

文章编号:1673-8411 (2019) 04-0102-04

低压配电线路直击雷过电压暂态分析

郭馨¹, 罗焯泓^{1,2}, 蔡哲¹, 刘芳²

(1.广东省韶关市气象局, 广东 韶关 512028; 2.成都信息工程大学, 成都 610225)

摘要: 利用电磁暂态仿真软件 ATP-EMTP 建立直击雷过电压仿真模型, 模拟雷电流直接击中导线和击中杆塔情况下产生过电压的过程, 分析了绝缘子闪络电压、杆塔冲击接地电阻以及导线悬挂高度等影响低压配电线路直击雷耐雷水平的因素, 提出了提高低压配电线路耐雷水平的防护措施。

关键词: 过电压; 输电线路; 防雷

中图分类号: P427.32¹

文献标识码: A

Transient analysis on direct overvoltage of low voltage distribution line

Guo Xin¹, Luo Yehong^{1,2}, Cai Zhe¹, Liu Fang²

(1.Shaoguan Meteorological Service, Shaoguan Guangdong 512028;

2.Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan 610225)

Abstract: Using the electromagnetic transient simulation software ATP-EMTP, a direct lightning overvoltage simulation model was established to simulate the process of overvoltage when the lightning current directly struck the conductor and the tower. In this paper, the factors such as the insulator flashover voltage, the tower grounding resistance and the wire suspension height affect the direct lightning strike lightning level of the low-voltage distribution line were analyzed, and the protective measures to improve the lightning-resistant level of the low-voltage distribution line were proposed.

Key words: overvoltage; transmission line; lightning protection

低压配电线路通常指额定电压为 1kV 及以下的配电线路, 配电线路直接面对用户, 具有分布极为广泛、地理环境复杂、线路绝缘水平参差不齐等特点, 配电线路在运行中极易产生各种故障^[1], 其中, 由雷击造成的线路跳闸是最常发生的故障之一^[2]。配电线路的直击雷过电压包括反击过电压和直击导线过电压, 当雷电流击中杆塔顶端或者直接击中导线时, 将在线路绝缘子两端产生较高的电位, 容易导致线路绝缘子闪络, 进而造成线路跳闸。全国有些地方年雷暴日很多, 甚者一年中 134d 都是雷暴日^[3]。因此, 对低压配电线路直击雷过电压暂态进行分析,

探讨相应的雷电防护措施, 对旧线路的改造和新线路的建设都有重要的参考意义^[4]。

1 反击过电压仿真计算

现以 380V 低压配电线路为例, 采用无拉线水泥塔, 无避雷线, 利用仿真软件 ATP-EMTP, 建立杆塔的单一阻抗模型, 采用最接近实际雷电流波形的 Heidler 雷电流模型, 波前时间 1.2 μ s, 波尾时间 50 μ s, 雷电流幅值可随意设定, 具体参数如下: 杆塔波阻抗 250 Ω , 电感取 0.84 μ H/m, 杆塔的接地电阻为 10 Ω 。线路绝缘子采用 P-20 针式绝缘子, $U_{50\%}$ 为

收稿日期: 2019-03-01

作者简介: 郭馨(1993-), 女, 助理工程师, 工学学士, 从事防雷业务工作。E-mail: 2271030262@qq.com

120kV, 主干导线为 LGJ-120, 导线半径 1.52cm, 档距取 50m, 线路弧垂设为 0.233m, 线路波阻抗 400Ω。

(1) 雷电流幅值为 2kA 时, 三相绝缘子两端电压波形如图 1a 所示。在雷电流大小为 2kA 时, 绝缘子两端电压升高到 55kV, 但是未达到绝缘子的百分之五十闪络电压 120kV, 故绝缘子完好, 未产生闪络事故, 线路不会跳闸。

(2) 雷电流幅值为 5kA 时, 三相绝缘子两端电压波形如图 1b 所示。在雷电流幅值为 5kA 时, A 相绝缘子的两端电压迅速升高至绝缘子百分之五十闪络电压 120kV, 即 A 相绝缘子出现闪络, 线路可能

跳闸。B 相和 C 相绝缘子未发生闪络。

当某一相绝缘子刚好发生闪络时的雷电流, 称为线路的耐雷水平。在雷电流直击杆塔仿真模型中, 不断改变雷电流幅值, 得到 380V 低压配电线路的反击耐雷水平为 4.4kA。

