

环流法绝对值比较原理 距离保护定值稳定问题研究

山东工学院五七工厂

定值稳定是继电保护装置的重要指标。各段保护间的配合，除时间配合外，还要靠定值配合，定值变化太大，就会造成保护装置拒动或越级跳闸。在半导体保护中，由于半导体元件的不稳定性，这个问题就尤为突出。如何克服半导体元件的不稳定性，保证保护装置定值稳定，是半导体保护研究工作的重要课题之一。

一、定值变化的原因与定值稳定系数

(一) 定值变化的原因：

半导体保护定值变化的原因归结起来不外如下各点：

- 1、晶体管参数变化，使触发器翻转电压、电流、功率等参数发生变化。而造成晶体管参数变化的原因是管子的老化和温度的升降；
- 2、测量回路晶体管特性变化，使在同样的一次参数（电压、电流、阻抗等）下，输出大小不一样，管子变化的原因同上。
- 3、与定值有关的电位器位置变动；
- 4、测量部分电路、磁路特性参数变化；
- 5、执行电路电源电压变化。

(3)、(4)、(5)项原因，可以在电路设计、制造工艺或采取其他措施予以克服。这里重点研究半导体元件不稳定性对定值的影响及克服办法。

由温度变化而造成的(1)、(2)项原因，一般可以互相补偿一部分，甚至在加温度补偿措施情况下，可以得到完全补偿。但管子老化所造成的(1)、(2)项原因无法补偿。事先对管子进行老化和合理选定电路元件参数，可以提高执行电路的稳定度，但要保证在运行一、两年后，其动作参数变化率小于20%还是有困难的。这一问题要得到彻底解决，在采取上述措施的同时，还应在电路设计上，提高定值稳定系数。

(二) 定值稳定系数：

以电压触发的过流保护为例，测量回路输出特性如图1所示：

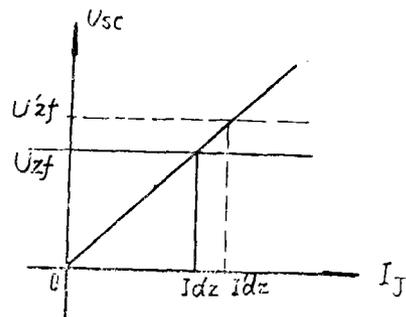


图 1

图中：横座标表示流入测量回路的电流 I_j ，纵座标表示测量回路输出电压 U_{sc}

当保护执行电路（触发器）触发电压为 U_{zf} 时，继电器动作电流为 I_{dz} ；当执行电路触发电压变为 U'_{zf} 时，则继电器动作电流变为 I'_{dz} 。

令：执行电路触发电压变化率为 η_1 ，动作电流变化率为 η_2 。

$$\text{则：} \quad \eta_1 = \frac{U'_{zf} - U_{zf}}{U_{zf}} \cdot 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta_2 = \frac{I'_{dz} - I_{dz}}{I_{dz}} \cdot 100\% \dots\dots\dots (2)$$

令： η_1 与 η_2 之比，为定值稳定系数 K_w 。

$$\text{则：} \quad K_w = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\frac{U'_{zf} - U_{zf}}{U_{zf}}}{\frac{I'_{dz} - I_{dz}}{I_{dz}}} = \frac{U'_{zf} - U_{zf}}{I'_{dz} - I_{dz}} \cdot \frac{I_{dz}}{U_{zf}} \dots\dots\dots (3)$$

式中： $\frac{I_{dz}}{U_{zf}}$ 为常数； $\frac{U'_{zf} - U_{zf}}{I'_{dz} - I_{dz}}$ 为测量元件输出特性曲线的斜率，所以当测量元件输

出特性曲线为一直线时（一般如此）， $\frac{U'_{zf} - U_{zf}}{I'_{dz} - I_{dz}}$ 亦为常数，在此情况下， K_w 为一固定值。这就可以引出定值稳定系数的一个特例。

当执行电路动作参数增加一倍时，即：

$U'_{dz} = 2U_{dz}$ 时，(3)式变为：

$$K_w = \frac{\frac{2U_{dz} - U_{dz}}{U_{dz}}}{\frac{I'_{dz} - I_{dz}}{I_{dz}}} = \frac{1}{\eta_2} \dots\dots\dots (4)$$

