

Simulation and Analysis of Very Fast Transient Overvoltage in Extra High Voltage GIS*

Baina He¹, Yunwei Zhao², Xinhui Zhang¹

¹College of Electric and Electronic Engineering, Shandong University of Technology, Zibo

²Department of Electric Engineering, Shandong Vocational College of Industry, Zibo

Email: hbn770425@163.com

Received: Nov. 17th, 2012; revised: Nov. 28th, 2012; accepted: Dec. 3rd, 2012

Abstract: Taking a 550kV Gas Insulation Switchger (GIS) substation in the South as the object of study, the corresponding GIS internal structure model was established according to the structure of GIS in the paper. In the single motor single line conditions, very fast transient overvoltage (VFTO) caused by disconnector in GIS are simulated. In the paper, the effect of structure parameters of GIS on VFTO was studied, and the influence factors of VFTO were analyzed from multiple perspectives, such as GIS internal and external factors, and so on.

Keywords: Very Fast Transient Overvoltage; Disconnector; Residual Voltage; Simulation

超高压 GIS 中快速暂态过电压的仿真分析*

何柏娜¹, 赵云伟², 张新慧¹

¹山东理工大学电气与电子工程学院, 淄博

²山东工业职业学院电气工程系, 淄博

Email: hbn770425@163.com

收稿日期: 2012 年 11 月 17 日; 修回日期: 2012 年 11 月 28 日; 录用日期: 2012 年 12 月 3 日

摘要: 本文以南方某 550 kV GIS 电站为研究对象, 从 GIS 结构出发, 建立相应的 GIS 内部结构模型, 在单机单出线工况下, 对 GIS 隔离开关操作引起的快速暂态过电压进行仿真。研究 GIS 的结构参数对快速暂态过电压的影响, 并从 GIS 内部、外部等多角度来分析 VFTO 的影响因素。

关键词: 快速暂态过电压; 隔离开关; 残余电压; 仿真

1. 引言

GIS 变电站虽然造价昂贵, 但以其特有的优点在电力系统中得到广泛的应用。随着 GIS 电压等级的提高, 其经济优势更趋于明显, GIS 的应用和发展前景可观。近年来, GIS 隔离开关操作引起的绝缘故障问题已呈上升趋势^[1,2], 并且随着我国电网运行电压等级的提高, 在超高压 GIS 中, 快速暂态过电压(Very Fast Transient Overvoltage, 简称 VFTO)已成为使变电站设

备产生故障的主要原因之一, VFTO 给电力系统带来的危害已受到人们普遍关注, 成为国内国际高压领域的研究热点^[3,4]。因此, 深入开展 GIS 中 VFTO 及相关内容研究^[5,6], 分析 GIS 绝缘性能, 有效提高 GIS 运行可靠性与稳定性, 对我国稳步发展特高压工程建设, 占领技术至高点, 具有重大意义^[7,8]。

2. VFTO 产生机理

GIS 中产生较大危害的情况主要是由隔离开关操作引起的 VFTO。隔离开关动作缓慢使触头间在分合

*资助项目: 山东理工大学科技计划资助项目(103233)和博士科研启动基金(411019), 山东省自然科学基金(ZR2010EL009)。

操作时产生多次重燃,并伴随燃弧、熄弧现象,在隔离开关触头间隙两端出现上升速度(一般是纳秒级)极快的电压陡波,该电压陡波在 GIS 内部传输线上传播,遇到波阻抗改变就发生折射和反射,多次折反射的行波分量叠加在一起,从而形成波头很陡、幅值较高的快速暂态过电压^[9,10]。

VFTO 波形具有波头上升时间短、振幅高等特点。VFTO 波头上升时间主要取决于系统参数,振荡频率取决于 GIS 的布置。冲击陡波沿隔离开关断口向两侧母线传播,传播速度略小于光速,因为连接的电气设备不同,节点处的阻抗值不同,在此处发生折反射,使 VFTO 波形越来越复杂。通常 VFTO 最大值出现在与被开断母线相连的断路器处,或母线开路端口。

