

基于负序电压分布的发电机定子匝间短路保护

俞 胜¹, 仇新宏², 李 哲², 王祖光¹

(1. 国网电力科学研究院, 江苏 南京 210003; 2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061)

摘要: 提出发电机定子绕组匝间短路保护新判据方法, 包括主判据和闭锁判据。主判据由发电机机端负序电压和中性点负序电流构成; 闭锁判据由发电机机端负序电压、主变高压侧负序电压、主变中压侧负序电压、高厂变1分支负序电压、高厂变2分支负序电压构成。如果主判据为真, 再判断闭锁判据是否为真, 如果闭锁判据也为真, 则立即闭锁保护, 否则延时保护动作并发告警信号。所提方法不仅可对发电机的各种非对称故障进行反应, 还可以对主变及厂用变压器的一部分内部故障进行反应; 与纵向零序电压方案相比较, 可不增加一次设备并且容易双重化; 在靠近发电机中性点处相间故障时, 可得到较高的灵敏度。

关键词: 发电机; 定子绕组; 匝间短路; 负序电压分布; 主判据; 闭锁判据

中图分类号: TM 772

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2010)09-0072-03

大型发电机结构复杂, 发生定子匝间短路的概率很大。当发生匝间短路时, 短路匝中流过的电流很大, 若不及时切除, 将严重损坏发电机的定子铁心和绕组。根据 GB14285-93《继电保护和安全自动装置技术规程》的要求, 应配置定子匝间短路保护。但当前普遍使用的几种定子匝间短路保护都有不足。

1 常用的几种发电机定子匝间短路保护

当前常用的发电机定子匝间短路保护主要有: 单元件横差保护、裂相横差保护、不完全纵差保护、纵向零序电压保护、故障分量负序方向保护。但这些保护都各有其不足, 下面对其逐一分析。

a. 当发电机定子绕组无并联分支, 或中性点引出3个端子时, 就完全丧失装设单元件横差保护、裂相横差保护和不完全纵差保护的可能性^[1-2]。

b. 纵向零序电压保护必须装设专用电压互感器(TV), 该互感器的一次侧中性点直接与发电机中性点连接, 不利于发电机安全运行; 由于动作灵敏度的要求, 其动作整定值很小(2.5~3 V), 受外界条件的影响较大^[3-4]; 且该保护无法双重化^[5]。

c. 故障分量负序方向保护是利用 ΔU_2 和 ΔI_2 构成的方向元件判断非对称故障是在发电机内部还是外部。华中网局关于葛洲坝水电厂和万安水电厂故障分量负序方向保护误动的深入分析发人深省^[6]。大量的理论分析和运行实践均证明: 故障分量负序方向保护原理上是正确的, 但在装置的软、硬件设计和生产中, 必须认真吸取上述误动的教训^[7]。另外, 故障分量负序方向保护的一个固有缺点是在发电机并网前的启动过程中不起作用。

2 基于负序电压分布的发电机定子匝间短路保护

为了克服现有的发电机定子匝间短路保护存在

的不足, 本文提供一种采用基于负序电压分布来判别发电机定子匝间短路保护的新原理。

图1为发电机变压器组简化系统图, 发电机G经升压变压器T接入系统S; 图2为发电机变压器组负序阻抗图。

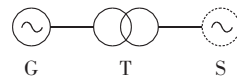


图1 发电机变压器组简化系统图

Fig.1 Simplified generator-transformer set

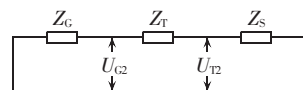


图2 发电机变压器组负序阻抗图

Fig.2 Negative sequence impedance of generator-transformer set

图3、4是发电机内部匝间短路或开焊情况。图3为负序等值电路图, 图4为负序电压分布图。不难看出, 机端负序电压 U_{G2} 大于变压器高压侧的负序电压 U_{T2} , 差值为 $I_{S2}Z_T$, 取决于匝间短路的匝数或开焊时的负序电流及系统阻抗。

