

极化回路的记忆作用 对比相式方向阻抗继电器特性的影响

吉林省电力勘测设计院 吕 强

一、前 言

在详细地研究极化回路记忆电压变化规律之后（这里所指的是常用的极化回路），就可以研究极化回路的记忆作用对“比幅式”、“比相式”方向阻抗继电器特性的影响了。

在“具有记忆电压的距离继电器暂态定量分析”一文中的前1~5节，详细地讨论了记忆电压变化规律，并用这个规律在后部份中对“记忆作用对比幅式方向阻抗继电器特性的影响”进行了定量分析。〔类似于LH-11型方向阻抗继电器〕。

方向阻抗继电器有“比幅式”和“比相式”两类，那么，记忆作用对“比相式”方向阻抗继电器有什么影响也是应该研究的。本文就是记忆作用对“比相式”方向阻抗继电器特性影响的研究结果。

二、记忆作用对园形比相式方向阻抗继电器特性的影响

园形比相式方向阻抗继电器动作方程为：（记忆作用时与静态时完全一样）

$$270^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{u}_j}{\dot{u} - \dot{Z}_x \dot{i}} \geq 90^\circ \quad \dots\dots 2-1$$

\dot{u}_j ，一是记忆电压向量。记忆作用时 \dot{u}_j 的表达式比较复杂，式中三个变量不宜用简化为一个变量 \dot{Z} （ $= \frac{\dot{u}}{\dot{i}}$ ）的函数来进行分析。

把2-1式变化后有

$$270^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z} \dot{i}}{\dot{Z} - \dot{Z}_x} \geq 90^\circ \quad \dots\dots 2-2$$

$$\dot{Z} = \frac{\dot{u}}{\dot{I}} \text{—测量阻抗相量。}$$

\dot{Z}_K —整定阻抗相量。

$\dot{Z}_J = \frac{\dot{u}_J}{\dot{I}}$ —极化阻抗相量。它是时间 t , 测量阻抗相量 \dot{Z} 的函数。在研究 \dot{Z} 的

动作区时, 应把 \dot{Z}_J 的变化一并考虑。

设

$$\varphi = \text{Arg} \frac{\dot{Z}_J}{\dot{Z} - \dot{Z}_K}$$

φ 是相量 \dot{Z}_J 超前向量 $(\dot{Z} - \dot{Z}_K)$ 的角度。

$$\therefore 270^\circ \geq \varphi \geq 90^\circ \quad \dots\dots 2-3$$

$$\therefore \cos \varphi \leq 0 \quad \dots\dots 2-4$$

将2-4式两边同乘以 $4|\dot{Z} - \dot{Z}_K| \cdot |\dot{Z}_J|$ 后再移项得:

$$-2|\dot{Z} - \dot{Z}_K| \cdot |\dot{Z}_J| \cos \varphi \geq 2|\dot{Z} - \dot{Z}_K| \cdot |\dot{Z}_J| \cos \varphi \quad \dots\dots 2-5$$

把2-5式两边同加上 $|\dot{Z} - \dot{Z}_K|^2 + |\dot{Z}_J|^2$ 后有:

$$|\dot{Z}_J - (\dot{Z} - \dot{Z}_K)|^2 \geq |\dot{Z}_J + (\dot{Z} - \dot{Z}_K)|^2 \quad \dots\dots 2-6$$

将2-6式按复数平方定理展开有:

$$Z_J Z \cos \varphi_{ZJ} \leq Z_J Z_K \cos \varphi_{KJ} \quad \dots\dots 2-7$$

Z_J 、 Z 、 Z_K 分别为相量 \dot{Z}_J 、 \dot{Z} 、 \dot{Z}_K 的幅值。

φ_{ZJ} —是相量 \dot{Z} 与相量 \dot{Z}_J 的夹角。

φ_{KJ} —是相量 \dot{Z}_K 与相量 \dot{Z}_J 的夹角。

从2-7式可知, 圆形比相式方向阻抗继电器, 在记忆作用时间内的性质与比幅式完全一样。因此, 在“具有记忆电压的距离继电器暂态定量分析”一文中, 对比幅式分析的所有结论, 可以搬到这里来应用。在这里不再赘述。

