

# 基于过渡电阻计算的距离保护

张华中<sup>1,2</sup>, 王维庆<sup>1</sup>, 朱玲玲<sup>1,2</sup>, 张忠<sup>3</sup>

(1. 新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 周口市供电公司, 河南 周口 466000;  
3. 太康县供电局, 河南 太康 461400)

**摘要:** 单相接地故障是高压输电线路最常见的故障类型, 但发生接地故障时高过渡电阻的存在容易引起距离保护拒动或误动。为了提高距离保护的可靠性, 本文以输电线路单相接地为例利用对称分量法找出传统接地距离保护的原理性缺陷, 提出了一种基于保护处监测到的有功功率计算过渡电阻的新方法, 这种补偿的方法改进了距离保护的判据, 具有对过渡电阻的自适应性, 根据过渡电阻的大小自动补偿附加测量阻抗。本论文又分析了过渡电阻、两侧电源电势相位差 $\delta$ 对距离保护阻抗测量的影响。从ATP仿真结果知, 对于各种类型的接地故障, 尤其对高阻接地故障, 保护表现出令人满意的性能, 这种新方法解决了距离保护的拒动问题。

**关键词:** 有功功率; 过渡电阻; 阻抗测量; 距离保护; ATP

## Ground distance relay based on fault resistance calculation

ZHANG Hua-zhong<sup>1,2</sup>, WANG Wei-qing<sup>1</sup>, ZHU Ling-ling<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhong<sup>3</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830000, China; 2. Zhoukou Electric Power Corporation, Zhoukou 466000, China; 3. Taikang Power Supply Company, Taikang 461400, China)

**Abstract:** The single-phase earth fault is the most common fault type on high voltage transmission lines. But the high fault resistance may result in tripping missing or maloperation of distance relays. In order to improve the reliability of distance relays, this paper takes single phase to ground fault of high voltage transmission lines as an example, and uses a symmetrical component method to find out inherent defect of the traditional distance protection. Then, a new compensation method based on fault resistance calculation is presented. The fault resistance calculation is based on monitoring the active power at the relay point. The compensation method improves criterion of distance relays. It can adapt to different earth resistance, and the compensation component is changed with the different earth-fault resistance adaptively. Moreover, this paper analyses effects of fault resistance and phase difference  $\delta$  between electric sources on two ends on impedance estimation of distance protection. From simulation results of ATP, the relay shows satisfactory performances under various fault conditions especially for the ground faults with high fault resistance. This new compensation method avoids the under-reach problem in ground distance relays.

**Key words:** active power; fault resistance; impedance measurement; distance protection; ATP

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)18-0037-06

## 0 引言

高压输电线路最常见的故障是单相接地故障, 但各种接地距离保护的可靠性受接地电阻的影响很大, 它可引起保护的超范围动作或使保护的范同缩短, 从而导致保护的误动或拒动<sup>[1~6]</sup>。为了克服接地电阻的影响并提高接地距离保护的可靠性, 继电保护工作者做了大量的研究, 文献[7,8]提出了基于单端电压和电流计算故障阻抗的方法, 文献[9]取零序电流、电压补偿系数近似值测量故障阻抗, 文献[10~12]采用自适应的方法来消除接地电阻对距离保护的影响, 文献[13,14]改变距离保护多边形形状

来解决高过渡电阻接地拒动问题。本文提出了基于保护处监测到的有功功率计算过渡电阻的新方法, 改进了距离保护的判据, 本算法能根据计算出过渡电阻的大小自动补偿附加测量阻抗, 因而具有极强的抗过渡电阻能力, 可以为高压、超高压长距离输电线路提供有效且可靠的保护。

## 1 距离保护原理分析

双侧电源输电线路如图1所示, 本文以A相经过渡电阻 $R_f$ 接地故障为例, 分析接地距离保护的原理。图2为单相接地故障的复合序网。

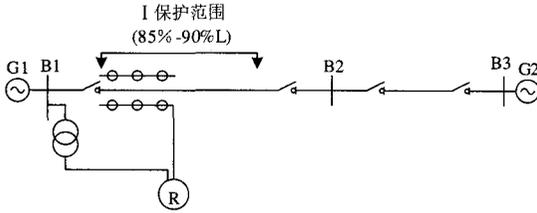


图1 双端电源输电线路

Fig.1 Transmission line with two-sources

图中：G1、G2 分别为输电线路的送电侧和受电侧电源；B1、B2、B3 分别为线路送电侧电源母线、中间变电所母线、线路受电侧电源母线；R 为母线 B1 处的保护。

