

# 西门子 20 Hz 电压注入式 100% 定子接地保护原理及调试

宋建军<sup>1</sup>, 高迪军<sup>2</sup>

(1. 神华河北国华定州发电有限责任公司, 河北 定州 073000;  
2. 西门子电力自动化有限公司, 江苏 南京 211100)

**摘要:** 介绍了西门子 20 Hz 电压注入式 100% 定子接地保护原理, 分析了在调试时接地电流角度补偿与传变电阻对西门子 20 Hz 电压注入式 100% 定子接地保护的影响。通过软件调试, 对接地电流角度补偿与传变电阻的修正, 提高了 20 Hz 接地保护测量接地电阻的精度, 并给出了防止 20 Hz 电源及电源引出线故障误动的措施。

**关键词:** 20 Hz 电压注入式; 100% 定子接地保护; 接地电流角度; 传变电阻

**中图分类号:** TM311 **文献标识码:** A

## 0 引言

神华河北国华定州发电有限责任公司二期工程采用西门子微机式发变组保护, 其 20 Hz 注入式 100% 定子接地保护不受对地电容影响保护范围 100%。在调试过程中接地电流角度补偿与传变电阻对接地电阻的测量精度影响很大, 通过西门子开发的注入式 20 Hz 接地保护调试工具, 大大提高了 100% 定子接地保护对接地电阻的测量精度。

## 1 基本原理

如果保护没有能够测量到发生在发电机中性点或引出线的接地故障, 那么发电机就运行在“接地”状态。而由于发电机零序阻抗很小, 这将导致产生极大的故障电流。基于这个原因, 100% 定子接地故障保护就成为了大型机组配置的一个基本保护功能。

100% 定子接地保护测量通过发电机-变压器组单元接线连接到电网的发电机所发生的定子回路接地故障。本保护功能采用外部注入 20 Hz 低频交流电源的方法, 与发生接地故障时产生的工频零序电压无关, 可以测量包括发电机中性点在内的定子绕组的全部接地故障。它所采用的测量原理完全不受发电机运行工况的影响, 即使在发

电机处于停机状态的情况下, 测量过程依然在进行。

图 1 即为基本保护原理。从发电机中性点侧注入一个外部的低频 (20 Hz) 交流电压源, 其幅值最大约为发电机额定电压的 1%。如果发电机中性点发生了接地故障, 20 Hz 交流电压信号通过接地电阻将产生电流。保护装置将测量回路的驱动电压和故障电流, 从而可以计算出回路的电阻。这种原理同时也测量发电机机端的接地故障, 包括发电机机端连接的其他设备, 如电压互感器等。

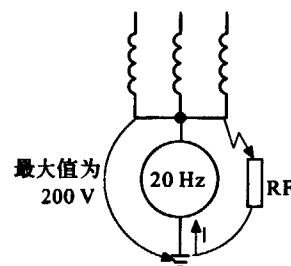


图 1 发电机中性点注入电压的原理  
Fig. 1 Principle of the generator neutral point voltage injection

要实现上述思路, 需要相应的外部附加设备。从图 1 可以看出, 20 Hz 信号发生器产生一个方波电压, 幅值约为 25 V。通过带通滤波器, 方波信号注入到接地变压器或者中性点变压器的二次侧负载电阻。带通滤波器的作用是将方波信号转成正弦波信号, 同时贮存能量。带通滤波器在 20 Hz 时的等值电阻约为 8  $\Omega$ , 同时它也有保护的功能。

收稿日期: 2011-03-07。

作者简介: 宋建军 (1971-) 男, 工程师, 主要从事电厂继电保护技术管理, E-mail: songjianjun215@163.com。

在发电机机端发生接地故障时, 负载电阻承受了全部的零序电压, 带通滤波器本身较高的串联电阻有效保护了 20 Hz 信号发生器不受过大的反馈电流的冲击。

20 Hz 电压驱动信号通过一个分压器直接取自负载电阻。另外, 流过的 20 Hz 交流电流信号通过小型 CT 来测量, 这两个测量量  $U_{SEF}$  和  $I_{SEF}$  ( $U_{SEF}$  为接入保护继电器的位移电压;  $I_{SEF}$  为接入保护继电器的测量电流), 都将引入保护装置。注入到发电机中性点的电压值取决于 20 Hz 驱动电压信号 (电压分压: 负载电阻和带通滤波器), 以及接地变压器或中性点变压器的变比。为了防止二次侧负载电阻太小 (某些情况下, 这个值可能会小于  $0.5 \Omega$ ), 接地变压器或者中性点变压器的二次额定电压应该取得较高。实践证明, 500 V 这个值是合适的。

