

智能防触电报警装置实现原理研究

为提醒检修人员误入带电区或者靠近带电设备,对一种智能防触电报警装置的实现原理进行了研究。首先对三相10 kV架空线路的电场强度进行仿真,基于仿真结果,分析了架空线路的电场分布特性,给出了计算近电距离的方法;然后提出了防触电报警装置的告警判据及总体设计思路;最后通过电场测量试验验证了理论分析的正确性及装置的准确度。

陈爱明 周 静/北京电研华源电力技术有限公司
邓 华 赵 俊 丁晓明/国网四川省电力公司

0 引言

当前,10 kV配电线路分布范围较广,运行环境相对复杂,作业人员通常依靠人眼目测确定安全距离,作业人员粗心大意、恶劣的天气和设备漏电等主、客观因素可能会引起触电伤亡事故^[1-2]。另外,当杆塔倒塌、暴雨时,配电线路发生单相故障接地时,也容易造成人员触电。

目前,国内已经有一些防触电报警器产品,但存在着体积大、不便于携带等缺点;另外,产品功能简单,准确度差,无法计算带电物体距离。亟需研制一种便携式智能防触电报警装置^[3-6],具备漏电感应、带电设备距离自动计算功能,当作业人员误入带电区或者攀登带电杆时,该装置能及时发出报警信号,提醒作业人员注意危险,防止由于错觉和失误造成的触电伤亡事故。

本文对智能防触电报警装置功能实现的支撑理论及原理进行了研究。首先基于等效电荷法对三相10 kV架空线路的电场强度进行仿真,然后分析了10 kV架

空线路的电场分布特性,给出了计算近电距离的方法;接着,提出了防触电报警装置的告警判据及总体设计思路;最后,为了验证理论分析的正确性及装置的准确度,进行了电场测量试验验证。

1 10 kV架空线路下方电场仿真

交流架空输电线路附近工频电场分布计算国内外已有大量研究^[7-12]。本文采用国际大电网会议第36.01工作组推荐的方法计算架空输电导线下方空间工频电场强度^[12],并采用Matlab软件编写了无穷长架空线路的电场仿真程序,可以对不同电压等级、排列方式及高度的架空线路进行电场分布特性仿真。三相10 kV架空线路周围电场的仿真结果如图1、图2所示,算例参数为:三相导线水平排列,每相导线截面积为240 mm²,导线距离地面高度为6.5 m,导线之间距离为1 m。

图1给出了距离地面1.5 m(即离开导线的垂直距离为5 m)的电场强度,横坐标表示离开三相导线中心的水平距离,水平和垂直的最大合成场强大小为75 V/m。图2给出了架空线正下方的电场

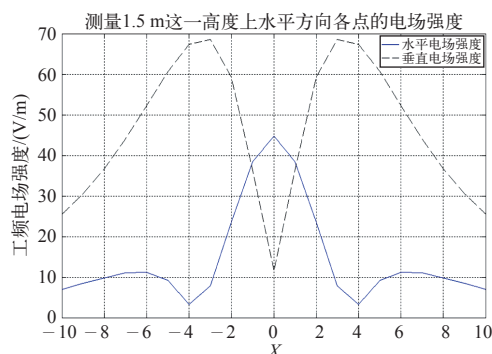
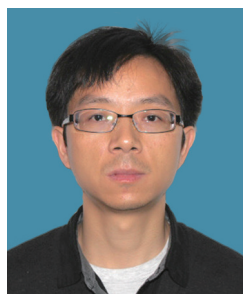


图1 10 kV架空线路水平方向电场强度分布



陈爱明/工程师

关键词/Keywords

工频电场测量·
安全距离·
输电线路·
防触电·

国家电网公司科技项目(52467k130006)。

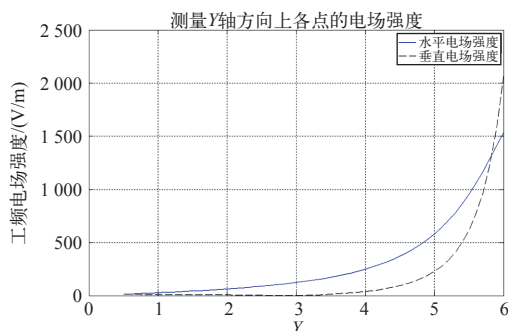


图2 10 kV架空线路正下方电场强度分布

强度大小分布规律,横坐标表示垂直方向上距离地面的高度。在距离导线0.8 m时,合成电场强度达到了1 500 V/m;在距离导线0.5 m时,电场强度达到了2 500 V/m。

