

Influence Analysis of 500 kV Power Transmission and Transformation Project on Power Frequency Overvoltage Based on PSCAD

Xiaolong Wang¹, Jiguang Wu², Bin Cao², Xiaoyu Gong³, Xu Zhang¹

¹Inner Mongolia University of Technology, Hohhot Inner Mongolia

²Inner Mongolia Electric Power Research Institute, Hohhot Inner Mongolia

³Chongqing Power Supply Bureau, Chongqing

Email: 714755717@qq.com

Received: Sep. 24th, 2017; accepted: Oct. 8th, 2017; published: Oct. 13th, 2017

Abstract

The line model selection of 500 kV transmission project will influence the switching overvoltage, and different maintenances will have different effects on overvoltage in practical engineering. Aiming at the above problems, the author uses electromagnetic transient simulation software PSCAD to stimulate and analyze the biggest impact on overvoltage with twelve kinds of maintenance modes under Bergeron, Mode Model, and Phase Model, and find that the switching overvoltage is closer to reality under Mode Model, and Phase Model. Besides, as for double loop power transmission project, the author analyzes one of the lines in different maintenance modes, and finds that the inspecting of its adjacent line will have the largest influences on the power frequency overvoltage. So, the engineer should pay more attention in practical engineering. Through the analysis above, the author hopes to give some guidance to the startup and maintenance of 500 kV transmission project.

Keywords

The Power Frequency Overvoltage, Switching Overvoltage, Circuit Model, PSCAD, Maintenance

基于PSCAD的500 kV输变电工程过电压的分析

王小龙¹, 吴集光², 曹斌², 宫小宇³, 张旭¹

¹内蒙古工业大学, 内蒙古 呼和浩特

²内蒙古电力科学研究所, 内蒙古 呼和浩特

³重庆供电局, 重庆

Email: 714755717@qq.com

收稿日期: 2017年9月24日; 录用日期: 2017年10月8日; 发布日期: 2017年10月13日

摘要

500 kV输变电工程的线路模型选择对操作过电压有着不同的影响以及实际工程中不同检修方式都对工频过电压有影响, 针对上述问题笔者应用PSCAD电磁暂态仿真软件对在Bergeron、Mode Model、Phase Model线路模型下进行仿真验证和分析在十二种检修方式下对工频过电压影响最大的一种方式, 通过实际工程说明操作过电压在Mode Model、Phase Model线路模型下更接近实际。对于双回路的输变电工程在不同检修方式下, 对于其中一条线路分析, 与它相邻线路检修对其工频过电压影响最严重, 在实际工程中, 工作人员应该多加注意。笔者通过以上分析对500 kV实际输变电工程启动和检修有一定的指导意义。

关键词

工频过电压, 操作过电压, 线路模型, PSCAD, 检修方式

Copyright © 2017 by authors 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

1. 引言

500 kV 输电工程的输送距离比较长, 如何配置线路模型使操作过电压更接近实际工程至关重要以及在实际工程检修时应注意那种检修方式对其有着更大的影响。文献[1]分析了基于 Bergeron 模型的 500 kV 变电站雷击过电压计算, 介绍了无损均匀导线和集中参数元件的 Bergeron 等值模型以及各种电气设备模型, 求出雷电过电压分布的, 虽然没有分析其内过电压, 但是其数学模型值得借鉴。文献[2]分析了基于贝金龙算法的直流输电线路耐雷效果, 虽然分析的是直流耐雷效果, 但是贝金龙算法等值模型为本论文计算内过电压可以提供见解。文献[3] [4]分析了工频过电压的原理以及在调试、正常、检修方式下的工频过电压计算以及合闸、分闸等操作过电压的计算, 但是没有对各种情况下对比分析, 分析最严重的工况对内过电压的影响。大量文献针对线路杆塔模型进行分析以及各种运行方式计算, 缺少对线路模型的选择对内过电压的影响以及每种运行方式下最为严重的讨论分析, 笔者针对以上问题展开分析, 对 500 kV 输变电工程有一定的指导意义。

