漫湾电厂发电机3ω定子接地保护调试

王春, 张为民, 何镇

(云南省漫湾发电厂, 云南 云县 675805)

摘要: 介绍了漫湾电厂发电机3ω定子接地保护原理、调试方法及发电机定子三次谐波电压的测试。

关键词: 发电机3ω定子接地保护; 发电机定子三次谐波电压

中图分类号: TM773 **文献标识码**: B **文章编号**: 1003-4897(2001)04-0063-04

漫湾电厂发电机型号为SF250-48/12650,根据《继电保护和安全自动装置技术规程》规定:100MW及以上的发电机,应装设保护区为100%的定子接地保护。漫湾电厂定子接地保护由三次谐波电压+基波零序电压原理定子接地保护构成。介绍了三次谐波电压原理定子接地保护(简称3ω定子接地保护)在增设发电机断路器后的调试。

1 漫湾电厂3ω定子接地保护概述

漫湾电厂发电机中性点经消弧线圈接地,采用欠补偿方式,发电机3ω定子接地保护输入信号取自发电机机端电压互感器和发电机消弧线圈二次绕组。3ω定子接地保护动作判据为:

$$|\dot K_1\dot U_{S3} - \dot K_2\dot U_{N3}| \geq \dot K_3|\dot U_{N3}| \qquad (1)$$

式中 $\dot U_{S3}$为机端三次谐波电压(二次侧); $\dot U_{N3}$为中性点三次谐波电压(二次侧); $\dot K_1$, $\dot K_2$为调整系数; $\dot K_3$为制动比系数。

3ω定子接地保护整定内容及方法:

1.1 整定内容

a) $\dot K_1$, $\dot K_2$整定(即动作电压调整),根据发电机三次谐波电压大小和相位整定动作量,使之在正常运行时最小。

b) $\dot K_3$(即制动电压调整),根据发电机要求的灵敏度大小整定制动量,使之达到所需要的灵敏度,水轮发电机组灵敏度一般推荐为1-10kΩ。

1.2 $\dot K_1$, $\dot K_2$, $\dot K_3$整定方法

a) 开启发电机,最好带20%-30%的负荷;

b) 整定动作量,调整 $\dot K_1$、$\dot K_2$值使动作判据方程左式$|\dot K_1\dot U_{S3} - \dot K_2\dot U_{N3}|$为零或最小,动作量整定完毕;

c) 整定制动量:在发电机中性点挂一接地电阻(接地电阻的大小根据发电机要求的灵敏度而定)调整制动量,制动量等于动作量时保护可靠动作,撤出发电机中性点接地电阻后保护可靠返回,动作量为零或最小。

2 增设发电机断路器后,发电机3ω定子接地保护调试

漫湾电厂发电机与变压器采用单元接线,起初未装设发电机断路器,后根据需要装设了ABB公司生产的发电机断路器。发电机断路器系统接线如图1所示,为限制过电压在发电机侧、变压器侧对地分别接有电容,文献[1]中称冲击波吸收电容。

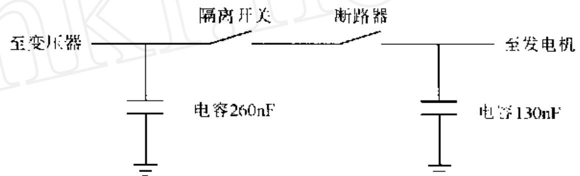

图1 发电机断路器A相系统接线图
(B、C相接线,参数和A相相同)

大型水轮发电机与超高压(220kV以上)系统并网时,高压侧三次谐波电势 $\dot E_{3H}$对发电机机端和中性点三次谐波电压 $\dot U_{S3}$、$\dot U_{N3}$的影响可忽略不计,则漫湾电厂发电机三次谐波电压简易等值电路如图2所示。

