

基于阻抗轨迹估计的自适应相间距离继电器

沈冰, 何奔腾

(浙江大学电气工程学院, 浙江省 杭州市 310027)

A Novel Adaptive Distance Protection Based on Impedance Locus Estimation

SHEN Bing, HE Ben-teng

(College of Electrical Engineering Zhejiang University, Hangzhou 310027, Zhejiang Province, China)

ABSTRACT: The existence of fault resistance may add an additional reactive or capacitive component to the impedance seen by the protection. This may cause conventional quadrangular distance protection to over-reach or under-reach at different system conditions. Impedance locus with fault resistance seen by the protection in different system conditions is analyzed in this paper. It is shown that the impedance locus of a certain system can be estimated by using pre-fault voltages and currents measured by the protection. A novel adaptive algorithm for high-resistance earth-fault digital distance protection based on real-time impedance locus estimation is put forward. Theoretical analysis and digital simulation show that the new protection with enhanced resistive tolerance can overcome steady-state over-reach.

KEYWORDS: fault resistance; distance protection; power system; adaptive algorithm

摘要: 在双电源系统中, 由于对侧系统助增电流的影响, 保护测量到的阻抗会偏离故障线路的实际值, 从而引起距离保护发生超越或缩短保护距离。正向经过渡电阻故障时, 距离保护测量阻抗随着过渡电阻变化的轨迹可以利用故障前保护测量到的电压、电流, 经过估算得到。通过对阻抗变化轨迹公式的推导和分析, 提出一种基于阻抗轨迹估计的自适应四边形距离继电器的原理及实施方案。该继电器利用故障前系统正常运行时电压和电流的测量值, 实时估计出阻抗变化轨迹, 并自动调整继电器的动作特性。理论分析和仿真计算表明, 提出的自适应距离继电器可应用于相间距离保护, 可有效防止区外经过渡电阻故障时发生超越, 同时在区内故障时提高耐受过渡电阻能力。

关键词: 过渡电阻; 距离保护; 电力系统; 自适应算法

0 引言

由于具有优越的耐受过渡电阻能力, 四边形特性距离继电器在距离保护中获得广泛应用。在送端

区外经过渡电阻故障时, 测量阻抗的电抗分量比实际线路电抗小, 线路越长, 负荷越重, 情况越严重^[1-4]。对这种情况, 四边形特性距离继电器比圆特性方向阻抗继电器更容易发生超越, 这是四边形特性距离继电器的主要弱点。对于接地距离保护, 通常采用零序电抗继电器来防止超越; 对于相间距离保护, 通常仅仅在距离继电器电抗线上设置一个下倾角防止这种超越, 但该下倾角不能设置太大, 否则区内故障时耐受过渡电阻的能力会大大降低, 这就失去了四边形特性的优越性^[5-15]。实际装置采用的下倾角通常只有 12°左右, 然而对于长距离、重负荷线路, 这个角度很难有效地防止超越。为此, 提出 1 种自适应四边形特性距离继电器的原理和实施方案, 根据正常运行时的负荷情况, 自动调整继电器的动作特性。仿真计算表明, 提出的方法可作为相间距离继电器的动作特性, 能够有效防止区外经过渡电阻故障时发生超越, 同时在区内故障时提高耐受过渡电阻能力。

1 正向故障时测量阻抗的变化轨迹

双端电源系统如图 1 所示, 保护装设在线路的 M 侧。设两侧电源电势幅值相同, 即 $E_m = E_n e^{j\delta}$, δ 为系统功角。设在正方向 F 点发生故障, 过渡电阻为 R_f ; 故障点电压为 U_f ; Z_d 为 F 点与 M 点之间线路的阻抗; Z_m 为 F 点向 M 看入的等效系统阻抗; Z_n 为 F 点向 N 看入的等效阻抗; I_m 、 I_n 分别为 M 侧和 N 侧流入故障点的电流, 电流方向如图所示。由图 1 可得到方程:

