

基于测度分析及模糊集理论的 单相自适应重合闸研究

成敬周,张 举,焦彦军,陈 琛,张延冬,范 凯
(华北电力大学 电力工程系,河北 保定 071003)

摘要:提出一种基于模糊集合理论的电力系统单相自适应重合闸优化算法。该算法能够正确进行瞬时故障与永久故障的区分。当瞬时性故障发生时,在短路点电弧熄灭后的恢复电压阶段,断开相各电气量的关系与永久性故障将有本质的不同。在详细分析断开相工频电气量的基础上,用滤波后的采样值对 4 种判据建立 3 种相似性测度及模糊隶属函数;用绝对值指数法确定幅值的隶属度,用相关系数测度建立 2 种相位判据的隶属度,用数量积法确定功率方向的隶属度,并进行模糊综合故障性质识别。给出了相应的模糊数学模型。经过大量仿真试验,获得了满意的效果。

关键词:模糊集合;自适应重合闸;瞬时性故障;永久性故障

中图分类号: TM 762.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)04-0023-05

0 引言

在实际电力系统中,自动重合闸一般都是盲目进行,如果重合于永久性故障则使电力系统又一次受到故障的冲击,给系统带来很大危害。因此,研究自适应重合闸,使其只在瞬时性故障时重合,将具有很大的实际意义。目前,国内外许多学者提出了鉴别故障性质的方法,主要有以熄弧后的稳态恢复电压作为判据进行识别和用二次电弧的特性及神经网络进行鉴别^[1~3]。以上方法均有一定的局限性:电压判据存在误动区;电弧的许多影响因素具有非线性特征,使得分析研究的难度和应用局限加大;人工神经网络的智能识别较烦琐且需要样本训练。

本文在对瞬时性故障时恢复电压分析的基础上,针对以往判据的不足,提出了利用电压、电流采样值经滤波后进行多特征的辨识,建立相似性测度,利用模糊集进行综合评定,取得了较好效果。

1 瞬时故障恢复电压及永久故障电压特征

以 A 相故障为例,当瞬时故障发生后,线路故障相两端断开。随短路点电弧的逐渐熄灭,输电线路转入两相运行状态,如图 1 所示^[1,4]。

健全相与故障相之间存在着电磁耦合电压 U_{XL} 和电容耦合电压 U_y ,分别为

$$U_{XL} = (I_B + I_C) Z_m L \quad (1)$$

$$U_y = (U_B + U_C) \frac{jX_0}{jX_m + 2jX_0} \quad (2)$$

式中 Z_m 为输电线路单位长度互感; L 为线路全长;

收稿日期:2004-05-25;修回日期:2004-12-09

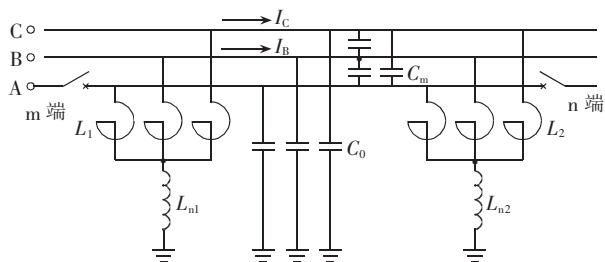


图1 输电线路两相运行的等效电路

Fig.1 Equivalent circuit of transmission lines with two operating phases

X_0, X_m 分别为相对地阻抗和相间容性阻抗。

将线路分布参数以 T 型等效,当功率因数 $\lambda=1$ 、互感阻抗角为 90° ,线路两端的电压矢量关系如图 2 所示。

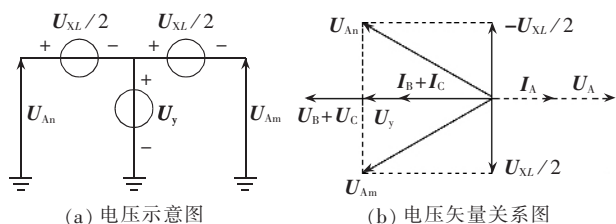


图2 瞬时性故障线路两端电压

Fig.2 Line terminal voltages at transient fault

因此,在瞬时故障时线路两端电压可表示为

$$|U_{Am}| = |U_{An}| = \sqrt{U_y^2 + (U_{XL}/2)^2} = \frac{U_{XL} \sqrt{(U_y/U_{XL})^2 + 1/4}}{2} \quad (3)$$

