

文章编号: 1005-0523(2003)01-0016-04

电力贯通线故障测距方法的适应性分析

何人望

(华东交通大学 电气与电子学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 首先分析比较铁路电力贯通线与普通电力线路的异同, 并针对贯通线单相接地的故障特点, 独立地提出了对贯通线单相接地故障测距装置的基本要求. 然后, 探讨了行波法、阻抗法和智能法等故障测距方法的主要特点, 并就这三种故障测方法对贯通线的适用性提出了自己的见解. 最后根据分析结果得出对于贯通线单相接地故障测距具有一定指导意义的结论.

关键词: 故障测距; 适应性; 单相接地; 电力贯通线

中图分类号: TM773

文献标识码: A

0 引言

输电线路的故障测距是近年来的热门研究课题之一. 当输电线路发生故障时, 若能运用合适的测距算法进行较准确的故障定位, 则不仅可以减轻巡线负担, 节省人力物力, 而且可以缩短停电时间或避免停电事故, 从而提高电网运行的可靠性.

很多文献针对不同结构的网络, 运用不同的原理和方法对故障测距进行了研究, 取得了一定的成果, 并有不少测距装置投入运行.

但是, 根据铁路供电部门的反映, 目前的测距装置应用在贯通线时, 其测量精度难以保证, 实际效果普遍不佳.

铁路提速对铁路供电的可靠性提出了更高的要求. 贯通线故障可能造成列车堵塞等事故, 打乱运输计划, 甚至出现难以挽回的经济损失. 所以, 对贯通线故障测距的数学模型和算法进行研究, 进而研制出实用的测距装置, 是十分必要和迫切的.

本文首先分析贯通线及其故障特点, 然后讨论目前各种可能的故障测距方法及其对贯通线的适用性, 最后得出对贯通线故障测距具有一定指导意义的结论.

1 贯通线及其故障特点

1.1 贯通线的特点

贯通线是指连通铁路沿线两个相邻变电所、配电所间的 10 kV 或 35 kV 电力线路, 它主要对沿线的车站和区间负荷供电, 兼做信号设备的备用电源. 贯通线沿铁路架设, 常常由架空线与电缆交替分段连接, 组成了架空线与电缆的混合线(简称混合线). 与单一架空线或电缆线相比较, 混合线电气参数的分布特征更为显著而复杂. 普通 10 kV 线路的供电半径一般不超过 15 km. 而按照《铁路电力设计规范》TB100-99 规定, 向铁路沿线的自动闭塞和电力贯通线路供电的 10 kV 变配电所之间的供电距离一般条件下宜为 40~60 km. 当跨所供电时, 则供电距离可能超过 100 km. 这些都是提高贯通线测距精度的不利因素.

据统计, 贯通线中 90% 以上的故障是单相接地故障. 贯通线采用中性点非直接接地的方式, 属于小电流接地系统. 当贯通线发生单相接地时, 由于故障电流较小, 并且三相电压仍然保持对称, 故一般允许继续运行 1~2 小时. 但单相接地会引起非故障相的对地电压升高, 对绝缘构成威胁, 可能发展

收稿日期: 2002-09-24

作者简介: 何人望(1963-), 男, 江西信丰人, 华东交通大学副教授.

成其他形式的严重故障,因此必须尽快找到故障点并排除故障。

1.2 贯通线故障的特点

以单相接地为例说明贯通线的故障特点。取 a 相为故障相。

故障点边界条件为

$$\begin{cases} I_b = I_c = 0 \\ U_a = I_a R_g = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, R_g 为过渡电阻。

由对称分量法,可求得故障电流 I_a ^[1]

$$I_a = \frac{3 E_{a1\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma} + 3R_g} \quad (2)$$

式(2)中, $E_{a1\Sigma}$ 为正序等效电势, $Z_{1\Sigma}$ 、 $Z_{2\Sigma}$ 、 $Z_{0\Sigma}$ 分别为正序、负序和零序等效阻抗。

