

# 发电机注入式定子接地保护方案改造及现场应用

梁少华, 申建彬, 张杰, 李华忠, 陈佳胜, 张琦雪  
(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏南京 211102)

**摘要:**四川YL水电站2台120 MW发电机,中性点直接经过电阻接地。国产常规的注入式定子接地保护方案中,注入电源输出端不允许承受很高的电压,因而无法直接将电源输出端加在高压电阻两端。阐述了该情况下注入式定子接地保护方案,保留了中性点接地的高压电阻,节省了改造费用。现场模拟定子接地故障实验结果表明,保护装置能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 $\pm 5\%$ 内。

**关键词:**发电机;注入式;定子接地保护

**中图分类号:**TM31

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2013)01-0034-03

中性点经配电变压器电阻接地(又称高阻接地)的发电机倾向于安装注入式定子接地保护,该保护与发电机的运行工况无关,在发电机起停机过程中也可以监视定子绕组对地绝缘。目前,该技术已成熟,在国内许多大型发电机组上得到应用<sup>[1-5]</sup>。四川YL水电站2台120 MW的发电机,其中性点直接经高压大电阻接地,没有使用接地变压器,其注入式定子接地保护,过去使用ABB公司的保护装置REG216、注入电源装置REX010和隔离变压器REX011共同实现。现在保护国产化改造,国产常规的注入式定子接地保护方案中,注入电源输出端不允许承受很高的电压,因而无法直接将电源输出端加在高压电阻两端,注入式定子接地保护方案需重新设计。文中阐述了发电机中性点直接经高压大电阻接地的情况下注入式定子接地保护的设计方案,同时给出现场调试实验结果。

## 1 原 ABB 的注入式定子接地保护方案

发电机组的基本参数如下:额定功率120 MW;额定电压13.8 kV;额定功率因数0.9。发电机中性点接地方式及原ABB注入式定子接地保护方案<sup>[6]</sup>如图1所示。

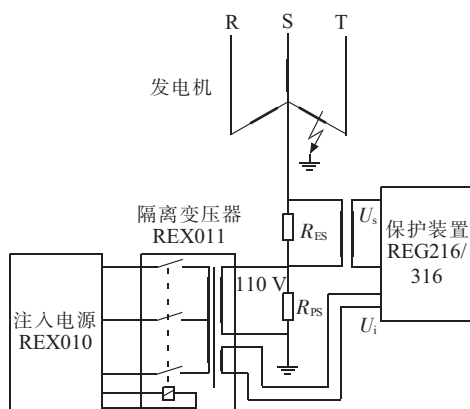


图1 原 ABB 注入式定子接地保护方案

发电机直接经过高压大电阻接地,接地电阻参数: $R_{ES}$ 为1328  $\Omega$ , $R_{PS}$ 为266  $\Omega$ 。注入电源REX010,输出幅值为 $\pm 110$  V的方波电压,经过中间隔离变压器REX011,电压变比为110 V/110 V,将12.5 Hz的低频电压加在电阻 $R_{PS}$ 上。保护装置REG216测量注入的电压信号 $U_i$ 和注入的电流信号,通过计算,得到接地故障的过渡电阻。当接地故障过渡电阻阻值降低至报警定值以下,经短延时,保护报警;当过渡电阻阻值进一步降低,低于跳闸定值,经短延时,保护跳闸。当发生较为严重的接地故障,发电机中性点会有较高的基波零序电压,为防止过高的电压反馈至注入电源,导致电源损坏,保护装置检测到较大的基波零序电压时,立刻通过辅助接触器将注入电源断开。

## 2 注入式定子接地保护改造方案

国产常规的注入式定子接地保护方案注入20 Hz低频电压,如图2所示。发电机中性点经配电变压器电阻接地,低频注入电源输出端加在接地变压器低压侧负载电阻 $R_n$ 上。在一次设备的参数设计上,通常 $R_n$ 阻值在0.2~1.5  $\Omega$ 间;接地变压器电压变比 $U_1/U_2$ , $U_1$ 通常等于 $U_{rated}$ ( $U_{rated}$ 为发电机额定电压), $U_2$ 在220~900 V之间,因设计上的习惯,230 V或240 V较为常见。

