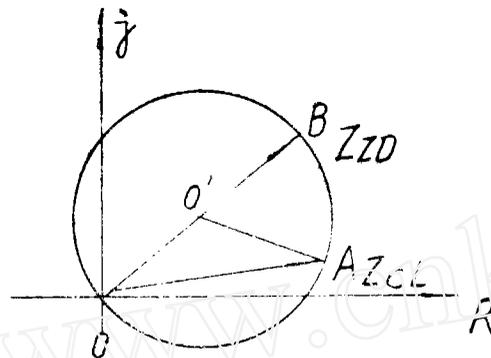


# 浅谈BJL—11型晶体管接地距离保护 方向阻抗继电器插入电压

昆明供电局 李福金

上继厂生产的BJL—11型晶体管接地距离保护。相间阻抗元件，采用了方向阻抗继电器，当然其它类型距离保护也有采用方向阻抗继电器的。方向阻抗继电器可画在复数平面上，如图(1)



图(一)

当测量阻抗  $Z_{CL}$  落在圆周上时，继电器处于动作的边界状态。所以满足上述动作边界状态的阻抗应为：

$$\begin{aligned} \vec{O'A} &= \vec{OA} - \vec{OO'} \\ &= Z_{CL} - \frac{1}{2} Z_{ZD} \end{aligned}$$

因为特性圆以  $Z_{ZD}$  为直径故半径为  $\frac{1}{2} Z_{ZD}$

所以方向阻抗动作边界条件为：

$$\left| \dot{Z}_{CL} - \frac{1}{2} Z_{ZD} \right| \leq \left| \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} \right|$$

式中  $Z_{CL} = \frac{\dot{U}_{CL}}{\dot{I}_{CL}}$  ……继电器测量阻抗。

$Z_{ZD}$ —是一个常数为继电器正定阻抗

可由  $\frac{\dot{K}_I}{K_U}$  来表示。

$\dot{K}_I$ —量纲为阻抗，是电抗变压器的互感抗

$K_U$ —为YB变压器的变比。

代入式(1)两边同乘以  $I_{CL}$  和  $K_U$  可得

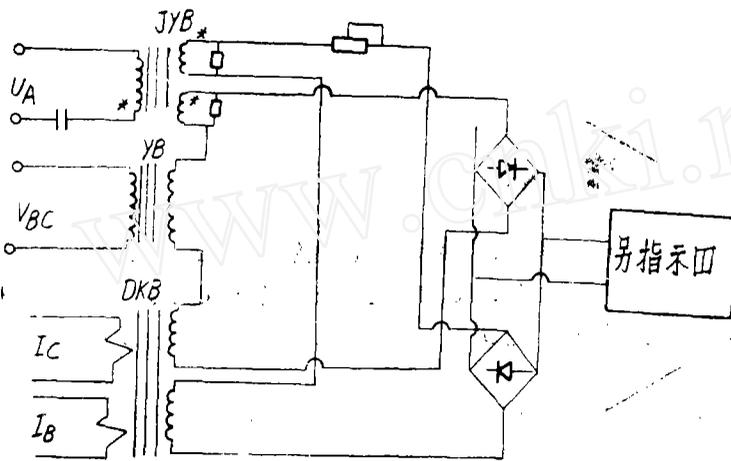
$$\left| \dot{K}_U \dot{U}_{CL} - \frac{1}{2} \dot{K}_I \dot{I}_{CL} \right| \leq \left| \frac{1}{2} \dot{K}_I \dot{I}_{CL} \right| \dots\dots\dots (2)$$

此式就是方向阻抗继电器的动作方程。

这样一个方向阻抗继电器有电压死区，即在保护安装处短路时，方向阻抗继电器的测量阻抗  $Z_{CL} = \frac{U_{CL}}{I_{CL}} = 0$  正好处于方向特性圆的圆周上，方向继电器可动可不动，实际上拒动。而在近区短路严重，绝不允许保护有拒动的各种因素，如有应设法消除。

在距离保护中消除死区有两种办法，其一是短时记忆，其二是插入第三相电压，而BJL-II即属于第二类，结线见简化图(二)。

本文主要是叙述第三相插入电压及具有短时记忆回路原理及调试注意的问题。



简化图(二)