故障点电压为

$$U_a = I_a R_g \quad (3)$$

由式(2)和式(3)可知:

当金属性接地时, $R_g = 0$, 故 $U_a = 0$, $U_N = U_\Phi$,

$U_b = U_c = \sqrt{3} U_\Phi$ (U_Φ 为相电压)。

当 $R_g = \infty$ 时, $U_N = 0$, $U_a = U_b = U_c = U_\Phi$ 。

因此,当 $R_g = 0 \sim \infty$ 时,中性点电压 U_N 在 $U_\Phi \sim 0$ 之间变化。

由上述分析可知,当采用单端电气量(电压、电流等)通过计算进行故障测距时,在原理上难以消除过渡电阻的影响。

2 对贯通线故障测距的基本要求

故障测距装置可认为是定量的继电保护(距离保护)装置。通常,距离保护只需判断故障是否发生在保护范围之内,而测距装置则须准确测定故障点的位置。参照对继电保护装置的基本要求,结合贯通线的作用和特点,对其故障测距装置提出以下几点基本要求。

2.1 准确性

对于任何故障测距装置,准确性是最重要的。衡量准确性的标准是测距精度(测距误差),没有足够的测距精度就意味着装置失效。测距误差可用绝对误差或相对误差来表示。绝对误差以长度表示,例如 50 m, 1 000 m 等;而相对误差以被测线路的全长的百分比表示,例如 2%, 3% 等。

当然,测距装置的误差越小越好,但实际上,由

于技术和经济上的各种因素的限制和影响,误差通常规定不应大于一定的指标。

对于贯通线,测距精度当用绝对误差表示。一般,要求故障测距的绝对误差应在 1 km 以内。

2.2 可靠性

简单地说,测距装置的可靠性是指该它测时不拒动,不该它测时不误动。即可靠性包含两方面的内容:其一是指装置在故障发生后能可靠地测定故障点的位置,不应由于测距原理、方法或工艺等任何问题使装置拒绝动作;其二是指装置在需要测距以外的任何条件下不应错误地发出测距的指示或信号。

对于贯通线,除了上述要求之外,还要求测距装置应当既能可靠测定永久性故障,又能可靠测定瞬时性故障。

2.3 方便性

方便性主要指测距装置应当便于调试和使用。对于贯通线现场使用,测距结果应当自动给出,不用或尽量减少人的工作量。

2.4 经济性

经济性是指测距装置不仅本身价廉物美,而且运行维护费用低廉。

3 故障测距方法及其对贯通线的适用性

按照测距原理,输电线路的故障测距装置可分为行波法、阻抗法和智能法三类。若按实现方式,则可分为单端测距和双端测距两大类。

3.1 行波法

行波法的基本原理与雷达相近。若在输电线路始端发出行波信号,则行波到达故障点时将发生折射与反射。设行波在输电线路中的传播速度为 v ,从发出行波信号时刻到收到反射信号时刻的总时间为 t ,则故障点到始端的距离 l 为

$$l = \frac{vt}{2} \quad (4)$$

根据行波信号的来源,行波法可分为有源行波测距和无源行波测距两种。

有源行波测距需要外加信号源。通常利用专设的高频脉冲信号发生器产生信号,在线路故障时由启动元件将信号源经高频连结设备加到线路上去。信号脉冲波形一般采用高频衰减脉冲,这是因为高频衰减脉冲信号容易形成,且频率较为集中,传输效率较高,抗干扰能力也较强。

无源行波测距直接利用故障点产生的信号,不

需要专设的外加信号源,也不需要利用高频通道设备,因此比较简单和经济。

如何准确提取故障点产生的或反射的行波,是行波故障测距成败的关键。理论分析和现场录波均表明^[3],故障点在高压线路上产生的电压、电流行波现象很明显,其中包含丰富的故障信息。关键在于如何用简单经济的方法,精确可靠地获得可供测距使用的行波信号。

