Investigation on the Electromagnetic Transient for AC/DC Parallel Line during Lightning Fault

Peng Peng

The Technical and Economic Center of the Ministry of Construction, Shenzhen Power Supply Bureau Co., LTD., Shenzhen Guangdong

Email: 824074768@qq.com

Received: Sep. 10th, 2015; accepted: Sep. 23rd, 2015; published: Sep. 29th, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



Open Access

Abstract

In order to save resources and protect the environment, the power grid of China will have more multiple-circuit transmission lines and high capacity AC/DC parallel transmission lines. This paper builds the simulation model of AC/DC parallel transmission lines and studies the transient process of transmission lines when lightning, which is one of the main reasons of line fault. The electromagnetic transient simulation software PSCAD/EMTDC is employed to establish the simulation model of UHV DC model, and the AC/DC parallel transmission model is also set up. Based on the model established above, we simulate the transient simulation of lightning striking on the DC lines and AC lines, and parameters' changes are analyzed. It turns out that the voltage and current of the transmission lines will rise abruptly when the lightning happens and many parameters of DC lines will have strong distortion and oscillation.

Keywords

Transient Analysis, Parallel Transmission Lines, Ultra-High Voltage Power Transmission

交直流并行线路雷击时电磁暂态仿真研究

彭彦

深圳供电局有限公司基建部技术经济中心, 广东 深圳

Email: 824074768@qq.com

文章引用: 彭澎. 交直流并行线路雷击时电磁暂态仿真研究[J]. 智能电网, 2015, 5(5): 220-227. http://dx.doi.org/10.12677/sg.2015.55027 收稿日期: 2015年9月10日: 录用日期: 2015年9月23日: 发布日期: 2015年9月29日

摘要

为了节约资源和环境保护,我国特高压输电线路将形成大容量多回输电线路、交直流并行的格局。雷击是特高压线路跳闸的主要原因,论文搭建了交直流并行输电线仿真模型,对线路遭受雷击时的电磁暂态进行了仿真分析。首先采用PSCAD仿真软件建立了特高压直流输电工程的仿真模型,建立了特高压交直流并行输电线路模型。基于以上模型对雷击特高压直流线路进行了暂态仿真,分析了参数的暂态变化。结果表明线路电压与电流均迅速上升,两极各项参数发生了畸变和振荡。

关键词

暂态分析,并行线路,特高压输电

1. 引言

特高压输电能够缓解我国电荷中心和能源中心的极不均匀分布的矛盾,也是一种更加方便、高效、经济、环保的输电方式。截止到目前,我国已经投入运行的直流工程达 16 项,其中包括 2 项特高压工程和 3 项背靠背工程。正建的高压工程有 5 项,其中包括 2 项特高压工程。预计在 2020 年,我国投运的特高压工程将达到 18 项,系世界上直流工程数目最多、容量最大、输送距离最长的国家[1]。

由于特高压输电线路承担着长距离、大容量以及联网的任务,其安全性和稳定性变得尤其重要。国内外统计表明,雷击线路是造成输电线路跳闸的最主要原因之一[2]。由于杆塔高,引雷的面积大,工作电压对耐雷性能影响明显,特高压线路的防雷不同于现存普通的输电线路的防雷[3]-[5]。特高压线路由于其高电压,其输电线路结构特殊,故需要在此方面进行大量的理论研究和试验。关于普通线路的防雷研究工作已经国内外已经开展了很多。特高压线路由于其高电压,其输电线路结构特殊,故需要在此方面进行大量的理论研究和试验。论文以特高压交直流输电并行线路为对象,对特高压线路的雷击电磁暂态仿真进行研究,为我国特高压工程的防雷和安全运行提供理论依据[5]-[9]。

2. 雷击输电线路的理论分析

在高压输电线路上一般配置有避雷线保护,来防止导线直接遭受雷击。但由于雷击随机性较强,影响因素较多,如遭遇避雷线屏蔽保护失效时,就有可能发生雷绕过避雷线直接击中导线的情况,通常称之为绕击。

虽然绕击的概率较低,雷电流幅值较小,但因绕击发生时的所产生的冲击过电压较高,使线路绝缘子闪络的可能较大,或通过导线侵入变电站危及电气设备的安全。故对绕击进行研究是十分有必要的。

