

# 大电流接地系统线路高阻接地距离继电器

柳焕章<sup>1</sup>, 李银红<sup>2</sup>

- (1. 华中电网有限公司, 湖北省 武汉市 430077;
2. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北省 武汉市 430074)

## High Resistance Grounded Distance Relay in Solidly Earthed System

LIU Huanzhang<sup>1</sup>, LI Yinong<sup>2</sup>

- (1. Central China Grid Company Limited, Wuhan 430077, Hubei Province, China;
2. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei Province, China)

**ABSTRACT:** The three elements of distance relay in the voltage plane are the polarization voltage, operation voltage and operation characteristic, among which the polarization voltage is the most important. The relay could ideally select pre-fault voltage as polarization voltage, while it practically employs the positive sequence voltage. The difference between the two kinds of polarization voltage is negligible in the case of low impedance ground fault, while significant in the case of high impedance ground fault. Thus, this paper uses the memory and the non-fault phase parameters to gain the pre-fault voltage, and use it as the new polarization voltage. Thus it puts forward a new self-adaptive high impedance ground distance relay. The theoretical analysis and simulation result show that the performance of the distance relay based on the voltage plane is better than that based on the impedance plane.

**KEY WORDS:** high resistance grounded; distance relay; voltage plane; polarization voltage; operation voltage; impedance plane; selecting phase with current

**摘要:** 极化电压、工作电压和电压平面上的动作特性称为距离继电器的三要素。这3个要素中极化电压为第一要素, 最理想的极化电压是故障前的工作电压, 目前继电器常采用正序极化电压, 当低阻接地短路时两者几乎无差异, 但是高阻接地短路时两者的差异则不能容忍。采用记忆和非故障相推算的方法, 获得故障相故障前的工作电压, 并以此作为极化量构成高阻接地距离继电器。理论分析和仿真结果均表明, 基于电压平面的距离继电器比基于阻抗平面的距离继电器的性能更加优良。

**关键词:** 高阻接地; 距离继电器; 电压平面; 极化电压; 工作电压; 阻抗平面; 纯电流选相

## 0 引言

距离保护的性能会受电压互感器 (voltage

transformer, VT)断线、系统振荡和过渡电阻的影响。前两者目前已有成熟的处理措施, 唯有经电阻接地时的性能一直不理想<sup>[1-2]</sup>。对于线路距离保护有一个一致的看法: 相间短路时短路点电压不大于 0.05 pu, 相间距离无过渡电阻的问题。接地距离保护存在过渡电阻的问题, 一般以短路点电流约 1kA 为界, 对应 220、500kV 电压等级的线路的过渡电阻不会超过 100、300Ω, 如此高的过渡电阻情况下距离保护的性能会下降。此时可通过零序电流保护来识别故障, 但无法从根本上协调灵敏度与选择性的矛盾。牺牲选择性、确保灵敏度是一种通常的整定计算方法, 提高接地距离保护耐受接地电阻的能力就是提高其选择性, 例如, 整套接地保护的動作时间可整定为: 纵联保护和接地距离 I 段的動作时限为 0s; 0.5s < 接地距离 II 段的動作时限 < (1.5-Δt)s; 1.5s < 接地距离 III 段的動作时限 < 2s; 新增高阻距离 I、II、III 段与常规距离 I、II、III 段的阻抗定值相同, 動作时间分别为 2.5、3.0、3.5s; 带方向的零序电流 II 段电流整定值为 500A, 動作时限为 4s; 无方向的零序电流 III 段电流整定值为 300A, 動作时限为 4.5s。整套接地保护具有理想的反时限特性, 整定计算简单, 配合合理, 这对于大型复杂电网的安全运行意义重大。

在阻抗平面上可以很清晰地看到距离保护的过渡电阻与躲避负荷的矛盾<sup>[1-4]</sup>。为了可靠躲过负荷阻抗, 留给距离继电器的空间所剩无几。研究发现: 在重负荷下, 负荷电阻分量小于短路电阻分量, 即两者的电阻分量存在交集, 因此, 只能牺牲灵敏度, 保证选择性。笔者的研究工作是减小这种交集, 在保证选择性的前提下提高灵敏度。事实上, 在阻抗