分别对8 m、10 m和12 m高的架空线路电场进行了仿真,可得到的共性结论如下。

1) 上述不同高度的架空线路,在距离地面1.5 m处的电场强度分布特性基本一致,呈马鞍形,只是在峰值大小上有差异。例如6.5 m高线路的最大电场强度为75 V/m,而12 m高线路的最大电场强度只有22 V/m。

2) 上述不同高度的架空线路,距离导线0.8 m处的合成电场强度大小均达到了1 500 V/m,距离导线0.5 m处的电场强度都达到了2 500 V/m。

2 基于电场强度的安全距离确定方法

电力安全工作规程规定:在10 kV带电线路杆塔上进行测量、防腐、巡视检查、紧杆塔螺栓和清除杆塔上异物等工作,作业人员活动范围及其所携带的工具、材料等,与带电导线最小距离不准小于0.7 m^[13]。安全距离的确定是保证带电作业人身和设备安全的关键,根据架空线路工频电场强度大小随距离递减的关系,提出了通过电场强度确定电力线路安全距离的思路。

2.1 10 kV架空线路的电场特性分析

利用仿真程序计算出距离三相导线0.7~5 m圆环内的水平电场、垂直电场和合成电场的大小,共仿真了1.7 m、2 m、2.5 m、3 m、4 m和5 m六个圆环半径,如图3、图4和图5所示。其中,圆环是指离开B相导线(位于三相中部)的距离。

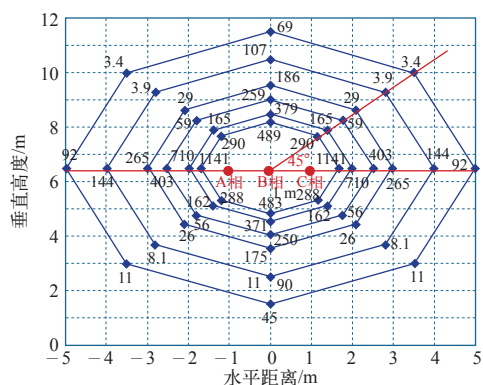


图3 水平电场分布

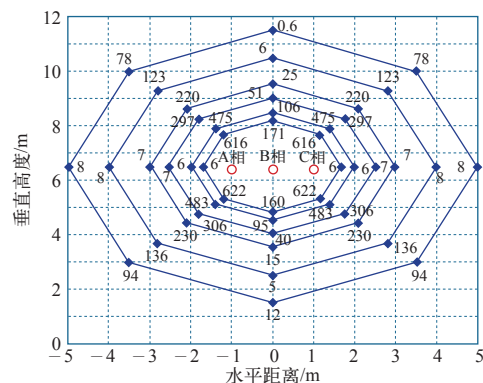


图4 垂直电场强度分布

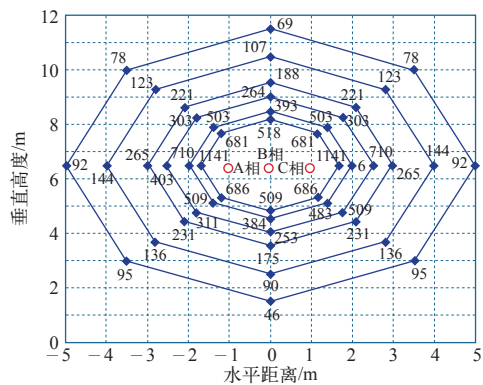


图5 合成电场分布

由以上分析可以得出如下结论。

1) 在同一半径距离时,随着与水平面的角度不同,水平电场和垂直电场变化剧烈,不太适合采用水平电场和垂直电场作为近电距离判据;而合成场强随着距离呈现明显的衰减规律,且同一距离上的场强大小基本一致,适合用来制定近电距离判据。

