

# 一种抑制气体绝缘开关装置暂态地电位升高的措施

李六零<sup>1</sup>, 胡攀峰<sup>1</sup>, 邱毓昌<sup>1</sup>, 何涛<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室, 710049, 西安; 2. 天荒坪抽水蓄能电站生产技术部, 313302, 湖州)

**摘要:** 在分析外壳地电位升高原因的基础上, 提出了用电磁暂态程序计算外壳地电位升高的等值计算模型. 通过对外壳地电位升高的计算, 表明外壳地电位的升高足以危害与气体绝缘开关装置(GIS)相连的外围设备. 为了防止外壳地电位升高对 GIS 的外围连接设备的影响, 提出用线路金属氧化物避雷器限制快速暂态过电压的幅值, 用氧化锌阀片来改善 GIS 与外围设备的连接方式以限制外壳地电位升高. 计算结果表明, 加装金属氧化物避雷器不仅可以抑制快速暂态过电压, 而且可以较为有效地抑制外壳地电位升高, 且氧化锌阀片的残压越低, 其对外壳地电位升高的抑制效果越好. 对国内某 550 kV GIS 的外壳地电位升高进行了现场实测, 结果表明计算波形与实测波形比较吻合.

**关键词:** 气体绝缘开关装置; 快速暂态过电压; 暂态地电位升高; 金属氧化物避雷器; 抑制

**中图分类号:** TM56 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2005)06-0624-04

## Suppression of Transient Ground Potential Rise in Gas Insulated Substation

Li Liuling<sup>1</sup>, Hu Panfeng<sup>1</sup>, Qiu Yuchang<sup>1</sup>, He Tao<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Electrical Insulation for Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. Production and Technical Department, Tian Huang Ping Pump Storage Power Station, Huzhou 313302, China)

**Abstract:** Based on analyzing the generating reasons of temporary ground potential rise (TGPR), a calculation model is suggested to calculate TGPR with electro-magnetic transient program (EMTP). The results show that TGPR is higher enough to damage the adjacent equipment connected with gas insulated substation (GIS). To prevent the detrimental TGPR, it is suggested that line-type metal-oxide arrester is adopted to suppress the very fast transient overvoltage (VFTO), and ZnO disc to improve the connection between GIS and adjacent equipment, and the lower residual voltage of ZnO disc, the better suppression effect on VFTO and TGPR. A site test of TGPR in a domestic 550 kV GIS is carried out. The waveform of site test coincides with the calculated one very well.

**Keywords:** *gas insulated substation; very fast transient overvoltage; temporary ground potential rise; metal-oxide arrester; suppression*

气体绝缘开关装置(GIS)占地面积小, 运行稳定, 检修工作量小, 越来越多地被应用在各个电压等级中. 近年来, 随着计算机技术的日益成熟, 计算机监控以及无人值班的发电厂、变电站越来越多, 运行部门非常关心 GIS 操作时是否会影响计算机和二次控制设备的正常工作.

GIS 内隔离开关的操作会在 GIS 内部产生前沿很陡的快速暂态过电压(VFTO), 当其遇到波阻抗

发生变化(如终端套管、变压器等发生波的折反射)时, 会使外壳暂态地电位升高(TGPR)<sup>[1]</sup>. 据国际大电网会议的统计, 全球有半数以上的变电站发生过暂态地电位升高的事故, 因此应该采取措施限制 GIS 暂态地电位升高. 国外有一篇关于用氧化锌垫圈来限制 TGPR 的报道<sup>[2]</sup>, 国内某 GIS 站发现, 当隔离开关操作时, 会引起某相避雷器计数器频繁动作, 并且在有些法兰部位出现火花放电现象, 为此本

