

# 大型机组晶体管继电保护工业试验报告

## 前 言

按照一机部、水电部六十万千瓦火电设备联合办公室(76)机研科60字第98号函,关于请安排许昌继电器研究所和清华大学联合研制的“60万千瓦机组晶体管保护装置”工业试验及工业试运行的指示精神,柘溪水电站、许昌继电器研究所、水电部八局勘测设计院和水电部八局柘溪工程队等单位协商了工业试验事宜,湖南省水利电力局给予了大力支持,及时作出了同意在柘溪水电站进行工业试验及工业试运行的决定,并作了关于组织领导,计划安排,技术安全等方面的原则性指示。

正当举国欢庆以英明领袖华主席为首的党中央一举粉碎“四人帮”的时候,于一九七六年十一月二日至二十八日在柘溪水电站召开了“大型机组继电保护工业试验现场会议”参加现场会议的有:柘溪水电站、湖南省水电局调试所、许昌继电器研究所、水电部八局勘测设计院、水电部八局安装支队、清华大学、湖南大学、湖南省水电勘测设计院等八个协作单位和来自全国各地的十八个兄弟单位共一百余人。

在柘溪水电站党委领导下,由电站革委会主持,并派各职能科室、车间、班组的同志与全体与会同志组成了柘溪水电站大型机组继电保护工业试验组”。

工业试验于十一月二十日开始,二十七日结束。共考验了BD—13型转子一点接地保护、BD—10型100%定子接地保护、BL—54型定子过负荷保护、BFL—9型负序反时限过电流、BCD—24型变压器差动保护、BCD—25型发电机差动保护、BZ—6型失磁保护等七套保护装置,同时在变压器高压侧两相接地短路时,观察了BBH—3型主变另序保护的動作情况。根据湖南省中调的意见,在做失磁保护试验时,一并进行了发电机的失磁——失步——再同步试验。除失磁保护试验在三号发电机上进行外,其他试验均在六号发电机、四号主变压器和10号厂用变压器上进行。

由于电站党委的正确领导和“工业试验组”全体同志密切配合,团结协作,试验安全顺利,较为成功。为掌握使用,丰富完善这些保护装置提供了有用的技术数据和资料,并提出了一些需要进一步研讨的问题。失磁——失步——再同步试验为我们对一些问题的认识提供了启发性的资料。现在全部保护装置已投入长期工业试运行。

本试验报告由柘溪水电站、湖南省水电局调试所,许昌继电器研究所、清华大学、水电部八局勘测设计院等单位的同志讨论,由梁诚、梁自中两同志执笔编写。报告对试验情况及数据作了整理和分析。关于试验的详细方案请参阅《大型机组继电保护工业试验程序》,保护装置的详细介绍请参考《六十万千瓦机组发电机变压器组继电保护(产品简介)》

由于我们政治思想和技术水平不高,加之未能经“大型机组继电保护工业试验组”全体同志讨论、校核,错误肯定不少。希望上级领导机构和兄弟单位的同志批评指正。

# 目 录

前 言 .....	( 32 )
一、BD—13型转子一点接地保护试验 .....	( 34 )
二、BD—10型100%定子接地保护 试验 .....	( 36 )
三、BL—54型定子过负荷保护试验 .....	( 42 )
四、BFL—9型负序反时限过电流保护 试验 .....	( 43 )
五、DBC—24型变压器差动保护 试验 .....	( 44 )
六、BCD—25型发电机差动保护 试验 .....	( 52 )
七、BZ—6型失磁保护 试验 .....	( 52 )
八、几个问题 .....	( 107 )

## 一、BD—13型转子一点接地保护试验

### 1. 试验成果

保护装置利用转子绝缘电导作为判据（即利用测量转子接地电阻的方法）其优点是保护的灵敏度不受接地点位置的影响，且接地电容的变化对灵敏度的影响又较小。

试验项目如下：

（一）正负极对地不接电容时，正负极分别金属性接地和经电阻接地试验；

（二）正负极对地接电容时，正负极分别金属性接地和经电阻接地试验。

试验条件和有关数据：

原BD—1型转子一点接地保护退出；

UF = 15.7kV，试验前转子绝缘电阻为 3 MΩ，转子对地电容为 0.42Mf，保护定值 RDZ = 20kΩ。

试验结果见表 1—1

表 1—1

接 地 极	正极对地电 容 (Mf)	负极对地电 容 (Mf)	总 外 接 电 容 (Mf)	总电容 (Mf)	动作值 (kΩ)	误差%
正 极	0	0	0	0.42	20	0
	0.5	0	0.5	0.92	19.5	-2.5
	1	0.5	1.5	1.92	18.4	-8
	0.5	1	1.5	1.92	18.4	-8
负 极	0	0	0	0.42	20	0
	0.5	0	0.5	0.92	19.2	-4
	1	0.5	1.5	1.92	18.4	-8
	0.5	1	1.5	1.92	18.6	-7

### 2. 分析与结论

试验结果表明：当转子对地电容的变化为 0.42~1.92Mf 时，保护装置的动作值为 20~18.4kΩ，最大误差为 -8%；接地点位置对保护灵敏度没有影响。

从表 1—1 可看出，当转子对地电容增加时，保护的定值有微小的递减，此问题可以这样认识：

根据保护装置构成的原理，保护装置的测量导纳等效网络如图 1-1，

由图可导出：当  $g_{JD}$  为常量， $-jB_C$  为变量时测量回路的导纳方程为

$$\dot{Y} = \frac{G_B (G_B + 2g_{JD})}{2(G_B + g_{JD})} + \frac{G_B^2}{2(G_B + g_{JD})} e^{j\theta} \dots\dots\dots (1-1)$$

$$\text{tg}\theta = \frac{2B_C g_{JD}}{g_{JD}^2 - B_C^2} \dots\dots\dots (1-2)$$

当  $g_{JD}$  为变量， $-jB_C$  为常量时，测量回路的导纳方程为

$$\dot{Y} = G_B + j \frac{G_B^2}{2B_C} + \frac{G_B^2}{2B_C} e^{j\varphi} \dots\dots\dots (1-3)$$

根据两导纳方程即可作出以  $g_{JD}$  为常量  $B_C$  为变量时导纳  $\dot{Y}$  的轨迹（实线）和以  $B_C$  为常量， $g_{JD}$  为变量时导纳  $\dot{Y}$  的轨迹（虚线）如图 1-2。要求保护动作方程为：

$$\left| \dot{Y} - \dot{Y}_M \right| \leq \left| \dot{Y}_\infty - \dot{Y}_M \right| \dots\dots\dots (1-4)$$

如绝缘电阻整定于  $R_{eA}$ ，则当  $\dot{Y}$  顺着  $C_{eA}$  曲线进入  $R_{JD} = R_{eA}$  的导纳园内时保护动作。

事实上，由 (1-4) 式我们可以清楚地看到，当  $R_{JD} = 0$  时（亦即金属性接地） $G_B = Y_\infty$ ，此时  $Y = G_B$

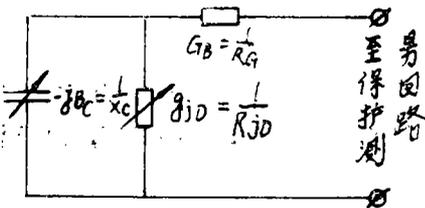


图 1-1

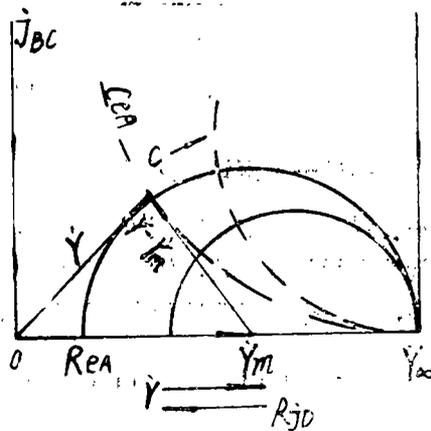


图 1-2

由于保护动作须有一定电压，故  $G_B$  则不能等于  $Y_\infty$ ，因而两者之间存在一差量  $\Delta Y$ 。

如图 1-3 所示，此时，实际动作整定园为  $R_{eA}$ ，而被测设备的接地导纳园却为  $R'_{eA}$ ，电容为  $C_{eA}$  时理论上保护应于图 1-3 中①点动作，事实上保护在②点动作。所以实际保护的导纳园已不是  $R_{eA}$  而是  $R'_{eA}$  了。此时有不大于 10% 的误差。

在电容变化的情况下，假定增加至  $C_{DZ}$ ，此时  $Y$  沿  $C_{DZ}$  曲线由高电阻向低电阻移动，此时保护应于③点动作，而实际上是在④点动作，所以，本保护装置的灵敏度在

