，一般情况下，接地故障比值大于 0.01，不接地故障将有数量级的减少，考虑 0 模分量较大程度的衰减出现一定 0 模分量等不稳定因素，置 0.005~0.01 为模糊区， $K_0$  模糊关系与隶属函数如图 3 所示。

(4) 故障分类及故障选相

根据基本原理所述，可以把各种故障归类，表 2 列出了各故障类型（以 A 相为特殊相）的模糊判据。

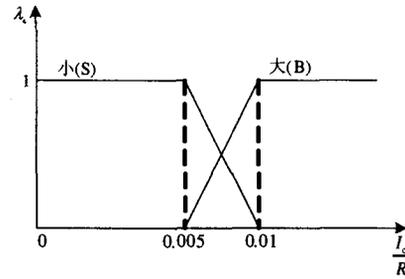


图 3  $K_0$  模糊关系及隶属函数  
Fig.3 Fuzzy relation and membership of  $K_0$

表 2 不同类型故障的模糊判据 (A 相为特殊相)

Tab.2 Fuzzy criterion and relation of various fault types (A phase is special phase)

故障类型	模糊输出			
	$\rho(AB)$ $\lambda_1$	$\rho(BC)$ $\lambda_2$	$\rho(AC)$ $\lambda_3$	$K_0$ $\lambda_4$
AG	M	PB	M	B
BC	M	NB	M	S
BCG	M	M	M	B

对以上的 4 种模糊输出设定权值，进行综合评判，设置权值时，考虑到故障可能出现在任意相中，因此  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  的权值应相等， $\lambda_4$  是判断是否接地的一个模糊特征输出，也应设定一个权值。本文采用以下输出方案： $\lambda_{out} = 0.25(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)$

设定动作权值为 0.9，当  $\lambda_{out} > 0.9$  时，判定该故障类型。然后进行故障选相，根据基本原理所述判据，见表 3。

表 3 故障相别特征

故障类型	故障判别方法
单相接地	相关系数正大 (PB) 的为故障相
两相接地	相关系数负大 (NB) 的为非故障相
两相接地短路	相关系数绝对值最大的为非故障相

5 动模实验验证

本文采用动模实验的实验数据，对不同振荡周期 (0.5 s, 0.9 s)，振荡中线路不同位置，经不同过渡电阻发生的各种故障进行了实验，采样频率为 50 kHz，选取 B 样条导数小波的第 3 尺度参数 2 ms 的数据进行分析。表 4~表 6 列出了不同振荡周期中发生不同类型故障，不同过渡电阻和不同位置的选相结果。

表 4 不同故障类型的选相结果

Tab.4 Fault phase selection results for various fault types

故障类型	AG	BC	BCG
$\rho$ (AB)	-0.6368	0.4260	-0.4027
$\lambda_1$	1	1	1
$\rho$ (BC)	0.9880	-0.9912	-0.5790
$\lambda_2$	1	1	1
$\rho$ (CA)	-0.6053	-0.5418	-0.2961
$\lambda_3$	1	1	1
$K_0$	0.0247	0.0008	0.0621
$\lambda_4$	1	1	1
$\lambda_{out}$	1	1	1

表 5 不同过渡电阻故障时的选相结果

(A 相接地, 振荡周期为 0.5 s)

Tab.5 Fault phase selection results for various fault resistance

(phase A grounding fault)

R/ $\Omega$	0	100	300
$\rho$ (AB)	-0.6368	-0.5489	-0.6254
$\lambda_1$	1	1	1
$\rho$ (BC)	0.9880	0.9758	0.9789
$\lambda_2$	1	1	1
$\rho$ (CA)	-0.6053	-0.5569	-0.5684
$\lambda_3$	1	1	1
$K_0$	0.0247	0.0584	0.0468
$\lambda_4$	1	1	1
$\lambda_{out}$	1	1	1

表 6 不同位置故障时的选相结果

(A 相接地, 振荡周期为 0.9 s)

Tab.6 Fault phase selection results for various fault location

(phase A grounding fault)

故障类型	始端	中点	末端
$\rho$ (AB)	-0.6368	-0.4788	-0.5645
$\lambda_1$	1	1	1
$\rho$ (BC)	0.9880	0.9746	0.9875
$\lambda_2$	1	1	1
$\rho$ (CA)	-0.6053	-0.4845	-0.6895
$\lambda_3$	1	1	1
$K_0$	0.0247	0.0155	0.0084
$\lambda_4$	1	1	1
$\lambda_{out}$	1	1	1

表 7 列出了单相 (A 相) 接地时, 判为其它各种故障的隶属度。由表 7 可知, 当 AG 故障时判为其他故障的最大隶属度为 0.75, 小于阈值 0.9, 有较大的裕度。动模实验数据和 Matlab 仿真结果表明, 该方法可以准确识别振荡中发生的各种故障类型。

表 7 AG 故障判为其他故障的隶属度

Tab.7 Membership of classifying to other fault types when phase A grounding fault

模糊输出	BG	CG	AB	BC	CA	ABG/BCG /CAG
$\lambda_1$	1/M	0/PB	0/NB	1/M	1/M	1/M
$\lambda_2$	0/M	0/M	0/M	0/NB	0/M	0/M
$\lambda_3$	0/PB	1/M	1/M	1/M	0/NB	1/M
$\lambda_4$	1/B	1/B	0/S	0/S	0/S	1/B
$\lambda_{out}$	0.5	0.5	0.25	0.5	0.25	0.75

