

雷电波对电力系统行波故障测距法的影响分析

张欣,雷震,许栋栋
(江苏省电力公司,江苏南京 210024)

摘要:行波法由于其稳定和准确性,广泛应用于电力系统。雷电波是影响行波故障测距的重要因素之一,通过对雷电波故障进行仿真,比较了非故障性雷击和故障性雷击的特点。仿真实验结果表明,合理利用双端测距原理对雷击故障进行测距具有较高精度。

关键词:行波故障测距;影响因素;雷电波

中图分类号:TM755

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)01-0024-04

输电线路故障测距技术具有极大的经济效益和社会效益,是近年来国内外电力生产和科研部门密切关注的研究课题。行波法因其稳定和准确性在电力系统中广泛应用。在实际运行过程中,电网的各种干扰都会给行波故障测距带来很大的影响,因此考虑各种干扰情况下的行波故障测距非常必要。在江苏,雷电是导致电力系统故障的主要原因之一,而雷电波又是影响行波故障测距的重要因素之一,非故障性雷击和故障性雷击对行波故障测距产生的影响也不同。因此研究雷电波对行波故障测距的影响特别有针对性。应用 ATPdraw 分别建立了非故障性雷击和故障性雷击作用在线路上的模型,进行仿真并应用 Matlab 对仿真数据进行处理,分析了雷电波对行波故障测距的影响。

1 行波法概述

1.1 行波法分类

行波法^[1-3]是利用故障时在测量端量测到的故障点产生的故障行波进行故障定位。故障行波可以通过互感器获得,通常电压互感器获取高频电压行波的效果较差,而电流行波可通过电流互感器较好地获取,故目前一般采用电流行波进行故障定位。目前,行波法有多种测距原理,主要分为单端法和双端法^[4]。

单端测距方法只需在线路一侧安装定位装置,通过检测故障行波在故障点或对端母线与测量端传播的时间差,结合行波波速进行故障定位,行波在输电线路以接近光速的速度进行传播。该法设备投资少,实现简单,测距精度较高,但存在波头识别等困难,可靠性需要进一步提高。

双端测距方法利用故障点产生的故障行波到达两测量端母线的时差进行故障定位。只需检测到两测量端母线的初始行波,由于初始行波幅值较

大,容易检测,故该法可靠性较高,但在两测量端均需安装测距装置,且需建立通信通道,硬件投资大,经济性较差。文中主要应用双端法进行仿真计算。

双端法的原理如图 1 所示,只需要利用到达 M, N 端的初始行波。

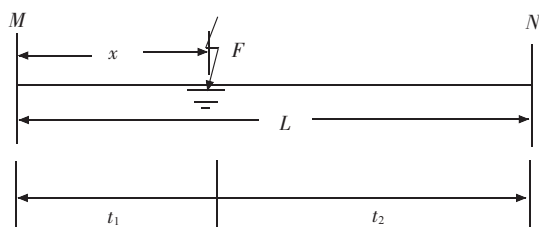


图 1 双端行波故障测距原理

图 1 中, F 点发生故障后,产生向 M, N 端传播的行波,令 M 测量母线端检测到初始波头的时刻为 t_1 , N 测量母线端检测到初始波头的时刻为 t_2 ,则可得故障距离 x :

$$x = \frac{L - (t_1 - t_2)v}{2} \quad (1)$$

双端法的一个关键是精确测定 t_1 以及 t_2 , 这需要 M, N 端的数据同步, GPS 接收模块的电力系统同步时钟实现精确秒同步,这使得线路两端的时间同步误差平均不超过 $1 \mu\text{s}$,而由此产生的绝对测距误差不超过 150 m。

行波法的突出优点是测距精度高,一般测距误差为 $\pm 200 \text{ m}$ 以内,最大测距误差不超过 $\pm 500 \text{ m}$ 。目前,行波法在电网中已有较丰富的运行经验,且现场运行效果较好,随着行波测距理论及其测距装置的不断发展完善,行波法将在电网中应用更加广泛。

