

多支路发电机新型继电保护系统的工业试验

前 言

目前设计和运行的双支路发电机，按继电保护设计规程要求应装设横差保护。在采用单元件式横差保护时要求中性点有六个引出线，当发电机多于两支路时，若总支路数为偶数则为了不引出更多的中性点，往往先将各支路两两并联，最后仍引出六个中性点，如刘家峡电站四支路发电机的横差保护。当总支路数为奇数时，发电机的保护就更复杂，如丹江电站三支路发电机，最初无横差，出故障后发电机改为九根出线装设两套横差保护。

上述传统的保护方式不仅保护死区大，保护不完善，并且由于引线多，使发电机端部引线交错重叠，布置困难。互相交叠的端部引线由于邻近效应导致引线过热，影响发电机的出力。以上问题对端部尺寸紧凑的高速发电机或单机容量大于50万千瓦的发电机来说就更加突出。

自从1975年IEEE发表“大古力第三电站61.5万千瓦安水轮发电机的电气与机械设计特点”一文（译文见“国外大电机”1976年5、6期）介绍了定子十支路发电机的新结构及新型继电保护方式后，“大古力方案”已引起了普遍重视。随着我国电力事业的发展，我国设计制造的发电机单机容量也迅速增大，定子电流也从数千安增至2万安以上，支路数也由三支路增至六支路，甚致更多，所以“大古力方案”也得到国内电机制造和使用部门的注意。1978年东方电机厂在设计制造20万千瓦以上的水轮发电机时吸取国内外相当容量发电机的设计运行经验，分析研究了多支路、小电流中性点引出线结构及大古力继电保护方案，为了使这一技术方案有可靠的根据，我们计划进行下列工作：

- 一、分析新型继电器保护方式的工作原理及其计算、整定方法。
 - 二、进行电路模拟试验，验证工作原理。
 - 三、多支路发电机新型继电保护系统的厂内工业试验。
 - 四、落实新型继电保护系统元件的设计制造。
 - 五、根据上述试验的结果，认为确有必要时，组织继电保护的电站现场试验。
- 第一、二两部份的总结已发表在“继电器”杂志1978年第四期。

本文即由东方电机厂，水电部第十五工程局，清华大学，许昌继电器研究所，成都水电勘测设计院于1978年九月在由东方电机厂提供的630千瓦六支路发电机上所进行的新型继电保护系统在发电机相间短路，匝间短路和气隙偏移等工况下的动作情况试验报告，参加试验及讨论的有：王维俭（清华大学），涂东泽（许昌继电器研究所），曾树荣（成都水电勘测设计院），潘天缘（水电部第十五工程局），饶芳权、钱洪钧、刘云、

宋振平、李蒙(东方电机厂)

本报告由李蒙同志整理,并经朱仁堪、陆维新、王维俭同志审阅。

一、试验目的

- (1)验证纵差、横差及气隙偏移保护的工作原理。
- (2)验证故障电量分析结果及整定计算方法。
- (3)考核具有比率制动特性的BCD—25型晶体管差动继电器是否适用于新型继电器保护系统。
- (4)对新型保护系统中的气隙偏移继电器,电流互感器等元件提供性能数据。

二、设备参数及接线图

(1)发电机参数

1.型号	TD143/31—12
2.容量	745千伏安,530千瓦
3.额定电压	1000伏/575伏
4.额定电流	432安
5.极数	12极
6.转数	500转/分
7.接线	集中绕组,六入并联
8.定子总槽数	90
9.每极每相槽数	2½
10.正常气隙	5.5mm
11. X_d''	0.1866
12. X_s'	0.1285
13. X_d'	0.2705
14. R_{75}° (定子)	0.0187欧姆
15.允许起动电流倍数	≤4.77
16.额定励磁电压	52伏
17.额定励磁电流	260安

(2)继电器

1.差动继电器:选用BCD—25型具有比率制动特性的晶体管差动继电器做纵差和横差保护用。该型继电器以环流比较原理保护区内的短路故障,以比率制动躲过保护区外的故障。详见文献(3)。整定值范围为0.5~2.5安。

2.气隙偏移指示继电器:选用DL—23型过电流继电器做为气隙偏移指示。

3.另序电压继电器:选用BLY—2型另序电压继电器做为发电机定子匝间短路保护

的比较方案之一。

(3) 电流互感器：依据设备条件所选用的七个电流互感器均用 $HL-1$ 型仪用电流互感器，负载为 0.2 欧姆时精度为 0.2 级。其中 $CT_1 \sim CT_6$ 变比选为 $100/5$ 安。 CT_7 变比选为 $600/5$ 安。

