

## 方向阻抗继电器插入电压相位对其动作特性的影响

西安交通大学 王壮志

在保护电力系统相间短路的晶体管整流型距离保护中,为了消除死区和防止背侧近处两相短路时发生误动,它们的测量元件——方向阻抗继电器中,有些采用了插入某三相电压的方法(例如JJ—11型和LE型距离保护)。这一方法的实质是:通过移相使得引入方向阻抗继电器比较回路的,与第三相电压成比例的插入电压(用 $u_{ch}$ 表示)和测量电压(用 $u_{CL}$ 表示)相位相同,因之虽引入了插入电压,并不会影响方向阻抗继电器的动作特性。当发生近处二相短路时, $u_{ch}$ 和故障前 $u_{CL}$ 之相位相同,这便保证了:近处正向短路时不会有死区,反向近处短路不会误动。在方向阻抗继电器中引入第三相电压虽有上述之优点,但在调试时必需特别注意,要力求使 $u_{ch}$ 和 $u_{CL}$ 之相位相同,否则它的动作特性将要发生变化。

文献3的附录中,曾对整流型方向阻抗继电器中极化电压相位变化时,它的动作特性作过分析。分析结果表明:当极化电压与测量电压的相位相差 $\alpha$ 度时,它的动作特性仍为一园周通过坐标原点的园,不过园的半径要增大 $\frac{1}{\cos \alpha}$ 倍,最大灵敏角也要变化 $\alpha$ 度。

文献4的68页对JJ—11型保护中的晶体管方向阻抗继电器,当 $u_{ch}$ 和 $u_{CL}$ 相位不同时它的动作特性进行过分析。不过所给出的动作特性曲线是以 $\dot{U}_{CL} + 2\dot{U}_{ch}$ 和 $\dot{U}_{CL}$ 之间的相角 $\delta$ 恒定不变为前提的。但在实际调试中作特性曲线时,均是将测量电流 $\dot{I}_{CL}$ 固定,改变 $\dot{U}_{CL}$ ,故 $\delta$ 是一直在变化着的,因之文献4所给出的动作特性曲线就难于作为实际调试中的参考了。在实际调试中经常会遇到由于 $\dot{U}_{ch}$ 和 $\dot{U}_{CL}$ 相角不同,甚而 $\dot{U}_{ch}$ 极性接反,致使方向阻抗继电器动作特性发生畸变。由于影响动作特性的因素较多,因之对于经验不是十分丰富的人员来说,为了查找原因,往往要费很多时间。为此本文将按实际调试中作特性曲线的方法,将 $\dot{I}_{CL}$ 固定,分析当 $\dot{U}_{ch}$ 和 $\dot{U}_{CL}$ 相角不同时,继电器动作特性曲线所发生的变化,作为调试中的参考。

## 一、带插入电压的，按比较绝对值构成的，方向阻抗继电器的动作方程式

方向阻抗继电器的动作特性画在阻抗复平面上，是一以整定阻抗 $Z_{ZD}$ 为直径，圆周通过坐标原点的圆，园内是动作区，如图1所示。由图可见

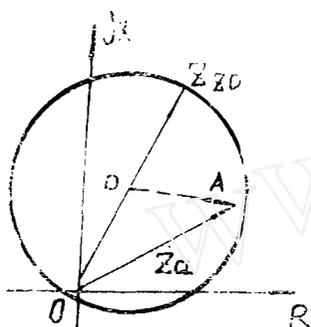


图1

$$\vec{AD} = \dot{Z}_{CL} - \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} \quad (1)$$

式中 $\dot{Z}_{CL}$ 是测量阻抗 $\dot{Z}_{CL} = \frac{\dot{U}_{CL}(\text{测量电压})}{\dot{I}_{CL}(\text{测量电流})}$

$\dot{Z}_{CL}$ 落于园内时继电器动作，显然它的动作条件为矢量 $\vec{AD}$ 之绝对值小于特性圆的半径，可写为：

$$|\vec{AD}| \leq \frac{1}{2} |\dot{Z}_{ZD}| \quad (2)$$

将①代入②且两侧均乘以 $\dot{I}_{CL}$ 时，动作条件可变为

$$\left| \dot{U}_{CL} - \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} \dot{I}_{CL} \right| \leq \left| \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} \dot{I}_{CL} \right| \quad (3)$$

