

# 大型发电机注入式定子单相接地保护的调试和运行

李德佳<sup>1</sup>, 毕大强<sup>2</sup>, 王维俭<sup>2</sup>

(1. 核电秦山联营有限公司, 浙江 海盐 314300; 2. 清华大学电机系, 北京 100084)

**摘要:** 对秦山二期 650 MW 发电机注入式定子单相接地保护的调试和运行情况进行了总结, 分析了发电机中性点经配电变压器二次侧接电阻的等效电路对注入式单相接地保护导纳判据的影响, 探讨了考虑相应参数的影响来提高接地故障过渡电阻值的计算精度, 进一步提高了保护的灵敏度。

**关键词:** 发电机; 定子接地保护; 外加电源; 测量精度

**中图分类号:** TM772 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2004)16-0051-06

## 0 引言

对于大型发电机的单相定子接地保护应满足两点技术要求: 首先应保证动作无死区, 并有足够的保护灵敏度; 其次是启、停机过程中, 单相接地保护应不失去作用。由于外加 20 Hz 电源方案能满足该要求, 并且在国内有一定的运行经验。因此, 在大型发电机定子单相接地保护的方案选择中, 有较大的优势。秦山二期外加 20 Hz 电源的发电机定子单相接地保护由西门子的 20 Hz 电源装置(型号: 7XT3110 - 1/CC)、20 Hz 滤波器(型号: 7XT3200 - 0/CC)及许继电气生产的 WFB - 100 型微机发变组保护装置构成。该装置 2002 年 2 月投入至今, 经历过区外三相短路 1 次、单相接地 20 次未发生过任何误动作和任何异常。本文意在通过总结发电机注入式定子单相接地保护在调试和运行中遇到的问题, 探讨具体的解决方案。在此基础上进一步完善、提高和推进该保护的国产化。

## 1 秦山二期 650 MW 发电机注入式定子单相接地保护情况介绍

### 1.1 机组情况

秦山二期机组采用单元接线并装设了发电机出口开关, 机组正常启、停不需要切换厂用电, 在遇到发电机开关以内的故障如发电机、汽轮机、核岛故障时, 只须跳开发电机开关, 不需要切换厂用电, 厂用电扰动小、可靠性较高。同时满足了核电站应具有两路相对独立的厂外电源的要求。

发电机中性点采用经接地变压器的高阻接地方式。发电机中性点接地设备为与定子接地保护用的 20 Hz 电源相匹配, 接地变压器的一个二次绕组额定电压为 500 V。树脂浇注干式接地变压器的型号:

DDBC - 50/20; 额定容量: 50 kVA; 额定电压:  $(20/\sqrt{3})/0.5/0.1$  kV; 额定电流: 2.5/58/1.2 A; 负载损耗: 727.9 W (75<sup>°</sup>); 阻抗电压: 4.34%; 空载损耗: 328.1 W; 空载电流: 1.62%; 接地变压器的二次电阻为 6.5 $\Omega$ ; 电阻发热按 20 s 计算。

发电机电压回路单相电容计算值: 发电机  $C_g = 0.237 \mu\text{F}$ ; 升压变压器  $C_{MT} = 0.019 \mu\text{F}$ ; 厂用变压器  $C_{ST} = 0.032 \mu\text{F}$ ; 封闭母线  $C_b = 0.0059 \mu\text{F}$ 。发电机电压回路总的单相电容计算值为  $C = 0.293 \mu\text{F}$ 。

### 1.2 定子单相接地保护的情况

保护装置构成示意图见图 1。

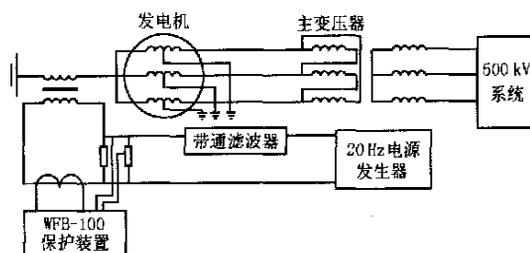


图 1 20 Hz 定子单相接地保护构成图

Fig. 1 Schematic diagram of 20 Hz stator single-phase ground protection

20 Hz 电源装置的额定电压: 22 V; 额定电流: 3 A; 额定频率: 20 Hz。20 Hz 滤波器是由 R - L - C 串联电路构成,  $f_0 = 20$  Hz;  $R_0 = 8 \Omega$ ; 可承受 550 V 交流不小于 30 s。