三、记忆作用对苹果形比相式方向阻抗继电器动作特性的影响

静态时和记忆作用时, 苹果形比相式方向阻抗继电器动作方程为:

$$270^\circ + \alpha \geq \text{Arg} \frac{\dot{u}_J}{\dot{u} - \dot{Z}_K \dot{I}} \geq 90^\circ - \alpha \quad \dots\dots 3-1$$

或
$$270^\circ + \alpha \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_J}{\dot{Z} - \dot{Z}_K} \geq 90^\circ - \alpha \quad \dots\dots 3-2$$

α 为一个正角度。其它文字与符号同圆形特性。
方程式 3-2 代表的 Z 的动作区可以用方程式

$$270^\circ - \alpha \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_J}{\dot{Z} - \dot{Z}_K} \geq 90^\circ - \alpha \quad \dots\dots 3-3$$

和

$$270^\circ + \alpha \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_J}{\dot{Z} - \dot{Z}_K} \geq 90^\circ + \alpha \quad \dots\dots 3-4$$

所代表的 Z 的动作区逻辑和来表示。(参看附录)

当 \dot{Z} 与 \dot{Z}_J 间的相位角固定时, 3-3 式所代表 Z 的动作区是以 Z_K 为弦的右偏圆, 方程 3-4 所代表 Z 的动作区为以 Z_K 为直径的左偏圆, 逻辑和则为苹果形。记忆作用时, 因 \dot{Z} 与 \dot{Z}_J 间角度不断变化, 因此, 动作区不再为苹果形。

将 3-3 式和 3-4 式变化后有:

$$270^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_J e^{j\alpha}}{\dot{Z} - \dot{Z}_K} \geq 90^\circ \quad \dots\dots 3-5$$

$$270^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_J e^{-j\alpha}}{\dot{Z} - \dot{Z}_K} \geq 90^\circ \quad \dots\dots 3-6$$

令 $\dot{Z}_J e^{j\alpha} = \dot{Z}_{J'}$, $\dot{Z}_J e^{-j\alpha} = \dot{Z}_{J''}$, 则 3-5 和 3-6 式可变成如下形式:

$$270^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_{J'}}{\dot{Z} - \dot{Z}_K} \geq 90^\circ \quad \dots\dots 3-7$$

$$270^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_{J''}}{\dot{Z} - \dot{Z}_K} \geq 90^\circ \quad \dots\dots 3-8$$

衍 2-7 式有

$$Z_{J'} Z \cos \varphi_{ZJ'} \leq Z_{J'} Z_K \cos \phi_{KJ'} \quad \dots\dots 3-9$$

$$Z_{J''} Z \cos \varphi_{ZJ''} \leq Z_{J''} Z_K \cos \phi_{KJ''} \quad \dots\dots 3-10$$

式中

$\varphi_{ZJ'}$ 为相量 \dot{Z} 与 $\dot{Z}_{J'} = \dot{Z}_J e^{j\alpha}$ 的夹角。

$\varphi_{ZJ''}$ 为相量 \dot{Z} 与 $\dot{Z}_{J''} = \dot{Z}_J e^{-j\alpha}$ 的夹角。

3-9 和 3-10 式表示的 Z 的动作区逻辑和同 3-3 和 3-4 式表示的逻辑和完全

一样。

如果 \dot{Z} 与 \dot{Z}_k 夹角不受实际条件限止, 则 3—9 和 3—10 式代表 Z 的动作区逻辑和为图 3—1 中 $M''Z_kN'$ 折线阴影侧, 非动作区为非阴影侧。折线上则为界。这个折线只要 $Z \neq 0$ 则是转动的。非动作区 $\angle M''Z_kN' = 180^\circ - 2\alpha$ 。