$$E_m = I_m Z_m + U_f \quad (1)$$

$$E_n = I_n Z_n + U_f \quad (2)$$

$$U_m = I_m Z_d + U_f \quad (3)$$

$$U_f = I_f R_f = (I_m + I_n) R_f \quad (4)$$

设 $Z = U_m / I_m$ 为距离保护的测量阻抗, 求解式(1)~式(4)可得

$$Z = Z_d + Z_{f(0)} \left(1 - \frac{1}{1 - m e^{j\psi}}\right) \quad (5)$$

$$\text{其中, } Z_{f(0)} = \frac{Z_m + Z_n e^{j\delta}}{e^{j\delta} - 1} \quad (6)$$

$$m = 2 \left| \frac{R_f \sin \frac{\delta}{2}}{Z_n} \right| \quad (7)$$

$$\psi = \begin{cases} -\delta/2 - \pi & \delta > 0 \\ -\delta/2 & \delta < 0 \end{cases} \quad (8)$$

限于篇幅, 略去式(5)~(8)的推导过程。

式(6)中 $Z_{f(0)}$ 的物理意义是 $R_f \rightarrow \infty$ 时的 U_f / I_m , 即故障前在故障点 F 观测到的阻抗(下标(0)表示该电气量故障前的值)。设 $Z_{(0)}$ 为故障前的负荷阻抗, 即 $R_f \rightarrow \infty$ 时的 Z , 显然有

$$Z_{f(0)} = Z_{(0)} - Z_d \quad (9)$$

考察式(5)~(9), 随着过渡电阻 R_f 逐渐从 0 增大到 $+\infty$, 测量阻抗 Z 从 Z_d 变化到负荷阻抗 $Z_{(0)}$, 其变化轨迹为一段圆弧^[1], 圆心和半径分别为

$$O = Z_d + \frac{1}{2|\sin \psi|} Z_{f(0)} e^{j(\psi - \pi/2)} \quad (10)$$

$$\rho = \left| \frac{Z_{f(0)}}{2\sin \psi} \right| \quad (11)$$

对(8)进行变换, 令

$$S = \begin{cases} 0, & \delta > 0 \\ 1, & \delta < 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{得 } \psi = \frac{-\delta}{2} - (1 - S)\pi \quad (13)$$

将式(13)代入式(10)、(11), 得

$$O = Z_d + j\rho e^{j\theta} \quad (14)$$

$$\rho = \frac{|Z_{f(0)}|}{2|\sin(\delta/2)|} \quad (15)$$

$$\text{其中, } \theta = \arg(Z_{f(0)}) - \delta/2 + S\pi \quad (16)$$

图2为根据某具体系统参数画出的各种功角下测量阻抗 Z 随过渡电阻变化的轨迹。图中 F 点为过渡电阻为 0 (即金属性故障) 时的测量阻抗, 圆弧 FA 、 FB 分别为功角 $\delta=30^\circ$ 、 $\delta=60^\circ$ 时 Z 的轨迹; 圆弧 FC 为 $\delta=-30^\circ$ 时 Z 的轨迹(由于此时轨迹圆很大, 只画出 Z 在第 I 象限的一部分轨迹)。

由图2可知, 当功角 $\delta > 0$ 时, 受过渡电阻的影

响, 测量阻抗的电抗分量小于线路电抗, 即 $\text{Im}(Z) < \text{Im}(Z_d)$, 因此如果故障发生在区外, 则会导致距离保护发生超越, 功角越大, 或过渡电阻越大, 情况越严重。当 $\delta < 0$ 时, 测量阻抗 Z 的轨迹沿圆弧 FC 变化。随着过渡电阻 R_f 的增加, 在第 I 象限内有 $\text{Im}(Z) > \text{Im}(Z_d)$, 因此区外故障时保护不会超越, 但如果故障发生在保护区内, 随着过渡电阻的增加, 会导致保护范围缩小, 且功角越大, 或过渡电阻越大, 保护范围越小。