在永久故障情况下,故障点始终存在,线路对地电容可靠放电,电容耦合电压可忽略。断开相电压表示为

$$U_{Am} = (I_B + I_C) Z_m l \quad (4)$$

式中 l 为故障点距线路首端的长度。

m 端瞬时故障电压判据为

$$cv = \left| \frac{U_{Am}}{U_{XL}} \right| = \left| \frac{U}{I_0(Z_0 - Z_1)L} \right| \geq 1 \quad (5)$$

设 $|U_y/U_{XL}| = m$, 由式(3)和(5)得当 $0 \leq m \leq \sqrt{3}/2$ 时, $cv < 1$, 此时误判为永久性故障^[5]。 U_y 由线路参数和并联补偿程度而定,与线路长度无关; U_{XL} 则由断相后负荷及线路长度共同决定,因此长线重负荷线路容易满足误判条件,缩短了可靠判定区。

对图 2 中的 (b) 进行详细分析,如图 3 所示,图中 $\tan \beta = |AD|/|OA|$, $|OB| = |U_{XL}| = 2|OA|$ 。即 $|U_y|$ 为一定值,当 $|OA|$ 增大、 β 减小到 60° ($\tan \beta < \sqrt{3}$) 时, $|OD| < 2|OA| = |OB|$, $cv < 1$, 存在误动区。设在误动区内 $|OD| = |OC|$, 则幅值判据会把

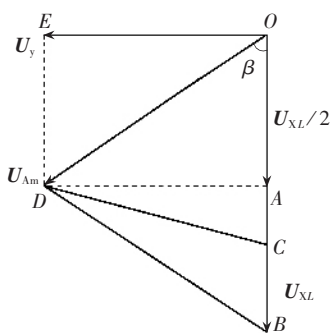


图3 m 端电压幅值模糊区分析
Fig.3 Fuzzy area of voltage amplitude at side m

瞬时性故障误判成故障距离为 $l = |OC|/(I_B + I_C)Z_m$ 的永久性故障。因此,在 $\beta < 60^\circ$ 时,瞬时故障的断开相电压幅值必将等于 $|OA| \sim |OB|$ 区内某值而产生误动。文献[5]设计了一种模糊控制器,其原理就是在该误动模糊区内用瞬时性故障等式(3)求得的 $|U_{Am}|$ 与实际测量的 $|U_{Am}|$ 均除以 $|U_{XL}|$ 并模糊化为 l 和 cv ,再用高斯型隶属函数 $e^{-k(z-a)^2}$ 进行比较,当线路确为发生瞬时性故障,两值相等,隶属函数大;当为永久故障时,两值不等,隶属函数小。

显然,在永久故障时,如果实际测得端电压值 $|OC|$ 等于用式(3)求得的 $|OD|$ 值,则又会把永久性故障判别为瞬时性故障,因此只增加模糊子集的论域长度不能解决此类误动点。

文献[4]利用 $U_{Am} - 0.5 U_{XL}$ 与 U_{XL} 的相位关系进行判定,在前述的误判情况下,相位判据均能正确判定,但在线路首端发生大过渡电阻短路时仍要用到幅值作为辅助判据。另外,在 500 kV 线路上,互感阻抗角小于 90° ,对以上判据都会带来一定误差。因此,应该寻求一种算法综合利用电气量的幅值和相位信息作为判据,而基于模糊集的综合评定正是有了此优点。