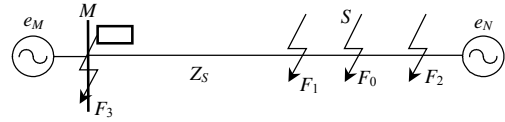
平面上研究线路距离继电器有其局限性,真正意义上的线路距离继电器应该在电压平面<sup>[3,5-8]</sup>上研究。极化电压、工作电压和电压平面上的动作特性称为距离继电器的三要素。在电压平面研究距离继电器的实质是,整定点短路时,由整定点电压随过渡电阻变化的轨迹,确定工作电压的动作边界,即由故障边界确定动作特性。由此可见,它是自适应的<sup>[9-11]</sup>。这种继电器的性能优于任何阻抗平面上得出的继电器的性能。

## 1 电压平面上距离继电器的一般性原理

距离保护原理的关键是极化量的选择,构成距离继电器判据的通常有2个量:一个是工作电压;另一个是极化电压。工作电压通常选择补偿到整定点的补偿电压(此即为距离保护称为阻抗保护的原因,补偿阻抗决定保护范围,保护范围正比于补偿阻抗)。当选定电压平面的参考量后,就可以划定工作电压在电压平面的动作区域。电压平面的参考量必须由“故障前工况”确定<sup>[12]</sup>,此处所说的“故障前工况”不是指线路发生短路时刻“短路前工况”的意思,它是故障分析中的“故障前工况”,例如,系统全相振荡中线路发生单相接地短路时,短路电流因振荡而变化,这是由于故障分析中的“故障前”的故障点电压因振荡而变化。当然,线路实际发生短路时刻“短路前”的故障点电压是不变的。显然,在故障后得到“故障前工况”是距离继电器原理的关键所在,极化电压则充当这一重要角色。微机保护出现后突变量保护获得成功应用,主要是由于微机具有记忆功能,可以方便地得到“故障前工况”,然而,故障后随着时间的推移,发电机的励磁、功角发生变化,记忆也就不能反映“故障前工况”,因此使用记忆是有条件的。记忆消失后,对于单相接地短路,假定正序网络与负序网络相同(以下分析均基于此),非故障相的故障分量仅仅是零序分量,因而,非故障相的电气量差就能反映“故障前工况”。可见,选相是关键。在确定极化电压时,存在这样一个悖论:对于单相接地短路,若正确选相,便可推算出“故障前工况”;若知道“故障前工况”,便能正确选相。

图1是双电源系统的一次接线图,保护安装在M处。图2是送、受端区内、外短路补偿电压的轨迹。

对于瞬时保护,应采用记忆电压。对于延时保



$F_0$ 为线路末端; $F_1$ 为保护区内; $F_2$ 为保护正向区外; $F_3$ 为保护反向。

图1 双电源系统一次接线图

Fig. 1 Oneline diagram of two generator system

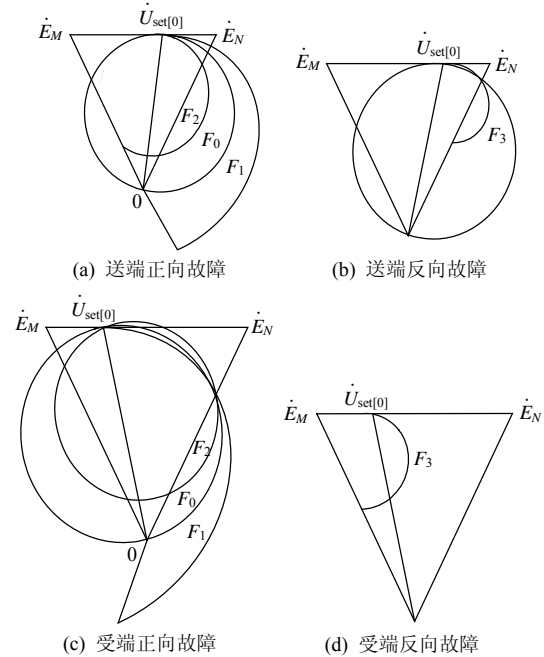


图2 补偿电压轨迹

Fig. 2 Trajectory of compensation voltage

护,首先需要对其进行科学、合理的定位:由于常规距离保护在高阻接地短路时会拒动,因此高阻距离保护是常规距离保护的一种补充。这就给高阻距离选相提供了一个极其宽松的环境。由于高阻单相接地短路无暂态稳定问题,因此允许较长的延时,此时,基本上不存在复杂故障,再加上常规的相间距离、接地距离均不动作,且同时具有接地短路特征,因此可以判断为单相接地短路。这种环境下选相<sup>[13]</sup>相对容易,因此可从选相入手。