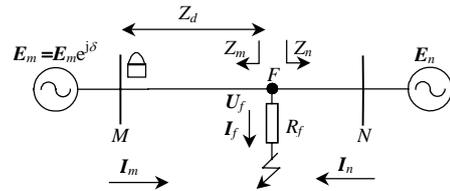


图1 系统图
Fig. 1 System Diagram

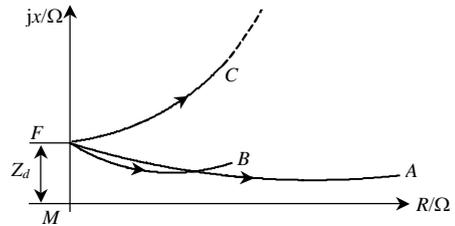


图2 不同功角下正向故障时 Z 随过渡电阻变化的轨迹
Fig. 2 Impedance loci of forward fault with different power-angle

上面的推导是基于单相系统。对于实际三相系统的多相故障, 各式电压、电流采用故障回路的电压和电流(如对于BC两相短路, 取 $U_m = U_{mb} - U_{mc}$, $I_m = I_{mb} - I_{mc}$ 等)后, 显然式(1)~(4)仍成立, 因此故障回路的测量阻抗仍满足式(5)。顺便指出, 本文的结论只针对相间距离继电器。对于接地距离继电器, 式(5)并不成立。

2 自适应距离继电器的基本原理

距离继电器的四边形特性由方向线 OA 和 OC 、电抗线 AB 、电阻线 BC 组成。方向线是为了防止反向故障的误动, 为了消除出口故障的死区, 通常采用记忆电压(或正序电压)极化的方向元件组成; 电阻线 CB 是为了防止正常运行时保护的误动, 动作门槛 R_{dz} 按照躲过最大负荷阻抗整定; 电抗线 AB 是为了躲防止正向区外故障时保护的误动, 动作门槛 Z_{dz} 按照线路阻抗整定, 为了防止区外经过渡电阻故障时保护的超越, 电抗线必须设 1 个下倾角 α 。

对于超高压线路, 线路阻抗角接近 90° , 在理

论分析时可假设 Z_d 为纯电抗。因此，如图 3 所示，式(14)的 θ 就是测量阻抗轨迹圆与坐标纵轴(jX轴)交点处切线的角度，当 $\delta > 0$ 时，由式(16)得

$$\theta = \arg(Z_{f(0)}) - \frac{\delta}{2} \quad (17)$$

对于长距离输电线路，往往有 $\arg(Z_{f(0)}) < 0$ ，如在线路末端(N点)发生故障，故障前线路电流和各点电压相量可由图 5 的相量图表示，此时 $Z_{f(0)} = U_{n(0)} / I_{m(0)}$ ，由于 $I_{m(0)}$ 超前于 $U_{n(0)}$ ，故 $\arg(Z_{f(0)}) < 0$ 。由此可见 $\theta < 0$ ，线路越长、功角越大， $|\theta|$ 也越大。

对于线路末端的区外故障，若考虑极端的情况，即距离继电器整定值 Z_{dz} 等于线路阻抗，电抗器线的下顷角必须满足 $\alpha > |\theta|$ ，才能可靠地防止保护超越。实际装置定值 Z_{dz} 通常取线路长度的 85%~90%。如图 4 所示，设保护范围为 ML ，这时下顷角需要满足 $\alpha > |\alpha_0|$ ， α_0 为D点切线的角度，显然 $|\alpha_0| < |\theta|$ 。尽管如此，对于长距离重负荷线路， α 的取值也必须相当大，才能可靠地防止超越。但 α 过大会导致区内故障时耐受过渡电阻能力大大下降，导致四边形特性距离继电器失去了耐受过渡电阻能力强这个的主要优点。因此目前实际装置的 α 通常取得较小，典型值为 12°。对于长距离重负荷线路，这个下顷角显然是难以满足要求的。