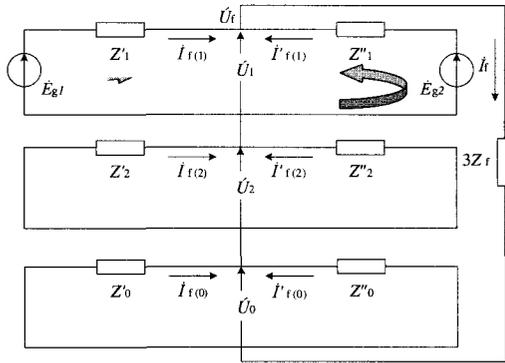


图2 A相经阻抗接地的复合序网

Fig.2 Symmetrical component circuit for a line-to-ground fault (A-G fault) through impedance

图中： $\dot{E}_{g1}$ 、 $\dot{E}_{g2}$  分别为 B1、B3 保护安装处电压相量； $\dot{U}_f$  为故障点电压； $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_0$  分别为故障点的正序、负序、零序电压； $I_f$  为流过故障点的短路电流； $I_{f(1)}$ 、 $I_{f(2)}$ 、 $I_{f(0)}$  分别为流过线路送电侧的正、负、零序电流； $I'_{f(1)}$ 、 $I'_{f(2)}$ 、 $I'_{f(0)}$  分别为流过线路受电侧的正、负、零序电流； $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_0$  分别为故障点与 B1 保护安装处之间线路的正、负、零序阻抗； $Z'_1$ 、 $Z'_2$ 、 $Z'_0$  分别为故障点与 B3 保护安装处之间线路的正、负、零序阻抗； $Z_f$  为过渡电阻  $R_f$  在保护测量阻抗中引起的附加测量分量，当两侧电源存在电势相位差时，流过保护的电流和流过故障点的电流不再同相， $Z_f$  就有电抗分量<sup>[15~17]</sup>。

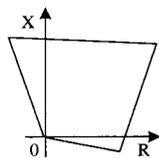


图3 距离保护的多边形特性

Fig.3 Polygonal characteristic of distance relays

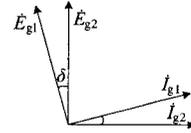


图4 系统电压电流相位关系

Fig.4 Relationship between the voltage and the current

图中： $\delta$  为  $\dot{E}_{g1}$  和  $\dot{E}_{g2}$  之间相位差； $I_{g1}$ 、 $I_{g2}$  分别为流过线路送电侧、受电侧的单相故障相电流。

A 相接地短路，过渡电阻为  $R_f$ ，则可列故障点处的电压方程

$$\dot{U}_f = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_0 = (\dot{I}_{g1} + \dot{I}_{g2})R_f \quad (1)$$

根据单相接地的复合序网可列方程

$$\dot{E}_{g1} = \dot{I}_{f(1)}Z'_1 + Z'_2\dot{I}_{f(2)} + Z'_0\dot{I}_{f(0)}$$

$$R_f(\dot{I}_{f(1)} + \dot{I}'_{f(1)} + \dot{I}_{f(2)} + \dot{I}'_{f(2)} + \dot{I}_{f(0)} + \dot{I}'_{f(0)}) \quad (2)$$

假定线路的正序阻抗等于负序阻抗，式(2)可整理为

$$\dot{E}_{g1} = Z'_1\dot{I}_{g1} + (Z'_0 - Z'_1)\dot{I}_{f(0)} + R_f(\dot{I}_{g1} + \dot{I}_{g2}) \quad (3)$$

