



基于ATP仿真模型自动运行的架空输电线路防雷性能评估方法

程维杰, 张仕鹏, 刘一鸣

引用本文:

程维杰, 张仕鹏, 刘一鸣. 基于ATP仿真模型自动运行的架空输电线路防雷性能评估方法[J]. 南方能源建设, 2021, 8(S1): 33-38.
CHENG Weijie, ZHANG Shipeng, LIU Yiming. Lightning Performance Assessment Method for Overhead Transmission Line Based on ATP Model Automatic Generation[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(S1): 33-38.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[广东沿海输电线路台风倒塔事故的分析探讨](#)

Analysis of Collapse Accident of Transmission Line Tower Causing by Typhoon Attacking in the Coastal District of Guangdong Province
南方能源建设. 2016, 3(z1): 82-87 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.018>

[输电线路带电跨越封网施工用绳索的选型算法](#)

Selection Algorithm of Ropes for Power Transmission Lines Crossing the Sealing Network
南方能源建设. 2019, 6(4): 137-143 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.022>

[避雷器安装方案对线路防雷性能的影响研究](#)

Influence of Arrester Installation Scheme on Line Lightning Protection Performance
南方能源建设. 2017, 4(1): 75-80,101 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.01.014>

[Matlab/SPS与EMTP的操作过电压仿真分析及比较](#)

Switching Overvoltage Simulation Analysis and Comparison Between Matlab/SPS and EMTP
南方能源建设. 2015, 2(z1): 35-37,92 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.S1.008>

[500 kV海底电缆雷电过电压研究](#)

Research on Lightning Overvoltage of 500 kV Submarine Cable Lines
南方能源建设. 2016, 3(2): 62-66 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.02.012>

基于ATP仿真模型自动运行的架空输电线路 防雷性能评估方法

程维杰^{1,✉}, 张仕鹏², 刘一鸣²

(1. 深圳供电局有限公司, 深圳 518000; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 提出了基于ATP仿真模型自动运行的评估方法, 以解决通过仿真分析和评估架空输电线路防雷性能时模型编制效率不高, 评估过程复杂的问题。[方法] 首先给出了该方法的思路及其整体框架和实现步骤。在对ATP仿真模型文件结构进行解析的基础上, 通过根据线路原始数据自动编写文件中各数据卡, 并将各数据卡进行有效连接实现了ATP仿真模型的自动生成。通过自动运行ATP仿真模型并读取仿真结果文件, 实现了仿真结果的自动判断。设计了根据仿真结果自动调整模型参数的方法, 最终实现了架空线路防雷性能的自动评估。[结果] 通过具体应用实例对所提出的计算方法进行验证, 该计算方法求解发生击穿的雷电流幅值为13.7 kA, 且发生的是B相击穿, 与仿真模型中设置击中B相一致, 该结果说明了所提出方法的可行性和有效性。[结论] 所提出的方法有效提高了通过仿真方法评估架空输电线路防雷性能的准确性和工作效率, 具有实用价值。

关键词: ATP仿真模型; 初始击穿电流; 防雷性能评估; 架空输电线路

中图分类号: TM7; TM761.12

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)S1-0033-06

开放科学(资源服务)二维码:



Lightning Performance Assessment Method for Overhead Transmission Line Based on ATP Model Automatic Generation

CHENG Weijie^{1,✉}, ZHANG Shipeng², LIU Yiming²

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

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] An assessment method based on ATP simulation model automatic generation was proposed to solve the problems of low efficiency in model establishment and complex assessment process when analyzing and evaluating the lightning performance of overhead transmission line by simulation. [Method] The working thoughts, general framework and implementation step of the proposed method were presented at first. Based on the resolution of the structure of the ATP simulation model file, the ATP simulation model automatic generation was realized through coding the data cards in model file according to initial data of transmission line, and then connecting all the cards effectively. The simulation results automatic determination was realized through executing the simulation model automatically and then reading the file containing the simulation results. The method of model parameter auto-adjustment according to simulation results was designed, and finally the auto-assessment of lightning protection performance of overhead transmission line was achieved. [Result] The proposed method is verified by a specific application example, the calculated value of lightning current with breakdown is 13.7 kA, and the breakdown occurs in phase B, which is consistent with the setting of hitting phase B in the simulation model, the results show the feasibility and effectiveness of the proposed method. [Conclusion] The proposed method can improve the accuracy and efficiency in assessing the lightning protection performance of transmission line utilizing simulation method, and has practical value.