2. 工程概况

500 kV 汗白腾塔输变电工程扩建汗海至白音高勒 II 线。其中汗海至白音高勒 II 线线路全长 224.402 km, 白音高勒至灰腾梁 II 线线路全长 131.205 km, 扩建的汗白 II 线工程线路导线型号均为 4*LGJ-400/35, 且线路断路器无合闸电阻。500 kV 汗白腾塔输变电工程网架结构示意图见图 1。

2.1. 500 kV 线路杆塔模型

对于采用 Mode Model、Phase Model 的 500 kV 输电线路模型[5], 本质上是分布式 RLC 行波模型,

包含了所有参数的频率相关特性，该线路模型使用曲线拟合来复现线路或电缆的频率响应，并使用模态技术来求解线路常数并假定恒定的变换。笔者布置为单塔单线架设结构，杆塔模型见图 2。

2.2. Bergeron 线路模型相关参数

对于采用 Bergeron 线路模型，Bergeron 模型是一种基于分布式 LC 参数和集中参数总电阻的行波线路模型，它以分布式方式来代表 PI 段 L 和 C 元件，它大体上等效于使用无限多的 PI 段单元。其电感电容相关线路参数等数值需要手动填入。相关参数见表 1。

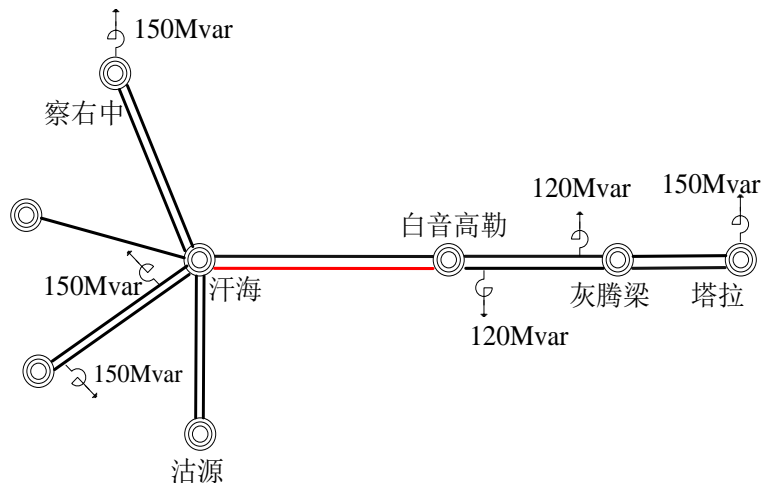


Figure 1. Sketch map of grid structure of power transmission and transformation project of 500 kV BaiTengTeng line