微机保护: 电压输入回路采用了 3 支 510 $\Omega$ 、50 W 的电阻串联分压构成, 输入装置的电压为输入电压的 1/3。电流输入回路采用了 10/5 的中间变流器。

保护定值: 50 Hz 基波电流 5.78 A, 延时 1 s 跳闸停机; 接地电阻高值(一次值) 5 000 $\Omega$ , 延时 5 s 发信号; 接地电阻低值(一次值) 500 $\Omega$ , 延时 0.2 s 跳闸

停机。中性点接地变压器的综合变比为  $23 \times \sqrt{3}/2 = 28$ 。

### 1.3 保护原理简介

20 Hz 定子单相接地保护是在发电机定子回路对地之间外加一个 20 Hz 电源,发电机正常运行时,三相定子回路对地是绝缘的,20 Hz 电源只产生很小的电容电流。而发生定子单相接地故障时,20 Hz 电源将产生较大的电流使保护动作。由于保护装置的信噪比高,只要很小的偏移电压即能可靠动作。注入电压的频率选择应尽可能降低,以减少对地电容电流;同时考虑到星接的电压互感器的励磁阻抗,频率又不能太低,最终选用 20 Hz。此电压的幅值一般为 1%~3% 发电机额定相电压值,故对发电机的绝缘寿命无影响。

保护装置的算法:是通过傅氏算法计算 10 Hz 电压、电流的二次谐波分量的方法来完成 20 Hz 分量计算的。这种方法不仅 20 Hz 分量能有效地提取出来,而且可滤除其它所有 10 Hz 的倍频信号(包括 50 Hz 工频)干扰信号。由于发电机定子绕组发生单相接地后,定子回路的对地阻抗将发生变化。保护装置测量到的电压、电流相量也相应改变,通过式(1)可计算出接地过渡电阻  $R_K$ 。

$$R_K = \frac{n^2}{\operatorname{Re}(I_{20}/U_{20})} \quad (1)$$

式中: $n$  为中性点接地变压器的综合变比; $U_{20}$  为保护装置测量到的 20 Hz 电压; $I_{20}$  为保护装置测量到的 20 Hz 电流; $\operatorname{Re}$  为虚数取实部。

### 1.4 定值整定

#### 1.4.1 中性点接地变压器综合变比的整定

中性点接地变压器综合变比的整定应当包括接地变压器变比、电流互感器变比、电压分压器变比 3 部分。

$$n = n_v \sqrt{K_U/K_I} \quad (2)$$

式中: $K_U$  为电压分压器变比; $K_I$  为电流互感器变比; $n_v$  为接地变压器变比。

#### 1.4.2 后备工频电流保护整定

##### 1) 动作值

在全偏移电压下,保护测量电流

$$I_{50} = \frac{500}{R_b \times K_I} \quad (3)$$

式中: $R_b$  为中性点接地变压器的二次电阻。

一般取保护动作区为 80%,即当偏移电压达到全偏移电压的 20%时,保护必须动作。因此,电流整定值也取 20%,则整定值为:

$$I_{50} = \frac{0.2 \times 500}{R_b \times K_I} \quad (4)$$

##### 2) 延时时间

取下列两个条件的最小值,即接地变压器的过载持续运行时间与系统接地保护的配合时间。

#### 1.4.3 接地电阻整定计算

##### 1) 动作值

我国对于各容量机组的安全接地电流有明确规定(发电机额定电压 18 kV 及以上不大于 1 A)。而有些国家由于电网容量储备较大,定子接地保护大多作为发电机的主保护,一旦绝缘下降到规定值以内,便在短时间内切机,避免事故扩大造成严重损失。

建议接地电阻低定值按在距发电机中性点的 20% 以内发生单相接地,接地点故障电流  $3I_0$  不大于安全接地电流  $I_s$  为原则整定。即:

$$|3I_0| = \left| \frac{0.2 \times 3U_n/\sqrt{3}}{3R_K + 3R_N / (-jX_{c0})} \right| I_s \quad (5)$$