2 模糊集及 F 相似测度的建立

模糊集合理论是将经典集合理论模糊化,将二值逻辑 $[0, 1]$ 推广至可取 $[0, 1]$ 闭区间内任意值的无穷多个值的连续值逻辑,而把特征函数作适当的推广则产生了隶属函数。模糊模式识别是指识别给定对象和哪一类模糊样本相同或相近,即把模糊样本分成若干类,判别给定的对象应属于哪一类。若在识别中考虑的因素有 n 个,对每个具体对象,这 n 个特性具有 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

$$a_1 \mu_1 + a_2 \mu_2 + \dots + a_n \mu_n = \sum_{i=1}^n a_i \mu_i \quad (6)$$

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

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

在模糊和聚类分析中一个重要的问题是建立 F 相似性测度,一般可以采用绝对值指数法、相关系数法、数量积法、欧氏距离法、几何平均法等,本文将用前 3 种方法建立模糊相似测度。

3 模糊集判别线路故障性质

3.1 微机保护中重合闸信号的算法

微机保护中算法很多,本文的模糊识别技术是建立在模糊测度分析基础上的,适宜直接利用采样值建立判据进行故障特征的识别。

由于上节中分析的电气量关系均建立在工频基础上,在实际的电力系统中存在大量的非工频量,算法的灵敏度就要相应的下降,甚至导致误判断。为提高可靠性,需要对采样信号进行滤波处理。这里

利用 butter 函数设计一种 2 阶 IIR 带通 Butterworth 滤波器。设定每周周期 32 点,令滤波器带通为 40~60 Hz,根据 IIR 滤波器的设计原则,可计算出滤波器的传递函数为

$$H(Z) = \sum_{n=0}^{2M} b(n)z^{-n} / \sum_{n=0}^{2M} a(n)z^{-n} \quad (7)$$

带通滤波器的长度为 5,其中

$$b(n) = [0.012\ 7, 0.00, -0.025\ 4, 0.00, 0.012\ 7]$$

$$a(n) = [1.00, -3.588, 4.897, -3.014, 0.707\ 3]$$

该滤波器数据窗长度为 10,当采样率为 1.6 kHz 时,其群延时为 6.3 ms,可满足信号处理实时性要求。

3.2 电气量采样

根据本文判定线路故障性质所需的电气量进行采集,以 m 侧为例,设通过前述滤波器后 $I_B + I_C$ 瞬时采样值为 $x_1(n)$, U_{Am} 的采样值为 $x_2(n)$, $U_B + U_C$ 采样值为 $x_3(n)$; 设 $X_0/(X_m + 2X_0)$ 的值为 k_1 , 所以 U_y 的计算采样值 $y_1 = k_1 x_3(n)$; 设 $Z_m L$ 的值为 $k_2 e^{j\theta}$, 在每周周期 N 个采样点时,线路阻抗角对应采样点差值为 $m = \theta N / 360$ (m 取整数), 则 U_{XL} 的计算采样值为 $y_2(n) = k_2 x_1(n+m)$; 另外, 设对端断开相电压 U_{An} 采样值为 $x_4(n)$ 。以上 k, θ, m 的值只和线路有关, 因此系统确定后, 以上值作为常数整定。

3.3 幅值判据隶属函数确定

考查 m 端检测情况, 用假定发生瞬时故障时式(3)求得 U_{Am} 幅值与实际测得的 A 相电压幅值进行比较, 即 $x_5(n) = y_1(n) + 0.5 y_2(n)$ 与实际测量值 $x_2(n)$ 的幅值进行比较。

本文采用半周积分算法原理求幅值, 用绝对值指数法建立相似性测度 $r_1 = \exp(-\frac{1}{T} \left| \sum_{n=1}^{N/2} |x_5(n)| - \sum_{n=1}^{N/2} |x_2(n)| \right|)$, N 为一周期采样点数, 下同。 T 的取值

非常关键, 经仿真取 $\frac{1}{2} (\sum_{n=1}^{N/2} |x_5(n)| + \sum_{n=1}^{N/2} |x_2(n)|)$ 较合适。集总参数下瞬时故障 r_1 理想值为 1, 长线分布参数及各种误差造成 r_1 值略微降低。永久性故障时, 除误动情况外, 由前述分析可知两幅值相差较大, r_1 较小。

