

水电站主变压器高压侧接地故障传递电压对发电机定子接地保护的影响

黄建琼, 季 杰, 蔡显岗, 陈熙平
(锦屏水力发电厂 四川 西昌 615000)

摘要: 发电厂主变压器大接地系统高压侧发生接地故障时,故障点零序电压会经主变压器高低压绕组间耦合电容传递到发电机侧,因此在整定发电机基波零序电压定子接地保护定值时需校验该传递电压的影响。结合锦屏二级水电站的运行参数,阐述了主变压器高压侧接地故障传递电压的计算方法,校验了发电机基波零序电压定子接地保护定值的正确性。

关键词: 主变压器; 接地故障; 耦合电容; 定子接地

Abstract: When the grounded system for high voltage system gets out of order, the zero - sequence voltage of fault point is transferred to the generator by the coupling capacitance of step - up transformer. So the influence of transfer voltage should be considered in calculation setting of relay protection. According to the operational parameters of Jinping Hydropower Station, the calculation methods for the transfer voltage of ground fault in step - up side of main transformer are introduced, and the correctness of set points of stator grounding protection of zero - sequence voltage is checked.

Key words: main transformer; ground fault; coupling capacitance; stator grounding protection

中图分类号: TM861 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2014)01 - 0088 - 04

0 引言

DL/T 684 - 2012《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》^[1]明确要求发电机定子接地保护基波零序电压整定值或延时要与系统接地保护配合。鉴于锦屏二级水电站发电机定子接地保护未经主变压器高压侧零序电压闭锁,因此需校验主变压器高压侧系统发生接地故障时,故障点零序电压经主变压器高低压绕组间耦合电容传递到发电机侧对基波零序电压定子接地保护的影响。发电机基波零序电压定子接地保护在躲过主变压器高压侧接地传递电压的情况下,应尽量缩短延时,取0.3 ~ 1.0 s。

锦屏二级水电站是雅砻江流域龙头电站,单机容量为600 MW,共8台机组,采取一洞双机联合单元运行方式,总装机容量为4 800 MW,机端电压为20 kV,定子绕组接线方式为中性点经接地变压器接地三相6分支Y形接线。发电机定子接地保护采用“基波零序保护+3次谐波电压”和注入式定子接地保护构成的双重化100%定子接地保护。

1 对称分量法计算主变压器高压侧单相接地故障零序电压

1.1 对称分量法

不对称故障通常通过对称分量法可以简化系统分析和运算。3个不对称的相量可以唯一分解成3组对称相量(即对称分量):正序分量、负序分量和零序分量^[2]。

$$\begin{cases} \dot{F}_a = \dot{F}_{a1} + \dot{F}_{a2} + \dot{F}_{a0} \\ \dot{F}_b = \dot{F}_{b1} + \dot{F}_{b2} + \dot{F}_{b0} \\ \dot{F}_c = \dot{F}_{c1} + \dot{F}_{c2} + \dot{F}_{c0} \end{cases} \quad (1)$$

式中,第1组 \dot{F}_{a1} 、 \dot{F}_{b1} 、 \dot{F}_{c1} 幅值相等,相位 \dot{F}_{a1} 超前 \dot{F}_{b1} 120° , \dot{F}_{b1} 超前 \dot{F}_{c1} 120° ,为正序相量;第2组 \dot{F}_{a2} 、 \dot{F}_{b2} 、 \dot{F}_{c2} 幅值相等,相位 \dot{F}_{a2} 滞后 \dot{F}_{b2} 120° , \dot{F}_{b2} 滞后 \dot{F}_{c2} 120° ,为负序相量;第3组 \dot{F}_{a0} 、 \dot{F}_{b0} 、 \dot{F}_{c0} 幅值和相位均相同,为零序相量。

令 $\alpha = e^{j120^\circ}$, $\alpha^2 = e^{j240^\circ}$,则3个不对称相量则可以通过其中1个相量的3个序量进行计算,即

$$\begin{bmatrix} \dot{F}_a \\ \dot{F}_b \\ \dot{F}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \alpha^2 & \alpha & 1 \\ \alpha & \alpha^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{F}_{a1} \\ \dot{F}_{a2} \\ \dot{F}_{a0} \end{bmatrix} \quad (2)$$

通过式(2)可知,对于电力系统中三相对称元件中的不对称电压和不对称电流,可通过分解成 3 组对称的分量进行分别计算。由于每组分量的 3 相是对称的,因此仅需分析 1 相,便可计算出其他两相。

