

# 同塔双回线路感应电压电流仿真算法的比较

陶冶

(江苏科能电力工程咨询有限公司,江苏南京 210036)

**摘要:** 电网规模的不断扩大使得同塔双回甚至多回架设输电线路成为输电网的发展趋势,感应电压和感应电流是由2条或多条同塔或邻近平行布置的架空输电线路间的静电感应和电磁感应作用所产生,文中给出了同塔双回输电线路感应电压和电流的计算公式,对影响感应电压电流的主要因素进行了分析,介绍了仿真软件 ATP-EMTP, EMTPE\EMTS, MATLAB\Simulink 在输电线路参数计算中的应用,并对 220 kV 同塔双回线路感应电压和电流进行了计算,指出了各仿真软件的优缺点及其应用范围。

**关键词:** 同塔双回;感应电压;感应电流;EMTP;MATLAB\Simulink

**中图分类号:** TM84

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2015)05-0059-03

同塔双回线路可减少线路走廊的占用,节省投资的同时满足大容量输电要求。目前国内同塔双回线路越来越多,电压等级也越来越高。同塔双回线路的主要问题在于运行线路和停运线路之间的感应电压、电流问题,文献[1]也对接地开关开合感应电压电流做了相关的要求。目前对同塔双回线路感应电压电流计算的理论分析已较为成熟<sup>[2,3]</sup>。

## 1 感应电压及感应电流理论分析

在2条或多条同塔或邻近平行布置的架空输电线路中,当某一回或几回线路停电后,它与相邻线路之间由于电容和电感的耦合效应,在停电的回路上将产生感应电压及感应电流<sup>[4]</sup>。如图1所示,A,B,C分别为运行线路的三相,a,b,c分别为检修线路的三相, $C_{Aa}$ , $C_{Ba}$ , $C_{Ca}$ 和 $M_{Aa}$ , $M_{Ba}$ , $M_{Ca}$ 分别为运行线路ABC三相与检修线路a相之间单位长度互电容和互电感, $C_0$ 和 $L$ 为检修线路a相单位长度对地电容和电感, $l$ 为线路长度,运行线路各相运行电压、电流分别为 $U_A, U_B, U_C, I_A, I_B, I_C$ 。根据检修线路两端接地刀闸的4种不同状态<sup>[2]</sup>,对检修线路a相感应电压和感应电流进行分析。

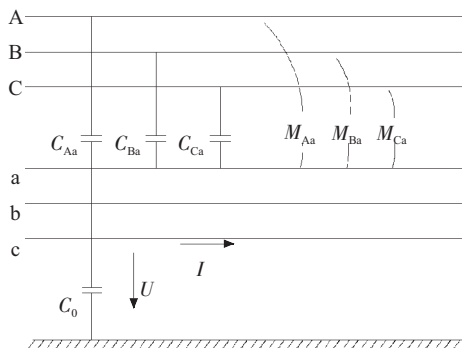


图1 同塔双回线路感应电压电流

(1) 检修线路两侧刀闸均不接地。则a相静电感

应(容性)电压为:

$$U = \frac{C_{Aa}U_A + C_{Ba}U_B + C_{Ca}U_C}{C_{Aa} + C_{Ba} + C_{Ca} + C_0} \quad (1)$$

由式(1)可知,容性感应电压与线路电容参数有关,由于线路运行电压变化很小,因此线路电容参数一定的情况下,容性感应电压与线路运行电压成正比,而与线路长度和输送潮流无关。

(2) 检修线路一侧刀闸接地,另一侧不接地。则a相接地端的静电感应(容性)电流和不接地端的电磁感应(感性)电压分别为:

$$U = \omega l (M_{Aa}I_A + M_{Ba}I_B + M_{Ca}I_C) \quad (2)$$

$$I = \omega l (C_{Aa}U_A + C_{Ba}U_B + C_{Ca}U_C) \quad (3)$$

由式(2)可知,电磁感应电压与线路电感参数有关,而且与运行线路电流(即输送潮流)和线路长度成正比。

由式(3)可知静电感应电流与线路的电容参数有关,而且与线路长度和运行线路的电压成正比,与运行线路的潮流无关。

(3) 检修线路两侧均接地。则a相电磁感应(感性)电流为:

$$I = (M_{Aa}I_A + M_{Ba}I_B + M_{Ca}I_C) / L \quad (4)$$

由式(4)可知,电磁感应电流与线路的电感参数有关,而且与运行线路的输送潮流成正比,与线路长度和运行线路的电压无关。

## 2 感应电压及感应电流的仿真计算

高压输电线路的电气参数(单位长度电阻 $R$ 、电感 $L$ 和电容 $C$ )与导线截面、布置及杆塔几何尺寸有关,因此对于同塔双回线路的感应电压、电流计算,关键在于建立正确的线路模型,文中介绍的 ATP-EMTP, EMTPE\EMTS, MATLAB\Simulink 3个仿真软件都有同塔双回甚至多回的线路模型,可以实现对同塔双回线路感应电压和电流的仿真计算。