确定相似关系后, 设定其瞬时性故障的隶属函数式(8), 其 r_1 的隶属函数如图 4 所示。

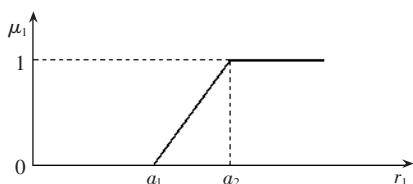


图 4 r_1 的隶属函数

Fig.4 The membership function of r_1

$$\mu_1 = \begin{cases} 0 & r_1 < a_1 \\ (r_1 - a_1)/(a_2 - a_1) & a_1 < r_1 < a_2 \\ 1 & a_2 < r_1 \end{cases} \quad (8)$$

式中 a_1 取 0.8; a_2 取 0.9。

3.4 相位判据隶属函数确定

3.4.1 单端相位判据隶属函数

考虑区分线路故障性质所用电气量的相位关系, 可以设定:

$$\alpha = \arg |(U_{Am} - 0.5 U_{XL}) / U_{XL}| \quad (9)$$

则在瞬时性故障的恢复电压阶段, 从图 2 可以得到 α 值接近 90° ; 永久故障情况下, 由式(1)(4)可得端电压的相位与 U_{XL} 的相位完全一致, 因此 α 近似为 0° [4]。

相位的相似性测度可以采用相关系数法建立, 用采样值求取 $U_{Am} - 0.5 U_{XL}$ 和 U_{XL} 的相关系数 r_2 为

$$r_2 = \frac{\left| \sum_{n=1}^N [x_2(n) - 0.5 y_2(n)] y_2(n) \right|}{\left\{ \sum_{n=1}^N [x_2(n) - 0.5 y_2(n)]^2 \sum_{n=1}^N y_2^2(n) \right\}^{1/2}} \quad (10)$$

二次电弧熄弧后主要为稳态正弦量。由相关系数特性可知, 两正弦量的相关性和幅值比无关, 只为两信号相位差 α 的余弦函数。因此, 瞬时故障 $\cos \alpha$ 接近 0, 相关性很小; 而永久故障相关性接近 1。

可以确定其瞬时性故障的隶属函数式(11), 其 r_2 的隶属函数如图 5 所示。

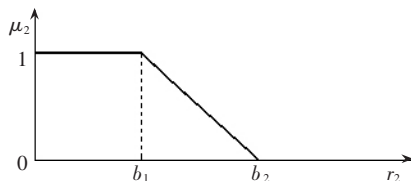


图 5 r_2 的隶属函数

Fig.5 The membership function of r_2

$$\mu_2 = \begin{cases} 1 & r_2 < b_1 \\ 1 - (r_2 - b_1)/(b_2 - b_1) & b_1 < r_2 < b_2 \\ 0 & b_2 < r_2 \end{cases} \quad (11)$$

式中 b_1 取 0.4; b_2 取 0.6。

3.4.2 双端相位判据隶属函数

断开相的两端电压相位关系与线路本身参数、线路补偿度及线路电流有关。由图 2 可知, 在永久性故障下, 两端测量电压为电磁耦合分量, 相角差较大, 理想情况下为 180° , 因此用相关系数建立的 F 关系测度值为 -1 。在瞬时故障时, 互感电压的存在使断开相两端电压相位差较小, 因此 F 值也将在 $-1 \sim 1$ 之间变化。 F 关系算法为

$$r_3 = \frac{\sum_{n=1}^N x_2(n) x_4(n)}{\left[\sum_{n=1}^N x_2^2(n) \sum_{n=1}^N x_4^2(n) \right]^{1/2}} \quad (12)$$