## 2 故障前工作电压

选相的目的是计算单相高阻接地短路时故障前的工作电压 $\dot{U}'_{[0]}$ ,通常选相会有2种结果:选出单相接地的故障相或者选相失败。由于高阻距离是补充保护,因此宁可选相失败,也要禁止误选相。

接地短路选相的必要条件为 $m > 0.15 [m = (I_0 + I_2) / I_1]$ 且 $3I_0 > 300 \text{ A}$ 且 $3I_2 > 300 \text{ A}$ ;否则,选相失败。按照传统做法,以 $\dot{I}_2$ 为坐标分区,其选相区域为:超前 $75^\circ$ ,滞后 $45^\circ$ 。以A区为例, $\dot{I}_0$ 落于A区时可

能是 3 种故障类型： $K(AN)$ 、 $K(BCN)$ 及高电阻  $K(ABN)$ 。若能得到正序电流突变量  $\Delta i_{A1}$ ，选相问题便迎刃而解。故障分析的结论指出： $K(AN)$ ， $\Delta i_{A1} = i_{A2}$ ； $i_0$  在 A 区的  $K(BCN)$ ， $-\Delta i_{A1}$  在 A 区； $i_0$  在 A 区的  $K(ABN)$ ， $\Delta i_{A1}$  约滞后  $i_{A2}$   $60^\circ$ ，靠近 A 区。

1) 瞬时保护。

瞬时保护选相。按照上述分区和分析，以 A 区为例，为了防止误选相，缩小  $\Delta i_{A1}$  ( $\Delta i_{A1}$  为通过记忆获得的 A 相正序电流的突变量) 的区域。 $\Delta i_{A1}$  落在超前  $i_{A2}$   $60^\circ$ 、滞后  $i_{A2}$   $30^\circ$  的区域内，判定为  $K(AN)$ ；否则选相失败。

由于瞬时保护安全性要求极高。为了慎重，对  $\dot{U}'_{A[0]}$  进行多重认证：令  $\dot{U}''_{A[0]}$  为通过记忆获得的故障前补偿电压， $\dot{U}'''_{A[0]} = j(\dot{U}_{BC} - \dot{i}_{BC}Z_{set})/\sqrt{3}$  为通过故障后的非故障相推算的故障前补偿电压。

为了进一步验证选相的正确性，若  $|\dot{U}'_{A[0]} - \dot{U}'''_{A[0]}| > 0.2 \text{ pu}$ ，则判断为选相失败。

为了防止  $\dot{U}'_{A[0]}$  的误差造成稳态超越，当  $-15^\circ < \arg(\dot{U}''_{A[0]}/\dot{U}'''_{A[0]}) \leq 0^\circ$  时，取滞后量  $\dot{U}'_{A[0]} = \dot{U}''_{A[0]}$ ；当  $0^\circ < \arg(\dot{U}''_{A[0]}/\dot{U}'''_{A[0]}) < 15^\circ$  时，取滞后量  $\dot{U}'_{A[0]} = \dot{U}'''_{A[0]}$ ；当  $|\arg(\dot{U}''_{A[0]}/\dot{U}'''_{A[0]})| \geq 15^\circ$  时，则判断为选相失败。

2) 延时保护。

延时保护选相。同样分区，仍以 A 区为例。记忆消失得不到  $\Delta i_{A1}$ 。若采用纯电流选相，所用资源只有三相电流  $i_A$ 、 $i_B$ 、 $i_C$ 。图 3、4 分别为纯电流选相的相量图和逻辑图。首先排除  $K(BCN)$ ，因为， $K(BCN)$  与  $K(AN)$  的故障相和非故障相恰好相反，因此 2 种情况下，计及负荷后  $i_{A1}$  在理论上也不存在重叠区。排除  $K(BCN)$  后，不允许将高电阻  $K(ABN)$  误判为  $K(AN)$  是最基本的要求。这 2 类故障发生时 C 相都是非故障相，对于高电阻  $K(ABN)$ ，C 相电流基本不变，可以由故障后的 C 相电流推算出  $\Delta i_{A1}$ 。

$$\Delta i_{A1} = i_{A1} - \alpha^2 i_C = i_{A1} + i_C e^{j60^\circ}$$

空载  $K(AN)$  时， $i_{A1} = i_{A2}$ 。由于送端负荷电流超前  $i_{A2}$ ，因此叠加负荷电流几乎是正向叠加， $i_{A1}$  满足  $-165^\circ < \arg[(i_{A1} - 0.5i_{A2})/i_{A2}] < 75^\circ$ ；受端负荷电流与送端负荷电流反向，几乎是反向叠加， $i_{A1}$  满足  $-90^\circ < \arg[(i_{A1} + 0.5i_{A2})/i_{A2}] < 60^\circ$ 。空载  $K(BCN)$ ， $i_{A1} = -(i_{A2} + i_0)$ 。叠加负荷，送端负荷电流超前  $\Delta i_{A1}$ ，几乎是正向叠加；受端负荷电流与