1.2 行波故障测距算法

行波测距算法的一个关键因素是行波波头的识别和检测,双端法对故障波头的检测比较容易,而单端法由于干扰因素较多,对波头的识别比较困难,目前的行波测距算法主要有相关分析法、小波模极大值法、匹配滤波器法、极大似然估计法等。其中相关

法主要利用波形相似原理,由于互相关函数中的相关峰与行波波头相对应,故可借助互相关函数来识别波头,根据相关峰之间的时间差来进行故障定位。目前小波模极大值法应用较为广泛,根据突变信号对应的模极大值之间的时间差来进行故障定位。

目前,故障测距方法主要是基于 ATP-EMTP 等一些软件的仿真来验证的,很少考虑实际的故障行波情况,即没有太多的干扰因素。实际线路中存在着大量的干扰,比如信号采集设备噪声、雷电波、断路器和隔离开关的操作等都会给行波故障测距带来很大的影响。

2 雷电波对行波故障测距的影响

2.1 雷电对电网的影响

在多雷地区,往往会造成大气过电压,对电网的安全造成影响。大气过电压中的感应雷过电压对电网影响较小,而直击雷过电压产生的雷电流较大,对电网的干扰较大,甚至会造成输电线路故障。

直击雷过电压分为:直击、反击、绕击 3 种,其中反击产生的过电压比较严重。

标准双指数雷电波^[6]模拟雷击线路时产生的雷电流波形如下式所示:

$$i=A I_L (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (2)$$

式中: A 为常数; I_L 为雷电流的幅值; α 为衰减系数; β 为衰减系数。

2.2 雷电波对行波故障测距的影响

当雷击较轻,不产生闪络时,其不会对测距系统造成破坏,但由雷击所引起的雷击电流可能会对装置产生干扰,引起装置的误启动,特别当雷击和故障时间比较接近时,测距装置可能来不及再次启动,故障信息就被忽略掉,影响了测距装置的可靠性,因此,测距装置在设计时要考虑这个因素,尽量缩短死区时间。

当线路受到雷击并出现故障时,测量到的波形较为复杂,因为其既包括雷击电流,也包含故障电流。通常,若发生闪络,将出现在雷击后不久,两者出现的时间可近似视为一致,这时可采用双端法进行故障定位,精度影响不大。若闪络出现在雷击发生的一段时间之后,可利用检测到的故障行波,通过获取其首波头抵达测量端的时间,对双端法进行检验。

通常,变电所内都安装抗雷线圈,而抗雷线圈会对测距产生影响,因此,常在其周围安装互感器,帮助完成测距工作。且当避雷器发生放电时,可能会引起测距装置的误启动,因为此时的情况与避雷器出现短路情况相似,因此,应该采取措施予以避免。

雷击故障主要分为:雷电波直击电气设备和雷

电波沿线路侵入。通常来讲,第二种情况更为常见,也是本文讨论的主要对象。雷击导致故障情况^[6,8]下,一般会出现如下 4 种情况:

(1) 雷电波强度较弱,没有导致输电线路故障,称之为轻型雷击。轻型雷击虽然不会破坏测距系统,但是可能会引起测距装置误动,由于存在测量死区,当测距装置误动后若立即发生输电线路故障,测距装置将不能正确作出反应,对电力系统的安全运行将产生影响。

(2) 大部分情况下,当雷击输电线路时将产生闪络,且发生在雷击点,在这种情况下,可采用双端法定位闪络点,也即检测出雷击输电线路的位置。

(3) 在雷电波的影响下,输电线路发生闪络故障,但闪络点并未发生在雷击点,而是在线路绝缘较薄弱的地方发生。此时,线路上由雷电波产生的行波源将与闪络产生的行波源混迭在一起,使得行波较为复杂,难以准确故障定位。

(4) 雷击输电线路时产生闪络,但不是发生在雷击点,而是在雷电波传播至某一绝缘较弱的线路点发生一相闪络,在另一处的另一相导致闪络。在此种情况下,输电线路存在 3 个行波源:雷电波的行波源、闪络在不同地点的两相分别产生的行波源。3 个行波源混迭在一起,在情况(3)的基础上进一步增加了行波故障测距的难度。