由此建立的瞬时性故障的隶属函数式(13), 其 r_3 的隶属函数如图 6 所示。

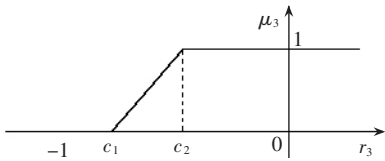


图 6 r_3 的隶属函数

Fig.6 The membership function of r_3

$$\mu_3=\begin{cases} 0 & r_3 < c_1 \\ (r_3-c_1)/(c_2-c_1) & c_1 < r_3 < c_2 \\ 1 & c_2 < r_3 \end{cases} \quad (13)$$

式中 c_1 取 -0.9 ; c_2 取 -0.8 。

3.5 功率型判据隶属函数确定

考查 I_B+I_C 与 U_{Am} 的乘积,因 I_B+I_C 与跳闸前 I_A 的方向相反,两者乘积可以作为 A 相的负功率型判据。当线路发生永久故障时,由式(4)可得到 I_B+I_C 与 U_{Am} 的角度差为 Z_m 的阻抗角,忽略电阻角度达 90° ,因此功率值较小;瞬时故障时,因 U_{Am} 为电容耦合电压和互感电压的矢量和,且 I_B+I_C 与 U_{Am} 的夹角较小,所以功率值较大。

采用数量积法建立 F 关系测度:

$$r_4=\frac{1}{M}\sum_{n=1}^N x_1(n)x_2(n)$$

式中 M 取 I_B+I_C 与 U_y 采样值积的一周和 $\left|\sum_1^N x_1(n)y_1(n)\right|$ 。

超高压线路功角较小,因此 M 值较大。可以设定确定其瞬时性故障的隶属函数式(14),其 r_4 的隶属函数如图 7 所示。

$$\mu_4=\begin{cases} 0 & r_4 < d_1 \\ (r_4-d_1)/(d_2-d_1) & d_1 < r_4 < d_2 \\ 1 & d_2 < r_4 \end{cases} \quad (14)$$

式中 d_1 取 0.7 ; d_2 取 0.8 。

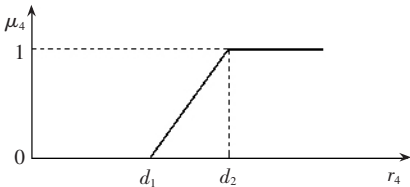


图 7 r_4 的隶属函数

Fig.7 The membership function of r_4

3.6 故障的综合识别

得到上述 4 个判据的隶属函数后,根据各判据运行经验及稳定性,设定各判据权重,本文设定权重为

$$\mu_{out}=0.25\mu_1+0.25\mu_2+0.2\mu_3+0.3\mu_4 \quad (15)$$

设定总阈值为 0.65 ,当 μ_{out} 大于阈值时判定为瞬时性故障。

4 仿真验证

图 8 为 ATP 仿真 500 kV , 350 km 分布参数线路,线路参数来自 渭河—廉州线。一周周期采样 32 点,线路 k_1 值整定为 0.141 , k_2 值整定为 84.834 ,线路互感角对应采样值差 m 整定为 7 点;其他参数为

$$\begin{aligned} Z_1 &= 0.018\,08 + j0.277\,47\,\Omega/\text{km} \\ Z_0 &= 0.230\,84 + j0.972\,8\,\Omega/\text{km} \\ C_1 &= 0.012\,917\,\mu\text{F}/\text{km} \\ C_0 &= 0.008\,116\,1\,\mu\text{F}/\text{km} \\ Z_{M1} &= 1.285\,7 + j55.637\,7\,\Omega \\ Z_{M0} &= 2.876\,4 + j37.126\,7\,\Omega \\ Z_{N1} &= 1.671\,4 + j35.539\,1\,\Omega \\ Z_{N0} &= 4.7 + j37.978\,4\,\Omega \end{aligned}$$