3. 550 kV GIS 内部 VFTO 仿真计算

3.1. 550 kV GIS 工程介绍

本文以我国南方某抽水蓄能电站 550 kV GIS 变电站为背景,对隔离开关操作产生的 VFTO 进行研究。该电站装有 4 台 250 MW 可逆式抽水蓄能机组和 4 台 300 MVA、 $525 \pm 2 \times 2.5\%/15.75$ 主变压器,每两组发电电动机-变压器单元在 500 kV 侧联合成一回进线,在 500 kV 内侧采用内桥接线,变电站的主变压器中性点均采用中性点直接接地方式。

3.2. 隔离开关操作方式

该 GIS 变电站采用两个机组,四台变压器供电,两回 500 kV 出线。电站为电网调峰、填谷、调频、调相等紧急事故提供保证,图 1 给出该抽水蓄能电站电气接线示意图。

根据变电站接线图,确定几种操作方式:方式 1:将 CB12、CB11、DS13 断开,然后操作 DS14;方式 2:在 CB12、CB11、CB22 断开时,将 DS14 闭合,操作 DS13;方式 3:CB12 闭合,DS11、DS23 断开, CB11、CB22 断开,操作 DS12。

计算时不考虑隔离开关在整个开合过程中的动态特性,模拟一次电弧重燃,通常只考虑重燃时出现的最严重情况,即母线的残余电压为电源反极性峰值,电源侧电压为正极性峰值,并且此时开关电源侧电压为 1.0 p.u.,负载侧电压为-1.0 p.u.,计算时间为 1 μ s,由于 VFTO 持续时间很短,所以在相应的计算

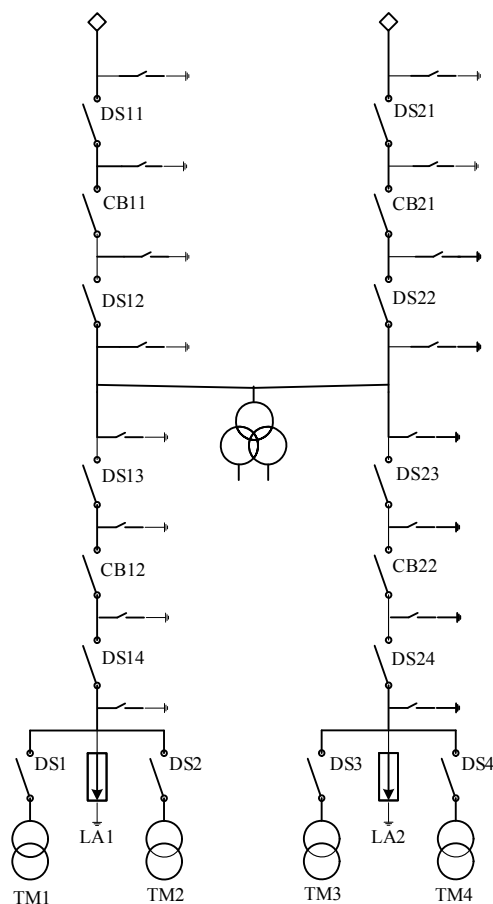


Figure 1. 550 kV GIS substation wiring diagram
图 1. 550 kV GIS 变电站接线示意图

时间内,电源可以看作是恒压源。

VFTO 源于 GIS 内部,经过高压电缆和油气管传播到 GIS 外部变压器等设备,为计算各操作点 VFTO 的幅值,进而分析各点 VFTO 幅值的波形特点。下面给出变电站整体的计算模型,如图 2 所示。

为方便计算等效,选取单机单出线的方式 1 对该系统进行模拟仿真,得到在不同操作点处的 VFTO 波形,进行比较对照,得出结论进而采取相应的抑制措施。图 3 给出 550 kV GIS 单机单出线接线图。

3.3. 仿真结果

根据变电站的接线及 GIS 各元件的参数,搭建仿真模型如图 4 所示,选取隔离开关 DS1、变压器入口电容、高压电缆终端接口、操作隔离开关、避雷器等几处作为 VFTO 的测量点,进行分析。