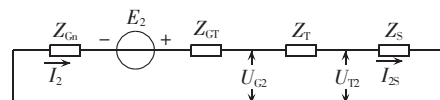


图3 定子绕组匝间短路或开焊时负序等值电路图

Fig.3 Negative sequence equivalent circuit for inter-turn short-circuit or open-soldering of stator winding

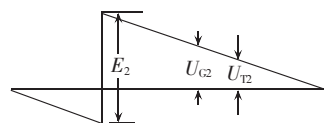


图4 定子绕组匝间短路或开焊时负序电压分布图

Fig.4 Negative sequence voltage distribution for inter-turn short-circuit or open-soldering of stator winding

图 5、6 是定子绕组相间短路情况。图 5 为负序等值电路图,图 6 为负序电压分布图。 $U_{G2} > U_{T2}$,其差值为 $I_{2s}Z_T$,取决于短路点的位置及系统阻抗。

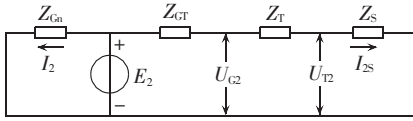


图 5 定子相间短路时负序等值电路图

Fig.5 Negative sequence equivalent circuit for inter-phase short-circuit of stator windings

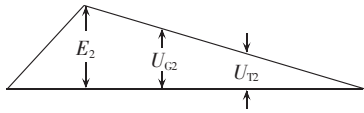


图 6 定子绕组相间短路时负序电压分布图

Fig.6 Negative sequence voltage distribution for inter-phase short-circuit of stator windings

图 7、8 是发电机变压器组外部非对称故障情况。图 7 为负序等值电路图,图 8 为负序电压分布图。

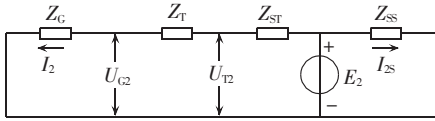


图 7 外部非对称故障时负序等值电路图

Fig.7 Negative sequence equivalent circuit for external asymmetric fault

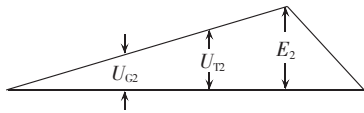


图 8 外部非对称故障时负序电压分布图

Fig.8 Negative sequence voltage distribution for external asymmetric fault

U_{G2} 与 U_{T2} 有如下关系:

$$\frac{U_{G2}}{U_{T2}} = \frac{I_2 Z_G}{I_2 (Z_G + Z_T)} = \frac{Z_G}{Z_G + Z_T} \quad (1)$$

一般发电机的负序阻抗 Z_G 大致与升压变压器的短路阻抗 Z_T 相当,由式(1)可知,在发电机变压器组外部非对称故障情况下,变压器高压侧负序电压大约为机端负序电压的 2 倍。

综上所述,可采用机端负序电压大于某一定值作为主判据,变压器非机端侧的电压大于机端负序电压作为闭锁判据。但分析图 4、6 可知,发电机内部故障点越靠近中性点, U_G 越小,保护的灵敏度也越低。为此,可增加发电机中性点侧负序电流大于某一定值作为主判据,与机端负序电压判据构成逻辑“或”。故障点越远离中性点,中性点侧负序电流越小,而机端负序电压越大。中性点负序电流和机端负序电压相互补充,保证了保护的灵敏度。

