

# 发电机定子接地保护改造方案及其实现过程的分析

徐振,张方军,金文兵

(浙江机电职业技术学院电气工程系,浙江 杭州 310053)

摘要:在对某电厂的一台发电机改造后的 100%定子接地保护装置进行调试过程中发现,根据原来的改造方案无法满足 100%定子接地保护的要求,就原来的改造方案和调试过程中出现的问题进行了讨论分析。找出了出现问题的原因,并根据产生问题的原因对原来的保护方案进行了略微的修改,然后进行了调试,调试结果表明修改后的保护方案解决了原保护方案的问题,并完全满足了 100%定子接地保护的要求。

关键词:保护; 发电机; 定子接地

中图分类号: TM31; TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)14-0068-04

## 0 引言

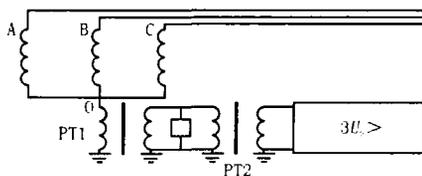
进行定子接地保护的发电机容量为 600 MW,原来的发电机定子接地保护是由发电机中性端零序过电压实现的,该定子接地保护只能保护机端约 85%定子绕组的接地故障,而不能实现 100%定子接地保护。随着电力系统的不断发展,对电网安全运行提出了更高的要求,要求电网中的电力设备安全运行。电厂为了保证发电机的安全运行,要对原来的定子接地保护进行改造以实现 100%定子接地保护。

## 1 发电机改造前的情况

改造前发电机的情况:

容量: 600 MW 机端电压: 19 kV

保护接线如图 1。



注:图中 PT1 为接地变压器; A, B, C 为定子绕组; PT2 为电压互感器; PT1 = 16 000: 500; PT2 = 500: 110

图 1 改造前的保护接线图

Fig 1 Connecting chart before reconstruction

发电机的中性端经接地变压器 (图 1 中的 PT1) 接地,用从接地变压器副边经电压互感器 PT2 引出的中性端零序过电压 ( $3U_0$ ) 实现 85% (图 4 中 59% 的保护范围)左右定子绕组的接地保护。

## 2 发电机 100%定子接地保护改造方案的原理

改造方案采用发电机中性端零序过压和机端三次谐波与中性端三次谐波差压过电压构成 100%定子接地保护<sup>[1]</sup>,当发电机的定子绕组发生接地故障的位置不同时,发电机的中性端零序电压以及中性端与机端的三次谐波电压会有规律地变化,其大致的变化规律如图 2。

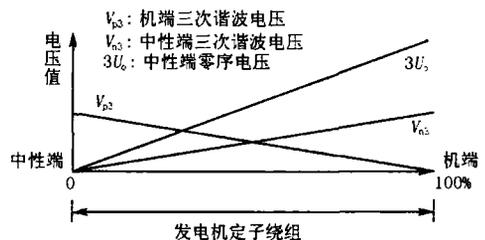
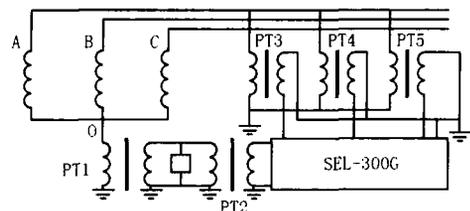


图 2 故障时电压的分布

Fig 2 Voltage distribution when faulted

## 3 100%定子接地保护装置的具体实现

保护装置采用美国 SEL 公司的 SEL - 300G 发电机保护设备。新方案接线图如图 3。



注: PT1 为接地变压器; A, B, C 为定子绕组; PT2, PT3, PT4, PT5 为电压互感器; PT1 = 16 000: 500; PT2 = 500: 110; PT3 = PT4 = PT5 = 19 000: 110

