

南瑞继保定子接地保护在锦屏二级水电站的应用

蔡显岗¹, 康 娣², 季 杰¹, 黄建琼¹

(1. 锦屏水力发电厂, 四川 西昌 615000; 2. 国电大渡河瀑布沟水力发电总厂, 四川 雅安 625000)

摘要: 锦屏二级水电站采用了南瑞继保注入式和“零序+3次谐波”电压定子接地保护原理, 实现了不同原理的双重化配置。阐述了定子接地保护的原理, 介绍两套定子接地保护的试验步骤, 给出了试验结果, 对定子接地保护试验过程中出现的几个问题进行了分析, 验证保护的合理性。

关键词: 注入式; 基波+3次谐波; 接地保护装置; 保护试验

Abstract: The stator earth-fault protections with voltage injection and "zero-sequence voltage plus 3rd harmonic" are adopted in Jipin-2 Hydroelectric Power Station, so the duplicate configuration of protections with different principles is realized. Firstly, the principle of stator earth-fault protection is described, and then the test procedures for two stator earth-fault protections are introduced with the test results. At last, some questions during the test of stator earth-fault protection are analyzed, and the reasonableness of the proposed protection is verified.

Key words: voltage injection; zero-sequence voltage plus 3rd harmonic; earth protective devices; protection test

中图分类号: TM862 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2013)05-0045-04

0 引言

定子绕组的单相接地故障(包括定子绕组与铁心间的绝缘破坏)是发电机最常见的一种故障,而且往往是更为严重的内部相间或匝间短路故障发生的先兆。定子单相接地保护的可靠、灵敏动作可以大大降低发电机内部故障造成的严重后果。发电机定子单相接地保护与发电机中性点的接地方式有关,目前由基波零序保护+3次谐波电压共同组成的100%定子接地保护得到了广泛的应用,但是灵敏度没有外加电源式接地保护高,且在不加励磁时无法起到监视发电机绕组绝缘的作用^[1]。锦屏二级水电站600 MW水轮发电机的定子接地保护采用由“基波零序保护+3次谐波电压”和注入式定子接地保护构成双重化100%定子接地保护。

1 注入式定子接地保护原理及试验分析

1.1 注入式定子接地保护原理

锦屏二级水电站南瑞继保注入式定子接地保护现场接线如图1所示^[2]。

为避免电压回路二次引线短路引起的短路电流

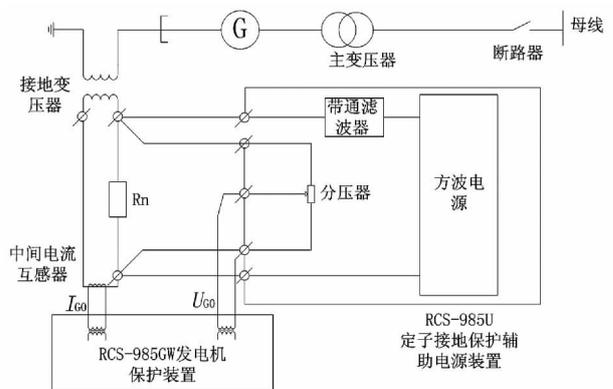


图1 外加电源注入式定子接地保护接线

流过中间电流互感器从而导致定子接地保护误动,电压回路二次引线是直接接在负载电阻R_n两端。另外,为了准确测量注入电压,电压回路引线不与电源共用输出线^[3]。

RCS985注入式定子接地保护装置通过检测接地变压器二次侧的20 Hz电压、电流信号计算接地过渡电阻R_e,其零序阻抗电路图见图2^[2]。

$$R_{E \cdot sec} = \frac{1}{R \left\{ \frac{I_{LFO}}{U_{LFO}} \right\}_e} \quad (1)$$

式(1)中的电压、电流需滤除基波、3次谐波,并进行适当的补偿。通过判定R_{E,sec}值即可判定是否发生接地故障和接地故障的严重程度。实际应用时

有高低2个定值,高定值用于延时报警,低定值用于延时跳闸。

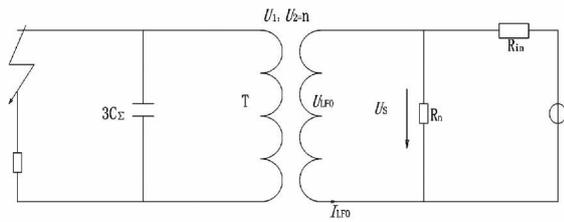


图2 定子绕组单相接地故障等值电路

1.2 注入式定子接地试验

表1 接地变压器参数

设备	参数名称	数值
接地变压器	接地变压器型号	20/0.866
接地变压器	二次电阻额定值	0.92 Ω
接地变压器	阻抗电压比	550.8 MW
接地变压器	电阻分压比	1/5
接地变压器	二次侧TA变比	800/5

