

## 大型发电机基波零序过流过压保护新方案研究

姚晴林<sup>1</sup>, 郭宝甫<sup>1</sup>, 解波<sup>2</sup>, 赵斌<sup>1</sup>, 蔡常群<sup>1</sup>, 张鹏远<sup>1</sup>

(1. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 石嘴山供电局, 宁夏 石嘴山 753000)

**摘要:** 分析中性点经配电变压器接地的发电机当前正运行中的基波零序过流保护存在的问题, 并以“发电机定子绕组任一点单相接地时只要接地点的接地电流大于安全允许电流保护都能动作”为原则提出了三种新保护方案, 这三种方案的保护原理是相同的, 只是保护端子的测量参数不同而已。新保护方案能显著提高大容量发电机基波零序过流或过压保护的性能, 并能在定值上实现明确的两段式保护。

**关键词:** 发电机; 基波; 零序过流保护; 零序过压保护

## Research on zero-sequence fundamental over-current and over-voltage protection of large generator

YAO Qing-lin<sup>1</sup>, GUO Bao-fu<sup>1</sup>, XIE Bo<sup>2</sup>, ZHAO Bin<sup>1</sup>, CAI Chang-qun<sup>1</sup>, ZHANG Peng-yuan<sup>1</sup>

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. Shizuishan Power Supply Bureau, Shizuishan 753000, China)

**Abstract:** This paper analyses the problems of zero-sequence fundamental over-current protection in current operating generator of distribution transformer for generator neutral grounding. It puts forward three kinds of new protection schemes with same protection principle but different measurement parameters of protection terminal, according to the principle of “If only the grounding current of the grounding point is more than the approved current, when any point grounding of the generator stators, the protection will act”. The new protection schemes will significantly increase the performance of zero-sequence fundamental over-current and over-voltage protection of large generator and achieve clear two segments protection by the setting value.

**Key words:** generator; fundamental wave; zero-sequence over-current protection; zero-sequence over-voltage protection

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)14-0001-03

## 1 中性点经配电变压器接地的发电机当前运行中的零序过流保护存在的问题(背景技术)

发电机中性点经配电变压器接地是为了降低定子单相接地时的弧光过电压, 但这种接线方式比中性点不接地方式反而更加大了单相接地故障时的接地电流, 因此要求定子接地保护应更加完善可靠。当前国内外中性点经配电变压器接地的发电机大多数采用 20 Hz 低电阻保护及基波零序过流保护共同构成定子单相接地的主保护, 作用于快速跳闸。

发电机中性点基波零序过流保护的端子电流取自配电变压器的一次侧 TA 或二次侧的 CT (目前几乎都取自 CT, 当然取自 TA 更准确些), 见图 1。

当前运行中的发电机中性点基波零序过流保护

(以下简称为传统保护)的动作判据为式(1)、(2)构成的联立方程, 出口快速跳闸。

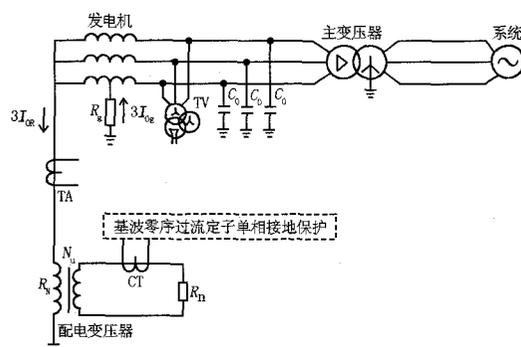


图1 中性点经配电变压器接地的发电机定子单相接地系统图

Fig.1 The system diagram of stator single phase grounding of the generator which neutral grounding via distribution transformer

$$\begin{cases} 3I_{0,R} \geq I_{set,h} & (1) \\ I_{set,h} = \frac{0.2U_{by}}{R_n N_V} & (2) \end{cases}$$

式中： $3I_{0,R}$  为发电机中性点对地的三倍零序电流，即保护的测量电流归算到配电变压器一次侧的值； $I_{set,h}$  为传统保护的整定电流归算到配电变压器一次侧的值； $U_{by}$  为配电变压器二次侧的额定电压； $R_n$  为配电变压器二次侧的电阻； $N_V$  为配电变压器的变比。

我国国家标准规定 18~20 kV 发电机定子单相接地电流的安全允许值  $I_y$  为 1 A。式 (2) 传统保护的整定值  $I_{set,h}$  与  $I_y$  之间无确切的关系，又因为不同的发电机  $U_{by}$ 、 $R_n$ 、 $N_V$  变化很大，所以实际上大多数发电机根据式 (2) 计算出的  $I_{set,h}$  值与  $I_y=1$  A 之间的差别极大，见表 1 实例，可见传统保护的整定计算公式 (式 (2)) 是不妥的，它只对少数机组适用，对大多数机组不适用，无普遍意义。