(4) 接线图

1. 发电机绕组及电流互感器接线图 (图一)

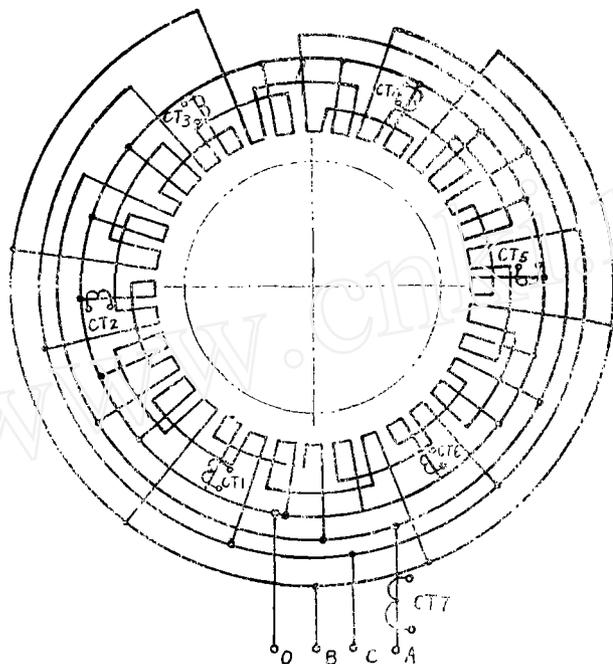


图 一

2. 发电机一相电流互感器及继电器接线图 (图二)

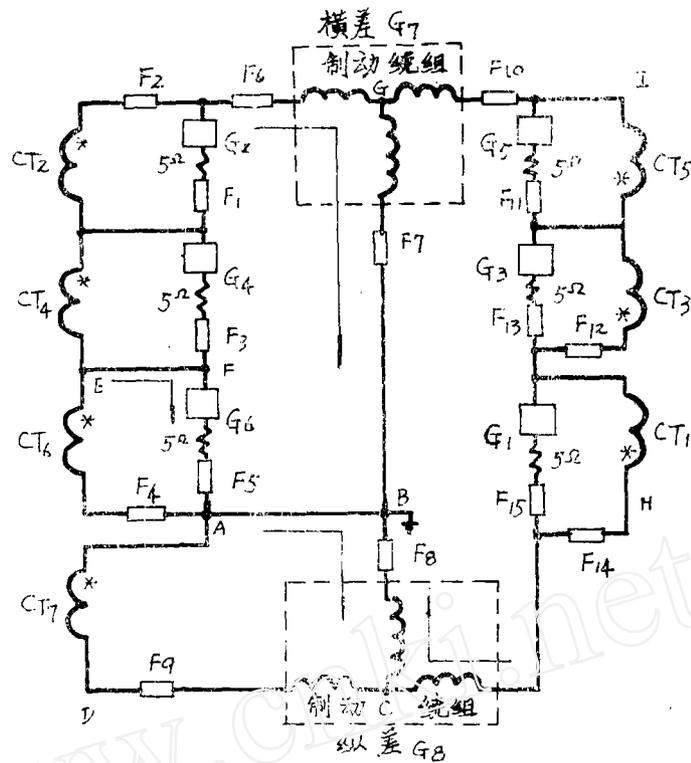


图 二

三、试验结果及分析

(1) 正常工作状态时的电路分析

图二所示由电流互感器串联组成的综合保护电路由下述三种保护组成。

1. 纵差保护：由出线电流互感器 CT_7 为一臂，串联的支路电流互感器 $CT_1 \sim CT_6$ 为另一臂组成纵差保护电路。纵差继电器 G_8 为BCD—25。

2. 横差保护：由支路电流互感器中奇数互感器 $CT_1、3、5$ 为一臂，偶数互感器 $CT_2、4、6$ 为另一臂组成横差保护电路。横差继电器 G_7 也是BCD—25。

3. 气隙偏移保护：由直接并联在各支路电流互感器的过电流继电器 $G_1 \sim G_6$ 指示气隙偏移的方向。气隙偏移保护兼有支路过电流保护的性质。

当 $G_1 \sim G_6$ 各继电器阻抗远大于差动继电器阻抗时，各电流互感器的电流在各回路中的分配规律可以近似的认为只决定于 $G_1 \sim G_6$ 诸继电器的阻抗。当在继电器 $G_1 \sim G_6$ 中串接5欧姆电阻时即满足电流按继电器 $G_1 \sim G_6$ 阻抗分配的条件。此时任意一个支路电流互感器电流均按两路流通。一路经本支路的气隙继电器闭路，若发电机的每相支路数为 n ，则该回路的分流为 $\frac{n-2}{n}$ ， $m=6$ 时即 $2/3$ 。另一路通过本组另外两个继电器和纵、横差继电器闭路，该回路的分流为 $\frac{2}{n}$ ，当 $n=6$ 时即为 $1/3$ 。根据叠加原理可知，在正