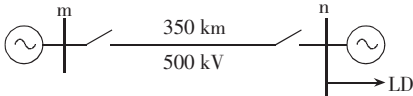


图 8 仿真系统

Fig.8 Power system for simulation

在单相故障后的恢复电压阶段,进行模糊集综合判断,当连续判定为瞬时性故障或永久性故障后,对重合闸发重合或闭锁命令。本文做了大量的仿真,限于篇幅只列出一种较不利的情况:在系统末端带 $1\,350\text{ MV}\cdot\text{A}$ 负荷; m 端电压超过正常电压 10% ; n 端低于正常电压 10% 。表 1 和表 2 列出了重合闸装置分别在 m 及 n 端的测试结果,表中包括了本文的判据及文献[1,4,5]的判据,以利于比较。

由表 1,2 可知,在长线路重负荷的情况下,由于 $0 < m < \sqrt{3}/2$,电压幅值判据会把瞬时性故障判别为永久性故障,判据失效;在装置末端永久故障时,断相测量电压等于 U_{XL} ,由于误差使得断相测量电压大于 U_{XL} ,即 cv 值大于 1,因而电压幅值判据误判为瞬时性故障。在距 m 端线路上的 63% 和距 n 端线路上 67% 处永久故障时,满足文献[5]的 $cv=l=\sqrt{m^2+0.25}$ 瞬时故障等式,因此以上两处附近的点用模糊综合决策会有误判,而利用模糊集理论只使幅值隶属度 μ_1 产生误判。在线路中点短路式(9)分子为零,文献[4]的单端相位判据失效,误差原因使

表 1 装置位于 m 侧得到的结果及对比数据

Tab.1 The comparative data with the equipment locating at side m

故障类型	r_1/μ_1	r_2/μ_2	r_3/μ_3	r_4/μ_4	μ_{out}	m	cv	模糊集 判别-1	模糊综合 决策-2	电压幅值 判别-3	电压相位 判别-4	判断 结果
瞬时性故障	0.951/1	0.290/1	-0.091/1	1.235/1	1	0.569	0.765	瞬时性	瞬时性	永久性	瞬时性	124对
永久性故障	出口 0.135/0	1.000/0	不确定/1	0.000/0	0.25	0.579	0	永久性	永久性	永久性	永久性	全对
	30 % 0.350/0	0.978/0	-0.975/0	0.177/0	0	0.571	0.302	永久性	永久性	永久性	永久性	全对
	50 % 0.537/0	0.117/1	-0.977/0	0.321/0	0.25	0.568	0.510	永久性	永久性	永久性	瞬时性	123对
	63 % 0.911/1	0.967/0	-0.979/0	0.413/0	0.25	0.568	0.757	永久性	瞬时性	永久性	永久性	134对
	70 % 0.85/0.5	0.958/0	-0.979/0	0.486/0	0.125	0.568	0.715	永久性	永久性	永久性	永久性	全对
	末端 0.712/0	0.996/0	不确定/1	0.728/0.3	0.29	0.573	1.066	永久性	永久性	瞬时性	永久性	124对

表 2 装置位于 n 侧得到的结果及对比数据
Tab.2 The comparative data with the equipment locating at side n

故障类型	r_1/μ_1	r_2/μ_2	r_3/μ_3	r_4/μ_4	μ_{out}	m	cv	模糊集 判别-1	模糊综合 决策-2	电压幅值 判别-3	电压相位 判别-4	判断 结果
瞬时性故障	0.967/1	0.248/1	-0.091/1	0.859/1	1	0.483	0.689	瞬时性	瞬时性	永久性	瞬时性	124对
永久性故障	出口	0.135/0	1.000/0	不确定/1	0.000/0	0.20	0.493	0	永久性	永久性	永久性	全对
	30 %	0.642/0	0.956/0	-0.979/0	0.126/0	0	0.485	0.304	永久性	永久性	永久性	全对
	50 %	0.741/0	0.020/1	-0.977/0	0.199/0	0.25	0.483	0.515	永久性	永久性	永久性	123对
	67 %	0.923/1	0.782/0	-0.976/0	0.254/0	0.25	0.482	0.699	永久性	瞬时性	永久性	134对
	70 %	0.820/0.2	0.797/0	-0.975/0	0.264/0	0.05	0.482	0.743	永久性	永久性	永久性	全对
末端	0.564/0	0.888/0	不确定/1	0.341/0	0.20	0.485	1.080	永久性	永久性	瞬时性	永久性	124对