图 3 改造后的保护接线图

Fig 3 Connecting chart after reconstruction

300G装置的零序过电压(59N)功能代码为64G1,三次谐波差压过电压(3)功能的代码为64G2,其100%定子接地保护的逻辑图如图4。

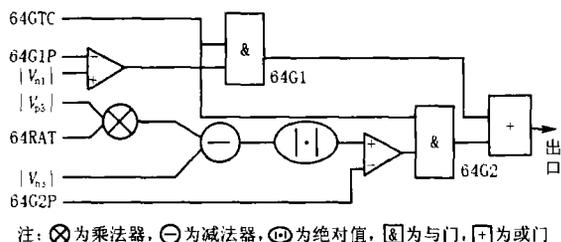


图4 保护逻辑图

Fig 4 Protection logic

图4中:64G1P为零序过电压保护的动值;64G2P为三次谐波差压过电压的动值;|V<sub>n1</sub>|为中性端零序电压的绝对值;|V<sub>p3</sub>|为发电机端的三次谐波电压的绝对值;|V<sub>n3</sub>|为中性端的三次谐波电压的绝对值;64RAT为三次谐波电压的调整系数,用来调节保护的灵敏度;64GTC为闭锁信号,在本方案中为正序低压闭锁。

100%定子接地保护的保护区如图5所示。

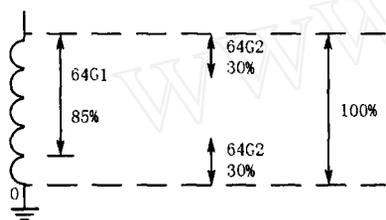


图5 保护范围

Fig 5 Protection range

在离中性端  $a\%$  处发生定子接地故障时,近似有中性端的三次谐波电压为  $a\% \times (V_{n3} + V_{p3})$ ,机端的三次谐波电压为  $(1 - a\%) \times (V_{n3} + V_{p3})$ ,各种三次谐波电压量的关系如图6。

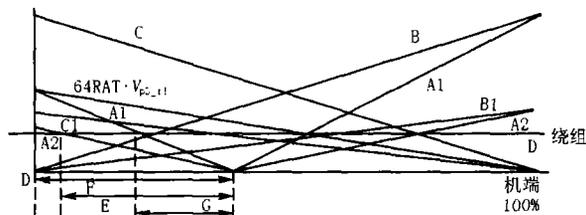


图6 故障时三次谐波电压量的分布图

Fig 6 The 3rd harmonic voltage distribution on fault

其中: $B = a\% \times (V_{n3\_fl} + V_{p3\_fl})$ 为满载故障时中性端的三次谐波电压值; $C = (1 - a\%) \times (V_{n3\_fl} + V_{p3\_fl})$ 为满载故障时发电机端的三次谐波电压值;64RAT

为三次谐波电压调整系数; $A_1 = |64RAT \times V_{p3\_fl} - V_{n3\_fl}|$ 为满载故障时中性端和发电机端的三次谐波电压差值; $B_1 = a\% \times (V_{n3\_n1} + V_{p3\_n1})$ 为空载故障时中性端的三次谐波电压值; $C_1 = (1 - a\%) \times (V_{n3\_n1} + V_{p3\_n1})$ 为空载故障时发电机端的三次谐波电压值; $A_2 = |64RAT \times V_{p3\_n1} - V_{n3\_n1}|$ 为空载故障时中性端和发电机端的三次谐波电压差值; $D = 64G2P$ 为三次谐波差压过电压保护的动值; $E = 64G2P / [(64RAT + 1)(V_{p3\_n1} + V_{n3\_n1})]$ 为空载故障时三次谐波差压过电压不能保护的故障点离中性端的距离; $G = 64G2P / [(64RAT + 1)(V_{p3\_fl} + V_{n3\_fl})]$ 为满载故障时三次谐波差压过电压不能保护的故障点离中性端的距离; $F - G = 64RAT / (1 + 64RAT) - 64G2P / [(64RAT + 1)(V_{p3\_fl} + V_{n3\_fl})]$ 为满载时,三次谐波差压过电压保护64G2的保护范围; $F - E = 64RAT / (1 + 64RAT) - 64G2P / [(64RAT + 1)(V_{p3\_n1} + V_{n3\_n1})]$ 为空载时,三次谐波差压过电压保护64G2的保护范围。