通过图 2 中得到的两个测量值  $U_{SEF}$  和  $I_{SEF}$ , 来计算 20 Hz 低频交流信号回路的电压和电流矢量。通过这两个矢量信号计算出复合阻抗, 从而可以得出接地电阻的欧姆阻值。这种方法有效地消除了定子对地电容的干扰, 因此具有很高的灵敏度。可以取几个周波内的电压和电流平均值计算接地电阻, 从而进一步提高了测量精度。在原理上, 保护装置已经考虑了传变电阻  $R_{PS}$ , 它们可能存在于接地变压器、中性点变压器或者电压互感器。另外, 把其他的误差因子都考虑到角度误差中。

除了计算接地电阻, 保护装置还通过测量接地电流的有效值而提供一个接地电流保护段, 进而考虑所有的频率元件。这可以用作后备保护段, 能够覆盖约 80% 到 90% 的保护范围。

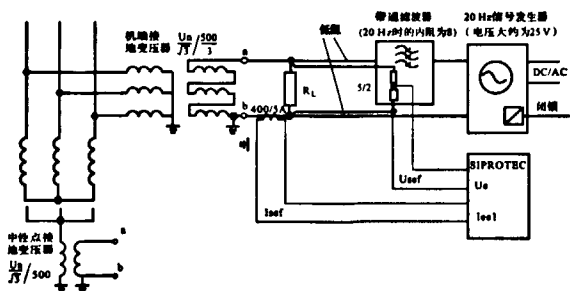


图 2 带接地变压器或中性点变压器的 100% 定子接地保护回路设计

Fig. 2 Design of 100% stator ground protection circuit with grounded transformer or neutral point transformer

## 2 接地电流角度与传变电阻对计算接地电阻的影响

从图 1 和图 2 可以看出, 外部 20 Hz 电压信号通过发电机机端接地变压器 (三相) 或者中性点配电变压器 (单相) 二次侧注入, 然后传变到一次侧即定子回路。由于变压器非理想变压器, 而是存在内阻、内抗、漏阻和漏抗等, 这些都会给装置测量到的二次电阻带来实际误差。西门子以工程的方法, 通过一次侧试验将以上参数补偿到保护程序中, 从而保证了测量的准确性。保护测量的等效回路如图 3。图 3 中  $R_{PSec}$  为配电变压器的传变电阻 (二次值);  $R_{L2sec}$  为定子绕组并联的其他负载 (二次值), 如厂用母线的接地变压器;  $R_{Esec}$  为定子绕组对地绝缘电阻 (二次值)。

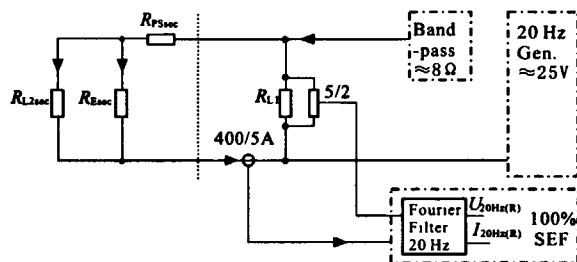


图 3 100% 定子接地保护等效回路

Fig. 3 Equivalent circuit of the 100% stator grounded protection

在以上等效回路图中, 保护装置通过测量到的 20 Hz 电压、电流以及回路中其他参数如  $R_{PSec}$ ,  $R_{L2sec}$  计算得到  $R_{Esec}$ 。为了方便调试、缩短调试时间以及提高调试精度, 西门子利用 EXCEL 文件开发了一个小型的调试工具参数表, 见表 1。

试验中, 需要知道接地变压器的额定电压、分压比以及小型专用 CT 的变比等, 以计算传变系数, 见单元格 Q7。B14 - B25, C14 - C25, E14 - E25, F14 - F25, G14 - G25 单元格中需要手工录入数据, 而其他部分则自动显示。