在不同操作方式下操作隔离开关,GIS 内部暂态过程产生的 VFTO 幅值也不同,对 GIS 设备绝缘产生

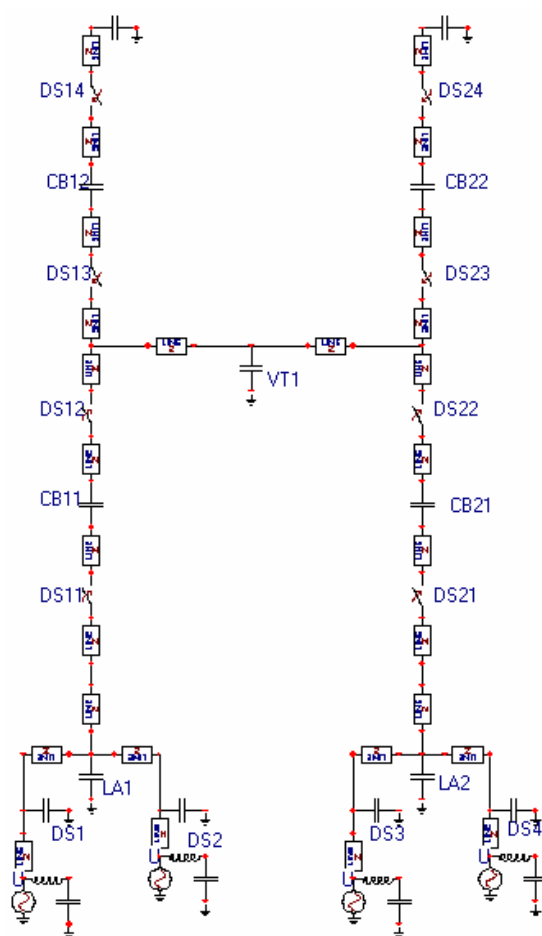


Figure 2. 550 kV GIS substation calculation model
图 2. 550 kV GIS 变电站计算模型

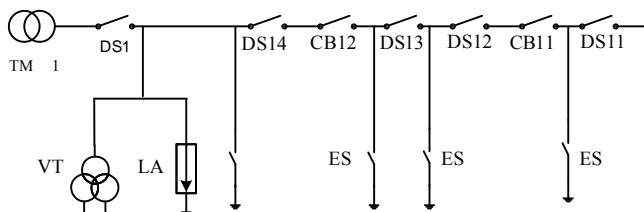


Figure 3. 550 kV GIS single motor single line wiring diagram
图 3. 550 kV GIS 单机单出线接线图

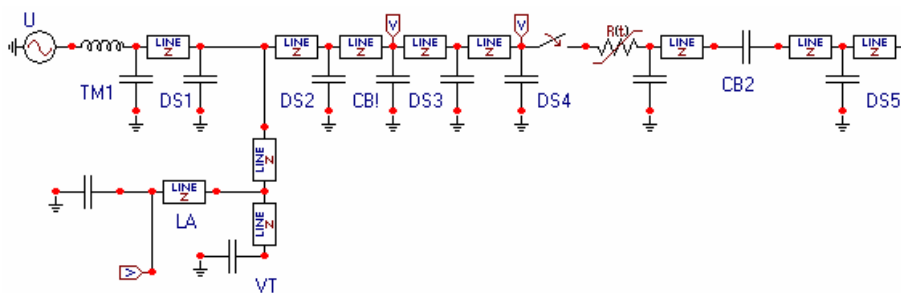


Figure 4. Simulation model of motor single line wiring diagram
图 4. 单机单出线仿真模型

不同程度的威胁,下面给出操作方式 1 下各关键设备处 VFTO 的仿真波形。

由图 5 仿真结果可知,断路器 CB11 处 VFTO 幅值最大达到 1.45 p.u.,对设备的危害极大,当此电压波在管线上传播时,VFTO 幅值逐渐衰减。由图 6 可知,方式 1 下操作隔离开关 DS11 时,VFTO 幅值较高,但随着时间的推移,VFTO 衰减速率很快,最后在一定的幅值范围内进行振荡,整体来说,VFTO 的幅值较小。

通过图 7 的仿真波形可知,MOA 对过电压波具有削平电压峰值的作用,当过电压传到 MOA 处时,VFTO 的幅值不会骤升,在一定的幅值范围内振荡,对设备的危害性不是太大。

4. VFTO 的影响因素

从系统接线方式和 VFTO 计算等效模型来看,VFTO 的影响因素应从二方面来考虑:一是 GIS 内部因素,如断路器等部件的等效参数及母线的波阻抗和波速等;二是 GIS 外部因素,连接 GIS 与变压器的设备套管、电缆等,变压器出口电容和其他一些影响因素。本文着重从 GIS 内部因素中的母线残余电荷和