动作区为 $180^\circ + 2\alpha$ 。

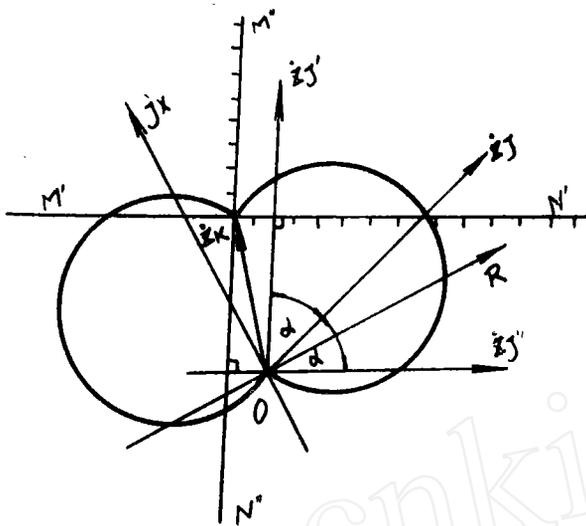


图 3—1

四、记忆作用对橄榄形比相式方向阻抗继电器动作特性的影响

橄榄形比相式方向阻抗继电器动作方程为:

$$270^\circ - \alpha \geq \text{Arg} \frac{\dot{u}_r}{u - \dot{Z}_k \dot{I}} \geq 90^\circ + \alpha \quad \dots\dots 4-1$$

或

$$270^\circ - \alpha \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_r}{Z - \dot{Z}_k} \geq 90^\circ + \alpha \quad \dots\dots 4-2$$

方程 4—2 中表示的 Z 的动作区, 可以用如下两个方程式所代表的 Z 的动作区逻辑乘来表示。

$$270^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_r e^{-j\alpha}}{Z - \dot{Z}_k} \geq 90^\circ \quad \dots\dots 4-3$$

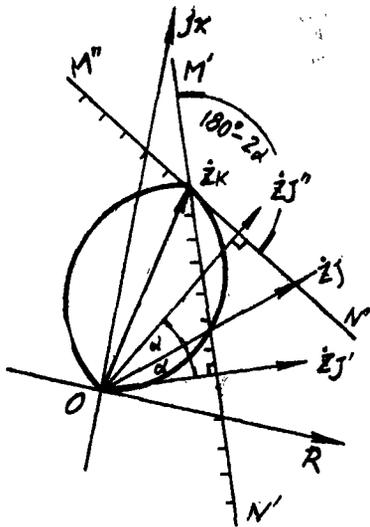


图 4-1

$$270^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_I e^{j\alpha}}{\dot{Z} - \dot{Z}_K} \geq 90^\circ \quad \dots\dots 4-4$$

$$\text{令 } \dot{Z}_I e^{-j\alpha} = \dot{Z}_I', \quad \dot{Z}_I e^{j\alpha} = \dot{Z}_I''$$

则 4-3 和 4-4 的等价方程可以写成:

$$Z_I' Z \cos \varphi_{Z_I'} \leq Z_I' Z_K \cos \varphi_{Z_K}, \quad \dots\dots 4-5$$

$$Z_I'' Z \cos \varphi_{Z_I''} \leq Z_I'' Z_K \cos \varphi_{Z_K}, \quad \dots\dots 4-6$$

方程 4-5、4-6 所表 Z 的动作区如图 4-1 中折线 M'N' 阴影侧，非动作区则为非阴影侧。动作区为 $180^\circ - 2\alpha$ ，非动作区为 $180^\circ + 2\alpha$ 。显然， $Z \neq 0$ 时，也是随时间而旋转的。