1.2 主变压器高压侧系统单相接地故障计算

以锦屏二级水电站主变压器高压侧发生 a 相接地短路为例,其系统图如图 1 所示。下面利用对称分量法计算短路电流及短路点的电压的关系式。

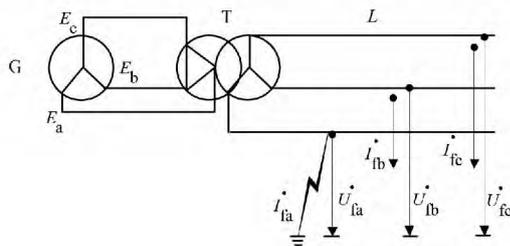


图 1 a 相接地系统图

主变压器高压侧 f 点发生单相接地故障,使得 f 点的三相电压和三相电流均不对称,而此时发电机的电动势仍为三相对称的正序电动势,发电机、变压器和线路的三相参数是对称的。将故障处的电压和故障电流分解成 3 组对称分量,如图 2 所示。

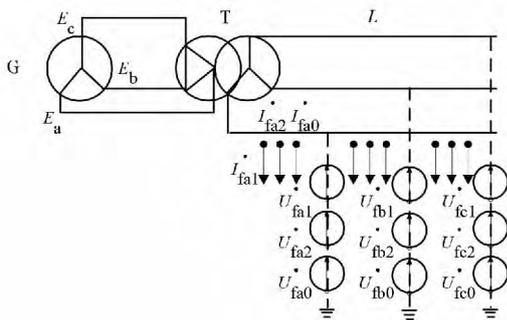


图 2 短路点电压、电流各序分量

根据 a 相的电压平衡关系有如下平衡关系。

$$\begin{cases} \dot{E}_a - \dot{U}_{fa1} = \dot{I}_{fa1}(z_{G1} + z_{T1} + z_{L1}) \\ 0 - \dot{U}_{fa2} = \dot{I}_{fa2}(z_{G2} + z_{T2} + z_{L2}) \\ 0 - \dot{U}_{fa0} = \dot{I}_{fa0}(z_{T0} + z_{L0}) \end{cases} \quad (3)$$

式中 z_{G1}, z_{T1}, z_{L1} 为发电机、变压器、线路的正序阻抗; z_{G2}, z_{T2}, z_{L2} 为发电机、变压器、线路的负序阻抗; z_{T0}, z_{L0} 为变压器、线路的零序阻抗。由于主变压器高压侧星形接地,故发电机侧没有零序电流流过,因

而公式中零序阻抗无发电机零序阻抗。

根据边界条件,可知故障相的对地电压为零,非故障相的对地故障电流为零,因此有如公式(4)的边界关系。

$$\begin{cases} \dot{U}_{fa} = 0 \\ \dot{I}_{fa} = \dot{I}_{fb} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

利用对称分量法可转换为式(5)。

$$\begin{cases} \dot{U}_{fa1} + \dot{U}_{fa2} + \dot{U}_{fa0} = 0 \\ a^2 \dot{I}_{fa1} + a \dot{I}_{fa2} + \dot{I}_{fa0} = 0 \\ a \dot{I}_{fa1} + a^2 \dot{I}_{fa2} + \dot{I}_{fa0} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

根据式(3)、(5)可推算出式(6)。

$$\dot{U}_{fa0} = \dot{E}_a \times \frac{Z_{T0} + Z_{L0}}{Z_{G1} + Z_{T1} + Z_{L1} + Z_{G2} + Z_{T2} + Z_{L2} + Z_{T0} + Z_{L0}} \quad (6)$$

令,

$$Z_{1\Sigma} = Z_{G1} + Z_{T1} + Z_{L1}$$

$$Z_{2\Sigma} = Z_{G2} + Z_{T2} + Z_{L2}$$

$$Z_{0\Sigma} = Z_{T0} + Z_{L0}$$

则有

$$\dot{U}_{fa0} = \dot{E}_a \times \frac{Z_{0\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \quad (7)$$

2 接地点零序电压至发电机端的传递电压计算

2.1 相关计算参数

根据锦屏二级水电站实际参数,选取基准容量 $S_j = 100 \text{ MVA}$, 500 kV 平均电压 $U_j = 525 \text{ kV}$,发电机正序、负序电抗标么值: $X''_d = 0.0372$,主变压器正序、负序、零序电抗标么值(330 kV 侧) $X_{B1} = X_{B2} = X_{B0} = 0.0224$,高压 500 kV 母线等值电抗在系统最大方式时: $X_1 = X_2/X_0 = 0.00737/0.01044$,系统最小运行方式: $X_1 = X_2/X_0 = 0.01716/0.02960$ 。

