

500 kV GIS 变电站雷电侵入波波形分析

唐峰¹, 黄荣辉¹, 李德斌², 刘顺桂¹, 赵雪琳², 文凯²

(1. 深圳供电局有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 西华大学, 四川 成都 610039)

摘要: 以某 500 kV GIS 变电站为研究对象, 将变电站和 GIS 出线段看作一个整体, 在国际通用电磁暂态仿真软件 ATP-EMTP 中对变电站各个电气设备搭建雷电侵入波仿真模型, 同时对避雷器的仿真模型进行了优化设计以满足现实避雷器的动作特性。仿真了在不同运行方式下, GIS 内部雷电侵入波的实际情况, 对比分析不同工况下侵入波的波形及其影响, 并与实测的雷电侵入波进行比较证明了模型的准确性。

关键词: GIS 变电站; 雷电侵入波; ZnO 避雷器; ATP-EMTP

中图分类号: TM286 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)04-0078-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.04.017

Analysis on Lightning Intruding Surge Waveform of 500 kV GIS Substation

Tang Feng¹, Huang Ronghui¹, Li Debin², Liu Shungui¹, Zhao Xuelin², Wen Kai²

(1. Shenzhen Power Supply Bureau Co., Ltd., Shenzhen 518000, Guangdong, China;

2. Xihua University, Chengdu 610039, Sichuan, China)

Abstract: Taking a 500 kV GIS substation as the research object and regarding the whole substation and outgoing line as an integral, the lightning intruding surge simulation model for various electric equipment is established with the electromagnetic transient simulation program (ATP-EMTP), while the simulation model of arrester is optimized in order to satisfy the real operation characteristics. The real situation of GIS inner lightning intruding surge is gained by simulating different operating modes. The different lightning intruding surge waveforms are compared and analyzed as well as their effects. The accuracy of the model is verified by comparing with the real measured lightning intruding surge waveform.

Key words: GIS substation; lightning intruding surge; ZnO arrester; ATP-EMTP

0 引言

500 kV 变电站是电力系统中的枢纽站, 在电网正常运行中起着举足轻重的地位。近年来, 随着电压高、损耗低、容量大、距离远等先进技术的快速发展, 全封闭气体绝缘变电站 (gas insulation substation, GIS) 已经得到了广泛的运用。该设备的特点是将变电站内各个电气设备全部置于密封的金属壳内, 并在其内充入绝缘和灭弧性能良好的 SF₆ 气体。基于 GIS 变电站容量大、占地面积小、运行电压高, 且对于内部设备的检修和维护困难的特点, 一旦遭受到雷电波侵入, 将会产生很高的雷电过电压, 威胁设备的绝缘以及整个电网的安全。因此有必要对 GIS 雷电侵入波波形进行详细分析。

目前对雷电侵入波方面的研究因所建立的模型、计算方法不同, 结果都大相径庭。国际上常用的有电磁暂态计算程序 ATP-EMTP、IEEE 开发的 FLASH 仿真程序。国内有清华大学编写的防雷分析程序 FLFX^[1]、西安交通大学开发的 SSPP^[2] 等。下面利用 ATP-EMTP 对 GIS 变电站进行等效建模, 并且考虑氧化锌避雷器在不同过电压下其残压值的不同, 优化避雷器模型的设计。

1 仿真模型的建立

某 GIS 变电站主接线图如图 1 所示, 2 条进线, 2 条出线, 其中变压器为 1 用 1 备, 容量为 750 MVA。由主接线图可知, 此变电站采用 3/2 接线, 保证了供电的可靠性。搭建仿真模型时, 将变电站和进线端看

作为一个整体^[3]。

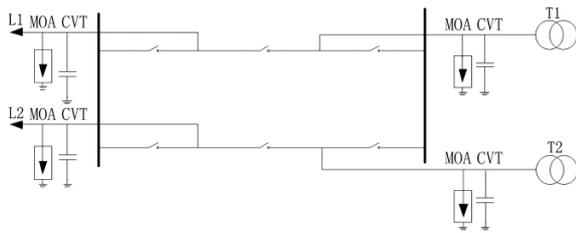


图 1 GIS 主接线

GIS 内母线采用波阻抗形式进行等效,其表达式为

$$Z = 60 \times \ln \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

式中: R_1 为屏蔽导体的内半径; R_2 为内导体的半径。

变压器等效模型为匝间电容、对地电容以及电感,但在变化瞬间,电感的电流无法突变,因此在计算暂态过电压时将变压器模型等效为入口电容,不同电压等级等值电容如表 1 所示。

表 1 变压器入口电容值

额定电压/kV	等值电容/pF
35	500 ~ 1000
110	1000 ~ 2000
220	1500 ~ 3000
500	4000 ~ 6000
1000	10 000 ~ 15 000