五、记忆作用对以 Z_K 为弦的园形比相式方向阻抗继电器特性的影响

以 Z_K 为弦园形比相式方向阻抗继电器动作方程为:

$$\text{右偏园形} \quad 270^\circ - \alpha \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_I}{\dot{Z} - \dot{Z}_K} \geq 90^\circ - \alpha$$

$$\text{左偏园形} \quad 270^\circ + \alpha \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_I}{\dot{Z} - \dot{Z}_K} \geq 90^\circ + \alpha$$

记忆作用对它的影响问题请参照三节，不再赘述。

动作区分别为图 5-1 和图 5-2 所示的阴影侧。非动作区为非阴影侧。

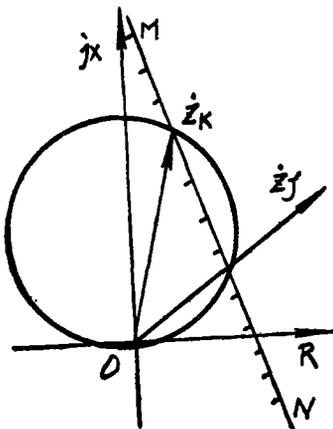


图 5-2

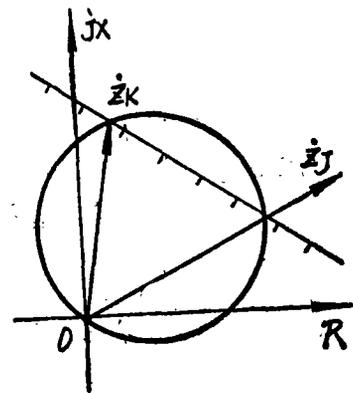


图 5-1

六、记忆作用对园缺形比相式方向阻 抗继电器特性的影响

园缺形（以下讨论左边缺了的园缺，叫右园缺）比相式方向阻抗继电器动作方程式

$$180^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{u}_I}{u - Z_K I} \geq 90^\circ - \alpha \quad \dots\dots 6-1$$

或

$$180^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_I}{Z - Z_K} \geq 90^\circ - \alpha \quad \dots\dots 6-2$$

它的动作方程可用下面两个方程式的逻辑乘来表示

$$180^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_I}{Z - Z_K} \geq 0 \quad \dots\dots 6-3$$

$$270^\circ - \alpha \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_I}{Z - Z_K} \geq 90^\circ - \alpha \quad \dots\dots 6-4$$

方程式 6-3 静态时是一条与整定阻抗相量 Z_K 相重合的一条直线的右侧，方程式 6-4 是以 Z_K 为弦的右园圆。显然，静态时，两个方程的逻辑乘就是右园缺。

记忆作用时， \dot{Z}_I 与 Z 间的夹角是变化的，故动作区已不再是园缺了。

把 6-3 和 6-4 式分别变形：

$$270^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_{I'}}{Z - Z_K} \geq 90^\circ \quad \dots\dots 6-5$$

$$270^\circ \geq \text{Arg} \frac{\dot{Z}_{I''}}{Z - Z_K} \geq 90^\circ \quad \dots\dots 6-6$$

其中

$$\dot{Z}_{I'} = \dot{Z}_I e^{j\theta}$$

$$\dot{Z}_{I''} = \dot{Z}_I e^{j\alpha}$$

6-5、6-6 的等价方程式

$$Z_{I'} Z \cos \varphi_{Z_{I'}} \leq Z_{I'} Z_K \cos \varphi_{K_{I'}} \quad \dots\dots 6-7$$

$$Z_{I''} Z \cos \varphi_{Z_{I''}} \leq Z_{I''} Z_K \cos \varphi_{K_{I''}} \quad \dots\dots 6-8$$