常工作条件下通过 $G_1 \sim G_8$ 各继电器的电流只有不平衡电流。相当于电流互感器付边电流在图二最外边的大环中流通,其它支路处于平衡,合成电流为零。

将发电机出口三相短路,短路电流为额定电流以上,按照图二所示各分流器的位置测量的各电流值列于表一。

表一

分流器编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
分流器支路电流安	0	4	0	4	0	4	0	0	4	4	0	4	0	4	0

上述试验数据说明了对保护电路正常工作状态时电路分析是正确的。

(2) 发电机相间短路试验

电流互感器串联综合保护中的纵差保护和我国目前大型发电机组采用的具有比率制动特性的纵差保护没有差别。由于各分支电流互感器和出线电流互感器的规格不同,所以有不平衡电流存在,除了在制造和选择电流互感器时应引起重视外,还要求差动继电器有较好的制动特性。

按照差动保护电路最大不平衡电流原则整定的动作电流取 $I_{dz} = (0.3)I_{ct}/n_L = 1.5$ 安。

本次试验以单机运行时发电机出口端保护区外的二相短路来检验纵差保护动作的情况。

1. 短路前所加电压值计算

当发电机允许的短路电流为 $4I_{ct}$ 时,所加的相电压

$$E_{相} = \frac{4I_{ct} \cdot I_j X_d' U_j}{0.866 \sqrt{3} I_j} = 500 \text{ 伏}$$

$$E_{线} = 865 \text{ 伏}$$

2. AC相短路试验数据

表二列出短路前发电机线电压为870伏的试验数据、

表二

序号	纵差整定值(安)	横差整定值(安)	示波图中纵差电流的最大峰值(mm)	示波图中横差电流的最大峰值(mm)	纵差保护动作情况	纵差延时(秒)	延时后纵差保护动作情况	示波图号
1	1.5	1.0	25	31	不动	0.1	不动	79
2	1.5	1.0	50	55	动	0.1	不动	80
3	1.5	1.0	20	33	不动	0.05	不动	81
4	1.5	1.0	34	43	不动	0.05	不动	82
5	1.5	1.0	55	54	动	0.05	不动	83
6	1.5	1.0	23	34	不动	0.05	不动	84
7	1.5	1.0	17	31	不动	0.05	不动	85
8	1.5	0.5	20	37	不动	0.05	不动	86
9	1.5	0.5	45	45	动	0.05	不动	87

3. 试验分析

(1) 发电机差动保护区域外的相间短路时, 纵差和横差保护应该不动作, 本次试验中, 保护区外短路时纵差和横差电路内即时产生很大的尖峰电流, 宽度约0.04秒左右, 使保护误动作。参考国内外的理论分析和试验资料〔文献(3)、(7)、(8)、(9)〕知当保护区外发生相间短路时, 差动电路中不会即时产生如此大的不平衡电流, BCD—25型差动继电器在工业试验和动模试验中也从未误动过。因此, 分析在630千瓦发电机差动保护区外相间短路时, 对快速保护而言有尖峰电流的主要原因是由于不适当的使用了0.2欧姆0.2级的仪用电流互感器(因为没有低电压等级的保护用差动级电流互感器), 所以在短路过程中由于电流互感器饱和而在二次电路中产生尖峰电流, 模拟试验也证实了电流互感器的饱和如图三所示的波形。如果换用保护用的差动级电流互感器, 将不可能产生使差动保护误动作的尖峰电流。

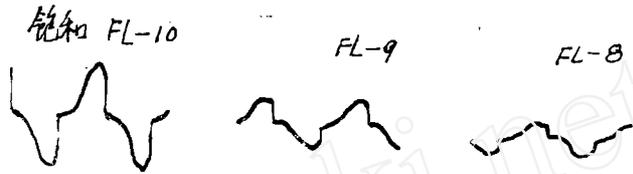


图 三

(2) 即令在0.2级, 0.2欧姆的仪用电流互感器条件下, 本次试验已经证明稍许提高差动继电器的整定值并加0.05秒~0.1秒的动作延时即能躲过这个使保持误动作的尖峰电流。