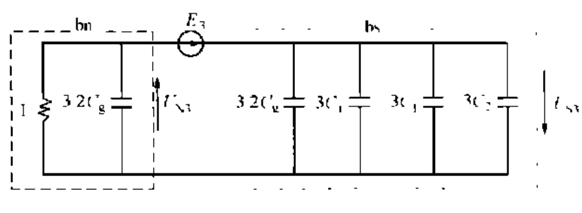

图2 漫湾电厂三次谐波电压简易等值电路图

图中 $\dot E_3$ ——发电机三次谐波电势;

C_g ——发电机每相对地电容;

C_t ——发电机母线、升压变压器、高压厂用变压器等元件每相对地电容;

C_1 ——发电机断路器发电机侧每相对地所接电容;

C_2 ——发电机断路器变压器侧每相对地所接电容；

L ——消弧线圈电感；

b_n ——发电机中性点三次谐波等值电纳；

b_s ——发电机机端三次谐波等值电纳；

发电机机端和中性点三次谐波电压 $\dot{U}_{S3}$、$\dot{U}_{N3}$ 分别为

$$\dot{U}_{S3} = \frac{b_n}{b_n + b_s}\dot{E}_3$$

$$\dot{U}_{N3} = \frac{b_s}{b_n + b_s}\dot{E}_3$$

其中：

$$b_n = \frac{9}{2}\omega C_g - \frac{1}{3\omega L} = \frac{9}{2}\omega C_g - \frac{1}{K}\omega(C_g + C_t + C_1 + C_2)$$

$$b_s = 9\omega(\frac{1}{2}C_g + C_t + C_1 + C_2)$$

式中：ω ——基频角速度；

K ——消弧线圈补偿系数

从漫湾电厂三次谐波等值电路及以上公式不难得出：

a) 安装发电机断路器后，由于断路器两侧对地接有电容器，发电机正常运行时，$b_s - b_n$增大，故 $|\dot{U}_{N3} - \dot{U}_{S3}|$ 也增大，这对 3ω定子接地保护灵敏度将有影响。

b) 如果采用发电机断路器进行并网操作，从图 1 可知，发电机空载或并网后，发电机机端外接电容不同，当发电机从空载建压至并网(或从并网到空载)发电机机端和中性点三次谐波电压 $\dot{U}_{S3}$、$\dot{U}_{N3}$的幅值将会有较大变化，对采用 $|\dot{K}_1\dot{U}_{S3} - \dot{K}_2\dot{U}_{N3}| \geq \dot{K}_3|\dot{U}_{N3}|$ 作动作判据的 3ω定子接地保护的正常运行会产生影响。

c) 认真测量发电机从空载建压至并网运行后各种工况下，发电机机端和中性点三次谐波电压 $\dot{U}_{S3}$、$\dot{U}_{N3}$的变化情况，是正确调试发电机 3ω定子接地保护的基础。

2.1 发电机三次谐波电压测试

在已安装了发电机断路器的 5 号发电机上，测量从零起升压至额定功率运行工况下，发电机机端三次谐波电压 $\dot{U}_{S3}$和中性点三次谐波电压的变化情况。测量结果如下表所示。

表 1 机端电压从4.6kV 升至额定电压15.75kV 时，发电机三次谐波电压测量结果

机端电压(kV)		4.6	8.9	11.37	13.6	15.35	15.75
$\dot{U}_{N3}$	幅值(V)	0.66	1.24	1.6	2.00	2.54	2.7
	相位(度)	95	95	95	94	93	93
$\dot{U}_{S3}$	幅值(V)	0.53	1.02	1.3	1.63	2.08	2.21
	相位(度)	92	93	92	92	91	90
$\dot{U}_{S3}$ $\dot{U}_{N3}$相位差 (度)		3	2	3	2	2	3
$\|\dot{U}_{S3}\|/\|\dot{U}_{N3}\|$		0.803	0.822	0.813	0.815	0.819	0.818