图 1. 500 kV 汗白腾 II 线输变电工程网架结构示意图

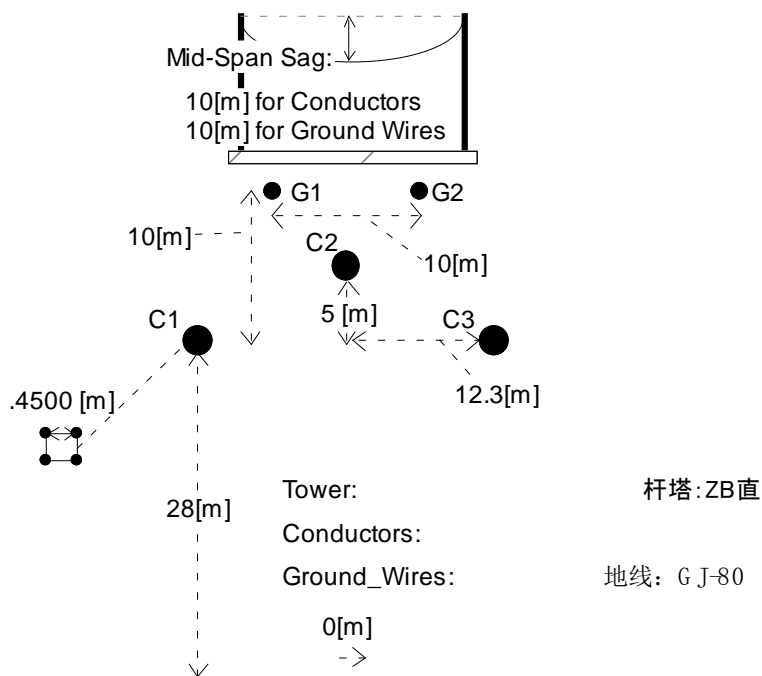


Figure 2. Horizontal layout of ordinary ZB type 500 kV transmission line

图 2. 普通 ZB 型 500 kV 输电线路水平布置图

Table 1. Calculation of related parameters of Internal Overvoltage in power transmission project of 500 kV Baiisecond line and BaiTengEr line**表 1.** 500 kV 汗白 II 线, 白腾 II 线输变电工程内过电压计算相关线路参数

研究线路	线路长度 km	R1 Ω/km	X1 Ω/km	C1 μF/km	R0 Ω/km	X0 Ω/km	C0 μF/km
汗海-白音高勒 II 线	224.402	0.02249	0.28802	0.01281	0.20573	0.66860	0.00895
白音高勒-灰腾梁 II 线	131.205	0.02027	0.28483	0.01268	0.17952	0.75469	0.00886

2.3. 500 kV 输变电工程网络等值阻抗

应用中国电科院开发软件 BPA [6] 中的 Ward 等值原理对 500 kV 汗白腾塔输变电工程进行等值, Ward 等值原理是一种对针对过电压计算前等值零序、正序、电源电压等方法, 原理大致为它将整个系统分为外部系统(E), 边界系统(B)和内部系统(I)三部分, 主要是将外部系统节点进行等值, 可知外部系统节点是将被消去一部分的节点, 等值后需要保留的节点为内部系统节点和边界系统节点。Ward 等值原理前的系统, 见图 3 所示。

用数学描述, 假设电网互联系统可以用一组节点导纳矩阵方程式表示:

$$Y \cdot U = I \quad (1)$$

Y 为系统导纳矩阵, U 为节点电压, I 为节点电流。按照 EBI 顺序重新写节点导纳方程式:

$$\begin{bmatrix} Y_{EE} & Y_{EB} & 0 \\ Y_{BE} & Y_{BB} & Y_{BI} \\ 0 & Y_{IB} & Y_{II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_E \\ U_B \\ U_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_E \\ I_B \\ I_I \end{bmatrix} \quad (2)$$

消去外部节点电压变量 U_E , 等值系统方程可写为:

$$\begin{bmatrix} Y_{BB} - Y_{BE} Y_{EE}^{-1} Y_{EB} & Y_{BI} \\ Y_{IB} & Y_{II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_B \\ U_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_B - Y_{BE} Y_{EE}^{-1} I_E \\ I_I \end{bmatrix} \quad (3)$$

显然除边界点外, 消去的部分外部系统节点全都转移到边界节点上, 等值化简后的结构图, 见图 4 所示。

通过 BPA 中的 Ward 等值原理对该工程各个电源节点的正序、零序、电压、相角等值见表 2。

3. 不同线路模型对操作过电压影响仿真分析

3.1. 仿真条件

操作过电压[7]是在工频过电压基础上振荡产生的, 工频过电压值越高其操作过电压幅值影响也越严重。然而操作过电压主要指切空线、合空线或重合闸时的过电压。在 500 kV 输电网中, 合空线过电压最严重和典型的一种操作过电压。笔者针对合空线过电压展开分析研究, 选定合适的线路模型使操作过电压更接近实际情况。