得相关性 r_2 很小造成误判;在线路出口短路,断开相电压为零,双端相位判据也失效,不能求相应的相关系数 r_3 ,考虑误差最大值使其相关系数测度为 1,模糊集的判据仍能正确动作。另外,在线路末端短路,功率型判据 F 相似关系较大,可能有一定的隶属度输出,但不影响判断结果。从表中可以看出,永久性故障的总隶属度最大为 0.29,离阈值 0.65 有较大的裕度,而瞬时性故障的总隶属度以 1 出口。

本文另外在不同的线路传输功率、过渡电阻、短路距离下进行了大量的仿真,均可以得出利用模糊集能正确进行故障性质的判别。

5 结论

本文将模糊集理论和相似性测度分析引入微机自适应重合闸的故障性质判别中,理论和仿真都表明,利用多特征进行综合识别能够解决单判据的判别缺陷,在各种运行工况下均能正确识别。因此,基于模糊集合理论的自适应重合闸具有特征明显、可靠性高等特点,能在实际中得到应用和推广。

参考文献:

[1] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术 [M]. 陕西:西安交通大学出版社,1996.
[2] BO Z Q,AGGARWAL R K,JOHNS A T,*et al.* A new concept in transmission line reclosure using high frequency

fault transients[J]. **IEEE Proceedings—Generation, Transmission and Distribution**,1997,144(5):1-6.
[3] AGGARWAL R K,JOHNS A T,SONG Y H,*et al.* Neural-network based adaptive single-pole autoreclosure technique for EHV transmission systems [J]. **IEEE Proceedings — Generation,Transmission and Distribution**,1994,141(2):155-160.
[4] 李 斌,李永丽,黄 强,等. 单相自适应重合闸相位判据的研究[J]. 电力系统自动化,2003,27(22):41-44.
LI Bin,LI Yong-li,HUANG Qiang,*et al.* Study on phase criterion for single-pole adaptive reclosure [J]. **Automation of Electric Power Systems**,2003,27(22):41-44.
[5] 林湘宁,朱海昱,刘 沛. 基于模糊综合决策的自动重合闸优化判据的研究 [J]. 电力系统自动化,1997,21(9):31-34,76.
LIN Xiang-ning,ZHU Hai-yu,LIU Pei. The study on optimal automatic reclosing criteria based on fuzzy synthetic decision [J]. **Automation of Electric Power Systems**,1997,21(9):31-34,76.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

成敬周(1980-),男,浙江兰溪人,硕士研究生,研究方向为微机保护(E-mail:cjzpower@sohu.com);
张 举(1946-),男,河北蔚县人,教授,从事电力系统微机保护理论研究和产品的开发;
焦彦军(1963-),男,河北安国人,副教授,博士,从事电力系统微机保护理论研究和产品开发。

Study on single-pole adaptive reclosing based on fuzzy set and measure analysis

CHENG Jing-zhou,ZHANG Ju,JIAO Yan-jun,CHEN Chen,ZHANG Yan-dong,FAN Kai
(North China Electric Power University,Baoding 071003,China)

Abstract: An optimization algorithm based on fuzzy set for single-pole adaptive reclosing in power system is proposed. It can distinguish transient fault from permanent fault occurred on the EHV(Extra High Voltage) transmission line. During the voltage recovery period after the extinction of fault arc,the amplitude and phase of transient fault voltage is essentially different from those of permanent fault voltage. Based on the analysis of fault voltage using filtered sample data,three similarity measures and fuzzy membership functions are set up according to four criteria:the membership of amplitude using the exponent of absolute value;the membership of two phases according to their correlation measure,the membership of power direction using the quantity product. The fuzzy integrated fault identification is carried out as well. The relative fuzzy math models are presented. All the conclusions have been verified by simulations.
Key words: fuzzy set; automatic reclosing; transient fault; permanent fault