理论上推导为不受电容变化的影响，而实际上由于保护本身特点，使灵敏度随电容变化而略有误差。

由于本装置的整定是在机组上整定的，所以机组本身的电容 $0.42\text{Mf}$ 的动作点误差为 $0$ （即图1—3中 $R_{eA}$ 与 $R'_{eA}$ 的交点。）

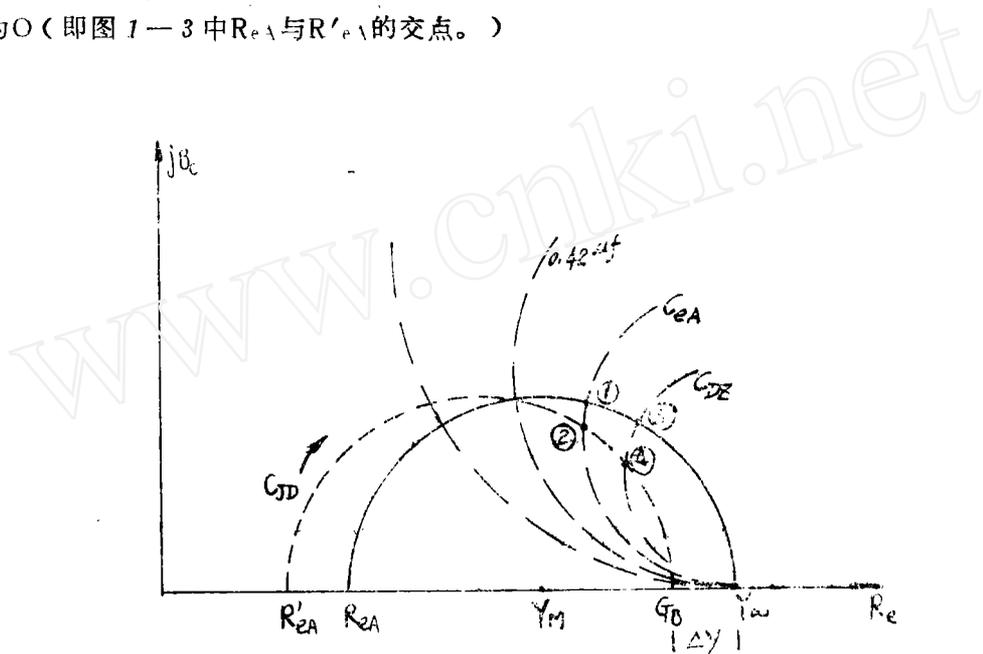


图 1—3

### 3. 须进一步探讨的问题

保护装置在试验室整定为 $20\text{k}\Omega$ 动作，到现场接于运行发电机上时为 $25\text{k}\Omega$ 即动作，须就地进行重新调整，使其按实际接地电阻为 $20\text{k}\Omega$ 时动作，这一问题，由于测录参数不多，须在今后工业试验中探讨分析。

## 二、BD—10型100%定子接地保护

本装置利用发电机中性点的基波零序电压（ $U_{0n}$ ）和三次谐波电压（ $U_{3n}$ ）作为制动因素，以机端基波零序电压（ $U_{0s}$ ）和三次谐波电压（ $U_{3s}$ ）作为动作因素，构成发电机100%定子线圈接地保护。此次对装置进行了以下三项试验：

- （一）发电机空载时分别在中性点和机端进行金属性接地、带电阻一点接地试验，
- （二）发电机带75%负荷时，分别在中性点和机端进行金属性、带电阻一点接地试验，
- （三）发电机在50%负荷下，在厂用变低压侧人工金属性单相接地试验。

### 1. 试验条件

- （一）发电机有关参数：

(1) 额定功率  $p_s = 75000 \text{ kW}$ ，额定电压  $U_s = 13.8 \text{ kV}$

(2) 发电机正常运行时机端及中性点三次谐波电压见表 2—1

表 2—1

负 载	$U_s(\text{V})$	$U_n(\text{V})$	备 注
空 载	2.1	3.5	接地前测量
50%负荷	2.5	4.1	接地前测量
75%负荷	2.6	4.3	接地前测量
100%负荷	2.7	4.6	调整保护前测量

(3) 发电机接地电流测量数据

机端电压为  $0.5U_s$  不带变压器及母线时  $I_c = 2.75 \text{ A}$

机端电压为  $0.5U_s$  带变压器及母线时  $I_c = 2.8 \text{ A}$

机端电压为  $1.0U_s$  经消弧线圈补偿后的接地电流  $I_r = 2.84 \text{ A}$

(二) 人工一点接地故障点如图 2—1

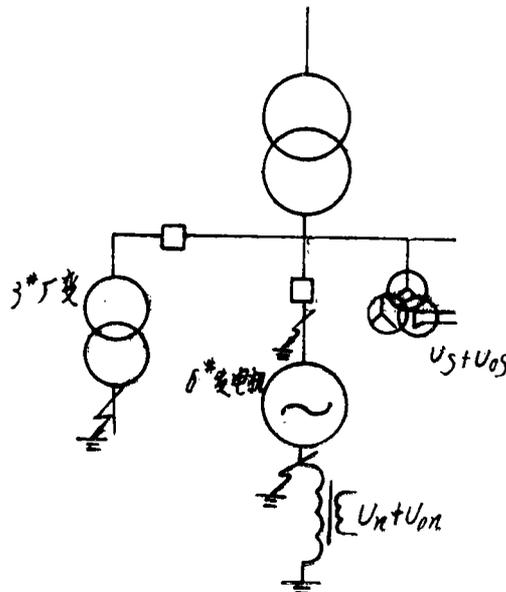


图 2—1

(三) 实验室三次谐波动作及制动电压调整数据见表 2—2，其相应的  $U_s-U_n$  关系曲线见图 2—2

表 2—2

$U_s(\text{V})$	0.33	1.05	1.65	2.9	3.35	3.55
$U_n(\text{V})$	0	0.5	1	2	3	5

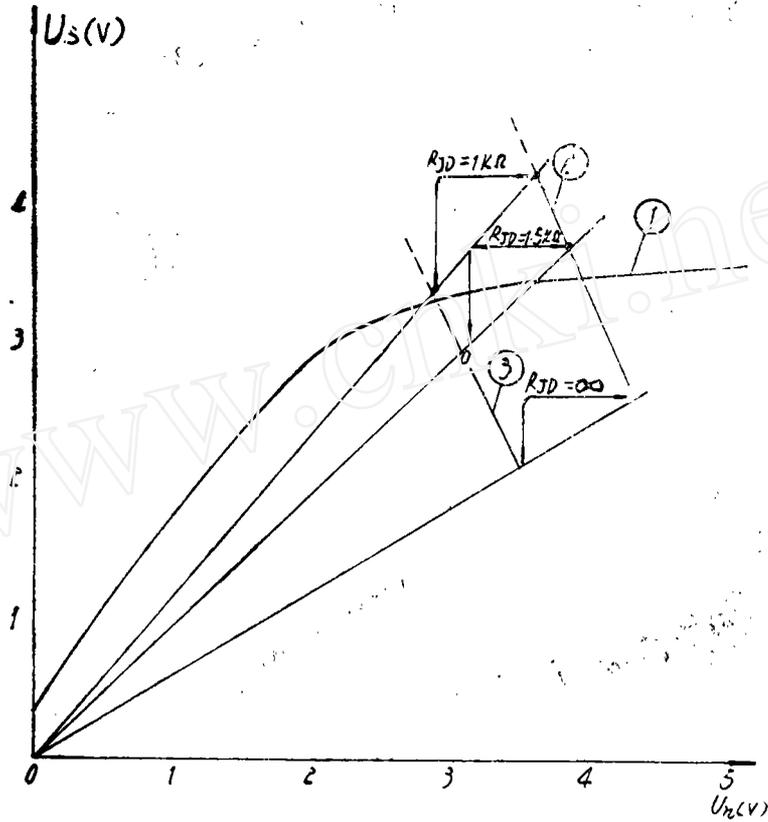


图 2—2

- 图 2—2 中① 试验室调整的继电器  $U_s-U_n$  关系曲线；  
 ② 发电机带 75%  $p_e$  中性点接地时  $U_s-U_n$  曲线；  
 ③ 发电机空载中性点接地时  $U_s-U_n$  曲线；  
 • 发电机中性点经  $1\text{ k}\Omega$  接地时，实测值。  
 0 发电机中性点经  $1.5\text{ k}\Omega$  接地时，实测值。