SEL-300G用满载(三次谐波电压较大)时的三次谐波电压值来整定动值64G2P,以确保三次谐波差压过电压保护在发电机正常运行带不同负荷时不误动作。用空载(三次谐波电压较小)时三次谐波差压过电压保护(64G2)的保护范围64G2%来检验保护的灵敏度以确保三次谐波差压过电压保护在发电机带不同负荷发生故障时的保护范围不小于64G2%。

$$64G2P = 1.1 \times (0.1 + |64RAT \times V_{p3\_fl} - V_{n3\_fl}|)$$

$$64G2\% = \{ 64RAT / (64RAT + 1) - 64G2P / [(64RAT + 1)(V_{p3\_n1} + V_{n3\_n1})] \} \times 100\%$$

(64G2%至少应大于15%)

发电机空载与满载时中性端三次谐波值( $V_{n3\_n1}, V_{n3\_fl}$ )和发电机空载与满载时发电机端的三次谐波值( $V_{p3\_n1}, V_{p3\_fl}$ )需要现场测量。

#### 4 改造方案的调试过程及存在的问题

方案实调试步骤如下:

1) 首先测量机端和中性端的三次谐波值,这可以由SEL-300G完成,测量空载时中性端的三次谐波电压值( $V_{n3\_n\emptyset}$ ),空载时发电机端的三次谐波电压值( $V_{p3\_n\emptyset}$ ),满载时中性端的三次谐波电压值( $V_{n3\_fl}$ ),满载时中性端的三次谐波电压值( $V_{p3\_fl}$ )。

2) 分别计算空载时中性端的三次谐波电压值二次值  $V_{n3\_n1}$ , 空载时发电机端的三次谐波电压二次值  $V_{p3\_n1}$ , 满载时中性端的三次谐波电压二次值  $V_{n3\_f1}$ , 满载时中性端的三次谐波电压二次值  $V_{p3\_f1}$ :

$$V_{n3\_n1} = V_{n3\_n1p} / (PT1 \times PT2)$$

$$V_{p3\_n1} = V_{p3\_n1p} / PT3$$

$$V_{n3\_f1} = V_{n3\_f1p} / (PT1 \times PT2)$$

$$V_{p3\_f1} = V_{p3\_f1p} / PT3$$

(其中 PT1 为接地变压器的变比, PT2 为中性端的电压互感器变比, PT3 为发电机端的电压互感器变比)。

3) 计算三次谐波电压调整系数 64RAT:

$$64RAT = (V_{n3\_f1} + V_{n3\_n1}) / (V_{p3\_f1} + V_{p3\_n1}) = 0.414$$

(300G 中 64RAT 的值只能取小数点后一位, 所以以 64RAT 取 0.4)

4) 计算三次谐波差压过电压保护的整定值 64G2P:

$$64G2P = 1.1 \times (0.1 + |64RAT \times V_{p3\_f1} - V_{n3\_f1}|) = 0.137 \text{ (V)}$$

(300G 中 64G2P 值只能取小数点后一位且最小值为 0.2, 因此取值为 0.2)

5) 计算并检验三次谐波差压过电压在空载时的保护区 64G2%:

$$64G2\% = \{ 64RAT / (64RAT + 1) - 64G2P / [(64RAT + 1)(V_{p3\_n1} + V_{n3\_n1})] \} \times 100\% = -26.4\%$$

具体的数据见表 1。

表 1 改造前的测量数据

Tab 1 Measuring data before reformation

负荷 / MW	$V_{p3}$ / V	$V_{n3}$ / V	保护范围
0 (空载)	0.185	0.074	-26.63%
8	0.741	0.332	15.26%
42	2.254	0.914	24.132%
660 (满载)	2.509	1.032	24.27%