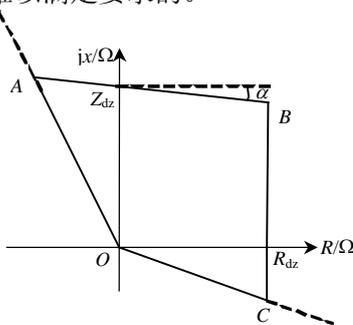


图 3 四边形距离保护动作特性
Fig. 3 Distance protection with quadrangular characteristic

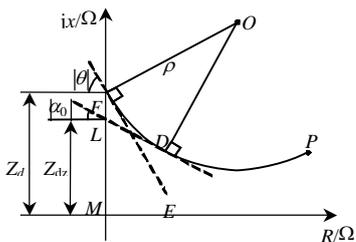


图 4 正向线路区外故障时保护测量阻抗的轨迹
Fig. 4 Impedance locus of forward external fault

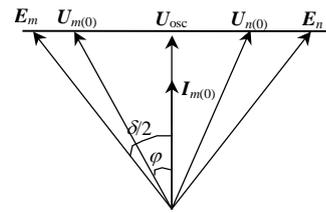


图 5 故障前系统电压向量图
Fig. 5 Pre-fault phasor diagram

事实上，在被保护范围末端故障时，测量阻抗轨迹圆的圆心 O 和半径 ρ 只与故障前的负荷电压和负荷电流有关，可以在故障前进行实时估算。为此，提出一种基于 O 、 ρ 实时估计的自适应动作特性，基本动作判据为

$$|Z - O| > \rho \quad (18)$$

在式(14)中，设 Z_{dz} 为距离继电器的整定值，令 $Z_d = Z_{dz}$ ，式(18)转换为

$$|Z - Z_{dz} - j\rho e^{j\theta}| > \rho \quad (19)$$

图 6 为送端($\delta > 0$)不同故障点经过渡电阻故障时的一组阻抗轨迹。曲线 JP 和 KP 分别为区内和区外故障时的阻抗轨迹，曲线 LP 则为保护范围末端故障的临界阻抗轨迹。随着过渡电阻 $R_f \rightarrow \infty$ ，3条曲线均趋向于 P 点即负荷阻抗 $Z_{(0)}$ 。显然，临界阻抗曲线满足方程 $|Z - O| = \rho$ 。区外故障时，测量阻抗的轨迹 KP 始终处于 LP 的上方，故式(19)肯定不满足，所以继电器不会动作；而区内故障时，曲线 JP 始终处于 LP 的下方，只要 $R_f \rightarrow \infty$ ，式(19)都能满足，继电器肯定能动作。对于受端($\delta < 0$)，情况也类似。

由此可见，如果用式(19)的自适应动作特性代替图 3 电抗线 AB ，可以有效地防止区外经过渡电阻故障时的超越。另外，由于式(19)自身已经具备了躲负荷阻抗的能力，所以图 3 的电阻线 BC 理论上也可以取消，使区内故障时耐受过渡电阻的能力大大提高。

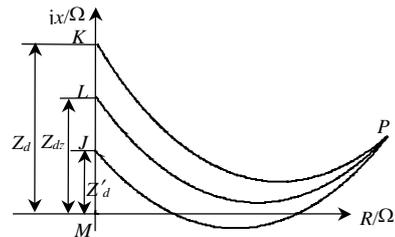


图 6 正向故障故障点不同时 Z 随过渡电阻变化的轨迹
Fig. 6 Impedance loci of forward fault at different distance

3 ρ 和 θ 的实时估算方法

要采用式(19)的判据, 必须得到 ρ 、 θ 这2个参数。考察式(15)、(16), 估算 ρ 、 θ 实际上是估算 $Z_{f(0)}$ 、 δ 及其 δ 的符号 S 。

由式(9)得

$$Z_{f(0)} = Z_{(0)} - Z_{dz} \quad (20)$$

对于 δ 和 S , 可由故障前“振荡中心电压”来计算。如图5所示, 设两侧电源电势幅值为额定电压, 即 $E_m = E_n = U_N$, φ 为故障前测量电压 $U_{m(0)}$ 与负荷电流 $I_{m(0)}$ 的夹角, 由图5可得系统振荡中心的电压^[16-17]为

$$U_{osc} = U_m \cos \varphi \quad (21)$$

图5是 $\delta > 0$ 时的相量图, 此时 $U_{osc} > 0$ 。对于 $\delta < 0$, 采用同样的方法也可以得到式(21), 且可知 $U_{osc} < 0$, 故可得 δ 的符号 S 为

$$S = \begin{cases} 0, & U_{osc} > 0 \\ 1, & U_{osc} < 0 \end{cases} \quad (22)$$