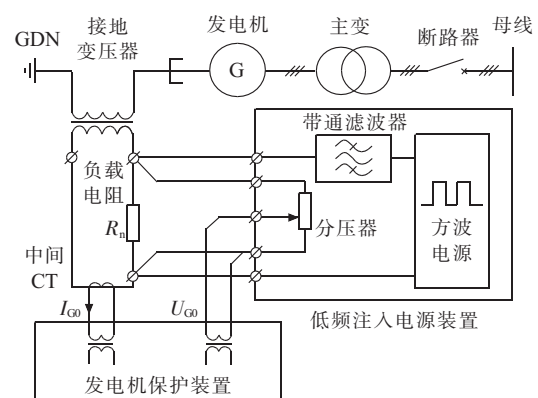


图2 国产常规注入式定子接地保护方案

该方案中,注入电源输出较小的低频电压,经接地变压器升高至高压侧,发电机零序回路对地产生一个不超过 $3\%U_{\text{rated}}$ 的低频电压。由于注入电压较小,不影响发电机的正常运行。当发电机发生较为严重的接地故障时,例如发电机机端发生金属性接地故障,发电机中性点电压被抬高至相电压,接地变压器低压侧电压也被抬高,但是一般只有几百伏( $U_2/1.732$ ),不会造成注入电源的损坏。

四川 YL 水电站的机组保护国产化改造费用有限,不允许更换发电机中性点接地电阻,一次设备改造费用往往很高,但用户同时想保留注入式定子接地保护的功能。为满足用户要求,注入式定子接地保护改造方案如图 3 所示。

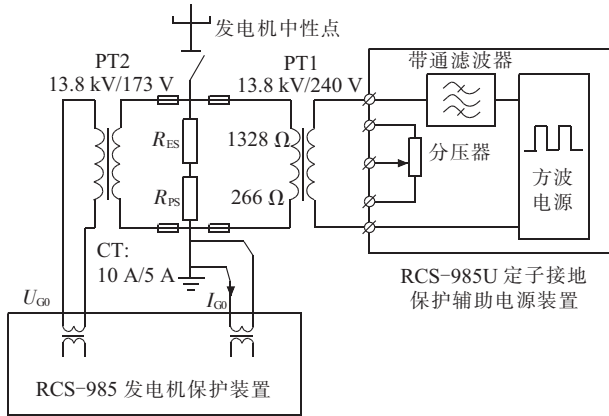


图 3 注入式定子接地保护改造方案接线

该技术方案保留了高压电阻  $R_{\text{ES}}$ 、 $R_{\text{PS}}$ 。改换了原有的 PT,在高压电阻与注入电源之间增加一级 PT,低频电压通过 PT1 施加在发电机中性点接地电阻上。为了准确测量发电机对地零序电压,又增加了 PT2。注入式定子接地保护的电流测量取自接地电阻上的 CT,电流变比为 10 A/5 A。

### 3 改造方案核算

主要核算内容包括:(1) 发电机正常运行时注入的低频电压应在合理的范围内;(2) 发生严重的定子接地故障时,反馈的工频电压应在合理的范围内。

正常运行情况下注入的低频电压一次值  $U_{20\text{Hz},\text{nmI}}$  可由下式估算:

$$\begin{cases} U_{20\text{Hz},\text{nmI}} = \frac{R_n \cdot U_{s,20\text{Hz}}}{R_n + R_{\text{in}}} \cdot n_{\text{PT1}} \\ R_n = \frac{R_{\text{ES}} + R_{\text{PS}}}{2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $U_{s,20\text{Hz}}$  为低频注入电源电压; $R_{\text{in}}$  为电源等效内阻; $R_n$  为接地电阻( $R_{\text{ES}} + R_{\text{PS}}$ )折算至 PT1 低压侧的值; $n_{\text{PT1}}$  为电压互感器 PT1 的电压变比。