由于研究对象是 500 kV 变电站,因此选取的入口等效电容为 5000 pF。

断路器、隔离开关等效模型随着其分合状态不同而不同,当闭合时,利用波阻抗的形式进行描述,此时与母线等效一样;而当断开时,利用集中参数等效为对地电容。

2 条出线架空输电线路等效为波阻抗,因采用分裂导线,所以波阻抗 $Z = 300 \Omega$ $v = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$ 。

采用 Y20W5 - 420/1006 避雷器,并直接使用 ATP 软件自带的模型 MOA 进行等效,其中避雷器额定电压为 420 kV,在 MOA 模型中动作参考电压取额定电压的两倍,即 840 kV。避雷器的伏安特性如表 2 所示。

由于避雷器在同一 $V-I$ 曲线下陡波冲击电流下的残压为 1067 kV,雷电冲击电流下的残压为 1006 kV,而在操作冲击下残压为 826 kV,其值各不相同。为了更加真实地模拟避雷器的特性,需要探究为何在不同过电压情况下,会有不同的残压值出现。

表 2 避雷器的伏安特性

I/kA	V/kV
1	876
3	916
5	934
10	974
15	1000
20	1006

通过对雷电冲击和操作冲击做傅里叶变换后知,雷电冲击的主要频率为 300 kHz,而操作冲击的主要频率为 250 kHz。由于避雷器内部也存在电感元件,因此在不同的频率下,作用在电感上的电压值也有所不同。而在不同冲击下残压的差值就体现在电感上。基于此思想,在 ATP 中首先建立整个 GIS 的等效模型,然后在标准雷电和操作冲击下,对避雷器的电压和电流进行测量,其结果如表 3 所示。

表 3 避雷器测量结果

过电压波形	电流/kA	电压/kV
操作冲击	1.276	884.74
雷电冲击	1.276	884.53

根据电感在交流电路中的公式:

$$X = \omega L \quad (2)$$

式中: ω 为系统频率; L 为避雷器电感,计算出实际避雷器中串联的电感值为 $0.546 \mu\text{H}$ 。因此仿真中需与 MOA 串联一个电感,以模拟真实避雷器的动作特性。

2 确定运行方式

根据电力系统的运行需求及检修计划,在不同的时间段,可能出现不同的运行方式。该变电站主要运行在 1 进线 2 出线的工作状态下,因此仿真了 5 种工作状态:①全运行方式;②单母线双出线运行方式;③单母线单出线运行方式;④双母线单出线运行方式;⑤备用变压器、主变压器同时运行双母线双出线运行方式。在进线与出线端均装设避雷器保护^[4-9],其主接线图如图 2 至图 6 所示。图中空盒子表示断路器断开,实心盒子表示断路器闭合。

