

特高压线路采用 HSGS 限制潜供电流的研究

吴剑凌¹, 张思^{2,3}, 张仪⁴, 潘少良⁵, 潘红武⁵, 吴国英⁵, 周浩³

(1. 浙江省电力公司, 浙江 杭州 310007; 2. 慈溪供电局, 浙江 慈溪 315300; 3. 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 4. 湖州电力公司, 浙江 湖州 313000; 5. 湖州电力设计院, 浙江 湖州 313000)

摘要: 基于 1 000 kV 双端电源输电线路模型, 利用 EMTP 仿真计算加装 HSGS 前后潜供电流的变化情况。研究表明, 采用 HSGS 限制潜供电流的方法适用于较短的、不需要高抗补偿和换位的线路, 一般要求 200 km 以内。HSGS 的接地电阻对 HSGS 限制潜供电流效果的影响很大, 应该小于 0.5 Ω 。并分析了 HSGS 的接地电阻大于 1.5 Ω 时, 150 km 线路两端的潜供电流比加装前大的现象。对不同长度的装有 HSGS 的线路分别仿真可知, 线路越长, 潜供电流和恢复电压的值越大。

关键词: 特高压; 仿真; 潜供电流; 快速接地开关; 重合闸

Study on secondary arc current of UHV line using HSGS

WU Jian-ling¹, ZHANG Si^{2,3}, ZHANG Yi⁴, PAN Shao-liang⁵, PAN Hong-wu⁵, WU Guo-ying⁵, ZHOU Hao³

(1. Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007, China; 2. Cixi Power Supply Bureau, Cixi 315300, China; 3. School of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 4. Huzhou Electric Power Company, Huzhou 313000, China; 5. Huzhou Electric Power Design Institute, Huzhou 313000, China)

Abstract: The model of 1000 kV transmission line with two sources is established, based on which the secondary arc currents are calculated with EMTP for that with and without the HSGS. It shows that the HSGS is feasible for a shorter line which need not shunt reactor and transposition, generally shorter than 200 km. The grounding resistance of HSGS influences obviously the limiting effect of HSGS, and it should be set at less than 0.5 Ω . Then the phenomenon that the secondary arc current increased after using HSGS with a resistance bigger than 1.5 Ω on sides of the 150 km line is discussed. Simulations are carried out for lines with different length, which shows that, the longer the line with HSGS is, the bigger the secondary arc current and recovery voltage will be.

Key words: ultra high voltage; simulation; secondary arc current; high speed grounding switch; single phase reclosure

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)06-0052-04

0 引言

为了提高系统的稳定性和供电的可靠性, 我国在 220 kV 及以上的电力系统中广泛采用单相自动重合闸^[1-4]。由于特高压输电线路长, 运行电压高, 潜供电弧燃烧时间较长, 使单相自动重合闸的成功率大大降低, 对系统的危害很严重^[5-7]。因此, 必须采取相应的措施来缩短潜供电弧的熄灭时间。

目前, 用于熄灭潜供电弧的方法主要有加装 HSGS 和并联电抗器中性点接小电抗两种^[8-10]。前者在日本、意大利等国建成的特高压试验线路中得到使用, 而后者在苏联/俄罗斯的 1 150 kV 线路中得到使用^[11]。我国建设特高压示范线路时采用的是并联电抗器中性点接小电抗, 没有采用 HSGS。本文建立了一个 1 000 kV 的双端电源输电线路模型, 用 EMTP 研究特高压线路中 HSGS 抑制潜供电流的效果。

1 潜供电流及 HSGS

特高压输电线路中, 线路发生单相接地故障, 系统自动重合闸装置立即动作, 故障相两端的断路器立即断开, 短路电流被切断。此时, 健全相通过静电耦合和电磁耦合继续向故障点继续提供电流, 即潜供电流。

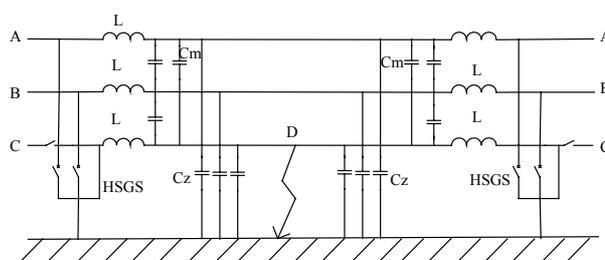


图 1 单相接地故障 HSGS 投入后的线路等值电路

Fig.1 Equivalent circuit of line with HSGS for single phase fault

HSGS 是熄灭潜供电弧的有效方法。如图 1 所示, 当线路发生单相接地故障时, 故障相两侧断路器跳开以后, 先合上故障线路两侧的 HSGS, HSGS 的投入可以使故障点的潜供电流转移到两侧闭合的 HSGS 上, 与故障点形成分流, 减小了流过故障点的潜供电流, 从而使电弧容易熄灭^[12], 然后再打开 HSGS, 利用开关的灭弧能力强行将电弧熄灭。