(3) 目前普遍采用的由BCH—2型差动继电器在灵敏度和动作速度上均比BCD—25型差动继电器差。

3. 发电机匝间短路试验

新型继电保护中的横差保护从原理上讲是和发电机的三元件式横差保护相近(后者无制动)。为了验证横差保护的工作原理和整定计算方法, 选择A相第一支路和第二支路的相应短路点进行短路试验, 其绕组及短路点示意图如图四所示。

试验以下列几种工况进行:

(1) A_1 对 K_1 短路相当一支路20%绕组短路。

(2) A_1 对 K_2 短路相当一支路40%绕组短路。

(3) K_2 对 K_4 短路相当一支路60%绕组短路。

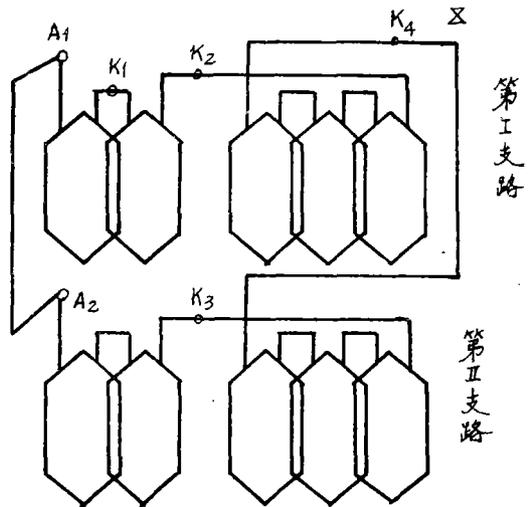


图 四

(4) K_1 对 K_4 短路相当一支路80%绕组短路。

(5) K_1 对 K_3 短路相当第 I 支路的80%电压点对第 II 支路60%电压点短路。

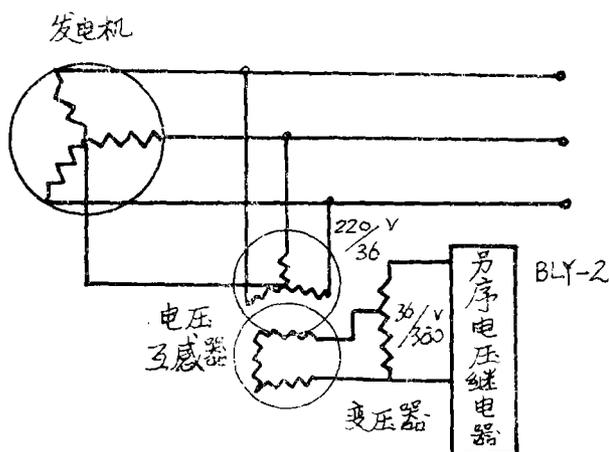


图 五

发电机端接有另序电压保护作为横差保护的比较方案。另序电压保护的接线图如图五所示。

1. 匝间短路的电量计算。

由分析可知,若发电机一相支路数为 n , 任意一个正常支路向故障支路供给的环流为 I_{HA} , 则发生匝间短路时各继电器中的电流为:

(1) 故障支路继电器电流 I_G

$$I_G = (n - 2) I_{HA}$$

(2) 故障组内的非短路支路继电器电流 I_{FR}

$$I_{FR} = 2 I_{HA}$$

(3) 非故障组各继电器电流 I_F

$$I_F = 0$$

(4) 横差继电器电流 I_{HC}

$$I_{HC} = 2 I_{HA}$$

(5) 故障环流 I_{HA} 的计算

若 K 为短路匝数的百分数。

E_1 为发电机相电压。

E_2 为短路故障支路电压 $E_2 = E_1(1 - K)$

X_s 为发电机漏抗

X_1 为所有非故障支路的等值电抗

X_i 为以发电机参数求得的阻抗基值

$$X_i = \frac{U_i}{\sqrt{3} I_i}$$

$$X_1 = X_s \frac{n}{(n - 1)} X_i \text{ 欧姆值}$$

X_2 为故障支路的电抗

$$X_2 = X_s n (1 - K)^2 X_i$$

R_1 为所有非故障支路的等值电阻。

$$R_1 = R_s \frac{n}{n - 1}$$

R_s 为发电机一相电阻值

R_2 为故障支路的电阻值

$$R_2 = R_s n (1 - K)$$

对大型机组来说为了简化起见可以忽略 R_1 和 R_2 。则

$$|I_{HA}| = \left| \frac{E_1 - E_2}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} (n - 1)} \right|$$