其中  $\dot{I}_{g1} = \dot{I}_{f(1)} + \dot{I}_{f(2)} + \dot{I}_{f(0)}$  (4)

$$\dot{I}_{g2} = \dot{I}'_{f(1)} + \dot{I}'_{f(2)} + \dot{I}'_{f(0)} \quad (5)$$

由式(3)可得故障测量阻抗

$$Z'_1 = \frac{\dot{E}_{g1}}{\dot{I}'_{g1}} - \frac{R_f(\dot{I}_{g1} + \dot{I}_{g2})}{\dot{I}'_{g1}} \quad (6)$$

其中  $\dot{I}'_{g1} = \frac{Z'_0 - Z'_1}{Z'_1}\dot{I}_{f(0)} + \dot{I}_{g1}$

未补偿附加测量阻抗时，故障测量阻抗为

$$Z_{1-un} = Z'_1 = \frac{\dot{E}_{g1}}{\dot{I}'_{g1}} \quad (7)$$

由于忽略了附加测量阻抗  $R_f(\dot{I}_{g1} + \dot{I}_{g2})/\dot{I}'_{g1}$ ，所以距离保护阻抗测量不准确，实际的故障阻抗为

$$Z'_1 = \frac{\dot{E}_{g1}}{\dot{I}'_{g1}} - \frac{R_f(\dot{I}_{g1} + \dot{I}_{g2})}{\dot{I}'_{g1}} \quad (8)$$

同理，线路发生对称接地故障时，未补偿附加测量阻抗时，故障测量阻抗为

$$Z_{1-un} = Z'_1 = \frac{\dot{E}_{g1}}{\dot{I}'_{g1}} \quad (9)$$

由于忽略了附加测量阻抗  $R_f(\dot{I}_{g1} + \dot{I}_{g2})/\dot{I}'_{g1}$ ，所

以距离保护阻抗测量不准确, 实际的故障阻抗为

$$Z'_f = \frac{\dot{E}_{g1}}{\dot{I}_{g1}} - \frac{R_f(\dot{I}_{g1} + \dot{I}_{g2})}{\dot{I}_{g1}} \quad (10)$$

## 2 过渡电阻计算

根据单相短路接地的复合序网可列出故障点处的正、负、零序电压和各序电流之间的关系

$$\dot{U}_1 = 3Z_f(\dot{I}_{f(1)} + \dot{I}'_{f(1)}) + Z'_0\dot{I}_{f(0)} + Z'_2\dot{I}_{f(2)} \quad (11)$$

$$\dot{U}_2 = -Z'_2\dot{I}_{f(2)} \quad (12)$$

$$\dot{U}_0 = -Z'_0\dot{I}_{f(0)} \quad (13)$$

$$\dot{I}_{f(1)} + \dot{I}'_{f(1)} = \dot{I}_{f(2)} + \dot{I}'_{f(2)} = \dot{I}_{f(0)} + \dot{I}'_{f(0)} \quad (14)$$

故障点处每相上的正、负、零序功率分量分别为

$$P_1 + jQ_1 = \dot{U}_1(\hat{I}_{f(1)} + \hat{I}'_{f(1)}) \quad (15)$$

$$P_2 + jQ_2 = \dot{U}_2(\hat{I}_{f(2)} + \hat{I}'_{f(2)}) \quad (16)$$

$$P_0 + jQ_0 = \dot{U}_0(\hat{I}_{f(0)} + \hat{I}'_{f(0)}) \quad (17)$$

式中:  $\hat{I}_{f(1)}$ 、 $\hat{I}_{f(2)}$ 、 $\hat{I}_{f(0)}$ 分别为流过线路送电侧的正、负、零序电流的共轭相量;  $\hat{I}'_{f(1)}$ 、 $\hat{I}'_{f(2)}$ 、 $\hat{I}'_{f(0)}$ 分别为流过线路受电侧的正、负、零序电流的共轭相量。

由式(14)可知

$$\hat{I}_{f(1)} + \hat{I}'_{f(1)} = \hat{I}_{f(2)} + \hat{I}'_{f(2)} = \hat{I}_{f(0)} + \hat{I}'_{f(0)} \quad (18)$$