对于该项目, $R_{\text{ES}}$  为 1328  $\Omega$ , $R_{\text{PS}}$  为 266  $\Omega$ , $n_{\text{PT1}}$  为

13.8 kV/240 V,计算得  $R_n$  为 0.4821  $\Omega$ 。 $U_{s,20\text{Hz}}$  为 25 V, $R_{\text{in}}$  为 8  $\Omega$ ,计算得  $U_{20\text{Hz},\text{nmI}}$  为 81.7 V。发电机正常运行时,注入的低频电压一次值约占发电机额定电压(13.8 kV)的 0.6%,未超过  $3\%U_{\text{rated}}$ 。

当发电机出现严重接地故障时,假设机端发生金属性接地故障,此时发电机中性点对地电压为 7968 V (13.8 kV/1.732);流过接地电阻( $R_{\text{ES}} + R_{\text{PS}}$ )的电流为 5 A (7968 V/( $R_{\text{ES}} + R_{\text{PS}}$ ));反馈至注入电源端口的电压约为 240 V (13.8 kV/ $n_{\text{PT1}}$ ),未超过 550 V (低频注入电源输出端口可承受 550 V,1 min 反馈的工频过电压)。

因此,上述设计方案总体上是合理的。

### 4 现场实验

先后对 2 台发电机进行了注入式定子接地保护的模拟实验,发电机静止运行工况下,选择多个电阻值,在发电机中性点处模拟接地故障。其测试结果分别如表 1、表 2 所示。

表 1 1 号机定子接地故障实测结果

序号	接地电阻/k $\Omega$	保护装置实测/k $\Omega$	相对误差/%
1	0.5	0.496	-0.8
2	1.0	1.000	0.0
3	2.0	1.992	-0.4
4	3.0	2.984	-0.5
5	4.0	3.991	-0.2
6	5.0	4.986	-0.3
7	6.0	5.966	-0.6

表 2 2 号机定子接地故障实测结果

序号	接地电阻/k $\Omega$	保护装置实测/k $\Omega$	相对误差/%
1	0.5	0.508	1.6
2	1.0	1.013	1.3
3	2.0	2.076	3.8
4	3.0	3.048	1.6
5	4.0	4.017	0.4
6	5.0	5.116	2.3
9	6.0	6.146	2.4

因现场实验时间仓促,且事先未准备阻值较大的电阻,上述模拟实验没有采用更高阻值的电阻。从模拟实验结果看,保护装置实测的接地过渡电阻比较准确,误差控制在  $\pm 5.0\%$  内。

### 5 保护定值

注入式定子接地保护的补偿定值与现场实验情况相关。以该项目的 1 号发电机为例,2 号发电机和 1 号发电机的定值相似。

(1) 相角补偿定值。由相角补偿实验确定。实测注

入的 20 Hz 电压、电流之间的相角,相角补偿定值设定为 350.0 deg。

(2) 电阻补偿定值、电抗补偿定值。因没有接地变压器,这 2 个补偿值均设定为 0。

(3) 电压回路监视定值。模拟金属性接地故障时,实测得到最低的注入电压  $U_{\min}$  为 0,因此电压回路监视定值同样取 0。

(4) 电流回路监视定值。在正常状态下得到最低的注入电流  $I_{\min}$  为 7.44 mA,可得电流回路监视定值。

$$I_{\text{LF0.SET}} = K_{\text{rel}} \times I_{\min} \quad (2)$$

式中: $K_{\text{rel}}$ 取 0.4~0.6。最终取  $I_{\text{LF0.SET}}$  为 0.4 mA。

(5) 零序电流跳闸定值。除了接地过渡电阻判据外,注入式定子接地保护还有一个零序电流判据作为后备,其反映流过中性点接地设备的零序电流,按 10%的零序电压进行整定:

$$I_{\text{E.SET}} = \frac{10\% (U_{\text{rated}} / \sqrt{3})}{R_{\text{es}} + R_{\text{ps}}} \times \frac{1}{N_{\text{CT}}} \quad (3)$$