(1) 通道检查: 在985GW装置20 Hz电流通道加入1 mA显示0.82 mA,加入5 mA显示5.10 mA。说明985GW装置电流通道采样正常,同样的方法检测电压通道。

(2) 空载电压、短路电流测量: 将985U装置与外回路断开,用万用表测得985U空载电压为26.2 V,测得短路电流为3.16 A。说明985U装置电压输出完好,承载短路的能力也没问题。且能计算出985U的内阻为 $26.2 \div 3.16 = 8.29 \Omega$ 。

(3) 输入985U电压测量: 将外部负载接入,测得985U输出电压为4.8 V,测得负载电阻返回的电压为2.47 V,理论计算 $U = U_{空载} \times \text{负载} / (\text{内阻} + \text{负载}) = 26.2 \times 0.92 / (0.92 + 8.29) = 2.617 \text{ V}$ 。实际装置测量为1/5分压,测量值为0.503 V,与理论计算值 $2.617 / 5 = 0.525 \text{ V}$ 相差不大,由此证明分压确实是1/5。

(4) 输入985U电流测量: 正常状态下显示的相角为电压超前电流的角度(因为发电机对地有电容,现在测得的电流应是容性的),此角度应该在270°附近,如果是90°附近,则掉换电流或电压的极性(通过倒换985GW上的接线实现),本机测得259.8°。理论算出的电压值是0.525 V,看电压值是否偏差不大(本机实测为0.503 V);估算正常状态下电流为

$$I_{LF} = \frac{U_{LF} \cdot s \times \frac{R_n}{R_{in} + R_n}}{5 \times R_n} = \frac{2.617}{5 \times 0.92} = 5.69 \text{ mA} \quad (2)$$

与装置实测值5.94 mA相差不大。

(5) 相角校正试验: 按照图3更改985GW接线,将叠加低频电压到负载电阻的电缆的一端将中间TA带入,记录此时的相角值169.3°。这种接线下,TA流过的电流就是负载电阻上的电流,这时装置采得的电压与电流之间的角度应该为180°,但是由于电压电流经过985GW的各种元器件,将会有一定的误差,所以通过此办法进行检验、修正。补偿相角值为 $169.3^\circ - 180^\circ + 360^\circ = 349.3^\circ$,填入定值后,985U相角显示为180°,恢复接线后,985U相角显示为270.1°,之所以为270°,是因为此时985U测得的电流为接地变压器对地电容电流,电流超前电压90°。

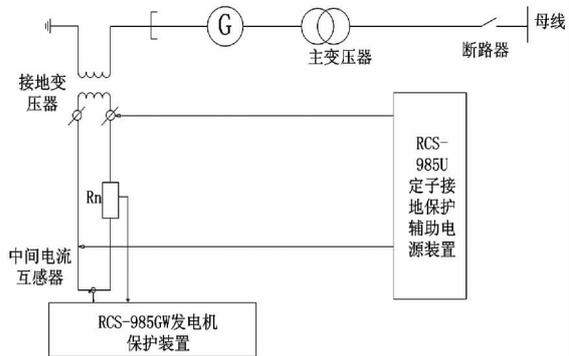


图3 相角校正试验接线

(6) 电压回路监视定制整定: 投入“补偿试验状态投入”控制字,直接将接地变压器高压侧短接,目的是测量接地变压器的短路阻抗,以用于在985GW测得的数据中,将此阻抗去除,才能得到发电机正确的实际接地阻抗,否则得到的是发电机接地阻抗+接地变压器的阻抗。读取测量电阻二次值2.8、测量电抗二次值5.4,分别作为电阻补偿值2.8、电抗补偿值5.4输入定值。补偿后的电阻值显示为0.2 Ω,电抗值为0.6 Ω。然后退出“补偿试验状态投入”控制字,测量此状态下的20 Hz零序电压大小为0.04 V,然后整定“电压回路监视定值”为 $0.04 \times 0.5 = 0.02 \text{ V}$,因可靠系数取0.4~0.6,在计算时取0.5,即当输入到985GW中的电压小于0.02 V时判定985U输出电源故障,发出报警信号,之所以选择在短路的时候测量此电压,是因为在短路的时候,电压是最小的时候,记录此最小电压整定“电压回路监视定值”。