2.1. 绕击率

根据相关试验,绕击率与杆塔的高度、避雷线的保护角以及地貌等因素有关。有相关近似公式如下:

1) 平原线路

$$\lg p_a = \frac{\alpha\sqrt{h}}{86} - 3.9 \tag{1}$$

2) 山区线路

$$\lg p_a = \frac{\alpha\sqrt{h}}{86} - 3.35 \tag{2}$$

其中, p_a 为绕击率; α 为避雷线对外侧导线的保护角, $^{\circ}$;h为杆塔的高度,m。

2.2. 绕击过电压的计算

忽略避雷线与导线的耦合作用,绕击过电压的简化计算模型如图 1 所示。导线 A 点被雷电流为 I_0 的雷电流波击中,假设导线无限长,即不考虑 A 点的反射波,根据彼得逊法则可得到相关计算简化模型如图 1 所示。

根据图 1 所示, 雷击点的电位为:

$$u_A = i_A \frac{Z_C}{2} = i \frac{Z_0 Z_C}{2Z_0 + Z_C} \tag{3}$$

绕击过电压极性与雷电流极性一致,波形相似,其幅值为:

$$U_A = I \frac{Z_0 Z_C}{2Z_0 + Z_C} \tag{4}$$

2.3. 绕击耐雷水平

根据上述计算式可知,绕击过电压的幅值 U_A 与雷电流I是正比例关系。当雷击中导线,绝缘子的是否闪络取决于到达杆塔过电压 U_A 与绝缘子串的冲击放电电压的大小。如果前者大于后者,则会引起绝缘子的闪络。所以,线路所能承受的最大雷电流幅值造成的过电压 U_A 不能大于绝缘子串 $U_{50\%}$,即 $U_A < U_{50\%}$ 。故线路绕击的耐雷水平 I_1 为:

$$I_1 = U_{50\%} \frac{2Z_0 + Z_C}{Z_0 Z_C} \tag{5}$$

另外,根据我国现行标准可近似估算线路绕击的耐雷水平为:

$$I_1 = \frac{U_{50\%}}{100} \tag{6}$$

论文分析了雷击导线的基本理论,推导了雷电流绕击输电线路过电压的计算方法及公式,以及耐雷水平的求取及影响因素。为下文研究雷绕击导线提供了理论依据。

3. 雷击暂态仿真分析

3.1. 雷电流仿真

目前,国内外已经通过实测积累了大量关于雷电流的幅值、波头和波尾时间等参数。但由于雷电放电受到不同地域气象、地形和地质等多种自然条件的影响,本身具有很强的随机性,另外,各个地方的测量手段和测量技术水平也不尽相同,所以得到的具体数值还是有较大差别。虽然如此,各国所测得的雷电流的波形却基本一致。我国规程规定,在防雷设计中,雷电流的标准参数为 2.6/50 µs。

本文针对防雷设计参数 2.6/50 μs, 采用双指数模型,通过 PSCAD 软件的逻辑控制模块与计算模块对 雷电流波进行模拟,其中加入了延迟环节达到对仿真时间的控制,通过加入了滑动控制环节实现对雷电 流幅值的控制,仿真结构如图 2 所示。

图 3 仿真结果中由于交直流系统于 0.4 s 左右达到稳定状态,故雷电流的起始时间为 0.5 s。直流系统 绕击的耐雷水平为 26 kA,故雷电流幅值为 20 kA 模拟雷击。