由图6, 可进一步得到

$$\cos(\delta/2) = |U_{osc}|/U_N \quad (23)$$

$$\text{故} \quad \sin \frac{\delta}{2} = (-1)^S \frac{\sqrt{U_N^2 - U_{osc}^2}}{U_N} \quad (24)$$

将式(22)~(24)代入式(15)、(16), 得

$$\rho = \frac{|Z_{(0)} - Z_{dz}| U_N}{2\sqrt{U_N^2 - U_{osc}^2}} \quad (25)$$

$$e^{j\theta} = \frac{(Z_{(0)} - Z_{dz})[U_{osc} - j\sqrt{U_N^2 - U_{osc}^2}]}{|Z_{(0)} - Z_{dz}| U_N} \quad (26)$$

式(26)中 U_{osc} 为与 δ 同号的实数。

式(25)、(26)是在假设线路阻抗为纯电感时得到的。由于忽略了线路电阻分量的影响, 会存在一定误差, 但对于超高压输电线路, 阻抗角很大, 误差可以忽略。若要考虑电阻的影响, 可以对式(21)中的 φ 进行补偿^[15], 经过补偿后不会影响后面的结论。另外, 式(25)、(26)可以在正常时进行实时估算, 故障后就能直接加以利用。

4 自适应距离继电器的实施方案

式(19)的自适应动作特性本身已经具备了躲负荷阻抗的能力, 理论上可以代替图3的电抗线 AB 和电阻线 BC 。但在实施方案中, 考虑到常规四边形距离继电器的耐受过渡电阻能力已经比圆特性继电器有了很大的提高, 所以基本思路是在防止区外故障

超越的前提下, 适当提高区内故障的耐受过渡电阻能力。参照图3的常规继电器动作特性, 自适应继电器的方向线和电阻线动作特性与常规继电器相同, 而电抗线则采用以式(19)为基础的自适应动作特性。电阻线的动作门槛根据实际负荷阻抗进行自适应调整。设 R_{dz} 为常规距离继电器电阻分量定值, 按照躲过最大负荷阻抗整定; R'_{dz} 为自适应继电器电阻线的实际动作门槛。 R'_{dz} 取值方法为

$$R'_{dz} = \begin{cases} \min[2\text{Re}(Z_{(0)})/3, 4R_{dz}], & \text{Re}(Z_{(0)}) > 0 \\ 4R_{dz}, & \text{Re}(Z_{(0)}) < 0 \end{cases} \quad (27)$$

即当负荷阻抗的电阻分量为正时, R'_{dz} 取 $2\text{Re}(Z_{(0)})/3$ 和 $4R_{dz}$ 之间较小的值; 当电阻分量为负时, 取 $4R_{dz}$ 。

对于自适应动作特性, 也在式(25)、(26)的基础上分以下3种情况选取实际参数。设 ρ 、 $e^{j\theta}$ 为按照式(25)、(26)估算的参数, ρ' 、 $e^{j\theta'}$ 为继电器中实际应用的参数。 ρ' 、 $e^{j\theta'}$ 的选取方法为

① $|Z_{(0)}| > 4R_{dz}$ 时, 取

$$\rho' = 2.5|Z_{f(0)}|, \quad \theta' = -12^\circ \quad (28)$$

② $|Z_{(0)}| < 4R_{dz}$, 且 $U_{osc} > 0$ 时, 取

$$\rho' = \rho, \quad \theta' = \theta - 5^\circ \quad (29)$$

③ $|Z_{(0)}| < 4R_{dz}$, 且 $U_{osc} < 0$ 时, 取

$$\rho = \infty, \quad \theta' = \min(\theta - 5^\circ, 15^\circ) \quad (30)$$

工况①负荷阻抗很大, 处于轻负荷运行。在负荷电流小时, 由于线路分布电容电流等的影响, ρ 和 θ 的估计误差比较大, 而此时区外经过渡电阻故障时, 并不会造成保护的超越。因此不再进行 ρ 和 $e^{j\theta}$ 的估算, 直接取式(28)的固定 ρ' 、 $e^{j\theta'}$ 参数。式(28)是按照 $\delta = 24^\circ$ 工况下得到的近似结果。