由此可见：定值稳定系数 K_w 是反映保护定值稳定程度的一个参数，它在数值上等于当执行电路动作参数变化一倍时，保护定值变化率的倒数。

由图1知，如果测量回路输出特性为一通过座标原点的直线，则定值稳定系数 K_w 等于1。即当执行电路动作参数变化一倍时（其定值变化率 $\eta_2 = \frac{1}{K_w} = 1$ ），定值也变化一倍。在这种情况下要得到定值的稳定是有困难的。如果能在电路设计上，将定值稳定系数提到50或更高，即当执行电路动作参数变化一倍时，定值变化率仅为 $\frac{1}{50} = 2\%$ 或更小，另外再在执行电路方面下些功夫，将定值的变化率压缩在5%以内，还是不难实现的。

二、环流法绝对值比较原理距离保护装置定值稳定分析

(一) 执行电路

距离保护执行电路如图2所示：

由两只三极管组成带反馈的单稳态触发器，为了满足低精工电流和高定值稳定系数的要求，在其他方面允许的情况下，尽量提高触发器的灵敏度。为此选用输入阻抗小电流放大

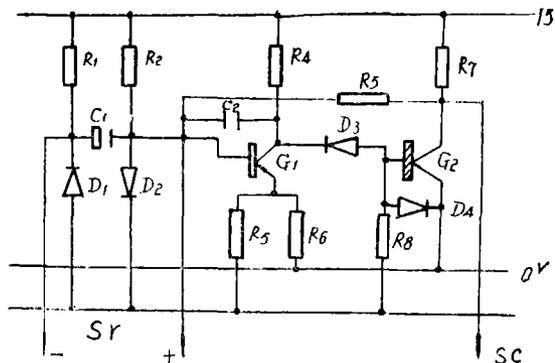


图2 距离执行电路

倍数高的锗三极管3AK14,具体参数如下:

- 输入阻抗: 0.5KΩ, 60°C时最大1KΩ; ;
- 触发电流: 20MA, 60°C时为20~25MA;
- 触发宽度: $\Delta I = 5 \pm 0.5MA$;
- 潜 动: 0~-2MA (4K内阻表测);
- 触发功率: 0.4MW, 60°C时0.8MW;