针对对合空线的仿真计算方法, 笔者简单介绍蒙特卡洛以及需要搭建的模型。蒙特卡洛法, 又称统计模拟法或统计试验法, 该方法的基本思想是在需要得到某随机事件的概率时, 可通过某种随机抽样的试验来实现。当试验次数足够多时, 就可把试验得到的统计结果作为问题的近似解答。

利用 PSCAD 软件中 Multiple Run 组件模拟真实情况下超高压交流系统中断路器开合闸的三相不同周期性, 形成记录有我们关心的各种输出数据的文件, 包括过电压最大值、最小值、平均值、标准差以及 U2% 统计过电压值。操作模型如图 5 所示:

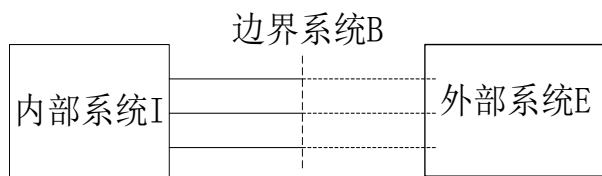


Figure 3. Equivalent system before the network diagram
图 3. 等值前系统网络图

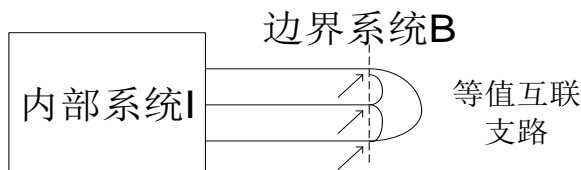


Figure 4. Equivalent system after the network diagram
图 4. 等值后系统网络图

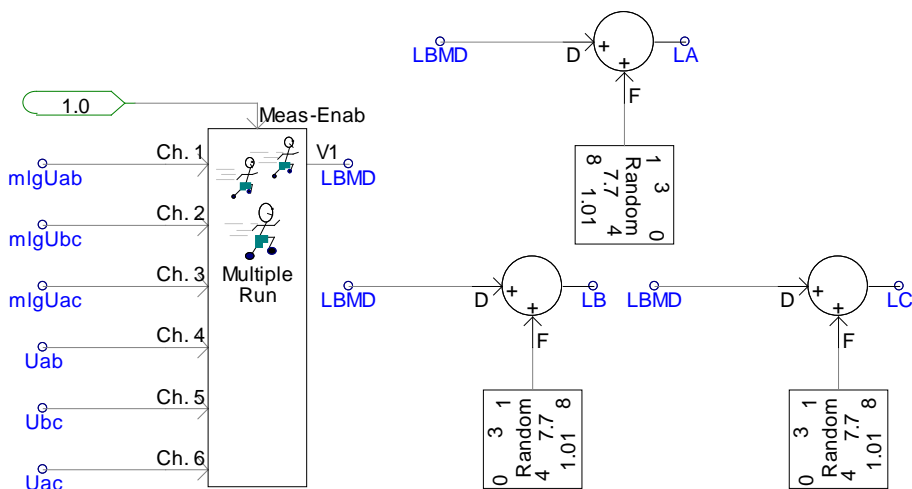


Figure 5. Line calculation model
图 5. 合空线计算模型

笔者以汗海至白音高勒 II 线为 500 kV 输变电工程为实例进行仿真分析，计算结果中，操作过电压基准值为 $1.0p.u = 550\sqrt{2}/\sqrt{3}$ ，以下没有特殊说明时，均按照此定义。在 Bergeron、Mode Model、Phase Model 不同的线路模型下，通过 PSCAD 电磁暂态仿真软件，运用蒙特卡洛法分析在 74.8 km, 149.01 km, 224.402 km 的位置处，仿真合空线在平均值(mean)操作过电压和 2%统计过电压值，见表 3，表 4。

3.2. 仿真结果对比

通过平均值(mean)操作过电压和 2%统计过电压值[8]对比发现在 Mode Model、Phase Model 线路模型下合空线过电压更接近于实际，见图 6，图 7。