(7) 电流回路监视定值整定: 将主变压器、厂用变压器高压侧、励磁变压器高压侧、各发电机 TV、中性点 TV 等相关设备都带上, 中性点接地变压器刀闸合上, 模拟真实的状态。记录此正常运行状态下最小电流, 测量此状态下的 20 Hz 零序电流大小为 5.94 mA, 整定“电流回路监视定值”为 $5.94 \times 0.5 = 2.97$ mA, 取 3 mA 作为“电流回路监视定值”, 即当输入到 985GW 装置中的电流小于 3 mA 时判定 985U 输出电源故障, 发出报警信号, 0.5 同样为可靠系数。

2 基波零序 + 3 次谐波定子接地保护原理及试验分析

2.1 基波零序 + 3 次谐波定子接地保护原理

基波零序电压型定子单相接地保护通过检测机端或中性点处基波零序电压判别故障。正常时中性点存在位移电压, 因此该保护在中性点附近接地时存在死区, 保护范围一般为 90% ~ 95% [3], 其动作方程为

$$U_{n0} > U_{0zd} \quad (3)$$

式中, U_{n0} 为发电机中性点零序电压; U_{0zd} 为零序电压定值。

基波零序电压定子接地保护逻辑框图如图 4。

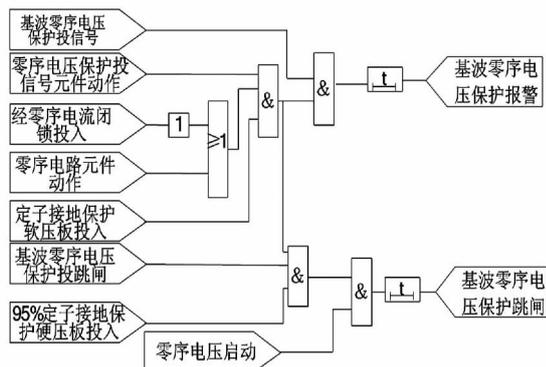


图 4 基波零序电压定子接地保护逻辑框图

3 次谐波电压比率判据只保护发电机中性点 25% 左右的定子接地, 机端 3 次谐波电压取自机端开口三角零序电压, 中性点侧 3 次谐波电压取自发电机中性点零序电压。

3 次谐波保护动作方程为

$$U_{3T}/U_{3N} > K_{3wzd} \quad (4)$$

式中, U_{3T} 为机端 3 次谐波电压值; U_{3N} 为中性点 3 次谐波电压值; K_{3wzd} 为 3 次谐波电压比值整定值。

机组并网前后, 机端等值容抗有较大的变化, 因

此 3 次谐波电压比率关系也随之变化, 本装置在机组并网前后各设一段定值, 随机组出口断路器位置接点变化自动切换。

3 次谐波电压比率判据可选择动作于跳闸或信号, 见逻辑图 5。

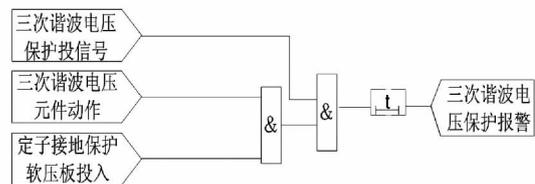


图 5 3 次谐波电压定子接地保护逻辑框图

2.2 基波 + 3 次谐波定子接地试验

表 3 基波 + 3 次谐波保护定值

设备	参数名称	数值
发变组	零序电压定值	8 V
发变组	并网前 3 次谐波比率定值	1.48
发变组	并网后 3 次谐波比率定值	1.37
发变组	二次负载抽取中性点零序电压	173
发变组	接地变压器短路电压	5.72%
发变组	接地变压器二次测量电阻	0.034 9 Ω

(1) 发电机出口 TV 柜 C 相内进行接地。

(2) 在机组达到额定转速后开始加励磁, 当中性点零序电压达到 8 V (此时发电机出口 TV 零序电压达到 10 V) 时, 发电机保护 B 套基波零序电压定子接地保护动作。

3 定子接地保护试验中的几个问题分析

3.1 机端零序电压与中性点零序电压不相等原因分析

试验过程中发现当发电机出口 TV 零序电压达到 8 V 时, 保护未动作。检查发现此时中性点零序电压只有 6.4 V, 继续增加励磁, 当机端出口 TV 零序电压达到 10 V 时, 中性点零序电压达到 8 V 时保护动作。经观察此时 A 套注入式定子接地保护机端 TV 零序电压为 9.6 V, 针对机端零序电压与中性点基波零序电压不相等进行了如下分析。