式中: $R_K$  为接地过渡电阻; $R_N$  为中性点一次接地电阻值; $X_{c0}$  为每相对地的容抗。

接地电阻高定值整定:按照发电机的绝缘水平和定子冷却水的电导率,同时考虑中性点接地变压器、机端电压互感器、升压变低压侧、高厂变高压侧、离相封闭母线的绝缘水平。在保证正常运行不误发信号的前提下取值越大越好。

##### 2) 延时时间

接地电阻低定值宜取 0.5~2 s;接地电阻高定值宜取 2~4 s。

## 2 中性点接地电阻的选取及与定子单相接地保护灵敏度的配合

### 2.1 接地故障电流的计算

发电机定子绕组发生单相金属性接地故障时,接地故障电流的大小主要取决于发电机电压回路每相对地电容值的大小及接地点的位置。

秦山二期发电机电压回路总的单相电容计算值为  $C = 0.239 \mu\text{F}$ ,在机端发生定子绕组单相金属性接地故障时,接地故障电流为:

$$3I_0 = \frac{3U_n/\sqrt{3}}{1/C} = 3.18 \text{ A} \quad (6)$$

根据计算结果可知,该故障电流已超过我国有关规程规定的允许值。因而参照 ANSI/IEEE C37.101“发电机接地保护导则”的要求在发电机中性点与地之间接入接地变压器并在发电机定子单相接地

保护装置的配合下快速切除接地故障,以防止发电机定子铁心烧损。

## 2.2 中性点接地电阻值的选取

国内外惯例,发电机中性点接地电阻值一般取等于或小于发电机对地容抗值时,认为对限制接地故障时的定子绕组弧光暂态过电压有利。

已知:  $U_c = 20 \text{ kV}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $C = 3 \times 0.293 \mu\text{F}$ 。

中性点接地电阻功率的选择:

$$P_R = 1.1 C (U_c/\sqrt{3})^2 = 1.1 \times 314 \times 3 \times 0.293 \times 10^{-6} \times (20\,000/1.732)^2 = 40\,480.88 \text{ W} \quad (7)$$

中性点接地电阻的阻值选择:

$$R = \frac{(U_c/\sqrt{3})^2 (n_v)^2}{P_R} = \frac{(20\,000/1.732)^2 \times (865 \times 20\,000)^2}{40\,480.88} = 6.16 \quad (8)$$

实际取值为 6.5。

## 2.3 中性点接地变压器的变比选择

根据 20 Hz 注入电源电压的幅值一般为 1% ~ 3% 发电机额定相电压值的要求,来校核中性点接地变压器的变比选择的是否合适。

$$(20\,000/865) \times 6.5 \times 22 / (6.5 + 8) = 228 \text{ V}$$

$$228 / (20\,000/1.732) = 1.732 \times 1.14\% = 1.97\%$$

由此可见中性点接地变压器变比大小与定子单相接地保护灵敏度的相互配合是满足要求的。

## 3 调试中发现的问题

### 3.1 保护装置输入电压的选取问题

保护装置输入电压取自分压器,分压器的输入电压不应取自保护屏,应直接取自中性点接地电阻,如图 2 所示。

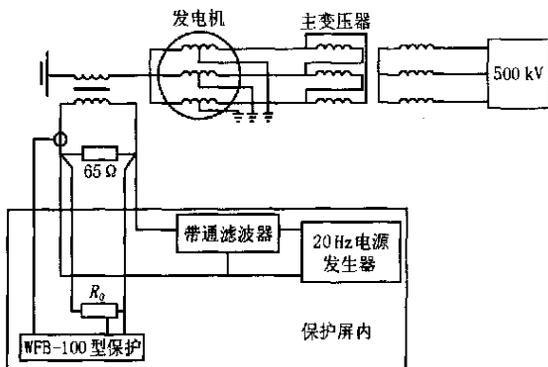


图 2 20 Hz 定子单相接地保护实际接线图

Fig. 2 Real connection of 20 Hz stator single-phase ground protection

秦山二期保护屏距中性点接地变压器的距离

约 100 m,采用 2.5 mm<sup>2</sup> 铜芯连接电缆。铜的电导率 = 57 m/(mm<sup>2</sup> · ),计算连接电缆的电阻  $R_1 = 200 / (2.5 \times 57) = 1.4$ ,端子接触电阻  $R_2 = 0.2$ ,总电阻为  $R = 1.6$ 。分压器的输入电压取自不同位置对保护测量电压的影响见表 1。由表 1 的计算可见:分压器的输入电压取自保护屏时,虽然测量电压的误差随一次接地电阻的增加逐渐减小,但在 0 ~ 5000 测量范围里的最小测量误差为 41%。20 Hz 定子单相接地保护的测量精度要求为 ±10%,这种接线方式不满足要求,实际工程中决不能采用这种设计。