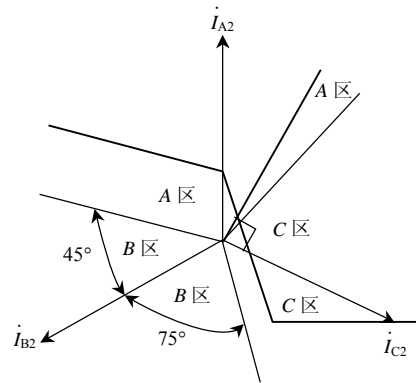


图 3 纯电流选相相量图

Fig. 3 Phasor diagram of selecting phase with current

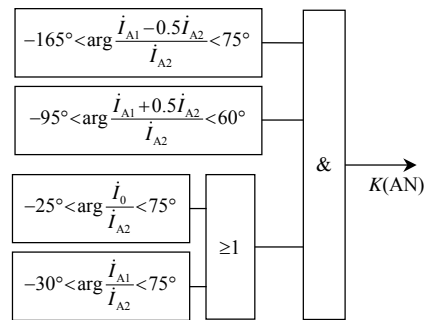


图 4 纯电流选相逻辑图

Fig. 4 Logical diagram of selecting phase with current

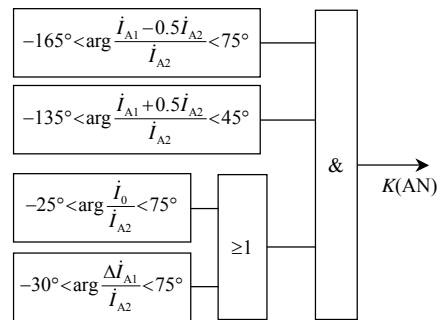
送端负荷电流反向，几乎是反向叠加。无论如何， $i_{A1}$  不可能同时满足上述 2 个条件。高阻  $K(ABN)$  短路不满足  $-25^\circ < \arg(i_0/i_{A2}) < 75^\circ$ 。 $i_0$  在 A 区的高阻  $K(ABN)$  短路与  $K(AB)$  短路的情况近似，即  $I_0 \ll I_2$ ， $i_C$  基本不变，令  $\Delta i_{A1} = i_{A1} - \alpha^2 i_C = i_{A2} e^{-j60^\circ} + i_0 e^{j60^\circ}$ 。 $\Delta i_{A1}$  不满足  $-30^\circ < \arg(\Delta i_{A1}/i_{A2}) < 75^\circ$ 。

利用正序功率  $S_1 = P_1 + jQ_1$  的 4 个象限， $\varphi_1 = \arg(\dot{U}_{\varphi\varphi 1}/\dot{i}_{\varphi\varphi 1}) + (90^\circ - \varphi_{L1})$ ，分别进行处理。