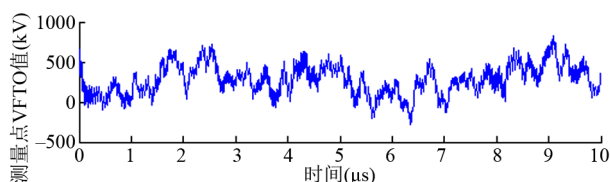


Figure 5. VFTO of CB11 under operation model 1
图 5. 操作方式 1 下 CB11 处的 VFTO

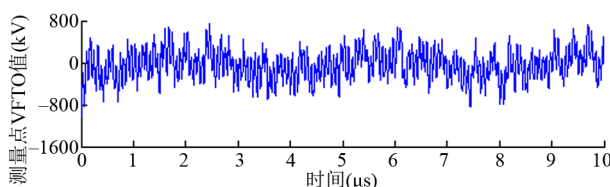


Figure 6. VFTO of DS11 under operation model 1
图 6. 操作方式 1 下 DS11 处 VFTO

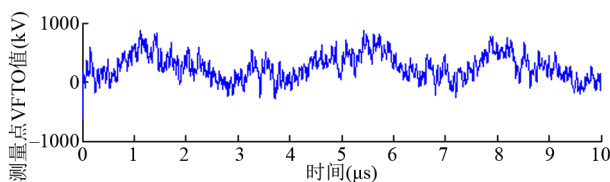


Figure 7. VFTO of MOA under operation model 1
图 7. 操作方式 1 下 MOA 处的 VFTO

GIS 外部因素中变压器入口电容对 VFTO 的影响进行仿真分析。

4.1. 残余电荷电压对 VFTO 的影响

从绝缘配合的角度来说,GIS 中 VFTO 幅值一直是研究者最关心的。当隔离开关开断带电 GIS 线路时,可能有多余电荷残留在此短线上,残留电荷产生的电位会因为电荷的泄漏而逐渐降低,因此线路上留有较高的残余电荷会使 VFTO 幅值升高,给设备带来很大的威胁,但母线上留有残余电荷的现象很难避免。

为说明残余电荷电压对 VFTO 幅值的影响,保持其他条件不变,设残余电荷电压为 -1.0 p.u.和 -0.3 p.u.对断路器端口 VFTO 进行仿真,结果如图 8 和图 9 所示。

从仿真结果看出残余电荷电压对 VFTO 幅值影响很大,残余电荷电压越大,VFTO 幅值越大,陡度也越高,对设备影响就越大,这主要是开断前母线上的电荷很多,而泄漏很慢,因而残余电荷电压较高。

4.2. 变压器入口电容对 VFTO 的影响

GIS 内部和外部因素都对 VFTO 造成一定的影响,本文主要考虑变压器本身入口电容对变压器端部 VFTO 幅值和频率的影响,变压器入口电容与其电压等级、结构大小以及容量有关。变压器电压等级越高,额定功率越大,其入口电容相对较大。通过对变压器入口电容对 VFTO 幅值的影响进行仿真,对仿真数据进行分析得到结论:随着电压等级的提高以及变压器

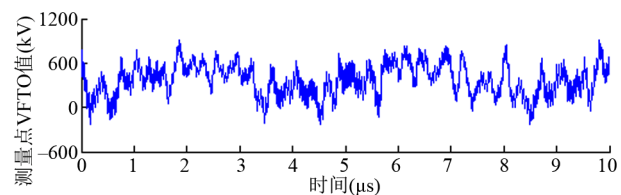


Figure 8. VFTO of CB11 when residual charge voltage is -1.0 p.u.
图 8. 残余电荷电压为 -1.0 p.u.时 CB11 端口处 VFTO

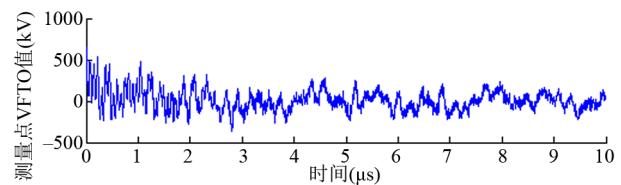


Figure 9. VFTO of CB11 when residual charge voltage is -0.3 p.u.
图 9. 残余电荷电压为 -0.3 p.u.时 CB11 端口处 VFTO