当在方向阻抗继电器中引入插入电压 $U_{ch}$ 时，它的动作方程为：

$$\left| \dot{U}_{CL} - \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} \dot{I}_{CL} + \dot{U}_{ch} \right| \leq \left| \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} \dot{I}_{CL} + \dot{U}_{ch} \right| \quad (4)$$

II-11型距离保护中的方向阻抗继电器即按此动作方程构成。由于方程④中是矢量相加，因之只有当 $\dot{U}_{ch}$ 和 $\dot{U}_{CL}$ 之相位相同时，④式所表示的动作特性才和③式相同，如图1所示。当 $\dot{U}_{ch}$ 和 $\dot{U}_{CL}$ 相位不同时，它的特性就要发生变化。

## 二、当 $\dot{U}_{CL}$ 和 $\dot{U}_{CL}$ 相位不同时，方向阻抗继电器动作行为的分析

设  $\dot{U}_{CL} = U_{CL} e^{j\theta}$        $\dot{U}_{ch}$ 和 $\dot{U}_{CL}$ 相角差为 $\alpha$

即  $\dot{U}_{ch} = U_{ch} \cdot e^{j\alpha}$        $\dot{Z}_{ZD} = Z_{ZD} e^{j\varphi_L}$

$\varphi_L$ 是方向阻抗继电器的最大灵敏角。

$$\dot{I}_{CL} = I_{CL} e^{-j\varphi}$$

求方程④左、右两侧绝对值的平方。

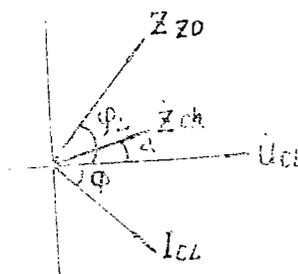


图2

$$\begin{aligned}
 \text{左侧: } & \left| U_{CL} - \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} \dot{I}_{CL} + \dot{U}_{ch} \right|^2 \\
 & = \left| U_{CL} e^{j0} - \frac{1}{2} Z_{ZD} \cdot e^{j\varphi_L} \cdot I_{CL} e^{-j\varphi} + U_{ch} e^{j\alpha} \right|^2 \\
 & = U_{CL}^2 + U_{ch}^2 + \frac{1}{4} Z_{ZD}^2 \cdot I_{CL}^2 - U_{CL} \cdot I_{CL} \cdot Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) \\
 & \quad + 2U_{CL} \cdot U_{ch} \cos \alpha - U_{ch} \cdot I_{CL} \cdot Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \alpha - \varphi) \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{右侧 } & \left| \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} \dot{I}_{CL} + \dot{U}_{ch} \right|^2 \\
 & = \left| \frac{1}{2} Z_{ZD} \cdot I_{CL} \cdot e^{j\varphi_L} \cdot e^{-j\varphi} + U_{ch} \cdot e^{j\alpha} \right|^2 \\
 & = U_{ch}^2 + \frac{1}{4} Z_{ZD}^2 \cdot I_{CL}^2 + Z_{ZD} \cdot I_{CL} \cdot U_{ch} \cdot \cos(\varphi_L - \alpha - \varphi) \quad (6)
 \end{aligned}$$

由于比较两数绝对值的大小,即为比较两数平方值的大小,因之根据④式方向阻抗继电器的动作条件可改写为 ⑤ ≤ ⑥ 即

$$\begin{aligned}
 U_{CL}^2 - U_{CL} \cdot I_{CL} \cdot Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) + 2U_{CL} \cdot U_{ch} \cdot \cos \alpha \\
 - 2Z_{ZD} \cdot I_{CL} \cdot U_{ch} \cdot \cos(\varphi_L - \alpha - \varphi) \leq 0 \quad (7)
 \end{aligned}$$

除以  $I_{CL}^2$  可得.

$$\begin{aligned}
 Z_{CL}^2 + \left[ 2 \frac{U_{ch}}{I_{CL}} \cos \alpha - Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) \right] Z_{CL} \\
 - 2 Z_{ZD} \frac{U_{ch}}{I_{CL}} \cos(\varphi_L - \alpha - \varphi) \leq 0 \quad (8)
 \end{aligned}$$

(8)式即是当  $\dot{U}_{ch}$  和  $\dot{U}_{CL}$  相角相差  $\alpha$  度时,方向阻抗继电器的动作方程,现根据此式在阻抗复平面上找出方向阻抗继电器的动作特性曲线。