则式(16)(17)可表示为

$$P_2 + jQ_2 = \dot{U}_2(\hat{I}_{f(1)} + \hat{I}'_{f(1)}) \quad (19)$$

$$P_0 + jQ_0 = \dot{U}_0(\hat{I}_{f(1)} + \hat{I}'_{f(1)}) \quad (20)$$

根据故障点处每相上的正、负、零功率分量可列出故障点处的总功率

$$P_T + jQ_T = 3[(P_1 + jQ_1) + (P_2 + jQ_2) + (P_0 + jQ_0)] =$$

$$9Z_f(\hat{I}_{f(1)} + \hat{I}'_{f(1)})(\hat{I}_{f(1)} + \hat{I}'_{f(1)}) =$$

$$Z_f(\dot{I}_{g1} + \dot{I}_{g2})(\hat{I}_{g1} + \hat{I}_{g2}) \quad (21)$$

$$\text{其中 } \hat{I}_{g1} = \hat{I}_{f(1)} + \hat{I}_{f(2)} + \hat{I}_{f(0)} \quad (22)$$

$$\hat{I}_{g2} = \hat{I}'_{f(1)} + \hat{I}'_{f(2)} + \hat{I}'_{f(0)} \quad (23)$$

式中:  $\hat{I}_{g1}$ 、 $\hat{I}_{g2}$ 分别为相量  $\dot{I}_{g1}$ 、 $\dot{I}_{g2}$ 的共轭相量。

故障点处的总功率可用 A、B、C 三相的功率表示为

$$P_T + jQ_T = \dot{U}_a\hat{I}_a + \dot{U}_b\hat{I}_b + \dot{U}_c\hat{I}_c \quad (24)$$

由于故障点处  $\dot{I}_a = \dot{I}_b = 0$ , 所以故障电阻上消耗的总功率等于 A 相的功率

$$P_a + jQ_a = Z_f(\dot{I}_{g1} + \dot{I}_{g2})(\hat{I}_{g1} + \hat{I}_{g2}) \quad (25)$$

其中:  $P_a$ 、 $Q_a$ 分别为两侧电源 A 相供给过渡电阻的有功功率和无功功率。

假定短路时有最小负荷电流<sup>[18]</sup>, 电流  $\dot{I}_{g1}$ 和  $\dot{I}_{g2}$ 相位基本一致, 因此, 电流和电压之间的相位关系

$$\arg\left(\frac{\dot{E}_{g1}}{\dot{I}_{g1}}\right) = 90^\circ; \quad \arg\left(\frac{\dot{E}_{g2}}{\dot{I}_{g2}}\right) = 90^\circ, \quad \text{即假定负载为纯}$$

感性负载, 根据上面的说明可推出送电侧电源的总功率  $\tilde{s}'$ 和受电侧电源的总功率  $\tilde{s}''$ 存在如下比例关系

$$\tilde{s}'' = \lambda \tilde{s}' \quad (26)$$

式中:  $\lambda$ 为受电侧电源功率相对于送电侧电源功率的功率分布系数。

因此, 送电侧电源供给短路点的功率和受电侧电源供给短路点的功率存在如下比例关系:

$$P_a'' + jQ_a'' = \lambda(P_a' + jQ_a') \quad (27)$$

同样, 两侧电源供给短路点的电流也存在如下关系

$$\dot{I}_{g2} = \lambda \dot{I}_{g1} \quad (28)$$

由上面的假设可得如下近似关系

$$\hat{I}_{g2} = \lambda \hat{I}_{g1} \quad (29)$$

根据式(27)可得短路点的总功率

$$P_a + jQ_a = P_a'' + jQ_a'' + P_a' + jQ_a' = (1 + \lambda)(P_a' + jQ_a') \quad (30)$$

根据式(28)、(29), 式(25)又可表示为

$$P_a + jQ_a = Z_f(1 + \lambda)^2 I_{g1}^2 \quad (31)$$

由式(24)和(25)可得故障阻抗的实部

$$R_f = \frac{P_a'}{(1 + \lambda)I_{g1}^2} \quad (32)$$

式中:  $P_a'$ 为线路送电侧的保护安装处监测到的送电侧供给短路点的有功功率<sup>[19-21]</sup>。

由式(6)、(28)、(32)可得单相接地时补偿附加测量阻抗之后的实际故障阻抗

$$Z_{1-c} = Z'_1 = \frac{\dot{E}_{g1}}{\dot{i}'_{g1}} - \frac{P'_a}{I_{g1}^2} * \frac{\dot{i}_{g1}}{\dot{i}'_{g1}} \quad (33)$$

$$\dot{i}'_{g1} = \frac{Z'_0 - Z'_1}{Z'_1} \dot{i}_{f(0)} + \dot{i}_{g1} \quad (34)$$