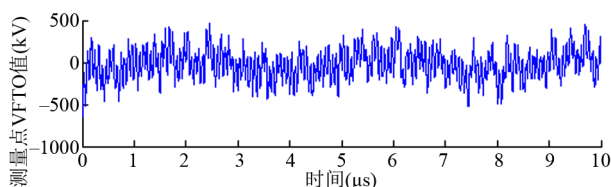


Figure 10. VFTO of CB11 when transformer entrance capacitance is 2000 pF

图 10. 变压器入口电容为 2000 pF 时 CB11 端口处 VFTO

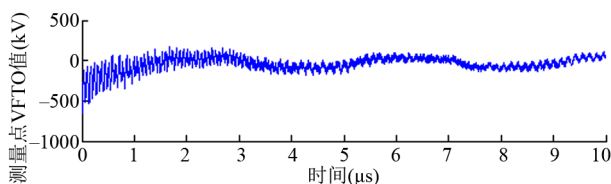


Figure 11. VFTO of CB11 when transformer entrance capacitance is 10,000 pF

图 11. 变压器入口电容为 10,000 pF 时 CB11 端口处 VFTO

入口电容的增大,作用在主变压器端部的 VFTO 幅值有下降的趋势, GIS 内部其它节点的过电压幅值基本不受影响。

以变压器入口电容为 2000 pF 和 10,000 pF 为例,对断路器处 VFTO 进行仿真,仿真结果如图 10 和图 11 所示。

由仿真结果可知,变压器入口电容发生变化不仅对 VFTO 幅值有很大影响,而且频率也发生变化,不同电容值出现不同的振荡频率。变压器入口电容增大, VFTO 幅值有所降低,再加上电容器对高频分量的过滤作用,振荡频率随变压器入口电容值的增大而减小。

5. 结论

本文针对气体绝缘变电站中 VFTO 特性,产生机

理及影响因素,结合南方某 550 kV GIS 变电站为例进行仿真研究,建立变电站的仿真计算模型。

550 kV GIS 内部 VFTO 幅值总体来说不是很大,作用在主变压器入口处的过电压比较低,避雷器处的 VFTO 幅值也在一定的电压范围内。GIS 内部对 VFTO 幅值影响最大的因素是母线残余电荷电压,与 VFTO 的幅值呈线性关系。其次,影响 VFTO 幅值和陡度的主要因素是变压器入口电容, VFTO 幅值和振荡频率随入口电容的增大而减小。

参考文献 (References)

- [1] 衣立东, 吕世荣. 750 kV 输变电示范工程施工关键技术的研究与应用[J]. 电网技术, 2006, 30(3): 51-56.
- [2] 林莘, 李爽, 徐建源. 特高压 GIS 壳体过电压特性[J]. 沈阳工业大学学报, 2009, 31(6): 606-610.
- [3] 刘青, 张玉峰, 施围. 800 kV GIS 中变压器 VFTO 防护的研究[J]. 高压电器, 2007, 43(2): 122-124.
- [4] V. V. Kumar, J. M. Thomas and M. S. Naidu. Influence of switching conditions on the VFTO magnitudes in a GIS. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16(4): 539-544.
- [5] 尹晓芳, 于力, 刘广维. 封闭式组合电器隔离开关产生的过电压[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(7): 111-114.
- [6] 林莘, 田驰. 超高压 GIS 隔离开关操作引起 VFTO 的研究[J]. 高压开关行业通讯, 2008, 1-2: 36-39.
- [7] 曾昭华, 林集明, 班连庚等. 特快速暂态过电压及研究实例[J]. 电网技术, 1996, 20(3): 5-10.
- [8] 谷定燮, 修木洪, 戴敏等. 1000 kV GIS 变电所 VFTO 特性研究[J]. 高电压技术, 2007, 33(11): 27-32.
- [9] 徐建源, 路璐, 林莘. 1100 kV GIS 隔离开关的电场数值计算与分析[J]. 高电压技术, 2008, 34(10): 2102-2106.
- [10] 陈庆国, 张乔根, 邱毓昌等. GIS 在快速暂态过电压下的放电特性[J]. 电网技术, 2000, 24(9): 1-4.