表 1 采用式 (2) 计算出的  $I_{set,h}$  实例与  $I_y$  的比较

Tab.1 Comparison of  $I_y$  and  $I_{set,h}$  calculated by expression(2)

$P_n$ /MW	$U_n$ /kV	$U_{by}$ /V	$R_n$ / $\Omega$	$N$ (V/V)	以式 (2) 计算出的 整定值 $I_{set,h}/A$	安全 允许 电流 $I_y/A$
三峡 700	20	400	0.26	$\frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400}$	10.65	1
三峡 700	20	720	1.20	$\frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 720}$	7.50	1
三峡 700	20	900	1.32	$\frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 900}$	10.60	1
秦山 600	20	500	0.26	$\frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 500}$	0.71	1

由表 1 实例，可见中性点经配电变压器接地的发电机采用传统零序过流保护的缺点是：

若  $I_{set,h} > I_y$ ，则定子单相接地时，接地点的对地电流  $3I_{0g}$  可能已远大于允许安全电流  $I_y$ ，但保护的测量电流  $3I_{0R}$  却小于定值  $I_{set,h}$ ，造成传统保护拒动。

若  $I_{set,h} < I_y$ ，则定子单相接地时， $3I_{0g}$  可能尚小于  $I_y$ ，但  $3I_{0R}$  却大于  $I_{set,h}$ ，造成传统保护误跳闸 (本来由保护二段延时发信号就可以了，保护一段不必快速跳闸)。

## 2 本文提出的中性点经配电变压器接地的发电机基波零序过流 (或过压) 保护新方案

中性点经配电变压器接地的发电机定子单相接地故障时的三相系统见图 1，其零序网络见图 2。

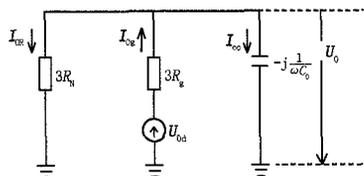


图 2 发电机定子单相接地零序网络图

Fig.2 Stator single phase grounding zero sequence equivalent circuit diagram

图中： $R_N$  为  $R_n$  归算到配电变压器一次侧的值， $R_N = N_V^2 R_n$ ； $R_g$  为发电机定子单相接地点的过渡电阻； $-j \frac{1}{\omega C_0}$  为发电机机压网络每相对地的总容抗；

$U_{0d}$  为发电机定子单相接地点的零序电势； $U_0$  为发电机机端对地的零序电压； $I_{0g}$  为发电机定子单相接地时接地点对地的零序电流 (接地点对地的电流为  $3I_{0g}$ )； $I_{0R}$  为发电机定子单相接地时，配电变压器一次侧对地的零序电流 (配电变压器一次侧的电流为  $3I_{0R}$ )； $I_{0c}$  为发电机定子单相接地时，机压系统对地电容电流的零序分量。

由图 2 得： $I_{0g} = I_{0R} + I_{0c}$

$$\begin{cases} 3I_{0g} = 3I_{0R} + \frac{3U_0}{-j \frac{1}{\omega C_0}} \\ |3I_{0g}| \geq I_y \end{cases} \quad (3)$$

式 (3) 表达的联立方程就是下述三个新保护方案共同的基本动作方程，其核心特征是：不管发电机定子单相接地点的位置在何处，只要接地点的电流  $3I_{0g}$  大于或等于允许安全电流  $I_y$ ，保护出口就快速动作，这最符合国家标准对发电机定子单相接地保护的要求，因此它是一个较理想的保护。

式 (3) 中， $\frac{1}{\omega C_0}$  及  $I_y$  为常数，是保护的整定值，而保护的测量值  $I_j = 3I_{0R}$ 、 $U_j = 3U_0$  为实时值。保护可以既测量  $U_j$  又测量  $I_j$ ，也可以只测量  $I_j$  (不测量  $U_j$ )，也可以只测量  $U_j$  (不测量  $I_j$ )，据此有下列不同的三种新保护方案。

### 2.1 方案 1

保护既测量电压  $U_j = 3U_0$  又测量电流  $I_j = 3I_{0R}$ 。

$U_j = 3U_0$  为保护端子取自机端电压互感器 PT 开口三角形侧的电压归算到 PT 一次侧的值。

$I_j = 3I_{0R}$  为保护端子取自配电变压器二次侧的

CT(或一次侧的TA)归算到配电变压器一次侧的值。

由式(3)得, 发电机基波零序过流保护方案1的动作方程为:

$$\begin{cases} 3I_{0g} = I_J + \frac{U_J}{-j\frac{1}{\omega C_0}} \\ |3I_{0g}| \geq I_y \end{cases} \quad (4)$$