在绝大多数情况下,雷击点和线路闪络点二者相距很远情况的几率是比较小的,因此主要讨论情况(1)和(2)。如果出现(3)情况,可以利用保存下来的故障行波,区分出累计产生的行波和闪络产生的行波,采用双端法确定雷击点的位置和闪络点的位置。出现(4)时,则需将双端测距方法和单端测距方法结合,测出雷击点和 2 个不同闪络点的位置。

3 仿真分析

针对实际运行的不换位同杆并架双回线,使用 ATP-EMTP 建立模型仿真,通过 Matlab 编程对非故障性雷击和故障性雷击 2 种情况的数据进行处理。仿真时采用的故障测距模型如图 2 所示。

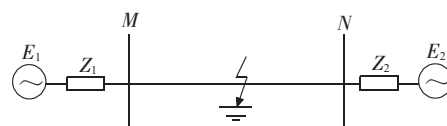


图 2 故障测距模型

选取雷电通道波阻抗 400Ω , 仿真频率为 1 MHz , 雷击发生在 1 ms , 仿真时间为 5 ms 。基于小波应具有线性相位, 且是某一平滑函数的一届导数的原则, 采用 3 次 B 样条小波进行故障测距, 该小波可以通过改变参数 (m, p) 灵活的调节尺度分析。

3.1 非故障性雷击

建立的非故障性雷击模型如图 3 所示。

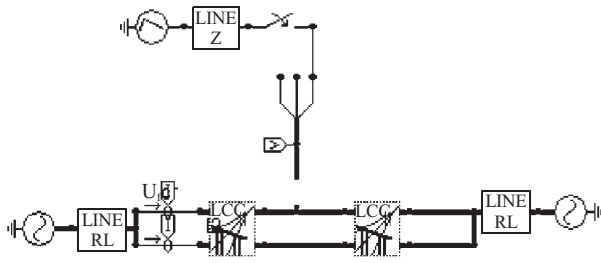


图 3 非故障性雷击模型

利用已建模型对线路上发生非故障性雷击时的情况进行仿真，得到的电流暂态行波如图 4 所示。当雷击在线路上没有造成故障时，线路上暂态电流中高频分量含量丰富，包括雷击点的初始雷电波和对端母线、相邻母线的反射波。由于雷击线路并没有造成故障，无故障点反射波，因此除线路末端外，在线路其他部分发生雷击所造成的结果基本相同。