常规的相间距离保护和接地距离保护均不动作是高阻距离保护投入的前提，因此独立于电压的纯电流选相提高了安全性。

具体实施方案如图 5 所示。

这里也提供一个电压参与的选相。同样分区，



(a)  $90^\circ \leq \varphi_1 < 180^\circ$

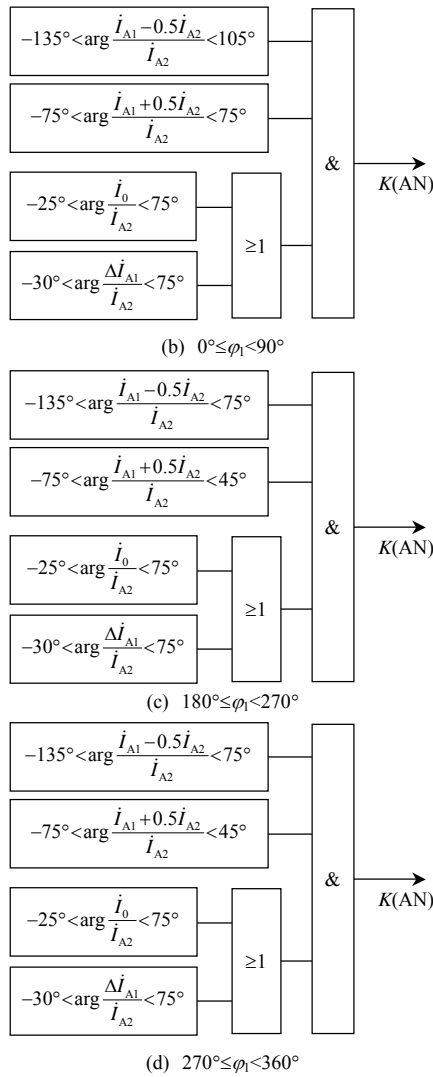


图5 选相具体实施方案

Fig. 5 Specific programs of selecting phase with current

仍以A区为例，其逻辑图如图6所示。

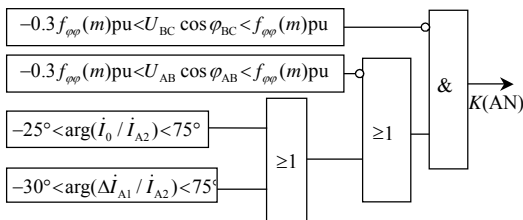


图6 电压电流复合选相逻辑图

Fig. 6 Logical diagram of selecting phase with current

### 3 高阻接地距离继电器

高阻接地距离继电器  $\Delta Z_{G1}$ 、 $Z_G$ ，都是以  $\dot{U}'_{[0]}$  作为极化电压，以  $\dot{U}'_{[0]}$  为直径的圆作为动作特性，工作电压在  $\dot{U}'$  圆外动作。由于  $\dot{U}'_{[0]}$  在动作圆上，即负荷在动作边界，必须增加负荷限制。如图7所示：对于送端，负荷限制为与  $\dot{U}'_{[0]}e^{-j\alpha}$  重合的直线；由

于受端存在同相问题，受端的负荷限制为与  $\dot{U}e^{-j\beta}$  重合的直线。负荷限制降低了过渡电阻能力，受端低于送端。然而，后备保护动作于三相跳闸，这使得受端纵续跳闸具有了极高的切高阻能力，在一定程度上解决了负荷限制导致的受端过渡电阻能力低的问题。

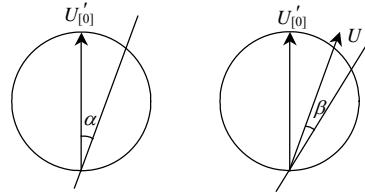


图7 电压平面下的高阻距离原理图  
Fig. 7 Illustration of high-resistance distance relay in the voltage plane

继电器  $\Delta Z_{G1}$ 、 $Z_G$  的正确动作依赖于正确的选相结果，因此，选相失败则闭锁  $\Delta Z_{G1}$ 、 $Z_G$ ，选相成功则只计算故障相，闭锁非故障相。由于  $\Delta Z_{G1}$ 、 $Z_G$  是针对高阻接地短路的情况设计的，因此，只有当常规相间距离和接地距离均不动作(隐含选相，通常是单相高阻接地短路)时，才投入  $\Delta Z_{G1}$ 、 $Z_G$ 。 $\Delta Z_{G1}$ 、 $Z_G$  经突变量方向继电器控制。由于  $\Delta Z_{G1}$  需要记忆，只能短暂投入，又为了躲过暂态， $\Delta Z_{G1}$  仅仅在启动后投入 30~40 ms。

如选出故障相为A相，则有： $\dot{U}'_{A[0]} = j\dot{U}'_{BC} / \sqrt{3}$ ； $\dot{I}'_{A[0]} = j\dot{I}'_{BC} / \sqrt{3}$ ； $\Delta\dot{U}'_A = \dot{U}'_A - \dot{U}'_{A[0]}$ ； $\Delta\dot{I}'_A = \dot{I}'_A - \dot{I}'_{A[0]}$ ； $\dot{U}'_{A[0]} = \dot{U}'_{A[0]} - \dot{I}'_{A[0]}Z_{set}$ ； $\dot{U}'_A = \dot{U}'_A - (\dot{I}'_A + 3k\dot{I}'_0)Z_{set}$ ； $\Delta\dot{U}'_A = \Delta\dot{U}'_A - (\Delta\dot{I}'_A + 3k\dot{I}'_0)Z_{set}$ 。