从原理上进行分析可知,行波法不适宜贯通线。

一方面,因为贯通线常常是由架空线与电缆交替分段连接而成的架空线与电缆的混合线,所以在架空线与电缆的连接处(电缆头处),行波也将如同在故障点一样,发生折射与反射。这样一来,精确可靠地提取故障点产生或反射的行波信号将更加困难,甚至毫无可能。

另一方面,行波在架空线中的传播速度约为光速,而在电缆中的传播速度约为半光速,约相差一半。因而,即使成功地提取了故障点的行波信号,测得传播时间,也将因传播速度不定而影响故障距离的计算。

3.2 阻抗法

阻抗法的原理基于输电线路为均匀线的假设,即假设故障回路阻抗或电抗与测量点到故障点的距离成正比。故障时,测距装置由启动元件启动,测得故障时的电压和电流等参数,进而计算出故障回路的阻抗。由于线路长度与阻抗成正比,因此可以求出由装置安装处到故障点的距离。

设测得的阻抗为 Z , 则 $Z = Z_1 l + R_g$ 。

理论上,取虚部可消除过渡电阻 R_g 的影响,即测量电抗为 $X = I_m [Z] = X_1 l$ (X_1 为线路单位长度电抗),从而可求得故障距离为 $l = X / X_1$ 。

阻抗法的主要优点是简单、方便、经济、可靠,特别是利用单端工频量的阻抗法。目前在各种输电线路中应用最广泛的是阻抗法。

早期的阻抗法故障测距装置一般由机电式或静态电子器件构成,测距精度很差。微机的迅猛发展,为阻抗法故障测距技术提供了新的发展机会,使阻抗法测距的可靠性和准确性都有所提高。但目前对于由微机实现的这类测距装置,厂家给出的误差一般小于 2%~3%。

但这往往是在理想条件下得出的。实际上,由于故障的过渡电阻、分布电容、线路不完全对称,以及电压、电流变换器误差等因素的影响,测距误差

常常远大于上述指标,因此还远不能满足实际使用的要求^[3]。

原理上,阻抗法能够应用于贯通线的故障测距。主要难点在于故障电流的获取。贯通线发生单相接地时,电源侧没有接地点,只有经过对地电容构成故障回路,因而故障电流等于电容电流。由前述分析知道,故障电流的数值很小,并且与非故障线路有关。

为解决这一难题,可采用人为增加故障点的办法,即在中性点或非故障相某点人为地短时接地,完成测量之后再拆除该接地点。对于不太重要的农网线路,这不失为一个很好的解决办法。但是,对于贯通线这样重要的线路,人为接地往往在管理上和技术上都是不允许的。

影响贯通线测距精度的主要因素是过渡电阻和分布电容。为了克服过渡电阻的影响,可以利用故障分量进行分析。此法已取得了一定成效,但仍不理想。采用 II 型等值电路或其他复杂的等值电路(例如 3II 型等值电路)有利于消除分布电容的影响。但随着等值电路的复杂化,运算量将大为增加,甚至难以求解。

如何测量故障电流并提高阻抗法的测距精度,仍需作进一步的深入研究。

3.3 智能法

智能法大体上分为两种,一种是基于专家系统的故障测距,另一种是基于神经网络的故障测距。

基于规则的专家系统研究得比较成熟^[4]。系统一般由知识库、规则库和控制系统三个基本部分组成。它主要有以下优点:

1) 规则具有“IF...THEN(如果...则)”的统一格式,与人的思维模式相近,便于理解和实现人机交换信息。

2) 三个组成部分相对独立,采用模块化结构。规则也可看作模块,这些规则相互独立,因此,系统对规则的定义、修改和扩充等操作也都可以各自独立进行。

3) 推理机制简单明了,各步推理相对独立而清晰,因此便于跟踪推理路径,容易实现推理路径的解释。

4) 知识库的内容可被所有规则访问,因此便于模仿人工智能行为。

但是,基于规则的专家系统也存在两个方面的局限性:一是知识获取的瓶颈问题,另一个是并行推理问题。

人工神经网络的发展,为智能法故障测距提供了

新的途径. 人工神经网络具有自适应、自学习、联想记忆、分布式信息存储和非线性并行处理等功能. 可以利用这些功能来克服基于规则的专家系统的缺点.