2 潜供电流的仿真

2.1 模型的构建

建立双端电源输电线路模型, 如图 2 所示, 潮流从 M 流向 N。塔形选用 M 型三角排列, 如图 3 所示, 导线选用钢芯铝绞线 8×LJGJ-500, 分裂间距 400 mm^[13]。

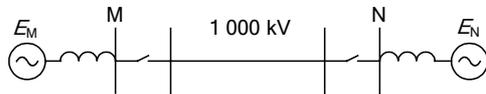


图 2 1 000 kV 输电线路仿真模型
Fig.2 Simulating model of 1 000 kV transmission line

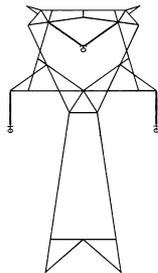


图 3 M 型三角排列猫头型塔

Fig.3 The cat heat tower with M type triangular configuration

单相重合闸操作过程如图 4^[14-15]所示, 在 t_s 时发生接地故障, 经过 0.08 s 后两边断路器断开, 再经过 0.2 s 投上 HSGS。本文仿真计算时, 接地的过

渡电阻取 10Ω ^[2,16]。

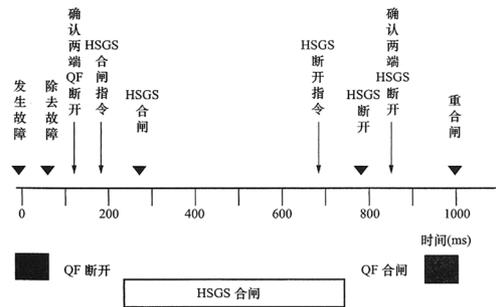


图 4 单相重合闸操作过程示意图

Fig.4 The sketch map of operation process of single-phase reclosing

2.2 杆塔换位方式对 HSGS 限制效果的影响

为了研究杆塔换位方式对 HSGS 限制潜供电弧效果的影响, 采用如图 3 所示的模型, 线路长度取 150 km, 选用如图 5 所示的换位方式, 对换位前后的输电线路进行仿真计算, 得到潜供电流 I 和恢复电压 U 的值如表 1 所示。

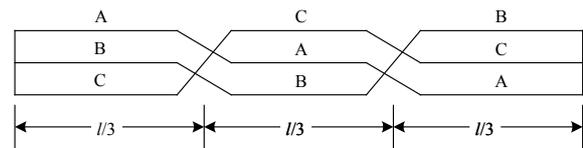


图 5 杆塔换位方式

Fig.5 Tower transposition mode

从表 1 可以看出, 在使用 HSGS 的情况下, 不换位和换位相比, 潜供电流的最大值从 30.2 A 增大到 64.8 A, 恢复电压的值也从 2.1 kV 提高到 3.2 kV, HSGS 在线路不换位时限制效果比较理想。因此, HSGS 适用于不需要换位的线路。为了便于比较, 以下仿真计算时, 杆塔换位方式选择不换位。

表 1 换位方式对 HSGS 限制效果的影响

Tab.1 The effect of HSGS under different transposition patterns

故障相	换位方式	$d=10$		$d=30$		$d=75$		$d=120$		$d=140$	
		I/A	U/kV	I/A	U/kV	I/A	U/kV	I/A	U/kV	I/A	U/kV
A 相	不换位	21.1	1.6	24.2	1.6	29.1	2.1	24.2	1.6	5.3	1.2
	换位	16.9	1.6	16.4	1.6	63.4	3.2	49.3	1.7	22.7	0.5
B 相	不换位	15.8	1.6	25.6	1.5	29.5	2.1	20.4	1.6	6.1	0.2
	换位	14.5	1.6	15.3	1.6	50.0	2.7	64.1	2.0	23.1	1.6
C 相	不换位	20.1	1.6	25.9	1.5	30.2	1.7	22.0	1.6	7.3	1.6
	换位	36.2	1.5	64.8	2.0	56.6	3.0	36.7	1.5	13.4	1.6