对于突变量方向继电器，有  
 $|\Delta\dot{U}'_A - (1000 + L)(\Delta\dot{I}'_A + 3k\dot{I}'_0)Z_{L1} / (4L)| >$   
 $|\Delta\dot{U}'_A + (1000 + L)(\Delta\dot{I}'_A + 3k\dot{I}'_0)Z_{L1} / (4L)|$  (1)

式中： $L$  为线路长度，km； $Z_{L1}$  为线路正序阻抗。

为了说明物理意义，将式(1)改写为

$$|\Delta\dot{U}'_{25\%} - (\Delta\dot{I}' + 3k\dot{I}'_0)250Z_{L1} / L| >$$

$$|\Delta\dot{U}'_{25\%} + (\Delta\dot{I}' + 3k\dot{I}'_0)250Z_{L1} / L|$$

它的物理意义是：等效于将VT移至线路的25%处，这样可以消除背后强电源造成的死区。然后正反向均补偿250km线路，根据动作方程比较大小。

送端高阻接地距离继电器的动作方程为

$$\cos \varphi_{BC} > 0 \text{ 或 } I_{BC} < 0.2I_n$$

式中  $I_n$  为电流互感器的二次额定电流。

$$\varphi_{BC} = \arg(\dot{U}'_{BC} / \dot{I}'_{BC}) + (90^\circ - \varphi_{L1})$$

$$90^\circ > \arg \frac{\Delta\dot{U}'_A}{\dot{U}'_A} > -90^\circ \text{ 且 } 180^\circ + \alpha > \arg \frac{\dot{U}'_{A[0]}}{\dot{U}'_A} > \alpha$$

受端保护的动作为

$$\cos \varphi_{BC} \leq 0 \text{ 且 } I_{BC} \geq 0.2 I_n$$

$$90^\circ > \arg \frac{\Delta \dot{U}'_A}{\dot{U}'_A} > -90^\circ \text{ 且 } 180^\circ + \beta > \arg \frac{\dot{U}'_{A[0]}}{\dot{U}'_A} > \beta$$

根据上述理论研究，综合考虑电抗线约束、负荷线约束、方向线约束和电流不对称度等因素，本文提出一种新型高阻距离继电器，其逻辑图如图 8 所示，定值设定如表 1 所示。

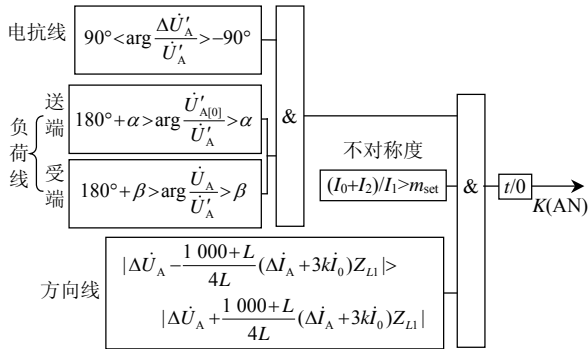


图 8 高阻距离继电器的逻辑图

Fig. 8 Logical diagram of high-resistance distance relay

表 1 高阻距离继电器的定值

Tab. 1 Settings of high-resistance distance relay

保护段	$m_{set}$	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$t/s$
I	0.25	30	15	2.5
II	0.20	20	10	3.0
III	0.15	10	5	3.5

### 4 仿真计算

采用 PSCAD 仿真计算模型如图 9 所示。

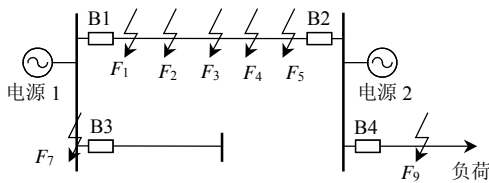


图 9 220kV 系统仿真模型

Fig. 9 Simulation model of 220kV system

断路器 B1 至断路器 B2 之间为 100 km 的输电线路，保护安装在 B1 断路器处，线路参数为： $Z_1=42.21\angle 78.86^\circ \Omega$ ， $Z_0=128.19\angle 73.00^\circ \Omega$ 。保护电流互感器变比为 1200 A/1 A，VT 变比 220 kV/100 V。 $F_1-F_5$  为保护线路上的故障点，分别位于 B1 侧的 0%、25%、50%、75%、100% 处。 $F_7$  为 B1 侧背后母线上的故障点， $F_9$  为 B2 侧背后母线上负荷线路的故障点。仿真结果如表 2 和表 3 所示。