三相接地时实际的故障阻抗

$$Z_{1-c} = Z'_1 = \frac{\dot{E}_{g1}}{\dot{i}'_{g1}} - \frac{P'_a}{I_{g1}^2} \quad (35)$$

### 3 ATP 仿真验证

#### 3.1 仿真模型介绍

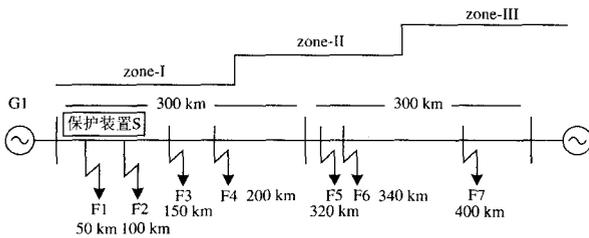


图 5 500 kV 输电线路仿真模型

Fig.5 500kV transmission system used for simulation

图 5 中:  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$ 、 $F_6$ 、 $F_7$  为线路的故障点; Relay S 为母线 B1 处的保护; zone-I、zone-II、zone-III 分别为保护装置 S 的三段保护区间。

系统等效参数为:

送电侧电源等值阻抗:  $Z_{n1}=1.05+j43.18 \Omega$

$Z_{n0}=j29.09 \Omega$

受电侧电源等值阻抗:  $Z_{n1}=1.06+j44.92 \Omega$

$Z_{n0}=j37.47 \Omega$

线路参数:

$r1=0.0208 \Omega/\text{km}$ ,  $l1=0.8984 \text{ mH}/\text{km}$ ,  $c1=0.0129 \mu\text{F}$

$r0=0.1148 \Omega/\text{km}$ ,  $l0=2.2886 \text{ mH}/\text{km}$ ,  $c0=0.0052 \mu\text{F}$

为验证本算法的准确度, 本文选用电压等级为 500 kV 的双侧电源供电系统, 令系统发生单相接地故障和三相接地故障。距离保护 I 段整定区为保护线路全长的 90%; 距离保护 II 段整定区为保护线路全长的 120%。利用 ATP 进行仿真验证, 电源电压幅值分别为 1.1 倍标么值和标么值, 三相短路故障时, 相间过渡电阻为  $20 \Omega$ , 仿真模型如图 5, 电压和电流相量取自保护安装处, 采样频率为 5000 Hz, 采用快速傅里叶变换算法, 仿真结果分别为未补偿附加阻抗与补偿附加阻抗之后的  $R-X$  曲线图, 并试验了电源电势相位差对距离保护阻抗测量的影响。

#### 3.2 仿真结果

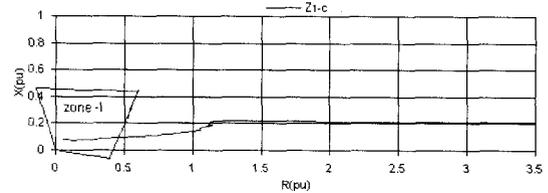


图 6 在 50 km ( $F_1$ ) 处 A 相经  $50 \Omega$  过渡电阻接地时保护 S 测量出的阻抗曲线 ( $\delta=20^\circ$ )

Fig. 6 Fault impedance trajectory for A - G fault with fault resistance =  $50\Omega$  at 50 km ( $F_1$ ) from relay-S ( $\delta=20^\circ$ )