1. 当  $\alpha = 0$  即  $\dot{U}_{ch}$  和  $\dot{U}_{CL}$  相位相同时:

将  $\alpha = 0$  代入⑧可得:

$$Z_{CL}^2 + \left[ 2 \frac{U_{ch}}{I_{CL}} - Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) \right] Z_{CL} - 2 Z_{ZD} \frac{U_{ch}}{I_{CL}} \cos(\varphi_L - \varphi) \leq 0.$$

$$\text{即 } \left[ Z_{CL} - Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) \right] \cdot \left[ Z_{CL} + \frac{2U_{ch}}{I_{CL}} \right] \leq 0 \quad (9)$$

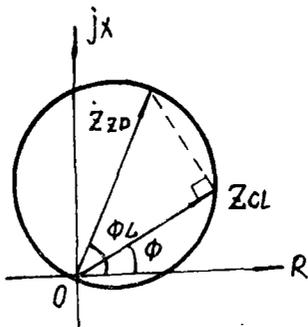


图 3

由于  $Z_{CL} + \frac{2U_{ch}}{I_{CL}}$  值大于 0, 因之⑨式的条件可化为  $Z_{CL} - Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) \leq 0$ .

$$\text{即 } Z_{CL} \leq Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) \quad (10)$$

⑩式所表示的动作条件,画在阻抗复平面上,显然是一个以  $\dot{Z}_{ZD}$  为直径的圆,即通常所说的方向阻抗继电器的“静态动作特性圆”,如图 3。

由此可见当  $\dot{U}_{ch}$  和  $\dot{U}_{CL}$  的相位相同时,方向阻抗的

动作特性不变。

2. 当  $\alpha = 180$ , 此即  $\dot{U}_{ch}$  的极情接反时的情况:

将  $\alpha = 180$  代入⑧式得.

$$Z_{CL}^2 - \left[ 2 \frac{U_{ch}}{I_{CL}} - Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) \right] Z_{CL} + 2 Z_{ZD} \frac{U_{ch}}{I_{CL}} \cos(\varphi_L - \varphi) \leq 0.$$

$$\text{即 } \left[ Z_{CL} - Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) \right] \left[ Z_{CL} - \frac{2U_{ch}}{I_{CL}} \right] \leq 0. \quad (11)$$

$$\text{已如上述 } Z_{CL} - Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) = 0. \quad (12)$$

是个以  $Z_{ZD}$  为直径之圆如图 4 中之  $C_1$  所示.

$$Z_{CL} - \frac{2U_{ch}}{I_{CL}} = 0.$$

$$\text{即 } Z_{CL} = \frac{2U_{ch}}{I_{CL}} \quad (13)$$

在阻抗复平面上此式的规迹是一个以坐标原点为圆心,  $\frac{2U_{ch}}{I_{CL}}$  为半径的圆, 如图 4 中之  $C_2$  所示.

现在阻抗复平面上来分析方程⑩所表示的动作特性.

当  $\dot{Z}_{CL}$  落于  $C_1$  园内时.

$$Z_{CL} - Z_{ZD} \cos(\varphi_L - \varphi) < 0.$$

当  $\dot{Z}_{CL}$  落于  $C_2$  园内时.

$$Z_{CL} - \frac{2U_{ch}}{I_{CL}} < 0.$$

显然只有当  $\dot{Z}_{CL}$  落于  $C_1$  园内但在  $C_2$  园外, 或  $C_2$  园内  $C_1$  园外时, 才满足方程⑩所示的动作条件, 继电器动作, 因之如图 4 虚线所示部分是继电器的动作区. 当  $\dot{Z}_{CL}$  落于  $C_1$  和  $C_2$  园外, 或  $C_1$  和  $C_2$  园内的共同区域时, 方程⑩的条件均不能满足, 故图 4 上对应的这一部分是继电器的不动作区.

根据以上分析, 当插入电压极性接反时, 方向阻抗继电器的动作特性如图 4 所示, 由  $C_1$  和  $C_2$  两个园组成.  $C_1$  仅和整定阻抗有关,  $C_2$  则和插入电压  $\dot{U}_{ch}$  的大小, 及调试时所加之测量电流  $\dot{I}_{CL}$  的大小有关. 在调试中由于  $\dot{U}_{ch}$  和  $\dot{I}_{CL}$  的大小均是固定的, 因之  $C_2$  园亦是固定的.