收稿日期: 2021-04-08 修回日期: 2021-05-06

基金项目: 中国能建广东院科技项目“电力系统安全稳定控制技术及应用”(EX05511W)

Key words: ATP simulation model; initial breakdown current; lighting protection performance assessment; overhead transmission line

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

高电压等级架空输电线路雷击故障频繁发生, 严重威胁电网的安全稳定运行^[1-2], 准确客观评估线路防雷性能可为制定有效的输电线路防雷措施提供可靠依据^[3-4], 因而得到电力系统各方人员的长期关注^[5-6]。

目前评估输电线路防雷性能的方法主要有规程计算法和仿真分析法^[7-8]。规程计算法是一种利用运行经验对耐雷水平的简化计算方法^[9-10], 由于其简单易用, 在工程中得到了广泛的应用。但其采用电感模型模拟雷电流在杆塔上的通路, 而未考虑杆塔中的波过程, 将导致计算结果与实际结果之间存在误差。仿真分析法主要依靠相关专业软件, 通过仿真得到线路相应的耐雷指标^[11-12], 包括反击耐雷水平、绕击率和绕击跳闸率等。对不同的输电线路进行耐雷水平计算时, 均需要手动搭建仿真模型, 模型搭建后, 仍需要手动修改雷电流幅值并多次运行来得到初始击穿电流, 工作量大且繁琐。

本文提出了基于 ATP 仿真模型自动运行的架空线路防雷性能评估方法。首先给出了基于 ATP 仿真模型自动运行的架空线路防雷性能评估方法的总体思路和整体框架, 分别给出了 ATP 仿真模型自动生成方法、ATP 仿真模型自动运行和仿真结果自动读取、ATP 仿真模型参数自动调整方法以及基于 ATP 仿真的架空线路防雷性能评估指标自动求解的原理和具体实现。通过具有应用实例说明了所提出方法的实用性和有效性。

1 方法原理及整体框架

ATP (Alternative Transients Program) 是目前电磁暂态分析中应用最广泛的软件之一。本文采用 ATP 来进行架空线路防雷性能指标的仿真求解工作。