2. 试验成果见表 2—3

表 2—3

负 荷	接地点	接 地 阻 ( $K^{\Omega}$ )	接地前电压 (V)		接地后电压		$\frac{U_s}{U_n}$ (接地后)	保 护 动作情况
			机端开 口三角形	中性点 消弧线卷	机端开 口三角形	中性点 消弧线卷		
空 载	中 性 点	5	2.1	3.5				未动
		3	2.1	3.5	2.3	3.4	0.676	未动
		2	2.1	3.5	2.5	3.3	0.76	未动
		1.5	2.1	3.5	2.9	3.1	0.93	动
		1.5	2.1	3.5	2.9	3.1	0.93	未动
		1	2.1	3.5	3.3	2.9	1.14	动
	0	2.1	3.5	5.4	0	$\infty$	动	
	机 端 (C相)	0	2.1	3.5	98	110		动
		2	2.1	3.5	79	100		动
		5	2.1	3.5	81	93		动
		18.5	2.1	3.5	75	95		动
		18.5	2.1	3.5	75	95		动
0		2.6	4.3	95	105		动	
75% $p_e$  56MW	机端 (C相)	0	2.6	4.3	95	105		动
		18.5	2.6	4.3	84	95		动
	中 性 点	1.5	2.6	4.33	3.7	3.85	0.961	未动
		1.5	2.6	4.3	3.68	3.8	0.97	未动
		1	2.6	4.3	4.2	3.6	1.15	动
		0	2.6	4.25	6.7	0	$\infty$	动
75% $p_e$	厂变低压 单相接地	0	2.6	4.2	2.6		未动	
50% $p_e$	厂变低压 单相接地	0	2.5	4.1	4.1		未动	

### 3. 分析与结论

#### (一) 保护的灵敏度

表 2—3 数据表明：发电机在空载和负荷情况下，机端一点接地时，保护装置的灵敏度可达  $18.5k^{\Omega}$ ；厂用变低压侧单相接地时（区外故障）保护未误动作。但当中性点经电阻接地空载时保护的动作用边界为  $1.5k^{\Omega}$ ；发电机带 75% 负荷时为  $1k^{\Omega}$  动作，由于未做到边界估计在  $1 \sim 1.5k^{\Omega}$  范围内。由此可见中性点接地时，保护的灵敏度较低。分析认为是由于调整偏于保守所致，（实际上应躲过正常运行时最大三次谐波电压整定），根据保护的动作用情况，可认为保护的整定值相当于  $\frac{U_s}{U_n} = 0.93$ 。

忽略发电机定子线圈阻抗，其三次谐波等效网络如图 2—3，由此可导出：

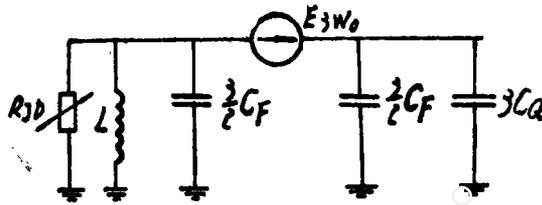


图 2—3

$$\frac{U_s}{U_n} = \sqrt{\frac{[9C_F - 2K(C_F + C_Q)]^2}{81(C_F + 2C_Q)^2} + \frac{4}{91\omega_0^2 R_{JD}^2 (C_F + 2C_Q)^2}}$$

当  $R_{JD} \rightarrow \infty$  时 (正常运行)

$$\frac{4}{81\omega_0^2 R_{JD}^2 (C_F + 2C_Q)^2} = 0$$

此时  $\frac{U_{se}}{U_{ne}} = \frac{9C_F - 2K(C_F + C_Q)}{9(C_F + 2C_Q)} \dots\dots\dots 2-1$

$$\therefore \frac{U_s}{U_n} = \sqrt{\frac{U_{se}}{U_{ne}} + \frac{4}{81R_{JD}^2 \omega_0^2 (C_F + 2C_Q)^2}} \dots\dots\dots 2-2$$

式中:  $U_{se}$ 、 $U_{ne}$  分别为发电机正常运行时的机端及中性点的三次谐波电压;

$C_F$ ——发电机定子线圈每相对地电容;

$C_Q$ ——发电机机端其他元件每相对地电容;

$R_{JD}$ ——发电机中性点接地电阻;

$K$ ——过补偿系数。

根据发电机接地电流实测数据求得:

$$C_F = 0.732\mu^f \quad C_Q = 0.013\mu^f$$

$$\therefore \frac{U_{se}}{U_{ne}} = \frac{2.1}{3.5} = \frac{2.6}{4.3} \approx 0.6, \therefore \text{由 } 2-2 \text{ 式求得随 } R_{JD} \text{ 变化时 } U_s/U_n \text{ 的对应值,}$$

如表 2—4, 其对应的  $U_s/U_n = F(R_{JD})$  曲线如图 2—4。

表 2—4

$R_{JD}(k_\Omega)$	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10
$U_s/U_n$	1.11	0.86	0.755	0.675	0.64	0.625	0.62	0.61	0.601

比较试验结果与计算值, 可看出实测值与计算值相差不大。当保护按躲过正常运行时机端最大三次谐波电压整定, 则

$$\left. \frac{U_s}{U_n} \right|_{DZ} = K_k \cdot \frac{U_{se}}{U_{ne}} \quad (K_k \text{—可靠系数})$$

$$\therefore \frac{U_{se}}{U_{ne}} = 0.6 \quad K_k \text{取 } 1.05 \text{ 时}$$

$$\text{则 } \left. \frac{U_s}{U_n} \right|_{DZ} = 1.05 \times 0.6 = 0.63$$

由图 2—4 看出，灵敏度可以提高到  $4.5k\Omega$ 。

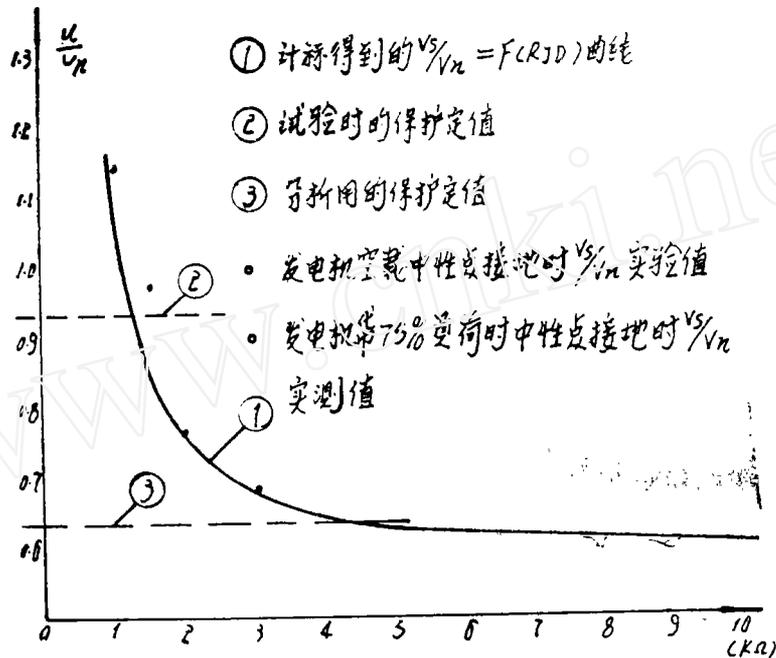


图 2—4

### (二) 整定值与调整值的关系

根据不同负荷情况下，中性点经  $R_{JD} = 1.5k\Omega$ 、 $1k\Omega$ 、 $\infty$  接地时分别测得的  $U_s$ 、 $U_n$  所绘制的曲线②③（图 2—2 中）看出，同一  $R_{JD}$  值都在经过原点的直线上。如试验室调整的  $U_s-U_n$  关系曲线也为经过原点的直线，则整定值与继电器的动作值可以完全相符，但实际调整的  $U_s-U_n$  为一曲线（图 2—2 中曲线①），必不可能经过原点，因此继电器的动作值与整定值在不同负荷时有一定误差。如按躲过机端最大三次谐波电压整定，在其它负荷时保护灵敏度将有所降低。

由图 2—2 看出，当空载时，保护应于曲线①与③的交点处动作，而实际于  $1.5k\Omega$  处动作，75%  $P_e$  时保护小于  $1.5k\Omega$  动作。由于所测数据过少，尚不能确切分析出原因。这一问题建议在今后的工业试验中进一步探讨。

### (三) 保护的方案选择：

在电站设计时，机组尚未交货，不可能测得发电机三次谐波电压，初步认为，可根据公式（2—5）估算保护的灵敏度，用以决定本保护的实用价值。

对中性点接有消弧线卷的发电机，根据保护的整定条件：

$$K_k \frac{U_{se}}{U_{ne}} = \sqrt{\frac{U_{se}^2}{U_{ne}^2} + \frac{4}{81R_{JD}^2 \omega_0^2 (C_F + 2C_Q)^2}} \dots\dots\dots (2-3)$$

$$\text{式中 } \frac{U_{se}}{U_{ne}} = \frac{9C_F - 2K(C_F + C_Q)}{9(C_F + 2C_Q)} \dots\dots\dots (2-4)$$