3. 当  $\alpha$  为其它角度时:

当  $\alpha$  为其它角度时, 不能像  $\alpha = 0$  和  $180^\circ$  那样其接分析得出其动作特性曲线, 只能根据⑧式逐点计算. 下面列表给出  $\alpha = 20^\circ, -20^\circ, 90^\circ, -90^\circ, 170^\circ, 190^\circ$  时的计算

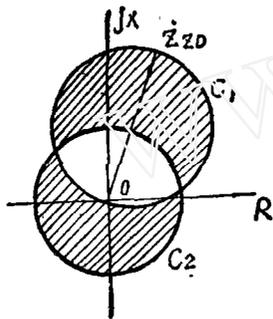


图 4

结果。

计算时取  $Z_{zD} = 2\Omega$ ,  $\varphi_L = 72^\circ$ ,  $U_{cA} = 3V$ ,  $I_{cL} = 5a$ .

$\varphi$	$0^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$	$60^\circ$	$72^\circ$	$80^\circ$	$100^\circ$	$120^\circ$	$140^\circ$	
动作阻抗 (欧)	$\alpha = 20^\circ$ 时	0.987	1.84	1.84	2.01	$\alpha$	1.97	1.63	1.06	0.15
	$\alpha = -20^\circ$	X	0.91	1.53	1.9	$\alpha$	2.02	1.89	1.58	1.09
	$\alpha = 90^\circ$	1.85	2.12	2.56	2.19	$\alpha$	1.8 ~ 0.18	X	X	X
	$\alpha = -90^\circ$	X	X	X	1.65 ~ 0.3	2	2.14	2.26	2.17	1.91
	$\alpha = 170^\circ$	1.59 ~ 0.21	1.78 ~ 0.63	1.98 ~ 0.904	2.06 ~ 1.08	2 ~ 1.18	1.9 ~ 1.26	X	X	X
	$\alpha = 190^\circ$	X	X	X	1.82 ~ 1.32	2 ~ 1.18	2.05 ~ 1.11	2.02 ~ 0.96	1.82 ~ 0.7	1.62 ~ 0.31

$\varphi$	$160^\circ$	$180^\circ$	$210^\circ$	$240^\circ$	$270^\circ$	$300^\circ$	$320^\circ$	$340^\circ$	
动作阻抗 (欧)	$\alpha = 20^\circ$	X	X	X	X	X	X	0.446	
	$\alpha = -20^\circ$	0.56	0.05	X	X	X	X	X	
	$\alpha = 90^\circ$	X	X	X	X	0.33	0.83	1.16	1.52
	$\alpha = -90^\circ$	1.58	1.23	0.74	0.23	X	X	X	X
	$\alpha = 170^\circ$	X	0.93	1.08	1.15	1.22	1.3	1.37	1.45
	$\alpha = 190^\circ$	1.48	1.38	1.28	1.21	1.14	1.05	0.96	X

图 5 中绘出  $\alpha = 20^\circ$  和  $\alpha = -20^\circ$  时, 继电器的动作特性曲线。

图 6 中是  $\alpha = 90^\circ$  和  $\alpha = -90^\circ$  时的动作特性曲线。

图7中给出了 $\alpha = 170^\circ$ 和 $190^\circ$ 时的动作特性曲线。

由图5、图6、图7中可看出，当 $\dot{U}_{ca}$ 和 $\dot{U}_{cL}$ 之相位不同时，方向阻抗继电器的动作特性曲线并非是个圆。相位相差愈大，特性曲线畸变愈利害。

在调试中发现动作特性不圆，如图5中曲线②、③所示之情况，首先就应考虑是由于 $\dot{U}_{ca}$ 的相位偏差所引起，仔细调整插入电压的相位后，再作动作特性曲线。