仿真结果表明：高阻距离保护具有明确的方向性，不存在稳态超越，能够自适应地躲避负荷，轻载时保护的抗过渡电阻能力高于重载时，送端保护

表 2 轻载情况高阻距离动作情况

Tab. 2 Operation of high-resistance distance relay under light load condition

故障点	故障类型	过渡电阻/ $\Omega$	高阻距离继电器		故障点	故障类型	过渡电阻/ $\Omega$	高阻距离继电器	
			$\Delta Z_G$	$Z_G$				$\Delta Z_G$	$Z_G$
$F_9$	AG	0	○	○	$F_3$	AG	0	●	●
	AG	50	○	○		AG	70	●	●
	AG	100	○	○		AG	100	○	○
	ABG	0	○	○		ABG	0	○	○
	BCG	0	○	○		BCG	0	○	○
	BCG	8	○	○	BCG	8	○	○	
$F_5$	AG	0	●	●	$F_1$	AG	0	●	●
	AG	10	○	○		AG	50	●	●
	AG	100	○	○		AG	120	●	●
	ABG	0	○	○		ABG	0	○	○
	BCG	0	○	○		BCG	0	○	○
	BCG	8	○	○	BCG	8	○	○	
$F_4$	AG	0	●	●	$F_7$	AG	0	○	○
	AG	30	●	●		AG	50	○	○
	AG	100	○	○		AG	100	○	○
	ABG	0	○	○		ABG	0	○	○
	BCG	0	○	○		BCG	0	○	○
	BCG	8	○	○	BCG	8	○	○	

表 3 重载情况高阻距离动作情况(负荷 975 A)

Tab. 3 Operation of high-resistance distance relay under heavy load condition (load 975 A)

故障点	故障类型	过渡电阻/ $\Omega$	送端继电器		受端继电器	
			$\Delta Z_G$	$Z_G$	$\Delta Z_G$	$Z_G$
$F_9$	AG	0	○	○	○	○
	AG	30	○	○	○	○
	AG	100	○	○	○	○
	ABG	0	○	○	○	○
	BCG	0	○	○	○	○
	BCG	8	○	○	○	○
$F_5$	AG	0	●	●	●	●
	AG	10	○	○	●	●
	AG	100	○	○	○	○
	ABG	0	○	○	○	○
	BCG	0	○	○	○	○
	BCG	8	○	○	○	○
$F_4$	AG	0	●	●	●	●
	AG	40	●	●	○	●
	AG	100	○	○	○	○
	ABG	0	○	○	○	○
	BCG	0	○	○	○	○
	BCG	8	○	○	○	○
$F_3$	AG	0	●	●	○	●
	AG	70	●	●	○	●
	AG	100	○	○	○	○
	ABG	0	○	○	○	○
	BCG	0	○	○	○	○
	BCG	8	○	○	○	○
$F_1$	AG	0	●	●	○	●
	AG	50	●	●	○	○
	AG	120	●	●	○	○
	ABG	0	○	○	○	○
	BCG	0	○	○	○	○
	BCG	8	○	○	○	○
$F_7$	AG	0	○	○	○	○
	AG	50	○	○	○	○
	AG	100	○	○	○	○
	ABG	0	○	○	○	○
	BCG	0	○	○	○	○
	BCG	8	○	○	○	○

的抗过渡电阻能力高于受端的。以 220kV 的 100km 线路的保护 I 段(定值 100%)为例: 轻载情况下, 线路出口处短路时保护的抗过渡电阻能力为 130Ω, 线路 50%处短路时保护的抗过渡电阻能力为 70Ω, 线路 75%处短路时保护的抗过渡电阻能力为 30Ω; 重载情况下, 送端线路出口处短路时保护的抗过渡电阻能力为 120Ω, 线路 50%处短路时保护的抗过渡电阻能力为 70Ω, 线路 75%处短路时保护的抗过渡电阻能力为 30Ω, 受端线路出口处短路时保护的抗过渡电阻能力为 20Ω, 线路 75%处短路时保护的抗过渡电阻能力为 10Ω。值得说明的是, 即使是重载时, 受端保护的过渡电阻能力也高于常规的距离继电器。

## 5 结论

研究接地距离继电器<sup>[14]</sup>, 可以在阻抗平面, 也可以在电压平面, 研究表明, 电压平面远优于阻抗平面。电压平面上构成距离继电器的三要素为极化电压、工作电压和电压平面上的动作特性。这 3 个要素中极化电压为第一要素, 最理想的极化电压是故障前的工作电压。本文通过记忆和非故障相工作电压得到故障相的故障前工作电压, 并以其作为极化电压构成高阻接地距离继电器。高阻距离继电器是由故障边界确定动作特性, 因此是自适应的。这种继电器的性能远高于任何阻抗平面上得出的继电器的性能。仿真计算结果验证了所得结论。