## 2.1 ATP-EMTP 仿真

ATP-EMTP 在全世界拥有最多的用户,是目前国际上主流的 EMTP 程序<sup>[5]</sup>。ATP-EMTP 配套有图形输入程序 ATPDraw,目前最新版本是 6.0。使用 ATPDraw 的 LCC 模型可以方便地构建同塔双回线路模型。LCC 模型的 Model 选项卡主要有线路形式选择(架空线路 Overhead Line 或者电缆 Single Core Cable)、集肤效应(Skin effect)、线路模型(Bergeron, Pi, Jmarti, Semlyen 或 Noda)、线路长度(Length)、大地电阻率(Rho)初始频率(Freq.init)、同塔线路的相数(#Ph,文中讨论同塔双回线路,填入数字 6 即表示双回路的 6 相导线)等。在 LCC 模型的 Data 选项卡依次填入线路相数(Ph.no.)、导线内外径(Rin、Rout)、直流电阻(Resis)、导线水平位置(Horiz)、垂直位置(Vtower)、中央档距高度(Vmid)、分裂导线数(NB)、分裂间距(Separ)、分裂角(Alpha)等,再点击“RunATP”,程序将自动生成该线路的  $R, L, C$  参数。

## 2.2 EMTPE\EMTS 仿真

EMTPE 是由中国电力科学研究院系统所在 EMTP 基础上进一步研究开发改进而成,该程序新增了元件模型,同时采用了新的算法,以解决 EMTP 仿真中出现的问题。EMTS 是与 EMTPE 完全兼容的图形化仿真平台,可实现电力系统仿真模型的图形建模、仿真计算。EMTPE\EMTS 的最新版本是 2.0 版。EMTS 2.0 的线路模型的输入为全中文界面,参数输入简单直观,非常适合初学者。用户可以在线路模型图形化输入对话框的界面设置线路回数、线路长度、导地线直径、直流电阻、集肤系数、杆塔尺寸等数据。线路参数输入后程序自动生成线路结构参数表,再点击“生成模型输入数据”即可生成双回线路的  $R, L, C$  参数。

## 2.3 MATLAB\Simulink 仿真

MATLAB\Simulink 具有完整的专业体系和先进的设计开发思路<sup>[6]</sup>,每年的上、下半年各更新一次,目前最新版为 2014b 版。在 MATLAB 工作空间输入 power\_lineparam 命令即可进入线路模型参数输入工具的界面,输入的参数主要有导、地线的相数(Phase)、水平位置(X)、垂直位置(Y tower)、档距中央位置(Y min)、直径(outside diameter)、集肤效应(T/D ratio)、直流电阻(DC resistance)、分裂数(Number of conductors per bundle)、分裂角(Angle of conductor),参数输入完成后点击“Compute RLC line parameters”即可生成线路的  $R, L, C$  参数。

## 3 仿真算例分析

仿真计算的 220 kV 同塔双回线路参数如下:线路全长 20 km 且不换位,导线型号为 LGJ-2×400,最大输送潮流 520 MV·A。双分裂导线的分裂间距为 500 mm,

导线弧垂取 15 m,大地电阻率取  $100 \Omega \cdot m$ 。线路采用  $\pi$  型模型,杆塔参数及布置如图 2 所示。

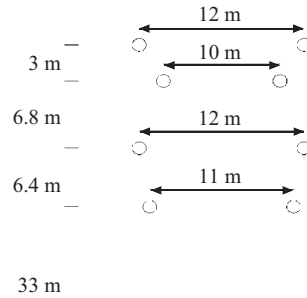


图 2 双回线路塔型布置图

采用上述 3 种仿真软件计算结果如表 1 所示。

表 1 感应电压电流仿真计算结果

项目	ATP-EMTP	EMTPE\EMTS	MAT-LAB\Simulink
静电感应电压/kV	8.5	8.6	9.3
静电感应电流/A	0.6	0.6	0.7
电磁感应电压/kV	0.72	0.73	0.9
电磁感应电流/A	99	100	101

从表 1 来看,ATP-EMTP 和 EMTPE\EMTS 计算结果比较接近, MATLAB\Simulink 计算值略偏大,计算结果的差异主要来自于软件算法的不同。

此外,通过改变线路长度和输送潮流可以看到感应电压和电流均按式(1—4)所述相应的正比规律变化,如图 3—6 所示。可见 3 种软件都能够正确实现同塔双回线路感应电压电流的计算。