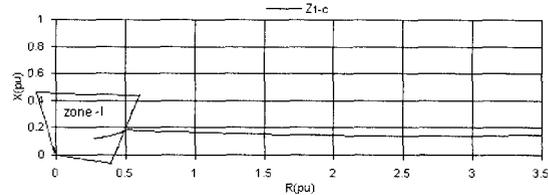


图 7 在 100 km ( $F_2$ ) 处 C 相经  $100 \Omega$  过渡电阻接地时保护 S 测量出的阻抗曲线 ( $\delta=30^\circ$ )

Fig. 7 Fault impedance trajectory for C - G fault with fault resistance =  $100\Omega$  at 100km ( $F_2$ ) from relay-S ( $\delta=30^\circ$ )

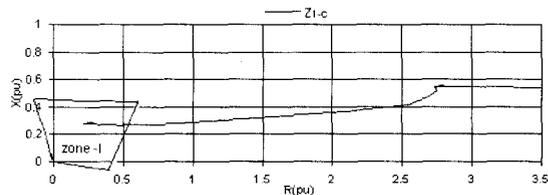


图 8 在 200 km ( $F_4$ ) 处 A 相经  $200 \Omega$  过渡电阻接地时保护 S 测量出的阻抗曲线 ( $\delta=10^\circ$ )

Fig.8 Fault impedance trajectory for A - G fault with fault resistance =  $200\Omega$  at 200 km ( $F_4$ ) from relay-S ( $\delta=10^\circ$ )

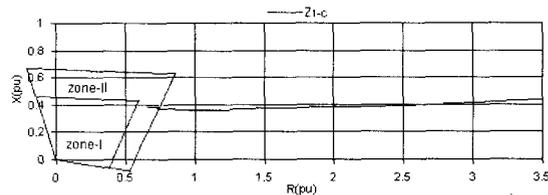


图 9 在 320km ( $F_5$ ) 处 A 相经  $100 \Omega$  过渡电阻接地时保护 S 测量出的阻抗曲线 ( $\delta=30^\circ$ )

Fig.9 Fault impedance trajectory for A - G fault with fault resistance =  $100 \Omega$  at 320 km ( $F_5$ ) from relay-S ( $\delta=30^\circ$ )

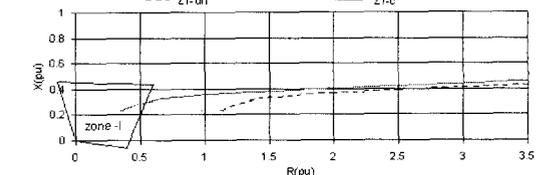


图 10 在 150 km ( $F_3$ ) 处三相经  $300 \Omega$  过渡电阻短路接地时保护 S 测量出的阻抗曲线 ( $\delta=20^\circ$ )

Fig.10 Fault impedance trajectory for 3L - G fault with fault resistance =  $300\Omega$  at 150 km ( $F_3$ ) from relay-S ( $\delta=20^\circ$ )

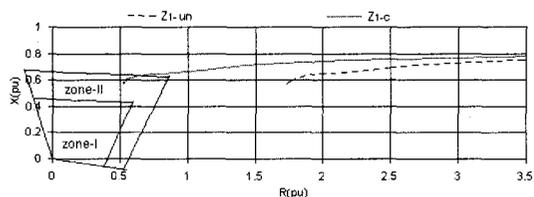


图 11 在 340 km(F<sub>6</sub>)处三相经 200 Ω 过渡电阻短路接地时保护 S 测量出的阻抗曲线(δ=10°)

Fig. 11 Fault impedance trajectory for 3L-G fault with fault resistance =200Ωat 340 km (F<sub>6</sub>) from relay-S (δ=10°)

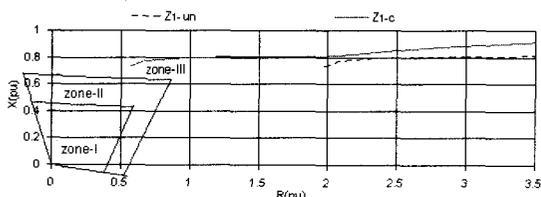


图 12 在 400 km(F<sub>7</sub>)处三相经 100 Ω 过渡电阻短路接地时保护 S 测量出的阻抗曲线(δ=10°)

Fig.12 Fault impedance trajectory for 3L-G fault with fault resistance =100Ω at 400 km (F<sub>7</sub>) from relay-S (δ=10°)