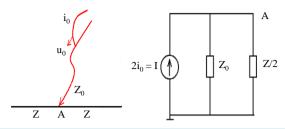


Figure 1. Equivalent circuit model of lighting striking on line 图 1. 雷击线路等效电路模型

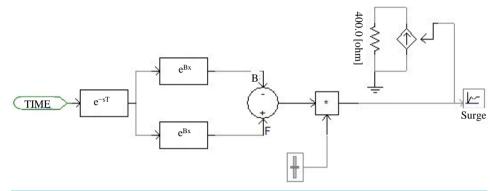


Figure 2. Lightning current simulation structure 图 2. 雷电流仿真结构图

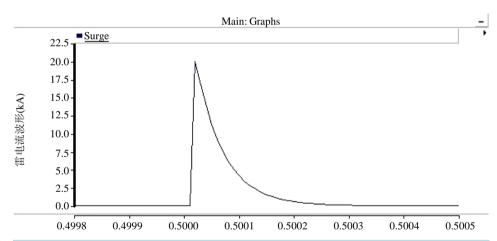


Figure 3. Simulation of lightning current waveform 图 3. 雷电流仿真波形

3.2. 雷击直流输电线路的暂态仿真

根据上述所建立的模型,雷击直流输电线路的仿真模型,并通过仿真,分别得到直流电压、直流电流、以及交流系统电压、绝缘子上的电压波形如图 4~7 所示。

另外,整流侧、逆变侧的触发角,逆变侧的关断角波形如图 8~10 所示。

其仿真结果具体参数如表 1、表 2 所示。

图 4~10 表明在雷击时,在交流系统上产生了大约 68 kV 的振荡过电压,后导致交流波形发生畸变,几个周期之后恢复正常。线路杆塔上绝缘子与预期一致,未发生闪络。其电压的波形与直流线路上的基本一致。

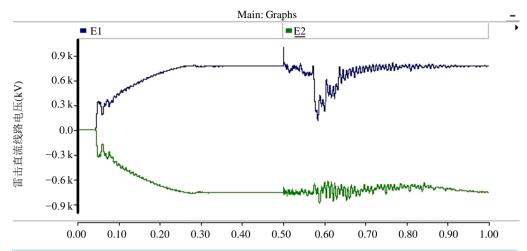


Figure 4. DC line voltage waveform after around the strike 图 4. 绕击直流后直流线路上的电压波形

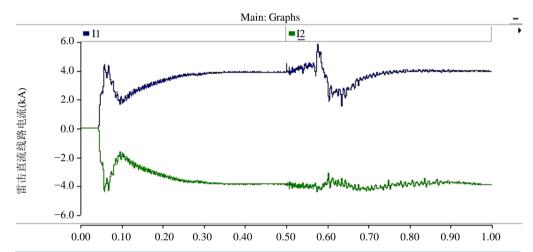


Figure 5. DC line current waveform after around the strike 图 5. 绕击直流后直流线路上的电流波形

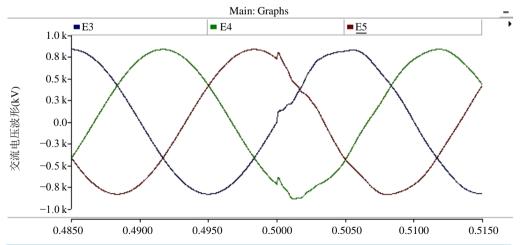


Figure 6. DC line voltage waveform after around the strike **图 6.** 绕击直流后交流线路上的电压波形

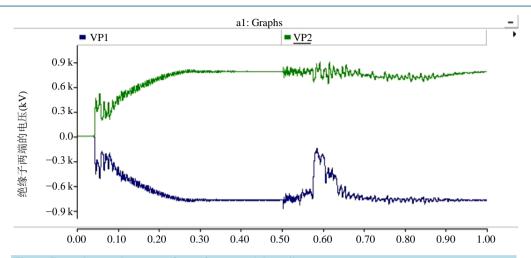


Figure 7. Insulator voltage waveform after around the strike 图 7. 绕击直流后直流线路上的绝缘子两端的电压波形

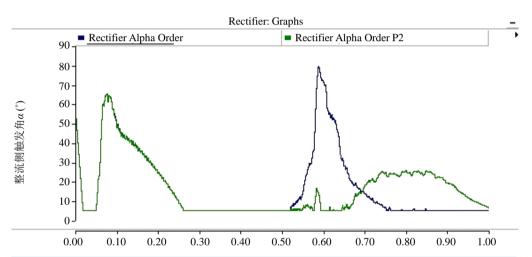


Figure 8. The waveform of rectifier side firing angel after lighting striking on DC lines **图 8.** 绕击直流后整流侧触发角 α 的暂态波形