图 1 给出了基于 ATP 仿真模型自动运行的架空线路防雷性能评估方法的整体框架。

基于 ATP 仿真模型自动运行的架空线路防雷性能评估方法的原理为: 首先根据架空线路参数

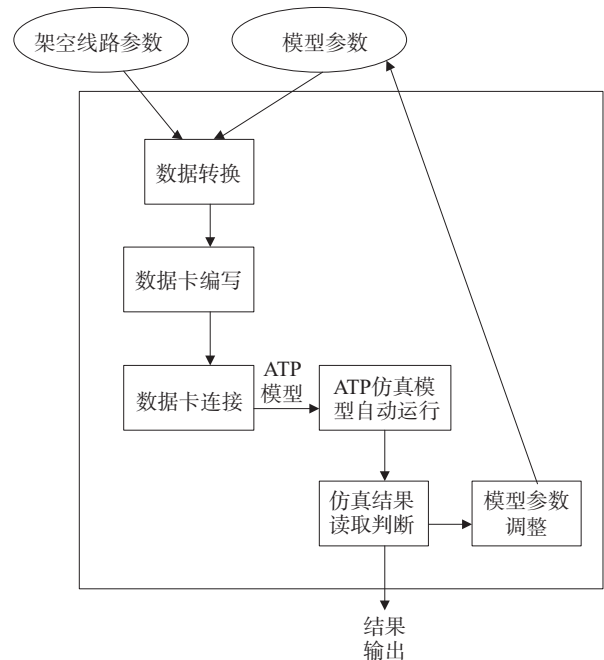


图 1 系统整体框架

Fig. 1 Overall framework of the system

和仿真模型参数, 生成 ATP 仿真模型, 自动调用 ATP 仿真程序运行仿真模型, 自动读取仿真结果并进行判断, 若仿真结果精度满足要求则输出仿真结果, 得到架空线路防雷性能的具体指标值, 从而可对其防雷性能进行评估; 若不满足精度要求, 则自动调整模型参数后再次生成模型、运行并读取结果判断, 直至满足仿真精度要求后停止。可以看到, 在上述过程中的几个重要环节是仿真模型的自动生成、仿真模型自动运行及结果读取和仿真模型参数的自动调整算法。

图 1 中虚线框内的部分由 MATLAB GUI 编程实现。

2 ATP 仿真模型的自动生成

通常使用 ATP 进行仿真计算时, 用户是在 ATP 提供的图形化前端输入程序 ATPDraw 中完成的。用户以图形化方式编制完成仿真模型的设置后, ATPDraw 将根据模型拓扑和相应的参数, 编

写生成*.ATP模型文件, 其后ATP软件对ATP模型文件进行编译、链接和运行, 并将结果回送至ATPDraw中显示, 供用户查看。

本文在自动生成ATP仿真模型文件时, 是根据对模型文件结构的解析, 直接编写生成模型文件, 并调用ATP软件运行模型文件并读取结果, 整个过程无需ATPDraw的参与。

2.1 ATP仿真模型文件结构

ATP仿真模型文件(*.ATP)中的文本包括注释类和代码类。注释类用于对代码进行说明, 对仿真无实质性作用。仿真模型代码由实现不同功能的功能页面按一定次序连接构成, 依次包括:

- 1) 初始化数据页。用于提供仿真初始化和通用设置, 主要包括仿真的步长、运行时间和绘图步长等。
- 2) 控制系统暂态分析数据页。用于提供控制系统暂态仿真所需的数据。
- 3) 模型数据页。用于自定义元件的加入。
- 4) 支路数据页。用于确定仿真模型中元件连接关系, 每个元件均具有唯一不相同的一个编号。
- 5) 开关数据页。用于设置仿真模型中各开关的开断状况。
- 6) 电源数据页。用于设置仿真模型中各功率源的参数。
- 7) 输出数据页。用于提供仿真模型中各种测量。
- 8) 空白数据页。用于指示仿真程序的结束。该页尽管无任何实质功能, 但是每个仿真模型不可缺少的页面。

2.2 仿真模型文件的自动生成

仿真模型的自动生成由三个部分构成, 首先是原始数据的处理和架空线路库文件的生成。

原始参数包括两个部分, 第一部分为模型中所需要的电源, 接地电阻, 架空线路, 杆塔参数等。第二个部分是需要调整的模型参数和仿真结果存储路径等参数。本文中主要从初始击穿雷电流幅值这个指标来评估架空线路的防雷性能, 因此该参数是可调整的。

ATP模型文件格式具有非常严格的要求, 需要对原始数据进行预处理。当数据长度超出要求时, 需要先转换为科学计数法形式, 并以字符串形

式保存。而数据长度不足时需要在前面补空格。

在完成数据处理后, 通过MATLAB GUI编写代码, 自动生成ATP模型文件中的各个数据卡, 并按2.1节中的顺序写入, 即可生成ATP模型文件。

ATP软件将架空线路视为特殊的元件进行处理, 仿真模型中涉及架空线路时, 必须先生成架空线路相应的库文件(*.LIB), 并在支路数据卡中调用。读取架空线路参数后生成可供ATP调用的LIB文件的流程如图2所示。