## 3.2 中间变流器变比的选择

20 Hz 定子单相接地保护包括 50 Hz 基波电流的后备保护和 20 Hz 测量电阻的主保护,保护装置的测量电流输入回路是公用的。因此,中间变流器变比的选择要两方面兼顾。

中间变流器变比可按以下两种条件选择:

1) 按机端发生接地故障时,中性点接地变压器二次最大零序电流来选择。

2) 按发电机定子中性点侧 15% ~ 20% 范围内发生金属性接地故障时,中性点接地变压器二次的零序电流来选择。

下面列举两例,分析 20 Hz 电源装置、中间变流器、保护装置电流测量范围的配合。

例 1,某 300 MW 火电厂:中性点接地变压器变比为  $(18\,000/1.732)/500 \text{ V}$ ;二次电阻为 2.4;保护定值:50 Hz 基波电流 0.8 A;20 Hz 低电压闭锁值 1 V;20 Hz 低电流闭锁值 10 mA;接地电阻低定值为 1 k;接地电阻高定值为 4 k;中间变流器变比为 200/5。

当机端发生金属性接地故障时,中性点接地变压器二次有零序电压 500 V,则中性点接地变压器二次将产生  $500/2.4 = 208 \text{ A}$  的零序电流。中间变流器变比的选择是按方式 1) 选取的。50 Hz 基波电流的定值是按发电机定子中性点侧的 15% 范围内发生金属性接地故障时,中性点接地变压器二次零序电流来整定的。

20 Hz 电源装置:额定电压 22 V;额定电流 3 A。中间变流器二次电流最大为  $3/40 = 0.075 \text{ A}$ 。因此,微机保护装置的额定电流应选择为 1 A。考虑到保护装置的测量误差为不超过额定电流的 1%,则微机保护装置能测量的最小电流为 10 mA,满足保护的要求。

例 2,秦山二期:当机端发生金属性接地故障

时,中性点接地变压器二次有零序电压 500 V,则中性点接地变压器二次将产生  $500/6.5 = 77$  A 的零序电流。中间变流器变比的选择是按方式 2) 进行的。50 Hz 基波电流的定值是按发电机定子中性点侧的 15 % 范围内发生接地短路故障时,中性点接地变压器二次零序电流来选择的。

20 Hz 电源装置:额定电压 22 V;额定电流 3 A。中间变流器二次电流最大为  $3/2 = 1.5$  A。因此,微机保护装置的额定电流应选择为 5 A。考虑到保护的测量误差为不超过额定电流的 1 % ,则微机保护装置能测量的最小电流为 50 mA ,满足保护的要求。

中间变流器的热稳定和误差问题:中间变流器为 5P;准确限值系数为 41;额定二次负荷为 1.2 ( $\cos \phi = 0.8$ );折算到一次侧的短路阻抗为 0.04 。泰山二期所用中间变流器一次电流实际倍数是  $77/10 = 7.7$  ,由中间变流器的技术参数可见中间变流器的热稳定和误差无问题。同时,中间变流器的阻抗对中性点接地电阻值的影响可忽略。从现场的实用性来看,建议采用套管型中间变流器,这样可解决接线和安装问题。

### 3.3 接地电阻测量误差问题和提高测量精度的方法

导纳方法中接地电阻的测量包括两种计算方法。

1) 忽略漏抗和励磁阻抗时的计算公式:

$$R_K = \frac{n^2}{\text{Re}(I_{20}/U_{20})} \quad (9)$$

2) 忽略励磁阻抗、计入漏抗压降时的计算公式:

$$R_K = \frac{n^2}{\text{Re}\left[\frac{I_{20}}{U_{20} - I_{20}(R_s + jX_s)}\right]} \quad (10)$$