其中

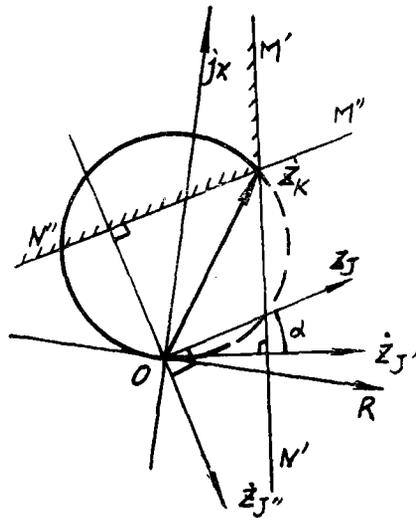


图 6-2

七、 \dot{u}_r 的幅角与 \dot{u} 的数值关系计算及分析

1. $t=0$ 时, \dot{u}_r 的幅角与 \dot{u} 的数值关系表

表 7-1

x	ϕ_u	ϕ_j									
		-180°	-150°	-90°	0°	50°	65°	80°	90°	150°	180°
0		30.38	30.39	29.28	27.34	27.60	27.88	28.23	28.49	29.98	30.38
0.1		30.23	30.49	29.74	27.48	27.37	27.56	27.84	28.06	29.63	30.23
0.2		30.09	30.60	30.32	27.62	27.14	27.25	27.46	27.65	29.29	30.09
0.3		29.94	30.71	30.73	27.76	26.92	27.94	27.09	27.26	28.96	29.94
0.4		29.80	30.82	31.25	27.90	26.70	26.65	26.74	26.87	28.63	29.80
0.5		29.66	30.93	31.79	28.04	26.49	26.36	26°39'	26.50	28.31	29.66
0.6		29.52	31.04	32.35	28.19	26.28	26.08	26.06	26.14	28.00	29.52
0.7		29.38	31.15	32.93	28.33	26.07	25.80	25.73	25.79	27.70	29.38
0.8		29.24	31.26	33.53	28.48	25.87	25.54	25.42	25.46	27.41	29.24
0.9		29.10	31.38	34.16	28.63	25.67	25.28	25.11	25.13	27.12	29.10
1		29.94	31.49	34.82	28.73	25.48	25.02	24.84	24.81	26.84	29.94

说明：本表是在功率因数角 $\varphi = 30^\circ$ 引入第三相电压的电阻 $R = 35\% \dot{U}$ ，记忆回路谐振角频率 $\omega' = 314$ 的条件下用大型计算机计算的。未引入三相电压的记忆回路的数值与此表接近。（略）

φ_u —测量电压 u 的幅角。

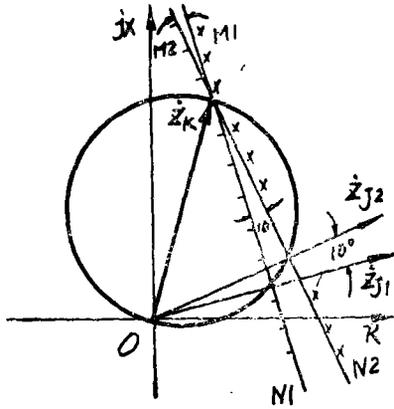


图 7—1

φ_j — \dot{u}_j 的幅角。

x —测量电压幅值与额定电压幅值之比。

2. 从表中可知，当 $x = 0 \sim 1$ 变化和 $\varphi_u = -180^\circ \sim 180^\circ$ 变化时， φ_j 的变化幅度并不大。最大为 34.82° ，最小为 24.81° ，二者之差为 10° 。功率因数角 30° 正好位于两者之间。

3. 园特性方向阻抗继电器，功率因数角为 30° 时， \dot{Z}_j 的最低位置 $\dot{Z}_{j1} = 24.81^\circ$ ， \dot{Z}_j 的最高位置 $\dot{Z}_{j2} = 34.82^\circ$ 它们所对应的直线MN分别为 $M1N1$ 、 $M2N2$ 。

如果 Z 的端点落在 $M1N1$ 和 $M2N2$ 动作区逻辑乘（阴影）部份时，继电器则动作。如果 Z 的端点落在 $M2Z \cap M1$ 和 $N1Z \cap N2$ 区内时，则继电器可能动也可能不动，这时要看具体的 \dot{u} 的幅值与幅角。如果 Z 的端点落在叉线阴影区时，则继电器不动作。