极限为 7/9

由式(2-3)可推导出:

$$R_{JD} = \frac{2}{(9C_F - 2KC_F - 2KC_Q)\omega_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_k^2 - 1}} \dots\dots\dots 2-5$$

对中性点绝缘的发电机, K=0 此时式 2-5 为

$$R_{JD} = \frac{2}{9C_F\omega_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_k^2 - 1}} \dots\dots\dots 2-6$$

$$\frac{U_{se}}{U_{ne}} = \frac{C_F}{C_F + 2C_Q} \dots\dots\dots 2-7$$

极限为 1

根据试验条件所给数据求得 K=1.5 取 K<sub>k</sub>=1.05 此时对式 2-5 求得

$$R_{JD} = \frac{2}{314(9 \times 0.732 - 2 \times 1.5 \times 0.732 - 2 \times 1.5 \times 0.013) \times 10^{-6}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1.05^2 - 1}} \\ = 4580^{\Omega} = 4.58k^{\Omega}$$

这与图 2-4 中曲线①③交点基本相符。

由式 2-5 看出, 保护装置的灵敏度随发电机对地电容 C<sub>F</sub> 的增加而降低, 因此装置用于大容量的发电机受到一定的限制。

### 三、BL-54型定子过负荷保护试验

装置为单相式, 用于保护大型发电机定子线圈的过负荷及对称性短路引起的过电流。它主要由过负荷定时限(0.5~9 秒)发信号部分和根据定子线圈热特性曲线, 构成的反时限跳闸部分组成。为了与相邻元件的后备保护配合, 跳闸部分的反时限特性曲线上限, 可具有 0.5~9 秒的定时限。

试验项目如下:

1. 人工模拟 1.3 倍额定电流过负荷试验;
2. 人工模拟 1.6 倍额定电流过负荷试验。

为了在不超过发电机额定电流的情况下进行试验, 于发电机出口电流互感器的二次侧接入升流器, 以达到人工模拟过负荷的目的。

发电机出口电流互感器 n<sub>CT</sub> = 5000/5A, 升流器 n<sub>41</sub> = 3/5 A

发电机额定电流 I<sub>e</sub> = 3690A 因该机组长期超出力运行的定子电流为 3900A, 所以实取 I<sub>e</sub> = 3900A。

#### 保护的整定:

1. 定时限过负荷发信号部分

$$I_{DZ*} = 1.1 \quad t = 9''$$

2. 反时限跳闸部分

(一) 保护动作电流: 下限 I<sub>DZ\*</sub> = 1.1, 上限 I<sub>DZ\*</sub> = 3.5

(二) 动作时限: 下限 t<sub>反</sub> = 395'', 上限 t<sub>反</sub> = 6.5''

对反时限跳闸部分 $t_{反}$ 整定的说明:

反时限特性曲线按下式整定

$$t_{反} = \frac{K}{I_*^2 - (1 + \alpha)} \dots\dots\dots 3-1$$

式中:  $K$ 为定子线卷热容量和温升有关的常数(延时与特性曲线偏差 $\leq 10\%$ );  $\alpha$ 为与定子线卷温升特性、温升裕度等因素有关的常数, ( $\alpha = 0.01 \sim 0.02$ );  $I_*$ 为定子线卷电流的标么值。

根据部颁标准发电机为1.5倍额定电流时, 允许运行时间为90", 由于 $\alpha$ 很小, 此处忽略不计, 根据式3-1,  $K$ 值应如下决定

$$K = (I_*^2 - 1)t = (1.5^2 - 1) \times 90 = 112.5$$

但考虑到装置已调整为 $K = 75$ , 如改变太大可能造成参数不配合, 使特性曲线不能满足需要故取 $K = 75$ , 这样整定对考验保护的准确性不会有影响。

试验成果见表3-1。

表 3-1

定子电流 (A)	二次电流 (A)	$I_*$	反时限动作时间			定时限动作时间	
			计算值	动作值	误差	动作值	误差
3300	5.2	1.33	100"	108"	8%	9"	0
3800	6.02	1.55	54.4"	63.9"	17%	9.6"	6.7%

试验结果可以看出实际动作值与计算值偏差较大, 这是由于定子电流在几十秒过程中不是恒定的, 所以时间上有较大偏差。在试验室里进行曲线整定时, 是用交流稳压器, 使电流保持恒定, 这时误差均能保证在 $\pm 10\%$ 之内。

#### 四、BFL-9型负序反时限过流保护试验

保护装置利用反应发电机转子热特性来决定允许的负序电流和动作时间呈反时限关系, 作用于跳闸, 其特性曲线由上限定时限, 中间反时限, 下限定时限三段组成。其判据为:

$$t = \frac{A}{I_2 *^2 - K_2^2}$$

式中:  $I_2 *$ 为以发电机额定电流为基准的负序电流标么值;

$A$ 为发电机转子允许的过热时间常数, 大型汽轮发电机采用4~8, 水轮发电机采用40;

$K_2$ 为散热修正系数,  $K_2 = 0.775 I_2 * \infty$ ,  $I_2 * \infty = 0.05 \sim 0.08$ ;

$I_2 * \infty$ 为长时间允许运行的负序电流。

### 保护的整定:

(一) 反时限段: 由于装置已配好  $A = 10$ , 对检验保护的動作正确性没有影响, 所以柘溪电站机组试运的装置  $A = 10$  来整定。  $I_2 * \infty$  是根据该机组实际允许负序电流长期运行值为  $0.08$ 。

$$\therefore K_2 = 0.775 \times 0.08 = 0.062$$

$$t = \frac{A}{I_2 *^2 - K_2^2} = \frac{10}{I_2 *^2 - (0.062)^2} \dots\dots\dots 4-1$$

(二) 上限定时段段: 发电机原有定时限负序电流保护 DL-6 (许继74年产品), 延时为  $6.5''$ , 为了使保护装置得到考验机会, 故取  $I_2 * = 1.5$  由 (4-1) 式求得:

$$t = 4.46''$$

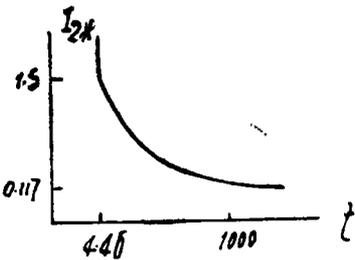
(三) 下限定时段段: 取  $t = 1000$  秒, 由 (4-1) 式求得

$$I_2 * = \sqrt{\frac{A + K_2^2 t}{t}} = \frac{10 + (0.062)^2 \times 1000}{1000} = 0.117$$

反时限整定曲线如图 4-1

### 3. 试验结论及结果分析

(一) 将本装置串接于原发电机定时限负序电流保护 DL-6 的电流回路中。人工短路故障点取于  $K_1$  (见图 5-2) 断开变压器低压侧隔离开关, 以发电机开关向  $K_1$  点合闸造成不对称人工短路, 自动调节励磁及强励装置退出运行。



(二) 由于负序电流较小的两相短路实验, 需要时间太长, 不便测录, 因此作了一次较大的两相短路试验 ( $5.36 \text{ kA}$  见表 5-1) 但机组发出异常响声 (如重型轰炸机自远而近, 愈来愈响, 振动愈来愈大) 电流, 电压急剧上升, 为了保证设备安全, 紧急跳开关灭磁; 经检查机组尚未受到损坏。由于忙于处理异常情况, 疏忽了监视保护动作当跳开关灭磁后, 发现保护已动作, 秒表计时为  $18$  秒, 因此认为保护实际动作时间理当小于此值。由于时间太长, 未能录下电流, 电压波形, 不好分析此异常情况的性质, 估计是一种谐振。