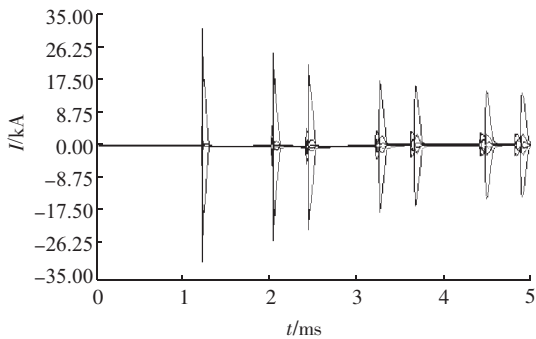


图 4 非故障性雷击时双回路六相电流暂态行波

3.2 故障性雷击

建立的故障性雷击模型如图 5 所示。利用已建模型对线路上发生故障性雷击时的情况进行仿真，得到的 M 端和 N 端电流暂态行波如图 6 所示。

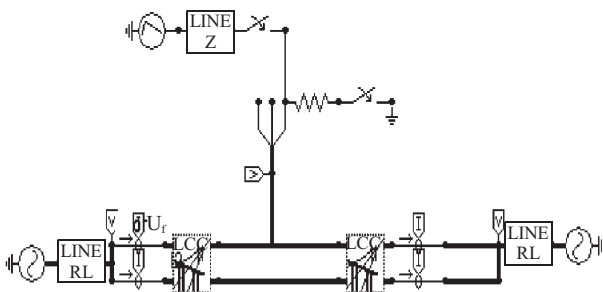
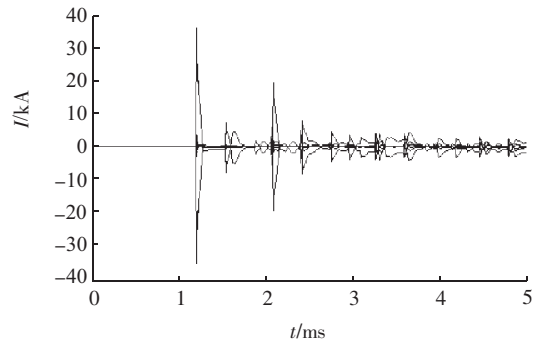


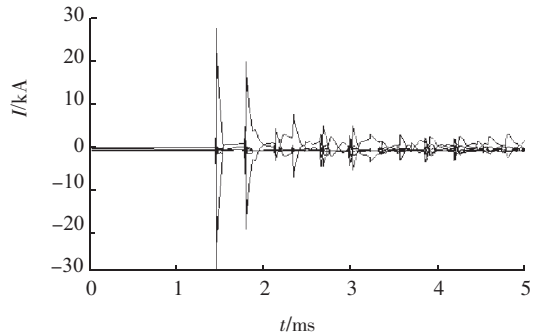
图 5 故障性雷击模型

由图 6 可知，雷击造成线路故障时，由雷电流和工频附加源引起的暂态电流初始行波波头高频含量丰富，随后的行波中，则低频分量远大于高频分量。文中假定雷击导致闪络故障与输电线路发生雷击基本同时发生，故输电线路故障位置的确定仍然可以采用双端法。

应用 Matlab 编程仿真，对 EMTP 产生的波形数



(a) M 端电流暂态行波



(b) N 端电流暂态行波

图 6 故障性雷击时 M 和 N 端电流暂态行波

据进行处理，得到故障距离 M 端母线为 40 km 时的反相行波 α 模极大值的图像，如图 7 所示。

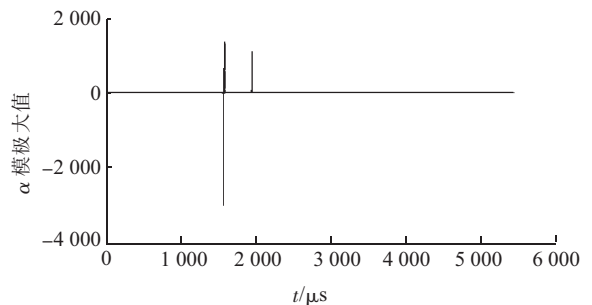


图 7 反相行波 α 模极大值图像

图 7 中，第一个模极大值为非零点的时刻是暂态行波到达 M 端母线的时刻，右侧的模极大值为非零点的时刻是暂态行波到达 N 端母线的时刻。根据双端测距原理，通过双端行波测距方法计算当线路发生雷击故障时，雷击发生在不同距离下的测距结果，如表 1 所示。

表 1 线路故障时不同故障距离下的测距结果

故障距离 /km	测距结果 /km	误差 /%
40.0	39.9	0.25
70.0	69.9	0.14
100.0	100.5	0.05
120.0	120.0	0
150.0	151.4	0.90

可见，利用双端测距原理测得的雷击情况下的电力系统行波故障点基本都在误差范围内。

4 结束语

基于电力系统行波测距的原理,分析了雷电波对电力系统行波故障测距产生的影响,按雷击发生的4种状况进行分析,仿真其中2种情况,比较发现,非故障性雷击线路上暂态电流中高频分量含量丰富,线路状况和未发生雷击时基本相同;故障性雷击产生的故障行波中初始高频含量丰富,随后的行波中低频分量则远大于高频分量。利用双端故障测距原理测量故障,得出的结果基本在误差范围内,但在故障点距离一母线端较远时误差较大。