## 参考文献

- [1] 叶萍, 陈德树. 一种能克服 I0 极化接地距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. A new scheme of I0 polarized earth-fault distance relay which can overcome the overreach problem [J]. Proceedings of the CSEE, 1995, 15(3): 199-203(in Chinese).
- [2] 刘世明, 陶惠良, 杨春明. 两种新型故障分量电抗继电器[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(4): 88-91.  
Liu Shiming, Tao Huiliang, Yang Chunming. Two new earth-fault reactance relays based on fault-compont[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(4): 88-91(in Chinese).
- [3] 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, 2005: 169-182.  
Zhu Shengshi. Principle and technology of relay protection of high voltage power grid[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005: 169-182(in Chinese).
- [4] 沈国荣. 工频变化量距离继电器的研究[C]//中国电机工程学会第四次继电保护及安全自动装置学术会议论文汇编. 南京: 中国电机工程学会, 1986(10): 1-6.  
Shen Guorong. Research on the protection relay based on power frequency variation[C]//Proceedings of National Conference of Power System Relays and Security Automation Device. Nanjing: Chinese Society of Electrical Engineering, 1986(10): 1-6(in Chinese).
- [5] 沈国荣. 工频变化量方向继电器原理的研究[J]. 电力系统自动化, 1983, 7(1): 28-38.  
Shen Gourong. A new directional relay based on the variation of power frequency components[J]. Automation of Electric Power Systems, 1983, 7(1): 28-38(in Chinese).
- [6] 朱声石. 接地距离继电器的研究[J]. 电力系统自动化, 1977, 1(4): 28-54.  
Zhu Shengshi. Study on grounding distance relays[J]. Automation of Electric Power Systems, 1977, 1(4), 28-54(in Chinese).
- [7] 王梅义. 距离继电器动作行为的分析[J]. 继电器, 1979(4): 1-65.  
Wang Meiyi. Analyze the operation characteristic of impedance relay[J]. Relay, 1979(4): 1-65(in Chinese).
- [8] 柳焕章. 阻抗保护分析中电压平面与阻抗平面的变换[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(1): 40-43.  
Liu Huanzhang. A novel impedance protection analysis method based on the transform from the voltage plane to the impedance plane [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(1): 40-43(in Chinese).
- [9] 黄少锋, 刘千宽, 柳焕章, 等. 基于补偿电压复合极化量的自适应距离继电器[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 38-41.  
Huang Shaofeng, Liu Qiankuan, Liu Huanzhang, et al. Adaptive distance relay with combined polarizing quantity based on compensated voltage[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 31(19): 38-41(in Chinese).
- [10] 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 Deshu, Yin Xianggen, et al. Study on the new adaptive MHO relay[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(1): 80-83(in Chinese).
- [11] 张艳霞, Li K K. 基于微分方程的自适应窗长距离保护算法研究 [J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(7): 24-27.  
Zhang Yanxia, Li K K. Study of adaptive window length algorithm based on linear differential equation[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(7): 24-27(in Chinese).
- [12] 胡玉峰, 柳焕章. 以故障前补偿电压为基准量的距离继电器研究 [J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(16), 28-32.  
Hu Yufeng, Liu Huanzhang. Study on distance relay based on pre-fault compensated voltage[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(16): 28-32(in Chinese).
- [13] 许庆强, 索南加乐, 柳焕章, 等. 基于相间故障弧光电压特征的高压线路选相元件[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(4): 65-70.  
Xu Qingqiang, Suonan Jiale, Liu Huanzhang, et al. Fault phase selector for HV transmission line protective relaying based on the characteristic of the arc voltage between two faulted phases[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 65-70(in Chinese).
- [14] 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, 14(6): 36-40.  
Zhang Zhe, Chen Deshu. A new digital impedance relay with improved performance[J]. Proceedings of the CSEE, 1994, 14(6): 36-40(in Chinese).



柳焕章

收稿日期: 2010-11-06.

作者简介:

柳焕章(1954), 男, 高级工程师, 主要研究方向为继电保护运行管理、整定计算、继电保护原理研究, liuhz@cc.sgcc.com.cn;

李银红(1976), 女, 副教授, 主要研究方向为继电保护整定计算。

(责任编辑 刘浩芳)