各种量的关系如图 7 (图中符号意义同图 6)。

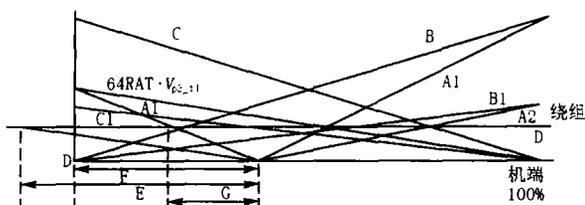


图 7 故障时各种三次谐波电压量的分布图

Fig 7 The 3rd harmonic voltage distribution on fault

由上面的计算可知 SEL - 300G 的三次谐波差压过电压保护在空载时并没有保护功能 (为负值)。只有随着负荷的增加 (三次谐波的增加), 保护范围由负值 {图 7 的 (F - E)} 变为正值 {图 6 的 (F -

E)}, 三次谐波差压过电压保护功能才起作用, 并逐渐增加。当满载时, 保护范围为 (F - G)。如果考虑到是非金属性接地, 则保护范围更小。因此 SEL - 300G 不能满足我国的继电保护规程要求 (我国的电力保护规程规定: 不管发电机带多少负荷, 100% 定子接地保护功能都要能真正实现 100% 的定子绕组接地保护)。

## 5 出现问题原因的分析及解决方法

### 5.1 存在问题的原因

一般中小容量发电机空载与满载时三次谐波电压二次侧的值都较大 (一般都有 1~5 V), 存在  $F > E > G$ , 所以 (F - G) 和 (F - E) 的值都大于零, 而该发电机由于容量大以及制造工艺等原因, 在空载与满载时的谐波量相差大且绝对量值都较小, 加上 SEL - 300G 的 64G2 功能由于只有一个调节系数 64RAT 以及 64G2P 的最小整定值范围等原因, 使得 SEL - 300G 的三次谐波差压过电压保护功能在空载时没有保护功能 (保护范围 (F - E) 为负值)。

### 5.2 解决方法

针对出现的问题及原因, 我们进行了分析并提出了两种解决方法:

1) 调换保护设备, 改用南自公司生产的 WFBZ - 01 保护装置, WFBZ - 01 的 100% 定子接地保护的三次谐波差压过电压功能有三个调节参数, K1 和 K2 为动作电压调整参数, 它能根据实际发电机的三次谐波电压大小和相位自动调整, K3 为制动电压调整参数, 它根据要求的灵敏度自动调整 (当灵敏度 1~10 k 时, 三次谐波差电压为几十毫伏)。经过计算验证, 并用测试装置模拟, 结果 WFBZ - 01 完全满足要求。

2) 在 SEL300G 的  $3U_0$  输入端加一个小的 PT 以提高进入到装置的中性端的三次谐波电压  $V_{n3}$  的值。我们知道在 SEL300G 保护装置的整定中保护范围的检验是根据 64G2P% 来进行的, 而在从计算 64G2P% 的公式中我们可以看出 64G2P% 的值是和 64RAT 有很大的关系的, 改变 64RAT 的值可以改变 SEL300G 的保护范围。如果 CT 大于 1, 那么它提高了中性端定子接地的保护范围, 而减少了发电机端定子接地的保护范围; 而在实际上三次谐波差压过电压保护功能只需要能够保护中性端附近约 15% 的定子绕组接地故障, 发电机端附近的定子绕组接地故障完全可以用零序过电压来实现保护。

对于新加上的小的 PT, 我们分别取其变比为

PT=2、PT=2.5,分别计算验证:

1) PT=2时,此时测量到的数据见表2。

表2 PT=2时的测量数据

Tab 2 Measuring data when PT=2

负荷 /MW	$V_{p3}/V$	$V_{n3}/V$	保护范围
0 (空载)	0.185	0.148	11.09%
8	0.741	0.664	36.53%
42	2.254	1.828	41.72%
660 (满载)	2.509	2.064	42.01%