注: d 为故障点距离送端的位置, 单位 km, 下同。

2.3 HSGS 的接地电阻对 HSGS 限制效果的影响

HSGS 的接地电阻大小直接影响到 HSGS 的分

流作用。为了研究接地电阻对 HSGS 限制效果的影响, 采用如图 3 所示的模型, 线路长度取 150 km,

HSGS 的接地电阻取不同的值, 分别对不同的故障点位置 d 进行仿真计算, 得到潜供电流 I 的值如图 6 所示。

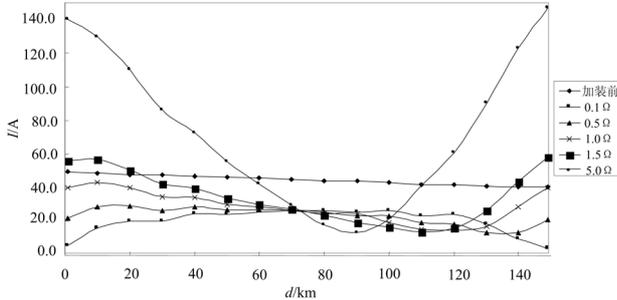


图 6 150 km 线路中 HSGS 限制潜供电流的效果

Fig.6 The effect of HSGS on secondary arc current on 150 km line

图 6 表明, 接地电阻对 HSGS 的限制效果影响很大。加装 HSGS 的线路, 接地电阻小于 0.5Ω 时, 潜供电流的值大幅度降低; 而接地电阻大于 1.5Ω 时, 线路部分故障点的潜供电流值仍然很大, HSGS 的限制效果不够理想。因此, HSGS 的接地电阻应该小于 0.5Ω 。

从图 6 中发现, 接地电阻大于 1.5Ω 时, 靠近线路两端的潜供电流的值比加装前大, 这与文献[17]的结论存在一定矛盾。文献[17]中提到, 首末端加装 HSGS 后, 故障无论发生在什么位置潜供电流的电感分量均为零, 只剩下电容分量, 且该电容分量被 HSGS 分流, 因此加装 HSGS 后潜供电流的值比加装前要小。但是, 该结论是在忽略了线路的电阻、电导和健全相的对地电容, 也就是忽略了沿线的电压降和线路对地电容的分流作用的条件下得到的。对于 500 kV 及以下电压等级的线路, 因为电压和对地电容相对较小, 健全相的对地电容分流作用不明显, 首末端电流大小相差不大, 故障点的潜供电流的电感分量近似抵消, 该结论基本满足实际情况。但是, 1000 kV 输电线路中, 电压等级和对地电容相对较大, 健全相的对地电容分流作用明显, 此时已不可忽略, 使得故障点潜供电流的电感分量不能抵消。因此, 某些情况下, 加装 HSGS 以后, 会使潜供电流比加装前大。

2.4 HSGS 熄灭潜供电弧的效果

为了研究 HSGS 熄灭潜供电弧的效果, 采用如图 3 所示的模型, 对不同长度的输电线路 L , 仿真计算加装 HSGS 前后, 沿线的潜供电流 I 和恢复电压 U 的最大值。其中, HSGS 的接地电阻取 0.1Ω , 接地的过渡电阻取 10Ω , 结果如图 7 所示。

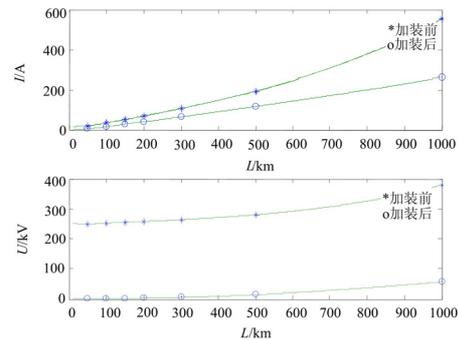


图 7 不同线路长度下 HSGS 的限制效果

Fig.7 The effect of HSGS on lines with different length

图 7 表明, 加装 HSGS 前后, 线路越长, 潜供电流和恢复电压越大。加装 HSGS 以后, 潜供电流和恢复电压大幅度减小, 但是对于较长的线路, 潜供电流依然很大。从图 4 可以得到, HSGS 从闭合到打开约为 0.5 s , 考虑潜供电弧熄灭后的弧道介质恢复时间为 0.04 s 以上, 一般可选 0.1 s ^[15], 因此必须在 HSGS 投入后 0.4 s 内熄灭潜供电弧。而根据我国的实验研究统计, 风速在 $1.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 范围内时, 未经补偿的潜供电弧自熄时间 (按 90% 概率统计) 一般可参考下列数值, 如表 2 所示^[18]。

表 2 潜供电弧的熄灭时间

Tab.2 Extinction time of the secondary arc		
恢复电压梯度 (kV/m)	潜供电流 (有效值) /A	自灭时间 (90%概率值) /s
10	18.4	0.25~0.4
	21	0.31~0.49
	42	0.52~0.65
20	18.4	0.6~0.8
	21	0.811~0.955
	42	1.172~1.417
30	18.4	1.27~1.48
	21	1.391~1.536
	42	2 s 不熄灭