此种方法的实质为当发生两相短路(如BC相短路)时，非故障相如A相电压不会为0，三相出口短路有瞬时记忆，因之可以引入非故障相电压方法来消除。但引入非故障相电压后，还必须保证方向阻抗继电器动作特性不变。下面我们分析在引入非故障相电压(即插入电压用  $\dot{U}_{Ck}$  表示)后方向阻抗继电器的动作特性，从而找出保护特性不变条件。方向阻抗继电器动作方程如式(2)当两边引入同样插入电压  $\dot{U}_{Ck}$  后，方向阻抗继电器动作方程如式(2)当两边引入同样插入电压  $\dot{U}_{Ck}$  后，方向阻抗继电器动作条件变为：

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

又可写成

$$\left| \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} + \dot{U}_{Ch} \right| = \left| (\dot{U}_{CL} + 2 \dot{U}_{Ch}) - \left( \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} \dot{I}_{CL} + \dot{U}_{Ch} \right) \right| \dots\dots(4)$$

设  $\dot{U}_{Ch}$  和  $\dot{U}_{CL}$  之间夹角为  $\theta$ , 依据式 (4) 可画成下面矢量图, 图中  $\dot{U}_{CL}$  和  $\dot{I}_{CL}$  之间夹角为  $\varphi_{CL}$  正定阻抗夹角为  $\varphi_{ZD}$ ,  $\dot{U}_{CL} + 2 \dot{U}_{Ch}$  和  $\dot{U}_{CL}$  之间夹角为  $\delta$ , 阻抗继电器动作边界线是  $C'D'$ 。  $C'D'$  是向量  $\dot{U}_{CL} + 2 \dot{U}_{Ch}$  的中垂线, 右侧为动作区。

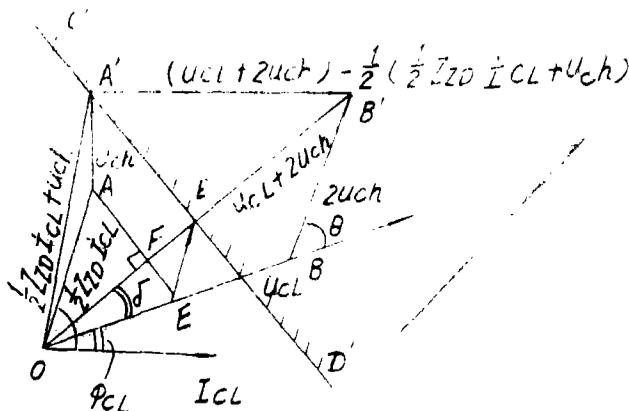


图 (三)

继电器动作特性的绘制如图 (三)。

从  $A'$  和  $E'$  作向量  $AA'$  和  $EE'$  等于  $\dot{U}_{Ch}$ , 显然  $AA'E'E'$  为平行四边形。故  $AE$  与  $A'E'$  平行, 又因  $A'E' \perp OB'$ , 所以  $AE$  亦垂直于  $OB$ 。

$\angle OFA = 90^\circ$  又已知  $E'$  是  $OB'$  的中点, 即  $EE'$  平行于  $BB'$ 。所以  $E$  必是  $OB$  的中点, 所以

$$OF = OE \cos \delta = \frac{1}{2} OB \cos \delta = \frac{1}{2} \dot{U}_{CL} \cos \delta$$

$$\text{又: } OF = OA \cdot \cos \angle AOF = \frac{1}{2} \dot{Z}_{ZD} \dot{I}_{CL} (\varphi_{ZD} - \varphi_{CL} - \delta)。$$

故可得:

$$\dot{Z}_{ZD} \dot{I}_{CL} \cos (\varphi_{ZD} - \varphi_{CL} - \delta) = \dot{U}_{CL} \cos \delta$$

即可得:

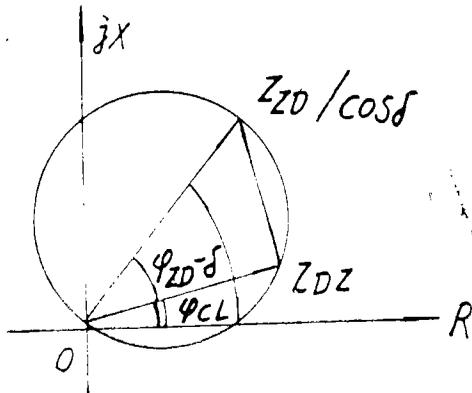
$$\frac{\dot{U}_{CL}}{\dot{I}_{CL}} = \frac{Z_{ZD}}{\cos \delta} \cos (\varphi_{ZD} - \varphi_{CL} - \delta) \dots\dots\dots (5)$$