或

$$|I_{HA}| = \left| \frac{E_1 - E_2}{(X_1 + X_2) (n - 1)} \right|$$

2. 横差保护动作实测值与计算值曲线

按照横差保护动作整定值为0.5安, 推算故障环流 $I_{HA} = 0.25 \times 100 / 5$ 求得不同的短路匝数时使横差保护动作需要加的发电机电压及各参数和实测横差动作值的数据列于表三。

表三

K	0.03	0.05	0.07	0.1	0.15	0.2	0.4	0.6	0.8
$(X_1 + X_2)^2$	1.18	1.14	1.10	1.045	0.96	0.867	0.58	0.37	0.248
$\sqrt{(X_1 + X_2)^2 + (R_1 + R_2)^2}$	1.19	1.15	1.11	1.06	0.965	0.87	0.583	0.376	0.25
$0.25 \times 100^* \times (X_1 + X_2)$	29.3	23.5	27.5	26	24	21.8	14.5	9.35	6.2
$E_{相}^{**}$	930	570	393	260	160	109	36	15.5	7.8
$E_{线}$	1700	986	680	450	277	188	62	27	13.5
试验动作电压 $E_{线}$						160	70	50	30

$$*E_1 - E_2 = I_{HA}(X_1 + X_2)(n - 1)$$

$$E_1 - (1 - K)E_1 = KE_1 = 0.25 \times \frac{100}{5}(X_1 + X_2)(6 - 1) = 0.25 \times 100(X_1 + X_2)$$

$$**E_{相} = E_1 = 0.25 \times 100(X_1 + X_2) / K$$

曲线如图六所示。从曲线查得到对应发电机额定电压的保护死区为5%。

同理按20万千瓦和30万千瓦水轮发电机参数计算的横差保护计算动作曲线如图七所示, 数据列于表四。20万千瓦, 30万千瓦水轮发电机组新型继电保护的横差计算死区, 在发电机额定电压运行时约为3%。

表四

K	0.01	0.03	0.05	0.07	0.1	0.15	0.2	0.4	0.6	0.8
20万KW 四支路发电机横差保护计算曲线	38800	12500	7300	5050	3380	2100	1430	510	242	138
30万KW 六支路发电机横差保护计算曲线	51200	16500	9500	6580	4360	2680	1820	606	260	130

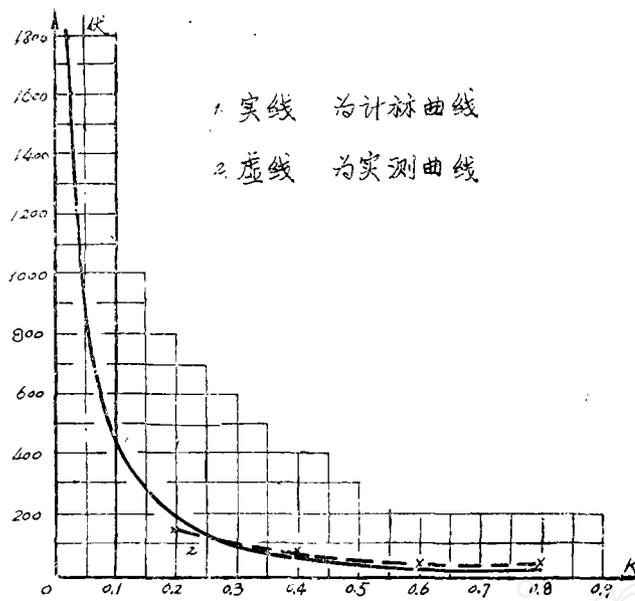


图 六

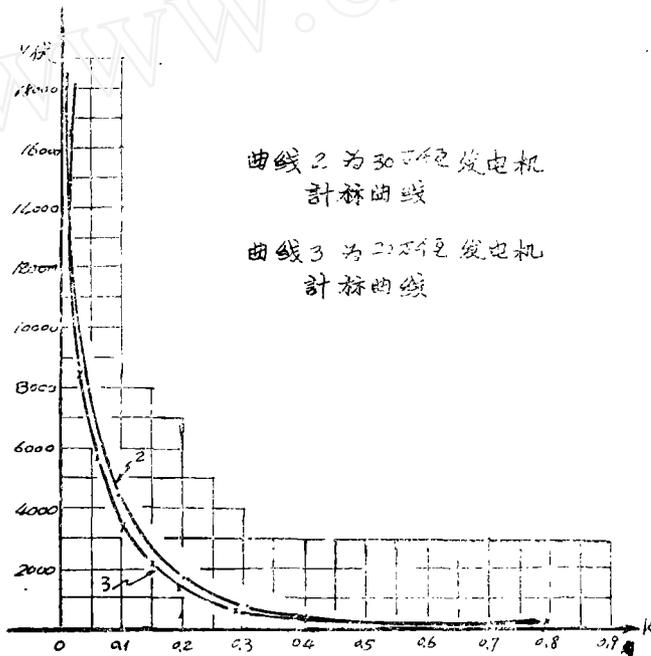


图 七

3. 匝间短路试验数据。(1) 20% 绕组匝间短路试验

表五

保护名称 保护整定值 试验电压		横 差	纵 差	另序电压
		0.5安制动系数0.35	1.5安制动系数0.35	6 伏
保护 动作 情况	150伏	不 动	不 动	不 动
	160伏	动	不 动	不 动
保护动作的计算电压		188伏		
示波图号		20		