单元格 Q4 (Q9), Q5 (Q10) 和 Q6 (Q11) 分别对应于初始和优化后的 3 个补偿参数: 接地电流修正角 PHI、传变电阻  $R_{PS}$  以及并列负载电阻 RL2。试验中, 先按照绝缘良好和直接接地两种情况, 设定补偿参数 Q4 (此处  $0^\circ$ )、Q5 (此处  $11.0 \Omega$ ) 和 Q6 (定洲二期厂用母线无任何接地负

表1 100%定子接地保护调试工具参数表

Tab. 1 Parameters of 100% stator grounded protection debugging tool

| 3  |     | Data: Earthing Transformer                       |     |        |      |         |         | Data: Miniature CT                         |           |         |           |           |             | Relay 7UM62 Setting          |       |            |       |      |  |
|----|-----|--|-----|--------|------|---------|---------|--|-----------|---------|-----------|-----------|-------------|------------------------------|-------|------------|-------|------|--|
| 4  |     | Uprim = 22 kV                                    |     |        |      |         |         | Iprim = 400 kA                             |           |         |           |           |             | PHI. set(5309) = 0°          |       |            |       |      |  |
| 5  |     | Usec = 0.23 kV                                   |     |        |      |         |         | Isec = 5 kA                                |           |         |           |           |             | Rps. set(5310A) = 11.0 Ω     |       |            |       |      |  |
| 6  |     | Data: Voltage Divider                            |     |        |      |         |         | (To be tested) Ki = 80                     |           |         |           |           |             | RL2. set(5311A) = 99999999 Ω |       |            |       |      |  |
| 7  |     | Ku: 1.000  |     |        |      |         |         | Calculation: Factor R Prim to Sec = 114.37 |           |         |           |           |             | Factor R SEF(275) = 94.5     |       |            |       |      |  |
| 9  |     | Rrel. 1 = U20 / (120 * cosφ)                     |     |        |      |         |         |  |           |         |           |           |             | PHI actual = 10°             |       |            |       |      |  |
| 10 |     | Rrel 2 = Rrel 1 - Rps. set                       |     |        |      |         |         |  |           |         |           |           |             | Rps. actual = 10.9 Ω         |       |            |       |      |  |
| 11 |     | Rrel cal = RL2 set * Rtel 2 / (RL2 set - Rrel 2) |     |        |      |         |         |  |           |         |           |           |             | RL2. actual = 99999999 Ω     |       |            |       |      |  |
| 13 | No. | Rtest  | U20 | I20    | φ    | Rm. sec | Rm. pri | Rrel. 1                                    | R' rel. 1 | Rrel. 2 | R' rel. 2 | Rrel. cal | R' rel. cal | Rpri. cal                    | Error | R'pri. cal | Error |      |  |
|    |     | [kΩ]   | [V] | [V]    | [°]  | [Ω]     | [kΩ]    | [Ω]  | [Ω]       | [Ω]     | [Ω]       | [Ω]       | [Ω]         | [kΩ]                         | [%]   | [kΩ]       | [%]   |      |  |
| 14 | 1   | 0.00   | 0.3 | -0.340 | 34.1 | -154.9  | 0       | 0.01                                       | 11.00     | 12.18   | 0.00      | 1.28      | 0           | 1                            | 0.00  | /          | 0.12  | /    |  |
| 15 | 2   | 1.00   | 0.6 | -0.584 | 27.8 | -178.2  | 10      | 0.94                                       | 21.00     | 21.44   | 10.00     | 10.54     | 10          | 11                           | 0.95  | -5.8       | 1.00  | -0.7 |  |
| 16 | 3   | 2.13   | 0.8 | -0.770 | 23.4 | 165.5   | 23      | 2.17                                       | 34.00     | 33.02   | 23.00     | 22.12     | 23          | 22                           | 2.17  | 2.0        | 2.09  | -1.9 |  |
| 17 | 4   | 3.14   | 0.9 | -0.891 | 20.6 | 160.1   | 35      | 3.27                                       | 46.00     | 43.91   | 35.00     | 33.01     | 35          | 33                           | 3.31  | 5.3        | 3.12  | -0.7 |  |
| 18 | 5   | 4.26   | 1.0 | -0.973 | 18.6 | 150.7   | 49      | 4.60                                       | 60.00     | 55.44   | 49.00     | 44.54     | 49          | 45                           | 4.63  | 8.7        | 4.21  | -1.2 |  |
| 19 | 6   | 5.26   | 1.1 | -1.066 | 17.4 | 147.1   | 62      | 5.90                                       | 73.00     | 66.54   | 62.00     | 55.64     | 62          | 56                           | 5.86  | 11.4       | 5.26  | 0.0  |  |
| 20 | 7   | 6.28   | 1.1 | -1.124 | 16.4 | 142.0   | 76      | 7.14                                       | 87.00     | 77.65   | 76.00     | 66.75     | 76          | 67                           | 7.18  | 14.4       | 6.31  | 0.4  |  |
| 21 | 8   | 6.93   | 1.2 | -1.116 | 15.9 | 137.0   | 85      | 8.04                                       | 96.00     | 83.72   | 85.00     | 72.82     | 85          | 73                           | 8.03  | 15.9       | 6.88  | -0.7 |  |
| 22 | 9   | 7.93   | 1.2 | -1.197 | 15.3 | 134.8   | 100     | 9.42                                       | 111.00    | 95.72   | 100.00    | 84.82     | 100         | 85                           | 9.45  | 19.2       | 8.02  | 1.1  |  |
| 23 | 10  | 8.94   | 1.2 | -1.229 | 14.9 | 130.9   | 115     | 10.89                                      | 126.00    | 106.30  | 115.00    | 95.40     | 115         | 95                           | 10.87 | 21.6       | 9.02  | 0.8  |  |
| 24 | 11  | 10.06  | 1.3 | -1.259 | 14.5 | 127.1   | 133     | 12.60                                      | 144.00    | 118.58  | 133.00    | 107.68    | 133         | 108                          | 12.57 | 24.9       | 10.18 | 1.1  |  |
| 25 | 12  | 14.35  | 1.3 | -1.269 | 13.7 | 115.4   | 205     | 19.34                                      | 216.00    | 159.94  | 205.00    | 149.04    | 205         | 149                          | 19.37 | 35.0       | 14.08 | -1.9 |  |