以上我们分析的全是继电器处于临界状态的情况, 而  $\frac{\dot{U}_{CL}}{\dot{I}_{CL}} = \dot{Z}_{CL}$  是继电器的测量阻抗即是继电器的动作阻抗  $Z_{DZ}$ , 故又可写成:

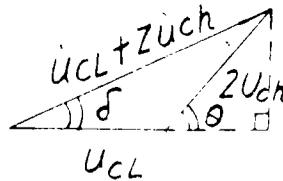
$$\dot{Z}_{DZ} = \frac{Z_{ZD}}{\cos \delta} \cos [(\varphi_{ZD} - \delta) - \varphi_{CL}] \dots\dots\dots (6)$$

(6)式即是引入插入电压后的方向阻抗继电器的动作特性方程。由此式可清晰的看出其动作阻抗 $Z_D$ 的轨迹是一个圆，圆直径的绝对值是 $\frac{Z_{ZD}}{\cos \delta}$ ，圆直径的幅角为 $[(\varphi_{ZD} - \delta) - \varphi_{CL}]$ ，如图(四)。

可见引入插入电压后，方向阻抗继电器特性不仅和正定阻抗有关，而且和 $\delta$ 角有关。 $\delta$ 角如上所述是 $\dot{U}_{CL}$ 和 $2\dot{U}_{Ch}$ 间夹角，这个角可以用下面图形(五)求得



图(四)



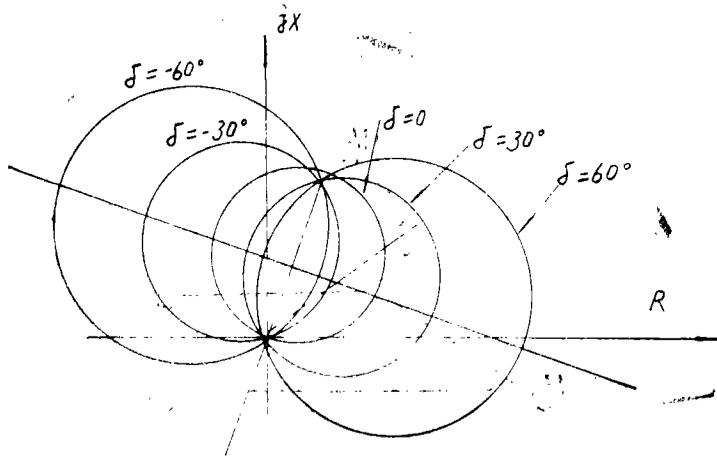
图(五)

$$\delta = \arccos \frac{\sin \theta}{\frac{U_{CL}}{2U_{Ch}} + \cos \theta} \quad (7)$$

由(7)式看出 $\delta$ 角大小和 $\dot{U}_{Ch}$ 与 $\dot{U}_{CL}$ 间的夹角 $\theta$ 及 $\dot{U}_{Ch}$ 和 $\dot{U}_{CL}$ 值有关。

由前面分析看出，方向阻抗继电器动作特性，不仅和正定值有关，而且和插入电压 $\dot{U}_{Ch}$ 的相位和大小有关，这种关系用(6)式绘成(图六)。

图(六)说明了当 $\delta$ 角变化时，方向阻抗继电器特性圆变化的情况。



图(六)

于是我们可得出下列重要结论。

(一) 引入插入电压后, 方向阻抗继电器最大灵敏角变化  $\delta$  度。

(二) 最大动作阻抗增大了  $\frac{1}{\cos \delta}$  倍

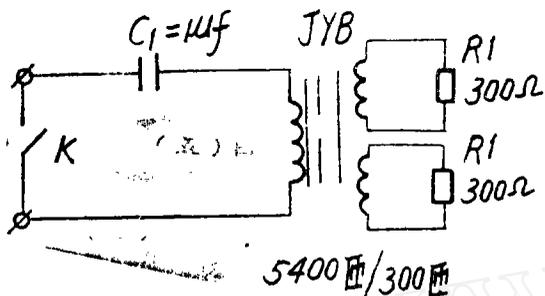
(三) 特别引起调试人员注意的是: 当测量阻抗相位角等于正定阻抗相位角时, 不论  $\delta$  如何变化, 动作阻抗恒等于正定阻抗。