(2) 40% 绕组匝间短路试验

表六

保护名称 保护整定值 试验电压及动作情况		横 差	纵 差	另序电压
		0.5安, $K_{zd}=0.35$	1.5安 $K_{zd}=0.35$	6 伏
保 护 动 作 情 况	70伏	不 动	不 动	不 动
	90伏	动	不 动	不 动
	30伏	动	不 动	不 动
	70伏	动	不 动	不 动
保护动作计算电压值		63伏		
示波图号		24		

(3) 60% 绕组匝间短路试验

表七

保护名称 保护整定值 试验电压及动作情况		横 差	纵 差	另序电压
		0.5安 $K_{zd}=0.35$	1.5安 $K_{zd}=0.35$	6 伏
保 护 动 作 情 况	50伏	动	不 动	不 动
	40伏	不 动	不 动	不 动
	45伏	不 动	不 动	不 动
	50伏	动	不 动	不 动
	100伏	动	不 动	动
保护动作计算电压 27伏			示波图号 26	

(4) 80% 绕组匝间短路试验

表八

保护名称 保护整定值		横 差	纵 差	另序电压
		试验电压及动作情况	0.5安 $K_{zd}=0.35$	1.5安 $K_{zd}=0.35$
保 护 动 作 情 况	30伏	动	不 动	不动
	25伏	不 动	不 动	不动
	30伏	动	不 动	不动
	60伏	动	不 动	不动
保护动作计算电压值		14伏		
示波图号		33		

(5) 第一支路 K_1 点第二支路 K_3 点短路

表九

保护名称 保护整定值		横 差	纵 差	另序电压
		试验电压及动作情况	0.5安 $K_{zd}=0.35$	1.5安 $K_{zd}=0.35$
保 护 动 作 情 况	170伏	动	不 动	不动
	150伏	不 动	不 动	不动
	160伏	不 动	不 动	不动
	170伏	动	不 动	不动
保护动作计算电压值		188伏		
示波图号		44		

(6) 第一支路 K_2 点对第二支路 K_3 点短路

表十

保护名称 保护整定值		横 差	纵 差	另序电压
		试验电压	0.5安 $K_{zd}=0.35$	1.5安 $K_{zd}=0.35$
400伏		不 动	不 动	不动

四、试验分析

(1) 新型保护中的横差保护与目前双支路发电机单元件式横差保护比较, 灵敏度高, 保护死区小。630千瓦发电机的计算横差保护死区约为5%。按20万千瓦及30万千瓦水轮发电机参数计算的新横差保护死区约为3%。说明新型横差保护具有明显的优越性。

(2) 匝间短路时横差保护的動作值与简化的工程计算值之比:

$$20\% \text{ 短路时 } \text{动作值/计算值} = 160/188 = 0.85$$

$$40\% \text{ 短路时 } \text{动作值/计算值} = 70/62 = 1.13$$

误差在 $\pm 15\%$ 之内

$$60\% \text{ 短路时 } \text{动作值/计算值} = 50/27 = 1.85$$

$$80\% \text{ 短路时 } \text{动作值/计算值} = 30/13.5 = 2.22$$

当60%和80%短路时, 计算误差很大, 分析原因有二: ①短路匝数大时正常支路的电势 E_1' 和故障支路的电势 E_2' 的相位差很大, 不能再认为同相了。②短路匝数大时不能再略去电阻(包括联接电缆电阻), 因为此时所加的试验电压很低。

考虑到校核横差保护死区时, 短路匝数 K 总是很小的, 因此上述的工程算法不仅是可行的, 而且短路匝数 K 愈小, 准确性愈高。

(3) 不同支路匝间短路的動作值与同一支路相当匝数的匝间短路動作电压值相同。

(4) 新型保护中的横差保护比另序电压保护的灵敏度高。根据计算, 对双支路发电机说, 另序电压继电器整定值为6伏, 死区约12%, 对六支路发电机说, 另序电压保护死区约36%左右。