(二) GJLZ-02型距离保护装置定值稳定系数

距离保护阻抗测量元件如图3所示: 系用大家所熟悉的环流法绝对值比较原理构成。其

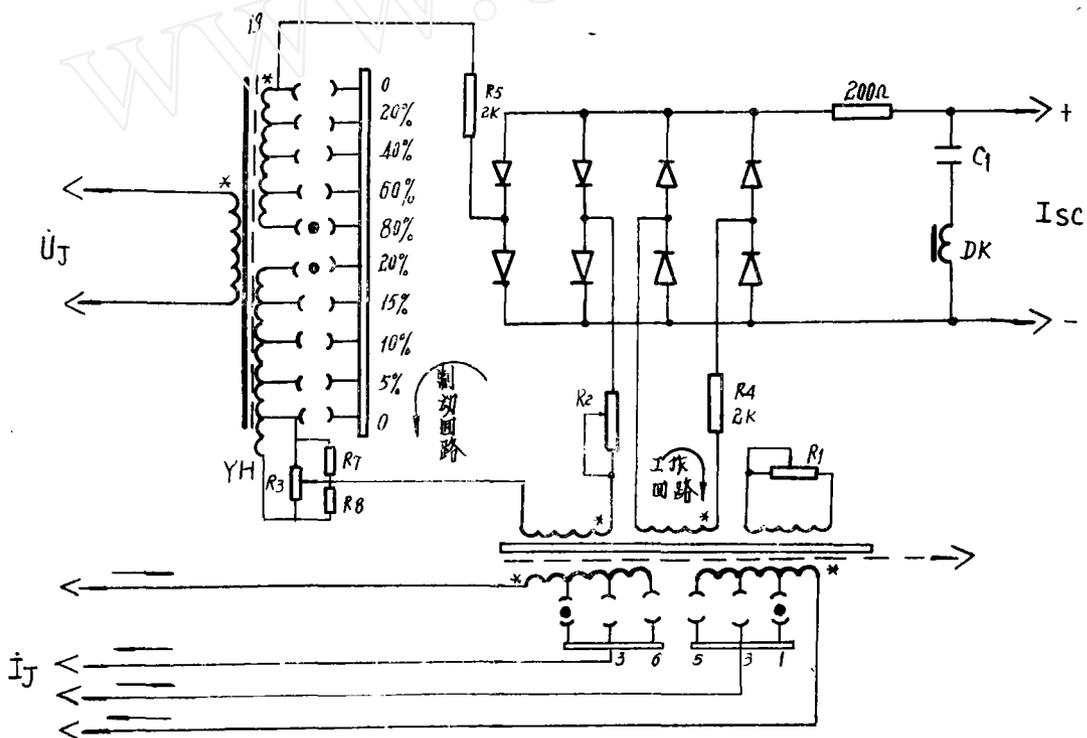


图3 阻抗测量元件

输出电流 I_{sc} 为工作回路整流电流 I_{gz} 与制动回路电流 I_{zd} 之差,在忽略二极管正向压降情况下:

$$I_{gz} = \frac{|K_I \dot{I}_J|}{|1.1Z_{gz}|} \dots\dots\dots (5)$$

$$I_{zd} = \frac{|K_V \dot{U}_J - K' I \dot{I}_J|}{|1.1Z_{zd}|} \dots\dots\dots (6)$$

$$I_{sc} = I_{gz} - I_{zd} = \frac{|K_I \dot{I}_J|}{|1.1Z_{gz}|} - \frac{|K_V \dot{U}_J - K' I \dot{I}_J|}{|1.1Z_{zd}|} \dots\dots\dots (7)$$

式中: \dot{I}_J 、 \dot{U}_J —加至阻抗继电器上的电流和电压;

K_I 、 $K' I$ —电抗变压器KB的电流电压转换系数,具有阻抗量纲,其大小由KB一次分接头而定;

K_V —辅助变压器YH的变比,无量纲,大小由YH二次分接头而定。

Z_{gz} 、 Z_{zd} —工作回路和制动回路阻抗,当阻抗因通过座标原点或下移度不大时,可以近似认为两阻抗相等。

1.1—正弦波有效值与平均值之比。

式(7)中,为便于说明问题,只讨论 $K_I = -K' I$ (即阻抗圆通过座标原点)和 \dot{U}_J 与 \dot{I}_J 夹角最大灵敏角,即 $K_V \dot{U}_J$ 与 $K_I \dot{I}_J$ 同相位情况下,当继电器动作时,测量回路输出电流 I_{sc} 等于执行电路触发电流 I_{zf} ,将 $I_{sc} = I_{zf}$ 代入(7)式,得:

$$I_{sc} = I_{zf} = \frac{|K_I \dot{I}_J| - |K_V \dot{U}_J - K' I \dot{I}_J|}{|1.1Z_{gz}|}$$

在 $K_V \dot{U}_J$ 与 $K_I \dot{I}_J$ 同相位和 $K_V \dot{U}_J > K' I \dot{I}_J$ 情况下,上式可简化为:

$$I_{sc} = I_{zf} = \frac{|K_I \dot{I}_J| - |K_V \dot{U}_J - K' I \dot{I}_J|}{|1.1Z_{gz}|} = \frac{2K_I \dot{I}_J - K_V \dot{U}_J}{|1.1Z_{gz}|} \dots\dots\dots (8)$$

为了求出保护的定值稳定系数 K_w ,我们假定执行电路触发电流 I_{zf} 增加了一个 ΔI ,则动作阻抗 Z_{dz} 必减少一个 ΔZ 才能使触发器动作,当 I_J 不变时, U_J 必须减少一个 ΔU ,才能使 Z_{dz} 减少。则

$$\begin{aligned} \Delta I &= \frac{2K_I \dot{I}_J - K_V (U_J - \Delta U)}{|1.1Z_{gz}|} - \frac{2K_I \dot{I}_J - K_V U_J}{|1.1Z_{gz}|} \\ &= \frac{K_V \Delta U}{|1.1Z_{gz}|} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