调整系数为:  $64RAT = (V_{n3\_fl} + V_{n3\_n1}) / (V_{p3\_fl} + V_{p3\_n1}) = 0.828$  (取值为0.8)

三次谐波差压过电压保护的整定值 64G2P:

$$64G2P = 1.1 \times (0.1 + |64RAT \times V_{p3\_fl} - V_{n3\_fl}|) = 0.173 \text{ (V)} \text{ (取值为0.2)}$$

保护区域 64G2%:

$$64G2\% = \{ 64RAT / (64RAT + 1) - 64G2P / [(64RAT + 1)(V_{p3\_n1} + V_{n3\_n1})] \} \times 100\% = 11.09\%$$

空载时的保护范围不能达到15%,因此不符合要求。

2) PT=2.5时,此时测量到的数据见表3。

表3 PT=2.5时的测量数据

Tab 3 Measuring data when PT=2.5

负荷 /MW	$V_{p3}/V$	$V_{n3}/V$	保护范围
0 (空载)	0.185	0.185	11.09%
8	0.741	0.830	36.53%
42	2.254	2.285	41.72%
660 (满载)	2.509	2.587	42.01%

调整系数为:  $64RAT = (V_{n3\_fl} + V_{n3\_n1}) / (V_{p3\_fl} + V_{p3\_n1}) = 1.035$  (取值为1.)

三次谐波差压过电压保护的整定值 64G2P:

$$64G2P = 1.1 \times (0.1 + |64RAT \times V_{p3\_fl} - V_{n3\_fl}|) = 0.196 \text{ (V)} \text{ (取值为0.2)}$$

保护区域 64G2%:

$$64G2\% = \{ 64RAT / (64RAT + 1) - 64G2P / [(64RAT + 1)(V_{p3\_n1} + V_{n3\_n1})] \} \times 100\% = 22.97\%$$

空载时的保护范围达到15%,因此符合要求。

### 5.3 最终采用的方案

以上两种修改方案都可以实现保护的要求,但定子接地保护改造只是整个保护改造中的一小部分,考虑到设备的整体性要求等原因,最后采用的是(2)方案。

## 6 结束语

随着生产和制造水平的提高,一方面提高了电力系统的发电水平和效率,在另一方面也给继电保护提出了新的问题,如本文中所讨论产生的原因就是发电机生产工艺的提高,发电机在小负荷(空载)时电压中的三次谐波电压过小,从而使得在空载时不能够满足保护的要求。还有,现在我国电力系统中越来越多地采用国外的保护装置,这些国外设备的应用促进了我国电网的发展,但其保护装置的功能设计未考虑我国的电力系统环境,在实际应用过程中还存在许多问题,如本文中的三次谐波差压过电压保护功能中,可调整的系数过少(只有一个),整定值只能取小数点后一位,等等。

### 参考文献:

- [1] 王维俭. 发电机变压器继电保护应用[M]. 北京:中国电力出版社,1998  
WANG Wei-jian The Application of Relay Protection on Generator and Transformer[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998

收稿日期: 2006-01-16; 修回日期: 2006-03-10

作者简介:

张方军(1975-),男,硕士研究生,主要从事配电网自动化研究。Email: fjzhang2020@sina.com

## Analysis of reconstruction scheme and process of generator stator-grounded protection

XU Zhen, ZHANG Fang-jun, JIN Wen-bing

(Department of Electric Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

**Abstract:** In debugging 100% stator-grounded protection relay, it is found out that the generator primary reconstructed scheme can meet protection demand. This paper analyses the problems in original reconstruction scheme and finds out reasons. To solve the problems, the original scheme is revised. Debugging results show that the new scheme can meet the need of 100% stator-grounded relay protection.

**Key words:** protection; generator; stator-grounded