2 直击导线过电压仿真计算

建立模型直击导线模型, 其余参数同反击过电压仿真相同, 改变雷电流幅值, 得到其中一相绝缘子恰好闪络时的雷电流幅值。通过仿真得到: 380V 低压配电线路直击耐雷水平是 1.2kA。直击导线过电压波形如图 2 所示。

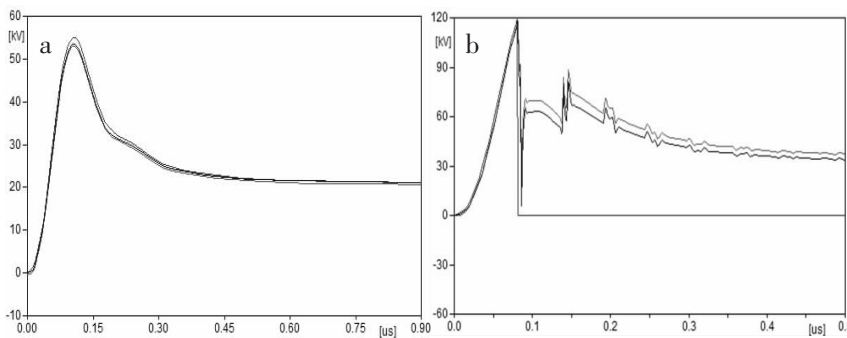


图 1 三相绝缘子两端电压波形

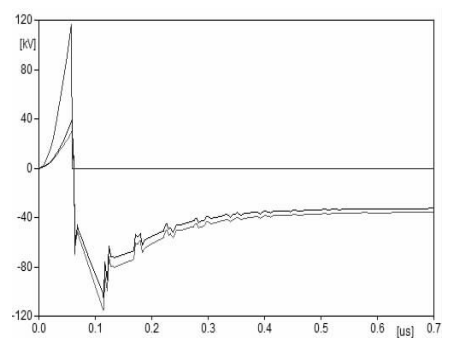


图 2 三相绝缘子两端电压波形

3 影响低压线路直击雷耐雷水平的因素

无避雷线的配电线路单相闪络的反击耐雷水平计算公式为:

$$I = \frac{U_{50\%}}{R_{ch} + \frac{L_{gt}}{2.6} + \frac{h_d}{2.6}} \quad (1)$$

式中: I ——耐雷水平, kA;

$U_{50\%}$ ——绝缘子 50% 击穿电压, kV;

h_d ——导线的悬挂高度, m;

L_{gt} ——杆塔电感, μH ;

R_{ch} ——杆塔接地电阻, Ω 。

由反击耐雷水平计算公式可以初步看出, 对反击耐雷水平有影响的主要因素包括线路绝缘水平 $U_{50\%}$, 杆塔冲击接地电阻 R_{ch} 和导线悬挂高度 h_d 。

直击导线耐雷水平计算公式为:

$$I = \frac{4U_{50\%}}{Z} \quad (2)$$

式中: Z ——导线波阻抗, Ω 。

由直击导线耐雷水平计算公式可以初步看出, 影响直击导线耐雷水平的主要因素是线路绝缘水平 $U_{50\%}$ 。

3.1 线路绝缘水平 $U_{50\%}$

在反击过电压仿真模型中, 已计算得到 50% 击穿电压为 120kV 时, 导致一相绝缘子闪络的雷电流幅值为 4.4kA。现提高线路绝缘水平, 即绝缘子 50% 击穿电压至 200kV, 雷电流的幅值设为 4.4kA, 绝缘子两端电压波形如图 3 所示。

由图 3 可以看出, 当提高线路绝缘水平至 200kV 时, 在幅值为 4.4kA 的雷电流作用下, 三相绝缘子均未闪络, 说明反耐雷水平有所提高。进一步通过改变雷电流的大小, 得到绝缘子 50% 击穿电压为 200kV 时, 低压配电线路反击耐雷水平为 7.25kA。

3.2 杆塔冲击接地电阻 R_{ch}

上述仿真研究得到杆塔冲击接地电阻 R_{ch} 为 10Ω 时, 导致一相绝缘子闪络的雷电流幅值为 4.4kA。现提高杆塔冲击接地电阻 R_{ch} 至 30Ω。雷电流幅值设为 4kA, 绝缘子两端电压波形如图 4 所示。

