

# 北安电厂发电机定子接地保护误动原因的分析

田伟<sup>1</sup>, 白铮<sup>1</sup>, 权东国<sup>1</sup>, 刘剑锋<sup>2</sup>, 郑戈<sup>3</sup>, 王闯<sup>3</sup>, 范子秋<sup>3</sup>

(1. 黑龙江省电力局调度局; 2. 哈尔滨电业局动力供电局; 3. 北安发电厂)

摘要: 通过对北安发电厂定子接地误动原因的分析, 提出了解决北安发电厂发电机定子接地保护误动的办法, 并简要介绍了发电机定子接地电流的测量方法。

中图分类号: TM772

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2000)05-0051-04

## 1 事故简介

北安发电厂一次系统图见图1:

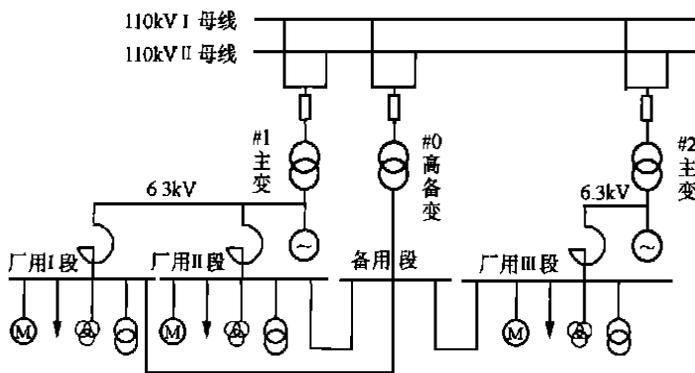


图1 北安发电厂一次系统图

北安发电厂移交生产后, 曾发生2次误动, 简述如下:

(1) 1998年9月10日, 厂用I段备用分支CT的C相发生接地, 在倒厂用电过程中, 致使#2机带故障的I段备用分支运行, 13时55分, #2机定子接地保护动作, 跳开运行中的#2机, #2机当时出力40MW。

(2) 1998年10月19日, 北安发电厂#2机运行, 出力40MW, #2机带厂用III段运行, 厂用III段带有13台电动机、水源乙线、灰场线, 12时55分, 系统无任何异常现象, 定子接地保护动作, 跳开运行中的#2机。

#2机采用的LD-4型定子接地保护, 本保护由零序基波电压型接地保护和发电机三次谐波电压接地保护共同构成发电机100%定子接地保护。

基波零序电压部分整定值为15V, 时限1.0s。

三次谐波电压部分发信号。

## 2 误动原因分析

对#2机LD-4型装置进行全面的检查和试

验, 继电器的性能指标符合装置技术要求。

### 2.1 一次系统接线方式导致发电机定子接地保护多次误动

根据定子接地保护的原理, 可把发电机定子接地时的各相电压变化绘制成如图2。

当未发生接地故障时, 发电机中性点即地电位。

当A相机端发生金属性接地故障, A相机端即地电位, 图中A点。

当A相发生经过渡电阻 $R_f$ 接地时, 地电位点G位于以AO为直径的半圆弧上;  $R_f$ 减小, G点沿圆弧逆时针旋转;  $R_f$ 增大, G点沿圆弧顺时针旋转。

北安发电机的厂用系统所接电抗器的参数: 型号NKS1, 电压6kV, 电抗6%,  $I_e =$

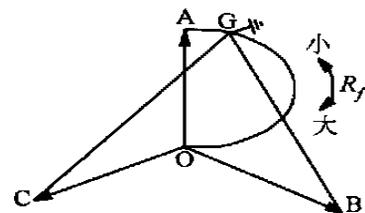


图2 发电机地电位的变化曲线

1000A。

主变的参数: 额定电压121/6.3kV, 接线Y/ 额定容量75000kVA。

中性点PT变比为:  $n = 6000/100$ 。

假设发电机每相对地电容 $0.343\mu\text{F}$ , 根据以上参数计算。

在机端发生金属性单相接地故障时, 发电机中性点电压 $U_0$ 为:

$$U_0 = E_a / n = (6300/1.732) / (6000/100) = 60.6\text{V}$$

6V

在6.3kV母线发生金属性单相接地故障时等效电路可表示如图3:

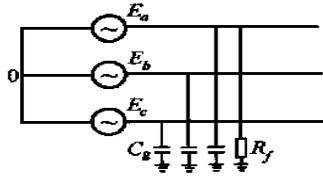


图3 机端单相接地等效电路

电抗器阻抗:

$$X_r \% = \frac{\sqrt{3} \times X_r \times I_r(e)}{U_r(e)} = \frac{0.06 \times 6000}{1.732 \times 1000} = 0.21$$

发电机中性点电压  $U_0$  为:

$$\frac{E_a \times (j C_g + 1/R_f) + E_b \times j C_g + E_c \times j C_g}{j C_g + 1/R_f}$$

$$U_0 = \frac{E_a}{n(1 + j3 C_g X_r)} \quad 60V$$

由以上计算可以看出,在厂用 6.3kV 母线发生金属性接地故障后,发电机中性点 PT 将感受到 100V 的电压,发电机定子接地保护将动作。

同理,在 6.3kV 母线所带电动机、线路、CT、PT、避雷器等元件发生金属性接地故障后,在发电机中性点单相 PT 也将感受到 60V 的电压,发电机定子接地保护也将动作跳闸。

### 2.2 发电机中性点 PT 变比选取错误

按照发电机基波定子接地保护、三次谐波定子接地保护的原理,发电机机端 PT 的变比应选为:

$$\frac{E_n}{\sqrt{3}} \frac{100}{\sqrt{3}} \frac{100}{3}; \text{中性点 PT 变比应选为 } \frac{E_n}{\sqrt{3}} / 100. \text{ 而北}$$

安发电厂中性点 PT 变比为 6000/100,因此在发电机机端接地时本应在 PT 二次感受到 100V 电压,实际在发电机中性点感受到 61V 的电压。

当 PT 变比选取正确时,定子基波定子接地保护整定为 15V,保护发电机从中性点开始的 15% ~ 100% 范围,保护死区为发电机中性点开始的 15%。

由于发电机中性点 PT 变比为 6000/100,发电机定子接地保护整定为 15V 时,发电机基波定子接地保护的死区将扩大到  $15/61 = 24.6\%$ ,不利于对发电机的定子接地故障的保护。

### 2.3 6.3kV 厂用系统发生接地故障后,电厂主控室不能准确反映

从图纸上可以看出,厂用系统发生接地故障后,在电厂的主控室应该有光字牌和声响报警。用直接短接厂用系统各段 PT 节点的办法来模拟厂用系统的接地故障,结果除 I 段厂用母线在主控室给出光字牌外(无警报),其它两段接地后,在主控室均无警报和光字牌。

## 3 解决办法

测量发电机定子接地实际电流,若此电流小于国标允许值,可以考虑将发电机定子接地保护改投信号运行。若实测电流大于国标,可以采取加装发电机电流保护,加装消弧线圈或利用小电流接地选线装置等办法,对北安厂的定子接地保护予以改进。发电机中性点 PT 变比选取错误,可以通过修改发电机定子接地保护的定值的办法予以解决,即保持基波定子接地保护死区为 15%,整定值选取为  $61 \times 15\% = 9V$ 。同时重新调整三次谐波定子接地保护的平衡点,使之正确保护发电机中性点 15% 的范围。

### 3.1 发电机定子接地电流的实测方法

#### 3.1.1 高压试验

- 1) 把发电机与其它元件的联接打开;
- 2) 利用电容表粗测每相对地电容,并据此估算耐压设备的容量;
- 3) 对发电机三相定子做耐压试验,测量发电机定子对地电容电流,此电流即发电机定子接地电流。
- 4) 用同样的方法对发电机所联接设备,如电动机、电缆、架空线、母线等做耐压试验,测量对地电容电流。
- 5) 把发电机与所联接设备的电容电流加起来就是在正常运行时发电机发生定子接地后的故障电流。

#### 3.1.2 实测法

- 1) 首先保证发电机定子及厂用系统无接地现象,避免在发电机作直接接地时发生发电机两点接地。

- 2) 如图 4 接线:在发电机中性点加装一快速空气开关 K1,加装速断保护,当流过 CT 的电流较大时,无延时跳开 K1,以防止发电机在测量过程中发生另一电接地故障。

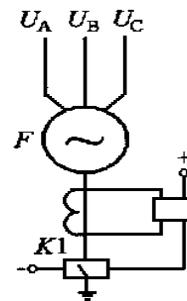


图4 实测法接线图

- 3) 发电机正常运行,带正常厂用系统,合上开关

关 K1,通过接于中性点的 CT或直接串联一电流表,实测发电机中性点电流。

### 3.2 加装发电机电流保护

该保护主要由装于机端的零序电流互感器 LH和电流继电器构成,此法要具备以下条件:

1) 由于此 CT为母线式,要求 A、B、C 三相从此 CT中穿过,发电机机端母线要做一些改动,使之比较紧凑,中间用绝缘材料隔开。

2) 要求实测发电机、厂用系统电容电流后,计算此保护对发电机定子接地保护的灵敏度,要求此灵敏度大于 2 倍。

整定计算公式:  $I_{dz} = KI_{jd.f} + K \times I_{bp}$

其中:  $K$ ——考虑躲过外部间歇性接地时的可靠系数;

$K$ ——可靠系数;

$I_{dz}$ ——保护整定值;

$I_{jd.f}$ ——发电机单相接地的稳态电容电流;

$I_{bp}$ ——外部两相短路时的一次不平衡电流。

保护灵敏度按下式校验:

$$K_{lm} = (I_{jd} - I_{jd.f}) / I_{dz} \quad 2$$

3) 加装此保护后,同时要加装高压侧复合电压闭锁,以保证相间故障的选择性。

此保护对发电机中性点附近的接地故障有死区,死区的大小可根据发电机和厂用系统接地电流的大小计算。

### 3.3 利用厂用系统的小电流接地选线装置

北安发电厂的厂用电动机和线路等元件都装有 MLX/98-2A 型小电流接地选线装置,该装置接入各元件的电流和各段母线电压,当电动机或线路发生单相接地时,该装置经整定时间(1s 或 2s)动作,发出接地警报并选出是哪一个元件接地。接地故障消失后,该装置自动返回。该装置具有出口继电器,用来跳开接地元件(北安厂没用),利用此装置的跳闸继电器的接点 CKJ,起动中间继电器 ZJ,利用 ZJ 的闭接点断开发电机定子接地的出口回路,使之在厂用系统接地后,不能动作,具体接线如图 5。

如此改进后,发电机定子接地保护的整定值时间应选取 2s 或以上(由于中性点 PT 的变比的错误,动作值选取 9V),以保证 6kV 母线及厂用系统故障,发电机定子接地保护可靠不动作。

在 6kV 母线发生单相接地故障后(故障未消除),如果发生发电机非同名相接地故障,发电机差动保护和横差保护动作,能够切除故障;但若发生发

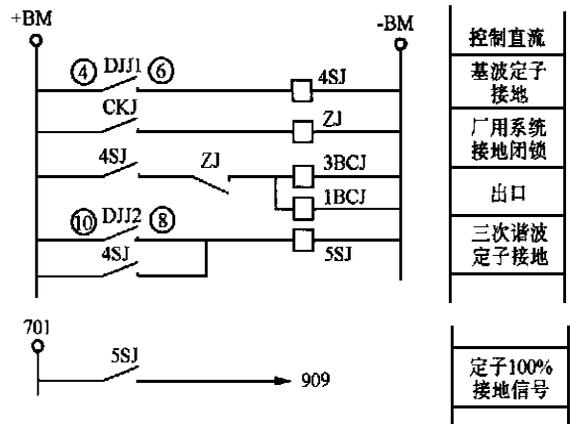


图5 直流回路改动

电机同名相故障时,发电机定子接地保护、差动保护、横差保护不能动作,不能切除故障,这就是这种改进的缺点。

### 3.4 加装消弧线圈,补偿发电机定子接地电流

由于厂用系统有时由发电机带出,有时由高备变带出,同时保证这两种情况下的补偿不容易。如当发电机带厂用系统时进行补偿,即补偿电流 8A 左右消弧线圈的电感值为  $E_a / I$ ,而当厂用系统由高备变带出时,由于发电机自身的接地电流为 1.125A,那么用以上的消弧线圈必然造成补偿的电流过大,反而使发电机接地电流大于国家允许值(4A),因此接在发电机中性点的消弧线圈的容量不好选取。

若把消弧线圈接到 6kV 厂用母线上,用以补偿 6kV 母线及所接元件接地故障时的接地电流,同时满足当厂用系统由发电机带出时,使其补偿电流符合要求,那么在各种情况下发生发电机定子接地,都可以保证其接地电流符合国家标准。

消弧线圈补偿方式有过补偿、欠补偿和谐振补偿加电阻三种方式,谐振补偿加电阻方式在我国很少应用,可不考虑采用。考虑发电机高压侧接地故障对低压侧的传递过电压,由于发电机机端装有 PT 等设备,这些设备有对地电容,为避免谐振,消弧线圈应采取欠补偿的方式。