2) 在同一半径上(除1.7 m圆环外),合成电场的数量级基本相同,如最外围5 m圆环的合成电场的电场强度为75 V/m左右,4 m圆环的合成电

的电场强度为100 V/m左右, 3 m圆环的合成电场的电场强度为200 V/m左右, 2.5 m圆环的合成电场的电场强度为350 V/m左右, 2 m圆环的合成电场的电场强度为500 V/m左右。总之, 在同一圆环上, 合成电场大小变化相对较小。

3) 合成电场强度大小随着半径变大而衰减。

2.2 近电距离计算公式

通过2.1节的分析可知, 对上述合成场强仿真数据进行Newton多项式拟合, 求出近电距离计算的解析表达式。距离导线较近时, 电场强度变化率较大, 可适当加密Newton插值点的选取, 选取的插值点如表1所示。表1中的合成电场强度采用半径上八个点的平均值。

表1 插值点选取

电场强度 E /(V/m)	距离 d /m
755	1.7
528	2.0
320	2.5
225	3
125	4
80	5

在Matlab中对表1中的数据进行Newton多项式拟合, 即可生成近电距离计算公式, 即

$$d = 5 - \frac{1}{45}(E - 80) + 8.43 \times 10^{-5}(E - 80)(E - 125) - 2.5 \times 10^{-7}(E - 80)(E - 125)(E - 225) + 4.76 \times 10^{-10} \times (E - 80)(E - 125)(E - 225)(E - 320) - 6.4 \times 10^{-13} \times (E - 80)(E - 125)(E - 225)(E - 320)(E - 528) \quad (1)$$

式中, d 为近电距离, m; E 为告警装置测量的合成电场强度, V/m。将测量的 E 代入上式, 即可计算出近电距离 d 。

3 防触电报警装置设计

3.1 三段式告警判据

以上研究结果表明, 当距离导线4 m时, 电场强度将达到“百伏每米”数量级, 较周围无10 kV线路时的正常电场环境5~10 V/m要高出很多; 在接

近安全作业距离0.7 m时, 电场强度将达到“千伏每米”数量级。因此, 整定智能防触电报警装置的三段式近电告警判据如下。

1) 第一段近电告警判据。将第一段近电告警判据确定为100 V/m, 进行声光报警提醒周围有高压带电体。

2) 第二段近电告警判据。将第二段近电告警判据确定为1 000 V/m, 同时进行声光和振动告警, 提醒作业人员已经接近安全作业距离。

3) 曝露值报警判据。依据国家标准, 当测量的电场强度大于4 kV/m (公众曝露限值), 进行连续的声光报警, 提醒不要长期处于该位置。

3.2 总体设计思路

所设计的智能防触电报警装置主要由电容式电极、模拟信号处理单元、单片机数据分析处理单元、电场强度显示单元、按键控制单元、电池电量检测单元、电源单元等组成。装置的原理框图如图6所示。

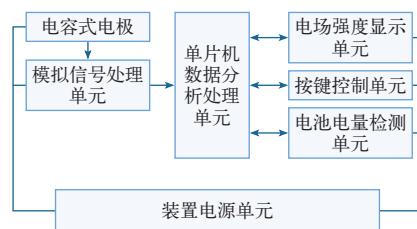


图6 装置原理图

基于近电感应原理, 防触电报警装置通过单极板电极感应周围交流电的电场强度, 经过模拟信号处理单元放大、滤波和精密整流转化为直流电压信号; 单片机对模拟电路处理后的信号进行A/D转换, 对数据进行综合分析处理, 得到待测点的电场强度值, 并与预先设定的电场限值进行比较, 判断电场是否过限并做出警示信号 (声光报警); 电场强度显示单元能够对所测量的工频电场强度进行显示。