## 五、BCD-24型变压器差动保护试验

为了检验保护装置在各种类型短路情况下动作的正确性和空载合闸躲涌流的可靠性, 进行了下列各项试验。

- (一) 变压器内部三相和两相短路;
- (二) 变压器外部三相和两相接地短路;
- (三) 变压器差动躲涌流能力试验。

1. 保护装置的构成及原理: 装置主要由以下三部分组成。

(一) 比率制动部分：以环流比较的原理反应区内短路（三倍动作电流时动作时间不大于40ms）以比率制动躲过区外故障，制动特性曲线见图5-1曲线拐点座标：

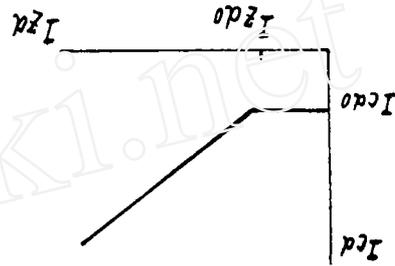
$$I_{zdo} = 5 - 7 \text{ A}$$

$$I_{cdo} = 0.5 \sim 2.5 \text{ A}$$

制动曲线的斜率  $\text{tg } \alpha = 0.2 \sim 0.6$ ；

(二) 谐波制动部分：以高次谐波三相“或”回路闭锁，防止励磁涌流引起保护误动，谐波制动比为17~35%。

(三) 速切部分：此部分的设置是为了防止电流互感器在大短路电流下饱和时，二次电流中出现高次谐波而造成保护的拒动。



## 2. 保护的整定：

(一) 起始动作电流  $I_{cdo}$ ，按躲过正常运行时最大不平衡电流整定，根据以下数据：电流互感器引起的不平衡电流取10%，变压器分接头引起的不平衡电流取5%，变压高低压侧电流互感器的变比误差引起的不平衡电流取5%。变压器归算到低压侧的额定电流  $I_e = 5030$  安，变比  $5000/5$  A

$$I_{cdo} = (0.1 + 0.05 + 0.05) \times \frac{5030}{5000/5} \approx 1 \text{ A}$$

(二) 比例制动系数  $K_Z$  按躲过最大穿越性短路电流整定：取可靠系数  $K_k = 1.5$

$$K_Z = 1.5 (0.1 + 0.05 + 0.05) = 0.3$$

(三) 谐波制动比  $K_{ZB}$ ：根据统计资料，涌流中二次谐波的比例最大相为50~60%以上，这里取40%。

## 3. 短路试验：

(一) 试验条件：(1) 人工故障短路点的设置见图5-2。

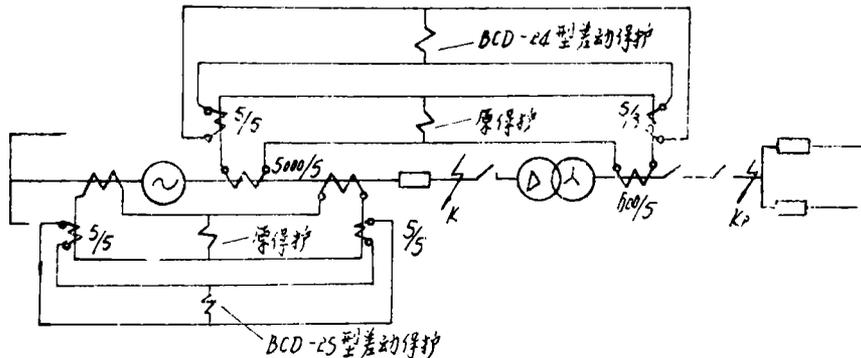


图 5-6

设备参数：

发电机：  $S_e = 88.24 \text{ MVA}$

$U_e = 13.8 \text{ kV}$

$I_e = 3690 \text{ A}$

$\cos \varphi = 0.85$

$X''_d = 0.213$

$X_2 = 0.2175$

变压器:  $S_e = 120\text{MVA}$  变比  $121 \pm 2 \times 2.5\% / 13.8\text{kV}$   
 $Y_0/\Delta-11$   $U_k = 10.4\%$

(2) 试验方法: 人工故障电流控制在设备额定电流以下, 变压器高压侧与系统断开, 以发电机断路器向故障点合闸 (由于变压器高压侧是套管电流互感器, 故变压器内部故障仅能以低压侧  $K_1$  点短路来反映) 发电机的自动调节励磁及强励退出运行。

(二) 试验结果:

(1) 保护动作情况见表 5—1, 接点动作时间见录波图 5—3。

(2) 短路暂态过程见图 5—4

#### 4. 躲涌流试验:

(一) 变压器低压侧断路器 (即发电机断路器) 断开, 以高压侧断路器向变压器冲击合闸共进行五次, 保护均未误动作。

(二) 试验接线及测录数据见表 5—2 及所附一次接线图。

(三) 励磁涌流的谐波分析及区外三相短路差回路电流的谐波分析见表 5—3, 谐波分析用的录波图见图 5—5、5—6。

(四) 空载合闸时, 低压侧 JSTW—15 型电压互感器辅助线卷曾先出现基波谐振电压, 衰减后又出现 25Hz 谐波谐振电压, 录波见图 5—7, 原另序保护接点抖动, 但未动作。

(五) 在三相短路的暂态过程中, 发电机原 DL—6 型负序电流保护的负序滤过器有输出, 接于发电机线电压上的二次谐波滤过器也有输出。录波图见图 5—8

#### 5. 分析及结论:

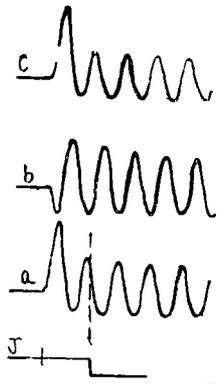
(一) 试验成果

(1) 表 5—1 表明五次差动区内不同类型相间短路虽然短路电流都很小 ( $2.6 \sim 5.36\text{kA}$ , 约为  $0.5 \sim 1.1I_e$ ) 保护均可靠动作, 时间为  $24 \sim 35\text{ms}$ 。五次差动区外不同类型相间短路, 保护均未误动, 但区外短路电流尚不够大 (最大短路电流为  $5\text{A}$ ) 希望今后的工业试验中能创造条件作较大的短路电流试验, 以便对保护装置作进一步考验。

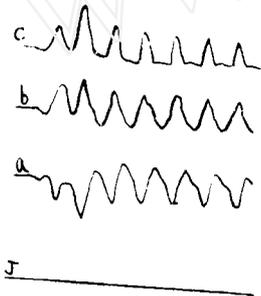
(2) 从表 5—2 可看出五次变压器冲击合闸, 保护均未误动, 虽然励磁涌流不大 (最大二次涌流为  $2.85\text{A}$ , 电流互感器环流臂上最大二次涌流为  $3\text{A}$ ), 但已大为超过保护的起动电流, 足以说明躲过涌流的问题。为了进一步对保护装置进行考验希今后再找机会作冲击合闸试验

(二) 短路加涌流的问题:

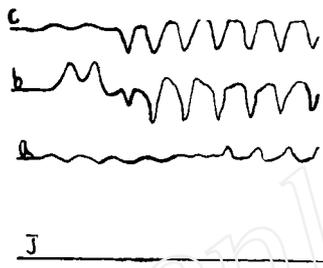
由表 5—3 中的差动区外三相短路差回路电流谐波分析看出: A 相第一周有较大的二次谐波 (56.8%) C 相第三周有较大的二次谐波 (64%) 这是由于短路加涌流引起, 可惜由于条件限制未能作高压侧区内短路, 从而不能实测保护动作时间。估计保护要延缓动作, 希今后进一步予以验证。



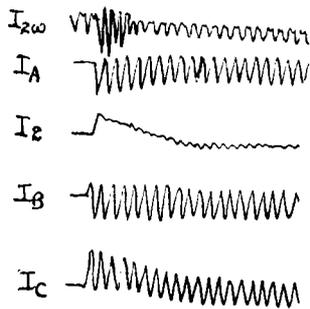
查5-3 (差电流)



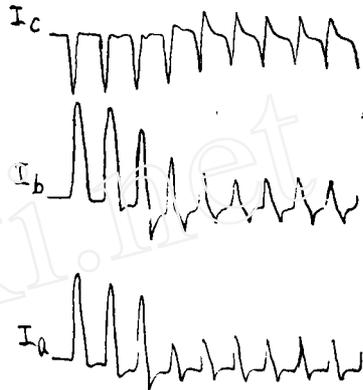
查5-6 (差电流)



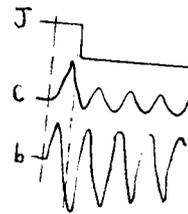
查5-4 (差电流)



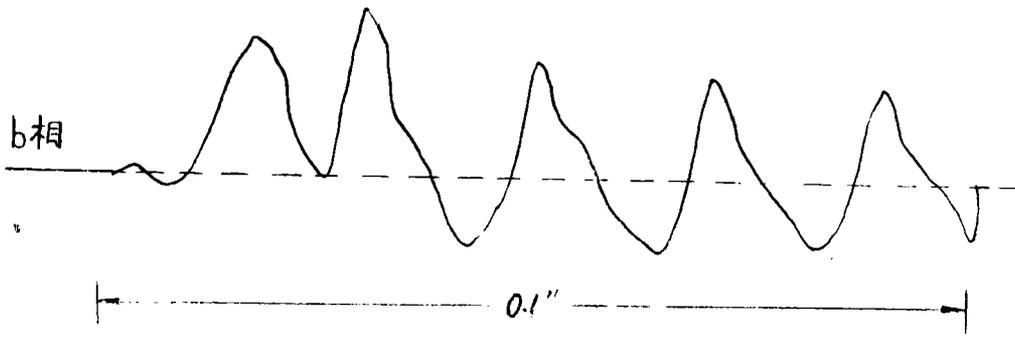
查5-8



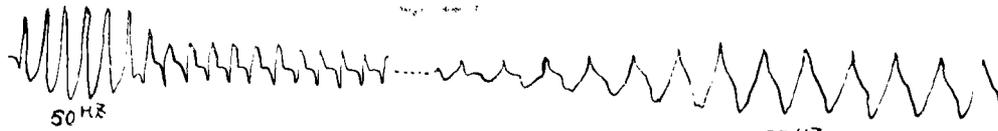
查5-5



查6-1 (差电流)