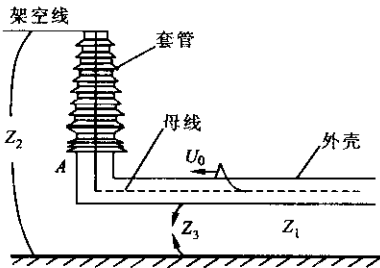
文对国内某 GIS 的 TGPR 进行了测量. 为了限制此 TGPR, 可以从限制其产生的根源即 VFTO 入手, 尽可能地限制 VFTO 的幅值. 本文推荐用金属氧化物避雷器(MOA)来限制 VFTO, 并计算了不同残压的 MOA 对 VFTO 的抑制效果. 另一种限制 TGPR 的方法是改善 GIS 的接地方式, 使接地电阻尽可能小或在 GIS 与相邻设备的法兰联接处加上避雷器阀片, 使外壳上不出现波传波的阻断点. 本文对加上避雷器阀片后 TPGR 的抑制效果也进行了计算.

### 1 TGPR 产生的原理及其等值计算模型

图 1 为 GIS 中 TGPR 产生的原理图<sup>[1]</sup>. GIS 的母线为同轴圆筒式结构, 当母线上流过频率很高的 VFTO 时, 由于集肤效应, VFTO 仅沿母线的表层及外壳的内表层流动. 当 VFTO 到达套管处发生折反射时, 可计算出外壳上 A 点(见图 1)的电压为

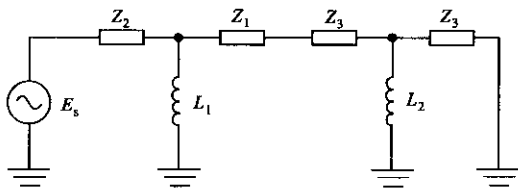
$$u_3 = -\frac{2Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} u_0$$

本文使用电磁暂态程序(EMTP)计算了 TGPR 的等值模型, 如图 2 所示.



$U_0$ : VFTO;  $Z_1$ : 母线对外壳的波阻抗;  $Z_2$ : 套管外侧架空线路的波阻抗;  $Z_3$ : 母线外壳对地的波阻抗

图 1 GIS 中暂态地电位升高的原理图



$E_s$ : 用于等效 GIS 内 VFTO 到达母线与套管交界处的电压波;  $L_1, L_2$ : 接地线电感

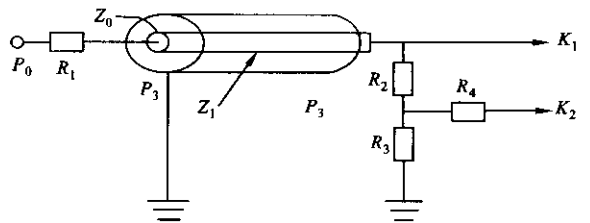
图 2 TGPR 计算等值模型

### 2 TGPR 的现场测量

国内某电站 500 kV GIS 曾发现当隔离开关操作时, 会引起避雷器的动作, 有时还会在套管对地绝

缘的法兰与接地线间发生火花放电现象. 为了研究 TGPR 的性质, 本文按照 IEC1321-1 的要求<sup>[2]</sup>对该法兰处的 TGPR 进行了测量, 测量回路如图 3 所示<sup>[3]</sup>.

测得 TGPR 的波形如图 4 所示, 从中可以看出, TGPR 的频率可达几十兆赫兹, 幅值为几千伏, 衰减速度很快. 实测表明, 并非每一次隔离开关操作都会产生 TGPR.



$R_1$ : 无感电阻, 9.828 k $\Omega$ ;  $R_2$ : 二次分压高压臂电阻, 69.95  $\Omega$ ;  $R_3$ : 二次分压低压臂电阻, 4.99  $\Omega$ ;  $R_4$ : 匹配电阻, 70.51  $\Omega$ ;  $Z_0$ : 电缆特性阻抗, 75  $\Omega$ ;  $Z_1$ : 200  $\Omega$ ;  $P_0$ : 输入端;  $P_3$ : 接地地点;  $K_1$ : 75  $\Omega$  输出端;  $K_2$ : 5  $\Omega$  输出端