表 1 在 F<sub>3</sub> 处 B 相经 100 Ω 过渡电阻接地 δ 不同时保护 S 测出的结果

Tab. 1 Results for B-G fault with fault resistance=100 Ω at F<sub>3</sub> from relay-S with various δ

序号	电源电势相位差 δ	测量阻抗电阻分量 (补偿后的电阻分量/Ω)	测量阻抗电抗分量/Ω	差值 1 /Ω	差值 2 /Ω
1	-30°	116.5 (2.17)	61.43	-0.95	+19.12
2	-10°	105.8 (2.64)	45.14	-0.48	+2.83
3	1°	99.39 (3.07)	39.50	-0.05	-2.81
4	10°	94.00 (3.41)	36.28	+0.29	-6.03
5	30°	82.76 (3.90)	32.03	+0.78	-10.28

注: 1.差值 1 表示补偿后测量阻抗电阻分量与线路实际阻抗电阻分量之间的差值。2.差值 2 表示测量阻抗电抗分量与线路实际阻抗电抗分量之间的差值。3.保护安装处与故障点之间线路(150km)的实际阻抗电抗分量值: 42.31Ω; 实际阻抗电阻分量值: 3.12 Ω。

### 3.3 仿真结果分析

#### 1) 不对称接地故障

从图 6~9 可知: 补偿附加阻抗之后, 保护准确地测出了故障阻抗的电阻分量, 故障落在了相应的保护区间内, 距离保护能可靠地切除故障, 因此, 本算法解决了单相接地时过渡电阻引起的保护拒动问题。

#### 2) 对称接地故障

从图 10~12 可知: 未补偿附加阻抗时, 保护测出的阻抗电阻分量很大, 使测量阻抗落在了保护区

间之外, 导致了保护的拒动; 补偿附加阻抗之后, 故障精确的落在了相应的保护区间内, 因此, 无论故障发生在保护的 I、II、III 区间内, 保护都能可靠的切除故障。

3) 从表 1 可知: 当两侧电源电势存在相位差 δ (δ>0) 时, 受电侧的电源起助增作用, Z<sub>f</sub> 呈容抗, 故障阻抗的电抗部分减小, 若容性分量太大, 测量阻抗靠近 R 轴, 可能引起距离保护的超越, 造成保护的无选择性动作; 保护 S 测出的电阻分量和实际值相差不超过 1 Ω, 可见本算法能有效地消除保护的拒动问题。

## 4 结论

本文找出了传统距离保护的原理性缺陷, 分析了高阻接地对距离保护的影响, 并提出了一种基于保护处监测到的有功功率计算过渡电阻的新方法, 它改进了距离保护的判据, 从模拟结果知, 本算法具有对过渡电阻的自适应性, 能够精确地测出保护安装处和故障点间的阻抗的电阻分量, 有效地解决了高阻引起的保护拒动问题; 本算法受输电线路长度影响小, 所以适用于中长线路, 并且保护的性能不受直流分量和采样频率等故障条件的影响, 本算法也适用于两相短路接地故障。

## 参考文献

- [1] 贺家李, 葛耀中. 超高压输电线故障分析与继电保护[M]. 北京: 科学出版社, 1987.  
HE Jia-li, GE Yao-zhong. Fault Analysis and Relay Protection of EHV Transmission Lines[M]. Beijing: Science Press, 1987.
- [2] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.  
WANG Mei-yi. Application of Relay and Protection of Power Systems[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [3] Radojevic Zoran M, Terzija Vladimir V, Djuric Milenko B. Numerical Algorithm for Overhead Lines Arcing Faults Detection and Distance and Directional Protection[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(1): 31-37.
- [4] Pradhan A K, Jo's G'eza. Adaptive Distance Relay Setting for Lines Connecting Wind Farms[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2007, 22(1): 206-213.
- [5] 张举, 李志雷, 王兴国, 等. 一种基于加速阻抗圆的无信道保护方法[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 75-79.  
ZHANG Ju, LI Zhi-lei, WANG Xing-guo, et al. A Non-communication Channel Protection Method Based