由表 2 可以得到, 潜供电流不变, 自灭时间随着恢复电压的增大而增加, 且上升速度较恢复电压快。从图 7 可以看到, 加装 HSGS 以后, 200 km 的恢复电压为 3 kV , 潜供电流为 41.2 A , 能在 0.4 s 内熄弧。

因此, 一般 200 km 以内的线路加装 HSGS 后, 可以缩短潜供电弧的熄灭时间, 满足 1 s 重合闸要求; 而较长的线路, 加装 HSGS 后, 由于潜供电流和恢复电压的值依然较大, 无法顺利熄弧。

3 结论

(1) 在特高压线路中, HSGS 限制潜供电流的方法适用于不换位线路。

(2) HSGS 的接地电阻对 HSGS 限制潜供电流效果的影响很大, 一般要求小于 0.5Ω 。

(3) 加装 HSGS 前后, 线路越长, 潜供电流和恢复电压的值越大, HSGS 只适用于短线路, 一般要求小于 200 km。

参考文献

- [1] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.
- [2] 王皓, 李永丽, 李斌. 750kV及特高压输电线路抑制潜供电弧的方法[J]. 中国电力, 2005, 38(12): 29-32.
WANG Hao, LI Yong-li, LI Bin. Secondary Arc Extinction Methods for 750 kV and UHV Transmission Lines[J]. Electric Power, 2005, 38(12): 29-32.
- [3] Moustafa Mohammed Eissa, Malik O P. A Novel Approach for Autoreclosing EHV/UHV Transmission Lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000,15(3): 908-912.
- [4] Goldberg S, Horton W F, Tziouvaras D. A Computer Model of the Secondary Arc in Single Phase Operation of Transmission Lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4(1): 586-595.
- [5] Hasiber R M, Jegate A C, Bruner J, et al. The Application of High-speed Grounding Switches for Single-pole Reclosing on 500 kV Power System[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and System, 1981, 100 (4) : 1512- 1515.
- [6] Esztergalyos J, Andrichak J, Colwell D H, et al. Single Phase Tripping and Auto Reclosing of Transmission Lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7 (1) : 182- 192.
- [7] Handa S, Matsuda S. Auto-extinction Characteristics of Secondary Arc on UHV Transmission Lines[A]. in: CRIEPI Report 181023[C].Tokyo(Japan): 1982.
- [8] Mohammad Reza Dadash Zadeh , Majid Sanaye-Pasand, Ali Kadivar. Investigation of Neutral Reactor Performance in Reducing Secondary Arc Current[J]. IEEE Trans on power Delivery, 2008, 23(4): 2472-2479.
- [9] SHI Wei, LI Fan, HAN Yan-hua, et al. The Effect of Ground Resistance on Secondary Arc Current on an EHV Transmission Line[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2005, 20(2): 1502-1506.
- [10] 张丽, 徐玉琴. 并联电抗器在超(特)高压电网中应用及发展[J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (4): 75-78.
ZHANG Li, XU Yu-qin. Application and Development of Shunt Reactors in EHV & UHV Transmission Lines[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27 (4): 75-78.
- [11] 赵智大. 高电压技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [12] 商立群, 施围. 快速接地开关熄灭同杆双回输电线路潜供电弧的研究[J]. 电工电能新技术, 2005, 24 (2) : 5- 6.
SHANG Li-qun, SHI Wei. Secondary arc Extinction at Double-circuit Transmission Lines Using High Speed Grounding Switches[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2005, 24 (2) : 5- 6.
- [13] 刘振亚. 特高压交流输电技术研究成果专辑(2005年)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [14] 何柏娜. 800kV GIS 中采用快速接地开关抑制潜供电弧的研究(硕士学位论文)[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2006.
HE Bai-na. The Investigation of High Speed Grounding Switches on Secondary Arc in 800 kV GIS, Thesis[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2006.
- [15] 刘振亚. 特高压交流输电系统过电压与绝缘配合(2008年)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [16] 陈剑萍, 张思, 丘文千, 等. 特高压线路潜供电流的仿真计算[J]. 电力自动化设备, 2009, 29 (4): 71-75.
CHEN Jian-ping, ZHANG Si, QIU Wen-qian, et al. Simulative Calculation of UHV Line Secondary Arc Current[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009,29(4): 71-75.
- [17] 曹荣江, 朱拱照, 崔景春. 关于超高压线路上潜供电弧持续现象的研究[J]. 高电压技术, 1975, 18 (1): 28-77.
- [18] 电力科学研究院. 1000kV级交流特高压输变电工程关键技术研究报告[R]. 北京: 电力科学研究院, 2008.

收稿日期: 2009-04-24

作者简介:

吴剑凌(1966-)男, 从事电网继电保护、电力系统自动化及弱电系统防雷保护等工作;

张 思(1986-)男, 从事电力系统高电压技术的研究。

E-mail: zhangsi@zju.edu.cn