以北安发电厂 #2 机带厂用一段运行为例,消弧线圈的选取如下:

发生接地的电容电流为 7.2A,发电机不带厂用系统运行时,发生接地的电容电流为 1.125A,消弧线圈的补偿电流可以选取为略小于 7.2A,如 7A。那么消弧线圈的电抗可以计算:

$$X_l = E_a / I = 6300 / 1.732 / 7 = 520$$

$$L = X_l / 2 \pi f = 520 / (100 * 3.14) = 1.65H。$$

收稿日期: 1999-10-29

作者简介: 田伟(1968-),男,硕士,工程师,研究方向为电

力系统继电保护; 白铮(1965-),男,硕士,高工,研究方向为电力系统稳定。

### Analysis on maloperation causes of stator ground protection for generator in Beian Power Plant

TIAN Wei<sup>1</sup>, BAI Zheng<sup>1</sup>, QUAN Dong-guo<sup>1</sup>, LIU Jian-feng<sup>2</sup>, ZHENG Ge<sup>3</sup>, WANG Chuang<sup>3</sup>, FAN Zi-qi<sup>3</sup>

(1. Power Dispatch Bureau of Heilongjiang Province; 2. Power Supply Bureau of Harbin Power Bureau; 3. Beian Power plant)

**Abstract:** A method of solving maloperation of stator grounded protection for generator in Beian Power Plant is presented in the paper by analysing maloperation causes of stator grounded protection for generator in Beian Power Plant. A measuring way of testing stator's earthing current for generator is briefly described as well.

(上接第 19 页) 作,从而实现电流保护的自适应。

## 7 结论

(1) 人工神经网络是一种非线性映射系统,具有强大的自适应能力、学习能力及模式分辨能力。将 ANN 用于电力系统故障识别,是继电保护研究的新方向之一。

(2) 本文进行的研究表明,基于人工神经网络的自适应电流保护是可行的。它解决了传统电流保护的保护区随着系统运行方式及故障类型的变化而变化的缺点,把灵敏度补偿子网络和方向识别子网络结合起来,综合进行判别,利用了人工神经网络的并行处理的优势,不但满足继电保护的“四性”要求,而且具有更好的准确性及快速性。但是,也需要指出,由于本文提出的基于人工神经网络的自适应电流保护只用基波故障电流作为判断故障的特征量,因而不可避免地要受到电力系统振荡的影响。更完善的自适应电流保护,应该加入振荡识别子网络。文献<sup>[4]</sup>提出了一种类似的振荡识别子网络的实现方法。

(3) 本文的系统模型及模拟的故障情况还比较

简单,仅是对利用人工神经网络实现自适应电流保护的一种初步尝试和探讨。基于人工神经网络的自适应电流保护的完善和实际应用,还需要进一步的大量研究与开发工作,如下一阶段的工作即是将研究成果应用于保护装置的开发上。

## 参考文献:

- [1] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理. 水利电力出版社,1991.
- [2] 房鑫炎,郁惟慵,王志华. 多层人工神经网络在自适应重合闸首相及次相判别中的应用. 全国高等院校电力系统及其自动化专业第十四届学术年会论文集(下册). 哈尔滨,1998,10 925~931.
- [3] 周继成,等. 人工神经网络—第六代计算机的实现. 科学普及出版社,1993.
- [4] 段玉倩,贺家李. 基于人工神经网络的距离保护. 全国高等院校电力系统及其自动化专业第十三届学术年会论文集(下册). 广州,1997,11.

收稿日期: 1999-11-25

作者简介: 房鑫炎(1963-),男,博士,副教授,从事电力系统继电保护与自动化的教学与研究。

### The adaptive current protection based on ANN

FANG Xin-yan, ZHONG Cong, SHEN Fang-liang

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** This paper describes a new method of the application of ANN in the adaptive current protection. It means that some problems exist in the power system, i. e. faults analysis, sensibility compensation, direction distinction could be solved by using strong adaptive ability and studing ability of ANN. This protection includes two independent subnets to finish their functions in parallel way. We made a simulated calculation on high voltage transmission system by using the tool of EMTP and trained the nets finally, the results show that this method is absolute reliable using in the current protection of power system.

**Keywords:** adaptive current protection; sensibility compensation; ANN; BP algorithms