表 2 发电机在并网后不同工况下三次谐波电压测量结果

有功(MW)		30	30	33	33	33	33	50	130	140	187	200	250
无功(MVAR)		28	30	50	60	100	130	50	20	58	55	50	47
$\dot{U}_{N3}$	幅值(V)	2.43	3.23	3.48	3.48	3.79	3.84	3.29	2.41	2.80	2.43	2.25	2.17
	相位(度)	108	103	101	101	99	99	109	151	138	160	174	162
$\dot{U}_{S3}$	幅值(V)	1.41	1.85	1.99	2.00	2.16	2.25	1.89	1.40	1.61	1.43	1.31	1.26
	相位(度)	104	101	99	99	97	96	107	148	135	155	169	173
$\dot{U}_{S3}$ $\dot{U}_{N3}$相位差(度)		4	2	2	2	2	3	2	3	3	5	5	11
$\|\dot{U}_{S3}\|/\|\dot{U}_{N3}\|$		0.58	0.57	0.57	0.56	0.57	0.58	0.57	0.58	0.57	0.58	0.58	0.58

1996 年有关单位对漫湾电厂 5 号发电机在不同工况下三次谐波电压变化情况也做了测试(未安装发电机断路器)，由于当时对三次谐波电压变化规律认识不足，测量条件为无功 Q 固定，有功 P 从空载变化至额定工况下 $\dot{U}_{N3}$、$\dot{U}_{S3}$的变化情况，且未进行相位测量。

表 3 安装发电机断路器前，不同工况下发电机三次谐波电压变化情况

有功(MW)	0	50	100	150	200	250
$\dot{U}_{N3}$(V)	2.997	2.854	2.606	2.183	1.91	1.72
$\dot{U}_{S3}$(V)	2.883	2.71	2.486	2.105	1.825	1.639
$\|\dot{U}_{S3}\|/\|\dot{U}_{N3}\|$	0.945	0.953	0.95	0.964	0.955	0.952

测试数据分析：

a) 在发电机机端电压从4.6kV 升至15.75kV 过程中,测量三次谐波电压变化情况主要是掌握发电机空载阶段,机端三次谐波电压与中性点三次谐波电压的变化规律。从表 1 看出,在机端电压变化过程中,$|\dot{U}_{S3}|<|\dot{U}_{N3}|$,$|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}|$ 的比值基本为常数,$\dot{U}_{S3}$与 $\dot{U}_{N3}$相位差在 2～3 度范围变化,相位基本相同。

b) 表 2 主要是反映并网运行后在不同有功 P、无功 Q 工况下,$\dot{U}_{S3}$与 $\dot{U}_{N3}$的变化情况。由于在测量过程中,有功无功波动,且测量本身具有一定误差,造成某些数据测量误差增加。从表 2 可看出,在任何工况下$|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}|$ 恒小于1.0且$|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}|$ 基本不随运行工况而变。$\dot{U}_{S3}$与 $\dot{U}_{N3}$的相位差在 2～5 度范围波动。在 $P=250$MW, $Q=47$MVAR 时 $\dot{U}_{S3}$与 $\dot{U}_{N3}$相位差为 11 度,值得怀疑,由于测试后没有及时对数据进行分析,故该点数据没有复测。

c) 从表 1、表 2、表 3 可以看出,发电机机端没有接冲击波吸收电容时$|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}|\approx0.95$,$|\dot{U}_{S3}|$ 与$|\dot{U}_{N3}|$ 的值基本接近,外接冲击波吸收电容后,$|\dot{U}_{S3}|$ 与$|\dot{U}_{N3}|$ 的差值变大。外接冲击波吸收电容越大$|\dot{U}_{S3}|$ 与$|\dot{U}_{N3}|$ 的值相差越大。空载时(发电机断路器分),发电机机端与中性点三次谐波电压幅值比$|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}|\approx0.8$;并网后$|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}|\approx0.58$。

d) 水轮发电机组理论上$|\dot{U}_{S3}|$ 与$|\dot{U}_{N3}|$ 随 P、Q 改变而改变。在任何工况下,单元接线发电机,其$|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}|$ 恒小于1.0且$|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}|$ 基本不随运行工况而变。正常运行时,$\dot{U}_{S3}$与 $\dot{U}_{N3}$相位基本一致,漫湾电厂 5 号发电机三次谐波测试结果基本与此吻合。