4 基于负序电压分布的发电机定子匝间短路保护的实现

本保护取用的负序电压和负序电流示于图 9。

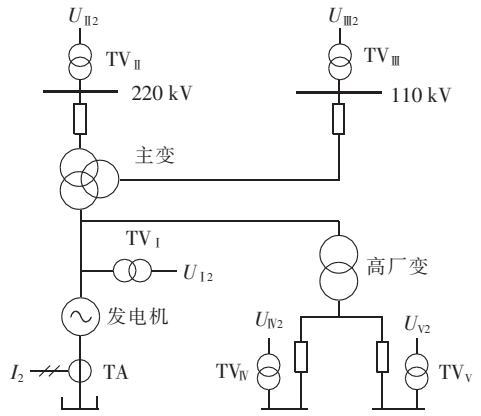


图 9 保护取用的负序电压和负序电流

Fig.9 Negative sequence voltage and negative sequence current acquired by protection

利用发电机机端负序电压 U_{12} 和中性点负序电流 I_2 构成主判据,式(2)或式(3)满足可动作:

$$U_{12} \geq \varepsilon_1 \quad (2)$$

$$I_2 \geq \varepsilon_2 \quad (3)$$

其中, ε_1 、 ε_2 为整定动作门槛。

闭锁判据为以下式(4)~(7)中任一式成立:

$$U_{II2} - U_{12} \geq \varepsilon_3 \quad (4)$$

$$U_{III2} - U_{12} \geq \varepsilon_4 \quad (5)$$

$$U_{IV2} - U_{12} \geq \varepsilon_5 \quad (6)$$

$$U_{V2} - U_{12} \geq \varepsilon_6 \quad (7)$$

其中, ε_3 、 ε_4 、 ε_5 、 ε_6 为整定闭锁门槛; U_{II2} 为主变高压侧负序电压; U_{III2} 为主变中压侧负序电压; U_{IV2} 为高厂变 1 分支负序电压; U_{V2} 为高厂变 2 分支负序电压。

保护逻辑如图 10 所示(图中“>”表示大于定值)。

a. 发电机机端负序电压 $U_{12} \geq \varepsilon_1$ 或者发电机中性点负序电流 $I_2 \geq \varepsilon_2$ 任一满足,则主判据成立;

b. 主变高压侧闭锁条件 $U_{II2} - U_{12} \geq \varepsilon_3$ 、主变低压侧闭锁条件 $U_{III2} - U_{12} \geq \varepsilon_4$ 、高厂变 1 分支闭锁条件 $U_{IV2} - U_{12} \geq \varepsilon_5$ 或高厂变 2 分支闭锁条件 $U_{V2} - U_{12} \geq \varepsilon_6$ 任一满足,则闭锁判据成立;

c. 当主判据成立,且闭锁判据不成立时,延时 t 后保护动作并发告警信号。

保护定值整定原则如下:

a. 对负序电流动作定值 ε_1 ,应按躲过正常运行时最大负序电流整定;

b. 对负序电压动作定值 ε_2 ,应按躲过正常运行时最大负序电压整定;

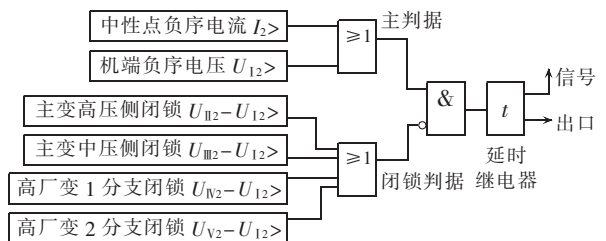


图 10 保护逻辑框图

Fig.10 Block diagram of protection logic

c. 对主变侧及厂变分支闭锁负序压差定值 ε_3 、 ε_4 、 ε_5 、 ε_6 , 应按躲过正常运行时最大负序压差整定。

包含本保护功能的发电机变压器组保护装置分别在电力工业电力设备及仪表质量检验测试中心(中国电科院)和电力工业电力系统自动化设备质量检验测试中心(华中科技大学)通过 600 MW 发变组保护动模试验。动模试验过程中,对于发电机定子匝间短路和发电机变压器组内部不对称故障,本保护都能灵敏动作;对于发电机变压器组区外故障,本保护未发生误动。