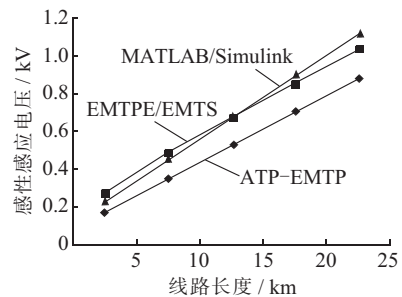


图 3 感性感应电压和线路长度的关系

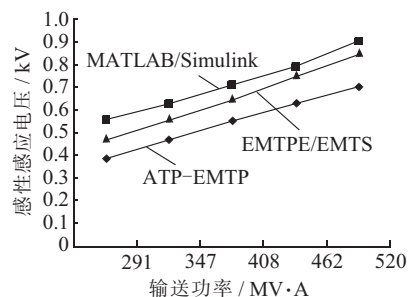


图 4 感性感应电压和输送功率的关系

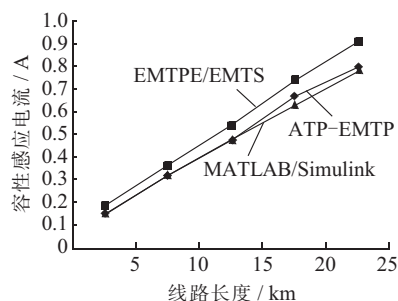


图5 容性感应电流和线路长度的关系

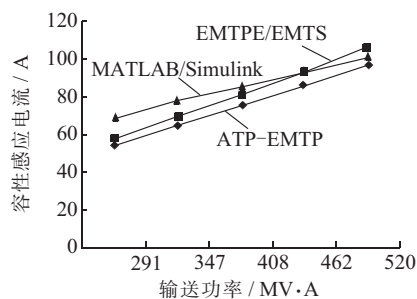


图6 感性感应电流和输送功率的关系

#### 4 结束语

采用3种仿真软件对220 kV同塔双回线路的感应电压和感应电流进行了计算。从计算结果来看,3种方法都能够满足工程实际计算需要,同时又有各自的特点和适用范围。ATP-EMTP是国际公认的电力系统电磁暂态分析的标准程序,计算结果权威,在电力系统领域有着广泛的应用和较高的认可度,该软件(包括ATPDraw的元件库及帮助文件)为全英文界面,对初学者入门有一定的难度,因此主要适用于英文基础较好,且对电磁暂态理论掌握较为熟练的工程专业技术人员。EMTPE\EMTS是中国电科院在EMTP基础上开发的全中文界面软件,上手较为容易,该软件以EMTP为核心,但在算法上做了一定的改进,计算速度和准确度都有所提高,其计算结果在国内电力系统领域也具有

权威性,若以工程实际应用为主,推荐采用该软件。MATLAB\Simulink虽不是电力系统专用软件,目前主要做为电力系统理论教学软件应用于高校电气专业,但该软件模块搭建方便,界面友好,除了可以用Simulink对本文算例进行计算以外,还可以借助MATLAB强大的矩阵运算能力对同塔双回线路 $R, L, C$ 矩阵进行处理,通过编程计算感应电压和电流。该方法能够利用MATLAB提供的图形用户界面(GUI)改变线路长度、输送功率进行调试。因此,该软件且适用于对编程有一定基础的工程技术人员进行电力系统理论研究。

综上所述,ATP-EMTP和EMTPE\EMTS是电力系统电磁暂态计算专用程序,在算法上进行了相应的优化,因此计算精度和速度均要略优于MATLAB\Simulink,但后者的计算误差仍能满足工程设计的需要,同时MATLAB\Simulink的矩阵处理和可编程功能是其进行电力系统各种仿真的优势所在,因此在实际应用时应根据需求选择合适的方法进行仿真计算。

#### 参考文献:

- [1] DL/T 486—2010 高压交流隔离开关和接地开关[S].北京:中国电力出版社,2010.
- [2] 胡丹晖,涂彩琪,蒋伟,等.500 kV同杆并架线路感应电压和感应电流的计算分析[J].高电压技术,2008,34(9):1927-1931.
- [3] 谢金泉,李晓华,戴美胜.500 kV同杆双回输电线路感应电流和感应电压研究[J].华东电力,2013,03(41):602-606.
- [4] DOMMEL H W.电力系统电磁暂态理论[M].北京:水利电力出版社,1991:41.
- [5] 吴文辉,曹祥麟.电力系统电磁暂态计算与EMTP应用[M].北京:中国水利水电出版社,2012:15-16.
- [6] 王晶,翁国庆,张有兵.电力系统的MATLAB/SIMULINK仿真与应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2013:4-5.

#### 作者简介:

陶冶(1974),男,四川江油人,高级工程师,从事电力系统设计工作。

## Comparison on Several Simulation Calculation Methods for Induced Voltage and Current of Double Circuit Transmission Lines on the Same Tower

TAO Ye

(Jiangsu Keneng Electric Power Engineering Consulting Co. Ltd., NanJing 210036, China)

**Abstract:** The continuous expansion of power system makes the same tower double-circuit or more-circuit transmission lines becoming the development trend of transmission network. The induced voltage and current is generated by the two or more transmission lines on the same tower or the electrostatic and electromagnetic induction effect of adjacent parallel arrangement of overhead transmission lines. In this paper, the calculation formula for induced voltage and current of double-circuit transmission line is provided. Also, main factors affecting induction voltage and current are analyzed. The applications of parameters calculation of some typical simulation software, such as ATP-EMTP, EMTPE/EMTS, MATLAB\Simulink are introduced. An example of calculating the induction voltage and current of a 220 kV double-circuit lines on the same tower is provided, and the limits of previous mentioned simulation software are summarized.

**Key words:** double-circuit transmission lines on the same tower; induced voltage; induced current; EMTP; MATLAB\Simulink