式中:  $R_s + jX_s$  为中性点接地变压器的漏阻抗。

考虑中性点接地变压器参数的型等效电路,见图 3 所示。

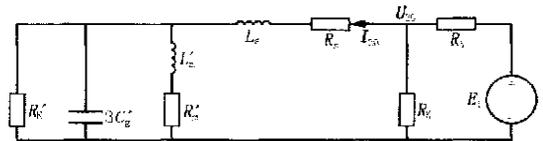


图 3 中性点接地变压器参数的型等效电路

Fig. 3 type of equivalent circuit of transformer parameters with neutral earthing

表 1 分压器的输入电压取自不同位置保护测量电压及误差的计算对比

Tab. 1 Comparison of voltage and its errors measured from different positions of voltage divider

一次接地电阻/ 电阳/	保护测量电流 $I_{20}$ (实测值)/A	直接取自中性点接地电阻时保 护测量电压 $U_{20}$ (实测值)/V	取自保护屏时保护测量电压 $U_{20}$ (计 算值)/V $U_{20} = U_{20} + (I_{20} + U_{20}/6.5) \times R$	误差计算/(%) $(U_{20} - U_{20})/U_{20}$
0	1.840	0.708	3.82	439
300	1.650	1.410	4.39	211
400	1.622	1.750	4.77	173
500	1.560	2.040	5.04	147
1 000	1.330	2.930	5.78	100
2 000	1.060	4.420	7.20	63
3 000	0.860	5.400	8.10	50
4 000	0.750	6.000	8.67	44
5 000	0.660	6.550	9.22	41
	0.106	10.100	12.76	26

根据中性点接地变压器参数,计算折算到二次侧(500V)的变压器等效电路工频参数值:  $R_s = 0.216$  ,  $L_s = 1.95 \times 10^{-3}$  H; 励磁阻抗为  $R_m = 371.5$  ,  $L_m = 2.68$  H。频率为 20 Hz 情况下的变压器等效电路参数值  $R_s + jX_s = 0.216 + j0.245$  ,  $R_m + jX_m = 371.5 + j336.6$  。

由表 2 的数据可求出,中性点接地变压器 20 Hz 频率下的实测参数:  $R_s + jX_s = 0.236 + j0.303$  ,  $R_m + jX_m = 79 + j53.28$  。漏阻抗与计算值相差很小,而变压器不同饱和程度下的励磁阻抗值相差较大,建议实际工程中采用 20 Hz 电源作用下的实测

参数。20 Hz 定子单相接地保护的测量范围为 0 ~ 5 000 ,折算到中性点接地变压器二次侧的数值为 0 ~ 9.45 。由于中性点接地变压器的励磁阻抗与一次接地电阻相差一个数量级,忽略中性点接地变压器的励磁阻抗对测量误差影响不大。

由表 2 的数据可见:正常运行时,由 20 Hz 定子单相接地保护测量的发电机电压回路三相对地总的电容值为 0.5  $\mu$ F 左右,与计算值 0.9  $\mu$ F 有一定差距。

由表 2 的数据分析可见:忽略中性点接地变压器的漏抗和励磁阻抗情况下,一次接地电阻的计算

值相对误差较大。计入中性点接地变压器的漏抗和忽略励磁阻抗情况下,一次接地电阻的计算值相对误差较小,可满足工程中要求的技术指标( $\pm 10\%$ )。

表2 导纳方法计算接地电阻的对比

Tab.2 Comparison of the calculation value of grounding resistance using admittance method

一次接地电阻/ 电导/ 电导	保护测量电流		直接取自中性点接地变压器的二次绕组时保护测量电压 $U_{20}$ (实测值)/V		忽略漏抗和励磁阻抗		计入漏抗和忽略励磁阻抗	
	$I_{20}$ (实测值)/A		$U_{20}$ (实测值)/V		电阻 $R$ (实测值)/ 电导	相对误差/(%)	电阻 $R$ (计算值)/ 电导	相对误差/(%)
0	1.840	194°	0.708	66°	363		0	0
300	1.650	189°	1.410	25°	460	-86.00	314	4.60
400	1.622	106°	1.750	297°	571	42.00	442	10.00
500	1.560	19°	2.040	209°	682	36.40	557	10.00
1 000	1.330	121°	2.930	304°	1 130	13.00	1 048	4.80
2 000	1.060	186°	4.420	4°	2 092	4.60	2 102	5.10
3 000	0.860	310°	5.400	128°	3 158	5.20	3 222	7.40
4 000	0.750	181°	6.000	355°	4 009	0.23	4 170	4.25
5 000	0.660	169°	6.550	343°	4 987	-0.26	5 194	3.90
	0.106	224°	10.100	78°				
正常运行	0.470	223°	8.800	293°	42 918		44 682	
						容抗 15 621 电容 0.51 $\mu$ F		容抗 15 875 电容 0.502 $\mu$ F