工况②是送端(较)重负荷下的运行工况。此时电抗特性的 ρ 采用估算值 ρ , 而 θ 在估算值 θ 的基础上减小 5° 作为裕度。

工况③是受端(较)重负荷下的运行工况。此时区外故障不会引起保护的超越, 目的是使自适应阻抗特性往上翘, 以增加耐受过渡电阻的能力。为了安全起见, 阻抗特性不宜上翘太高。为此采用式(30)的措施: θ 在估算值 θ 的基础上减小 5° 作为裕度; 若 θ 超过 15° , 则 θ' 只取最大值 15° ; 取半径 $\rho = \infty$ 。这样, 就将图4所示的圆弧特性 FDP 转换为切线特性 FE 。由于 FE 始终处于 FDP 的下方, 故区外故障时不会超越。此时式(19)的动作方程转换为

$$\text{Im}(Z) < \text{Im}(Z_{dz}) + \text{Re}(Z) \text{tg} \theta' \quad (31)$$

5 仿真算例

为了验证提出的自适应继电器方案，对图 1 所示的 500 kV 系统进行仿真计算。 M 侧为送端，系统短路容量为 3 000 MVA，相应的等效阻抗为 $2.9+j83\Omega$ ； N 侧为受端，系统短路容量为 20000MVA，相应的等效阻抗为 $1.75+j12.5\Omega$ ；线路长度 400 km，阻抗为 $6.16+j117.6\Omega$ 。

在线路 M 、 N 两端均装设距离保护。两套装置的定义相同：阻抗定值 Z_{dz} 按照线路阻抗的 90% 整定， R_{dz} 按照躲过 $\delta=70^\circ$ 时负荷阻抗整定，得 $R_{dz}=5.54+j105.8\Omega$ 、 $R_{dz}=103.1\Omega$ 。

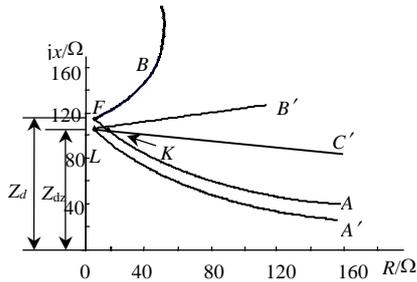


图 7 线路末端故障时 M 、 N 侧保护 Z 轨迹和自适应阻抗元件轨迹

Fig. 7 Impedance loci of forward external fault & operation characteristic of adaptive relay

图 7 为重负荷 ($\delta=70^\circ$) 运行工况下区外经过渡电阻故障时保护 M (线路 N 点故障) 和保护 N (线路 M 点故障) 的动作行为。曲线 FA 为保护 M 的测量阻抗轨迹；曲线 LA' 为保护 M 根据故障前运行工况估算出的自适应阻抗特性；曲线 FB 为保护 N 的测量阻抗轨迹；直线 LB' 为保护 N 的自适应动作特性；直线 LC' 为常规距离继电器的电抗线 (下倾角为 12°)。由图 7 可以看到，区外故障时，曲线 LA' 几乎平行于曲线 FA ，并且 LA' 始终处于 FA 的下方，而曲线 LB' 始终处于曲线 FB 的下方，因此安装在 M 侧和 N 侧的自适应继电器都不会发生超越。对于常规继电器，若安装在 N 侧，则不会发生超越；若安装在 M 侧，则测量阻抗在 K 点会发生超越。