2.2　安装发电机断路器后,对发电机 3ω定子接地保护调整

2.2.1　选择发电机轻载工况,调整 3ω定子接地保护,整定方法同1.2款所述。

调试结果发电机 3ω定子接地保护在发电机并网运行的各种正常工况下,装置不会误动。但只要断开发电机断路器,装置即动作。由于发电机 3ω定子接地保护灵敏度已选择为 2 K,不宜再调整制动比系数 K_3,增加装置制动量。

2.2.2　选择发电机空载工况,调整 3ω定子接地保护,整定方法同1.2款所述。

整定完毕后,合上发电机断路器,调整预先接于发电机中性点的接地电阻,校验在轻载工况下,3ω定子接地保护灵敏度,降至 2 K 装置未能动作,降至 1 K,仍未动作。

安装发电机断路器后,开、停机由操作 500kV 断路器改为操作发电机出口断路器,由于发电机在空载或并网后机端外接冲击波吸收电容不同,导致发电机从空载至并网(或从并网至空载)发电机机端和中性点三次谐波电压的突然变化,从表 1、表 2 测量数据可以看出,并网时$|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}|\approx0.58$,空载时$|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}|\approx0.81$,$\dot{U}_{S3}$和 $\dot{U}_{N3}$的幅值变化很大,采用$|\dot{K}_1\dot{U}_{S3}-\dot{K}_2\dot{U}_{N3}|\geq\dot{K}_3|\dot{U}_{N3}|$ 作为动作判据 3ω定子接地保护,如果只在空载和并网后的某一工况进行调整,可能出现在其它工况下的拒动和误动,以上调整试验说明了这一点。漫湾电厂采用$|\dot{K}_1\dot{U}_{S3}-\dot{K}_2\dot{U}_{N3}|\geq\dot{K}_3|\dot{U}_{N3}|$ 为动作判据的 3ω定子接地保护装置用同一调整系数 $\dot{K}_1$、$\dot{K}_2$,同一制动系数 $\dot{K}_3$ 来同时满足发电机在空载和负载工况时对装置灵敏度和可靠性的要求。调整十分困难。

2.2.3　解决方案

漫湾电厂发电机-变压器组保护装置共配置两套原理相同的 3ω定子接地保护,为避免在现场对二次接线作较大变动,故将装于发电机-变压器组保护 A 屏的 3ω定子接地保护改为在并网后自动投入,在发电机轻载工况下调整装置的动作量和制动量。其可靠性要求在并网运行的各种正常工况下不能误动,灵敏度选择为 2 K 校验。装在 B 屏的 3ω定子接地保护,只在空载工况下投入,在空载工况下校验装置的灵敏度和可靠性。两套装置的投入或退出由发电机断路器辅助触点控制。经过处理,两套装置运行正常,并网运行后投入的 3ω定子接地保护在发电机正常运行各种工况下尚未发生过误动。发电机 3ω定子接地保护现投信号位运行。

经上述处理,加上原装置设计中所具有一些半手动、自动整定手段,使 3ω定子接地保护的调试变得相对简单。不足的是,经过处理发电机在空载或并网运行工况仅有一套发电机 3ω定子接地保护投入运行。制造厂可采用自适应式的变参数作法,如运行中装置实时采集发电机断路器状态,确定机组运行状态,并投入相应的整定参数。这样两套 3ω定子接地保护在各种工况下都能投入运行。