图 3 TGPR 测量系统

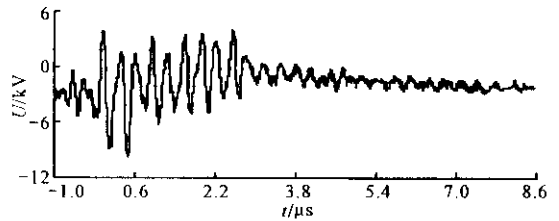


图 4 TGPR 波形图

### 3 抑制 TGPR 的效果

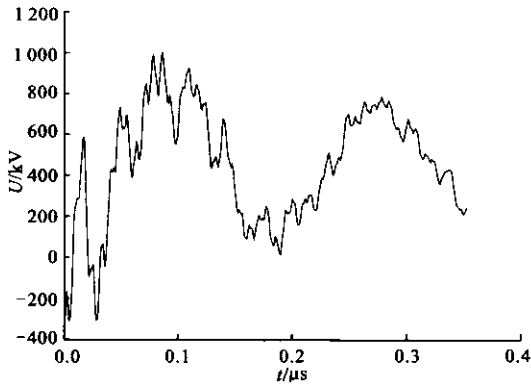
通过改善接地系统, 使整个地网的阻抗变小, 或选定合理的接地方式, 可以大大降低 TGPR 的幅值<sup>[2,4,5]</sup>. 据文献<sup>[4]</sup>的报道, 使用这种方法可使 345 kV GIS 的 TGPR 幅值小于 1 kV. 但是, 有时因地理条件的限制, 特别是水电站, 接地电阻不可能很小, 这就需要采用其他的方法抑制 TGPR.

#### 3.1 在出线套管处加装金属氧化物避雷器

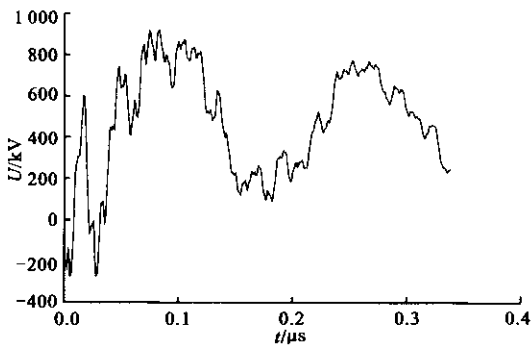
本文研究了在出线套管处加装 MOA 来抑制 TGPR, 这样做的优点是可以同时抑制 VFTO 的幅值. 例如, 在某电站 500 kV GIS 的出线套管处加装国内某厂生产的 MOA(特性如表 1 所示). 本文假定 GIS 内隔离开关触头间重击穿时, 负载侧残余电荷电压为 -1.0 倍标么值, 电源侧电压为 1.0 倍标么值, 其对 VFTO 和 TGPR 的抑制效果分别如图 5、图 6 所示.

表1 金属氧化物避雷器的参数 kV

产品型号	系统标称电压有效值	工频参考电压	1/5 $\mu$ s 10 kA 陡波冲击残压峰值
Y10W5-396/896	500	560	930
Y10W5-420/950	500	594	1 045