4 测试试验

为了验证理论分析的正确性及装置的准确度, 利用本装置和意大利PMM公司的PMM8053A电磁场测量仪分别对10 kV架空线路电场强度进行

测试试验，并进行对比。PMM8053A电磁场测量仪采用的EHP-50C探头在50 Hz、1 kV/m时的相对误差为0.5 dB，具有很高的准确度。试验选定的测量点位置如图7所示，共19个点，将装有测量装置的支架安装在塔车上，调整塔车高度，使装置距离三相导线1 m，按照图7所示的布点逐个测量电场数值。

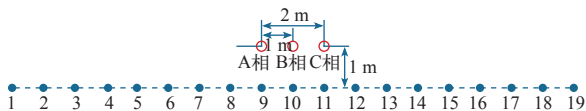


图7 10 kV架空线路电场测量位置

从表2中可以看出，测量结果最大偏差为8.54%，可以判定防触电报警装置准确度基本满足实际需要。

表2 试验结果

测量点	电场强度E/(V/m)		相对误差(%)
	PMM8053A	本装置	
1	113	104	-7.96
2	156	142	-5.13
3	189	173	-8.47
4	202	214	5.94
5	260	239	-8.08
6	348	361	3.74
7	686	674	-1.75
8	714	702	-1.68
9	1 440	1 467	1.88
10	972	961	-1.13
11	1 210	1 275	5.37
12	922	879	-4.66
13	634	602	-5.05
14	429	401	-6.53
15	388	367	-5.41
16	199	182	-8.54
17	193	183	-5.18
18	162	150	-7.41
19	108	114	5.56

5 结束语

基于等效电荷法对10 kV架空线路的电场强度进行了仿真，分析了10 kV架空线路的电场分布特性，给出了计算近电距离的方法，提出了防触电报警装置的告警判据及总体设计思路，最后，通

过实地的电场测量试验，验证了此装置能够实现10 kV电力线路电场强度的准确显示及警报，为配电线路检修人员提供了一种廉价耐用的便携式工频电场测量警示装置。

参考文献

[1] 葛晨皎, 顾金, 钱忠. 10 kV配电线路带电作业危险点分析及预控策略 [J]. 华东电力, 2012, 11 (23): 2098-2100.

[2] 汪志奕, 汪建勤. 配电线路跨步电压触电事故的预防 [J]. 电力安全技术, 2002, 4 (1): 41-42.

[3] 胡泽文, 何为, 姚德贵, 等. 高压工频电场警示仪的研究 [J]. 电测与仪表, 2009, 46 (9): 45-48.

[4] 王雯霞, 翁桂荣. 利用霍尔元件进行电场测量及报警显示 [J]. 苏州大学学报: 自然科学版, 2003, 19 (4): 47-50.

[5] 张婷, 方志, 陈陶陶, 等. 球形电场测量系统在高压测量领域中的应用 [J]. 电测与仪表, 2007, 44 (11): 11-16.

[6] 蒋国雄, 杨建中. 工频电场测量和一种新型探头的研究 [J]. 高电压技术, 1985 (4): 1-5.

[7] 陈楠, 文习山, 刘波, 等. 高压输电导线三维工频电磁场计算与测量 [J]. 电网技术, 2011, 35 (3): 159-164.

[8] 杨文翰, 吕英华. 用模拟电荷法求解高压输电线附近电磁场 [J]. 电网技术, 2008, 32 (2): 47-50.

[9] 程炜, 刘黎刚, 张艳芳, 等. 特高压输电线路工频电场的数值仿真研究 [J]. 高压电器, 2012, 48 (2): 1-6.

[10] 熊兰, 宋道军, 张又力, 等. 输电走廊工频电磁场的测量和解决方案 [J]. 高压电器, 2011, 47 (8): 97-101.

[11] 彭迎, 阮江军. 模拟电荷法计算特高压架空线路3维工频电场 [J]. 高电压技术, 2006, 32 (12): 69-73.

[12] HJ/T 24—1998 500 kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范 [S].

[13] Q/GDW 1799.1—2013 电力安全工作规程变电部分 [S].

(收稿日期: 2015-09-02) EA