(四) 当  $\delta = 0$  时阻抗继电器的动作阻抗和未引入插入电压时一样。

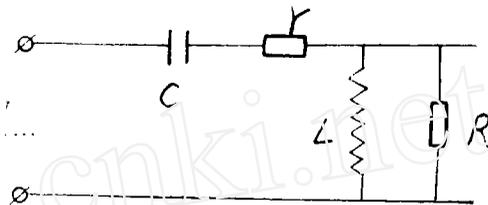
(五) 调试具有插入电压的方向阻抗继电器特别注意, 应力求使  $\delta = 0$ , 以免引起阻抗特性变化, 也回答了在方向阻抗继电器正定时, 一定带插入电压调试的必要性。另外精心做到使正定阻抗角等于线路阻抗角, 这样即使  $\delta \neq 0$  也可使短路保护范围不变。

如何使  $\delta = 0$  呢, 唯一的办法就是要插入电压  $\dot{U}_{ck}$  和测量电压  $\dot{U}_{c1}$  相位一致即  $\theta = 0$  则  $\delta = 0$

为此我们必须对插入电压的记忆回路作暂态过程的分析, 见图(七)(八)。

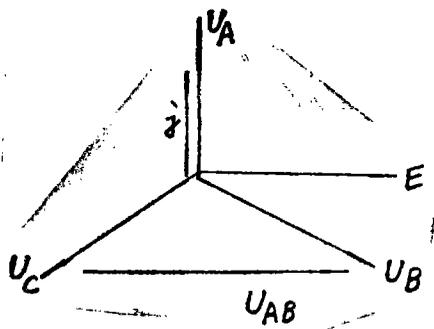


图(七)



图(八)图的等值回路

图中串联回路的电感实际上是极化变压器励磁电感量  $L$ 。由于一次二次匝数比为  $5400/300$  匝, 故二次电阻归算到一次侧, 电阻  $R$  值非常大。只要  $X_L = X_C$ , 负载就是纯电阻性的。(图中  $r$  为  $JYB$  线圈的电阻) 电流与电压同相, 在铁芯中产生同相位磁通, 此磁通使次级绕组感应落后该磁通  $90^\circ$  的电势  $E$ , 相位与  $AB$  相间电压同一方向。如图(九)。



图(九)

这种谐振情况就满足了  $WL = \frac{1}{WC}$ , 即称强迫谐振。

在短路前 ( $t < 0$  时)  $\dot{U}_{ch}$  和  $\dot{U}_{cl}$  是同相位。

此时  $C = 1\mu f$ , 电感量  $L$  就应是  $L = 10.01$  亨, 发生短路以后,  $\dot{U}_{ch}$  是按其自然谐振频率 (小于工频) 振荡, 随着时间推移,  $\dot{U}_{ch}$  和  $\dot{U}_{cl}$  之间角差  $\theta$  在不断增加。

另外一种是按自然谐振频率 (自由振荡频率) 等于工频情况下进行调谐, 短路发生前 ( $t < 0$  时)  $\dot{U}_{ch}$  超前  $\dot{U}_{cl}$  一个角  $\theta$ , 本装置计算可得  $\theta = -8.2^\circ$ 。随着时间推移, 是恒定不变。

在保护安装出口发生三相短路, 对于感应形保护, 和正流型距离保护动作时间均较长, 而晶体管保护其阻抗元件动作时间不超过  $15ms$ , 出口不超过  $25ms$ , 动作较快。

采用那种方式调谐使  $\theta$  角小即  $\delta$  角小使特性园变化小, 可通过暂态过程来分析。

图 (九) 画成拉普拉氏变换阻抗式即图 (十)

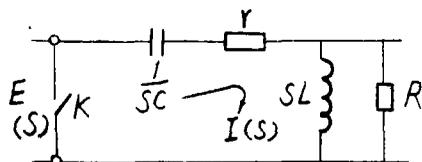


图 (十)