表 1 列出了不同运行工况下，区外经过渡电阻故障时自适应继电器和常规继电器的超越情况。对于保护 M ，故障点设在线路的 N 点；对于保护 N ，故障点设在 M 点。如果保护发生超越，则表中列出了继电器发生超越时的临界过渡电阻，单位为 Ω ，如若 R_f 超过这个值，就会引起保护超越。如果保护不发生超越，则用符号“ \circ ”表示。由表 1 可知，自适应继电器在各种工况下都不会发生超越；而对于常规继电器，保护 M (送端) 在功角较大时会发生超

越，且随着功角的增加，发生超越的临界过渡电阻变小。需要指出的是，由于受到对侧助增电流的影响，尽管实际过渡电阻较小，但保护测量到的电阻分量却很大，如 $\delta=45^\circ$ 时，发生超越的临界过渡电阻为 $R_f=2.2\Omega$ 时，而此时保护实际测量到的阻抗为 $Z=32.5+j98.6\Omega$ 。

在仿真计算中，还考察了系统电压偏离额定电压时自适应动作特性的动作行为。在计算中，受端 (N 侧) 电源电压取额定电压，即 $E_N=U_N$ ，送端 (M 侧) 则分别取 $E_N=U_N, 0.9U_N, 1.1U_N$ 3 种情况。仿真结果表明，自适应继电器在系统电压变化时均不会超越。

表 1 线路末端故障时保护发生超越时的过渡电阻
Tab. 1 External fault-resistance tolerance of conventional distance relay & adaptive distance relay Ω

δ	常规继电器		自适应继电器	
	保护 M	保护 N	保护 M	保护 N
0°	\circ	\circ	\circ	\circ
45°	2.2	\circ	\circ	\circ
60°	1.4	\circ	\circ	\circ
70°	1.2	\circ	\circ	\circ

表 2 线路区内故障时保护的抗过渡电阻能力
Tab. 2 Internal fault-resistance tolerance of conventional distance relay & adaptive distance relay Ω

δ	常规继电器		自适应继电器	
	保护 M	保护 N	保护 M	保护 N
0°	21.5	55.3	21.5	55.3
45°	43.7	20.4	140	44.9
60°	65.7	18.2	110	32.3
70°	95.5	17.3	95.5	28.2

表 2 列出了不同运行工况下，保护区内线路 70% 处故障时自适应继电器和常规继电器耐受过渡电阻的能力，单位为 Ω 。表中所列的数值是继电器所能够耐受的最大过渡电阻。顺便指出，表 2 中的数据是指故障点的实际过渡电阻 R_f ，而不是距离继电器测量阻抗中的电阻分量。如 $\delta=0^\circ$ 时保护 M 耐受过渡电阻为 $R_f=21.5\Omega$ ，此时保护 M 的测量电阻为 103Ω 。

当系统功角为 $\delta=0^\circ$ 时，自适应阻抗元件的动作特性退化成常规阻抗元件，耐受过渡电阻能力与常规继电器相同。但若故障点较近，自适应继电器的耐受过渡电阻能力则大大提高。例如 M 侧出口故障时，常规继电器 M 的临界耐受过渡电阻为 $R_f=91.5\Omega$ ，而自适应继电器 M 则为 $R_f=370\Omega$ 。