载, 可设为极大值 99,999,999 Ω)。按照 0 到 15 kΩ (步长 1 kΩ) 分别在定子绕组和地之间挂故障电阻, 然后将这些试验阻值  $R_{test}$ 、装置测量到的 20 Hz 电压和电流值  $U_{20}$  与  $I_{20}$ 、角度  $\varphi$ 、装置读取的二次和一次阻值  $R_{m,sec}$  与  $R_{m,pri}$  分别录入单元格 B14 - H25。注意到此时对应的误差较大 (见单元格 P14 - P25), 远超过 5% (这是没有经过 Q9, Q10 数据补偿)。此时, 可调整单元格 Q9 (此处 14°), Q10 (此处 10.9 Ω) 同时观察单元格 R14 - R25 的理论测量结果至满意的数据, 如 R14 - R25 小于 2%。然后将 EXCEL 文件开发的一个小型的调试工具中 Q9, Q10, Q11 数据对应输入保护专用调试软件 DIGSI 的参数表: 接地电流角度 5309、传变电阻 5310 和并列负载电阻 5311 并上传到保护装置。最后, 可以再次在定子绕组和地之间挂故障电阻以全部或者部分测试装置的测量数据。现场测试结果表明, 经过以上调试工具进行参数优化后的保护测量值非常准确, 与表格上的理论计算结果如 R14 - R25 误差几乎一样。

### 3 防止 20 Hz 接地保护误动的措施

#### 3.1 电源故障

外加电源可靠性是保证接地保护正确动作的前提, 西门子接地保护在地址 5307 和 5308 中, 可以设定  $U_{20} MIN$  和  $I_{20} MIN$  这两个监视门槛值。如果 20 Hz 电压信号降低到小于启动值而 20 Hz 电流信号并没有升高时, 就可以判定 20 Hz 信号回路接线出了问题。保护将被闭锁防止误动。