笔者通过仿真数据和作图对比发现，无论在平均值(mean)操作过电压还是 2%统计过电压值情况下，使用线路模型 Mode Model、Phase Model 下，操作过电压值接近实际工况，并且依据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T620-1997)规程规定，过电压值均满足小于规程规定的 $2.0p.u.$ ，符合绝缘水平耐受值。

Table 2. Equivalent impedance of system network
表 2. 系统网络等值阻抗

变电站名称	零序 R_0/Ω	零序 L_0/H	正序 R_1/Ω	正序 L_1/H	电压/KV	相角/deg
沽源	5.77	0.14	2.05	0.06	503.95	7.46
白音	3.14	0.20	13.10	0.73	526.86	28.02
察右	3.31	0.09	3.61	0.15	539.62	37.52
汗海	2.68	0.11	12.10	0.37	572.59	6.36
灰腾	1.81	0.17	5.81	0.50	515.94	55.08
旗下	2.97	0.06	1.24	0.05	528.95	35.76
庆云	3.30	0.08	2.09	0.09	529.75	17.09
塔拉	2.04	0.19	6.21	0.43	522.57	33.55
沽源 庆云	476346.56	929.12	545.56	8.01	—	—
沽源 察右	2756346.45	8777.86	21962.72	226.35	—	—
沽源 汗海	2756346.45	8777.86	32671.05	275.36	—	—
沽源 旗下	2756346.45	6621.93	1816.28	26.09	—	—
察右 庆云	15376.24	37.94	57.09	1.245	—	—
察右 汗海	3.25	4.94	21.81	0.60	—	—
察右 旗下	29.62	0.23	1.86	0.07	—	—
汗海 旗下	569115.46	1311.64	1243.99	18.34	—	—
汗海 庆云	799.12	4.85	17.12	0.49	—	—
旗下 庆云	618.37	4.31	10.63	0.52	—	—

Table 3. Average operating overvoltage
表 3. 平均值下操作过电压

汗海侧(p.u)		74.8	149.6	224.4
mean	bergeron	1.1617	1.1915	1.2045
	mode	1.1395	1.1725	1.1898
	phase	1.1423	1.176	1.1924

Table 4. 2% voltage value statistics
表 4. 2%统计过电压值

汗海侧		74.8	149.6	224.4
2%统计过电压	bergeron	0.8531	0.8947	0.9136
	mode	0.8465	0.8858	0.9025
	phase	0.8417	0.8828	0.9009