(4) 发电机的气隙偏移试验

发电机定子与转子间气隙产生偏移时将导致运行机组的振动加剧及磁拉力的不平衡。严重时会造成机组的损坏。我国现在运行的发电机组没有监视运行过程中气隙偏移的装置, 随着机组容量的增大, 单机容量在20万千瓦以上的发电机装设气隙偏移指示保护是有必要的。

由分析可知, 气隙偏移对各支路的影响和发电机绕组的形式有关。定子结构为集中绕组时影响最大。630千瓦发电机即为集中绕组, 其电流互感器布置图如图八所示。

气隙偏移试验是利用垫高定子的方法得到的。正常气隙为5.5mm, 气隙偏移量 ϵ 取1mm和2mm。

1. 气隙偏移时继电器动作情况:

当气隙偏移为1mm和2mm时, 在空载、半载

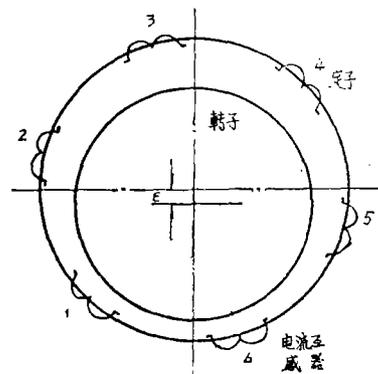


图 八

及满载条件下气隙继电器的动作情况列于表十一。

表十一

序号	试验条件	ε (mm)	横差 整定值	横差 动作情况	气隙继电器 整定值	气隙继电器 动作情况	示波图号
1	空载 $U_F = 1000$ 伏	2	0.5安	反复动	0.8安	不动	72
2	半载 $I_F = 216$ 安 $U_F = 1000$ 伏	2	0.5	抖动	0.5安	G_3, G_6 抖动	73
3	满载 $I_F = 432$ 安 $U_F = 1000$ 伏	2	0.5	抖动	0.5安	G_3, G_6 抖动 G_1 抖动两次	74
4	空载 $U_F = 1000$ 伏	1	0.5	不动	0.5安	不动	75
5	半载 $I_F = 216$ 安 $U_F = 1000$ 伏	1	0.5	不动	0.5安	不动	76
6	满载 $I_F = 432$ 安 $U_F = 1000$ 伏	1	0.5	不动	0.5安	不动	77

2. $\varepsilon = 1mm$ 时各气隙继电器的电流

$G_1 \sim G_6$ 各继电器整定值为0.5安时 $\varepsilon = 1mm$ 测得的不同运行状态下各继电器电流列于表十二

表十二

电 流 名 称 况	I_{G2} 安	I_{G4} 安	I_{G6} 安	I_{G5} 安	I_{G3} 安	I_{G1} 安
空 载	0.21	0.276	0.38	0.2	0.35	0.3
半 载	0.224	0.29	0.38	0.224	0.34	0.324
满 载	0.206	0.29	0.35	0.24	0.31	0.26
继电器动作情况	不动	不动	不动	不动	不动	不动

当 ε 为2mm时由于测量不准而没记录到正确数值。根据无气隙偏移时各继电器中的电流为另，气隙增大后其继电器电流与气隙值成正比的关系，粗略推算在同样的励磁电流及负荷条件下 $\varepsilon = 2mm$ 时各继电器电流也应为 $\varepsilon = 1mm$ 时各继电器电流的2倍。参考数据如表十三。

表十三

	I_{G2} 安	I_{G4} 安	I_{G6} 安	I_{G5} 安	I_{G3} 安	I_{G1} 安
空 载	0.42	0.552	0.76	0.4	0.7	0.6
半 载	0.448	0.58	0.76	0.448	0.68	0.648
满 载	0.412	0.58	0.70	0.48	0.62	0.52
继电器实际动作	不动	不动	动	不动	动	抖动两次

从表十三的数据可知 $G_1 \sim G_6$ 各继电器的实际动作情况与分析基本相符,继电器 G_4 有些异常可能是整定值偏大了。

3. 气隙偏移造成的支路电流脉动

从试验记录的示波图72~77来看,在气隙偏移后对某一支路来说,转子每转一周,在某一支路中就完成一个周期的脉动,就是这个脉动电流使过流继电器动作。也就是说在转子转过一周时,在气隙小的支路中合成的环流有一次最大值。根据电机的转速即可求出脉动的次数,本试验中计算的脉动次数为 $500\text{转}/60\text{秒} = 8.35\text{次/秒}$,实测的脉动次数为 8.5次/秒 。