方案1的优点是:  $U_J = 3U_0$  及  $I_J = 3I_{OR}$  都是保护测量的实时值, 较准确。

## 2.2 方案2

保护只测量电流  $I_J = 3I_{OR}$  (不测量  $3U_0$ ), 而  $3U_0$  可以计算出。

由图2得  $U_0 = I_{OR} \times 3R_N = I_J R_N$

由式(3)得, 发电机基波零序过流保护方案2的动作方程为:

$$\begin{cases} 3U_0 = 3I_J R_N \\ 3I_{0g} = I_J + \frac{3U_0}{-j\frac{1}{\omega C_0}} \\ |3I_{0g}| \geq I_y \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $R_N = N_V^2 R_n$  为常数,  $I_y$ 、 $\frac{1}{\omega C_0}$ 、 $R_N$  为保护的整定值。

方案2的优点是: 只测量  $I_J$ , 保护硬件比方案1简单些, 但由于  $3U_0$  是计算出的, 尤其是  $R_N$  有误差, 所以保护的精度比方案1差些。

## 2.3 方案3

保护只测量电压  $U_J = 3U_0$  (不测量  $3I_{OR}$ ), 保护就变成新型的基波零序过电压保护。根据式(3)及图2的原理, 以发电机定子单相接地点的电流  $3I_{OR}$  等于安全允许电流  $I_y$  为条件计算出的  $3U_0$  就是零序过电压保护的电压整定值  $U_{set}$ , 得保护的电压整定方程为:

$$\begin{cases} U_{set} = \left| \frac{3R_N(-j\frac{1}{\omega C_0})}{3R_N - j\frac{1}{\omega C_0}} \right| \times I_y \\ U_J \geq U_{set} \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $R_N$ 、 $\frac{1}{\omega C_0}$ 、 $I_y$  为常数, 因此动作电压的整定值  $U_{set}$  为常数, 而测量电压  $U_J = 3U_0$  为实时值。发电机定子无论任何点单相接地时, 只要接地点的电流  $3I_{0g}$  大于或等于允许安全电流  $I_y$ , 这意味着保护的测量电压  $U_J = 3U_0$  就一定会大于或等于  $U_{set}$ , 零序过

电压保护出口快速动作于跳闸。

方案3的保护精度与方案2类同。方案3、2保护的硬件比方案1简单些, 但它们的误差比方案1稍大些。

也可以将上述式(3)、(4)、(5)、(6)中的  $I_y$  换成  $K_k I_y$ , 可靠系数  $K_k = 0.87 \sim 0.9$ 。

## 3 实现两段式大型发电机基波定子接地保护

多年来电力系统一直想实现两段式大型发电机基波零序过流保护或零序过压保护, 但都因无确切的方法来区别一二段的动作整定值而未能实现。前述新保护方案1、2、3为解决此课题创造了条件。

### 3.1 两段式大型发电机基波零序过电流保护

#### 3.1.1 零序过流保护一段

零序过流保护一段的过流动作判据采用方案1(式(4))或方案2(式(5)), 瞬时或经短延时(如0.2s)出口跳闸。发电机定子任何点单相接地故障时, 只要接地点的电流  $3I_{0g}$  大于允许安全电流  $I_y$ , 一段保护就快速跳闸。

主变压器高压侧单相接地时耦合到发电机侧的  $U_0$  不会使一段的零序过流判据启动, 因此一段无需闭锁。

#### 3.1.2 零序过流保护二段

测量电流  $I_J = 3I_{OR}$ 。

零序过流保护二段的过流判据采用传统的判据为:

$$\begin{cases} I_{set} = K_k I_{unb} \\ I_J \geq I_{set} \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $I_{unb}$  为发电机正常运行时中性点对地的最大3倍零序电流(即不平衡电流);  $K_k$  为可靠系数, 取1.15~1.2。

二段经长延时(0.5~2s)出口发信号, 延时为了躲开暂态干扰及躲开主变压器高压侧单相接地故障时耦合到发电机侧的  $U_0$  对保护二段的影响。

### 3.2 两段式大型发电机基波零序过电压保护

两段式发电机基波零序过电压保护的特性与两段式发电机基波零序过电流保护特性类同。

#### 3.2.1 零序过压保护一段

零序过压保护一段的过压判据采用方案3(式(6)), 瞬时或经短延时(如0.2s)出口跳闸。发电机定子任何点单相接地故障时, 只要接地点的电流  $3I_{0g}$  大于允许安全电流  $I_y$ , 零序过压保护一段就快速跳闸。