4. 不同检修方式下对线路工频过电压的影响

4.1. 仿真条件和数据

500 kV 输变电工程在投运一条新线路时, 需要进行调试方式、正常运行方式、检修运行方式计算,

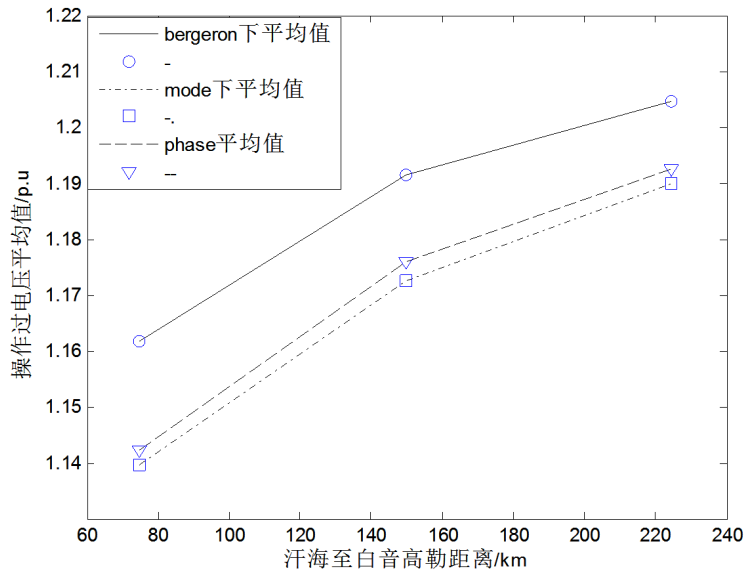


Figure 6. The average value of operating voltage
图 6. 平均值下操作过电压

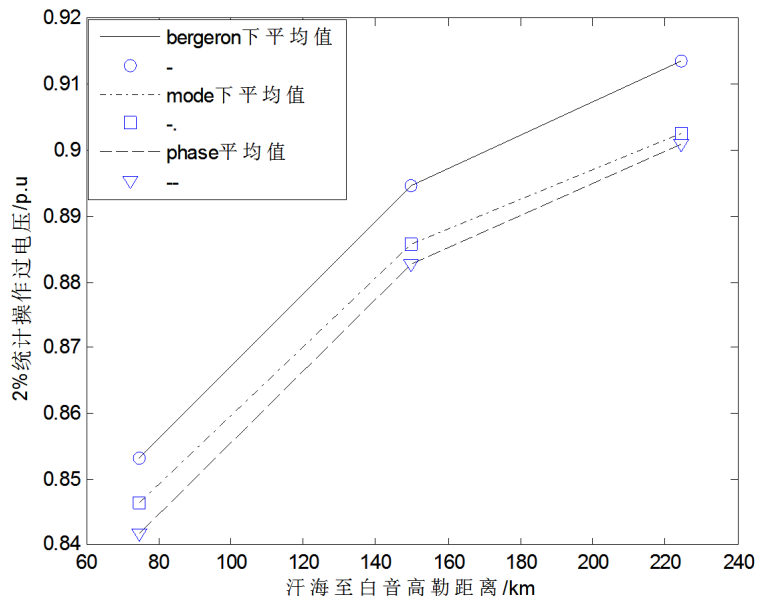


Figure 7. 2% voltage value statistics
图 7. 2%统计过电压值

正常和调试方式种类比较少。检修方式种类最多，笔者针对各种检修方式下进行分析，为其他 500 kV 新建线路在投运时提供需要注意最为严重的一种情况，针对各种检修方式对汗白 II 线汗海侧工频过电压[9][10]的影响，见表 5。