## 6 结论

本文提出了一种利用暂态高频分量实现振荡中发生不对称故障的选相方案。利用电流互感器传变过来的暂态高频电流, 用 B 样条导数小波提取暂态信号, 对其进行高频分量的相关性分析, 然后利用模糊集理论将相关系数模糊化, 分别附给不同的权值, 最后进行综合评判, 选出故障相。该方案使用小波多尺度分解和模糊集理论, 有效地抑制了干扰, 并且不受过渡电阻和系统运行方式的影响。动模实验和 Matlab 仿真表明, 该选相方案动作迅速, 不受工频量的影响。

## 参考文献

- [1] 沈国荣. 区分振荡与短路的新原理[J]. 电力系统自动化, 1990, 14 (1): 2-8.  
SHEN Guo-rong. A New Rationale of Identifying Power Swing and Short-circuit[J]. Automation of Electric Power Systems, 1990, 14 (1): 2-8.
- [2] 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, 2002, 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, 2002, 20 (3): 39-44.
- [3] 范春菊, 张兆宁, 郁惟镛, 等. 模糊神经网络在区分电力系统故障和振荡中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2001, 13 (3): 50-53.  
FAN Chun-ju, ZHANG Zhao-ning, YU Wei-yong, et al. The Application of the Fuzzy Neural Network in the Distinguishing of the Fault and the Oscillation[J]. Proceedings of the EPSA, 2001, 13 (3): 50-53.
- [4] 焦邵华, 刘万顺, 张振华, 等. 电力系统振荡中不对称故障的选相方法[J]. 华北电力大学学报, 1999, 26 (2): 6-11.  
JIAO Shao-hua, LIU Wan-shun, ZHANG Zhen-hua, et al. A New Approach to Select the Fault Phase of Unbalance Fault During Power Swing[J]. Journal of North China

- Electric Power University, 1999, 26 (2): 6-11.
- [5] 焦邵华, 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, LIU 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.
- [6] 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.
- [7] 鲍小鹏, 张举. 应用模糊集理论识别电力系统振荡中不对称故障的新方法[J]. 电网技术, 2004, 28 (12): 25-29.
- BAO Xiao-peng, ZHANG Ju. A New Approach to Identify Unsymmetrical Fault Occurred During Power System Oscillation by Use of Fuzzy Set Theory[J]. Power System Technology, 2004, 28 (12): 25-29.
- [8] 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.
- [9] Mallat S, ZHONG Si-fen. Characterization of Signals from Multiscale Edges[J]. IEEE Trans on Patter Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(7): 710-730.
- [10] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
- GE Yao-zhong. New Typed of Protective Relaying and Fault Location Their Theory and Techniques[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1996.
- [11] 张保会, 哈恒旭, 吕志来. 利用单端暂态量实现超高压线路全现速动保护新原理的研究(三)——故障选相与尚需解决的问题[J]. 电力自动化设备, 2001, 21 (8): 1-4.
- ZHANG Bao-hui, HA Heng-xu, LU Zhi-lai. Study of Non-unit Transient-based Whole-line High Speed Protection of EHV Transmission Line——Part3: Fault Phase Selection and Problems to Be Studied[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(8): 1-4.

收稿日期: 2007-09-10; 修回日期: 2008-03-18

作者简介:

于 辉 (1978-), 女, 讲师, 研究方向为微机保护及相关领域. E-mail: carrie\_yu@sie.edu.cn

(上接第 24 页 continued from page 24)

拓扑方法来判断不可行解。为避免欺骗现象, 在遗传操作中采用较差个体单独成群的策略。本算法已经在辽源市供电公司应用, 取得了良好的效果。

实际应用和算例结果表明, 本文提出的配电网重构算法能够有效降低网损, 同时电压仍能保持较高水平, 提高运算效率。

### 参考文献

- [1] Sarma N D R, Prakasa Rao K S. A New 0-1 Integer Programming Method of Feeder Reconfiguration for Loss Minimization in Distribution Systems[J]. Electric Power System Research, 1995, (33): 125-131.
- [2] 林万菁, 等. 一种配电网潮流计算混合算法[J]. 大连理工大学学报, 2002, 43(3): 377-381.
- LIN Wan-qing, et al. A Hybrid Algorithm for Distribution Power System Load Flow Calculation[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2002, 43(3): 377-381.
- [3] 孙健, 等. 基于前推回代的配电网潮流改进算法[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(3): 81-84.
- SUN Jian, et al. Modified Power Flow Algorithm of Distribution Network Based on Forward / Backward Sweep Method[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(3): 81-84.
- [4] 麻秀范, 张粒子. 基于十进制编码的配网重构遗传算法[J]. 电工技术学报, 2004, 19(10): 65-69.
- MA Xiu-fan, ZHANG Li-zi. Distribution Network Reconfiguration Based on Genetic Algorithm Using Decimal Encoding[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19(10): 65-69.
- [5] Koichi Nara, Shoise A, Kitagawa M. Implementation of Genetic Algorithms for Distribution Systems Loss Minimum Reconfiguration[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7(3): 1044-1051.
- [6] 代卫星. 基于网络重构和电容器投切的降低配网损耗的技术(硕士学位论文)[D]. 成都: 四川大学, 2004. 45-47.

收稿日期: 2007-10-11

作者简介:

王秀云 (1977-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统自动化; Email: w-xiu-y @163.com

任志强 (1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统自动化;

楚冬青 (1983-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统自动化。