此时,执行电路动作参数的变化率和动作阻抗的变化分别为:

$$\eta_1 = \frac{\Delta I}{I_{zf}} \cdot 100\% \dots\dots\dots (10)$$

$$\eta_2 = \frac{\Delta Z}{Z_{dz}} = \frac{\frac{U_J}{I_J} - \frac{U_J - \Delta U}{I_J}}{\frac{U_J}{I_J}} = \frac{\Delta U}{U_J} \cdot 100\% \dots\dots\dots (11)$$

定值稳定系数

$$K_w = -\frac{\eta_1}{\eta_2} = -\frac{\frac{\Delta I}{I_{zf}}}{\frac{\Delta U}{U_j}} \dots\dots\dots(12)$$

将(9)式代入(12)式并简化得:

$$K_w = \frac{K_I U_j}{|1.1Z_{gz}| \cdot Z_{zf}} \dots\dots\dots(13)$$

由定值计算公式:

$$Z_{dz} = Z_{zs} \frac{K_I}{K_V} \dots\dots\dots(14)$$

式中: Z_{dz} —继电器动作阻抗,
 Z_{zs} —继电器最小整定阻抗。

当继电器动作时:

$$U_j = |Z_{dz}| \cdot I_j$$

将(14)式代入上式, 得:

$$U_j = |Z_{zs}| \frac{K_I}{K_V} I_j \dots\dots\dots(15)$$

将(15)式代入(13)式并简化得:

$$K_w = \frac{|Z_{zs}| K_I \cdot I_j}{|1.1Z_{gz}| I_{zf}} \dots\dots\dots(16)$$

可见: 定值稳定系数与最小整定阻抗、 K_B 一次匝数和测试电流成正比, 而与工作回路阻抗和执行电路触发电流成反比。

GJLZ—0 2型装置距离保护与定值稳定系数有关的参数为:

$Z_{zs} = 0.35\Omega/\phi$, $Z_{gz} = 3K$, $I_{zf} = 20\mu A$, 在 $K_I = 1$, $I_j = 10A$ 最坏的情况下, 定值稳定系数

$$K_w = \frac{0.35 \times 1 \times 10}{1.1 \times 3 \times 10^3 \times 20 \times 10^{-6}} = 53$$

现将阻抗元件输出特性实测结果列入表一, 特性曲线如图4所示。

测试条件为: $K_I = 1$, $K_V = 100\%$, $I_j = 10A$, $\phi = \phi_{ZLM}$

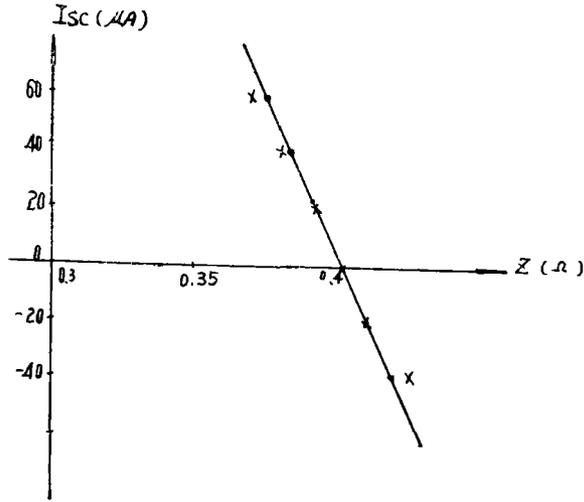
表一 GJLZ—0 2型装置距离保护测量元件输出特性 ($K_I = 1$)

$I_{sc}(\mu A)$						
感受阻抗(Ω) 负载电阻(K Ω)	-40	-20	0	20	40	60
0.5	0.42	0.41	0.40	0.39	0.382	0.375
1.0	0.425	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37

当执行电路触发电流由 $20\mu A$ 变为 $40\mu A$ 时, 动作阻抗由 0.39Ω 变为 0.382Ω , 所以定值稳定系数

$$K_w = \frac{40 - 20}{0.382 - 0.390} \cdot \frac{0.39}{20} = -48.75$$

式中负号表示当执行电路触发电流增加时，保护定值减少。



图中：

“.”表示负载电阻为
0.5K时，“×”表示
负载电阻为1K时。

图4 GJLZ—02型装置距离输出特性曲线 ($K_1=1$)