- on Accelerated Impedance Circle[J]. Power System Technology, 2006, 30 (2): 75-79.
- [6] 李胜芳, 范春菊, 郁惟镛. 基于相量测量的输电线路故障测距新算法[J]. 电网技术, 2004, 28 (17): 28-32. LI Sheng-fang, FAN Chun-ju, YU Wei-yong. New Fault Location Algorithm for Transmission Lines Based on Phasor Measure[J]. Power System Technology, 2004, 28(17): 28-32.
- [7] Waikar D L, Liew A C. Fault Impedance Estimation Algorithm for Digital Distance Relaying[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1994, 9(3): 1375-1383.
- [8] Djuric M, Radojevic Z, Terzija V. Time Domain Solution of Fault Distance Estimation and Arcing Fault Detection on Overhead Lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1999, 14(1): 60-67.
- [9] 李斌, 贺家李, 杨洪平, 等. 特高压长线路距离保护算法改进[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(1): 43-46. LI Bin, HE Jia-li, YANG Hong-ping, et al. Improvement of Distance Protection Algorithm of UHV Long Transmission Line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(1): 43-46.
- [10] 索南加乐, 许庆强. 自适应接地距离继电器[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (17) : 54-58. SUONAN Jia-le, XU Qing-qiang. Adaptive Earth Fault Distance Relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (17): 54-58.
- [11] 沈冰, 何奔腾, 张武军. 新型自适应继电器[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(7): 39-44. SHEN Bing, HE Ben-teng, ZHANG Wu-jun. New Type Adaptive Distance Relay with Improved Performance[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(7): 39-44.
- [12] 李岩, 陈德树, 尹项根, 等. 新型自适应姆欧继电器的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(1): 80-83. LI Yan, CHEN De-shu, YIN Xiang-gen, et al. Study on the New Adaptive MHO Relay[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(1): 80-83.
- [13] Erezzaghi M E, Crossley P A. The Effect of High Resistance Faults on a Distance Relay[A]. In: Proc IEEE Power Eng Soc General Meeting[C].2003.13-17.
- [14] LI Yan, CHEN De-shu, YIN Xiang-gen, et al. The Uniform Formula of Single Phase Earth-Fault Distance Relay with Compensation[A]. In: Proc IEEE Power Eng Soc Transm Distribution Conf Expo[C].2003: 245-249.
- [15] 林军. 电力系统微机继电保护[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. LIN Jun. Microprocessor Relay and Protection of Power Systems[M]. Beijing: China Water Power Press, 2006.
- [16] 张晶晶, 曹锐. 距离保护特性元件躲过渡电阻能力分析与研究[J]. 继电器, 2004, 32 (6): 17-19. ZHANG Jing-jing, CAO Hui. Analysis and Research on the Ability of Distance Protection Element Standing the Influence of Transition Resistance[J]. Relay, 2004, 32 (6): 17-19.
- [17] 董艺. 四边形原理距离保护中电阻分量的研究[J]. 继电器, 2007, 35(14): 63-65. DONG Yi. Research of Resistance Components in Quadrilateral Characteristic Distance Relay[J]. Relay, 2007, 35(14): 63-65.
- [18] Microprocessor Relays and Protection Systems[J]. IEEE Tutorial Course Computer Relaying, 1981.
- [19] Voloshko A V, Kostar O I, Malik O P. An Approach to the Design of Digital Algorithms for Measuring Power Consumption Characteristics[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995,10(2): 607-612.
- [20] Tanka T, Akagi H. A New Method of Harmonic Detection Based on the Instantaneous Active Power in Three Phase Circuit[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10(4): 1737-1742.
- [21] Darwish Hatem A, Taalab Abdel-Maksoud I, Ahmed Eman S. Investigation of Power Differential Concept for Line Protection[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2005, 20(2): 617-624.

收稿日期: 2007-12-09; 修回日期: 2008-02-25

作者简介:

张华中 (1979-), 男, 硕士, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: zhanghuazhong1979@126.com

王维庆 (1959-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统继电保护及洁净能源技术;

朱玲玲 (1980-), 女, 硕士, 研究方向为电力系统故障诊断。