由图 4 可以看出, 当杆塔冲击接地电阻提高到 30Ω, 在雷电流幅值仅为 4kA 时, 绝缘子已闪络, 验证了反击耐雷水平随着接地电阻的升高而降低。改变雷电流幅值, 得到杆塔的接地电阻为 30Ω 时, 低

压配电线路反击耐雷水平下降为 3.5kA。

3.3 导线悬挂高度

分别降低杆塔的长度和导线的悬挂高度 2m, 其余量不变, 雷电流幅值 4.4kA 时, 绝缘子两端电压波形如图 5 所示。

由图 5 可以看出, 当杆塔的高度和导线悬挂高度均降低时, 在雷电流幅值为 4.4kA 时, 绝缘子均未闪络, 验证了反击耐雷水平随着导线悬挂高度的降低而升高。改变雷电流幅值, 得到此时低压配电线路反击耐雷水平为 4.9kA。

但是考虑到人和建筑的安全问题, 配电线路的杆塔高度和线路悬挂高度不可过低, 否则会造成事故, 影响人的生命安全和正常的生活秩序。

3.4 加装浪涌保护器

浪涌保护器又称为过电压保护器。在系统额定电压下, 浪涌保护器可以看做一个高阻抗。当雷电流

冲击时, 浪涌保护器变成一个低阻抗^[5]。浪涌保护器有一定的闪络电压, 且其值小于与其并联的绝缘子的闪络电压。当发生雷击事故时, 浪涌保护器可以先于绝缘子闪络, 雷电流通过浪涌保护器导入大地, 从而保证绝缘子的正常工作。模型中的浪涌保护器部分, 以非线性电阻和电感串联等效。

由前面的仿真可知, 当不加装浪涌保护器时, 线路耐雷水平为 4.4kA。现加装浪涌保护器后, 雷电流大小取 4.4kA, 观察绝缘子的状态, 绝缘子两端电压波形如图 6 所示。

当安装浪涌保护器后, 在原有雷电流幅值作用于杆塔时, 绝缘子并未闪络, 因此验证了浪涌保护器可以有效提高配电线路的耐雷水平。改变雷电流的大小, 当雷电流大小达到 11.4kA, 单相绝缘子出现闪络, 证明浪涌保护器可以大大提高配电线路的耐雷水平。

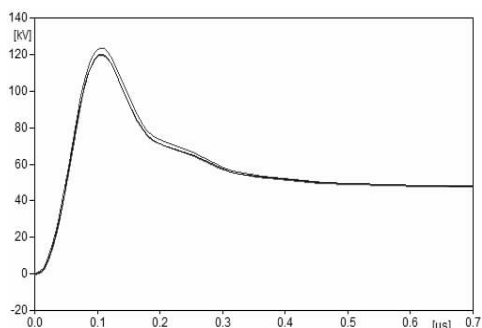


图 3 三相绝缘子两端电压波形

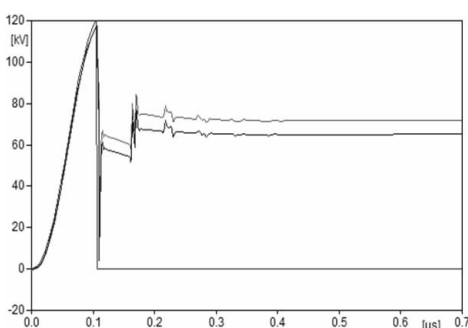


图 4 三相绝缘子两端电压波形

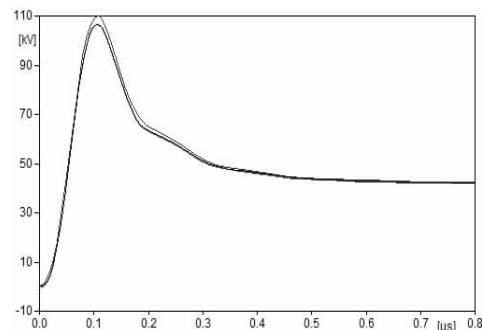


图 5 三相绝缘子两端电压波形

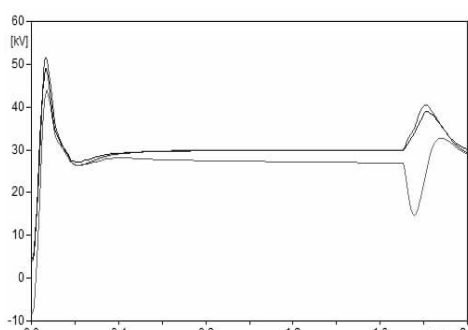


图 6 三相绝缘子两端电压波形

4 结论与建议

4.1 结论

经过直击雷过电压的实验仿真与分析, 可以得出以下几点结论:

(1) 反击耐雷水平随配电线路绝缘能力, 即绝缘子的百分之五十击穿电压的升高而升高。

(2) 反击耐雷水平随杆塔的冲击接地电阻的升高而减小。

(3) 反击耐雷水平会随着线路悬挂高度的降低而升高。

(4) 浪涌保护器可以大大提高配电线路的反击耐雷水平。

4.2 建议

从有效性和经济性上双重考虑, 可以采取以下措施提高低压配电线路耐雷能力:

(1) 加强线路绝缘水平。雷电感应过电压幅值范围变化较大, 在符合配电线路与变电站绝缘配合要求的前提下适当提高线路绝缘水平能有效的提高线路的耐雷水平^[6]。

(2) 不平衡绝缘保护。采用不平衡绝缘保护时, 顶相遇雷闪络接地, 线路还是能够继工作, 这种情况下顶相就相当是一根地线了, 它使其余相绝缘所受到的电压减少, 可以降低相间闪络的可能性。

(3) 降低杆塔冲击接地电阻。采用减小杆塔接地电阻的方法能明显改善线路的雷电防护能力^[7], 避免发生反击闪络, 减小线路跳闸率, 经济性较好, 但在高土壤电阻率地区很难实现, 还必须配合其他防雷措施。

(4) 加装浪涌保护器, 并在特殊地段和特殊用电区域选择合适的浪涌保护器安装方式。

通过仿真结果和影响低压线路直击雷耐雷水平因素的综合比较分析, 可以得出最直接有效的方法是安装浪涌保护器, 不仅防雷效果好, 受环境及其他

因素的影响也较少, 操作性强但成本略高, 其他措施在设计之初要多加考虑, 后期改造过程中操作性不强。当然, 提高低压配电线路的耐雷水平是一项综合工程, 还需结合实际环境, 因地制宜, 各项措施相互配合以达到最佳保护效果。

参考文献:

- [1] 刘铁. 10kV 电力变压器的防雷保护 [J]. 中国电力, 2009, 42(4): 30-31.
- [2] 范广琳. 低压配电网感应雷过电压特性研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2010: 1-2.
- [3] 宋萍. 变电站二次设备防雷接地技术研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2009, 1-3.
- [4] 黄伟圣, 陈瑜琨. 田东 35KV 输电线路防雷设计分析 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32(1): 90-93.
- [5] 杨仲江, 卢燕. 用于防雷工程的电涌保护器的测试研究 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(4): 54-57.
- [6] 李秀珍. 架空绝缘配电线路雷害分析与防雷对策 [J]. 黑龙江科技信息, 2008(8): 21.
- [7] 张二红. 输配电线路防雷的设计分析 [J]. 科技创新导报, 2012(16): 96.

(上接第 88 页)

并上传气象资料, 可为实现地面观测站观测业务无人值守的稳定性提供重要保障。

参考文献:

- [1] 於莹. 雷达机房动力环境监控系统的设计与应用 [J]. 气象研究与应用, 2019, 40(3): 113-116.
- [2] 罗延斌. 对广西气象探测环境保护困难分析及应对措施 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35(4): 83-86.
- [3] 侯江生, 邹哲馨, 段利军. 浅谈信号干扰对区域自动气象站的数据传输影响 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35(1): 85-87.
- [4] 杨菊梅, 罗雪梅, 张明. 基于 MSTP+MPLS VPN 的链路热备方法 [J]. 计算机与现代化, 2013, 217(9): 163-166.
- [5] 于东海, 翟玉泰, 陈巧淑. 应用 3G 与 HFC 技术建设农村

突发事件预警信息发布系统 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37(1): 80-82.

- [6] 简仕略, 于庆年. VPDN 技术在气象通信网络中的应用 [J]. 气象水文海洋仪器, 2005, Z1: 12-15.
- [7] 黄志. 广西气象业务传输质量统计及查询系统的设计与实现 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34(4): 101-102.
- [8] LIU Shu-feng, SU Yi. Design and implementation of VPDN - based 3G wireless meteorological information transmission system [J]. Agricultural Science & Technology, 2012(13): 445-448.
- [9] Intanagonwivat C, Govindan R, Estrin D, et al. Directed diffusion for wireless sensor networking [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11(1): 2-16.