4. 由于 \dot{Z}_{j1} 和 \dot{Z}_{j2} 是两个极限状态，而且夹角为 10° ，因此，在作定性分析时，完全可以假定 \dot{u}_j 在 $t = 0$ 时的位置与 \dot{u} 无关系。这样， \dot{Z}_{j1} 与 \dot{Z}_{j2} 就变成一条 \dot{Z}_j 了。对应的动作区也就相应的变成一条直线MN了。

八、研究记忆作用对方向阻抗继电器影响时， 应该注意的问题。

1. 在没有把复相量扩充到时域之前， \dot{u}_j 是一个没有定义的量。
2. 所建立 u_j 的数学模型要正确，否则结果是徒劳的。

3. 研究比相式方向阻抗继电器暂态的动作区时，不能把 $\text{Arg} \frac{\dot{u}_j}{\dot{E}}$ 看作参变量

（ \dot{E} 是电源电势。无论 u_j 取自那里）。它不仅是时间的函数，也是 $\dot{Z}(\dot{u})$ 的函数。

设短路前后均以电流为参考相量，在短路前后（ $t = \pm 0$ ） \dot{u}_j 的幅角可以近似认为是功率因数角，未有变化。然而， \dot{E} 对于短路前的电流与短路后的电流所成的角度截然不同。

九、主要结论

1. 定量计算指出, 记忆电压 $\dot{u}_r (\dot{Z}_r)$ 在 $t=0$ 的位置, 在作定性分析时, 可以

近似认为与 $\dot{u} (\dot{Z})$ 无关。

2. 记忆作用使圆形、苹果形、橄榄形、以 Z_K 为弦圆形, 右圆缺形方向阻抗继电器在保护安装出口处短路时容许过渡电阻能力增强。(图9—1是圆形特性, P点以下容许过渡电阻能力加强。)

从表7—1中知, 当 $\varphi_K = 0$ 时, $u = 0 \sim 1$ 间变化时, $\varphi_r = 27.34^\circ \sim 28.73^\circ$ 可见 φ_r 变化很小。故从图9—1中可认为过渡电阻能力为 \overline{OC} 。显然, $\overline{OC} < \overline{OC'}$ 。

3. 在P点以上, $t=0$ 时允许过渡电阻能力减弱。但随着时间增长, 允许过渡电阻能力逐渐恢复。图9—1中 $\overline{AB} > \overline{A'B'}$ 。

4. 从允许过渡电阻能力来看, 还是苹果形、右偏圆形、右圆缺形特性为好。

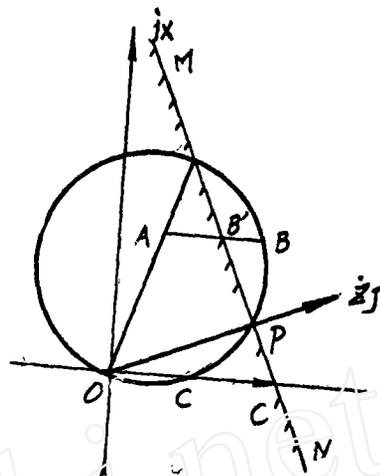


图 9—1

十、附录

定义1. 集合M和集合N的全体元素的集合叫做M、N的逻辑和。参看图10—1。



图 10—1

定义2. 集合M和集合N的公共元素的集合叫做M、N的逻辑乘。参看图10—2。

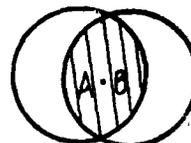


图 10—2

主要参考文献

1. LH—11型距离继电器的暂态分析 吕强 见1979年继电器第二期。
2. 具有记忆电压的距离继电器暂态定量分析吕强 见1982年继电器 第二期
3. 高压电网继电保护原理与技术 朱石声著
4. 保护继电技术 (日) 长谷良秀 增井三千雄著
5. 保护继电装置 (日) 中山敬造著