2.2 计算等值电路图

锦屏二级水电站发变组为联合单元接线方式,即两台相邻机组通过主变压器高压侧并联的接线方式接入系统,双机系统最大运行方式下参数,各序量标么值阻抗如图 3^[3]。

2.3 主变压器高压侧单相接地零序电压计算

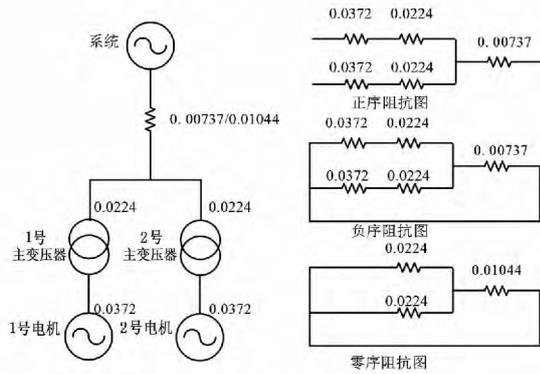


图3 各序量标么值阻抗图

根据公式(7),在主变压器高压侧发生单相接地故障时,高压侧接地点的故障零序电压计算如下。

$$\begin{aligned} \dot{U}_{H0} &= \dot{E}_a \times \frac{Z_{0\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \\ &= \frac{0.00541}{0.00656 + 0.00656 + 0.00541} \times \frac{525}{\sqrt{3}} \\ &= 88.5 \text{ kV} \end{aligned}$$

2.4 传递电压计算

锦屏二级主变压器为特变电工衡阳变压器有限公司提供,以其提供的某一台主变压器介质损耗因素测量相关试验报告为例计算传递电压,见表1所示。

表1 锦屏二级水电站主变压器电容值

部位	施加电压 /V	电容值 / μF
高压~低压及地	10 000	9.701
低压~高压及地	10 000	27.220
高压、低压~地	10 000	25.216

实验电路图如图4所示。

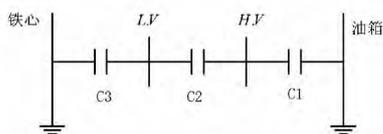


图4 主变压器电容试验图

通过表1和图4可计算出主变压器高低压侧间耦合电容为5.86 μF 。

$$\begin{cases} C_1 + C_2 = 9.701 \mu\text{F} \\ C_2 + C_3 = 27.22 \mu\text{F} \Rightarrow C_2 = 5.86 \mu\text{F} \\ C_1 + C_3 = 25.216 \mu\text{F} \end{cases}$$

传递电压计算所需的锦屏二级水电站发电机相关参数如表2。

锦屏二级水电站发电机定子接地保护原理图如图5所示。

表2 发电机相关计算参数

设备	参数名称	数值
发电机	单相对地电容 / μF	1.783
断路器	单相匹配电容 / μF	0.39
接地变压器	接地变型号	20/0.866
接地变压器	二次电阻额定值 / Ω	0.92
接地变压器	电阻分压比	1/5
发电机定子接地保护	基波零序电压灵敏段 /V	8

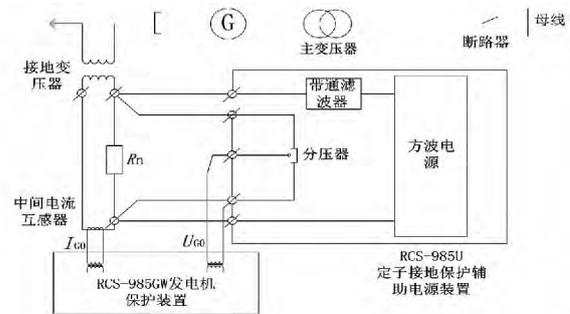


图5 发电机定子接地保护原理图

发电机定子接地保护等效电路图如图6所示^[4]。

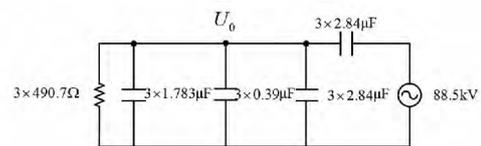


图6 发电机定子接地保护电路图

主变压器高压侧发生短路接地故障,基波零序电压88.5 kV通过主变压器高低压绕组间耦合电容 $C_M = 5.68 \mu\text{F}$ 传递到发电机机端零序电压 U_0 为 $U_0 = 88.5 \text{ kV} \times$

$$\frac{3 \times 490.4 \parallel \frac{10^6 \times 3}{j\omega \times (1.783 + 0.39 + 0.00292)} \times 3}{3 \times 490.7 \parallel \frac{10^6 \times 3}{j\omega \times (1.783 + 0.39 + 0.00292)} \times 3 + \frac{10^9 \times 3}{j\omega \times 2.929 \times 3}}$$