4.2. 仿真结果对比

针对上述表格作图对比，比较那种检修方式对待计算线路影响最大，检修时应特别注意，为 500 kV 新建线路提供见解，见图 8~10。

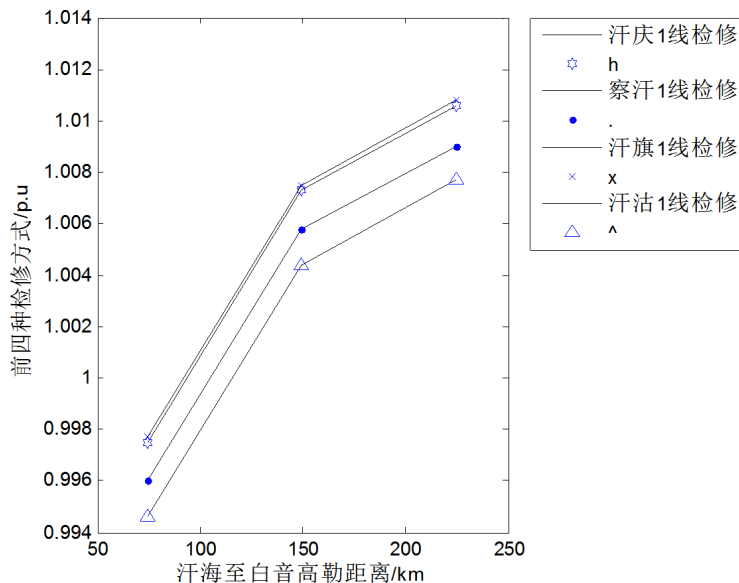


Figure 8. The first four maintenance methods

图 8. 前四种检修方式

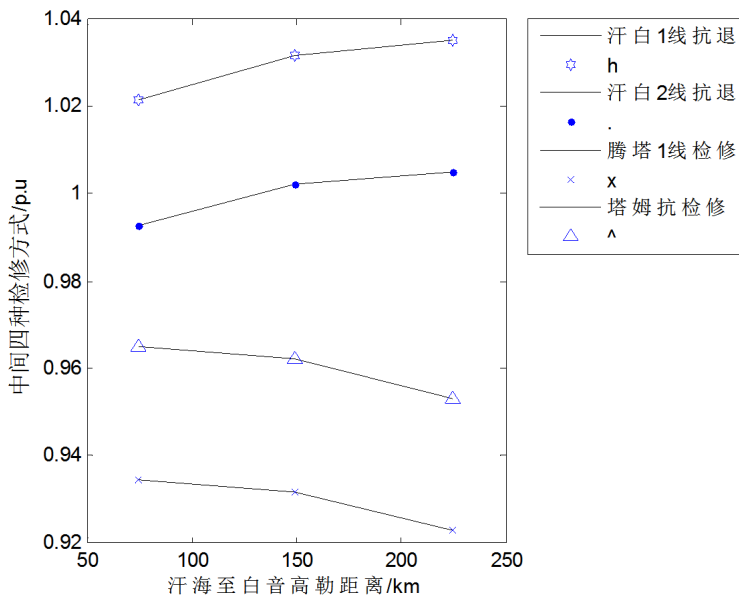


Figure 9. Four maintenance modes in the center

图 9. 中间四种检修方式

依据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T620-1997)规程[11]规定,工频过电压值均满足小于规程规定的 1.3p.u.符合绝缘要求。通过图 7~9 发现,在汗白 1 高抗退这种线检修方式时,汗海侧工频过电压值最大,达到 1.0351p.u.因此在原有的一条线路上新建另一条双回线路时,求解新建线路的工频过电压时,应特别注意原有线路高抗退时对新线路的影响[12]。

5. 结论

- 1) 笔者首先通过电磁暂态软件 PSCAD 里的蒙特卡洛法对操作过电压进行分析和机电暂态软件 BPA

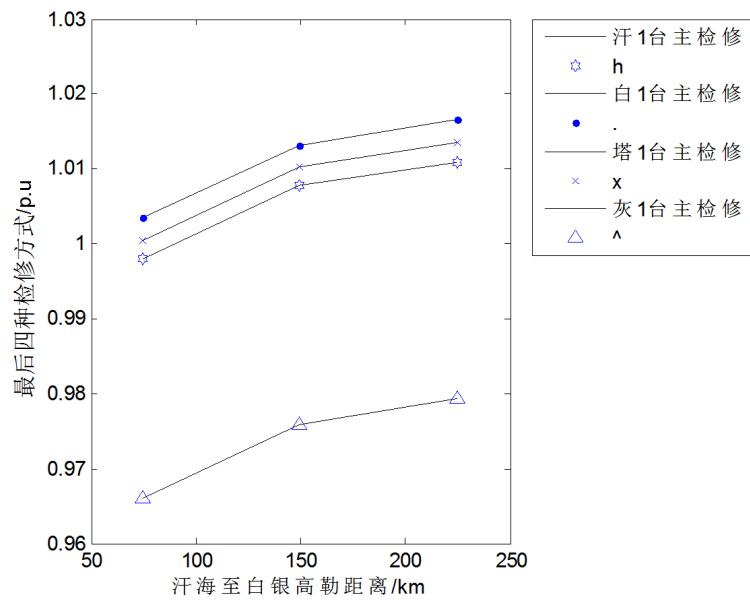


Figure 10. The last four kinds of maintenance mode
图 10. 最后四种检修方式

Table 5. The frequency of sweat sea side under maintenance overvoltage
表 5. 各种检修方式下汗海侧工频过电压