(1) 验证是否因接地变压器二次抽头抽取的线电压不是 173 V 导致接地变压器二次额定电压 866 V, 要获取 173 V 的线电压, 根据所接负载电阻 0.92 Ω 可知, 可以从 $0.92 \Omega \times (173 \text{ V}/866 \text{ V}) = 0.183 \Omega$

电阻上进行分压获取,经过与接地变压器厂家和发电机厂家确认,现场 173 V 抽头是从 0.18 Ω 的电阻上获取的,之所以不取 0.183 Ω,是由负载电阻的结构所决定的,故只能从固定的电阻上引出抽头。

发电机保护 A 套注入式定子接地保护的返回电压是从接地变压器二次直接获取,通过装置内部的电阻进行分压,其分压系数是 20%,因此机端发生单相接地时,从发电机保护 A 套装置读取的机端零序电压应等于中性点零序电压。

故障时发电机保护 A 套装置机端零序电压是中性点零序电压 1.2 倍,发电机保护 B 套装置机端零序电压是中性点零序电压 1.25 倍,由此可以证明“机端零序电压”与“中性点基波零序电压”不相等的主要原因不是接地变压器二次抽头的问题,而在于接地变压器自身阻抗的分压。

(2) 接地变压器自身阻抗分压计算

接地变压器阻抗为

$$Z = \frac{U_N^2}{S_N} \times k = \frac{(866 \text{ V})^2}{80 \text{ kVA}} \times 0.0572 = 0.536 \Omega \quad (5)$$

接地变压器电阻 $R = 0.0349 \Omega$

接地变压器电抗为

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = 0.535 \Omega \quad (6)$$

分压系数

$$k = \frac{0.92}{\sqrt{(0.92 + 0.0349)^2 + 0.535^2}} = 0.9135 \quad (7)$$

由式(7)可知,受接地变压器自身阻抗影响,中性点零序电压为机端零序电压 $1/k = 1.19$,计算值与发电机保护 A 套采样所得数据 1.2 基本相同。发电机保护 B 套所采数据与计算值相差 5%,产生误差的原因是由于抽头抽取处为 0.18 Ω(而非计算值的 0.183 Ω)和接线电缆电阻有关。

3.2 基波零序 + 3 次谐波定子接地保护未接入主变压器高压侧零序电压闭锁原因分析

南瑞 RCS-985 发变组保护中明确规定:零序电压定子接地保护灵敏段动作于跳闸时,需经主变压器高压侧零序电压闭锁,以防止区外故障时定子接地,但锦屏二级水电站发变组保护中并未接入主变压器高压侧零序电压,这样是否存在主变压器高压侧单相接地导致定子接地保护误动的情况呢?

查阅发电机和主变压器厂家说明书得知如下参数。

接地变压器二次接地电阻折算到一次侧为 $0.92 \times (20/0.866)^2 = 490.7 \Omega$,500 kV 侧接地短路,设有高压侧基波零序电压 $U_{H0} = 0.5 \times 500/\sqrt{3} = 144.3 \text{ kV}$,此电压通过主变压器高低压绕组间耦合电容 $C_M = 5.858 \text{ nF}$ 传递到发电机机端等效电路如图 6 所示。

表 3 发变组对地电容

参数名称	数值
主变压器高低压侧耦合电容	5.858 nF
接地变压器二次电阻	0.92 Ω
发电机定子绕组单相对地电容	1.783 μF
GCB 两侧单相接地电容值	0.39 μF
接地变压器变比	20/0.866
接地变压器零序电压分压系数	1/5

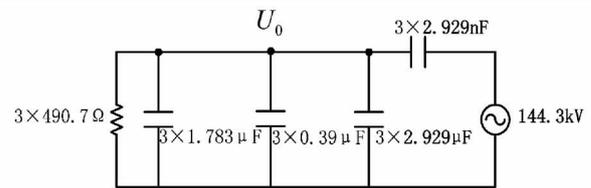


图 6 高压侧零序电压传递到低压侧等效电路

$$U_0 = 144.3 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} & \times \frac{3 \times 490.7 \parallel \frac{10^6 \times 3}{j\omega \times (1.783 + 0.39 + 0.00292)} \times 3}{3 \times 490.7 \parallel \frac{10^6 \times 3}{j\omega \times (1.783 + 0.39 + 0.00292)} \times 3 + \frac{10^9 \times 3}{j\omega \times 2.929 \times 3}} \\ & = 144.3 \text{ kV} \times \frac{1472.1 \parallel -j1462.9}{1472.1 \parallel -j1462.9 - j1086752.8} \\ & = 144.3 \text{ kV} \times \frac{731.4 - j736.0}{731.4 - j1087488.8} \\ & = 137.78 \text{ V} \end{aligned}$$

$$U_0(\text{二次}) = 137.78 \times \frac{0.866}{20 \times 5} \approx 1.19 \text{ V}$$