在  $K$  开关未合上之前即未短路之前 ( $t < 0$  时)

$$E(s) = Z(s) \cdot I(s) \quad Z(s) \text{ 总的阻抗}$$

在  $K$  开关合上后, 即相当短路发生后 ( $t > 0$  时)

$$0 = E(s) = Z(s) \cdot I(s)$$

$$0 = \left[ \frac{1}{sC} + r + sL \parallel R \right] I(s)$$

$$I(s) \neq 0 \text{ (有一个衰减过程)}$$

$$\text{所以 } \frac{1}{sC} + r + sL \parallel R = 0$$

$$\text{即 } \frac{1}{sC} + r + \frac{sLR}{sL + R} = 0$$

$$\frac{s^2LC(R+r) + s(L + RrC) + R}{sC(sL + R)} = 0$$

分子必须等于 0

$$\text{所以 } s^2LC(R+r) + s(L + RrC) + R = 0$$

$$s = -\frac{L + RrC}{2LC(R+r)} \pm j \sqrt{\frac{R}{LC(R+r)} - \left[ \frac{L + RrC}{2LC(R+r)} \right]^2} \dots \dots (8)$$

$$\text{或 } s = \alpha \pm j\omega$$

所以自由振荡频率

$$f_0 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R}{LC(R+r)} - \left[ \frac{L + rRC}{2LC(R+r)} \right]^2}$$

$$\text{衰减系数 } a = \frac{L + RrC}{2LC(R+r)}$$

每周的衰减率

$$b = \frac{1}{e^{at}} = \frac{1}{e^{\frac{L+RrC}{2LC(R+r)} \cdot \frac{1}{f_0}}}$$

总阻抗

$$Z_x = \frac{j\omega LR}{R + j\omega L} + r - j \frac{1}{\omega C}$$

因上述参数负载电阻  $R_1 = 300\Omega$ ,  $JYB$  匝数比  $5400/300$  匝, 所以归算到初级  $R = 48600\Omega$ ,  $C = 1\mu f$ ,  $r$ —初级线圈电阻  $r = 800\Omega$ , 按自由振荡  $L = 9.735$  亨 (比强迫调谐小) 每周衰减  $b = 0.362$  回路阻抗  $Z_x = 1000 \angle -8.2^\circ$ , 欧此时阻抗角为  $-8.2^\circ$ , 这个  $-8.2^\circ$  角, 是插入电压  $\dot{U}_{ch}$  超前  $\dot{U}_{cl}$  的角度, 在暂态过程中, 恒定不变。

如按强迫调谐时按 (8) 式计算, 三相出口短路如保护 20 毫秒出口时,  $\dot{U}_{ch}$  和  $\dot{U}_{cl}$  角差为  $4^\circ$ , 比较小。

每周衰减  $b = 0.361$  (相差不多)

结论: 1) 对于动作快的晶体管保护, 调谐应按强迫振荡进行试验,  $\dot{U}_{ch}$  和  $\dot{U}_{cl}$  的角差  $\theta$  小, 即  $\delta$  小, 即动作特性变化比较小。对慢速动作保护要用自由振荡调谐, 此时  $\dot{U}_{ch}$  和  $\dot{U}_{cl}$  的角差  $\theta$  小即  $\delta$  小即动作特性变化比较小, 这就是晶体管保护调试与感应型或整流型不同的地方之一。

2) 插入电压的大小

为了消除电压死区, 从防止反向短路误动的观点出发, 希望插入电压  $\dot{U}_{ch}$  大一些好。同时引入  $\dot{U}_{ch}$  后, 增大了动作回路及掣动回路电流, 降低了两个正流桥内阻, 使精工电流降低, 但从 (3) 式看出  $\dot{U}_{ch}$  增加, 在同样  $\theta$  角下,  $\delta$  增加, 从而使特性园变化增大, 这又是不希望的。所以为了使  $\dot{U}_{ch}$  的引入量尽量少影响方向阻抗继电器的动作特性, 又能消除电压死区和反向误动条件下,  $\dot{U}_{ch}$  愈小愈好。

对晶体管保护而言, 由于用了另触发器, 只要比较回路有  $30 \sim 60$  微安或  $0.1 \sim 0.2$  伏即动作。所以只要  $\dot{U}_{ch}$  插入电压有  $2 \sim 2.5$  伏保证消除死区, 所以一般  $\dot{U}_{ch} = 4 \sim 5$  伏就完全可靠。