检修方式	汗海至白音高勒距离(km)		
	74.8	149.6	224.4
汗庆 1 线检修	0.9975	1.0073	1.0106
察汗 1 线检修	0.996	1.0058	1.009
汗旗 1 线检修	0.9977	1.0075	1.0108
汗沽 1 线检修	0.9946	1.0044	1.0077
汗白 1 线高抗退	1.0217	1.0317	1.0351
汗白 2 线检修(高抗退)	0.9928	1.0022	1.0051
腾塔 1 线检修(高抗退)	0.9345	0.9317	0.923
塔拉母线高抗检修	0.9652	0.9624	0.9533
汗海一台主变检修	0.9979	1.0078	1.0108
白音高勒一台主变检修	1.0034	1.0132	1.0165
塔拉一台主变检修	1.0004	1.0102	1.0135
灰腾梁一台主变检修	0.966	0.9759	0.97926

的 Ward 等值原理对各个电源节点、线路参数进行等值，其次对线路模型对操作过电压的影响进行仿真分析以及对在十二种检修方式下仿真分析得出那种方式检修最为严重。

2) 通过图 6、图 7 比较可知，不管在平均值(mean)操作过电压还是 2%统计过电压值情况下，应用线路模型 Mode Model、Phase Model 下，操作过电压值更接近实际工况，并且依据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T620-1997)规程规定，过电压值均满足小于规程规定的 2.0p.u.，符合绝缘水平耐受值。

3) 通过图 8、图 10 比较和表 5 数据可知, 计算新建路线工频过电压时, 在各种检修方式下, 特别是双回路线时, 注意相邻线路高抗退掉时, 对新建线路工频过电压值影响较大。

4) 通过运用 PSCAD 软件仿真分析得出的数据和结论, 对新建 500 kV 新建路线计算工频过电压以及分析时对线路模型选择有一定的指导意义。

参考文献 (References)

- [1] 朱传华, 刘念, 田冰冰, 等. 基于 Bergeron 模型的 500 kV 变电站雷击过电压计算[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(12): 66-69.
- [2] 王艺霖, 吴凡, 李智, 等. 基于贝杰龙算法的±500 kV 直流输电线路耐雷性能研究[J]. 黑龙江电力, 2015, 37(3): 228-231.
- [3] 栗向鑫, 曹斌, 张鹏, 等. 基于 PSCAD 的 500 kV 武 - 察同塔双回输变电工程内过电压仿真分析[J]. 高压电器, 2015, 51(4): 84-92.
- [4] 李卿, 段长君, 陈少红. 基于 PSCAD 软件的新建 500 kV 线路输电工程内过电压计算分析[J]. 现代计算机(专业版), 2014(36): 3-6.
- [5] 樊争亮, 常美生. 杆塔模型对 1000 kV 特高压同塔双回线路反击过电压的影响[J]. 电力学报, 2013(2): 104-108.
- [6] 陶华. BPA 向 PSCAD/EMTDC 模型转换方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 保定: 华北电力大学, 2010.
- [7] 李承. 电力系统电磁暂态与机电暂态程序的混合仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2007.
- [8] 宫小宇, 吴集光, 曹斌, 等. 基于 PSCAD 500 KV 输电线路操作过电压仿真计算分析[J]. 智能电网, 2016, 6(4): 231-241.
- [9] 夏成军, 张尧, 邹俊雄. 合空线统计过电压的建模与仿真[J]. 高电压技术, 2007(10): 11-15.
- [10] 杨健. 基于 PSCAD 软件的 500 kV 输变电系统内部过电压计算与分析[D]: [硕士学位论文]. 包头: 内蒙古科技大学, 2015.
- [11] DL/T 620-1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [12] 高殿滢, 李胜川, 刘佳鑫. 一起 500 kV 线路电压异常现象的事故分析处理[J]. 东北电力技术, 2015, 36(1): 1-5.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8763, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: sg@hanspub.org