雷电波故障测距中,虽然故障点和闪络点不一致的概率很低,但是仍有研究的必要。如何结合双端测距法和单端测距法对闪络点和故障点不一致的2种情况进行测距有着较为重要的意义。本文对雷电波故障进行仿真测距时,大部分测距结果精度均较高,满足实际应用的需求,但在故障点距离母线端较远时误差较大,有必要对其进行分析,改进双端测距原理,提高测量精度。

参考文献:

- [1] 陈平,葛耀中,徐丙垠.利用故障线路分闸暂态行波的故障测距研究[J].电力系统自动化,2004,28(1):53-58.
[2] 陈平,葛耀中,徐丙垠,等.现代行波故障测距原理及其在

实测故障分析中的应用——A型原理[J].继电器,2004,32(2):3-18.

- [3] 陈平,葛耀中,徐丙垠,等.现代行波故障测距原理及其在实测故障分析中的应用——D型原理[J].继电器,2004,32(3):14-17.
[4] 覃剑,葛维春,邱金辉,等.输电线路单端行波测距法和双端行波测距法的对比[J].电力系统自动化,2006,30(6):92-95.
[5] 王钢,李海锋,赵建仓,等.基于小波多尺度分析的输电线路直击雷暂态识别[J].中国电机工程学报,2004,24(4):139-144.
[6] 覃剑,葛维春,邱金辉,等.影响输电线路行波故障测距精度的主要因素分析[J].电网技术,2007,31(2):28-35.
[7] 董杏丽,葛耀中,董新洲.行波保护中雷电干扰问题的对策[J].中国电机工程学报,2002,22(9):74-78.
[8] 郭宁明,覃剑,陈祥训.雷击对行波故障测距的影响及识别[J].电力系统自动化,2008,32(5):76-79.

作者简介:

- 张欣(1978),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统调度工作;
雷震(1979),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力系统调度工作;
许栋栋(1980),男,江苏丹阳人,高级工程师,从事电力系统调度工作。

The Influence Analysis of Lightning Wave on Traveling Fault Location Method in Power System

ZHANG Xin, LEI Zhen, XU Dong-dong

(Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024,China)

Abstract: Travelling wave method is widely used in power system because of its stability and accuracy. Lightning wave is one of the important factors which affect the traveling wave fault location. In this paper, the lightning strike fault is simulated, and the characteristics of non-failure lightning and failure lightning are compared with each other. Finally, the outcome of simulation experiment proves that, using two-terminal location to locate the failure lightning has high precision.

Key words: traveling wave fault location; influence factors; lightning wave

未来十大新能源(2)

(5) 地热。地球上火山喷出的熔岩温度高达1 200~1 300℃,天然温泉的温度大多在60℃以上,有的甚至高达100~140℃。这说明地球是一个庞大的热库,蕴藏着巨大的热能。

(6) 绿藻。当石油和天然气耗尽时,氢也许是一种理想的燃料,问题在于要找到一个廉价地生产氢燃料的方法,科学家称,这个问题的答案可能是一种普通的池塘绿藻。目前,1 L绿藻培养液可以生产出3 mL/h氢气。研究人员认为,绿藻生产氢气的效率至少可以提高100倍,而这一点有待于技术的进一步提高。

(7) 氢能。氢能在21世纪有可能在世界能源舞台上成为一种举足轻重的二次能源。它是一种极为优越的新能源,其主要优点有:燃烧热值高,每千克氢燃烧后的热量约为汽油的3倍,酒精的3.9倍,焦炭的4.5倍。燃烧的产物是水,是世界上最干净的能源。资源丰富,氢气可以由水制取,而水是地球上最为丰富的资源,演义了自然物质循环利用、可持续发展的经典过程。

(8) 可燃冰。可燃冰是未来洁净的新能源。它的主要成分是甲烷分子与水分子。其形成与海底石油、天然气的形成过程相仿,而且密切相关。埋于海底地层深处的大量有机质在缺氧环境中,厌气性细菌将有机质分解,最后形成石油和天然气(石油气)。