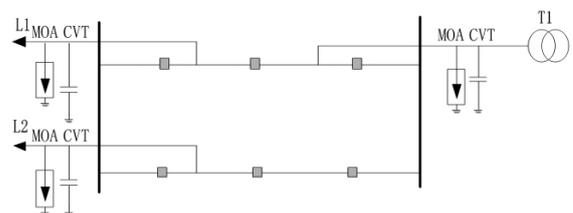


图 2 运行方式①

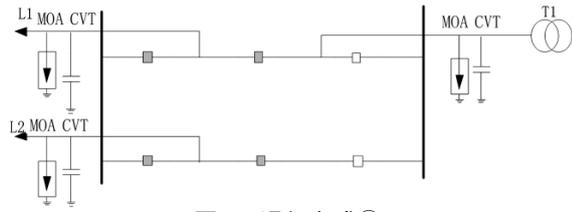


图 3 运行方式②

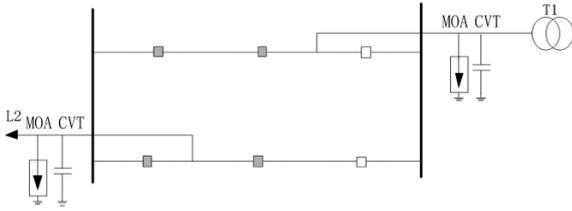


图 4 运行方式③

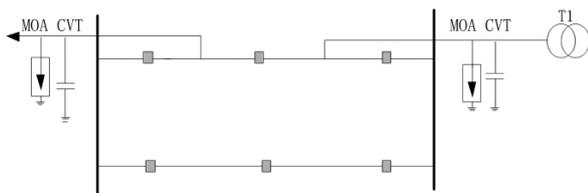


图 5 运行方式④

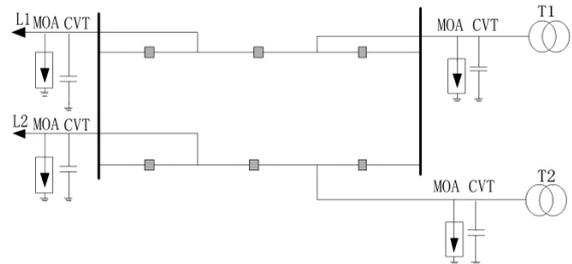
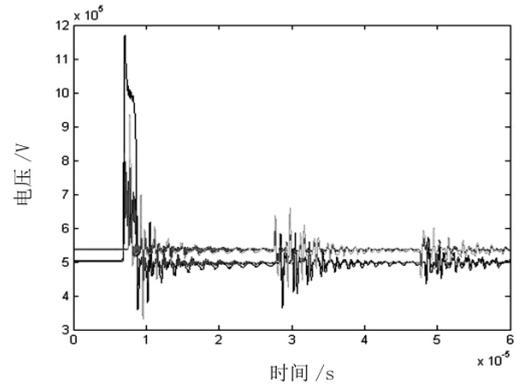
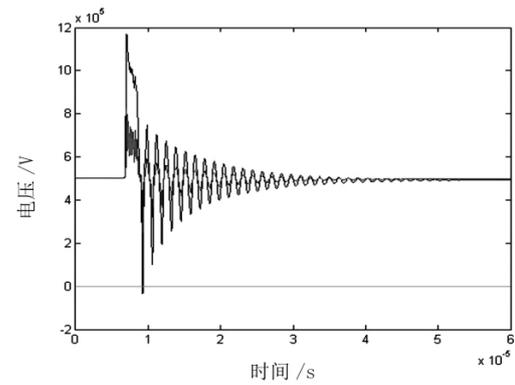


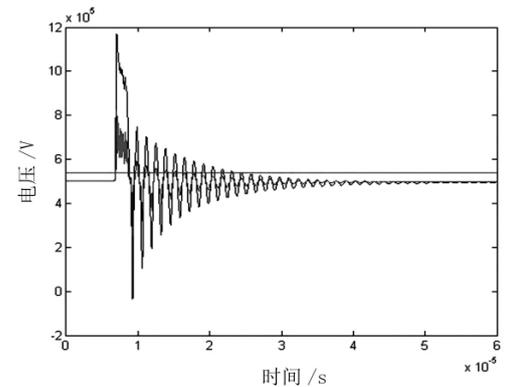
图 6 运行方式⑤



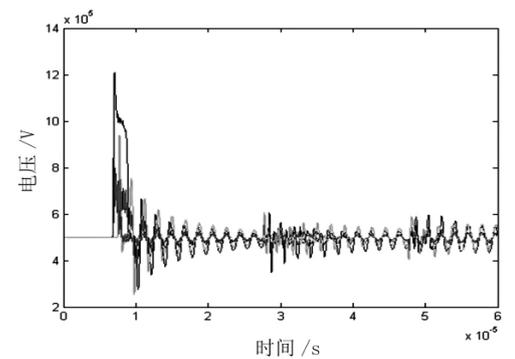
(B) 运行方式②



(C) 运行方式③



(D) 运行方式④

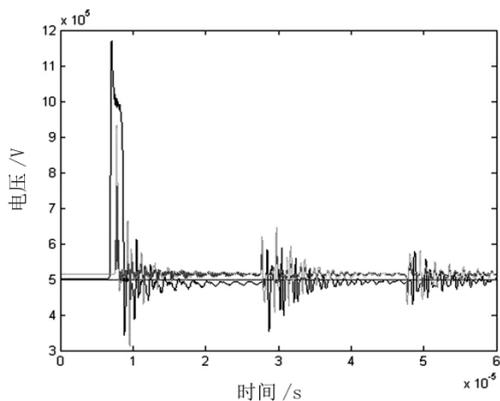


(E) 运行方式⑤

图 7 仿真分析

3 仿真分析与比较

雷电流采用标准雷电波形,即 $1.2/50 \mu\text{s}$ 的双指数雷电波,电流幅值为 100 kA ,雷电通道波阻抗根据规程^[10]取 300Ω 对该 GIS 变电站进行仿真。仿真结果如图 7 所示。



(A) 运行方式①

根据 IEC 标准和国内标准:内绝缘裕度取 15% ,外绝缘裕度取 5% ~ 10% ,由表 4 可知 ,设备均满足绝缘要求。

表 4 设备最大过电压绝缘裕度

设备	冲击耐压 /kV	侵入波过电压 /kV	绝缘裕度 /%
变压器	1550	839.5	40.8
CVT	1675	839.5	44.9
套管	1675	839.5	44.9
断路器	1675	1 207.1	22.9
隔离开关	1675	1 207.1	22.9