当 $K_1=6$ ，其他情况同上，测试结果如表二和图5所示：

表二 GJLZ—02型装置距离测量元件输出特性 ($K_1=6$)

$I_{sc}(\mu A)$	-40	-20	0	20	40	60
感受阻抗(Ω) 负载电阻(K Ω)						
0.5	1.97	1.94	1.91	1.90	1.89	1.86
1.0	1.98	1.92	1.91	1.89	1.87	1.84

图中：

“.”表示负载电阻为
0.5K时，“×”表示
负载电阻为1K时。

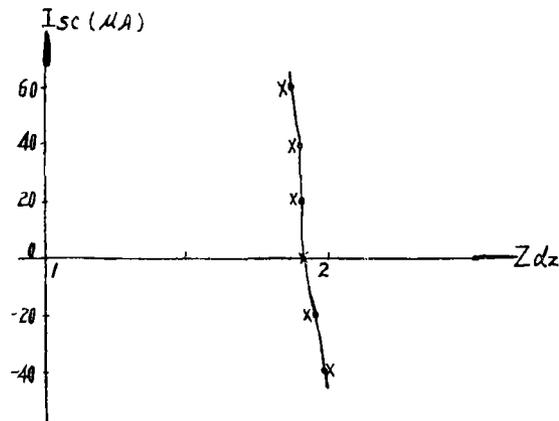


图5 GJLZ — 02型装置距离阻抗元件输出特性

定值稳定系数

$$K_w = \frac{\frac{40-20}{20}}{\frac{1.89-1.90}{1.9}} = -190$$

综合上述，在 $K_I=1$ 的最坏的条件下，GJLZ—O 2 型装置距离部分定值稳定系数尚能保持在50左右。即当执行电路触发电流增至 $40\mu\text{A}$ 或减至零时，保护定值仅变化 $\frac{1}{50}=2\%$ 。而实际执行电路触发电流变化最大也就是20%，所以在此情况下，执行电路触发参数的变化对定值的影响为 $2\% \cdot 20\% = 0.4\%$ 。但我们决不能因此放松对执行电路的严格要求，触发电流变化过大就会影响到保护定值，甚至造成保护拒动。

(三) 执行电路输入阻抗变化对定值的影响

前面述及，执行电路输入阻抗常温时为 500Ω ，高温时最大可达 $1\text{K}\Omega$ 。这是因为随着温度升高，图2中温补二极管 D_2 反向漏电逐渐增加， G_1 偏流渐小，使 G_1 工作点逐渐转入输入特性曲线较平坦的部分所致。这点对定值的影响如何，还要与阻抗元件结合起来讨论。

参阅图3，当测量元件输出很小和最大灵敏角的情况下，其等值电路可近似表示如图6，图中符号同前。然后将图6中工作和制动回路经定势源至定流源等值变换，并简化后，得图7等值电路。

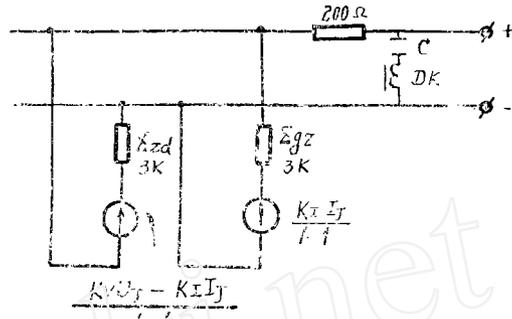


图6 测量元件等值电路

图中：

$$i_d = \frac{K(I)}{|1.1Z_{gz}|} - \frac{KvU_1 - K_I I_j}{|1.1Z_{zd}|}$$

$$= \frac{2K_I I_j - KvU_1}{|1.1Z_{gz}|} \dots \dots \dots (17)$$

$$Z_N = Z_{gz} \parallel Z_{zd} = \frac{Z_{gz}}{2} \dots \dots \dots (18)$$

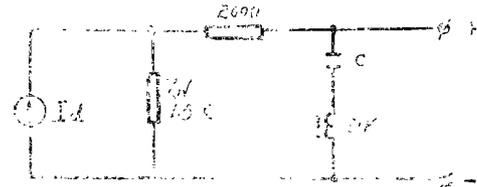


图7 测量元件简化等值电路图

图7等值电路在负载阻抗为 500Ω ，输出电流为 $20\mu\text{A}$ 时电流分布情况如图8(a)所示，负载阻抗为 $1\text{K}\Omega$ ，输出电流为 $20\mu\text{A}$ 时，电流分布情况如图8(b)所示。