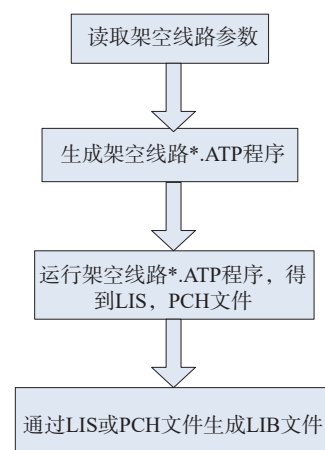


图2 架空线路库文件生成

Fig. 2 Generation of LIB files of overhead line

首先需要根据上述生成ATP仿真模型文件的方法生成仅包含架空线路元件的ATP仿真模型文件。需要注意的是, 这个模型文件中将不再含有对架空线路LIB的调用。

调用ATP软件运行架空线路ATP模型文件(自动运行ATP模型文件的方法将在3.1节中给出), 获得包含仿真结果的LIS或PCH文件。调用ATP软件中的LCC模块, 根据LIS或PCH文件最终生成架空线路元件的LIB库文件。

3 防雷性能指标的自动求解

该部分涉及两方面的工作, 即自动运行仿真模型并读取相应的结果, 以及根据读取结果确定防雷性能指标。

3.1 仿真模型自动运行与结果读取

为了实现ATP仿真模型的自动运行, 首先需要计算机注册表中注册, 使得*.ATP文件的默认打开方式为ATP软件。然后通过代码system(['au-

toatp_', '.atp', '&'] 实现仿真模型的自动运行。其中, '&' 的作用是使程序运行后返回 MATLAB。

ATP 仿真模型运行后的结果将保存在 LIS 文件中, 通过对该文件中相应内容的读取即可获知仿真结果。例如在模型中放置了电压测量元件对某点电压进行测量, 那么 LIS 文件中与该测量元件对应的位置就包含了仿真过程中该点电压的全部数据, ATPDraw 正是根据这些数据来绘制曲线。

本文中为了获知架空线路的初始击穿雷电流幅值, 需要知道某个雷电流设置下是否发生击穿, 这也是根据 LIS 中的内容来完成的。LIS 中将包含一个一行三列的矩阵, 例如 [1 0 0], 1 代表击穿, 而 0 表示未击穿, 例如 [1 0 0] 表示仅 A 相发生击穿。

因此, 通过上述读取仿真结果文件相应内容的方法, 即可获知架空线路在该雷电流幅值下是否发生击穿。

3.2 性能指标的求解

以求解初始击穿雷电流幅值为例, 其基本思路如图 3 所示。

根据当前雷电流 I_{cur} 自动生成仿真模型后运行, 读取结果后判断是否发生击穿。若没有发生击穿,

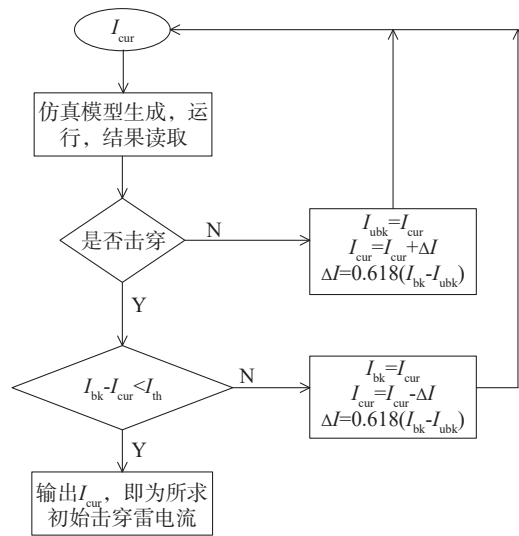


图 3 初始击穿雷电流求解流程
Fig. 3 Solution flow of initial breakdown lightning current

则将当前最大未击穿雷电流值 I_{ubk} 更新为 I_{cur} , 增大雷电流幅值, 雷电流幅值增大量为当前最小击穿雷电流 I_{bk} 减去最大未击穿雷电流 I_{ubk} 差值的 0.618。若发生击穿, 则判断当前最小击穿雷电流 I_{bk} 与 I_{cur} 的差值是否小于预设精度 I_{th} , 若满足该条件则输出 I_{cur} ,