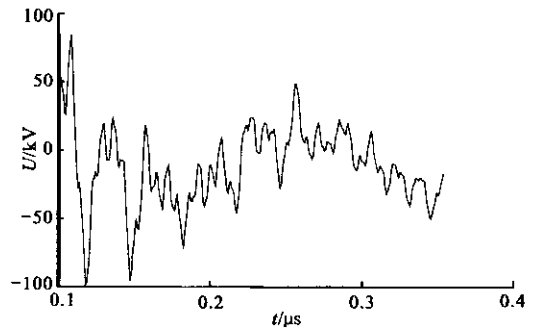
(a)未安装 MOA



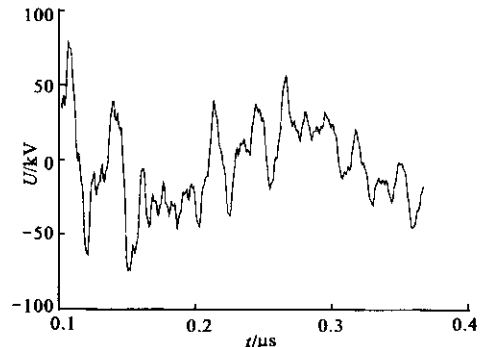
(b)安装 Y10W5-396/896 型 MOA

图5 500 kV GIS 出线套管处 VFTO 的波形

由图5可以看出,未安装MOA时,GIS出线套管处的VFTO幅值约为1 073.6 kV(2.39倍标么值),安装Y10W5-396/896型MOA后,VFTO幅值降低到911.3 kV(2.02倍标么值).安装Y10W5-420/950型MOA后,VFTO幅值降低到1 000.1 kV(2.23倍标么值).这说明MOA对VFTO有较为明显的抑制作用,并且冲击残压越低,抑制效果越明显.由图6可以看出,未安装MOA和安装Y10W5-396/896型MOA时,GIS出线套管处TGPR的幅值分别为106.2 kV(0.24倍标么值)、72.3 kV(0.16倍标么值).安装Y10W5-420/950型MOA时,TGPR的幅值为77.5 kV(0.17倍标么值).因此,MOA不但对VFTO有抑制作用,对TGPR也有一定的抑制效果.MOA的冲击残压越低,其对TGPR的抑制效果越好.



(a)未安装 MOA



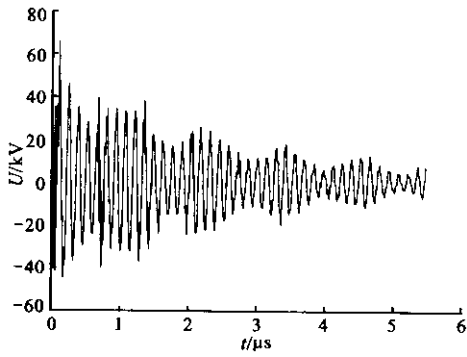
(b)安装 Y10W5-396/896 型 MOA

图6 500 kV GIS 出线套管处 TGPR 的波形

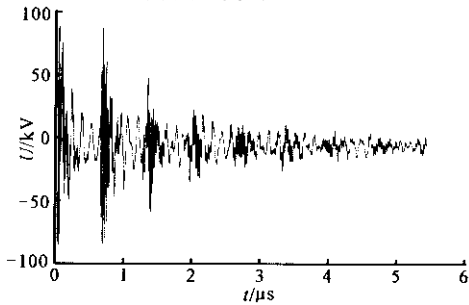
### 3.2 在GIS与变压器或电缆头连接法兰处加装金属氧化物避雷器

当GIS与变压器的SF<sub>6</sub>油套管相联时,由于GIS和变压器通常分属两个不同的制造厂,故外壳在此处分断.常规做法是把GIS的三相外壳用铜排相连,变压器三相外壳间也相联并接地.这样一来,虽然GIS的外壳上流过的工频感应电流在此处为0,但VFTO在此处却为一个分断点,容易引起火花放电现象,同样电力电缆与GIS的联接处也存在相同问题.现场观察到在个别隔离开关操作时,GIS和变压器相联的法兰间以及电力电缆与GIS联接法兰处出现过火花放电现象.

图7为GIS和变压器相联的法兰间以及GIS的法兰对地在极端情况下可出现的TGPR数值.图7的计算条件为:隔离开关动触头侧带负454 kV电位,关合到带正454 kV电位的静触头上,产生的VFTO传导到GIS与变压器交界面处的法兰引起的TGPR.这种极端情况很难在现实中出现,因为GIS的母线导体上所残留的电荷很容易通过电磁式电压互感器放掉,故残留电压会接近于0.从图4的实测波形可以看出,TGPR数值只有4 kV左右,幅值不同但其形状与图7b很相似.归结其原因在于:  
①母线上的残余电荷为0,所有电荷已通过电磁式