(5) 气隙继电器阻抗对电流分配规律的影响

从理论分析可知,做为电流互感器主要负载的气隙偏移继电器 $G_1 \sim G_6$,要求它要比横差及纵差继电器的制动绕组及工作绕组大得多的阻抗,以保证互感器二次电流的分配关系。从静态的模拟试验可知,对纵差及横差保护来说,过流继电器 $G_1 \sim G_6$ 的阻抗愈大,则各支路电流分配的比例关系愈接近理论计算值,但对气隙偏移工况来说 $G_1 \sim G_6$ 的阻抗超过9欧姆时其各支路的电流与理论计算值之差反而增大,所以限制了 $G_1 \sim G_6$ 。各继电器的阻抗值约在3欧~10欧之间(对应CT为0.2级仪用电流互感器的情况)

本次630千瓦发电机试验中,改变 $G_1 \sim G_6$ 各继电器所串接的电阻,考察各支路电流的分配关系。拍照了 $G_1 \sim G_6$ 串接0欧姆,0.63欧姆、1.25欧姆,2.5欧姆,5欧姆几种状态时流过横差,纵差继电器 G_6, G_3, G_1, G_2 等过电流继电器的电流波形。从示波图看 $G_1 \sim G_6$ 各继电器的阻抗以5欧姆时的不平衡电流最小。不希望低于3欧姆。(对应CT为0.2级仪用电流互感器的情况)。

五、结 论

(1)多支路发电机新型综合继电保护,尽管已经应用在美国大古力电站的发电机组上,但是为了在我国大容量发电机上推广而进行理论分析及工业试验仍然是非常必要的。630瓦六支路发电机的新型综合继电保护的工业试验,说明了这种保护方式不仅能适应大容量水轮发电机组在结构上的改革,而且其保护性能也是优越的。

(2)按照实际应用接线的630千瓦发电机综合保护工业试验说明了这种保护线路具有多种性能。证实了横差保护的死区约为5%。按20万千瓦,30万千瓦发电机参数计算的死区约3%。并且验证了用于横差保护计算的“工程算法”在短路匝数不大时是足够准确的。因此说这种新型保护不但比目前普遍采用的双支路单元件式横差保护的性能好,而且比整定值6伏,对双支路机组来说保护死区约12%,对六支路机组说保护死区为36%的另序电压保护也好。

(3)630千瓦发电机新型综合保护的纵差试验中出现在过去同类试验中没有的,也不应该有的尖峰电流,其主要原因是由于使用的电流互感器不符合继电保护的要求,以致严重饱和所造成的,这种由试验条件局限性所造成的误差,在换用保护级的电流互感器时应该能够消除。

(4)在提出分析计算气隙偏移保护的完善方法之前,建议在真机采用新型保护时暂做信号指示。通过630千瓦发电机的气隙偏移试验中各环流的测量及其脉动特性,说明了发电机定转子气隙偏移后,保护是可以动作的。但灵敏度并不很高,例如对630千瓦发电机来说,在气隙偏移离正常气隙值36%时才有明显的脉动电流,因此可以推论:具有半集中绕组的大容量水轮发电机组运行时不会轻易造成气隙偏移保护的频繁动作而又无法处理的局面。

(5)做为气隙偏移保护的过电流继电器的阻抗初步定为5欧姆左右。

(6)以BCD—25型差动继电器做为具有比率制动特性的横差及纵差继电器,当电流互感器的付边电流为5安时其整定值范围0.5安~2.5安是够用的。但电流互感器的付边电流选为1安时,BCD—25型继电器的整定范围应从0.1~0.5安左右,而且应有较强的制动特性。

(7)对电流互感器的技术要求,发电机端部磁场对互感器的影响,在另外的文章中阐述。

六、参考文献

- (1)大古力第三电站61.5万千瓦安水轮发电机的电气与机械设计特点。
“国外大电机” 1976年5、6期
- (2)PROCEEDINGS OF THE AMERICAN POWER CONFERENCE
“VOLUME” 31
- (3)大型机组晶体管继电保护工业试验
“继电器” 1977年第三期
- (4)多分支小电流中性点引线发电机的继电保护
“继电器” 1978年第4期
- (5)大型机组晶体管继电保护
清华大学电力系
许昌继电器研究所
- (6)APPLIED PROTECTIVE RELAYING
“CHAPTER VI”
- (7)ОСНОВЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
“А.М.Федосеев”
- (8)INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEVELOPMENTS IN
POWER SYSTEM PROTECTION
PP.206 L. P. CAVERO
- (9)BCD—25型差动保护的动模试验。