从图 7 中可以看出 ,在不同运行方式下 ,雷电侵入点处电压幅值均小于 1.2 MV ,只有在运行方式⑤下 ,雷电侵入点处的电压幅值达到了 1.207 MV ,说明当主变压器和备用变压器同时运行(即重负荷情况下)存在雷电波入侵时 ,对 GIS 造成的过电压会进一步增大 ,因此有必要对重负荷下雷电的预防格外重视;此外在不同的运行方式下 ,衰减的趋势略微不同 ,有的衰减时 ,由于遇到末端开路的情况(如运行方式③、④) ,会使电压略微的抬升 ,延长了衰减时间(即增加了雷电过电压的持续时间)。

当单出线运行时(运行方式③、④) ,站内整个过电压都随着包络线降低 ,并未出现电压波动的情况。而在双出线时(运行方式①、②、③)过电压值先是出现了下降 ,随后又周期性升高 ,其原因是变电站内波阻抗的不一致导致的折返射现象。

在不同的运行方式下 ,在同一雷电侵入的情况下(同一保护配置下) ,各个设备上的雷电过电压的幅值基本一致 ,说明雷电侵入过电压的幅值主要取决于雷电流的大小 ,与运行工况关系不大。

图 8 为某变电站实测雷电侵入波波形。

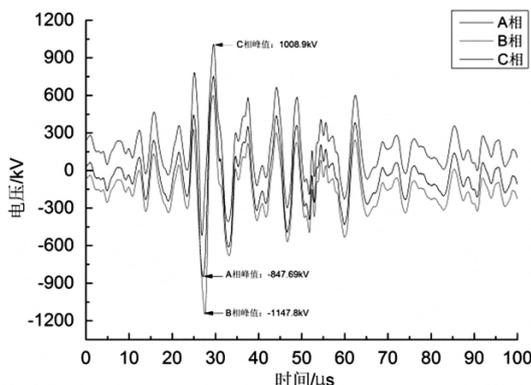


图 8 实测雷电波侵入波

图 8 中 ,B 相雷电过电压最大为 1 147.8 kV ,与仿真得到最大过电压 1 207.1 kV 相近 ,此外衰减时电压也随着包络线衰减至工频电压值 ,也与仿真结果相

同 ,说明该仿真模型的准确性以及波形的参考性。

4 结 语

通过在 ATP 中对 GIS 变电站进行等效建模 ,仿真雷电入侵的情况。为模拟真实避雷器在不同冲击下残压值不同的情况 ,在避雷器侧串入 1 个小电感。模拟仿真了雷电流从进线端侵入 ,得到结论如下:

- 1) 按照进线端、出线端各配置 1 台避雷器能有效地防止雷电过电压 ,且限制的幅值 1.2 MV 能够满足变电站内绝缘裕度的要求;
- 2) 运行在单出线时 ,出线端与变压器端的过电压都随着包络线降低至工频电压;
- 3) GIS 变电站内设备过电压的大小主要取决于雷电流 ,与运行工况无关;
- 4) 通过与实测雷电过电压比较 ,说明了仿真模型的准确性以及波形的可参考性 ,可为监测到的雷电过电压波形作为参考。

参考文献

- [1] 张玉秋,王子春,杨利军. 500 kV 变电所防雷保护计算分析[J]. 中国电力,1995(8):12-16.
- [2] 陈梁金,李思南,谢鹏,等. 750 kV GIS 变电站雷电侵入波过电压的研究[J]. 高电压技术,2006,32(8):18-21.
- [3] 李雍,周悦,李建明,等. 特高压 GIS 变电站雷电过电压防护研究[J]. 高压电器,2016,52(7):37-44.
- [4] 王宏斌,曾永胜,邓广静. 1000 kV GIS 配电装置雷电侵入波防护[J]. 电瓷避雷器,2014(3):112-118.
- [5] 贾东瑞,谢兴利,赵东成. 基于 ATP 的 500 kV GIS 变电站雷电侵入波过电压分析[J]. 电瓷避雷器,2013(6):100-105.
- [6] 戴通令. 雷电侵入波过电压对 GIS 运行的影响分析[J]. 硅谷,2014(24):26-27.
- [7] 戴婷,蓝磊,陈小月,等. 500 kV GIS 水电站雷电侵入波计算方法及风险评估[J]. 水电能源科学,2014(12):169-172.
- [8] 王亮,贾东瑞,屈彦明,等. 特高压 GIS 变电站雷电侵入波过电压分析[J]. 河北电力技术,2015,34(2):16-19.
- [9] 舒亮,刘菲. 800 kV GIS 设备雷电侵入波过电压研究[J]. 青海电力,2011,30(专):7-14.
- [10] 1000 kV 特高压交流输电变电工程过电压和绝缘配合:GB/Z 24842-2009[S]. 2009.

作者简介:

唐 峰(1969) ,高级工程师 ,从事电气试验工作。

(收稿日期:2018-04-20)