### 3.4 动作时间的误差问题

由于保护算法是通过提取 10 Hz 频率的二次谐波分量的傅氏计算来实现的。因此,保护的数据窗长度为 100 ms,这样保护动作时间就存在一个 100 ms 的固定误差。经计算可求得保护时间定值 4 s 时,保护不满足主要技术指标中要求时间定值误差为  $\pm 2.5\%$  的要求。

建议今后软件编程时考虑算法的固有延时对保护动作时间的影响,使时间定值误差满足要求。

## 4 运行中发现的问题

### 4.1 20 Hz 电源对发—变组保护频率测量的影响

发—变组保护频率测量原理是采用过零检测器和计时器构成,测量电压为相电压。

20 Hz 注入电源电压的幅值计算:  $(20\ 000/865) \times 6.5 \times 22/ (6.5 + 8) = 228\text{ V}$ ;  $1.732 \times 228/20\ 000 = 1.97\%$ 。

电压的叠加:  $u_a = 57.7 \times 1.414 \sin(314t)$ ;  $u_{a-20} = 1.14 \times 1.414 \sin(125.6t)$ ; 合成电压  $u = u_a + u_{a-20} = 57.7 \times 1.414 [\sin(314t) + 0.02 \sin(125.6t)]$ ; 波形见图 4。

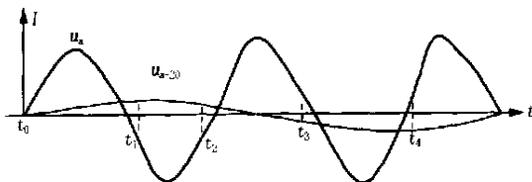


图4 50 Hz 与 20 Hz 电压波形图

Fig.4 Waveforms of 50 Hz and 20 Hz voltage

通过计算求得:  $t_0 = 0\text{ ms}$ ;  $t_1 = 10.06\text{ ms}$ ;  $t_2 = 19.96\text{ ms}$ ;  $t_3 = 30.03\text{ ms}$ ;  $t_4 = 40.06\text{ ms}$ 。

周期计算:

$T_0 = 1/(t_2 - t_0) = 50.1\text{ Hz}$ ;  $T_1 = 1/(t_3 - t_1) = 49.4\text{ Hz}$ ;  $T_2 = 1/(t_4 - t_2) = 49.75\text{ Hz}$ 。

保护所测量的频率范围在 49.4 ~ 50.1 Hz 之间变动,这种现象已被实际运行所证实。保护测量频率不准确将对差动保护、过频率、低频率、过激磁、低频累加等与频率有关的保护产生不同程度影响。

解决方法:由于发电机系统三相对地电容是基本对称的。因此,20 Hz 电源零序电压在相电压之差中含量较小。发—变组保护频率测量采用线电压可将 20 Hz 电源的影响降到最小。

### 4.2 20 Hz 电源装置的输入电源选取

20 Hz 电源装置输入电源通常取自发电机机端的电压互感器和厂用电系统供电,正常时使用前者。这样当发电机单相接地故障时,仍能可靠供给电源,而且保护不受厂用电系统干扰的影响。另外,也可以保证在发电机停机时,不会有杂散电压施加在发电机上。在停机时电源可切换到由厂用电系统供电,进行接地试验。缺点是增加了电压互感器的负载。

20 Hz 电源装置输入电源也可选取直流电源,在停机时可通过汽轮机转速检测器自动断开输入电源或用灭磁开关来进行控制。

### 4.3 连接电缆故障对保护的影响

保护装置输入电压取自分压器,分压器的输入电压选取有 3 种方式:

1) 取自保护屏;

- 2) 直接取自中性点接地变压器的二次绕组;
- 3) 直接取自中性点接地电阻。

3种情况的区别除了存在测量误差问题,还存在电压回路连接电缆短路时保护是否误动的问题。当运行中发生电压回路连接电缆短路时,前两种方式保护会误动,只有后一种方式保护不误动。因此,建议实际工程中采用第3种方式。