(a) 法兰间的 TGPR



(b) GIS 法兰对地的 TGPR

图7 500 kV GIS与变压器交界面处的 TGPR 的波形

电压互感器放掉;②合闸时的相位无法控制,故不可能使合闸电压为最高值(正 454 kV),所以计算值和测量值不同。

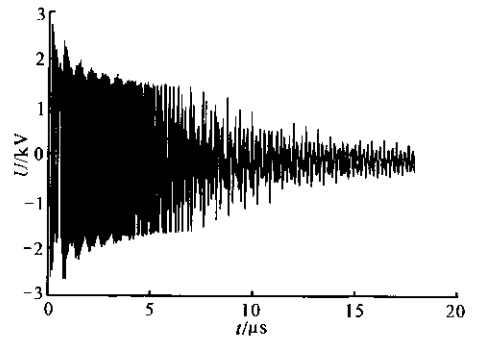
为了抑制产生在 GIS 隔离绝缘子法兰处的 TGPR,在绝缘子法兰的紧固螺栓处地加装金属氧化物避雷器,或者在绝缘子两法兰间加装金属氧化物避雷器,避雷器的残压为 1.5 kV. 图 8 为加装避雷器后 GIS 与变压器交界面处绝缘子两法兰间以及绝缘子法兰对地处的 TGPR 数值。

对比图 7、图 8 可以看出,将金属氧化物避雷器安装在 GIS 与变压器或电力电缆头之间的外壳法兰间,或安装在 GIS 侧法兰对地间, TGPR 的幅值将会被限制在 3 kV 以下. 这个过电压数值对运行人员及设备的影响是比较小的。

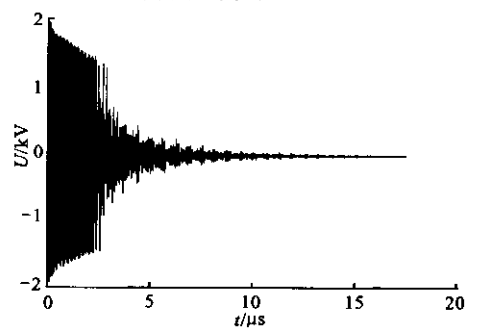
考虑到 MOA 阀片的分散性以及 VFTO 传播的集肤效应的影响,为了更好地限制 TGPR,建议在绝缘法兰间对称安装 4~6 只 MOA 阀片。

## 4 结 语

TGPR 威胁 GIS 二次设备的正常工作,因此必须限制其幅值. 改善接地系统可以抑制 TGPR 的幅值,但是在某些特殊场合难以实现. 在 GIS 出线套管处安装 MOA,不但可以抑制 VFTO 的幅值,而且对 TGPR 的幅值也有一定的抑制作用,不失为一种



(a) 法兰间的 TGPR



(b) GIS 法兰对地的 TGPR

图8 加装避雷器后 500 kV GIS与变压器交界面处的 TGPR 的波形

较好地抑制 TGPR 的措施. 如果需要更好的抑制效果,可以在套管处安装线路 MOA 的基础上,在 GIS 隔离绝缘子法兰之间以及 GIS 法兰对地处安装小型 MOA。

避雷器的残压对 VFTO 和 TGPR 的限制效果有影响,避雷器的残压越低,对 VFTO 和 TGPR 的限制效果越明显,故选择避雷器时在满足绝缘配合的条件下应尽可能选残压较低的一种。

## 参考文献:

- [1] 贺景亮. 电力系统电磁兼容[M]. 北京:水利电力出版社,1993.
- [2] Shimoda N, Taguchi K, Nemoto T, et al. Suppression of very fast transient overvoltages across insulating flange of 1 000 kV GIS [J]. The Transactions of the Institute of Electrical Engineering of Japan, 2000, 120-B(1): 63-68.
- [3] IEC1321-1-1994. High-voltage testing techniques with very fast impulse: part 1 [S].
- [4] 王建生. 用于测量 GIS 中瞬态外壳电压的电阻性阻抗分压器 [J]. 高压电器, 2001, 37(6): 17-19.
- [5] CIGRE W232. Earthing of GIS— an application guide [Z]. Paris, France: Electra, 1997.

(编辑 杜秀杰)