查5-6 (2) 放大查



查5-7

短路试验结果汇总表

表5-1

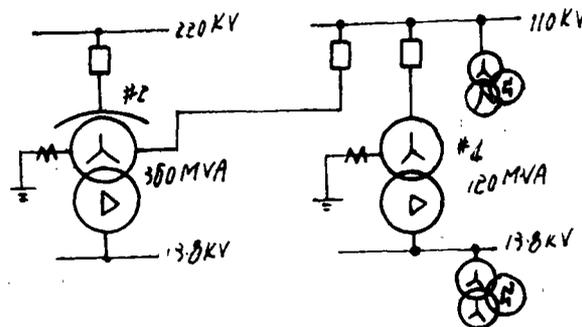
序号	故障点及故障类型	试验内容	数据未记	短路前发电机电压 (KV)	短路电流 (KA)						发电机电磁电压 (V)	发电机电磁电流 (A)	保护动作时间 (ms)				备注
					I <sub>A</sub>		I <sub>B</sub>		I <sub>C</sub>				发差	反时限	差变	零序	
					暂态	稳态	暂态	稳态	暂态	稳态							
1	发电机出口二相 (B,C) 短路	发差内部, 变压内部	录波 观测	2.76	0	0	2.6	2.1	2.6	2.1			15	35			
					0	0	2.1	2.0	2.1	2.0			动	动			
2	发电机出口二相 (B,C) 短路	发差外部, 变压内部	录波 观测	2.76	6	0	2.6	2.1	2.6	2.1			不动	35			
							3.0	1.75	3.0	1.75				动			
3	发电机出口二相 (B,C) 短路	发差外部 变差内部 负序反时限	录波 观测	5.5	0	0	5.363	3.865	5.363	3.865			< 18000	24	短路经数秒后, 发电机发出异常声音, 电压表指示5.5→2→8KV以上, 电流指示继续上升。变压器差动保护经24ms动作, 经4ms复归, 再经14ms又动作, 负序也动作, 由于用秒表计时, 当时又出现发电机异常情况 (振动大, 声响大), 心情紧张, 停秒表慢了, 故18秒的数据是不确切的。		
							6	4	6	4				动			
4	发电机出口三相短路	发差内部, 变差内部	录波 观测	2.07	2.6	1.3	2.6	1.3	2.6	1.3			10.9	28			
					未记	1	3	1	未记	1			动	动			
5	发电机出口三相短路	发差外部, 变差内部	录波 观测	2.07	2.6	1.3	2.6	1.3	2.6	1.3			不动	32			
					未记	0.95	未记	0.95	未记	0.95			不动	动			
6	变压器高压侧 B,C二相短路	变压器差动外部	录波 观测	4.0									不动	不动	跳闸太快不准确。		
					未记	1.5	4	1.5	未记	1.5							
7	变压器高压侧 B,C二相短路	变压器差动外部	录波 观测	4.0	2.6	1.5	3	2.15	2.6	1.5	40↘20↗40	170↗400↘170	不动	不动			
					3	1.0	4.2	1.2	2.6	1.0							
8	变压器高压侧 B,C二相短路	变压器差动外部	录波 观测	4.0	2.36	1.3	3.43	1.72	2.36	1.3	40	170↗400↘170	不动	不动	发电机励磁电压动态未记录 变压器零序动作时间未测。		
					3	1.05	5	1.35	3.2	1.05				动			
9	变压器高压侧三相短路	变压器差动外部	录波 观测	4.0	3	0.86	3	0.86	3	0.86	40↘20↗40	170↗420↘170	不动	不动			
					3.4	1.2	>5	1.16	3.4	1.15							
10	变压器高压侧三相短路	变压器差动外部	录波 观测	4.0							39↘20↗39	170↗420↘170	不动	不动			
					3.8	1.2	5	1.15	4.2	1.15							

4. 变压器空载合闸时励磁涌流和另序电压, 另序电流的测定

表 5-2

序号	最大涌流(A)	涌流录波最大值(A)			电压互感器辅助线卷3U。(V)				中性点电流互感器3I。(A)			
		高压测C.T环流臂电流	高压测C.T二次电流	中间变流器二次电流	低压测		高压测		4号变压器		2号变压器	
					录波	一次量	录波	一次量	录波	一次量	录波	一次量
1	360	3	4	2.3	74	17700	3.5	2310	3.57	107	3.85	770
2	240	2	3	2.76	37	8850	3.3	2510	1.8	54	3.85	770
3	342	2.86	3.53	2.85	42.5	22100	3.3	2310	3.57	107	1.47	294
4	172	2.14	2.14	1.58	76	18200	3.3	2310	2.96	88	1.47	294
5					4.6	1000	3.3	2310	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0

附: 测定一次结线图示意如下:



谐波分析

表 5-3

项目	涌流第一周		区外三相短路差回路电流								
			第一周	第二周	第三周	第一周	第二周	第三周	第一周	第二周	第三周
相别	B		A			B			C		
基波	100%		100%			100%			100%		
直流分量	63.5	66.8	65.3	68.2	20	68.5	34.4	7.1	48	42.5	12.3
二次谐波	44.3	33.7	56.8	13.9	19.3	14.2	28.8	28.8	33	33.6	64
三次谐波	8.5	8.44	16.6	6.46	4.13	17.5	13.3	18.1	9	10.8	30.2
四次谐波	6.55	12.1	27.9	1.42	15.6	4.7	2.78	11.5	5	8.17	16.1
五次谐波	3.9	3.15	32.6	1.4	3.03	3.2	6.78	3.4	2.7	3.6	3.62

## 六、BCD—25型发电机差动保护试验

本装置仅有比率制动部分，原理与BCD—24型变压器保护的比率制动部分相同。

1. 装置进行了下述试验项目：

- (一) 发电机带50%  $P_e$  下差动中间变流器二次回路模拟内部故障。
- (二) 差动保护区内短路。
- (三) 差动保护区外短路。

2. 保护的整定：

(一) 动作电流  $I_{cd} = 0.1 \times \frac{I_e}{n_e} = 0.1 \times \frac{3690}{5000/5} = 0.369A$  式中0.1为电流互感器的相对误差， $n_e$ 为电流互感器变比， $I_e$ 为发电机额定电流。由于装置最小定值0.5A的限制，故取  $I_{cd} = 0.5A$ 。

(二) 比率制动系数  $K_z = 0.1 K_K = 0.1 \times 1.5 = 0.15$  式中0.1为电流互感器的相对误差，1.5为可靠系数。

3. 短路试验：

(一) 试验条件：主设备技术数据及人工故障点的设置同“BCD—24型变压器差动保护”，试验的有关部分见图5—2。

(二) 试验方法：短路电流同样控制在发电机额定电流以下，变压器低压侧隔离开关断开，以发电机断路器向短路点 $K_1$ 合闸，自动调节励磁装置和强励装置退出运行。利用发电机出口侧中间变流器二次断线完成模拟发电机内部故障；由于出口侧电流互感器装于断路器内，差动区内故障人工短路试验采用断开发电机出口侧中间变流器二次回路的方法达到。

(三) 试验结果：见表5—1各种类型区内短路保护均能正确动作，动作时间最长 $15ms$ ，最短 $10.9ms$ ，接点动作时间录波见图6—1，区外短路保护均未动作。

## 七、BZ—6型失磁保护试验

为了在实际系统中检验保护装置本体及原理的正确性，共进行了以下试验项目：

- (一) 空载情况下的缓慢失磁试验及机组无励磁时带有功负荷能力试验。
- (二) 不同有功负荷下部分失磁试验。
- (三) 不同有功负荷下的全失磁及再同步试验。

1. 试验条件

(一) 系统情况：

发电厂的接线情况示于图7—1。

试验在3号机组上进行。这种运行方式下的等值阻抗示于图7—2。图中标么值以发电机的额定容量为基准。

(二) 机组参数:

$P_e = 75\text{MW}$

$U_{e.f} = 13.8\text{KV}$

$I_{e.f} = 3690\text{A}$

$\cos \varphi_e = 0.85$

电流互感器变比:  $n_L = 4000/5\text{A}$

电压互感器变比:  $n_V = 13.8/0.1\text{KV}$

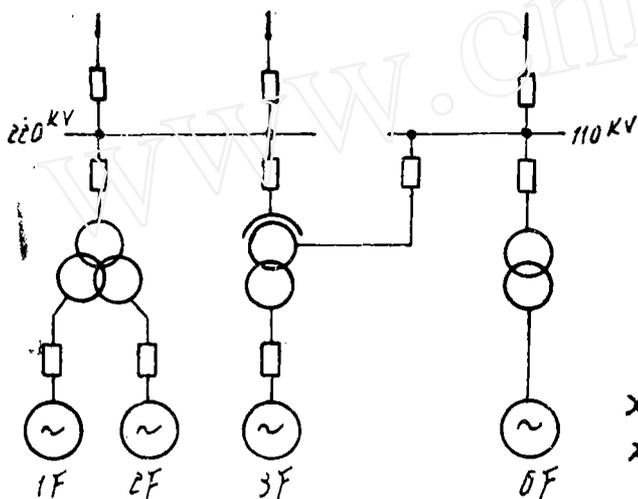


图 7-1

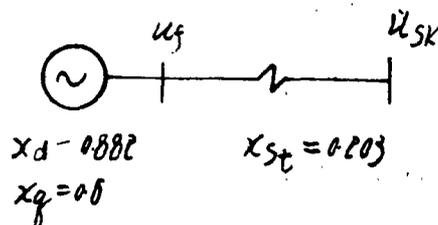


图 7-2

(三) 励磁回路:

发电机系采用有付励磁机的直流励磁机励磁系统。励磁回路接线如图 7-3 所示。

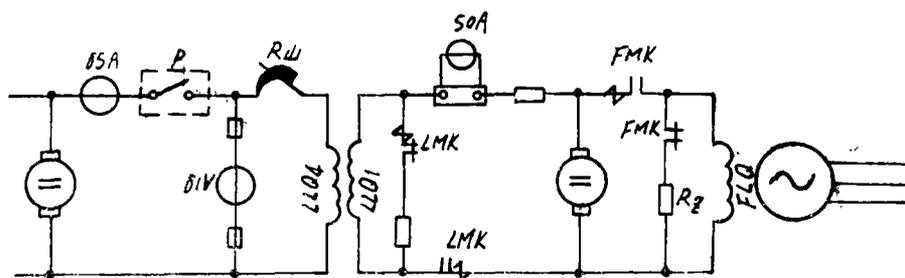


图 7-3

试验过程中, 复励及校正器均退出。部分失磁试验, 是由于先调整好自励(LLQ<sub>1</sub>)与它励(LLQ<sub>4</sub>)两个分量的比例, 试验时利用外接刀闸 P (图 7-3 中虚线框所示), 将它励部分切除, 达到突然失去部分励磁的目的。全失磁利用切除 FMK 进行。

为了防止切除 FMK 时引起转子过电压, 在转子回路中并联了自同期电阻 R<sub>Z</sub>。

## 2. 保护装置

### (一) 保护的构成

BZ—6型失磁保护装置由阻抗元件，三相低电压元件，转子低电压元件三部分组成。

(1) 阻抗元件，以静态稳定为判据，采用相位比较原理构成。详见“阻抗元件的静态稳定判据”。

(2) 三相低电压元件：采用反应三相电压同时降低时动作的低电压继电器。它应接至发电机—变压器组的高压侧。其定值按系统容许的电站高压母线最低电压（即系统崩溃电压）整定。

(3) 转子低电压元件：是反应转子回路电压降低，用以闭锁阻抗元件和三相低电压元件。

转子低电压元件的定值应按机组在额定负荷时维持它在系统中的静态稳定所必需的最低转子电压整定，即：

$$U_{dz.L} = 1.2U_{zx.L} \quad (7-1)$$

式中： $U_{dz.L}$ ——转子低电压元件的动作电压；

$U_{zx.L}$ ——机组在额定负荷时，保持静态稳定所必需的最低转子电压。 $U_{zx.L}$ 可用图解法近似求得。

同时， $U_{dz.L}$ 应大于空载时的转子电压。

### (二) 阻抗元件的静态稳定判据：

隐极式的汽轮发电机的静态稳定极限表示在阻抗复平面上就是一个以 $X_d + X_{st}$ 为直径，圆心坐标为 $R = 0$ 、 $X = \frac{1}{2}(X_d + X_{st})$ 的圆。如右图7—4所示。

水轮发电机由于 $X_d \neq X_q$ ，所以在机组失磁后，它的静态稳定极限的阻抗轨迹表示在复平面上时，其图形不是一个正圆，而是如图7—5所示。

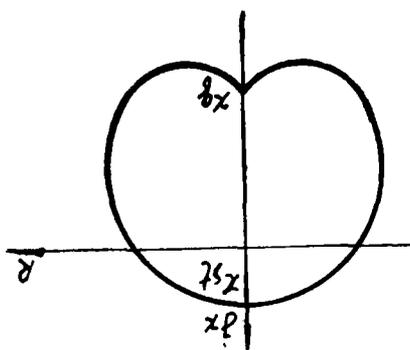


图7—4

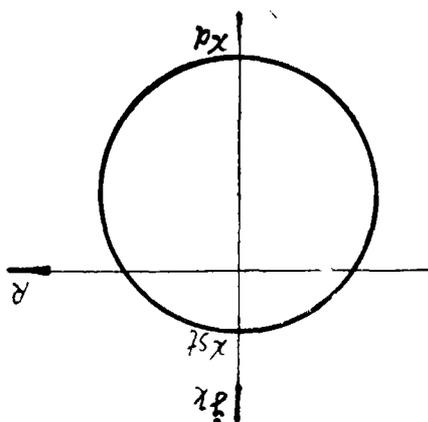


图7—5

的比例数，然后将他励分量突然切除，即达到部分失磁目的。

- 内容：(1)  $P = 32\text{MW}$   $Q = 15\text{MVAR}$  失去50%励磁  
(2)  $P = 32\text{MW}$   $Q = 15\text{MVAR}$  失去75%励磁  
(3)  $P = 40\text{MW}$   $Q = 26.8\text{MVAR}$  失去50%励磁  
(4)  $P = 65\text{MW}$   $Q = 35.6\text{MVAR}$  失去50%励磁

试验数据见附表7-3。阻抗轨迹见图7-11。

各有关参数变化见曲线7-1、2、3、4

(三)不同有功负荷下的全失磁及再同步试验。

目的：这项试验是结合系统调度的要求共同进行的。我们的目的，主要是检验保护装置本体的动作与返回的情况。系统调度方面是为了探讨机组失磁失步后采取措施恢复再同步提高系统安全运行的可能性

方法：将机组于先带上一定负荷的情况下，突然切除FMK全失磁。当机组因全失磁而出现失步的迹象后立即减有功或同时重合FMK，使机组恢复同步运行。

- 内容：(1)  $P = 0$   $Q = 0$  跳FMK全失磁  
(2)  $P = 20\text{MW}$   $Q = 16\text{MVAR}$  跳FMK全失磁  
(3)  $P = 42.2\text{MW}$   $Q = 24.4\text{MVAR}$  跳FMK全失磁  
(4)  $P = 40\text{MW}$   $Q = 26\text{MVAR}$  跳FMK全失磁  
(5)  $P = 50\text{MW}$   $Q = 30\text{MVAR}$  跳FMK全失磁  
(6)  $P = 20\text{MW}$   $Q = 16\text{MVAR}$  切LMK及临时刀闸P。

第(6)项试验是为了与第(2)项试验相比较，即当转子开路与转子回路经励磁机电枢为闭路两种不同情况下全失磁时的不同现象。

试验数据见附表7-4

阻抗轨迹见图7-12、13、14、15、16、17

各参数变化见曲线7-5、6、7、8、9、10

此外，在试验过程中，开始时因测录转子各量的那台示波器有故障，在未测录转子各量的情况下，作了下列试验，试验数据亦整理作为附录，附后。

- (1)  $P = 20\text{MW}$   $Q = 16\text{MVAR}$  跳FMK全失磁  
(2)  $P = 30\text{MW}$   $Q = 22\text{MVAR}$  跳FMK全失磁  
(3)  $P = 37.5\text{MW}$   $Q = 26\text{MVAR}$  跳FMK全失磁  
(4)  $P = 50\text{MW}$   $Q = 30\text{MVAR}$  跳FMK全失磁

试验数据见附表7-5

阻抗轨迹见图7-18、19、20、21

各参数变化见曲线7-11、12、13、14

4.分析及结论：

在各项试验的阻抗轨迹曲线中，均表示出了阻抗元件的三种整定曲线。图中，实线园：表示实际试验时整定动作范围；虚线园：表示按理论分析应整定的动作范围；点划线园：表示以 $Z_A = \frac{1}{2} X_d'$ 和 $Z_B = 1.1 X_d$ 端点为直径的偏移圆的动作范围。