在调试中发现动作特性曲线，如图4，或图7中曲线②、③所示之情况，则可以肯定是插入电压的极性接反了。

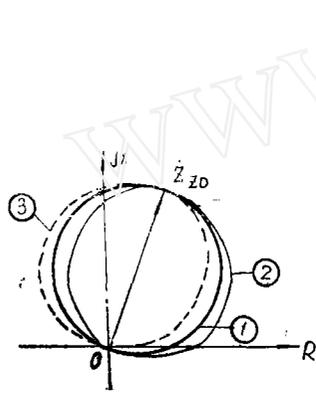


图5

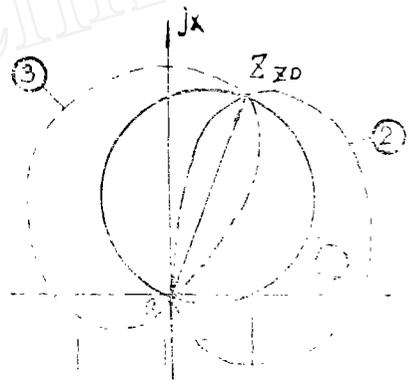


图6

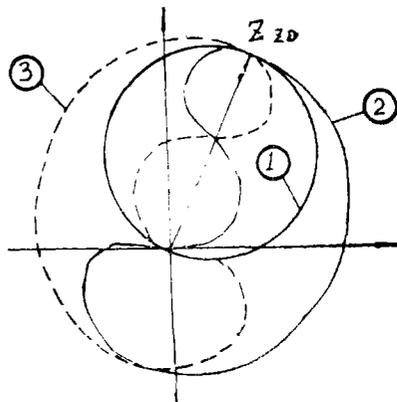


图7

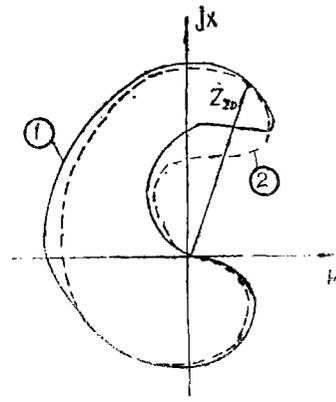


图8

### 三、试验结果:

南京水电仪表厂调试组同志曾对其所生产的JJ-11A型晶体管距离保护中的方向阻抗继电器,作过将插入电压极性加反的试验。试验情况大致如下:

方向阻抗继电器的最大灵敏角置于 $72^\circ$ ,整定阻抗置于 $2\Omega$ ,测量电流 $I_{CL}$ 固定为 $5A$ ,插入电压 $U_{cL}$ 的数值大约是 $3V$ ,故意将 $\dot{U}_{cL}$ 极性接反。试验时将测量电压先加至最大值,而后逐渐降低,记录继电器开始动作和返回时 $U_{cL}$ 的数值,其值如下表:

$\varphi$	$-10^\circ$	$0^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$	$80^\circ$	$100^\circ$	$120^\circ$	$140^\circ$
$U_{cL}$ (V)	X	X	X	X	9 动 8 返	10 ~ 7.5	10.5 ~ 7.5	11~6	9.6 ~ 4.3	9 ~ 2.3
$Z_{cL}$ ( $\Omega$ )	X	X	X	X	1.8 动 1.6 返	2 ~ 1.5	2.1 ~ 1.5	2.2 ~ 1.2	1.91 ~ 0.86	1.8 ~ 0.46

$\varphi$	$160^\circ$	$210^\circ$	$240^\circ$	$270^\circ$	$300^\circ$	$310^\circ$	$320^\circ$	$325^\circ$	$330^\circ$
$U_{cL}$ (V)	8.2 动	6.7	6.2	6.2	5.6	5.2	4.8	4.2	抖一下
$Z_{cL}$ ( $\Omega$ )	1.6	1.34	1.24	1.24	1.12	1.04	0.96	0.84	

画在阻抗复平面上,其动作特性如图8中①所示。显然它和图4中所示的 $\alpha = 180^\circ$ 时的特性曲线并不一致,这是因为在作实验时虽然将 $\dot{U}_{cL}$ 的极性接反了,但由于 $\dot{U}_{cL}$ 的相位没有调准,因之 $\alpha$ 并不等于 $180^\circ$ 。在图8中②是 $\alpha = 190^\circ$ 时由计算所得之动作特性曲线,两者基本相符。由此可以推断即是将 $\dot{U}_{cL}$ 的极性改正过来, $\dot{U}_{cL}$ 的相位也超前了 $\dot{U}_{cL}$ 约 $10^\circ$ 左右。

### 参 考 文 献

1. JJ-11A 晶体管距离保护说明书。
2. PLH-11/13型距离保护说明书。
3. PLH-11/B型继电保护屏检验规程。
4. 晶体管继电保护原理(下册)。

南京水电仪表厂  
上海继电器厂  
陕西电管局调度所  
南京电力学校