通过计算可知,主变压器高压侧发生单相接地耦合到低压侧的零序电压仅为 1.19 V,远远小于基波 + 3 次谐波定子接地保护零序电压定值 8 V,因此主变压器高压侧发生单相接地不会导致发电机 B 套定子接地保护误动,锦屏二级水电站发变组定子接地保护未接主变压器高压侧零序电压进行闭锁完全合理。(下转第 82 页)

3.2 保护平衡

保护平衡为直流系统低压设备出现异常,由直流保护系统发出“平衡双极请求”,强行使双极进入平衡运行状态,其输出范围为±100%。保护平衡起效时,控制平衡被退出。

保护平衡的折算方式如下。

极间电流调制量为

$$\text{主极: } I_{CBC} = \int IdE \times 50\% + 100\%$$

$$\text{从极: } I_{CBC} = -100\%$$

电流控制量计算为

$$\text{主极: } I = \int IdE$$

$$\text{从极: } I = (I_{CBCop} - 100\%) \times 2$$

经折算后,双极间电流调制量范围为-45% ~ -155%,无输出时双极间传送的值为-100%。

可见,经过折算后,控制平衡与保护平衡的电流调制量输出幅值均为50% ~ 150%左右,并且在没有输出的情况下,控制系统均输出为100%。这样的设置对于变流器选型有非常大的帮助。

当一极处于电流传输模式时,控制平衡功能取消,保护平衡功能不受影响。

4 结 语

直流输电系统的双极协调控制功能集中体现了

(上接第48页)

3 结 论

总结了南京南瑞继保电气有限公司的注入式定子接地保护在现场的调试方法以及应用情况,给出了试验结果。试验结果表明:经过补偿后注入式定子接地保护能够准确测量一定阻值范围内的接地过渡电阻,相对误差可控制在±5%之内,完全满足工程需要。同时针对“基波+3次谐波”试验过程中出现的机端零序电压是中性点零序电压1.25的现象进行了分析,得出结论:由于接地变压器内阻造成的这种现象对发电机定子接地保护并无影响,仍可构成100%定子接地保护。

参考文献

[1] 王李东,陈伟,董钟明.三峡右岸电站国产定子接地保

直流系统的送电灵活性,针对两极可能存在的各种工况,均完整、灵活地使功率平稳、合理的输送。同时有效控制了低压设备的过流、过压等情况。但由于目前传统直流输电工程中设备平台老化的情况,受限于变流器等模拟设备,双极平衡功能的稳定性和精确度尚需进一步提高。

参考文献

[1] 赵晓君.高压直流输电工程技术[M].北京:中国电力出版社,2004.
[2] 曹继丰.高压直流输电现场实用技术问答[M].北京:中国电力出版社,2007.
[3] 2008浙大直流组.直流输电[M].北京:电力工业出版社,1982.
[4] Siemens,DC Station Control: System Information Manual (Tianshengqiao Station) [R]. Germany Siemens,1999.
[5] Siemens,AC filter and DC filter study report: performance and rating (Tianshengqiao Station) [R]. Germany, Siemens,1999.

作者简介:

刘洋(1983),男,工程师,双学士,主要从事高压直流输电系统的运行、维护及软件开发工作。

(收稿日期:2013-03-11)

护的应用[J].水电站机电技术,2008,31(6):74-77.

[2] 张琦雪,席康庆,陈佳胜,等.大型发电机注入式定子接地保护的现场应用及分析[J].电力系统自动化,2007,31(11):103-107.
[3] 徐鹏.外加电源式定子接地保护在龙滩水电站的应用[J].广西电力,2009(1):14-17.

作者简介:

蔡显岗(1987),男,本科,助理工程师,从事发电厂继电保护工作;

康 娣(1986),女,本科,助理工程师,从事发电厂自动化系统工作。

季 杰(1987),男,本科,助理工程师,从事发电厂继电保护工作;

黄建琼(1984),女,硕士,工程师,从事发电厂监控系统工作。

(收稿日期:2013-06-11)