3　对 3ω定子接地保护的几点体会

3.1　整定繁琐,容易误动

采用(1)式动作判据的 3ω定子接地保护一般在空载或轻载工况下调整 $\dot{K}_1$、$\dot{K}_2$ 使$|\dot{K}_1\dot{U}_{S3}-\dot{K}_2\dot{U}_{N3}|$ 为零。但是由于水轮发电机机端三次谐波电压 $\dot{U}_{S3}$和中性点三次谐波电压 $\dot{U}_{N3}$随发电机有

功、无功的变化而变化,在其它工况下| $\dot{K}_1\dot{U}_{S3}$ - $\dot{K}_2\dot{U}_{N3}$| 可能出现一个较大的不平衡量。为此需要现场实测在不同有功 P、无功 Q 工况下 $\dot{U}_{S3}$、$\dot{U}_{N3}$ 的变化规律,观察在不同有功 P、无功 Q 工况下装置是否有误动,如有误动,调整制动比系数 K_3,适当增加制动电压。这样做仍有误动的可能,漫湾电厂 3 号发电机 3ω定子接地保护在正常工况下能够不误动,但却在无功异常时发生了误动。而这种工况却无法实测与预料。

3.2 采用(1)式作为动作判据方案时,3ω定子接地保护由于要保证在发电机各种正常运行工况下不误动,制动比系数不能太小,必然影响装置的灵敏度。对水轮机灵敏度的选择一般推荐为 1～10kΩ,但实际整定时,选择 2kΩ 能保证在各种正常运行工况不误动。

3.3 采用(1)式作为动作判据的 3ω定子接地保护理论上能够实现 100 %定子接地保护。正常运行时,发电机中性点或机端侧三次谐波电压的丢失或异常降低可能导致误动,在运行中应引起重视。漫湾发电厂 3ω定子接地保护断开了机端侧三次谐波电压,会导致装置误动。

3.4 3ω定子接地保护常用的保护动作判据 $|\dot{U}_{S3}|/|\dot{U}_{N3}| \geq b$,较难满足机端外接冲击波吸收电容的大型发电机对定子接地保护灵敏度的要求。采用$|\dot{K}_1\dot{U}_{S3} - \dot{K}_2\dot{U}_{N3}| \geq K_3|\dot{U}_{N3}|$ 作为机端外接冲击波吸收电容的大型发电机 3ω定子接地保护动作判据,理论和实践证明,能够取得一定的灵敏度,但调试繁琐,特别是发电机机端外接冲击波吸收电容分布于发电机断路器两侧情况,需对保护程序做一些改动。目前,我国大型发电机机组断路器基本依赖进口,如天生桥、大朝山电厂都采用了与漫湾电厂类似的由 ABB 公司生产的断路器,需要不断积累这方面的运行经验。同时并采用一些其它原理的定子接地保护,如外附 20Hz 电源原理定子接地保护等。

参考文献:

[1] 王维俭. 发电机变压器继电保护应用. 北京:电力出版社,1998.

[2] 李玉海,张小庆,等. 关于定子接地保护的几个问题. 电力系统自动化,1999,(11):50 - 54.

收稿日期: 2000-09-28

作者简介: 王春(1971 -),男,助理工程师,主要从事继电保护试验工作; 张为民(1962 -),男,工程师,主要从事继电保护试验工作; 何镇(1976 -),男,助理工程师,主要从事继电保护试验工作。

Testing of generator stator ground protection based on the third harmonics in Manwan hydropower plant

WANG Chun, ZHANG Wei-min, HE Zhen

(Yunnan Manwan Hydropower Plant, Yunxian 675805, China)

Abstract: The principle, testing of generator stator ground protection based on the third harmonics, measurement of the third harmonics on generator stator are introduced. Some suggestions are put forward for reference.

Keyword: generator stator ground protection based on the third harmonics; voltage of the third harmonics on generator stator