即 U_0 (二次) = $84.5 \times \frac{0.866}{20 \times 5} \approx 0.73 \text{ V}$

通过以上计算可知,主变压器高压侧单相接地短路传递到发电机定子接地保护零序电压0.73 V,远小于定子接地零序电压灵敏段定值8 V,符合技术监督要求校验主变压器接地零序传递电压不影响发电机定子接地保护的要求。

3 结论

DL/T 684 - 2012《大型发电机变压器继电保护

整定计算导则》取 0.6 倍主变压器高压侧电压作为主变压器高压侧的零序电压^[4]。通过锦屏二级水电站的实际参数计算得出在主变压器高压侧发生单相接地时,其零序电压为相电压的 0.29 倍。通过计算主变压器高压侧传递至发电机端的零序电压,验证了锦屏二级水电站发电机基波零序电压定子接地保护无需再增加主变压器高压侧零序电压闭锁。由于躲开了主变压器高压侧单相接地的传递电压,因此发电机定子接地保护动作延时可适当缩短,更有利于保护发电机定子的安全运行。

参考文献

[1] DL/T 684-2012 大型发电机变压器继电保护整定计算导则[S].
[2] 李光琦. 电力系统暂态分析(第三版) [M]. 北京: 中国

(上接第 42 页)

6 结 论

随着电网的快速发展,新设备投运也越来越多,尤其是大量电厂正在或即将建设,电厂在建设期间需要启备线送电对各种厂用机械进行调试,但是由于负荷过小,无法满足进行带负荷测向量的要求,造成保护无法正常投入,影响设备送电,这种矛盾随着电厂的快速建设及电网的快速发展越来越突出。当前采用的方法都有一定的优缺点,但基本上缺点多于优点,施工难度大,受制因素多,普遍性差,难于推广。因此,所提出的针对空载及轻载线路向量测试新方法有利于系统的安全稳定运行,接线简单,操作方便,易于测试,同时具有普遍性,对于类似的空载线路及轻载线路的继电保护向量测试均可采用。

参考文献

[1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
[2] 国家电力调度通信中心编. 电力系统继电保护使用技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
[3] 国家电力调度通信中心编. 电力系统继电保护规定汇编[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.

电力出版社 2007: 86-91.

[3] 巨争号. 接地故障传递电压对发电机定子接地保护的影响[J]. 神华科技, 2011, 9(5): 54-57.
[4] 季杰. 发电机定子接地保护在二滩水电站的应用[J]. 水电自动化与大坝监测, 2012, 36(3): 35-38.

作者简介:

黄建琼(1984), 硕士, 工程师, 从事发电厂监控系统工作;

季杰(1987), 本科, 助理工程师, 从事发电厂继电保护工作;

蔡显岗(1987), 本科, 助理工程师, 从事发电厂继电保护工作;

陈熙平(1987), 本科, 助理工程师, 从事发电厂继电保护工作。

(收稿日期: 2013-08-26)

[4] 华中工学院编. 电力系统继电保护原理与运行[M]. 北京: 电力工业出版社, 1981.
[5] 吕继绍主编. 继电保护整定计算与实验[M]. 武汉: 华中工学院出版社, 1983.
[6] 王维俭. 电力系统继电保护基本原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.
[7] 张志竞, 黄玉铮. 电力系统继电保护原理与运行分析(上册) [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
[8] 王广延, 吕继绍. 电力系统继电保护原理与运行分析(下册) [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
[9] 王梅义, 蒙定中, 郑奎璋, 等. 高压电网继电保护运行技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1993.
[10] 尹项根, 曾克娥. 电力系统继电保护原理与应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
[11] 陶然, 熊为群. 继电保护自动装置及二次回路[M]. 北京: 电力工业出版社, 1981.

作者简介:

梁静(1960), 硕士研究生导师, 高级工程师, 从事电力系统继电保护方面的工作;

冯小萍(1979), 硕士, 主要从事电力系统继电保护工作;

常喜强(1976), 高级工程师, 从事电力系统运行与稳定方面的工作。

(收稿日期: 2013-05-19)