(下转第21页 continued on page 21)

## 参考文献

- [1] 李卫东, 吴海波, 等. 电力市场下 AGC 机组调配的遗传算法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (15): 20-24.  
LI Wei-dong, WU Hai-bo, et al. Application of Genetic Algorithm to AGC Service Dispatch in a Deregulated Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (15): 20-24.
- [2] 谢亮. 考虑 AGC 的机组组合问题研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2005.
- [3] Baldwin C J. A Study of the Economic Shutdown of Generation Unit in Daily Dispatch[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1959, 78: 1272-1284.
- [4] Lower P G. Generation Unit Commitment by Dynamic Programming[J]. IEEE Trans on PAS, 1966, 85 (5): 422-430.
- [5] 张建雄, 唐万生. 基于混沌遗传算法的一类非线性两层混合整数规划问题求解[J]. 系统工程理论方法应用, 2005, 14 (5): 429-433.  
ZHANG Jian-xiong, TANG Wan-sheng. Chaos Genetic Algorithm Method for a Class of Nonlinear Bilevel Mixed Integer-programming Problem[J]. Systems Engineering-Theory Methodology Applications, 2005, 14 (5): 429-433.
- [6] 张倩茅, 周明, 等. 用于 AGC 容量预测和机组选择的动态统一模型及方法[J]. 电网技术, 2005, 29 (11): 46-50.  
ZHANG Qian-mao, ZHOU Ming, et al. Dynamical Unified Model and Approach for AGC Capacity Forecasting and Unit Selection[J]. Power System Technology, 2005, 29 (11): 46-50.
- [7] 蒙文川, 邱家驹, 卞晓猛. 电力系统经济负荷分配的人工免疫混沌优化算法[J]. 电网技术, 2006, 30 (23): 41-44.  
MENG Wen-chuan, QIU Jia-ju, BIAN Xiao-meng. Artificial Immune Algorithm Integrated with Chaotic Optimization for Economic Dispatch of Power System[J]. Power System Technology, 2006, 30 (23): 41-44.
- [8] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [9] 邹恩, 李祥飞, 陈建国. 混沌控制及其优化应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2002.
- [10] 娄素华, 吴耀武, 熊信良. 电力系统无功优化的变尺度混沌优化算法[J]. 电网技术, 2005, 18 (5): 20-24.  
LOU Su-hua, WU Yao-wu, XIONG Xin-yin. Mutative Scale Chaos Optimization Algorithm for Reactive Power Optimization of Power System[J]. Power System Technology, 2005, 18 (5): 20-24.
- [11] 蔡兴国, 初壮. 用遗传算法解算机组组合的研究[J]. 电网技术, 2003, 27 (7): 36-39.  
CAI Xing-guo, CHU Zhuang. Unit Commitment Based on Genetic Algorithms[J]. Power System Technology, 2003, 27 (7): 36-39.

收稿日期: 2007-11-19; 修回日期: 2008-01-04

## 作者简介:

李媛媛 (1982-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力市场、电力系统优化规划等, E-mail: 06121852@bjtu.edu.cn  
宋永华 (1964-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力市场、电力规划等;  
魏少岩 (1977-), 男, 博士后, 研究方向为电力市场、电力规划等。

(上接第 3 页 continued from page 3)

## 3.2.2 零序过压保护二段

测量电压  $U_j = 3U_0$ 。

零序过压保护二段的过压判据采用传统的判据, 为:

$$\begin{cases} U_{set} = K_k U_{umb} \\ U_j \geq U_{set} \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $U_{umb}$  为发电机正常运行时, 发电机出口最大的 3 倍零序电压 (即不平衡电压);  $K_k$  为可靠系数, 取 1.15~1.2。

零序过压保护二段经长延时 (0.5~2 s) 出口发信号。

## 参考文献

- [1] 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): 54-59.

LI De-jia, BI Da-qiang, WANG Wei-jian. Adjustment and Operation of Injection Voltage Scheme Against the Stator Single-phase-to-ground Fault of Large Generators[J]. Relay, 2004, 32(16): 54-59.

- [2] 华北电力学院. 电力系统故障分析[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1989.

收稿日期:

## 作者简介:

姚晴林 (1931-), 男, 许继电气公司高级技术顾问, 合肥工业大学离休教授, 从事电力系统继电保护研发工作;  
郭宝甫 (1973-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护研发工作;  
解波 (1971-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护及自动化运行维护及管理工作。