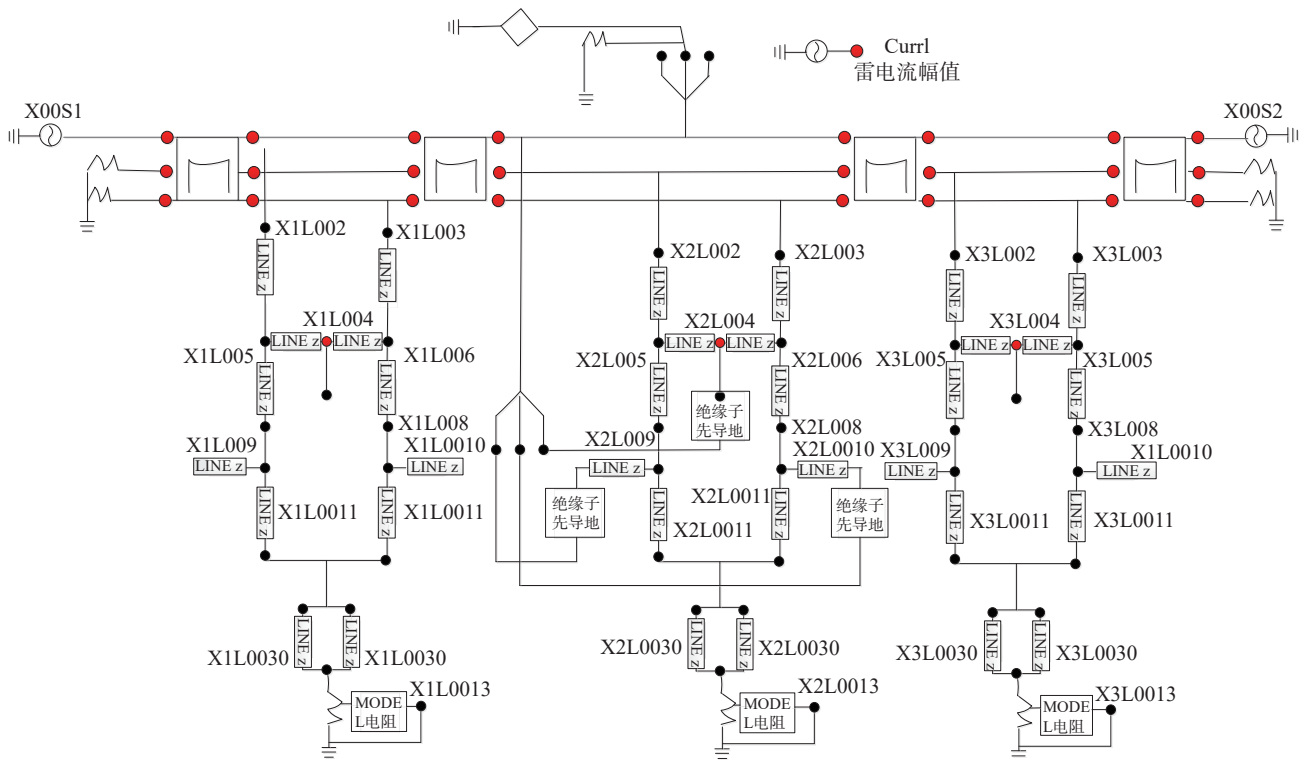


图 4 仿真模型
Fig. 4 The simulation model

即可求解得到初始击穿雷电流。若不满足该条件, 则将当前最小击穿雷电流值 I_{bk} 更新为 I_{cur} , 减小雷电流幅值, 雷电流幅值减小量为当前最小击穿雷电流 I_{bk} 减去当前最大未击穿雷电流 I_{ubk} 差值的0.618。根据 I_{cur} 的新值重新生成仿真模型并循环执行图3中的流程。