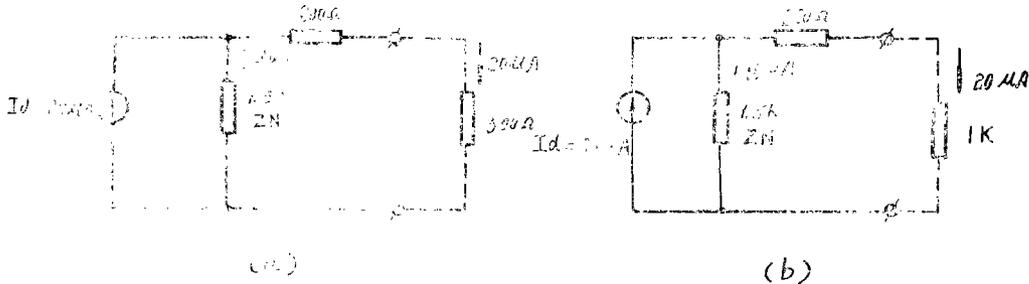


图8 测量元件在不同负载时电流分布情况

比较图8(a)、(b)可知，执行电路输入阻抗由 $0.5\text{K}\Omega$ 变为 $1.0\text{K}\Omega$ 时，只需 I_d 由 $29\mu\text{A}$ 变为 $36\mu\text{A}$ ，（即增加 $7\mu\text{A}$ ）就可以保证触发器同样翻转。比较(17)式与(8)式可知，前节已证明， I_d 变化一倍，才能使动作阻抗变化2%，所以执行电路输入阻抗由 $0.5\text{K}\Omega$ 变化1

KΩ时, 仅能使定值变化

$$2\% \cdot \frac{7}{29} = 0.5\%$$

实测情况如表三、表四所示:

测试条件: $K_V = 100\%$, $I_J = 10A$, $\varphi = \varphi_{ZLM}$, 表三 $K_I = 1$,
表四 $K_I = 6$ 。

表三

执行电路输入阻抗	0.5K	1.0K	2.0K	4.0K
动作阻抗	0.39	0.39	0.39	0.379

表四

执行电路输入阻抗	0.5K	1.0K	2.0K	4.0K
动作阻抗	1.90	1.89	1.89	1.89

表三中, 因动作阻抗变化很小, 第三位数在表上反映不出来。

四、阻抗测量元件中二极管正向压降变化对定值的影响

随着温度的升降, 测量回路二极管正向压降会有变化。但在八只二极管温度特性一致的情况下对定值并没影响, 这是因为:

1、这些二极管系用锗开关二极管2AK13, 正向压降很小, 在工作和制动回路中, 二极管正向压降占的比例很小;

2、当保护动作时, 测量回路输出电流 $I_{sc} = I_{gz} - I_{zd} = I_{zf}$, 因为 $I_{gz} \gg I_{zf}$, 所以可以近似为 $I_{gz} = I_{zd}$, 当温度变化时, 制动回路和工作回路二极管正向压降同时变化, 所以对输出没有影响。

(五)小 结:

1、通过以上分析, 可以将影响定值的因素归结如下:

(1) 由于管子的老化, 执行电路触发电流变化20%, 使定值变化约0.4%;

(2) 高温时, 执行电路触发电流可升为25μA, 变化率为25%, 定值变化率约为 $2\% \cdot 25\% = 0.5\%$;

(3) 高温时, 执行电路输入阻抗的增加, 使定值变化约0.4%;

在 $K_I = 1$, 各项误差都向同一方向最坏的情况下, 总的定值变化率为: $0.4\% + 0.4\% + 0.5\% = 1.3\%$ 。当 K_I 为3或6时, 定值变化率更小, 约为0.4%和0.2%。