图 7—22 所示为各项试验时, 实测的阻抗元件动作与返回值与阻抗元件实际整定范围的关系。表明阻抗元件的动作情况是正确的, 基本上都在整定曲线附近。只是试验项目(三)—3、与(三)—1 的偏差较大, 前者动作值为  $13.85\Omega$ , 整定值为  $13\Omega$ ; 后者动作值为  $10.6\Omega$ , 整定值为  $12.3\Omega$ 。按这二个数据计算, 动作偏差为  $+6.5\% \sim -13.6\%$ 。

从(二)—2、(三)—1 及(三)—6 项试验情况可以看出, 在某些情况下, 机组失磁后并不会失步。在这种情况下, 并不对机组造成危害, 如此时机组吸收的无功不会对系统带来危害, 这时切除机组是没有必要的, 而应由运行人员采取措施恢复机组正常运行才是恰当的。从图 7—11、12、17 曲线中可以看出, 试验整定动作范围偏大(上述三种失磁状态保护都动作了)。因此, 按理论分析动作范围整定才当。同时, 从图 7—12、17 中可以比较出来, 按以  $Z_A = \frac{1}{2} X_{d'}$  和  $Z_B = 1.1 X_{d'}$  端点为直径的偏移圆来整定, 这二种失磁状态, 也会使保护动作, 将机组切除。从实践中和理论分析表明, 在空载情况下全失磁时, 机组并不会失步。而在轻载下失磁时, 静态稳定判据曲线是趋向于  $X_q$  收缩, 机端测量的阻抗的电抗部分将是  $X_d > X > X_q$ 。所以按  $Z_A = \frac{1}{2} X_{d'}$  和  $Z_B = 1.1 \sim 1.2 X_{d'}$  端点为直径的偏移圆, 势必将这种不应切除的欠激运行机组从系统中切除。从国内系统来看, 轻载欠激的运行方式已开始引起人们的重视。所以失磁保护也需考虑适应这一特点。

从第(一)项试验中可以看出, 机组在全无励磁的情况下, 仍能带部分有功负载保持同步运行。这次试验所带有功约为  $14\text{MW}$ 。试验机组反应功率的理论值为:

$$P_{M2*} = \frac{U_{d'}^2 X_{d'} - X_{q\gamma}}{2 X_{d\gamma} X_{q\gamma}} = \frac{1 \times (1.085 - 0.803)}{2 \times 1.085 \times 0.803} = 0.162 \therefore P_{M2} = 0.162 P_{e.f} = 12.1\text{MW}$$

从试验看出, 理论与实际值基本是相符的。在这种情况下, 机组能稳定运行, 阻抗元件不应动作。由于实际整定范围过大, 所以在(三)—1 项试验中保护已动作。

从各项试验中测录的转子电压及转子低电压元件动作情况来看, 转子低电压的整定基本是正确的。都是优先于阻抗元件动作, 没有发生错误闭锁现象。从试验中测录的数据来看, 机组失磁且在失步后, 由于转子回路电压会产生波动, 而使转子低电压元件产生抖动。但这并没有影响正个失磁保护装置的正确动作。因在机组失磁后进入静态稳定判据之前, 这两个元件的动作情况还是相互配合的, 能够保证整个装置的正确动作。但是, 利用转子电闭锁方式, 不能反应由于转子回路开路引起的失磁故障; 另外, 转子低电压元件的动作时滞较大, 这些是有待研究解决的问题。

由于这次失磁保护的试验是与系统的失步再同步试验结合进行的。所以通过试验也向失磁保护提出了新的课题。机组在失磁进入静稳极限后, 有无必要立即将失磁机组切除是有待商讨的问题。为了提高整个系统的安全稳定运行, 在机组失磁进入静稳极限后, 应将失磁保护与有关自动化措施(如减有功, 重合 F M K 等)结合起来, 使失磁机组能够不致继续滑进动态失步范围, 而保住机组继续在系统中稳定运行。然后让运行人员及时去排除故障, 以恢复机组的正常运行。这样对整个系统运行是有助益的。只有在采取措施后, 还不能维持失磁机组的稳定, 才将它切除。这个问题有待进一步进行工作。

表7-2

试验内容	次数	P MW	Q MVAR	$u_{AB}$ KV	$I_B$ KA	$u_L$ V	$I_L$ A	系统侧电压		计算结果 Z $\angle\delta$	备注
								220KV母线 KV	110KV母线 KV		
(一)空载情况下 缓慢失磁试验及 机阻无励磁时带 有功负荷能力的 试验	1	0	50	13.6	20	240	1370	242	116	23.8 $\angle$ 90°	
	2	0	40	13.5	1.6	225	1610	242	116	28.3 $\angle$ 90°	
	3	0	30	13.4	1.2	200	969	241	116	37.4 $\angle$ 90°	
	4	0	20	13.35	0.7	180	970	240	116	63.9 $\angle$ 90°	
	5	0	10	13.3	0.2	162	769	240	115	223 $\angle$ 90°	
	6	0	0	13.25	0	140	659	239	115		
	7	0	-10	13.05	0.2	120	580	238	115	218 $\angle$ -90°	
	8	0	-20	13	0.7	110	509	237	114	62.3 $\angle$ -90°	
	9	0	-30	12.9	1.25	90	430	236	114	34.6 $\angle$ -90°	
	10	0	-40	12.75~12.85	1.8	70	345	236	114	23.8 $\angle$ -90°	
	11	0	-47	12.8	2.1	58	290	236	114	20.4 $\angle$ -90°	
	12	0	-58	12.75	2.6	45	205	236	113	16.4 $\angle$ -90°	
	13	0	-60	12.55	2.8	38	180	235	113	15 $\angle$ -90°	
	14	0	-64	12.5	3.0	30	150	234	112.5	14 $\angle$ -90°	
	15	0	-68	12.4	3.2	25	105	233	112.5	13 $\angle$ -90°	
	16	0	-63	12.3~12	3.0	25	105	229	110	13.6 $\angle$ -90°	
	17	0	-75		3.8	25/115稳120	40	226	108		
	18	6		11.8	3.8	120	0	228	108	10.4	
	19	12	-77	11.7	4.0	120	0	225	107	9.81 $\angle$ 81.1°	
	20	15	-80	1.5~11.7~11.9 不稳	4.6	120	0	225	108	8.53 $\angle$ 79.4°	
	21	14	-90, -100, -80	11.6	4.0/5.0/0.2	145	0	225	108	9.72 $\angle$ 81.2°~7.78 $\angle$ 82°~19.4 $\angle$ 80.1°	
	22	14	-84, -100	11.5 $\pm$ 0.3~0.5	5.0/4.0	145/150稳140	0/500/0	220~225 之间摆动	107摆动		

说明: (1)当有功增至14MW以上时,出现不稳现象。P及 $I_B$ 均有自发增长迹象。当P至16~17MW时, P塔至60MW, 此时无功达-110MVAR, 并在-110~-90MVAR之间摆动多次; (2)第18次以后为跳开ATF全失磁, (3)因失磁阻抗元件电流回路的短接压板未断开, 所以阻抗元件无反应; (4)以上数据系控制盘上表的读数。

表 7-3

试 验 内 容	t 秒	P		Q		U <sub>AB</sub>	I <sub>A</sub>	U <sub>L</sub>	I <sub>L</sub>	U <sub>220</sub>	阻抗元件 行为	转子低压 元件行为	计算结果 Z∠δ°
		MW	MAAR	MAAR	KV	A	V	A	KV				
(二) 不同有功负荷下部 分失磁试验 1. P = 32 <sup>MW</sup> Q = 15 <sup>MVAR</sup> 失去50%励磁	0	32.2	15	13.2	1420	165	816	242				31.2∠25°	
	0.26					153.5	798	230			接点抖动		
	1.8					140	761	228			动作		
	1.96					137	752	228			返回		
	2.06					133.5	748	226			抖动		
	2.14					132	740	226			动作		
	3	32.2	2.65	13.1	1330	129	730	226				33∠4.7°	
	4	32.2	0	12.8	1330	122	683	226				32.2∠0°	
	5	33.2	-3.5	12.9	1370	117	652	226				31.5∠-6°	
	7	33.2	-8.8	12.8	1420	114	602	226				30.2∠-14.8°	
	9	33.2	-12.2	12.8	1520	107	575	226				28.2∠-20.2°	
	11	33.2	-14.5	12.6	1540	105.5	552	226				27.4∠-23.6°	
	20	33.2	-16.6	12.7	1600	101	538	226				26.6∠-26.6°	
	28					101	528	226					
30	33.2	-17	12.6	1700								24.3∠-27.1°	

以上试验机组未失步，阻抗元件未动作。