知识获取是专家系统的瓶颈问题. 而神经网络的主要特点是可以通过对样本的学习训练来获取知识. 专家系统推理能力较弱, 容易出现匹配冲突, 甚至冲突难以消解. 而神经网络具有分布式信息存储和非线性并行处理功能, 可实现并行推理. 当然, 基于非线性并行处理的神经网络计算机尚未问世, 神经网络的优越功能难以通过硬件来实现.

从长远来看, 贯通线的故障测距应当采用智能法. 智能法的发展趋势是将专家系统和神经网络结合起来, 建立基于神经网络的故障测距专家系统. 目前, 我国、美国、日本、德国、比利时等国家已成功地将专家系统应用于电力变压器的故障诊断. 但智能法用于输电线路的故障测距, 仍处于实验研究阶段.

4 结语

1) 阻抗法是目前应用最广的一种故障测距方法. 利用单端量的阻抗法最为简单直观, 且不依赖通信工具. 但正因为这种方法是利用单端电气量实现的, 因此在原理上很难完全消除过渡电阻引起的误差. 利用两端电气量可以提高测距精度. 通信技术的迅速发展为这种测距方法的应用开辟了新的途径, 可用全球卫星定位系统(GPS)使线路两端数据精确同步. 当然, 不需两端数据同步的精确测距算法将更有实用价值.

2) 阻抗法和行波法实现测距各有优缺点. 为了达到准确测距的目的, 也都有各自应解决的技术问题. 一般, 阻抗法比较容易实现, 但必须设法消除或减少由于传感器、过渡电阻、分布电容、系统运行方式变化等一系列因素带来的误差. 行波法测距虽不受上述因素影响, 但也有其特殊问题, 例如反射波的识别, 行波信号的不确定性以及要求高速数据采集等等. 目前两种方法虽然都得到实际应用, 但是两者均面临着进一步提高可靠性和测距精度两个主要难题.

3) 对于电力贯通线的故障测距, 行波法不适用. 原理上, 阻抗法适用于贯通线的故障测距, 但如何准确测得故障电流仍是一个难点. 从发展方向来看, 智能法可能是最终解决贯通线故障测距问题的有效途径.

参考文献:

- [1] 华北电力学院. 电力系统故障分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [2] 尹项根, 等. 电力系统继电保护原理与应用(上册)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
- [3] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
- [4] 吴泉源, 等. 人工智能与专家系统[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995.
- [5] 何人望, 等. 铁路贯通线中电压互感器烧损故障分析. 江西电力[J]. 2000(4), 20~27.
- [6] A. J. Mazon, et al. Selecting ANN Structure to Find Transmission Faults[J]. IEEE Computer Applications in Power, Volume 14, Number 3, 2001(7), 44~48.

Analysis of the Adaptation of Fault Location Methods in Railway Continuous Power Lines

HE Ren-wang

(School of Electrical and Electronical Eng., East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013, China)

Abstract: At first, this paper analyzes the differences between railway continuous power lines and common power lines. Considering the special characteristics of the faults in continuous power lines, the paper independently raises the requirements of fault locaters in continuous power lines. Then, it discusses the major characteristics of fault location methods such as progressing wave method, impedance method and intelligence method. Original opinions on the adaptation to railway continuous power lines of these three methods are independently given. At last, it draws an instructive conclusion on the location of single phase to earth faults in continuous power lines according to the discussion.

Key words: fault location; adaptation; single phase to earth fault; continuous power line