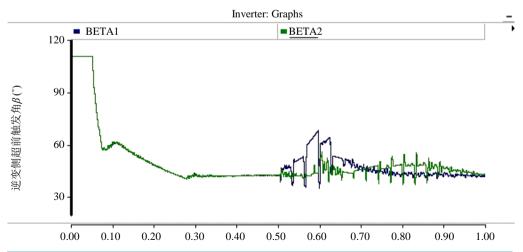


Figure 9. The transient waveform of inverter side firing angel after lighting striking on DC lines **图 9.** 绕击直流后逆变侧超前触发角 β 的暂态波形

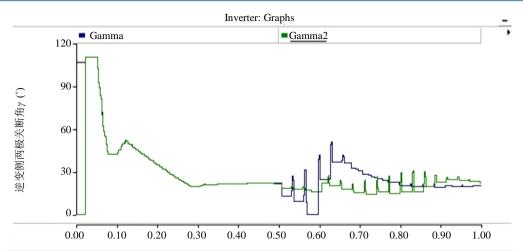


Figure 10. The transient waveform of rectifier turn-off angel after lighting striking on DC lines **图 10.** 绕击直流后逆变侧关断角 γ 的暂态波形

Table 1. The anode transient parameters of lightning UHV DC lines

 表 1. 雷击特高压直流线路正极暂态参数

正极线路参数	稳态值	振荡最大值	振荡最小值	稳定值
直流侧电压/kV	765.6	991.15	109.79	765.28
直流侧电流/kA	3.89	5.8	1.82	3.92
触发角 α/度	5.02	77.3	5.01	5.01
超前触发角 β/度	41.9	67.6	35.3	41.5
关断角 γ/度	21.7	50.4	0	20.01

Table 2. The negative transient parameters of lightning UHV DC lines

 表 2. 雷击特高压直流线路负极暂态参数

负极线路参数	稳态值	振荡最大值	振荡最小值	稳定值
直流侧电压/kV	765.6	-594.38	-893.26	-763.28
直流侧电流/kA	3.89	-2.4	-4.1	-3.95
触发角 α/度	5.02	25.2	5.01	5.01
超前触发角 β/度	41.9	55.7	36.6	42.4
关断角 γ/度	21.7	30.4	13.9	22.1

4. 结论

论文首先建立了雷电流的仿真模型,通过对比,最后采用双指数模型这一最接近于实际波形的模型来模拟雷电流,基于电磁暂态软件 PSCAD,对雷击直流输电线路进行了暂态仿真。得到了关于直流电压、电流、交流电压以及控制系统中的 α 、 β 和 γ 角在雷击之后的暂态变化过程。通过暂态仿真,详细分析了这些参数的电磁过程,以及其相互的影响。

参考文献 (References)

[1] 伏进 (2009) 特高压直流输电线路耐雷性能分析方法研究. 硕士论文, 重庆大学, 重庆.

- [2] 束洪春, 王永治, 程春和, 孙士云 (2008) ±800 kV 直流输电线路雷击电磁暂态分析与故障识别. *中国电机工程 学报*, **19**, 93-100.
- [3] 李新年, 蒋卫平, 李涛, 曾昭华, 吴娅妮 (2008) 交流线路对平行架设特高压直流线路的影响及限制措施. *电网* 技术, 11, 1-6
- [4] 魏广民,曹云东,富强 (2009) 中国高压直流输电工程技术的展望. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 1, 50-52.
- [5] 徐政 (2004) 交直流电力系统动态行为分析. 高电压技术, 6, 3.
- [6] 孙义豪 (2011) 1000 kV/500 kV 同塔混压四回输电线路耐雷性能研究. 硕士论文, 重庆大学, 重庆.
- [7] 樊春雷 (2009) 重雷区域输电线路耐雷水平影响因素的研究. 硕士论文, 西南交通大学, 成都.
- [8] 张志刚 (2006) 直流输电系统线路过电压的研究. 硕士论文, 华中科技大学, 武汉.
- [9] 周志成,马勇,陶风波,陈少波,魏旭 (2012) 雷击地线档距中央的反击性能分析. 江苏电机工程, 6, 11-14.