对于送端保护 M ，当 δ 较大时，由于采用的自适应的阻抗元件有很好的抗过渡电阻能力，如表所示，自适应继电器的耐受过渡电阻能力有不同程度

的提高,当 $\delta=45\sim 60^\circ$ 时,自适应距离继电器的耐受过渡电阻能力较常规继电器提高1倍左右。

对于受端保护 N ,与常规继电器一样,随着 δ 的增加,自适应继电器的耐受过渡电阻能力也随之下降,但下降速度明显比常规继电器要慢,因而有较强的耐受过渡电阻能力。

6 结论

(1)对于常规的四边形特性距离继电器,正向区外经过过渡电阻发生故障时,有可能发生超越;区内经过过渡电阻发生故障时,则会缩小保护范围。

(2)正向线路末端经过过渡电阻故障时保护的测量阻抗变化轨迹,可以通过故障前的负荷阻抗以及振荡中心电压来估算。

(3)利用阻抗轨迹构成的自适应距离继电器可以有效的防止区外故障时保护发生超越,并能进一步提高区内故障时耐受过渡电阻的能力。

参考文献

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社出版, 2005.
- [2] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社出版, 2004.
- [3] 李岩, 陈德树. 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 Deshu. Study on the new adaptive mho relay [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(1): 80-83(in Chinese).
- [4] 张哲, 陈德树. 新型微机距离保护的研究[J]. 中国电机工程学报, 1994, 4(6): 35-40.
Zhang Zhe, Chen Deshu. A new digital impedance relay with improved performance[J]. Proceedings of the CSEE, 1994, 4(6): 35-40(in Chinese).
- [5] 叶萍, 陈德树. 一种能克服I0极化接地距离继电器区外稳态超越问题的新方案[J]. 中国电机工程学报, 1995, 15(3): 199-203.
Ye Ping, Chen Deshu. New algorithm of I0 polarized ground distance relay[J]. Proceedings of the CSEE, 1995, 15(3): 199-203(in Chinese).
- [6] Anderson P M. Power System Protection[M]. IEEE Press, 1998.
- [7] Gang Li, Shenshi Zhu, Fenghai Sui. Adaptive bowl impedance relay[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1999, 14(1): 142-147.
- [8] Eissa M M, Masoud M. A novel digital distance relaying technique for transmission line protection[J]. IEEE Trans. Power Delivery, 2001, 16(1): 380-384.
- [9] Varga G, Couch G H, Eddy D G, et al. The effect and detection of transmission line high resistance faults[C]. IFAC Symposium on Automatic Control and Protection of Electric Power Systems, Chania, Crete, 1977.
- [10] Johns A T, El-Alaily A A. New distance protective relay with improved coverage for high resistance earth faults[J]. IEE Proceedings, 1977, 124(4): 349-355.
- [11] Xia Y Q, Li K K, David A K. Adaptive relaysetting for stand-alone digital distance protection[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1994, 19(1): 481-491.
- [12] Ohura Y, Matsuda T, Suzuki M. Digital distance relay with improved characteristics against distorted transient waveforms[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1989, 4(1): 2025-2031.
- [13] 张晶晶, 曹锐. 距离保护特性元件躲过渡电阻能力分析[J]. 继电器, 2004, 32(6): 17-19.
Zhang Jingjing, Cao Rui. Analysis and research on the ability of distance protection element standing the influence of transition resistance[J]. Relay, 2004, 32(6): 17-19(in Chinese).
- [14] 周克明, 徐丙垠. 数字式接地距离保护零序电流补偿的研究[J]. 中国电机工程学报, 1991, 11(6): 65-72.
Zhou Keming, Xu Bingyin. Study of Residual Compensation for earth-fault digital distance protection[J]. Proceedings of the CSEE, 1991, 11(6): 65-72(in Chinese).
- [15] 文明浩, 陈德树, 尹项根. 远距离输电线路的能量平衡保护[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(2): 74-79.
Wen Minghao, Chen Deshu, Yin Xianggen. Long transmission line protection based on the principle of balance of energy[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(2): 74-79(in Chinese).
- [16] 隋凤海, 李钢, 王善祥. 余弦电压元件的特性及其应用[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(5): 26-28.
Sui Fenghai, LiGang, Wang Shanxiang. Cosine relay $\cos\phi$'s characteristic and application[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(5): 26-28(in Chinese).
- [17] 宗洪良, 任祖怡. 基于 $\cos\phi$ 的失步解列装置[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(19): 83-85.
Zong Hongliang, Ren Zuyi. A out-of-step splitting device based on the changing trackof the voltage of oscillation center[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(19): 83-85(in Chinese).

收稿日期: 2007-02-01。

作者简介:

沈冰(1979—), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统继电保护的研究, ee_shen_bing@hotmail.com;

何奔腾(1959—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 目前主要从事电力系统继电保护及控制等方面的研究。

(编辑 王剑乔)