5 结语

本保护有如下优点:

a. 不仅反应发电机内的各种非对称故障,还可以反应主变及机端厂用变压器的一部分内部故障;

b. 与纵向零序电压方案相比较,可不增加一次设备并且容易双重化;

c. 在靠近发电机中性点处相间故障时,负序方向或故障分量负序方向保护灵敏度很低,本保护则可得到较高的灵敏度;

d. 对于未并入系统运行的发电机同样可起到保护作用。

参考文献:

- [1] 王维俭. 主设备保护的几个理论和运行问题[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(11):1-5.
WANG Weijian. Some theoretic and operating problems for electric main equipment protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(11):1-5.
- [2] 王维俭, 孙宇光, 王祥珩. 大型发电机定子绕组匝间短路保护的

讨论[J]. 电力自动化设备, 2000, 20(3):1-3.

WANG Weijian, SUN Yuguang, WANG Xiangheng. Discussion on stator winding's inter-turn S/C protection for large generator[J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20(3):1-3.

- [3] 张茂强. 提高大型汽轮发电机匝间保护动作可靠性的探讨[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(2):95-98.
ZHANG Maoqiang. Discussion on enhancing reliability of stator winding's inter-turn S/C protection for large thermal generator [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(2):95-98.
- [4] 梁乾兵. 发电机匝间保护与负序功率方向元件[J]. 江苏电机工程, 2006, 25(1):24-25.
LIANG Qianbing. Turn-to-turn faults in stator windings of generator and negative power directional unit[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2006, 25(1):24-25.
- [5] 李玉海, 李久红, 张小庆, 等. 纵向零序电压型发电机匝间保护几个问题[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(10):62-66.
LI Yuhai, LI Jiuhong, ZHANG Xiaoqing, et al. Problems in voltage-type longitudinal zero-sequence inter-turn protection for generator[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(10):62-66.
- [6] 张旭东, 卢放, 柳焕章. 负序方向型发电机匝间保护误动分析及改进[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(11):42-44.
ZHANG Xudong, LU Fang, LIU Huanzhang. Maloperation analysis and improvement of generator directional negative sequence interturn fault protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(11):42-44.
- [7] 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, 2002:53-55.

(编辑: 康鲁豫)

作者简介:

俞 胜(1974-), 男, 江苏镇江人, 工程师, 硕士, 主要研究方向为电力系统自动化产品管理与销售;

仇新宏(1970-), 男, 江苏盐城人, 研究员级高级工程师, 硕士, 主要研究方向为电力系统自动化产品研制与管理;

李 哲(1971-), 男, 江苏张家港人, 工程师, 硕士, 主要研究方向为电力系统继电保护(E-mail: Lizhe17@126.com)。

Inter-turn short-circuit protection of generator stator winding based on negative-sequence voltage distribution

YU Sheng¹, QIU Xinhong², LI Zhe², WANG Zuguang¹

(1. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;

2. NARI Technology Development Co., Ltd., Nanjing 210061, China)

Abstract: A new method is proposed for the inter-turn short circuit protection of generator stator winding, including main criterion and block criterion. The main criterion is composed of the negative sequence voltage of generator terminal and the negative sequence current of generator neutral point. The block criterion is composed of the negative sequence voltage of generator terminal, the negative sequence voltage of main transformer at high voltage side, the negative sequence voltage of main transformer at middle voltage side, the negative sequence voltage of plant transformer branch 1 and the negative sequence voltage of plant transformer branch 2. If both the main criterion and the block criterion are true, immediately block the protection; if the main criterion is true and the block criterion is false, delay the protective operation and send alarm signal. It reacts to different asymmetric faults of generator and some internal faults of main transformer and plant transformer. Compared with the longitudinal zero-sequence voltage protection, it can be redundantly configured without adding any primary equipment. It has higher sensitivity to the inter-phase fault near generator neutral point.

Key words: generator; stator winding; inter-turn short circuit; negative sequence voltage distribution; main criterion; block criterion