计算结果  $I_{\text{E.SET}}$  为 0.25 A,该判据保护 90%范围的定子单相接地故障。

(6) 电阻折算系数定值。理论上的电阻折算系数,按下式计算:

$$K_{\text{R}} = \frac{n_{\text{PT2}}}{n_{\text{CT}}} = \frac{13.8 \text{ kV} / 173 \text{ V}}{10 \text{ A} / 5 \text{ A}} = 39.88 \quad (4)$$

其中, $n_{\text{PT2}}$ 为电压互感器 PT2 的变比。考虑到测量环节的误差,按实际测量到的接地电阻一次值与二次值之比进行整定,实测结果是 40.7。

## 6 结束语

以四川 YL 水电站 120 MW 容量的发电机为例,阐述了发电机中性点直接经高压大电阻接地的情况下注入式定子接地保护的设计方案,保留了高压电阻,更换了原有的 PT,在高压电阻与注入电源之间增加一级

PT,完成低频电压的注入;另增加一组 PT 用于电压的测量。经过估算,说明设计方案合理。该方案不更换发电机中性点接地设备,改造费用小。同时给出现场模拟接地故障的实验结果,表明保护装置能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  $\pm 5\%$  之内,满足工程需要。可为国内相似机组注入式定子接地保护的改造提供参考。

## 参考文献:

- [1] 毕大强,王祥珩,余高旺,等.高准确度外加 20 Hz 电源定子单相接地保护的研制[J].电力系统自动化,2004,28(16):75-78.
- [2] 李德佳,毕大强,王维俭.大型发电机注入式定子单相接地保护的调试和运行[J].继电器,2004,32(16):51-56.
- [3] 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.
- [4] 张琦雪,陈佳胜,陈俊,等.大型发电机注入式定子接地保护判据的改进[J].电力系统自动化,2008,32(3) 66-69.
- [5] 张琦雪,黄献生,陈佳胜,等.岩滩发电公司 300 MW 发电机定子接地故障的多重化保护[C].第 11 届全国保护和控制学术研讨会,2007.
- [6] ABB Power Automation. Numerical Generator Protection, REG 316\*4[R]. 1999.

## 作者简介:

- 梁少华(1963),男,江苏海门人,高级工程师,从事继电保护及自动化产品技术管理及市场推广工作;
- 申建彬(1989),男,四川大邑人,助理工程师,从事电厂继电保护调试工作;
- 张杰(1982),男,湖北武汉人,工程师,从事电厂继电保护设计工作;
- 李华忠(1983),男,福建三明人,助理工程师,从事电厂继电保护设备研发工作;
- 陈佳胜(1975),男,湖北大冶人,高级工程师,从事电厂继电保护设备研发工作;
- 张琦雪(1974),男,江苏沭阳人,高级工程师,从事电厂继电保护设备研发工作。

## Modification Scheme and Application of the Generator Stator Earth Fault Protection with Voltage Injection

LIANG Shao-hua, SHEN Jian-bin, ZHANG Jie, LI Hua-zhong, CHEN Jia-sheng, ZHANG Qi-xue  
(NARI-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** There are two 120MW generators, which with resistor connected directly between generator neutral and ground, in YL hydropower station in Sichuan province, China. The voltage injecting stator earth fault (SEF) protection is in common use. However, it can't be directly used in the generators in YL hydropower station, because the terminators of the injection voltage source can't be connected directly to the grounding resistor, which probably with high voltage when SEF occurs. A new scheme of SEF is presented, and it is verified by the experimental results. The relative errors of measuring results of earth fault resistors are not greater than  $\pm 5\%$ . Moreover, the high voltage grounding resistor is reserved and the engineering cost is reduced.

**Key words:** generator, voltage injection, stator earth fault protection