#### 4.4 在发电机启动和停机过程中,20 Hz 定子单相接地保护是否应被闭锁的问题探讨

20 Hz 定子单相接地保护通常仅在有限的频率范围内计算的电阻才有效,其频率范围与所采用的滤波器有关。要求有效频率在 40~55 Hz 范围内,在发电机启、停过程中,只要超过这个范围就不计算电阻值即将其闭锁,而靠接地工频过流保护动作。这是考虑发电机频率过低,会干扰 20 Hz 测量值。

实际工程中(以秦山二期为例)由于发电机的残压在 173 V(相电压)左右,对应 20 Hz 转速的残压在 70 V 左右。假设发电机一次不平衡电压为 5%,折算到中性点接地变压器二次的不平衡电压为 0.15 V,不平衡电流为 0.023 A,此时的测量电阻为 3 450 Ω。因此,为提高保护的利用率、减少保护的复杂性,笔者建议发电机启、停过程中,不需将 20 Hz 定子单相接地保护闭锁。秦山二期在发电机启、停过程中未将 20 Hz 定子单相接地保护闭锁,在调试和商运至今,发电机启、停过程中 20 Hz 定子单相接地保护从未发生过异常。

#### 5 20 Hz 定子单相接地保护的选择性分析

具有发电机出口开关的单元制接线方式所配置的接地保护应考虑选择性。20 Hz 定子单相接地保护其保护范围包括发电机的定子绕组、中性点接地变压器、离相封闭母线、电压互感器、发电机出口开关、升压变低压侧、高厂变高压侧等。保护配置应由定子单相接地保护和升压变低压侧接地保护构成。

这样当发生接地时,定子单相接地保护动作解列跳开发电机出口开关后,可根据两种保护的信号来判断接地故障所在范围。

## 6 结束语

随着发电机单机容量的逐渐增大,保护难度相应增大,注入式定子单相接地保护的应用将更为广泛。因此,有必要总结国产发电机注入式定子单相接地保护在调试和运行中遇到的问题,探讨具体的解决方案,并进行相应的改进,提高保护的灵敏度和可靠性,满足现代大型机组对接地保护的要求。

### 参考文献:

- [1] 王维俭,徐振宇,张振华(WANG Wei-jian, XU Zhen-yu, ZHANG Zhen-hua). 大型发电机定子单相接地保护的研讨(Research and Discussion on Single-phase Earth Protection of Large Generator Stator) [J]. 继电器(Relay), 1999, 27(4):6-9.
- [2] 邵能灵,尹项根,胡玉峰,等(TAI Neng-ling, YIN Xiang-gen, HU Yufeng, et al). 注入式定子单相接地保护的应用分析(Analysis and Application of Injection Voltage Scheme Against Generator Stator Ground Faults) [J]. 继电器(Relay), 2000, 28(6):15-19.
- [3] 毕大强,王祥珩,王维俭(BI Da-qiang, WANG Xiang-heng, WANG Wei-jian). 发电机中性点接地装置等效电路的分析(Analysis on the Equivalent Circuit of Grounding Equipments at the Neutral of Power Generator) [J]. 继电器(Relay), 2003, 31(1):12-17.

收稿日期: 2003-11-10; 修回日期: 2004-04-20

作者简介:

李德佳(1964-),男,高级工程师,主要从事继电保护的调试和运行; E-mail: jiajiadedelili@sohu.com

毕大强(1973-),男,博士,主要从事电气主设备继电保护研究;

王维俭(1930-),男,教授,长期从事电气主设备继电保护的教学和科研工作。

### Adjustment and operation of injection voltage scheme against the stator single-phase-to-ground fault of large generators

LI De-jia<sup>1</sup>, BI Da-qiang<sup>2</sup>, WANG Wei-jian<sup>2</sup>

(1. Nuclear Power Qinshan Joint Venture Co., Ltd., Haiyan 314300, China;

2. Mechanical Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Adjustment and operation of injection voltage scheme against the stator ground fault are summarized and analyzed in the second stage of Qinshan 650MW generator, and corresponding resolutions are proposed. The effects of equivalent circuits of grounding equipment at the neutral on the protection of ground fault by injecting signals are expatiated. The accuracy of calculating transient resistance and the sensitivity of protection can be improved considering these parameters.

**Key words:** generator; stator ground fault protection; injection voltage; measurement accuracy