2、为了提高定值稳定系数, 应在其他方面允许的情况下, 尽量提高执行电路的灵敏度。

为减小执行电路输入阻抗变化对定值的影响, 应尽量减小执行电路输入阻抗, 为此执行电路前级三极管应采用输入阻抗小的锗三极管。

三、现场运行保护定值稳定情况调查

理论分析表明,采用环流法绝对值比较原理构成阻抗元件在采用高灵敏度执行电路的情况下,定值稳定度是很高的。现将已投入的部分保护定值变化情况介绍于后。由于每次测试所用设备、仪表不同,每个人的读表习惯不同,使实测变差远较分析变差为大,尽管这样,运行一年以上的设备,最大定值变差还不超过5%。

(一) 黄台保护:

1、型号: BWJL-01型相间距离

投入日期: 66年2月11日

整定情况: $K_I=4$ $K_V(I)=63.5\%$ $K_V(II)=47\%$

$K_O=0.672$ $\varphi_{ZLM}=65^\circ$

动作阻抗测试情况:

测试条件: $I_J=5$ $\varphi=65^\circ$

测试时间	相别					
	A B		B C		C A	
	I	II	I	II	I	II
66.2.9	1.97	3.01	1.97	2.95	1.97	2.98
66.8.17	1.98	3.06	2.03	3.00	2.01	3.05
67.5.29	1.96	3.09	1.99	3.03	1.98	3.04

2、型号: BWJL-02型接地距离

投入时间: 67年7月26日

整定情况: $K_I=4$ $K_V(I)=63.5\%$ $K_V(II)=47\%$

$K_O=0.672$ $\varphi_{ZLM}=65^\circ$

动作阻抗测试情况:

测试条件: $I_J=5A$ $\varphi=65^\circ$

测试时间	相别					
	A		B		C	
	I	II	I	II	I	II
67.7.26	2.01	3.14	2.01	3.18	2.02	3.16
67.11.1	2.06	3.17	2.04	3.18	2.08	3.17
69.6.20	2.00	3.12	1.93	3.15	2.00	3.10

(二) 四平保护:

(1)型号: BWJL-03型相间距离

投入时间: 70·12

整定情况: I段 $\begin{cases} K_I = 3 \\ K_V = 65\% \end{cases}$

II段 $\begin{cases} K_I = 3 \\ K_V = 45\% \end{cases} \quad \varphi_{ZLM} = 73^\circ$

动作阻抗测试情况:

测试条件: $I_J = 5a \quad \varphi = 70^\circ \quad (71年12月为73^\circ)$

动作阻抗(Ω) 测试时间	相别		A B		B C		C A	
	段别	别	I	II	I	II	I	II
70.12			1.76	2.90	1.76	2.90	1.76	2.90
71.12			1.77	2.88	1.75	2.90	1.72	2.85
72.7.19			1.78	2.99	1.78	2.93	1.76	2.97

2、型号: BWJL-03型接地距离

投入时间: 70·12

整定情况: I段: $K_I = 3 \quad K_V = 70\%$

II段: $K_I = 3 \quad K_V = 75\% \quad K_{XO} = 0.72$

动作阻抗测试情况:

测试条件: $I_J = 5 \quad \varphi = 70^\circ \quad (71年12月为73^\circ)$

动作阻抗(Ω) 测试时间	相别		A		B		C	
	段别	别	I	II	I	II	I	II
70.12			1.72	1.78	1.72	1.78	1.73	1.77
71.12			1.75	1.86	1.77	1.88	1.79	1.86
72.7.19			1.72	1.78	1.72	1.78	1.73	1.77

(三) 大成保护:

型号: CJLZ-02型

投入时间: 71年12月13日

1、相距离动作阻抗测试情况

测试条件: $I_J = 5A \quad \varphi = 75^\circ$

动作阻抗(Ω) 测试时间	相别		A B		B C		C A	
	段别	别	I	II	I	II	I	II
71.11.22			2.05	4.12	2.05	4.08	2.05	4.12
73.8.20			2.10	4.20	2.06	4.22	2.08	4.20

2、接地距离动作阻抗测试情况

测试条件: $I_J = 2.5A$ $K_{XO} = 2.8$ $\varphi = 75^\circ$

动作阻抗(Ω) 测试时间	相 别		
	A	B	C
71.12.9	5.89	5.89	5.89
73.8.20	6.00	6.00	6.00