#### 3.2 引线故障

20 Hz 接地保护具备电源及电源引线回路监视功能用来检查耦合馈入的 20 Hz 电压信号和 20 Hz 电流信号, 通过对这些信号的评估来判断发生在 20 Hz 低频交流电压信号发生器或者 20 Hz 信号回路接线的任何故障。一旦发现任何故障, 保护装置将闭锁对接地电阻的计算, 但是接地电流段仍然有效。

#### 3.3 二次负载电阻接线位置

20 Hz 接地保护电压分压器接线位置也要注意, 20 Hz 接地保护电压分压器应接在配电变压器

二次负载电阻的两端, 不能把二次电流互感器包括在内, 以免当 20 Hz 接地保护电压分压器接线断线时, 保护装置测量的 20 Hz 的电流很大, 引起保护误动,

### 3.4 接地电流设定

接地电流段具有后备保护功能, 其定值按照大约 80% 的保护范围整定。接地电流测量功能在全频率范围内都将正常运行。出口方式为跳闸。为了保证电流设定正确, 不引起误动。在起机试验时重点检查 100% 定子接地保护的后备接地电流段  $SEF I >>$  的动作行为, 在位移电压为 10% 到 20% 的发电机额定电压时, 从保护装置的运行测量值窗口中读取测量电流  $I_{SEF}$ 。以这种方式得到的电流值应该与地址 5 306 中整定的启动门槛值  $SEF I >>$  大致相同, 以确保 100% 定子接地保护后备电流段的保护范围能够覆盖 80% 到 90% 的定子绕组, 而这个后备电流段独立于 100% 定子接地保护的电阻计算。

## 4 结 论

对西门子注入式 20 Hz 接地保护原理进行了

介绍, 西门子注入式 20 Hz 接地保护在定值中考虑到配电变压器对保护测量接地电阻的影响, 在调试过程中分别对加入与不加入角度与传变电阻补偿进行了比较。试验证明加入角度与传变电阻补偿后, 保护测量电阻精度大大提高。为防止西门子注入式 20 Hz 接地保护误动, 应合理整定 20 Hz 电压最小值、20 Hz 电流最小值, 当电源及引线故障时及时闭锁保护。

### 参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1996. 238 - 239.
- [2] 吕景顺, 王寅仲, 王欣, 等. 330 kV 升压变压器中性点保护问题讨论 [J]. 电网与清洁能源, 2010, 26 (1): 45 - 47.  
Lu Jingshun, Wang Yinzong, Wang Xin, et al. Discussions on protection methods for neutral point of the 330 kV step-up transformer [J]. Power System and Clean Energy, 2010, 26 (1): 45 - 47.

## Fundamental Principles and Debugging of Siemens Voltage Injection 100% Stator Ground Protection with 20 Hz

Song Jianjun<sup>1</sup>, Gao Dijun<sup>2</sup>

(1. Shenhua Hebei Guohua Dingzhou Power Generation Co., Ltd., Dingzhou 073000, China;

2. Siemens Power Automation Ltd., Nanjing 211100, China)

**Abstract:** The fundamental principles of Siemens Voltage Injection 100% Stator Ground Protection with 20 Hz are introduced in this paper. The influences of grounding current angle compensation and transmission resistance are analyzed subsequently. By the debugging of the software and the correction of the grounding current angle compensation & the transmission resistance, the precision of the ground-resistance with 20 Hz ground protection is improved. The methods are also presented to prevent malfunction due to the 20 Hz power supply and its lead wire faults in this paper.

**Key words:** 20 Hz voltage injection; 100% stator ground protection; grounding current angle; transmission resistance

## 西门子20Hz电压注入式100%定子接地保护原理及调试

作者: [宋建军](#), [高迪军](#), [Song Jianjun](#), [Gao Dijun](#)  
作者单位: [宋建军, Song Jianjun\(神华河北国华定洲发电有限责任公司, 河北定州, 073000\)](#), [高迪军, Gao Di jun\(西门子电力自动化有限公司, 江苏南京, 211100\)](#)  
刊名: [电力科学与工程](#)  
英文刊名: [Electric Power Science and Engineering](#)  
年, 卷(期): 2011, 27(8)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_dlqb201108009.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dlqb201108009.aspx)