当前雷电流 I_{cur} 的初始值选取为一个较大的值, 保证第一次一定发生击穿, 而当前最小击穿雷电流值 I_{bk} 的初始值选取为 I_{cur} 初始值的2倍或以上, 保证

第一次击穿时不会满足精度要求; 当前最大未击穿雷电流 I_{ubk} 的初值设置为0 A。

4 应用实例

应用所提出的计算方法, 根据架空线路的基本参数搭建仿真模型, 仿真电路如图4所示。

图4所示仿真电路模型包括有三级杆塔, 其中雷电流击中中间杆塔, 仿真电路模型中主要元件的参数如图5所示。

SOURCE PARAMETES	17 629.247 8	50	30	0					
	17 629.247 8	50	300	0					
TOWER PARAMETES	1	113.3	225 000 000	0.7	113.3	225 000 000	0.7		
	1	334.1	225 000 000	4.07	334.1	225 000 000	4.07		
	1	107.4	225 000 000	4	107.4	225 000 000	4		
	1	251.2	225 000 000	2.75	251.2	225 000 000	2.75		
	1	102.5	225 000 000	5	102.5	225 000 000	5		
	1	102.8	225 000 000	15.7	925.8	225 000 000	15.7		
	2	113.3	225 000 000	0.7	113.3	225 000 000	0.7		
	2	334.1	225 000 000	4.07	334.1	225 000 000	4.07		
	2	107.4	225 000 000	4	107.4	225 000 000	4		
	2	251.2	225 000 000	2.75	251.2	225 000 000	2.75		
	2	102.5	225 000 000	5	102.5	225 000 000	5		
	2	102.8	225 000 000	15.7	925.8	225 000 000	15.7		
	3	113.3	225 000 000	0.7	113.3	225 000 000	0.7		
	3	334.1	225 000 000	4.07	334.1	225 000 000	4.07		
	3	107.4	225 000 000	4	107.4	225 000 000	4		
3	251.2	225 000 000	2.75	251.2	225 000 000	2.75			
3	102.5	225 000 000	5	102.5	225 000 000	5			
3	102.8	225 000 000	15.7	925.8	225 000 000	15.7			
POWER LINE PARAMETES	5	2 328.6	0.005	0.17	0	10	10	500 000	50
	5	2 328.6	0.005	0.18	0	10	10	500 000	50
	5	2 328.6	0.005	0.18	0	10	10	500 000	50
	5	2 328.6	0.005	0.18	0	10	10	500 000	50
LIGHTNING PARAMETES	-50 000	2.60E-06	-1 000	5E-05	1E-05	1	-1	2	2
GROUND PARAMETES	24	500	2 500						
	24	500	2 500						
	24	500	2 500						

图5 仿真模型中元件参数值

Fig. 5 Parameter values of the components in a simulation model

设置初始雷电流 50 kA, 精度 0.1 kA, 经过 10 次循环, 约 11 min, 求出发生击穿的雷电流幅值为 13.7 kA, 且发生的是 B 相击穿, 与仿真模型中设置击中 B 相一致。

5 结论

本文对 ATP 仿真模型文件的结构进行了解析, 利用 MATLAB 编制了输电架空线路杆塔击穿电流仿真模型的自动生成呈现, 实现了杆塔初始击穿电流自动求解。本文方法有效提高了 ATP 仿真模型的搭建效率和准确性, 提高了初始击穿电流求解精度。本文所提出的思路和具体实现还可用于利用 ATP 仿真进行其他类似参数的求解。

参考文献:

- [1] 任双赞, 李力, 蒲路, 等. 气象灾害信息在输电线路运行维护中的应用分析 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(3): 141-144+118.
REN S Z, LI L, PU L, et al. Application and analysis of meteorological disaster information on the operation and maintenance of transmission line [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(3): 141-144+118.
- [2] 严肃. 高压输电线路的综合防雷措施分析 [J]. 工程建设与设计, 2020(20): 48-49.
YAN S. Analysis of integrated lightning protection measures for high voltage transmission lines [J]. Construction and Design for Engineering, 2020(20): 48-49.
- [3] 谢从珍, 白剑锋, 王红斌, 等. 基于多维关联信息融合的架空输电线路雷害风险评估方法 [J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(21): 6233-6244+6485.
XIE C Z, BAI J F, WANG H B, et al. Lightning risk assessment of transmission lines based on multidimensional related information fusion [J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(21): 6233-6244+6485.
- [4] 谷山强, 陈家宏, 冯万兴, 等. 中国电网近年来防雷技术发展及应用效果 [J]. 高电压技术, 2013, 39(10): 2329-2343.
GU S Q, CHEN J H, FENG W X, et al. Development and application of lightning protection technologies in power grids of China [J]. High Voltage Engineering, 2013, 39(10): 2329-2341.
- [5] 林方新, 朱映洁. 避雷器安装方案对线路防雷性能的影响研究 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(1): 75-80+101.
LIN F X, ZHU Y J. Influence of arrester installation scheme on line lightning protection performance [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(1): 75-80+101.
- [6] 陈家宏, 赵淳, 王剑, 等. 基于直接获取雷击参数的输电线路雷击风险优化评估方法 [J]. 高电压技术, 2015, 41(1): 14-20.
CHEN J H, ZHAO C, WANG J, et al. Optimal lightning risk assessment method of transmission line based on direct acquisition of lightning stroke parameter [J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(1): 14-20.
- [7] 胡雯, 赵淳, 桂超. 基于变权综合理论的输电线路防雷措施优选研究 [J]. 陕西电力, 2016, 44(10): 11-14+41.
HU W, ZHAO C, GUI C. Research on optimization of lightning protection measures of transmission lines based on variable weight synthesizing theory [J]. Shanxi Electric Power, 2016, 44(10): 11-14+41.
- [8] 陈冬, 刘建华, 贾晨曦. 基于 ATP-EMTP 的耐雷水平研究 [J]. 电瓷避雷器, 2011(5): 8-11+15.
CHEN D, LIU J H, JIA C X. Study on lightning with stand level based on ATP-EMTP [J]. Insulators and Surge Arresters, 2011(5): 8-11+15.
- [9] 陈霖华, 刘宇彬, 贾永兵, 等. 3 种防雷技术在确保反击耐雷水平时的配合应用方法 [J]. 电瓷避雷器, 2020(4): 14-20.
CHEN L H, LIU Y B, JIA Y B, et al. Application of three kinds of lightning protection technology in ensuring the level of lightning resistance [J]. Insulators and Surge Arresters, 2020(4): 14-20.
- [10] 于振江, 安韵竹, 许子涛, 等. 35 kV 配电线路直击雷防护计算 [J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2019, 33(2): 24-30.
YU Z J, AN Y Z, XU Z T, et al. Simulation on direct lightning strike protection of 35 kV power distribution line [J]. Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 33(2): 24-30.
- [11] 王羽, 文习山, 蓝磊, 等. 提高架空配电线路耐雷水平的仿真分析 [J]. 高电压技术, 2011, 37(10): 2471-2476.
WANG Y, WEN X S, LAN L, et al. Simulation analysis on improving lightning withstanding level of overhead distribution lines [J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(10): 2471-2476.
- [12] 罗日成, 李稳, 李志前, 等. 基于分段参数的风力机组建模及雷击暂态过电压分析 [J]. 高电压技术, 2015, 41(8): 2780-2787.
LUO R C, LI W, LI Z Q, et al. Modeling of wind turbine generator based on piecewise parameters and its lightning transient overvoltage analysis [J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(8): 2780-2787.

作者简介:



程维杰

程维杰 (通信作者)

1982-, 男, 河南开封人, 高级工程师, 学士, 主要从事电力系统安全稳定分析控制的工作 (e-mail) chengweijie@sz. csg. cn。

(责任编辑 李辉)